



Repozytorium Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach

Repository of Medical University of Silesia

<https://ppm.sum.edu.pl>



Polska Platforma Medyczna

Polish Platform of Medical Research

<https://ppm.edu.pl>

Publikacja / Publication	Wprowadzenie do diagnostyki obrazowej, Baron Jan, Pilch-Kowalczyk Joanna
Adres publikacji w Repozytorium URL / Publication address in Repository	https://ppm.sum.edu.pl/info/book/SUMcb8e99cb40a34f398c6807e4a00b1d07/
Data opublikowania w Repozytorium / Deposited in Repository on	Nov 21, 2024
Rodzaj licencji / Type of licence	Publisher License
Wersja dokumentu / Document version	wersja wydawcy / publisher version
Cytuj tę wersję / Cite this version	Baron Jan, Pilch-Kowalczyk Joanna (eds.): Wprowadzenie do diagnostyki obrazowej, 2012, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, ISBN 978-83-7509-173-1, 189 p.

WPROWADZENIE DO DIAGNOSTYKI OBRAZOWEJ

**pod redakcją
Jana BARONA i Joanny PILCH-KOWALCZYK**

ŚLĄSKI UNIWERSYTET MEDYCZNY W KATOWICACH



Wprowadzenie do diagnostyki obrazowej



AUTORZY

Lek. med. Anna BARCZYK-GUTKOWSKA

Dr n. med. Joanna GIBIŃSKA

Dr hab. n. med. Jan BARON

Lek. med. Tomasz CZEKAJ

Dr n. med. Katarzyna GRUSZCZYŃSKA

Dr hab. n. med. Ewa KLUCZEWSKA

Dr n. med. Daniel KNAP

Lek. med. Małgorzata KORZEKWA

Dr n. med. Elżbieta KULETA-BOSAK

Dr n. med. Tomasz LEBDA-WYBORNY

Lek. med. Joanna MACHNIK-BRONCEL

Dr n. med. Magdalena MACHNIKOWSKA-SOKOŁOWSKA

Dr hab. n. med. Stanisław NOWAK

Dr hab. n. med. Joanna PILCH-KOWALCZYK

Lek. stom. Hanna POTEMPA

Dr n. tech. Krystian RUDZKI

Dr n. med. Anna SIEMIANOWICZ

Lek. med. Kamila SMULSKA

Dr n. med. Wojciech WAWRZYNEK

Lek. med. Andrzej ZALESKI

Dr n. med. Anna ZYMON-ZAGÓRSKA



WPROWADZENIE DO DIAGNOSTYKI OBRAZOWEJ

pod redakcją
Jana BARONA i Joanny PILCH-KOWALCZYK



ŚLĄSKI UNIWERSYTET MEDYCZNY W KATOWICACH



Recenzent

Prof. zw. dr hab. n. med. Andrzej Drop

Redakcja

Alicja Prochas

**© Copyright by Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach
Katowice 2012
Wszelkie prawa zastrzeżone**

Dzieło może być wykorzystywane tylko na użytek własny,
do celów naukowych, dydaktycznych lub edukacyjnych.
Zabroniona jest niezgodna z prawem autorskim reprodukcja,
redystrybucja lub odsprzedaż.

Wydanie II

ISBN 978-83-7509-173-1

Skład komputerowy i łamanie

Wydawnictwo Uczelni
ul. Medyków 12
40-752 Katowice



SPIS TREŚCI

I. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA POSZCZEGÓLNYCH METOD DIAGNOSTYCZNYCH.....	7
1. Rentgenodiagnostyka (<i>Tomasz Czekaj, Katarzyna Gruszczyńska, Anna Siemianowicz</i>)	7
2. Diagnostyka ultradźwiękowa (<i>Wojciech Wawrzynek, Anna Siemianowicz</i>)	12
3. Podstawy obrazowania metodą rezonansu magnetycznego (<i>Magdalena Machnikowska-Sokołowska, Ewa Kluczevska</i>)	17
4. Środki cieniujące stosowane w radiologii klasycznej, rezonansie magnetycznym i ultrasonografii (<i>Joanna Pilch-Kowalczyk, Katarzyna Gruszczyńska, Anna Siemianowicz</i>).....	25
5. Metody radioizotopowe – badania scyntygraficzne (<i>Stanisław Nowak, Krystian Rudzki</i>)	31
II. ZASTOSOWANIE METOD DIAGNOSTYKI OBRAZOWEJ W BADANIACH NARZĄDÓW I UKŁADÓW	36
1. Diagnostyka obrazowa narządu ruchu (<i>Anna Siemianowicz, Wojciech Wawrzynek, Joanna Gibińska, Stanisław Nowak, Krystian Rudzki</i>)	36
2. Diagnostyka obrazowa u dzieci. Odrębności diagnostyki wieku dziecięcego (<i>Elżbieta Kuleta-Bosak</i>)	47
3. Diagnostyka obrazowa serca (<i>Jan Baron, Katarzyna Gruszczyńska, Stanisław Nowak, Krystian Rudzki</i>)	57
4. Diagnostyka obrazowa układu naczyniowego i chłonnego (<i>Daniel Knap, Jan Baron, Joanna Pilch-Kowalczyk</i>)	68
5. Diagnostyka obrazowa śledziony (<i>Joanna Pilch-Kowalczyk</i>)	80
6. Diagnostyka obrazowa płuc i opłucnej (<i>Tomasz Lebda-Wyborny</i>)	84
7. Diagnostyka obrazowa śródpiersia (<i>Joanna Machnik-Broncel, Joanna Pilch-Kowalczyk</i>)	91
8. Diagnostyka obrazowa przewodu pokarmowego (<i>Joanna Pilch-Kowalczyk, Anna Zymon-Zagórska, Stanisław Nowak, Krystian Rudzki</i>)	95
9. Diagnostyka obrazowa wątroby, dróg żółciowych i trzustki (<i>Joanna Pilch-Kowalczyk</i>)	108
10. Diagnostyka obrazowa układu moczowego (<i>Anna Siemianowicz, Wojciech Wawrzynek, Andrzej Zaleski, Stanisław Nowak, Krystian Rudzki</i>)	120
11. Diagnostyka obrazowa gruczołu krokowego (<i>Anna Siemianowicz, Wojciech Wawrzynek, Anna Zymon-Zagórska</i>).....	130
12. Diagnostyka obrazowa w ginekologii (<i>Magdalena Machnikowska-Sokołowska, Andrzej Zaleski</i>).....	132
13. Diagnostyka obrazowa w położnictwie (<i>Magdalena Machnikowska-Sokołowska, Joanna Pilch-Kowalczyk</i>)	140
14. Diagnostyka obrazowa gruczołów piersiowych (<i>Kamila Smulska</i>)	144
15. Diagnostyka obrazowa gruczołów wydzielania wewnętrznego (<i>Anna Barczyk-Gutkowska, Joanna Pilch-Kowalczyk, Stanisław Nowak, Krystian Rudzki</i>)	153
16. Diagnostyka obrazowa ośrodkowego układu nerwowego (<i>Małgorzata Korzekwa, Joanna Pilch-Kowalczyk, Stanisław Nowak, Krystian Rudzki</i>)	160
17. Diagnostyka obrazowa kanału kręgowego i rdzenia (<i>Małgorzata Korzekwa, Joanna Pilch-Kowalczyk, Stanisław Nowak, Krystian Rudzki</i>)	171
18. Diagnostyka obrazowa w stomatologii (<i>Anna Siemianowicz, Wojciech Wawrzynek, Hanna Potempa</i>)	178
19. Radiologia zabiegowa (<i>Daniel Knap, Jan Baron</i>)	182



I. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA POSZCZEGÓLNYCH METOD DIAGNOSTYCZNYCH

1. Rentgenodiagnostyka

Tomasz Czekaj, Katarzyna Gruszczyńska, Anna Siemianowicz

Diagnostykę obrazową można podzielić według różnych metod, uwzględniając rodzaj wykorzystanego zjawiska fizycznego:

- a) rentgenodiagnostyka jest metodą obrazowania wykorzystującą promieniowanie rentgenowskie, zalicza się do niej:
 - radiologię klasyczną,
 - mammografię,
 - tomografię komputerową stosującą promieniowanie rentgenowskie do uzyskiwania poprzecznych warstw ciała,
 - radiologię interwencyjną.
- b) ultrasonografię wykorzystującą ultradźwięki,
- c) rezonans magnetyczny wykorzystujący magnetyczne właściwości jąder atomów,
- d) medycynę nuklearną: wykorzystującą substancje promieniotwórcze (radioizotopy) do diagnostyki (funkcja narządów, przemiana materii, lokalizacja zmian chorobowych) oraz terapii (wewnątrztkankowo lub do jam ciała).

Promieniowanie rentgenowskie stosowane w radiologii zostało odkryte w 1895 roku przez K.W. Roentgena, który w 1901 roku otrzymał za to nagrodę Nobla.

Radiologia klasyczna

Promieniowanie rentgenowskie jest krótkofalowym promieniowaniem elektromagnetycznym (o długości fali od 10^{-13} do 10^{-11} m), wytwarzanym w lampach rentgenowskich. W widmie promieniowania elektromagnetycznego mieści się pomiędzy nadfioletem a promieniowaniem gamma.

Aparat rentgenowski składa się z lampy rentgenowskiej, generatora napięcia i urządzeń umożliwiających badanie. Istnieją dwa typy aparatów rentgenowskich: głowicowe, w których generator i lampa RTG znajdują się we wspólnej obudowie-głowicy, oraz kołpakowe – gdzie lampa znajduje się w kołpaku, a generator umieszczony jest osobno. Urządzenia umożliwiające badanie to: stół do zdjęć w pozycji poziomej i pionowej, ścianka do prześwietleń ze wzmacniaczem obrazu i torem wizyjnym. Istnieją również aparaty specjalistyczne: przenośne, używane na salach operacyjnych, do badań dzieci, do badań stomatologicznych oraz do obrazowania sutków.

Lampa rentgenowska jest to szklana bańka z dwoma elektrodami. Katoda to drut wolframowy o wysokiej temperaturze topnienia, w którym po rozgrzaniu dochodzi do zjawiska termoemisji elektronów. Anoda składa się z walca miedzianego ze skośnie ściętym brzegiem pokrytym warstwą wolframu. Po włączeniu lampy RTG powstaje różnica potencjałów pomiędzy elektrodami, nadająca przyspieszenie elektronom powstałym wskutek termoemisji. Przyspieszone elektrony ulegają gwałtownemu hamowaniu na anodzie, wskutek czego dochodzi do przemiany ich energii kinetycznej w energię cieplną (99%) i promieniowanie rentgenowskie. Miejsce na anodzie, na które padają elektrony, nazywamy ogniskiem rzeczywistym, a przekrój wiązki promieniowania rentgenowskiego, wysyłanego przez ognisko rzeczywiste, tworzy ognisko optyczne.



Na promieniowanie rentgenowskie składają się:

- promieniowanie charakterystyczne, związane z „wybijaniem” elektronów z materiału anody i następnymi przeskokami wewnątrz powłok atomowych, czemu towarzyszy emisja fotonów o określonej, charakterystycznej energii;
- promieniowanie ciągłe, związane z hamowaniem elektronów w polu elektrostatycznym jąder atomowych materiału anody.

Jakość, czyli twardość promieniowania, zależy od napięcia przyłożonego do elektrod lampy rentgenowskiej. Rozróżniamy *promieniowanie miękkie*, o dużej długości fali i mniejszej przenikliwości, oraz *promieniowanie twarde*, uzyskiwane przy napięciach 100–150 kV. Stosowanie twardego promieniowania RTG prowadzi do mniejszego obciążenia pacjenta, krótszego czasu ekspozycji, daje lepszą ostrość obrazu i możliwość uzyskiwania dobrego obrazu większych powierzchni.

Właściwości promieniowania rentgenowskiego

- I. *Niewidzialność*. Promieniowanie RTG ma krótszą długość fali od światła widzialnego.
- II. *Przenikliwość*. Promieniowanie RTG przenika przez ciała nieprzenikalne dla światła widzialnego.
- III. *Oddziaływanie z materią*. Promieniowanie RTG, przechodząc przez materię, ulega osłabianiu i rozpraszaniu. Można wyróżnić trzy typy oddziaływania na materię:
 - A. Rozpraszanie spójne – foton padający na atom powoduje drgania elektronów i wtórną emisję fotonów o zmienionym kierunku, lecz tej samej długości fali.
 - B. Zjawisko fotoelektryczne – foton RTG o energii większej od energii wiązania elektronu powoduje wytrącenie elektronu z orbity i powstanie jonu.
 - C. Zjawisko Comptona – gdy energia fotonu RTG znacznie przekracza siłę wiązania elektronu powłoki zewnętrznej, dochodzi do wyrzucenia elektronu poza atom, z jednoczesną emisją wtórnego fotonu.
- IV. *Jonizacja materii*. Wytrącanie z atomów elektronów powoduje powstanie dodatnich jonów. Może dojść do powstania wolnych rodników (atomów posiadających niesparowany elektron, cechujących się silną aktywnością biologiczną).
- V. *Działanie biologiczne*. Szkodliwe działanie na żywy organizm jest związane z jonizacją materii. Stopień uszkodzenia zależy od wielkości dawki, wielkości napromieniowanej powierzchni i czasu ekspozycji. Konieczne jest przestrzeganie przepisów ochrony radiologicznej tak personelu, jak i pacjentów poddawanych badaniu.
- VI. *Prostoliniowy i rozbieżny sposób rozchodzenia się wiązki*. Natężenie promieniowania maleje wprost proporcjonalnie do kwadratu odległości od źródła. Najlepszą ochroną przed promieniowaniem jest odległość. Obrazy RTG są powiększone w stosunku do prześwietlanego obiektu, w związku z czym obrazowany narząd powinien się znajdować jak najbliżej kasety.
- VII. *Zjawisko luminescencji*. Związki chemiczne zawierające sole metali ciężkich mają zdolność zmiany promieniowania RTG na promieniowanie widzialne. Wykorzystuje się to w ekranach do prześwietleń, w elektronowych wzmacniaczach obrazu i foliach wzmacniających do kaset.
- VIII. *Działanie na błony fotograficzne*. Gdy foton promieniowania rentgenowskiego lub światła widzialnego trafia na błonę, dochodzi do rozkładu zawartej w emulsji fotograficznej cząsteczki bromku lub jodku srebra na jony. Wytrącony elektron zostaje wychwycony przez kation srebra i powstaje metaliczne srebro, zaczerniające kliszę. Wywoływanie powoduje powstawanie z nich mikroziaren metalicznego srebra, a pozostała nienaświetlona emulsja zostaje wypłukana w procesie utrwalania.

Obrazy rentgenowskie

Obrazy powstające na błonach rentgenowskich lub podczas prześwietleń są spowodowane zróżnicowanym pochłanianiem promieniowania przenikającego ciała przez różne tkanki. Ze względu na stopień pochłaniania promieni, tkanki podzielono na cztery grupy:



I grupa – najmniejszy stopień pochłaniania: tkanki zawierające powietrze: płuca, jamy oboczne nosa, komórki powietrzne kości czaszki, gaz w przewodzie pokarmowym.

II grupa – tkanki zawierające tłuszcz: tkanka podskórna, tłuszcz okołonerkowy.

III grupa – płyny ustrojowe: krew, mocz, chłonka, płyn mózgowo-rdzeniowy; tkanki gruczołowe; wątroba, nerki; tkanki miękkie: mięśnie, ściany przewodu pokarmowego.

IV grupa – największy stopień pochłaniania: kości, zęby, zwapnienia.

Obraz powstający na ekranie monitora lub kliszy składa się z szeregu plam jasnych i ciemnych o różnym stopniu wysycenia, ułożonych w charakterystyczny dla danego narządu deseń: obraz lub rysunek radiologiczny.

Jakość otrzymanego obrazu zależy od:

- właściwego kontrastu, czyli różnic w zaciemnieniu poszczególnych pól obrazu, odpowiadających różnicom gęstości tkanek,
- ostrości, czyli dobrze zarysowanych granic cieni,
- właściwej projekcji, czyli ustawienia badanej okolicy w stosunku do kasety z kliszą,
- przygotowania pacjenta do badania.

Poprawę kontrastu można uzyskać poprzez eliminację promieniowania rozproszonego. W tym celu stosuje się przesłony pierwotne (tubusy), ograniczające wiązkę promieniowania oraz kratki przeciwrozproszeniowe. Eliminacja promieni rozproszonych wpływa na ograniczenie dawki promieniowania, na jaką narażony jest pacjent w trakcie badania.

Możliwości diagnostyczne w radiologii klasycznej

- *Zdjęcia rentgenowskie*: obrazy otrzymywane są na błonie rentgenowskiej. Obraz przedmiotu na zdjęciu nazywamy cieniem. Kilka przedmiotów ułożonych jeden za drugim daje jeden wspólny cień – zjawisko to nazywa się sumowaniem cieni. Zdjęcia są negatywami: cienie gazów są czarne, cienie kości białe, tkanki miękkie są uwidaczniane w odcieniach szarości. Obraz przedmiotu na zdjęciu jest zawsze nieco większy niż sam przedmiot, dlatego – aby uniknąć zniekształceń – badany narząd powinien być zlokalizowany jak najbliżej kliszy. Błony RTG umieszczone są w kasetach, składających się z pojemnika metalowego, pokrytego z jednej strony blachą ołowianą. W środku pojemnika znajdują się też folie wzmacniające i kratki przeciwrozproszeniowe. Obrazy uzyskiwane na zdjęciach RTG stanowią również materiał archiwizacyjny badań dynamicznych.

Coraz częściej w radiologii klasycznej stosowana jest radiografia cyfrowa – zamiast błony rentgenowskiej wykorzystywane są różne systemy detektorów. Umożliwiają one zapis i archiwizację badania w postaci cyfrowej, bezpośrednio w pamięci komputera lub na nośniku elektronicznym. Obraz cyfrowy można dowolnie przetwarzać i korygować oraz przysyłać, na przykład do oceny różnym osobom. Wprowadzenie do użytku radiografii cyfrowej w latach 80. dwudziestego wieku dało początek teleradiologii.

- *Prześwietlenie* („skopia”): konieczne jest przy ocenie czynności pewnych narządów: serca, przepony, zmian jasności pól płucnych w różnych fazach oddychania, badania czynności przewodu pokarmowego. Pomocne są przy pewnych zabiegach, takich jak: nastawianie złamanych kości, usuwanie ciał obcych. Jeżeli na zdjęciu RTG zachodzi zjawisko sumacji cieni, to za pomocą skopii możliwe jest wyprojektowanie składowych wspólnego cienia. Obrazy uzyskiwane w trakcie prześwietlenia są pozytywami: cienie gazów są jasne, kości ciemne. Zestaw do prześwietleń składa się z lampy RTG i wzmacniacza obrazu. Ten ostatni jest przetwornikiem, zmieniającym obraz promieniowania RTG na obraz światła widzialnego. Promienie RTG, padające na znajdujący się w bańce szklanej ekran luminescencyjny, powodują zjawisko luminescencji. Światło padające na fotokatodę powoduje emisję elektronów. Te z kolei padają na umieszczoną w bańce szklanej anodę – ekran wtórny, który może być połączony z torem wizyjnym i kamerą. Skopia – w związku z koniecznością oceny czynności narządów – wymaga dłuższych czasów ekspozycji niż zdjęcie, toteż wiąże się z wyższą dawką promieniowania pochłoniętą przez pacjenta.
- *Radiofotografia*, czyli tzw. *zdjęcia małoobrazkowe*: Zdjęcia RTG wykonywane są na błonach zwojowych i odczytywane na powiększalniku. Ze względu na niskie koszty były wykorzystywane w badaniach przesiewowych dużych grup ludności (poradnie przeciwgruźlicze, badania okresowe i wstępne).



- *Zdjęcia warstwowe, czyli tomograficzne.* Ponieważ obraz radiologiczny jest sumą wszystkich szczegółów znajdujących się na drodze przebiegu promieni, jeżeli chcemy uwidocznić przedmiot ukryty poza innymi elementami, stosujemy zdjęcia warstwowe. Podczas wykonywania zdjęć lampa i kasetka przesuwały się w przeciwstawnych względem siebie kierunkach. Na błonie uwidaczniają się elementy pozostające w stałej odległości i od lampy, i od kasety (w osi obrotu lampy), inne są niewyraźne. W badaniach warstwowych grubość badanych warstw wynosi od kilku milimetrów do kilku centymetrów; grubsze obejmują większy obszar tkanek. Ten rodzaj badań nazywa się zonografią. Dzięki znanej grubości warstw możliwe jest ustalenie, na jakiej głębokości w obrębie tkanek znajduje się ewentualna zmiana patologiczna. Zdjęcia warstwowe nazywane są tomografią klasyczną. Obecnie metoda ta została zastąpiona przez tomografię komputerową.

Przeciwwskazania do badań rentgenowskich

- ciąża (poza stanem zagrożenia życia kobiety),
- brak pisemnej zgody pacjenta na badanie,
- brak współpracy ze strony pacjenta (badanie możliwe po znieczuleniu pacjenta).

Tomografia komputerowa

W tomografii komputerowej (TK) wykorzystuje się promienie rentgenowskie do uzyskania obrazu poprzecznych warstw ciała pacjenta w diagnostyce m.in. schorzeń ośrodkowego układu nerwowego, jamy brzusznej, klatki piersiowej, miednicy małej i narządu ruchu. Metoda ta umożliwia wychwycenie bardzo małych różnic gęstości pomiędzy tkankami i w ten sposób zobrazowanie zmian patologicznych. Do praktyki klinicznej TK została wprowadzona w 1972 roku przez G.N. Hounsfielda, który wraz z A.M. Cormackiem otrzymał za to odkrycie nagrodę Nobla w 1979 roku. Stosowane od lat siedemdziesiątych XX wieku tomografy komputerowe przeszły w tym okresie znaczną ewolucję, obejmującą zmiany w procesie uzyskiwania danych potrzebnych do rekonstrukcji obrazu badanej płaszczyzny oraz technologii ich przetwarzania. Najbardziej znaczące etapy tego rozwoju określono jako kolejne generacje systemów. Poprzednio stosowano systemy IV generacji, w których detektory rozmieszczone są na obwodzie bramki skaningowej, a lampa wykonuje obrót o 360 stopni dookoła ciała pacjenta, prześwietlając go wachlarzową wiązką promieni X.

Obecnie stosuje się systemy V generacji, których budowa opiera się na jednoczesnym ruchu lampy oraz detektorów ułożonych w rzędach. Zwiększenie liczby rzędów pozwala uzyskać większą liczbę danych w trakcie obrotu lampy, nie jest konieczny obrót o 360 stopni, by otrzymać obraz danej warstwy. Większość badań jest wykonywana w technice spiralnej, będącej ciągłą akwizycją w trakcie przesuwania stołu z pacjentem. Duża liczba detektorów pozwala na „rozciągnięcie” spirali, czyli na szybki przejazd stołu z pacjentem przez gantry bez obniżenia wartości diagnostycznej badania.

Sygnały elektryczne, pochodzące z detektorów promieniowania X, umieszczonych w bramce skaningowej, niosą informację o pochłanianiu wiązki promieniowania przechodzącej przez ciało pacjenta prostopadle do jego długiej osi. W każdej fazie skaningu napięcie z danego detektora podlega procesowi próbkowania (samplingu) i konwersji analogowo-cyfrowej. Na tej podstawie komputer określa sumaryczny liniowy współczynnik absorpcji promieniowania X. Bazując na nim, oblicza jednostkę stosowaną do rekonstrukcji obrazu CT, tzw. CTN (ang. *computed tomography number*), zwaną również jednostką Hounsfielda. Dokładność odwzorowania, uzyskiwana w metodzie tomografii CT, pozwala na obliczenie CTN elementu tkanki z dokładnością do 1 jednostki. Umożliwia to rozróżnienie w uzyskanym obrazie nawet niewielkich zmian gęstości tkanek. Współczynnik liniowego pochłaniania promieniowania zależy od gęstości tkanki. Skala Hounsfielda (tab. 1) została stworzona na podstawie porównania względnej gęstości tkanek do gęstości wody, która otrzymała wartość „0”. Poziom gęstości jest przedstawiany w skali szarości. Skala Hounsfielda obejmuje do 4096 stopni. Monitory służące do oceny badań pozwalają na wyświetlanie 256 stopni szarości, dlatego do oceny różnych tkanek ogranicza się zakres wyświetlanej części skali Hounsfielda. W tym celu określa się poziom okna (wartość środkowa ocenianego zakresu) i jego szerokość (liczba jednostek Hounsfielda stanowiąca oceniany zakres), otrzymując np.: okno płucne, śródpiersiowe, kostne itd.



Tabela I. Skala Hounsfielda

Rodzaj tkanki/narządu	Gęstość
Woda	od -5 do 5
Powietrze	-1000
Tłuszcz	od -80 do -100
Tłuszcz/tk. łączna	od -80 do 50
Istota gąbczasta kości	od 30 do 230
Istota zbita kości	> 250
Płuco	od -500 do -900
Narządy mięszone	od 10 do 90
Krew	od 50 do 60
Skrzepy krwi	od 70 do 90
Tarczycyca	od 60 do 80
Trzustka	od 30 do 50
Śledziona	od 40 do 50
Nadnercze	od 25 do 30
Nerka	od 20 do 40
Wątroba	od 60 do 70
Mięśnie	od 40 do 50
Wyсіk	od 20 do 30
Prześięk	od 16 do 20

W badaniach tomograficznych stosowane są środki cieniujące, czyli substancje o wysokim stopniu pochłaniania promieni rentgenowskich. W przypadku badań jamy brzusznej i miednicy mniejszej stosuje się środki podawane doustnie, zakontrastowanie przewodu pokarmowego pozwala na dokładniejszą ocenę zmian w jego obrębie oraz w bezpośrednim sąsiedztwie. Drugą grupą są środki cieniujące dożylnie, które pozwalają nie tylko zobrazować naczynia krwionośne, lecz także umożliwiają ocenę patologii na podstawie różnicy w sile wzmocnienia kontrastowego. Przy użyciu tomografów wielorzędowych możliwe jest kilkukrotne skanowanie po jednorazowym, dożylnym podaniu środka cieniującego. Pozwala to uzyskać dane z fazy tętnicznej, żylniej czy opóźnionej, czyli umożliwia dynamiczną ocenę wzmocnienia.

Na podstawie danych pierwotnych otrzymanych po zbadaniu pacjenta wykonuje się rekonstrukcje z zastosowaniem odpowiednich dla danego badania parametrów (grubość warstwy, okno itd), które następnie poddane są ocenie.

Nowoczesne aplikacje pozwalają na różnorodną analizę uzyskanych danych. Do podstawowych rodzajów rekonstrukcji należą:

- *rekonstrukcje wielopłaszczyznowe (MPR – multi-planar reconstruction)* – otrzymana w badaniu matryca odpowiadająca badanemu obszarowi ciała pozwala na uzyskanie przekrojów pod dowolnym kątem, w większości wypadków wykonuje się rekonstrukcje w płaszczyznach poprzecznych, czołowych oraz strzałkowych;
- *rekonstrukcje objętościowe (VRT – volume rendering technique)* – pozwalają na tworzenie obrazów 3D i ich obróbkę, aplikacja wykonuje obrazy 3D struktur, których gęstość jest wyższa od określonego wcześniej punktu odcięcia;
- *rekonstrukcje maksymalnej intensywności (MIP – maximum intensity projection)* – polegają na wzmocnieniu obszarów o najwyższej gęstości znajdujących się na sąsiednich warstwach badania i zobrazowania ich rzutu zgodnego z płaszczyzną obserwacji.

Wykonane badania archiwizowane są w formie elektronicznej w postaci obrazów w standardzie DICOM. Obecnie, ze względu na dobrą dostępność aparatów TK, stosunkowo proste przygotowanie oraz krótki czas badania, tomografia komputerowa jest podstawową metodą diagnostyczną stosowaną w radiologii.

Przeciwwskazania

- ciąża (poza stanem zagrożenia życia kobiety),
- brak pisemnej zgody pacjenta na badanie,
- brak współpracy ze strony pacjenta (badanie możliwe po znieczuleniu pacjenta),
- skrajnie ciężkie przypadki klaustrofobii (do rozważenia badanie w znieczuleniu ogólnym).

Piśmiennictwo

1. *Hofer M.*: Podręcznik tomografii komputerowej. MediPage. Warszawa 2008.
2. *Oestmann J.W.*: Radiologia kliniczna – zaczynamy. MediPage. Warszawa 2007.
3. *Prokop M., Galanski M.*: Spiralna i wielorzędowa tomografia komputerowa człowieka. MediPage. Warszawa 2007.
4. *Pruszyński B.*: Diagnostyka obrazowa. Rtg, TK, USG, MR i medycyna nuklearna. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 2008.
5. *Wegener O.H.*: Whole Body Computed Tomography. Blackwell Scientific Publications. Hamburg 1992.

2. Diagnostyka ultradźwiękowa

Wojciech Wawrzynek, Anna Siemianowicz

Badania ultradźwiękowe, należące obecnie do rutynowej diagnostyki zmian morfologicznych wielu narządów i tkanek, są wykorzystywane praktycznie przez wszystkie specjalności lekarskie.

O popularności, przydatności i powszechnym zastosowaniu ultrasonografii decyduje brak jakichkolwiek przeciwwskazań, niskie koszty, stosunkowo krótki czas badania, duża dostępność oraz pełne bezpieczeństwo pacjentów. W wielu chorobach badanie ultrasonograficzne wystarcza do postawienia pełnego i prawidłowego rozpoznania, bez konieczności wykonywania innych, bardziej obciążających, droższych czy trudniej dostępnych badań. W wielu schorzeniach badanie USG jest badaniem z wyboru. W medycynie do celów diagnostycznych wykorzystywane są ultradźwięki o częstotliwości 1–20 MHz.

W organizmie człowieka fale ultradźwiękowe ulegają odbiciu, rozproszeniu, załamaniu i pochłanianiu. Obraz narządów powstaje na podstawie fal odbitych, odbywa się to dzięki analizie różnic oporu akustycznego poszczególnych narządów leżących na drodze wiązki ultradźwiękowej. Fale ultradźwiękowe są wytwarzane i odbierane przez głowice ultrasonograficzne (przetworniki, sondy). Impulsy ultradźwiękowe powstają na zasadzie odwrotnego zjawiska piezoelektrycznego w przetwornikach piezoelektrycznych umieszczonych na przedniej powierzchni głowicy, która odbiera echo i wykorzystując zjawisko piezoelektryczne zamienia go na sygnał elektryczny, który po wzmocnieniu pozwala na uzyskanie obrazów diagnostycznych na ekranie monitora.

Nowoczesne aparaty USG działają na tyle szybko, że umożliwiają uzyskanie w czasie rzeczywistym obrazów ruchomych tkanek pacjenta, co pozwala na ocenę między innymi skurczu serca, tętnienia naczyń, ruchów oddechowych, perystaltyki przewodu pokarmowego czy ruchów płodu.

Rozdzielczość przestrzenna oraz głębokość penetrowanego obszaru zależą od częstotliwości fal. Głowice o wysokiej częstotliwości umożliwiają uzyskanie wyższej rozdzielczości przestrzennej, jednak głębokość penetrowanego obszaru jest mniejsza, natomiast głowice o niższej częstotliwości pozwalają na większą penetrację tkanek kosztem mniejszej rozdzielczości.

W diagnostyce stosuje się głowice liniowe, konweksowe, sektorowe, a kryterium takiego podziału jest ich budowa.

Głowica liniowa zbudowana jest z leżących w jednej linii kryształów piezoelektrycznych, wysyła do tkanek równoległą wiązkę ultradźwięków. Przy ich udziale uzyskuje się obraz prostokątny, którego szerokość zależy od szerokości przylegającej głowicy (tzw. okna akustycznego). Dzięki równoległemu kształtowi wiązki ultradźwięków uzyskany obraz nie wykazuje zniekształceń. Głowice te stosuje się do badania narządów leżących powierzchownie (przy odpowiednich częstotliwościach), takich jak: piersi, tarczyca, jądra, mięśnie itd.

W **głowicy sektorowej** wiązka ultradźwięków jest wysyłana z jednego centralnego punktu, ma kształt promienisty (o kącie 60, 90 lub 120 stopni). Uzyskany obraz w kształcie wachlarza jest stosunkowo wąski w pobliżu głowicy i rozszerza się coraz bardziej w miarę oddalania się od niej. Obraz uzyskany głowicą sektorową pozwala na dobry przegląd narządów położonych głębiej. Obecnie najczęściej wykorzystywana jest w badaniach kardiologicznych.

Głowica konweksowa jest w swego rodzaju kompromisem pomiędzy liniową i sektorową – połączeniem tych dwóch rodzajów głowic. Wysyłana wiązka ultradźwięków jest lekko rozbieżna. Szerokość głowic konweksowych jest zwykle większa od sektorowych, a mniejsza od liniowych.

W zależności od przeznaczenia w badaniach ultrasonograficznych stosuje się również głowice endokawitarne (dopochwowe, doodbytnicze). Możliwe jest również – z zastosowaniem odpowiednich głowic – wykonywanie badań USG przezprzełykowych, donaczyniowych i śródoperacyjnych.



Do większości badań USG pacjent nie wymaga specjalnego przygotowania, poza badaniem jamy brzusznej. Pacjent powinien być wtedy na czczo, a jeżeli nie jest to możliwe, to przerwa od ostatniego posiłku powinna wynosić 6 godzin. W przypadku zalegania dużej ilości gazów jelitowych wskazane jest wcześniejsze przyjęcie przez pacjenta resorbujących je środków. Do badania miednicy małej przez powłoki jamy brzusznej, pęcherz moczowy powinien być dobrze wypełniony, ponieważ stanowi on „okno akustyczne” pozwalające na dobre zobrazowanie narządów miednicy małej. W badaniu USG wymagane jest zastosowanie specjalnego żelu, który powoduje lepsze przyleganie głowicy do skóry pacjenta, eliminując jednocześnie pęcherzyki powietrza pomiędzy głowicą a skórą. Żel ultrasonograficzny powinien być podgrzany do temperatury ciała pacjenta. Obraz USG można uzyskać w każdej płaszczyźnie anatomicznej, stosując odpowiednie ułożenia głowicy. Standardowo poszczególne narządy powinno się oceniać w płaszczyźnie osiowej, czołowej i strzałkowej. Badanie USG pozwala na ocenę dynamiczną niektórych tkanek narządów – zwłaszcza w badaniach układu kostno-stawowego. Badania USG wykonuje się z reguły w ułożeniu pacjenta na plecach (czasem w pozycji siedzącej bądź stojącej, zależnie od badanego narządu i okolicy ciała), w przyziemnym pomieszczeniu, w wygodnej dla pacjenta pozycji. Przenośne aparaty USG pozwalają na wykonywanie badań przyłóżkowych.

Szczególnym rodzajem badania USG jest **badanie dopplerowskie**. Zjawisko Dopplera polega na zmianie częstotliwości ech powracających w stosunku do częstotliwości impulsów emitowanych na skutek odbicia fal dźwiękowych od poruszającego się obiektu, czyli czerwonych krwinek. W przypadku przepływu krwi od głowicy częstotliwość odbieranych ech jest mniejsza niż impulsów emitowanych, w przypadku przepływu do głowicy częstotliwość odbieranych ech jest większa od częstotliwości impulsów emitowanych. Badanie dopplerowskie pozwala wykryć obecność przepływu krwi, ocenić jego wielkość i prędkość. Dzięki niemu można otrzymać obraz kodowany kolorem oraz widmo przepływu. Umożliwia ocenę ściany naczyń z uwidocznieniem ewentualnych blaszek miażdżycowych, ocenę zwężeń (zarówno długość, jak i stopień zwężenia), ocenę malformacji naczyniowych (głównie tętniaków i przetok tętniczo-żylnych) oraz pozwala na ilościową ocenę przepływu krwi.

Ultrasonografia trójwymiarowa 3D. Współczesne ultrasonografy posiadające odpowiednie oprogramowanie pozwalają stworzyć przestrzenną rekonstrukcję obrazowanych narządów, odbywa się to dzięki szybkiemu, cyfrowemu przetwarzaniu i obróbce wielu obrazów, opcja ta dość często wykorzystywana jest w położnictwie. Ultrasonografia 4D to tworzenie obrazów 3D w czasie rzeczywistym.

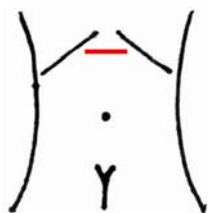
Badania USG, poza rolą diagnostyczną, pozwalają na działanie terapeutyczne – wykonywanie biopsji pod kontrolą USG i pobieranie materiału oraz podawanie leków miejscowo do wybranych obszarów.

W określonych przypadkach poprawę obrazu ultrasonograficznego można uzyskać poprzez stosowanie donaczyniowych środków kontrastujących. Ultrasonograficzne środki kontrastujące to mikropęcherzyki gazu silnie odbijające ultradźwięki, co pozwala na uwidocznienie drobnych zmian i określenie ich charakteru. Okres półtrwania mikropęcherzyków we krwi wynosi kilka minut.

Badanie USG, jak każde badanie diagnostyczne, kończy się sporządzeniem wyniku, który powinien zawierać dokładny opis położenia, wielkości, wymiarów badanych narządów oraz stwierdzanych w nich nieprawidłowości, wnioski diagnostyczne, ewentualnie propozycje kolejnych badań, a także dokumentację zdjęciową. Wartość diagnostyczna badania USG w dużej mierze zależy od wiedzy i doświadczenia wykonującej je osoby.

Standardowe przekroje w badaniu USG jamy brzusznej

1.

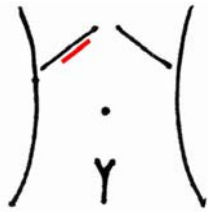


Przekrój poprzeczny przez nadbrzusze.

Obrazowane narządy: wątroba, trzustka, naczynia.



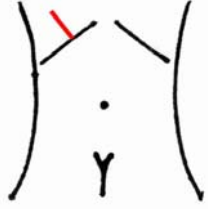
2.



Przekrój skośny pod prawym łukiem żebrowym.

Obrazowane narządy: wątroba, pęcherzyk żółciowy.

3.



Przekrój międzyżebrowy prawy.

Obrazowane narządy: wątroba, wnęka wątroby, pęcherzyk żółciowy, drogi żółciowe.

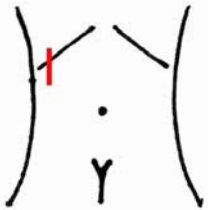
4.



Rozszerzony przekrój międzyżebrowy prawy.

Obrazowane narządy: wątroba, wnęka wątroby, pęcherzyk żółciowy, drogi żółciowe.

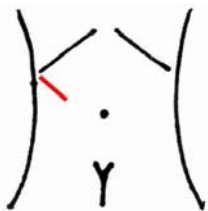
5.



Przekrój podłużny przyśrodkowy.

Obrazowane narządy: wątroba, wnęka wątroby, pęcherzyk żółciowy, drogi żółciowe, nerka prawa.

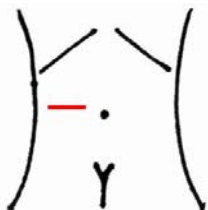
6.



Przekrój boczny prawy.

Obrazowane narządy: wątroba, nerka prawa.

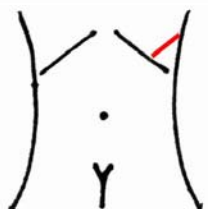
7.



Przekrój poprzeczny prawy przez śródbrzusze.

Obrazowane narządy: nerka prawa.

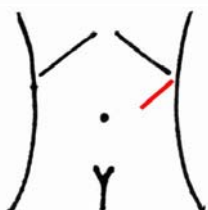
8.



Wysoki przekrój międzyżebrowy lewy.

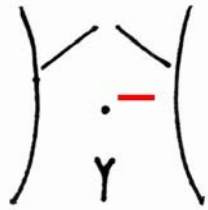

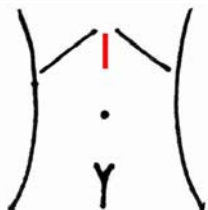
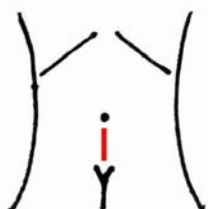
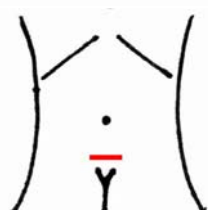
Obrazowane narządy: śledziona.

9.



Przekrój boczny lewy.

Obrazowane narządy: śledziona, nerka lewa.

10.  Przekrój poprzeczny lewy przez śródbrzusze.
Obrazowane narządy: nerka lewa.
11.  Przekrój skośny pod lewym łukiem żebrowym.
Obrazowane narządy: śledziona, nerka lewa.
12.  Przekrój podłużny przez nadbrzusze.
Obrazowane narządy: wątroba, żołądek, naczynia.
13.  Przekrój podłużny przez podbrzusze.
Obrazowane narządy: pęcherz moczowy, odbytnica, macica, gruczoł krokowy.
14.  Przekrój poprzeczny przez podbrzusze.
Obrazowane narządy: pęcherz moczowy, odbytnica, macica, jajniki, gruczoł krokowy.

Słowniczek

- cień akustyczny – czarna smuga za zwapnieniem, złogiem lub gazem
- echoujemny (bezechowy) – płyn czarny na monitorze
- heterogenna struktura – nieprawidłowy obszar w obrębie narządu
- hiperechogeniczny – o wzmożonym echu – jaśniejszym w stosunku do otaczającego narządu
- hipoechogeniczny – o obniżonym echu – ciemniejszym w stosunku do otaczającego narządu
- homogenny – jednorodny
- niehomogenny – niejednorodny
- normoechogeniczny – o prawidłowym echu (przyjętym jako standard)
- odbicie echa – powstaje na granicy dwóch ośrodków, znacznie różniących się prędkością przewodzenia ultradźwięków, np. na granicy zdrowej tkanki i zwapnienia lub kości

Prawidłowe wymiary niektórych narządów w USG

- wątroba w wymiarze cranio-caudalnym: 12–13 cm (< 15 cm)
- żyła wrotna < 1,5 cm (na wdechu)
- żyły wątrobowe < 0,5 cm
- pęcherzyk żółciowy:
 - długość < 10 cm
 - szerokość < 4 cm



- grubość ściany < 0,4 cm
- drogi żółciowe:
 - wewnątrzwątrobowe < 0,4 cm
 - zewnątrzwątrobowe < 0,6 cm
- PŻW: 0,3–0,8 cm
- PŻW po cholecystectomii < 1 cm
- trzustka: głowa < 3 cm, trzon 2,5 cm, ogon 2,5 cm
- przewód trzustkowy < 2 mm w trzonie i ogonie, < 3,5 mm w głowie
- żyła śledzionowa < 1 cm
- śledziona: długość 12 cm, szerokość 7 cm, głębokość 4 cm
- prostata:
 - szerokość < 4,5 cm
 - głębokość < 3,5 cm
 - długość < 3,5 cm
 - objętość < 25 ml
- aorta podprzeponowo < 25 mm

Piśmiennictwo

1. *Ahuja A.T.*: Diagnostic Imaging Ultrasound. Amirsys. Salt Lake City 2007.
2. *Brant W.E., Helms C.A.*: Podstawy diagnostyki radiologicznej. MediPage. Warszawa 2007.
3. *Krebs C.A., Giyanani V.L., Eisenberg R.L.*: Atlas ultrasonografii. Uni-Druk. Poznań 1993.
4. *Kremer H., Dobrinski W.*: Diagnostyka ultrasonograficzna. Urban & Partner. Wrocław 2004.
5. *Małek G.*: Ultrasonografia dopplerowska zastosowanie kliniczne. MediPage. Warszawa 2003.
6. *Palmer P.E.S.*: Diagnostyka ultrasonograficzna. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 1997.
7. *Pruszyński B.*: Diagnostyka obrazowa podstawy teoretyczne i metodyka badań. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 2000.
8. *Schmidt G.*: Ultrasonografia. MediPage. Warszawa 2008.



3. Podstawy obrazowania metodą rezonansu magnetycznego

Magdalena Machnikowska-Sokołowska, Ewa Kluczevska

Zjawisko rezonansu magnetycznego (MR) odkryli niezależnie w 1946 roku fizycy, E. Purcell i F. Bolch, a w 1952 roku przyznano im za to odkrycie nagrodę Nobla. MR wykorzystuje niskoenergetyczne fale o częstotliwości fali radiowych, w celu uzyskania obrazów narządów wewnętrznych ciała ludzkiego.

Badania wykonywane są z użyciem tomografu rezonansu magnetycznego (TRM), w skład którego wchodzi magnes – duża cewka, wewnątrz której umieszczony jest pacjent (od własności tego magnesu bierze nazwę cały aparat np. 1,5- lub 3-teslowy). Cewka wytwarza stałe, jednorodne pole magnetyczne. W pobliżu badanej części ciała znajdują się dodatkowe cewki nadawczo-odbiorcze, które włączone w obwód prądu zmiennego wytwarzają zmienne pole magnetyczne.

Zasada powstawania obrazu MR

Atomy zbudowane są z jądra atomowego i powłok, na których krążą elektrony. W skład jądra atomowego wchodzi protony i neutrony, a w przypadku jądra atomu wodoru – pojedynczy proton o dodatnim ładunku elektrycznym. Protony dokonują obrotu wokół własnej osi, to znaczy posiadają moment pędu, tzw. spin. Z ruchem ładunku – np. dodatniego (protonu) powstaje moment magnetyczny, czyli własne pole magnetyczne. Kierunki i zwroty momentów magnetycznych poszczególnych protonów są przypadkowe, nieuporządkowane, ale pod wpływem silnego, stałego, zewnętrznego pola magnetycznego cewki aparatu MR momenty magnetyczne protonów ustawiają się „równoległe” lub „antyrównoległe” względem kierunku działania tego pola, czyli wg magnetyzacji podłużnej. To zewnętrzne pole magnetyczne oddziałuje na momenty magnetyczne protonów jąder atomu wodoru, występujących w ciele ludzkim, przede wszystkim w wodzie, stanowiącej główny jego składnik. Protony dokonują ruchu precesyjnego wokół linii sił pola magnetycznego (podobnie jak bączek wirujący wokół linii pola magnetycznego Ziemi). Częstotliwość ruchu precesyjnego zależy od natężenia zewnętrznego pola magnetycznego – zależność tę opisuje równanie Larmora. Cewki nadawczo-odbiorcze, znajdujące się w pobliżu badanej części ciała pacjenta, wysyłają impuls pod postacią fali elektromagnetycznej (RF – *Radio Frequency*) o częstotliwości równej częstotliwości precesji protonów (zjawisko rezonansu elektromagnetycznego). Zaburza to istniejący stan magnetyzacji podłużnej i powoduje powstanie tzw. magnetyzacji poprzecznej. Kiedy impuls RF zostanie wyłączony, magnetyzacja podłużna ponownie narasta, co opisane jest stałą czasową T_1 (czas relaksacji podłużnej), a magnetyzacja poprzeczna obniża się i zanika, co opisane jest stałą czasową T_2 (czas relaksacji poprzecznej). Czas T_1 jest dłuższy od czasu T_2 . Suma wektora magnetyzacji podłużnej i magnetyzacji poprzecznej daje zmieniający się wypadkowy wektor przedstawiający całkowity moment magnetyczny danej tkanki. Wektor ten, na skutek wspomnianych zjawisk, zmienia swój zwrot i wartość, co można zarejestrować jako sygnał NMR – FID (*Free Induction Decay*), odbierany przez część odbiorczą cewki nadawczo-odbiorczej. Na obraz tkanek w MR mają wpływ liczne parametry, takie jak: T_1 , T_2 , gęstość protonowa PD, sekwencja i parametry impulsów.

Zależnie od częstotliwości i rodzaju wyzwalanych przez cewkę nadawczo-odbiorczą impulsów, można otrzymać obrazy z przewagą T_1 – (np. przy TR = 600 ms, Te = 20 ms), obraz z przewagą T_2 (np. TR = 2000 ms, TE = 80 ms) lub PD – gęstości protonowej (np. TR = 2000 ms, TE = 20 ms). Sygnał indukowany przez protony w danej warstwie jest rejestrowany w pamięci komputera. Składa się on z nałożonych na siebie sygnałów, pochodzących od poszczególnych elementów warstwy. Można je wyodrębnić, ponieważ dzięki specjalnemu ukształtowaniu pola magnetycznego sygnały składowe odznaczają się różnymi częstotliwościami. Analizy sygnału, pochodzącego od całej warstwy, dokonuje



komputer na drodze obliczeniowej, stosując transformację Fouriera. W wyniku otrzymuje się informacje o intensywności sygnału indukowanego oddzielnie przez każdy element warstwy.

Obraz warstwy powstaje przez wyświetlenie mapy intensywności sygnałów na ekranie monitora. Jest to więc obraz przekroju przechodzącego przez wybrane miejsce badanego obiektu. Poszczególne narządy stają się w nim widoczne wskutek różnorodności różnych tkanek do indukowania sygnału. Przechodząc, warstwa po warstwie, przez pewną objętość badanego obiektu, można zgromadzić w komputerze informacje o całej jego objętości.

Metody obrazowania MR

W diagnostyce obrazowej stosowane są magnesy stałe, oporowe i nadprzewodzące.

Najczęściej używane są magnesy nadprzewodzące. Umożliwiają one wytwarzanie bardzo silnych pól magnetycznych, których źródłem jest prąd elektryczny w uzwojeniu wykonanym z nadprzewodnika i utrzymywanym w temperaturze ciekłego helu (-269°C). Zaletą takich magnesów jest duża jednorodność i stabilność pola, przy niskim poborze energii, ale wymagają ciągłej dostawy substancji chłodzących (ciekłego helu lub azotu).

Inne elementy składowe tomografu rezonansu magnetycznego to:

- 1) cewki korekcyjne, likwidujące niejednorodności pola wytworzonego przez magnes główny (dzięki temu, że same wytwarzają słabe pole magnetyczne),
- 2) cewki gradientów, wytwarzające dodatkowe, liniowo zmieniające się w przestrzeni pola magnetyczne, co pozwala kodować informację o położeniu obrazowanych tkanek,
- 3) cewki RF emitujące wzbudzone impulsy RF i odbierające wysyłany sygnał przez tkanki.

TRM musi być odpowiednio ekranowany elektromagnetycznie i magnetycznie od otoczenia, co wymaga utworzenia wokół aparatu „klatki Faradaya”, tj. pokrycia ścian całego pomieszczenia np. folią miedzianą.

Obrazowanie przy użyciu TMR opiera się na zupełnie innych zasadach fizycznych niż dotąd stosowane w diagnostyce radiologicznej.

Poszczególne sekwencje umożliwiają ocenę tkanek badanego organizmu. W najczęściej dzisiaj używanej sekwencji impulsów echa spinowego uzyskuje się obrazy ośrodkowego układu nerwowego (OUN) i innych struktur anatomicznych. Obrazowanie z przewagą T_1 wymaga krótkich czasów powtórzenia (TR) i echa spinowego (TE), tj. $TR < 500$ ms lub mocniej obciążone TR niż 300 ms i TE 30 lub 35 ms. Obrazowanie z przewagą T_2 wymaga długich czasów TR i TE, np. 1600/70 ms. Sekwencja rozkładu gęstości protonów jest uzyskiwana przez długi TR 1600–2000 ms i krótki czas echa spinowego TE, np. 35 ms. W badaniu MR głowy sekwencja T_1 zwykle wykonana jest jako pierwsza, gdyż wykorzystując rozkład gęstości protonów, lepiej wyraża obraz struktur anatomicznych mózgu. Następnie otrzymuje się obrazy z przewagą T_2 , charakteryzujące się – przy gorszym obrazowaniu przestrzennym – wyższą czułością rozpoznawczą procesów patologicznych.

Badanie MR można przeprowadzić w dowolnych płaszczyznach, choć zwykle jako pierwsze wykonuje się badanie w płaszczyźnie osiowej w sekwencjach echa spinowego SE/ T_1 , T_2 oraz PD, a dopiero później kontynuuje się sekwencje uzupełniające, lepiej charakteryzujące konkretne zmiany tkankowe. Grubość warstw, w zależności od użytej techniki, może wynosić od 10 do 0,8 mm, zwykle 5 mm. W stwierdzanych zmianach patologicznych (ogniskach uszkodzeń tkanek, takich jak: zapalenia, zmiany nowotworowe, uszkodzenia po urazach) zachodzi zmiana gęstości i mobilności jąder atomów wodoru obecnych w prawidłowych tkankach, co powoduje zmianę czasów relaksacji T_1 oraz T_2 , a w konsekwencji zmianę intensywności sygnałów w obrazach MR.

Nowoczesne sekwencje obrazowania stosowanego w rezonansie magnetycznym

Ze względu na stały rozwój, rozwijane i ulepszane są sekwencje stosowane w rezonansie magnetycznym:

Angiografia magnetyczno-rezonansowa (MRA) to metoda obrazowania naczyń krwionośnych z równoczesnym wytlumieniem tła. Ruch krwi (sekwencja TOF) jest wykorzystywany dla uzyskania bardzo silnego kontrastu w stosunku do nieruchomych tkanek, które w tej metodzie nie dają sygnału,



natomiast uzyskując informację o miejscach przejścia naczyń krwionośnych przez kolejne warstwy, komputer odtwarza ich przestrzenny obraz.

Ważne: Angiografia magnetyczno-rezonansowa nie wymaga bezwzględnego używania środków kontrastowych, dając bardzo wyraźne obrazy naczyń, ale możliwe jest również jej wykonanie z kontrastem.

Dyfuzja rezonansu magnetycznego – DWI to obrazowanie dyfuzyjne rezonansu magnetycznego analizujące ruch cząsteczek wody. Może mieć dwojaki charakter: izotropowy, swobodny lub anizotropowy, ograniczony, gdy uprzywilejowany jest tylko jeden kierunek. Pozwala uzyskać bardzo dokładny obraz, np. rozkładu aksonu – oś długa to kierunek uprzywilejowany, a w kierunku poprzecznym dyfuzja jest silnie ograniczona. Badanie to wykonuje się, stosując ultraszybkie techniki echa gradientowego EPI, dokonując pomiarów w trzech kierunkach: x, y, z przy różnych wartościach b i wyliczeniu tensora dyfuzji na każde b, w celu określenia ADC – *apparent diffusion coefficient*, tzw. efektywnego współczynnika dyfuzji, czyli mapy dyfuzji, tj. mapy ADC.

Wskazania do przeprowadzenia dyfuzji rezonansu magnetycznego (DWI)

W neurologii:

- wczesna ocena krwawienia śródmózgowego,
- diagnostyka udaru niedokrwiennego mózgu, rozróżnianie faz udaru: nadostra 20–30 min (niska dyfuzja, niski ADC), przewlekła (wzrost dyfuzji i wysoki ADC),
- ocena ewolucji krwiaka śródmózgowego i strefy uszkodzenia wokół niego,
- różnicowanie świeżych ognisk niedokrwiennych w obrębie starych blizn poudarowych,
- mapowanie przebiegu włókien oraz ocena ich uszkodzenia (DTI – obrazowanie tensora dyfuzji),
- monitorowanie termoterapii zmian ogniskowych mózgu – dyfuzja jest silnie zależna od temperatury,
- diagnostyka stwardnienia rozsianego (SM) – fazy choroby (ostra, przewlekła).

W neuroonkologii:

- wykrywanie zmian oraz różnicowanie guzów ulegających i nieulegających wzmocnieniu po kontrastowym odbrzęku,
- ocena guza i obrzęku okołoguzowego – ADC dla guza i obrzęku okołoguzowego wyższe niż pozostałej części mózgowia,
- charakterystyczny obraz chłoniaka z wyróżnieniem granic zmiany od otaczającego obrzęku,
- ocena łoża pooperacyjnej,
- diagnostyka torbieli wewnątrzczaszkowych i ich różnicowanie: torbiel pajęczynówki, skórzasta, naskórzasta,
- diagnostyka ropni mózgu.

Spektroskopia rezonansu magnetycznego MRS jest nieinwazyjnym badaniem umożliwiającym uzyskanie informacji dotyczących składu biochemicznego tkanek *in vivo*. MRS wykorzystuje sygnały rezonansowe jąder wodoru, węgla, fluoru, sodu i fosforu. Najpowszechniej stosowana jest spektroskopia protonowa i fosforowa, ze względu na kluczową rolę wodoru i fosforu w organizmach żywych. Obecnie MRS służy do badań mózgu, choć w publikacjach wspomina się o zastosowaniu go w badaniach serca, wątroby, prostaty, szpiku kostnego. Badania MRS *in vivo* mózgowia wykonywane są metodą pojedynczego voxela SVS lub metodą obrazowania przesunięcia chemicznego CSI, która równocześnie rejestruje sygnały z sąsiadujących voxelów w wybranym obszarze. Informacje przedstawiane są w postaci widma zawierającego spektra dla poszczególnych metabolitów, następnie wylicza się tzw. pole pod krzywą do wyznaczenia stosunków badanych metabolitów w badanym obszarze. W CSI informacje przedstawia się w postaci map dla poszczególnych metabolitów.

Spektroskopia NMR ma możliwość oceny otoczenia, w jakim znajduje się określony atom w cząsteczce. Na częstotliwość rezonansową poszczególnych jąder wpływ mają elektrony wiązań w cząsteczce, zatem jest zależna od struktury związku chemicznego. Jądra atomów wchodzących w skład cząsteczki otoczone są elektronami, a zachodzące między nimi oddziaływania magnetyczne prowadzą do zmian efektywnego pola działającego na jądro – tzw. efekt ekranowania. W związku z tym, inna będzie częstotliwość rezonansowa dla takiego jądra, ponieważ warunek rezonansu odnosi się do pola efektywnego B. Zjawisko zależności częstości rezonansowej od sytuacji chemicznej, w jakiej znajduje się jądro i związane z tym różnice częstości nazywane jest przesunięciem chemicznym.



Skutkiem niegasnących prądów wzbudzanych w chmurze elektronów przez pole magnetyczne jest powstawanie przesunięć chemicznych. Prądy generują pole magnetyczne, które wpływa na wartość lokalną. Po widmie można rozpoznać daną cząstkę, wnioskować o jej budowie, a dodatkowo można określić stosunki stężenia poszczególnych składników.

Widma rejestrowane są przy różnych czasach echa (TE), najczęściej 20, 30, 135, 144 i 270 msek. Widmo rejestrowane przy krótkim czasie echa (TE = 20 lub 30 msek) zawiera sygnały od większej liczby metabolitów, bo składa się z substancji o krótkich czasach relaksacji. Długie czasy echa (TE rzędu 135, 144, 240–270 msek) stosuje się, gdy zachodzi konieczność wytlumienia sygnałów pochodzących od związków lipidowych i wody międzykomórkowej. W celu identyfikacji w inwersji sygnału pochodzącego z mleczanów, stosuje się czas echa równy TE = 135 lub 144 msek. W przypadku długich czasów echa w rejestrowanym widmie obserwuje się tylko sygnały pochodzące od NAA, Cr i Cho. Po uzyskaniu widma, eliminując błędy i zniekształcenia, stosuje się korekcję linii bazowej i fazy. Znaczne zniekształcenie widma może wynikać z niedostatecznego wytlumienia sygnału wody.

Odcięcie wielomianu od krzywej widma to pozioma linia bazowa. W widmie rezultaty ulegają zniekształceniu w zależności od przesunięcia fazowego i od częstotliwości, co spowodowane jest opóźnieniem niezbędnym do osiągnięcia równowagi odbiornika, w tym czasie składowe sygnały swobodnej precesji przechodzą przez różne kąty fazowe, powodując przesunięcie fazowe sygnału. Korekcję błędów przeprowadza się, mnożąc funkcję kształtu linii rezonansowej przez współczynnik fazowy zależny od częstotliwości. W celu poprawienia automatycznej korekcji fazy można zmienić stałą fazę, dążąc do tego, aby pik zachował symetryczny kształt, a całe widmo znajdowało się powyżej poziomu zera. Wyjątkiem w tym przypadku jest widmo mleczanów otrzymane dla czasu echa 135 ms, które odwrócone jest o 180°.

Dzięki badaniom spektroskopowym możliwe są obserwacje rodzaju i stężenia metabolitów występujących w interesującej lekarza tkance. Pozwala to na bezinwazyjne uzyskanie dodatkowych informacji przydatnych do postawienia diagnozy.

W diagnostyce medycznej najczęściej jest stosowana spektroskopia *in vivo* jąder wodoru ^1H , zwana spektroskopią protonową. W widmie protonowym prawidłowej tkanki nerwowej obecne są sygnały następujących metabolitów:

- *N* – *acetyloasparaginian* (NAA) – jego główne składniki to grupa COCH w widmie zdrowego mózgu, a także grupa CH₂. Ponieważ NAA wchodzi w skład neuronu i osłonki aksonu, nazywany jest znacznikiem neuronów. Wiele procesów patologicznych, np. guzy, obrzęk, stan zapalny, ogniska padaczkorodne wpływają na poziom NAA, a tym samym na intensywność sygnału tego metabolitu w widmie protonowym. Spadek stężenia NAA może wynikać zarówno z ubytku neuronów, jak też z obniżenia stężenia NAA w neuronach, co jest skutkiem zaburzeń ich funkcji. Spadek NAA wiąże się ze zmniejszeniem liczby prawidłowych komórek, neuronów lub aksonów w guzach: gliomach, oponiakach, w guzach ektodermalnych (*craniopharyngeoma*), w przerzutach, lecz także w jamach poudarowych, martwicy popromiennej.
- *Cholina* (Cho) – to sygnał pochodzący od grupy cholinowej N(CH₃)₃, zawierający między innymi wolną cholinę i acetylocholinę. Sygnał ten tworzą związki będące pośrednimi produktami tworzenia błony komórkowej. Intensywność sygnału rośnie np. podczas procesu rozpadu błony komórkowej. Poziom choliny jest stosowany jako znacznik gęstości komórek. Cholina jest prekursorem dla swojej pochodnej będącej głównym budulcem błony komórkowej. Wyznaczany stosunek NAA/Cho jest uważany za ważny wskaźnik podczas szacowania aktywności neuronów, przedstawia on względny stosunek gęstości neuronów do gęstości komórek. Najprawdopodobniej jest najbardziej czułym znacznikiem zaburzeń metabolizmu mózgu, jego wzrost obserwuje się w rozpadzie błony komórkowej.
- *Kreatyna* (Cr) – to sygnał pochodzący od grupy CH₃ i grupy CH₂. Kreatyna związana jest z metabolizmem energetycznym neuronów i gleju, jak również ze stopniem vitalności komórek. W przypadkach obecności guza nowotworowego, urazu, niedotlenienia, obserwowane są zaburzenia poziomu kreatyny. Jej synteza jest związana z enzymami produkowanymi w nerkach i w wątrobie, m.in. stany chorobowe tych narządów mają wpływ na intensywność sygnału. Spadek Cr to wartość niestała, obserwowana w przerzutach do mózgu z nerek, płuc, sutka, prostaty oraz w chłoniaku.
- *Mioinozytol* (Ins, mI) – jest alkoholem cyklicznym, jest uważany za marker gleju, pokazuje zmiany w osmolarności mózgu. Związany jest z metabolizmem błony komórkowej, a jego wzrost przema-



wia za gliozą. Wzrost poziomu mioinozytolu obserwuje się np. w przypadkach stwardnienia rozsianego czy choroby otępiennej, np. Alzheimer'a.

- *Mleczany (Lac)* – to sygnał, który powstaje wskutek oddziaływań protonów grupy CH_3 z protonami grupy CH . Mleczany nie pojawiają się w widmie prawidłowej tkanki nerwowej, ich obecność może sugerować występowanie martwicy w obrębie guza. Podwyższony poziom mleczanów obserwuje się również w przypadku mitochondrialnych zaburzeń metabolicznych oraz w tkankach objętych niedokrwieniem.
- *Wolne lipidy (Lip)* – to sygnał pochodzący od protonowych grup metylowych i metylenowych wolnych związków lipidowych. W zdrowej tkance nie obserwuje się sygnału tłuszczów, pojawia się on natomiast w tkankach zmienionych chorobowo. Podwyższenie ich poziomu obserwuje się w przypadku stwardnienia rozsianego oraz guzów wewnątrzczaszkowych pochodzenia glejowego, nie jest to jednak regułą. Lipidy i mleczany są obecne w procesach beztlenowych, brak ich w prawidłowych tkankach mózgu. Wzrost poziomu lipidów obserwowany jest w: guzach złośliwych, tkance martwiczej guza, w guzie nieleczonym oraz niereagującym na leczenie, martwicy powstałej w odpowiedzi na leczenie. Wzrost mleczanów można wykryć w torbielach, tkance martwiczej, aktywnej tkance guza – tam gdzie zachodzi glikoliza.
- Bursztyniany – obecne są w ropniach.

Przesunięcie chemiczne pozwala na identyfikację substancji chemicznej, znajomość poziomów metabolitów w zdrowych tkankach pozwala stwierdzić, czy ich poziom stwierdzony u badanego chorego mieści się w zakresie normy, czy też odpowiada procesowi patologicznemu. Na podstawie obecności i stosunków metabolitów można wnioskować o charakterze procesu chorobowego.

Ograniczenia metody MRS: Charakteryzuje się stosunkowo niską czułością, ma wysokie wymagania sprzętowe – aparat MR o polu przynajmniej 1,5 T, konieczność uzyskania wysokiej jednorodności pola w badanym obszarze i wytlumienia sygnału wolnej wody oraz długi czas badania.

Rola środków kontrastowych w rezonansie magnetycznym

W badaniu MR stosuje się najczęściej paramagnetyczne środki kontrastowe – związki kompleksowe pierwiastków ziem rzadkich i innych metali (np. gadolin, mangan, kobalt, żelazo, miedź), które nie są toksyczne, w przeciwieństwie do ich jonów w stanie wolnym, a także niektóre molekuly organiczne. Cechą charakterystyczną paramagnetyków jest obecność nieparzystej liczby niesparowanych elektronów w atomach lub cząsteczkach, co prowadzi do pojawienia się wypadkowego momentu magnetycznego. Skutkiem działania środka kontrastowego jest zmiana intensywności sygnału poprzez skrócenie T_1 oraz T_2 protonów w otoczeniu, co powoduje wzmocnienie sygnału na obrazach z przewagą T_1 , a osłabienie na obrazach z przewagą T_2 . Ich wpływ na czasy relaksacji zależy od dawki, typu nośnika danego jonu oraz jego metabolizmu w organizmie. Po podaniu środka kontrastowego ogólnie przyjętą techniką jest obrazowanie T_1 , gdyż łatwiej zauważyć wzrost intensywności sygnału niż jego spadek. Udowodniono, że zastosowanie środków kontrastowych wpływa na poprawę jakości obrazu, zwiększa wykrywalność zmian patologicznych i dokładność diagnostyczną MR.

Nowoczesne środki kontrastowe

Ich cechą charakterystyczną jest to, że wykazują powinowactwo tkankowe. Należą do nich środki kontrastowe:

- *do obrazowania wątroby i dróg żółciowych* – chemicznie modyfikowane zewnątrzkomórkowe chelaty GD z lipofilnymi łańcuchami bocznymi, np. Gd-BOPTA i Gadoksat podawane w bolusie, wychwytywane przez komórki wątroby, w dynamicznych badaniach perfuzyjnych oraz środek kontrastowy, który stanowi chemiczny analog witaminy B_6 częściowo wchłaniany przez hepatocyty,
- *do obrazowania układu siateczkowo-śródbłonkowego* – superparamagnetyczne cząsteczki tlenku żelaza SPIO w zależności od średnicy cząsteczki żelaza (stosowany od 2003 roku),
- ultramałe cząsteczki USPIO opłaszczane dekstranem, służą do oceny węzłów chłonnych (w fazie badań klinicznych),
- *puli krwi*: – wielkocząsteczkowe chelaty gadolinu o właściwościach paramagnetycznych – będące w fazie badań klinicznych,
- środki niskocząsteczkowe łączące się przelotnie z białkami krwi – Vasovist (dopuszczony od 2006 roku).



Wskazania do badań metodą rezonansu magnetycznego

1. Układ nerwowy

Obrazowanie struktur wewnątrzczaszkowych:

- ocena zmian o charakterze guza: umiejscowienie, wpływ guza na sąsiednie struktury mózgowia, kierunek ucisku (wgłobienie, wodogłowie, nadciśnienie wewnątrzczaszkowe), naciekanie, obrzęk, obecność krwi w masie guza, charakter wzmocnienia po podaniu kontrastu,
- ocena zmian demielinizacyjnych: naczyniopochodne, zapalne, SM – określenie ich umiejscowienia oraz ocena aktywności procesu demielinizacyjnego (ogniska demielinizacyjne przewlekłe, „stare” oraz aktywne),
- obrazowanie wad rozwojowych anatomicznych OUN,
- ocena stopnia mielinizacji,
- ocena zmian zapalnych OUN,
- ocena udarów niedokrwiennych: rozległość,
- poszukiwanie i ocena ognisk „padaczkorodnych”,
- ocena patologii układu naczyniowego – badanie angiograficzne MR,
- ocena oczodołów i struktur wewnątrzoczodołowych,
- określenie patologii i ocena jej struktur podwzgórzowo-przysadkowych oraz guzów przysadki mózgowej,
- ocena zmian nowotworowych twarzoczaszki, ich umiejscowienie, stosunek do sąsiadujących z nim struktur anatomicznych, pęczków naczyniowo-nerwowych, ocena guzków ślinianek,
- ocena zmian patologicznych zatok obocznych nosa i nosogardzieli.

Obrazowanie struktur kręgosłupa:

- ocena kanału kręgowego i struktur wewnątrzkanałowych,
- wady wrodzone kręgosłupa i rdzenia kręgowego,
- przedoperacyjna ocena rdzenia kręgowego w skoliozach wrodzonych,
- ocena struktur kostnych i tkanek miękkich przykręgosłupowych,
- ocena tarcz międzykręgowych oraz zmian zwyrodnieniowych kręgosłupa,
- ocena zmian patologicznych rdzenia kręgowego: guzów, obszarów demielinizacyjnych,
- ocena kręgosłupa po zabiegach operacyjnych, określenie wielkości blizn łącznotkankowych i ich stosunek do korzeni nerwów rdzeniowych i rdzenia kręgowego.

2. Obrazowanie kości

- ocena struktur kości (konwersja i rekonwersja szpiku),
- ocena pierwotnych guzów kości: rozległość, naciekanie, stosunek do pęczka naczyniowo-nerwowego i tkanek miękkich.

3. Obrazowanie aparatu stawowo-więzadłowego

- ocena szpary stawowej, chrząstek stawowych i innych elementów wewnątrzstawowych,
- ocena aparatu więzadłowego i otaczających staw mięśni.

4. Ocena przy odpowiednim oprogramowaniu (szczegółowe omówienie w osobnych rozdziałach)

- patologii **serca**,
- patologii **jamy brzusznej**, w tym enterografia MR, enterokliza MR,
- patologii kątów mostowo-mózdkowych,
- patologii **miednicy**, w tym układu moczowego.

Przeciwwskazania do badania MR

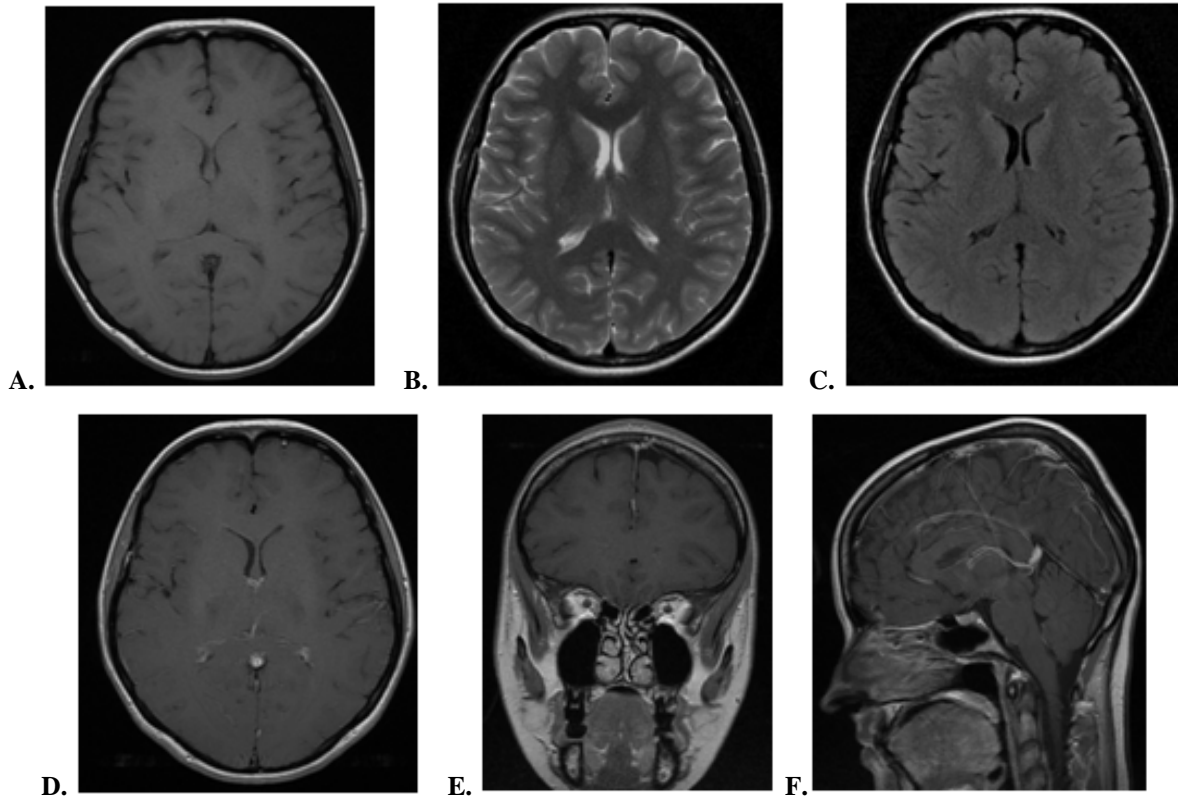
Są stale uaktualniane i przedstawiają się następująco: nie można badać pacjentów z: rozrusznikami serca, implantami ślimakowymi lub innymi neurostymulatorami, z metalowymi klipsami naczyniowymi, defibrylatorami ICD, z metalicznym ciałem obcym, np. w oku, oraz wszystkimi materiałami



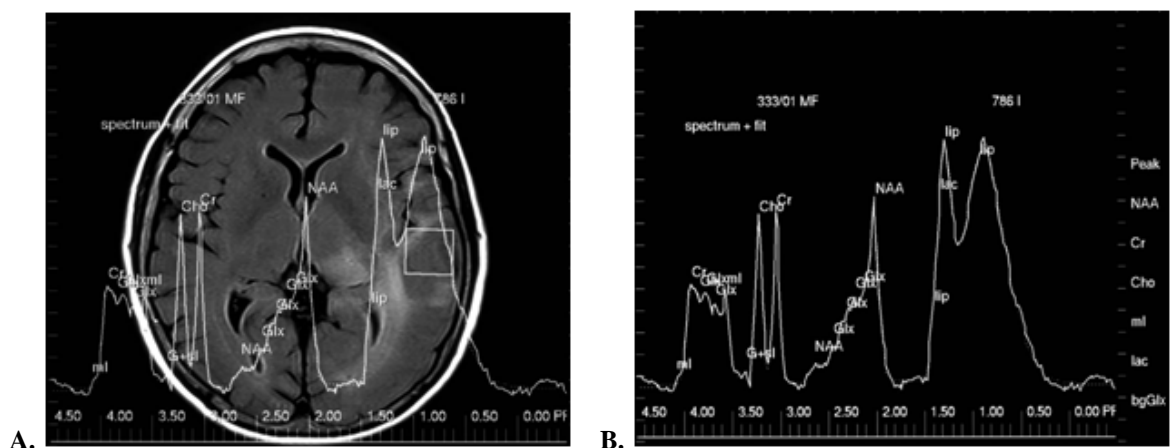
metalicznymi, które w polu magnetycznym mogą się przemieścić lub nagrzać i spowodować obrażenia sąsiadujących z nimi tkanek w sposób niekontrolowany.

Nie jest możliwe zbadanie pacjenta z klaustrofobią.

Względny przeciwwskazaniem do badania jest ciąża – zwłaszcza I trymestr – oraz implanty ortopedyczne, klipsy naczyniowe, sztuczne zastawki, które wymagają danych nt. materiałów, z których są wykonane i ich dopuszczenia do stosowania w MR.



Ryc. 1. A.–F. MR głowy w sekwencjach T1, T2, FLAIR w płaszczyźnie poprzecznej i T1 po kontraście w płaszczyznach poprzecznej, czołowej i strzałkowej – obraz morfologiczny. (Badanie wykonano w pracowni MR Medycznego Centrum Diagnostycznego „Voxel” w Zabrze).



Ryc. 2. A.–B. Spektroskopia MR z zapisem widma – obraz metabolizmu w zmianie. (Badanie wykonano w pracowni MR „Helimed” Diagnostic Imaging Sp. z o.o., Spółka Komandytowa przy SPCSK w Katowicach Ligocie).

Piśmiennictwo

1. *Ciesielski B., Kuziemski W.*: Obrazowanie metodą magnetycznego rezonansu w medycynie. Oficyna Wydawnicza Tutor. Gdańsk 1994.
2. *Elster A.D., Moody D.M.*: Early cerebral infarction: gadopentate dimeglumine enhancement. *Radiology* 1990; 177: s. 627–632.
3. *Hennel J.W., Kryst-Widźgowska T.*: Na czym polega tomografia magnetyczno-rezonansowa? Wydawnictwo Instytutu Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego. Kraków 1995.
4. *Higgins C. B., Hricak H.*: *Magnetic Resonance Imaging of the Body*. Raven Press. New York 1987.
5. *Osborn A.G.*: *Diagnostic neuroradiology*. Mosby. St. Louis 1994.
6. *Paprzycki W., Liebert W., Grądzik J., Sosnowski P., Stajgis M.*: Znaczenie wzmocnienia kontrastowego Gd-DTPA w ocenie gruczolaków przysadki. *Rez. Magn. Med.* 1994; (2)1: s. 33–37.
7. *Spacek U.*: *Contrast media. Overview, use and pharmaceutical aspects*. Springer-Verlag. Berlin 1991.
8. *Stark D.D., Bradley W.G. jr.*: *Magnetic Resonance Imaging*. Mosby. St. Louis – Year Book. St. Louis 1992.
9. *Van der Knaap M. S., Valk J.*: *Magnetic Resonance of Myelin, Myelination and myelin disorders*. Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg 1995.
10. *Wójtowicz A.*: *Słownik terminów rezonansu magnetycznego*. Ośrodek Wydawnictw Naukowych. Poznań 1994.
11. *Rummeny E., Reimer P., Heindel W.*: *Obrazowanie ciała metodą rezonansu magnetycznego*. Med-Media. Warszawa 2010.



4. Środki cieniujące stosowane w radiologii klasycznej, rezonansie magnetycznym i ultrasonografii

Joanna Pilch-Kowalczyk, Katarzyna Gruszczyńska, Anna Siemianowicz

Środki cieniujące stosowane w radiologii klasycznej

Pomimo istniejących różnic w pochłanianiu promieni rentgenowskich przez tkanki, środki cieniujące wykorzystuje się w celu zwiększenia między nimi kontrastu. Ze względu na stopień pochłaniania promieniowania można je podzielić na:

- 1) negatywne, czyli ujemne – zakontrastowany narząd pochłania promienie X w stopniu mniejszym niż woda (takim środkiem jest powietrze i gazy szlachetne);
- 2) pozytywne, czyli dodatnie – przy ich stosowaniu badany narząd pochłania promienie X w stopniu większym niż woda.

1. Negatywne – ujemne środki cieniujące

Najpopularniejszym negatywnym kontrastem jest powietrze. Obecnie stosuje się je w badaniach dwukontrastowych górnego i dolnego odcinka przewodu pokarmowego. Powietrzem jest również wypełniane jelito grube w kolonografii TK.

Innym środkiem cieniującym o niskim pochłanianiu jest wodny, 0,5% roztwór metylocelulozy podawany wraz z barytem w dwukontrastowym badaniu jelita cienkiego (enteroklizie). Do wypełniania jelita cienkiego w enterografii/enteroklizie TK wykorzystywana jest kolejna substancja o niskim pochłanianiu – wodny roztwór laktulozy.

2. Pozytywne środki cieniujące

Silniej niż tkanki ciała pochłaniają promieniowanie rentgenowskie. Należą do nich bar i jod, pierwiastki o wysokim współczynniku pochłaniania promieniowania, od 50 do 1000 razy większym od takich składników tkanek miękkich, jak węgiel, azot, tlen.

Do środków cieniujących o wysokim pochłanianiu, nierozpuszczalnych i trudno rozpuszczalnych w wodzie należy baryt – zawiesina siarczanu baru do badań kontrastowych przewodu pokarmowego (nie wchłania się ze światła przewodu pokarmowego).

Przeciwwskazaniem do jego stosowania jest podejrzenie nieszczelności oraz niedrożność przewodu pokarmowego.

Środki cieniujące o wysokim pochłanianiu, rozpuszczalne w wodzie (pochodne kwasu 3-jodo-benzoowego) dzielą się na:

- środki jonowe – najpopularniejszym jest urografin, który w środowisku wodnym dysocjuje do anionów i kationów, wysoko osmolalny, co warunkuje niepożądane skutki uboczne;
- środki niejonowe (np. Ultravist, Isovist, Omnipaque, Iopamiro, Iomeron, Visipaque) – nie dysocjują, są elektrycznie obojętne, odznaczają się niską osmolalnością bądź są izosmolalne – powodują mniej powikłań;
- hydrofilne, czyli rozpuszczalne w wodzie, im bardziej hydrofilne, tym mniej mają działań ubocznych, łatwo ulegają rozcieńczeniu w płynach, nie przechodzą przez błony komórkowe;
- lipofilne, czyli rozpuszczalne w tłuszczach i łatwo przenikające przez błony komórkowe, a tym samym dające więcej działań ubocznych.

Tolerancja wodnych środków cieniujących zależy od ich budowy chemicznej, ładunku elektrycznego, osmolalności, lipofilności, hydrofilności, lepkości i chemotoksyczności. Najwięcej działań



niepożądanych związanych jest z ich właściwościami chemotoksycznymi i osmolalnością, a tylko niewielka część powoduje różnego typu reakcje immunologiczne.

Osmolalność – jeśli jest znacznie wyższa od osmolalności płynów tkankowych, tj. 270–320 mOsm/kg, jest przyczyną następujących objawów ubocznych:

- ból podczas wstrzykiwania (granica bólu to 600 mOsm/kg),
- obniżenie ciśnienia tętniczego krwi,
- uszkodzenie śródbłonna (może skutkować powstawaniem skrzeplin).

Osmolalność jest zależna od budowy cząsteczki środka cieniującego. Jonowe środki cieniujące mają osmolalność do 1800 mOsm/kg, niejonowe monomery zawierające 300 mg jodu – 600–700 mOsm/kg, a niejonowe dimery są izosmolalne w stosunku do płynów tkankowych.

Lepkość ma wpływ na mikrokrążenie, im większa cząsteczka, tym bardziej lepki środek cieniujący, najwyższą lepkość mają niejonowe dimery. Można zmniejszyć lepkość środka cieniującego podgrzewając go do temperatury ciała bezpośrednio przed podaniem.

Chemotoksyczność jest zależna od wielu czynników, z których najważniejszym jest wiązanie z białkami, na przykład wiązanie przez środek cieniujący esterazy acetylocholinowej jest przyczyną wolniejszego rozkładania acetylocholinę, która działając dłużej, powoduje efekt cholinergiczny po donaczyniowym podaniu środka cieniującego (zaczerwienie skóry twarzy, skurcz oskrzeli, obniżenie ciśnienia krwi i zwolnienie akcji serca, przyspieszenie perystaltyki oraz wymioty).

Farmakodynamika środków cieniujących

Środki cieniujące (śr.c.) w zależności od rodzaju badania można podawać: dotętniczo, dożylnie, doustnie, doodbytniczo, do światła przetoki oraz do przestrzeni podpajęczynówkowych układu nerwowego.

Środek cieniujący wprowadzony do światła przewodu pokarmowego, którego ściana ma zachowaną ciągłość niemal w całości (99,5%), zostaje w postaci niezmienionej wydany na zewnątrz.

Rozpuszczalny w wodzie śr.c., podany do przestrzeni podpajęczynówkowych układu nerwowego, powoli, lecz w całości przechodzi do łożyska naczyniowego i jest wydany przez nerki.

Środek cieniujący podany donaczyniowo (dotętniczo lub dożylnie) nie ulega metabolizmowi i w postaci niezmienionej jest wydany przez nerki. W pierwszej godzinie od podania kontrastu zostaje wydane około 30%, w pierwszych sześciu godzinach 75%, całkowita eliminacja kontrastu następuje po 72 godzinach (jeśli funkcja nerek jest prawidłowa). Przez nerki wydane jest 95–97% kontrastu. Omyłkowe pozanaczyniowe wstrzyknięcie śr.c. podczas iniekcji nie jest groźnym powikłaniem, gdyż zarówno z luźnej tkanki łącznej, jak i mięśniowej szybko ulega wchłonięciu do układu naczyniowego. Śladowe ilości śr.c. są wychwytywane przez wątrobę i wydzielane z żółcią, niewielka ilość śr.c. wydalana jest z potem, mlekiem kobiecym (do 0,5%), śliną i łzami. Pacjenci z upośledzoną czynnością nerek wydają w sposób pozanerkowy nawet do 10% podanego donaczyniowo śr.c.

Wpływ środków cieniujących na krew

Hiperosmotyczne śr.c. powiększają objętość łożyska naczyniowego, co powoduje spadek hematokrytu, powodują odwodnienie erytrocytów, zwiększając w nich tym samym zawartość hemoglobiny oraz wzmagając ich właściwości agregacyjne. Zwiększają również lepkość krwi, zmniejszają jej krzepliwość, blokują agregację płytek oraz obniżają aktywności enzymów surowicy.

Środki cieniujące powodują również spadek oporu obwodowego i spadek ciśnienia krwi oraz zwiększają przepływ obwodowy.

Wpływ środków cieniujących na serce i układ krążenia

Środki cieniujące, powodując przemieszczenie elektrolitów między przestrzeniami wewnątrz- i zewnątrzkomórkowymi, zmniejszają wydolność mięśnia sercowego oraz obniżają ciśnienie w tętnicy płucnej i w aorcie, a także końcowo-rozkurczowe ciśnienie w lewej komorze, zmniejszają przy tym frakcję wyrzutową i szybkość narastania ciśnienia.



Działanie chemotoksyczne powoduje następujące zmiany w zapisie EKG:

- zaburzenia częstości akcji serca,
- wydłużenie odstępu Q–T z możliwością wystąpienia bloku przedsionkowo-komorowego,
- poszerzenie QRS,
- spłaszczenie lub inwersja załamka T, obniżenie odcinka ST.

Zaburzenia te są spowodowane toksycznym działaniem śr.c. na system bodźcoprzewodzący serca (pojawiają się głównie podczas koronarografii prawej tętnicy wieńcowej), mogą prowadzić do krótkotrwałej bradykardii.

Środki te obniżają również próg migotania komór, co jest szczególnie niebezpieczne w przypadku nakładania się wspomnianych skutków ubocznych na pierwotne niedokrwienie mięśnia sercowego.

Wpływ środków cieniujących na OUN

Środki cieniujące nie przechodzą przez nieuszkodzoną barierę krew–mózg. Niekorzystne ich działanie na OUN przejawia się głównie w uszkodzeniu śródbłonek naczyń, a co za tym idzie – uszkodzeniu bariery krew–mózg. Poza tym mają depresyjny wpływ na metabolizm energetyczny neuronów oraz zmniejszają przepływ mózgowy krwi po podaniu dotętnicznym. Niekorzystny wpływ śr.c. na ośrodki mózgowe jest szczególnie wyraźny w miejscach, gdzie fizjologicznie bariera krew–mózg nie występuje (*area postrema*, tylna część przysadki i sąsiadująca z nią przednia część podwzgórza, sploty naczyniówkowe, organy okołokomorowe wokół komory III i IV pełniące funkcję recepcyjną i neurosekrecyjną). Stąd najczęstszymi objawami ubocznymi z zakresu OUN są nudności, wymioty, zaburzenia czynności ośrodków oddechowego i krążeniowego, obniżenie progu wyzwalania drgawek.

Wpływ środków cieniujących na tarczycę

Ponieważ preparaty te nie ulegają metabolizmowi, nie mają wpływu na jodochwytność tarczycy. Zdarzają się w roztworach śr.c. wolne cząsteczki jodu, które są niepożądanym zanieczyszczeniem, ale prowadzą do zwiększonego wychwytu jodu przez tarczycę, co prowadzi do zahamowania syntezy hormonów tarczycy i powoduje przejściową hipotyreozę (efekt Wolffa-Chaikoffa) – szczególnie u noworodków i niemowląt, którym podawano jodowe środki cieniujące w dużych ilościach (nawet do 4 ml/kg m.c). Po pewnym czasie, zwykle po 48–72 godzinach efekt ten zanika i tarczyca znów wytwarza hormony. Jeśli jednak efekt Wolffa-Chaikoffa utrzymuje się, dochodzi do niedoczynności tarczycy. Wynikiem nadmiaru jodu może być również nadczynność tarczycy, zwykle u pacjentów z guzkami autonomicznymi w przebiegu wola guzkowatego, w chorobie Gravesa-Basedowa oraz u pacjentów z terenów wola endemicznego z niedoboru jodu. U zdrowych osób dorosłych po jednorazowym podaniu śr.c. nie obserwuje się zaburzeń hormonalnych ze strony tarczycy.

Zapobieganie hipertyreozie indukowanej jodem u pacjentów z czynnościową autonomią tarczycy, po dożylnym podaniu kontrastów jodowych:

- nadchloran sodu: 500 mg (25 kropli) doustnie 2–4 godziny przed i po podaniu śr.c., a przez kolejne 7–17 dni 3 x dziennie 300 mg (15 kropli),
- ewentualnie dodatkowo tiamazol przed i po podaniu śr.c. (10–20 mg/dobę).

Wpływ środków cieniujących na nerki

Jonowe śr.c. wpływają depresyjnie na czynność wydalniczą nerek, zwłaszcza w okresie rozwojowym. Po podaniu ich donaczyniowo – zwłaszcza bezpośrednio do tętnicy nerkowej – pojawia się proteinuria. Jest to tak zwany osmotyczny zespół nerczycowy, wywołany wysoką koncentracją silnie osmotycznie czynnych związków w kanalikach proksymalnych nefronu. Powodują one brak resorpcji zwrotnej substancji białkowych, które uległy filtracji w kłębuszku.

Podanie śr.c. donaczyniowo może spowodować nefropatię pokontrastową, czyli stan, w którym dochodzi do wzrostu poziomu kreatyniny po i.v. podaniu kontrastu o 0,5 mg/dl lub o ponad 25% w stosunku do wartości wyjściowych. Donaczyniowe podanie jodowych środków kontrastowych jest jedną z najczęstszych przyczyn niewydolności nerek u pacjentów hospitalizowanych. Nefropatia po-



kontrastowa rozwija się 24–48 godzin po badaniu, a szczyt nieprawidłowego poziomu kreatyniny przypada na 5–7 dobę. Najczęściej ustępuje po 3 tygodniach.

Czynniki zwiększające ryzyko uszkodzenia nerek to:

- odwodnienie pacjenta – ograniczenie podaży płynów przed badaniem (zwłaszcza w połączeniu z lekami przeczyszczającymi i wlewem czyszczącym),
- podanie więcej niż 2–3 ml/kg ś.r. jonowego lub 5 ml/kg ś.r.c. niejonowego (dawka kontrastu i jego wysoka osmolalność), ważna jest również droga podania kontrastu – im bliżej nerek, tym ryzyko powikłań jest większe,
- choroby nerek w wywiadzie, leki nefrotoksyczne – już istniejące uszkodzenie nerek,
- cukrzyca,
- paraproteinurie,
- choroby układu krążenia, zaburzenia rytmu serca i/lub niewydolność mięśnia sercowego, hipotensja, nadciśnienie, wstrząs (szczególnie stan po NZK),
- krwotok oraz anemia, zabieg operacyjny,
- hiperurykemia i używanie leków moczopędnych,
- szpiczak mnogi,
- miażdżyca,
- podeszły wiek.

Zapobieganie nefropatii pokontrastowej:

- właściwy dobór kontrastu w najniższej z możliwych dawek,
- kontrola klirensu kreatyniny – powinien wynosić około 60,
- alkalizacja pacjenta wodorowęglanem sodu 154 mEq/l w 5% glukozie (litr przed i litr po badaniu); wg innych źródeł 100 mEq/l/h (1 h przed i 6 h po badaniu),
- należy nawodnić pacjenta: 1 ml/kg/h, co najmniej 6 (12) godzin przed badaniem i 6 (12) po badaniu,
- N-acetylocysteina i.v. lub doustnie 2 x 600 mg lub jednorazowo 1200 mg bądź 250 ml 20% mannitolu na 1 godzinę przed badaniem wg niektórych autorów ma działać zapobiegawczo przeciw nefropatii pokontrastowej,
- odstawić leki nefrotoksyczne co najmniej 24 godziny przed badaniem,
- odstawić niesterydowe leki przeciwzapalne, gdyż mogą powodować skurcz naczyń nerkowych.

Reakcje związane z układem odpornościowym

Środki cieniujące mogą wywoływać nieswoiste reakcje anafilaktoidalne (odpowiedzialne między innymi za udział w reakcjach bólowych, powstawanie świądu skóry, skurcz oskrzeli), bądź specyficzne reakcje odpornościowe związane z produkcją immunoglobulin. W reakcjach tych szczególne znaczenie odgrywa aktywacja układu dopełniacza oraz wydzielanie histaminy. Na reakcje niepożądane tego typu narażeni są szczególnie alergicy i chorujący na astmę, rzadko dzieci – brak wcześniejszego narażenia na inne antygeny indukujące wytwarzanie przeciwciał reagujących krzyżowo ze środkiem cieniującym.

Reakcje opóźnione, czyli pojawiające się po godzinie do tygodnia od podania ś.r.c. Zwykle są to objawy skórne lub grypopodobne z gorączką, bólami stawowymi i dreszczami.

Premedykacja przeciwuczuleniowa

- Prednizon 30 mg 12 i 2 godziny przed badaniem,
- lub Prednizon 50 mg 13, 7 i 1 godzinę przed badaniem,
- Diphenhydramina 1 godzinę przed badaniem.

Istnieje nieco dłuższy sposób, w którym całość premedykacji trwa 3 dni:

- Famogast 2 x 1 tab. 40 mg,
- Allertec 2 x 1 tab. 10 mg,
- Phenazolinum 2 x 100 mg domięśniowo.

Wymienione powyżej reakcje niepożądane dotyczą zarówno środków jonowych, jak i niejonowych, jednakże w odniesieniu do niejonowych zdarzają się wielokrotnie rzadziej i ich nasilenie jest niewielkie.



Bezwzględny przeciwwskazaniem do podania jonowych środków cieniujących są wole toksyczne i jawna hipertyreoza.

W przypadku stwierdzonej wcześniej nadwrażliwości na śr.c., badanie z kontrastem jest możliwe po premedykacji przeciwwuczuleniowej.

Przeciwwskazania względne

- podejrzenie ostrego krwotoku wewnątrzczaszkowego,
- paraproteinemie,
- szpiczak mnogi,
- ciężkie uszkodzenie wątroby i nerek.

Uwaga!

Nie należy wykonywać badań obrazowych z podaniem jodowych śr.c. w ciągu dwóch miesięcy przed planowanym podaniem radiojodu.

Niepożądane działania uboczne mogą nasilać:

- blokery kanału wapniowego,
- neuroleptyki,
- biguanidy,
- leki nefrotoksyczne.

Wspomniane leki należy zatem odstawić przed badaniem z użyciem środków cieniujących.

Środki kontrastowe stosowane w rezonansie magnetycznym

Środkami kontrastowymi stosowanymi w MR są: paramagnetyki, ferromagnetyki, superparamagnetyki i diamagnetyki. Ich rola polega na zwiększeniu możliwości diagnostycznych MR przez wzrost czułości i specyficzności badania (patrz rozdział: *Podstawy obrazowania metodą rezonansu magnetycznego*).

Warto pamiętać, że w angiografii MRI nie jest obligatoryjne użycie środków kontrastowych.

Środki kontrastujące stosowane w ultrasonografii

Środki kontrastujące w ultrasonografii nie zdobyły jeszcze takiej popularności jak śr.c. w radiologii klasycznej czy TRM, ich dostępność jest w dalszym ciągu ograniczona. Obecnie istnieje kilka ich generacji.

Generacja I i II – środki kontrastujące o krótkim okresie działania. Są to zawiesiny mikropęcherzyków powietrza w roztworach płynów, o krótkim czasie rozpadu, podatne na niszczenie przez wiązkę ultradźwięków. Nie przechodzą przez krążenie płucne ze względu na znaczną rozpuszczalność w osoczu, w związku z tym ich zastosowanie ogranicza się do oceny prawej komory. Istnieje także grupa druga: preparaty przechodzące przez krążenie płucne, ale o krótkim (5 minut) czasie przetrwania. Przechodzą przez naczynia włosowate krążenia płucnego, gdyż pozwala na to mniejszy wymiar pęcherzyków powietrza, ale dużym problemem są w dalszym ciągu objawy uboczne: zawroty głowy, zmiany w EKG i zaburzenia hemodynamiczne.

Pierwsza generacja, środki jednego przejścia (wzmocnienie trwa kilkadziesiąt sekund): Alburnex i Echovist.

Zastosowanie

- a) diagnostyka wad serca:
 - ubytki przegrody międzyprzedsionkowej i międzykomorowej,
 - niedomykalność zastawki trójdzielnej,
 - serce jednokomorowe,
 - atrezja zastawki trójdzielnej,
 - tetralogia Fallota.



Druga generacja środków kontrastujących – wzmocnienie echogeniczności na okres kilku minut: Levovist, EchoGen:

- utrzymują swoje właściwości kontrastujące po przejściu przez płuca,
- problemem są objawy uboczne – zawroty głowy, zmiany w zapisie EKG, i zaburzenia hemodynamiczne.

Generacja III to środki kontrastujące o okresie półtrwania powyżej 5 minut, które przechodzą przez krążenie płucne, mają średnicę 1–5 μm (mniejsze od erytrocytów!) co pozwala na ocenę mikrokrążenia, ale nie przedostają się do przestrzeni pozanaczyniowej – nie są wydalane przez nerki. Ulegają rozpadowi pod wpływem ultradźwięków na gaz wydalany przez płuca i cząsteczki eliminowane przez nerki bądź metabolizowane w wątrobie.

Trzecia generacja środków kontrastujących:

- mikropęcherzyki gazu otoczone fosfolipidami,
- długi okres półtrwania,
- zależne od perfuzji wzmocnienie skali szarości.

Wartość diagnostyczną badania wykonywanego z użyciem środków kontrastujących zwiększa wprowadzenie metody dopplerowskiej.

Wskazania do użycia środków kontrastujących

- histerosalpingografia ultrasonograficzna,
- echokardiografia prawego serca,
- diagnostyka naczyń krwionośnych mózgu w dopplerowskich badaniach przezczaszkowych,
- diagnostyka guzów narządowych i ocena unaczynienia patologicznego, w tym diagnostyka zmian ogniskowych w wątrobie,
- ocena refluksu pęcherzowo-moczowodowego,
- badanie perfuzji tkankowej,
- ocena nowotworów sutka,
- ocena zmian pourazowych narządów mięszowych jamy brzusznej,
- diagnostyka przeszczepów nerek i wątroby,
- ocena unaczynienia jajników.

Przeciwwskazania do użycia środków kontrastujących

- przebyty świeżo zawał serca,
- niestabilna choroba wieńcowa,
- przeciek prawo-lewy,
- nadciśnienie płucne,
- wysokie nadciśnienie tętnicze,
- ciąża i karmienie piersią.

Piśmiennictwo

1. *Halwa S.*: Właściwości rentgenowskich urotopowych środków cieniujących. Poznań 1993.
2. *Herrman F., Müller P., Lohmann T.*: Endokrynologia w praktyce klinicznej. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 2009.
3. *Kucharczyk P., Michalkiewicz D., Kucharczyk A.*: Leki wpływające na czynność tarczycy – cz. II. Pol. Merk. Lek. 2006; (XXI), 124: s. 367–371.
4. *Lewicki A., Jędrzejczyk M., Jakubowski W., Pylno W., Kidawa A., Marczyński P.*: Zastosowanie ultrasonograficznych środków kontrastujących w diagnostyce chorób nerek. Część I. Podstawowe wiadomości dotyczące budowy, zasad działania, techniki badania, artefaktów i przeciwwskazań do zastosowania ultrasonograficznych środków kontrastujących (UŚK). Urologia Polska 2008; 61: s. 2.
5. *Lewicki A., Jędrzejczyk M., Jakubowski W., Pylno W., Kidawa A., Marczyński P.*: Zastosowanie ultrasonograficznych środków kontrastujących (UŚK) w diagnostyce chorób nerek. Część II. Nerka prawidłowa, urazy nerek, choroby naczyń nerkowych, nerka przeszczepiona, ostre odmiedniczkowe zapalenie nerek. Urologia Polska 2008; 61: s. 2.
6. *Schild H.H.*: ŚK widzieć albo nie widzieć, wszystko o środkach kontrastowych (...albo prawie wszystko). Schering. Warszawa 2001.



5. Metody radioizotopowe – badania scyntygraficzne

Stanisław Nowak, Krystian Rudzki

Poszczególne rodzaje promieniowania jonizującego, emitowanego przez pierwiastki promieniotwórcze (radioizotopy), różnią się znacznie własnościami fizycznymi. W diagnostyce obrazowej stosuje się jedynie izotopy emitujące promieniowanie γ , które odznacza się, podobnie jak promieniowanie X, zdolnością do przenikania przez ciało ludzkie.

W diagnostyce klinicznej radioizotopy wykorzystuje się do znakowania związków o różnych własnościach biologicznych poprzez włączenie radioaktywnego atomu w skład danej substancji. Zainteresowanie budzą zwłaszcza te związki, których metabolizm wykazuje swoistość narządową lub układową. Podstawą wykorzystania w diagnostyce substancji znakowanych radioizotopami jest fakt, w pełni potwierdzony w czasie wieloletniej obserwacji, że obecność atomu emitującego promieniowanie jonizujące nie wpływa na ich własności chemiczne czy też biologiczne. Ich metabolizm w ustroju ludzkim (lub zwierzęcym) nie odbiega zatem od przemiany analogicznego związku nieradioaktywnego. Emisja promieniowania stanowi natomiast jakby „piętno”, umożliwiając identyfikację zarówno danej substancji, jak i jej produktów degradacji.

Losy w ustroju (metabolizm) związków radioaktywnych można śledzić za pomocą pomiarów zewnętrznych na powierzchni ciała badanego (in vivo) lub też pomiarów w próbówce (in vitro) radioaktywności krwi, wydzielin ustrojowych, a wyjątkowo nawet wycinków tkanek. Pomiary in vivo pozwalają na uzyskanie zasadniczo dwóch podstawowych informacji, dotyczących:

- zmian radioaktywności (a właściwie stężenia substancji emitującej promieniowanie) w badanym polu (narządzie),
- rozmieszczenia radioznacznika w ustroju (w badanej okolicy).

Współczesna aparatura (gammakamera połączona z odpowiednio zaprogramowanym systemem komputerowym) pozwala na otrzymanie równocześnie obu tych informacji.

Badania, w czasie których wprowadza się substancje radioaktywne do wnętrza ustroju ludzkiego, wiążą się z bardzo znacznym wydłużeniem (do kilku godzin, a niekiedy nawet dni lub tygodni) ekspozycji chorego na działanie promieniowania jonizującego. Z tego względu, niezależnie od dopuszczenia do stosowania u ludzi jedynie radioizotopów o jak najmniejszej radiotoksyczności, konieczne jest podawanie ich w **niskiej aktywności**. Dzięki temu narażenie chorych na promieniowanie w czasie badań radioizotopowych jest zbliżone, a często nawet mniejsze niż w trakcie badań rentgenowskich. Spełnienie tych wymogów, zwłaszcza zaś przyjmowanie dawek o niskiej aktywności, zależało od skonstruowania odpowiednio czulej aparatury detekcyjno-pomiarowej.

Licznik scyntylicyjny

W najczęściej używanych aparatach do pomiaru niskich aktywności jako podstawę detekcji radioaktywności wykorzystuje się wzbudzenie przez promieniowanie jonizujące luminescencji, np. w niektórych ciałach krystalicznych. Substancje o takich właściwościach nazywamy scyntylatorami. Dobry scyntylator powinien się charakteryzować znaczną absorpcją mierzonego promieniowania jonizującego i krótkim czasem zaniku błysków świetlnych (scyntytacji). Jako detektory promieniowania stosowane są zwykle kryształy jodku sodu aktywowanego talem. Częstotliwość pojawiania się błysków świetlnych jest miarą aktywności źródła promieniotwórczego, a ich luminancja (natężenie) miarą energii mierzonego promieniowania. Wzmocnienie i przetworzenie na impulsy elektryczne powstających błysków świetlnych w kryształach scyntylicyjnych następuje w powielaczu elektronowym. Scyntyllacje powodują wybicie elektronów z fotokatody powielacza elektronowego, która bezpośrednio przylega do kryształu scyntylicyjnego. Z kolei elektrony wybite z fotokatody kierowane są na kolejne dynody. W następstwie emisji wtórnej, z poszczególnych dynod tworzy się strumień elektronów



o wzrastającym natężeniu, osiągający na anodzie powielacza fotoelektronowego wielokrotne (10^6) wzmocnienie. Impulsy elektryczne, powstające w opisany sposób w tym powielaczu, są następnie wzmocniane i przekazywane do analizatora amplitudy impulsu. Do rejestratora (przelicznika lub integratora) przechodzą tylko te sygnały, których amplituda (wysokość) odpowiada wybranemu przez użytkownika zakresowi energii promieniowania.

Gammakamera

Detektory scyntylicyjne były podstawą skonstruowania aparatury do odwzorowania rozmieszczenia radioaktywnych substancji w ustroju ludzkim. Współcześnie używa się w tym celu prawie wyłącznie gammakamery. Jest to aparat wyposażony w detektor o **dużym** polu widzenia. Odwzorowanie rozmieszczenia radioznacznika w ustroju w postaci rzutu na płaszczyznę (jako scyntygramu planarnego) przy użyciu gammakamery nie byłoby możliwe bez odpowiedniego kolimatora. W gammakamerze jest to najczęściej płyta z ołowiu z otworami równoległymi umieszczona pomiędzy detektorem a pacjentem. W ten sposób z badanego obiektu do detektora docierają jedynie kwanty, skierowane prostopadłe do powierzchni kolimatora (i do kryształu). Grubość używanych kolimatorów zależy od energii promieniowania γ , emitowanego przez radioizotop zastosowany do badania. Kryształ scyntylicyjny w postaci jednorodnej płyty ma kształt koła (kwadratu lub prostokąta bądź wielokąta foremnego) o średnicy od 30 do 70 cm (przekątnej do 100 cm). Z drugiej strony kryształu umieszczonych jest od 20 do 120 (w zależności od pola widzenia i od typu aparatu) optymalnie zestrojonych powielaczy fotoelektronowych. Fotony, odpowiadające każdej powstałej scyntylicji w kryształach, odbierane są przez wszystkie powielacze fotoelektronowe. Amplitudy powstających na ich wyjściach impulsów elektrycznych zależą od energii padającego na kryształ kwantu γ , a także od miejsca wystąpienia scyntylicji względem położenia każdego z powielaczy. Im dany powielacz fotoelektronowy znajduje się dalej od miejsca wystąpienia scyntylicji, tym słabszy (o mniejszej amplitudzie) jest impuls elektryczny. Analiza sygnałów z poszczególnych fotopowielaczy umożliwia dla każdego pojedynczego błysku uformowanie impulsu o amplitudzie proporcjonalnej do energii mierzonego promieniowania oraz dwóch dodatkowych sygnałów, których amplitudy są proporcjonalne do współrzędnych położenia scyntylicji.

Współczesne gammakamery stanowią integralną całość z odpowiednio dobranym systemem komputerowym (wraz z oprogramowaniem przystosowanym do rejestracji i analizy obrazów scyntylicyjnych). Informacje uzyskiwane z kamery rejestruje się na nośnikach pamięci masowej (dyskach magnetycznych bądź optycznych), skąd można je w dowolnej chwili odtworzyć na ekranie monitora.

Badania odwzorowujące dzielimy na **statyczne** i **dynamiczne**, w zależności od celu i sposobu ich wykonania. W badaniach statycznych rejestruje się zwykle tylko pojedyncze obrazy w określonych projekcjach. W badaniach dynamicznych do pamięci komputera wprowadza się kolejno w tej samej projekcji szereg obrazów w jednakowych odstępach czasu. Czas wprowadzania jednego obrazu waha się od ułamka sekundy do kilku i więcej minut, w zależności od rodzaju badanego procesu (szybkości przemieszczania bądź gromadzenia i eliminacji radioznacznika). Po zakończeniu akwizycji system komputerowy umożliwia w wybranych obszarach zainteresowania przedstawienie zmian aktywności w czasie, w postaci wykresów lub wydruków cyfrowych. Nowe typy gammakamer pozwalają na przesuwanie detektora wzdłuż i/lub wokół osi długiej ciała pacjenta. Gammakamera odpowiednio przystosowana do ruchu posuwistego (dzięki wyposażeniu w ruchomy stół lub ruchomy detektor) umożliwia, przy współpracy z systemem komputerowym, zarejestrowanie rozmieszczenia radioznacznika w obrębie całego ciała w postaci jednego obrazu.

Tomografy emisyjne

Gammakamera z rotacyjnym detektorem, wykonującym ruch obrotowy wokół osi badanego pacjenta, pozwala na uzyskanie obrazów tomograficznych. Ten typ aparatu wykorzystuje izotopy emitujące pojedyncze fotony, stąd nazwa metody badania SPECT (*single photon emission computed tomography*). Matematyczne podstawy rekonstrukcji obrazów tomograficznych emisyjnych są identyczne jak w tomografii transmisyjnej, w której danymi początkowymi są liniowe profile transmisji, a w emisyjnej liniowe profile emisji. Warto dodać, że jeden obrót detektora pozwala wygenerować obrazy z wielu warstw mieszczących się w jego polu „widzenia” (także o różnej grubości, ale nie mniejszej



niż zdolność rozdzielcza detektora). Można też uzyskać obrazy przekrojów pod innymi kątami oraz rekonstruować obrazy trójwymiarowe.

W badaniach z zastosowaniem radioizotopów emitujących pozytony stosuje się technikę nazywaną PET (*positron emission tomography*). Opiera się na nieco innych zasadach, gdyż do oceny rozmieszczenia radioizotopu w badanym narządzie wykorzystuje się koincydencyjną detekcję kwantów γ (równocześnie docierających do przeciwnych detektorów), powstałych przy anihilacji pozytonu i elektronu. Wyższa rozdzielczość PET umożliwia uzyskanie obrazów tomograficznych o lepszej jakości oraz wykorzystanie w badaniach wielu nowych substancji znakowanych radioizotopami C-11, N-13, O-15, F-18, Ga-68.

Zainteresowanie tą techniką stale rośnie, zwłaszcza w onkologii, gdyż jest to czuła metoda wykrywania, lokalizacji i monitorowania wielu typów nowotworów złośliwych, głównie dzięki badaniom z wykorzystaniem fluorodezoksyglukozy znakowanej F-18. Związek ten, będący antymetabolitem glukozy, ulega gromadzeniu w komórkach nowotworowych, które cechują się wzmożoną glikolizą beztlenową oraz niską aktywnością (brakiem) fosfatazy.

Kolejnym wyznacznikiem postępu było wprowadzenie aparatów hybrydowych umożliwiających niemal równoczesne wykonanie zarówno badania funkcjonalnego (PET lub SPECT), jak i morfologicznego (TK). Nakładanie (fuzja) obu tych typów obrazów umożliwia dokładną lokalizację narządową stwierdzanych zmian, zwiększa także dokładność diagnostyczną obu badań.

Radioznaczniki (radiofarmaceutyki)

Podstawowymi składnikami, z których zbudowane jest ciało ludzkie, jak również olbrzymia większość związków metabolizowanych w ustroju człowieka, są następujące pierwiastki: węgiel, wodor, tlen, azot, fosfor i siarka. Niestety, nie dysponujemy radioizotopami emitującymi przenikliwe promieniowanie γ wymienionych pierwiastków. W związku z tym, przez długi czas podstawowymi radionuklidami używanymi w badaniach diagnostycznych były radioizotopy jodu, a przede wszystkim I-131. Jod (w tym również jego izotopy radioaktywne) można bowiem z łatwością przyłączyć do różnych substancji organicznych (pod warunkiem występowania w nich przynajmniej jednego wiązania nienasyconego). O ile I-131 w postaci I-131–jodku sodu (lub potasu) jest stosowany głównie w diagnostyce chorób tarczycy, o tyle związki organiczne znakowane I-131 okazały się przydatne w badaniu innych narządów, jak np. I-131–hipuran w badaniu nerek, I-131–czerwień bengalska w badaniu wątroby, I-131–fibrynogen w badaniu metabolizmu tego białka w śródnaczyniowej zakrzepicy itp. Należy jednak zwrócić uwagę, że I-131 oraz preparaty znakowane tym radioizotopem cechują się stosunkowo dużą radiotoksycznością, co wynika z dość długiego, bo wynoszącego około 8 dni, okresu połowicznego rozpadu oraz z równoczesnego emitowania, oprócz promieniowania γ , także promieniowania β^- (nieprzenikliwego i tym samym nieużytecznego w badaniach diagnostycznych *in vivo*). Wszystkie preparaty znakowane I-131 należy zatem stosować w dawkach o odpowiednio niskiej aktywności, co oczywiście utrudnia pomiar promieniowania. Produkowany za pomocą cyklotronu inny izotop jodu I-123 nie powoduje tych niedogodności. Jest on jednak drogi, a w Polsce praktycznie niedostępny.

W latach sześćdziesiątych zwrócono uwagę na radionuklidy metatrwałe. Okazało się, że szczególnie korzystnymi własnościami charakteryzuje się promieniowanie emitowane przez izomer technetu (Tc-99m). Jego okres półtrwania jest krótki (wynosi 6 godzin). W pracowniach radioizotop ten uzyskuje się z tzw. generatorów, w których w osłonie ołowianej znajduje się radionuklid macierzysty (Mo-99) osadzony na odpowiednim podłożu. Mo-99 ulega samoistnej przemianie, a powstający izomer jądrowy Tc-99m można otrzymać, przepłukując generator odpowiednim eluentem. Mo-99 ma znacznie dłuższy okres połowicznego rozpadu (około 3 dni), dzięki temu generatory mogą być używane przez 1–2 tygodni.

Podobnie jak I-131, również Tc-99m jest stosowany jedynie w ograniczonym zakresie pod postacią prostych związków nieorganicznych sodu – Tc-99m–nadtechnecjan. Poszerzenie możliwości diagnostycznych dało wprowadzenie do praktyki związków organicznych wiążących Tc-99m. Są to związki **chelatowe** (z którymi kompleksy Tc-99m można łatwo przygotować na miejscu w pracowni wykonującej badania).



Niektóre cechy badań radioizotopowych

Niewielka ekspozycja na działanie promieniowania jonizującego jest jedynym czynnikiem szkodliwym, na jaki narażeni są chorzy w trakcie badań radioizotopowych. Ilości wagowe podawanych substancji radioaktywnych (kilka do kilkunastu μg) są bowiem tak małe, że w praktyce nie obserwuje się ani objawów toksycznych, ani też uczuleniowych po ich użyciu (nawet u osób uczulonych na daną substancję!). Droga podania (najczęściej dożylna lub doustna) również nie zagraża wystąpieniem powikłań. Dlatego też metody radioizotopowe zaliczamy do grupy badań nieagresywnych. Jedynym przeciwwskazaniem jest ciąża oraz okres karmienia piersią. Wykonanie tych badań w okresie ciąży jest dopuszczalne wyłącznie ze wskazań życiowych, co jednak zdarza się bardzo rzadko. Jeśli zachodzi konieczność badania w okresie karmienia piersią, należy zalecić okresowe jego przerwanie.

Badania radioizotopowe, w przeciwieństwie do innych metod z diagnostyki obrazowej, nie ukazują nam narządów (czy też ich budowy), lecz jedynie wychwytywanie radioizotopu w określonym rodzaju tkanki w badanej okolicy ciała. Każde badanie radioizotopowe, również statyczne, ma zatem aspekt funkcjonalny. Na przykład, scyntygrafia tarczycy obrazuje gromadzenie jodu w poszczególnych częściach gruczołu, a scyntygrafia perfuzyjna płuc regionalny przepływ krwi w obrębie krążenia małego. Dany rodzaj radioizotopu pozwala na uwidocznienie tylko tych tkanek i narządów, do których wykazuje powinowactwo. O ile np. na zdjęciu RTG klatki piersiowej ukazane są równocześnie płuca, cień śródkowy (serce i duże naczynia) oraz kości, o tyle na scyntygramach tej okolicy – w zależności od użytego radiofarmaceutyku – widoczne są albo tylko płuca, albo mięsień sercowy, albo wypełnione znakowanymi krwinkami jamy serca, albo też kości. Metody radioizotopowe umożliwiają monitorowanie czynności badanego organu w sposób ciągły i – co jest ważne – nie zwiększają ekspozycji osoby badanej na działanie promieniowania jonizującego. Obrazy scyntygraficzne odwzorowujące rozmieszczenie radioizotopu w ustroju **cechują się słabą rozdzielczością przestrzenną**, znacznie ustępując pod tym względem innym metodom z zakresu diagnostyki obrazowej. Tym, co korzystnie je wyróżnia, jest natomiast **dobry kontrastowość**.

Słownik pojęć stosowanych w medycynie nuklearnej

Aktywność – szybkość rozpadu; liczba radioaktywnych jąder rozpadających się w jednostce czasu; jednostką historycznie pierwszą był kiur ($\text{Ci} = 37 \times 10^9$ przemian na sekundę); obecnie obowiązującą jednostką w układzie SI jest bekerel ($\text{Bq} = 1$ rozpad na sekundę).

Analizator – urządzenie elektroniczne służące do selekcji impulsów o amplitudach mieszczących się w zadanym przedziale napięć, tzw. oknie; szerokość okna i jego położenie mogą być ustawiane manualnie lub automatycznie.

Anihilacja – zjawisko polegające na tym, że cząstka i antycząstka zamieniają się w inne cząstki elementarne; według klasycznej elektrodynamiki jest to zamiana materii na promieniowanie elektromagnetyczne; przy anihilacji elektronu i pozytonu wytwarzają się zazwyczaj dwa fotony o energii 511 keV.

Integrator liniowy lub logarytmiczny – urządzenie elektroniczne, którego sygnał wyjściowy (poziom napięcia) jest proporcjonalny (liniowo lub logarytmicznie) do średniej częstotliwości impulsów wejściowych.

Izomer(y) – nuklid(y) pozostające długo w stanie wzbudzonej, oznaczone literą m przy liczbie masowej lub gwiazdką przy symbolu pierwiastka (np. $^{99\text{m}}\text{Tc}$, $^{113\text{m}}\text{In}$ lub $^{99\text{Tc}}$, $^{113\text{In}}$).

Izotop(y) – nuklid(y), czyli odmiana(y) danego pierwiastka, które różnią się liczbą neutronów w jądrze, a więc liczbą masową; zawierają taką samą liczbę protonów w jądrze, czyli mają tę samą liczbę atomową (liczba atomowa = const np. ^{98}Mo , ^{99}Mo , ^{100}Mo , czy też ^{112}Sn , ^{113}Sn , ^{114}Sn).

Kolimator – czołowa część osłony detektora promieniowania jonizującego zapewniająca odpowiednie warunki geometrii pomiaru; kolimatory mogą być np. jedno- lub wielootworowe, szeroko- lub wąskokątne; materiałem, z którego są zbudowane, jest najczęściej ołów lub jego stopy.

Kolimacja – ograniczenie pola widzenia detektora stosowanego do pomiarów promieniowania; kolimację osiąga się najczęściej przez zastosowanie kolimatora, który ma wpływ na wielkość, kształt i charakterystykę pola widzenia detektora oraz na jego czułość i zdolność rozdzielczą.

Licznik scyntylicyjny – urządzenie służące do detekcji promieniowania jonizującego; składa się z kryształu scyntylicyjnego w odpowiednio dobranej osłonie ołowianej (kolimatorze), powielacza



fotoelektronowego, zasilacza wysokiego napięcia, wzmacniacza, analizatora amplitudy oraz przelicznika i/lub rejestratora; stosowany jest w medycynie do pomiaru aktywności tak *in vitro*, jak i *in vivo*.

Nuklid – określony rodzaj atomu charakteryzujący się danym składem jądra; atom jest nuklidem, jeżeli istnieje w ciągu mierzalnego czasu; nuklidami są izotopy trwałe i promieniotwórcze jakiegokolwiek pierwiastka, a także izomery.

PET (*positron emission tomography*) – tomografia emisyjna wykorzystująca fakt, że anihilacji materii po połączeniu pozytonu z elektronem towarzyszy emisja dwóch kwantów promieniowania γ przeciwnie skierowanych.

Przelicznik – urządzenie elektroniczne zliczające impulsy wejściowe w zadanym czasie lub mierzące czas zliczenia zadanej liczby impulsów wejściowych.

Radioaktywność – patrz: aktywność.

Radiofarmaceutyk – substancja zawierająca w swym składzie izotop promieniotwórczy, pełniący rolę znacznika w badaniach *in vitro* i *in vivo* w diagnostyce izotopowej lub wywołujący efekt terapeutyczny w zabiegach leczniczych.

Scyntylator – substancja stała (np. kryształ NaI aktywowany Tl) lub cieczą, rzadko gazową, która absorbując promieniowanie jonizujące przetwarza je na błyski świetlne zwane scyntylacjami.

SPECT (*single photon emission computed tomography*) – metoda pozwalająca na uzyskanie warstwowych (tomograficznych) obrazów rozmieszczenia radioznacznika emitującego pojedyncze kwanty (np. ^{99m}Tc); do tego celu wykorzystuje się zwykle gammakamerę z detektorem, wykonującym rotację wokół osi pacjenta, i odpowiednio zaprogramowany komputerowy system przetwarzania obrazów.

Wzmacniacz – urządzenie elektroniczne służące do wzmacniania sygnałów wejściowych (np. amplitud impulsów) do poziomów wymaganych dla prawidłowej pracy analizatora.

Piśmiennictwo

1. *Królicki L.*: Medycyna nuklearna. Fundacja im. Ludwika Rydygiera. Warszawa 1996.
2. *Nowak S., Rudzki K., Piętka E., Czech E.*: Zarys medycyny nuklearnej. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 1998.
3. *Ziessman H.A., O'Malley J.P., Trall J.H.*: Nuclear medicine: The requisites in radiology. Mosby-Elsevier. Philadelphia 2006.



II. ZASTOSOWANIE METOD DIAGNOSTYKI OBRAZOWEJ W BADANIACH NARZĄDÓW I UKŁADÓW

1. Diagnostyka obrazowa narządu ruchu *

Anna Siemianowicz, Wojciech Wawrzynek, Joanna Gibińska, Stanisław Nowak, Krystian Rudzki

Narząd ruchu stanowi układ kostny, połączenia kości, zarówno ruchome, czyli stawy, jak i nieruchome, tj. więzo- i chrząstkozrosty, oraz układ mięśniowy.

Podstawowe metody obrazowania narządu ruchu:

- zdjęcia przeglądowe,
- tomografia komputerowa,
- ultrasonografia,
- rezonans magnetyczny.

Dodatkowe metody obrazowania narządu ruchu:

- densytometria tomografii komputerowej – QCT,
- artrografia (artro-TK, artro-MR),
- badania angiograficzne (angiografia subtrakcyjna, angio-TK, angio-MR),
- PET-CT.

Zdjęcie przeglądowe

Podstawowym badaniem układu kostnego są klasyczne zdjęcia rentgenowskie. Wykonuje się je w dwóch prostopadłych do siebie płaszczyznach, tylko jedna projekcja, to o jedną projekcję za mało. Od reguły tej są nieliczne wyjątki, np. zdjęcie obojczyka, zdjęcie boczne kości piętowej.

Zdjęcia kości długich w obu projekcjach powinny uwidocznnić dwa przyległe stawy, a jeżeli nie jest to możliwe, musi być uwidoczniiony przynajmniej jeden staw. Zmniejsza to ryzyko przeoczenia zwichnięć bądź podwichnięć towarzyszących złamaniom. Oprócz projekcji podstawowych w diagnostyce układu kostnego w razie potrzeby można wykonać zdjęcia celowane na tę część kości, która na zdjęciu przeglądowym wykazuje zmiany. Dodatkowe projekcje to również zdjęcia osiowe, półosiowe, projekcje specjalne. W przypadku niektórych okolic układu ruchu, np. kręgosłupa lub stawów, przydatne są badania czynnościowe, które polegają na wykonaniu zdjęć w krańcowych ustawieniach w danym stawie – w maksymalnym zgięciu i maksymalnym wyproście lub w przywiedzeniu i odwiedzeniu. Zdjęcia czynnościowe informują o zakresie ruchów w stawach, o występowaniu zwichnięć lub podwichnięć, a pośrednio o uszkodzeniu tkanek miękkich (najczęściej więzadeł), które nie są widoczne na zdjęciach RTG. U dzieci często konieczne jest wykonanie zdjęcia porównawczego drugiej, niezmięnionej kończyny. Wykonuje się je jednocześnie na tej samej kasecie podczas jednej ekspozycji, podlegają tym samym warunkom ekspozycji i obróbki.

Przygotowanie pacjenta do zdjęć RTG układu kostnego

Do badań RTG układu kostnego pacjent nie wymaga specjalnego przygotowania poza odsłonięciem badanej okolicy. Przy badaniach miednicy i kręgosłupa lędźwiowego wskazane jest wcześniejsze oczyszczenie jelita grubego z zalegających mas kałowych i gazów.

* Zdjęcia zamieszczone w tym rozdziale pochodzą z badań wykonanych w Zakładzie Diagnostyki Obrazowej Samodzielnego Publicznego Wojewódzkiego Szpitala Chirurgii Urazowej im. dra Janusza Daaba w Piekarach Śląskich.



Przeciwwskazania

- brak wskazań,
- ciąża.

Tomografia komputerowa

Spiralna tomografia komputerowa umożliwia bardzo dokładną ocenę układu kostno-stawowego. Pozwala na zobrazowanie zarówno struktur kostnych, jak i układu mięśniowego oraz dużych więzadeł. Badanie wykonuje się zazwyczaj u pacjenta leżącego na plecach, natomiast w przypadku badania stawu łokciowego lub nadgarstka i dłoni pacjent jest ułożony na brzuchu i ma wyciągniętą do przodu rękę. Badania TK ze wskazań ortopedycznych, jak również w przypadku urazów, wykonuje się z zastosowaniem cienkich warstw, najczęściej o grubości 1,25 mm. W zależności od rozpoznania wykonuje się również badania narządu ruchu po dożylnym podaniu środka cieniującego w dawce 1–1,5 ml/kg masy ciała. Badania TK z użyciem cienkiej warstwy pozwalają na uzyskanie bardzo dobrej jakości rekonstrukcji wielopłaszczyznowych, w płaszczyznach czołowych, strzałkowych oraz innych dodatkowych. Do oceny kanału kręgowego przydatne są rekonstrukcje po krzywej w płaszczyźnie czołowej. Rekonstrukcje trójwymiarowe, lubiane przez chirurgów ortopedów, umożliwiają dokładne przestrzenne zobrazowanie struktur kostnych i pomocne są w planowaniu zabiegów operacyjnych. Tomografia komputerowa pozwala na dokładne pomiary struktur patologicznych oraz anatomicznych, np. elementów kostnych stawu biodrowego (szyjki i głowy kości udowej oraz panewki), co ułatwia dobór odpowiedniej wielkości endoprotezy. Dużą zaletą TK jest również możliwość dokonania pomiaru długości kończyn dolnych, w celu oceny ich długości bezwzględnej (skrótów jednej kończyny). Tomografia komputerowa jest również bardzo ważną metodą wspomagającą biopsję zmian patologicznych, pozwala na dokładną i precyzyjną kontrolę umieszczenia igły w obrębie zmiany.

Wskazania do badania TK narządu ruchu

- urazy,
- ocena zrostu kostnego,
- ocena przed- i pooperacyjna,
- choroba zwyrodnieniowa kręgosłupa,
- nowotwory kości,
- zapalenia kości,
- zapalenia tkanek miękkich,
- wady układu kostnego.

Przeciwwskazania

- brak wskazań,
- ciąża,
- u pacjentów, u których wymagane jest wykonanie badania TK z użyciem środka cieniującego przeciwwskazaniem do tego badania mogą być ograniczenia wynikające z przeciwwskazań do stosowania środka cieniującego u konkretnego pacjenta (patrz rozdział: *Środki cieniujące stosowane w radiologii klasycznej, rezonansie magnetycznym i ultrasonografii*).

Densytometria tomografii komputerowej – QCT

Densytometrię TK wykonujemy w obrębie kręgosłupa lędźwiowego i stawu biodrowego, techniką spiralną. Badanie przeprowadza się u pacjenta leżącego na plecach, na specjalnym fantomie. Wykorzystując specjalne oprogramowanie, dokonuje się pomiaru gęstości poprzez porównanie z fantomem o znanej ilościowej zawartości składników mineralnych. Wynik uzyskuje się w postaci dokładnych danych liczbowych gęstości kości, współczynników: T-score, Z-score oraz w postaci wykresów graficznych. Z-score jest wskaźnikiem oznaczającym wielkość odchylenia standardowego od średniej wartości gęstości kości u osób zdrowych w tym samym wieku co osoba badana. Na jego podstawie ustala się wskazania do leczenia.

T-score wskazuje, o ile otrzymany wynik pomiaru odbiega od wartości średniej normy osób młodych (w odchyleniach standardowych). Na jego podstawie rozpoznaje się osteoporozę.



T-score:

+ 1 do -1 – norma

-1 do -2,5 – osteopenia – wskazana profilaktyka/leczenie

poniżej -2,5 – osteoporoza – bezwzględne wskazania do podjęcia leczenia, zagrożenie złamań.

Wynik badania należy oceniać z uwzględnieniem wywiadu, stanu klinicznego chorego i wyników badań dodatkowych.

Dane liczbowe uzyskujemy zarówno dla warstwy korowej, jak i istoty gąbczastej kości oraz dla poszczególnych obszarów anatomicznych: szyjki kości udowej, krętarza większego i okolicy międzykrętarzowej oraz średnie dane dla końca bliższego kości udowej. Badanie densytometrii TK, oprócz pomiarów gęstości kości, umożliwia ocenę obrazowanych struktur, tak jak w klasycznym badaniu TK.

Ultrasonografia

Ultrasonografia narządu ruchu jest ważną metodą diagnostyczną w obrazowaniu schorzeń i patologii układu ruchu, szczególnie przydatną w ocenie mięśni i aparatu więzadłowego. Nie wymaga przygotowania pacjenta, a ponadto jest nieobciążająca, powtarzalna i łatwo dostępna.

Do badania USG narządu ruchu pacjent jest ułożony w pozycji leżącej lub siedzącej, w zależności od tego, który staw jest badany. Należy użyć głowicy liniowej o częstotliwości od 7,5 MHz.

Głowice o niższej częstotliwości – 5 MHz mogą być przydatne przy ocenie dużych grup mięśniowych. W niektórych przypadkach, w ocenie struktur położonych głębiej, np. więzadła krzyżowego przedniego, można zastosować głowicę konweksową o częstotliwości 2,5–3,5 MHz. W badaniu USG należy uzyskać przekroje osiowe, w płaszczyźnie poprzecznej oraz w razie potrzeby w płaszczyznach skośnych. USG umożliwia wykonywanie badań dynamicznych, ocenę obrazowanych struktur podczas ruchu, co daje tej metodzie przewagę nad pozostałymi. Pozwala ponadto uwidoczniać ciała obce, które na zdjęciach RTG są niewidoczne, np. fragmenty szkła lub drewna.

Biopsja pod kontrolą USG pozwala na wykonanie celowanej biopsji zmian widocznych w obrębie mięśni i stawów. Pod kontrolą USG można wykonać nakłucia terapeutyczne, w celu podania leków dostawowo oraz nakłucia diagnostyczne, podając środek cieniujący dostawowo przed wykonaniem artro-TK lub artro-MR.

Wskazania do badania USG narządu ruchu

- zmiany pourazowe mięśni oraz ścięgien,
- ocena ewolucji zmian pourazowych,
- zmiany zapalne,
- choroby reumatyczne,
- zmiany nowotworowe,
- zmiany zwyrodnieniowe,
- ocena stawów biodrowych u niemowląt – USG jest badaniem z wyboru,
- monitorowanie po zabiegach operacyjnych.

Rezonans magnetyczny

Badanie MR narządu ruchu można wykonać zarówno w nisko-, jak i wysokopolowych systemach MR, otwartych oraz zamkniętych. Wykonuje się je przy użyciu cewek dedykowanych dla danego stawu, np. cewki barkowej, cewki kolanowej, stosując cewkę powierzchniową lub cewki giętkie, w zależności od tego, który staw jest badany. Większość badań wykonuje się u pacjentów w ułożeniu na plecach, wyjątek stanowią badania stawu łokciowego, nadgarstka i dłoni, do których można ułożyć pacjenta na brzuchu z wyciągniętą do przodu ręką. Istnieją aparaty MR, w których badania kręgosłupa wykonuje się w pozycji stojącej i leżącej pacjenta. Badanie MR jest techniką nieinwazyjną, bezbolesną i zapewnia doskonały obraz tkanek miękkich. Standardowo wykonuje się sekwencje w płaszczyźnie poprzecznej, czołowej i strzałkowej. W zależności od rozpoznania część badań wykonuje się z dożylnym podaniem środka kontrastowego (dawka środka kontrastowego: 0,1 mmola Gd-DTPA/kg masy ciała).



Wskazania do badania rezonansu magnetycznego narządu ruchu

- zmiany pourazowe tkanek miękkich i kości,
- guzy łagodne i złośliwe tkanek miękkich i kości,
- choroby reumatyczne,
- zmiany zwyrodnieniowe stawów,
- zmiany zapalne kości i tkanek miękkich,
- martwice aseptyczne,
- patologie szpiku kostnego.

Przeciwwskazania: takie jak do badań MR (patrz rozdział: *Podstawy obrazowania metodą rezonansu magnetycznego*).

Atrografia (artro-TK i artro-MR)

Artrografia polega na wprowadzeniu dostawowo mieszanki kontrastu, w przypadku badań artro-TK zawierającej niejonowy jodowy środek cieniujący, w przypadku badań artro-MR zawierającej roztwór gadolinu. Mieszanka środka cieniującego dostawowo podawana jest pod kontrolą fluoroskopii lub ultrasonografii. Po podaniu dostawowym mieszanki środka cieniującego, po odpowiednim opóźnieniu, wykonywane jest badanie TK lub MR. Dokładność diagnostyczna artro-MR może przewyższać dokładność konwencjonalnego badania MR, ponieważ lepiej uwidacznia struktury wewnątrzstawowe oddzielone od siebie mieszkanką kontrastu. W badaniach artro-MR podawana dostawowo mieszanka składa się z roztworu gadoliny, Lignocainy (lub innego leku z tej grupy) oraz niejonowego środka cieniującego (jeżeli mieszanka środka cieniującego podawana jest pod kontrolą fluoroskopii). W badaniach artro-TK dostawowo podawany jest niejonowy środek cieniujący rozcieńczony solą fizjologiczną do stężenia 200 mg/ml oraz Lignocainy (lub inny lek z tej grupy).

Wskazania do artrografii

- uszkodzenie obrąbka stawowego,
- uszkodzenie torebki stawowej,
- rozerwanie pierścienia rotatorów,
- zlepne zapalenie torebki stawowej,
- patologia chrząstki stawowej,
- zmiany patologiczne kompleksu chrząstki trójkątnej,
- wolne ciała chrzęstno-kostne.

Przeciwwskazania: takie jak do badań TK i MR.

Badania angiograficzne

Ocena patologii naczyniowej w obrębie układu ruchu jest możliwa w angiografii subtrakcyjnej, angio-TK i angio-MR (patrz rozdział: *Diagnostyka obrazowa układu naczyniowego i chłonnego*). Zastosowanie badań naczyniowych w diagnostyce ortopedycznej obejmuje ocenę struktur naczyniowych u pacjentów z urazami kończyn oraz oceną unaczynienia guzów układu mięśniowo-szkieletowego.

PET-CT

Nowa technika, wykorzystywana głównie w onkologii układu kostnego, ale również z wykorzystaniem izotopu ^{18}F w poszukiwaniu ognisk konfliktów śródstawowych, niewidocznych w innych badaniach.

Scyntygrafia

Scyntygrafia kości stanowi ważne uzupełnienie innych metod diagnostycznych układu kostno-stawowego, pozwalając na ocenę nasilenia lokalnej przemiany mineralnej. Badanie to obecnie przeprowadza się za pomocą związków fosfonianowych, dających kompleksy z technetem-Tc-99m (najczęściej używa się metylenodwufosfonian – w skrócie MDP). Scyntyografię kości wykonuje się, w za-



leżności od problemu diagnostycznego, techniką jednofazową albo trójfazową. Przy jednofazowej rozmieszczenie radioznacznika odwzorowuje się wyłącznie w fazie późnej (metabolicznej), a więc po upływie 2–4 godzin od momentu jego podania. Przy technice trójfazowej, dla oceny przepływu krwi w badanej okolicy, rejestruje się dodatkowo w pierwszej minucie serię obrazów dynamicznych (faza I, perfuzyjna) i bezpośrednio potem fazę II, czyli tkankową, pozwalającą na ocenę objętości krwi w badanym obszarze (*blood pool*).

Wychwyty radiofarmaceutyków osteotropowych w obrębie kośćca ludzi zdrowych jest niejednakowy. Na scyntygramach wyraźnie słabsze jest wysycenie radioznacznikiem trzonów kości długich. Kości płaskie, jak kręgi, kość krzyżowa, miednica, podobnie nasady kości długich, wykazują natomiast silniejszy wychwyty radiofarmaceutyków. U dzieci i młodzieży (w okresie wzrostu) gromadzenie radioznaczników jest wyraźnie wzmożone w okolicach stref wzrostowych.

W stanach chorobowych układu kostnego, niezależnie od ich etiologii, niszczeniu kośćca z reguły towarzyszy wzmożenie procesów wytwórczych, z czym wiąże się znaczne zwiększenie obrotu składników mineralnych. Zmiany mogą się wyraźnie zaznaczyć na scyntygramach, w postaci miejscowego wzrostu gromadzenia radioznaczników osteotropowych już przy odwapnieniu o 5–15%. Dopiero w dalszym przebiegu choroby, gdy ubytek wapnia rośnie (sięga 30–50%), pojawiają się zmiany uchwytnie na zdjęciach rentgenowskich. Są one nadal widoczne w tym okresie na scyntygramach jako ogniska zwiększonego gromadzenia radioznacznika. Po pełnym wygojeniu stopniowo wygasają procesy wzmożonej przemiany mineralnej. W końcu ustępują zmiany uchwytnie za pomocą badania radioizotopowego, choć mogą być zaznaczone na rentgenogramach w postaci miejscowego zaburzenia struktury kostnej.

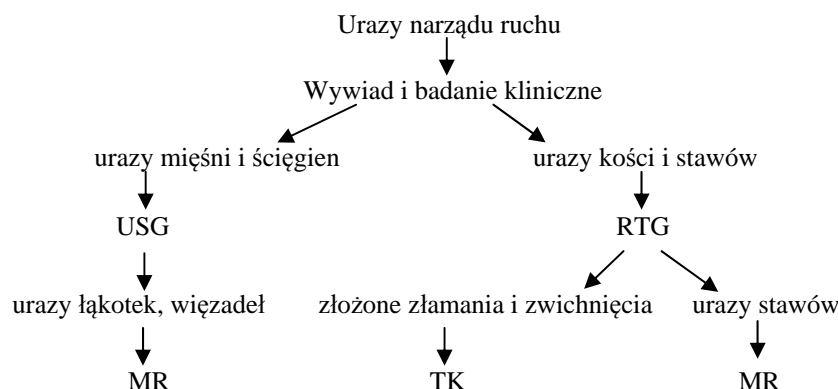
Scyntygrafia układu kostnego, przy podobnie wysokiej czułości jak rezonans magnetyczno-jądrowy oraz transmisyjna tomografia komputerowa, wykazuje także wiele innych zalet, a mianowicie:

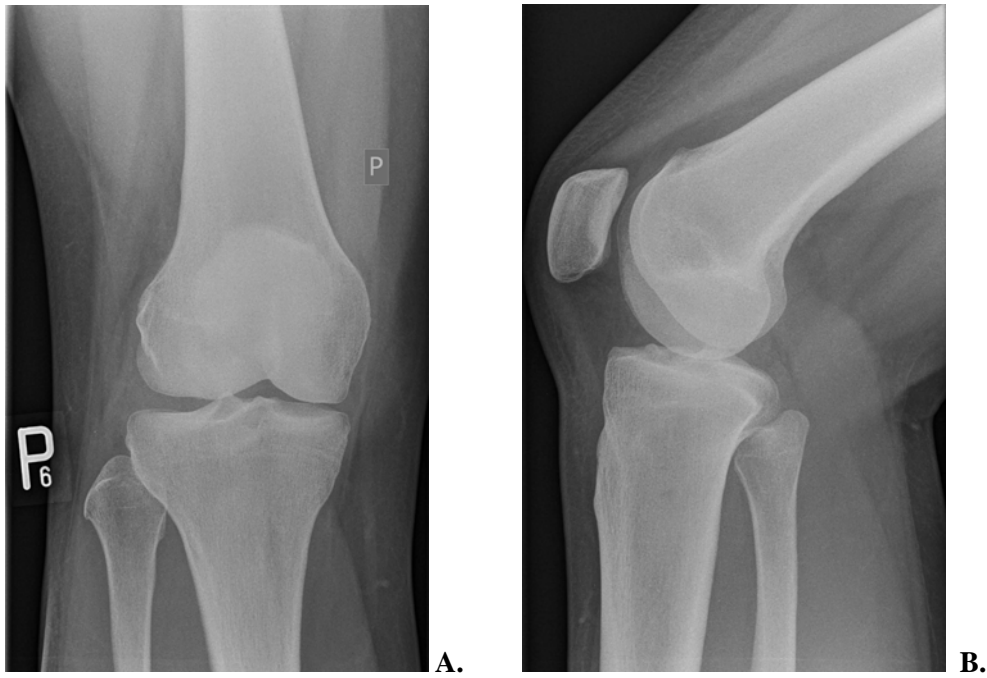
- niski koszt i łatwość badania całego ciała,
- minimalna szkodliwość (związana z ekspozycją na niewielkie dawki promieniowania jonizującego),
- brak przeciwwskazań (między innymi, w przeciwieństwie do rezonansu magnetyczno-jądrowego, istnieje możliwość badania u chorych z wszczepami części metalowych),
- funkcjonalny charakter uzyskiwanych informacji (w tym również dane dotyczące ukrwienia zmiany).

Wskazania do scyntygrafi układu kostno-stawowego

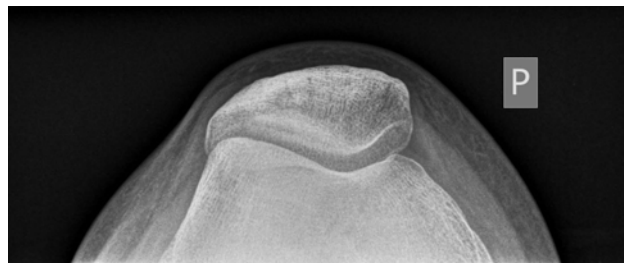
- podejrzenie przerzutów nowotworowych do kości,
- pierwotne nowotwory kości (głównie ocena rozległości zmian),
- przewlekłe stany zapalne kości lub stawów (zwłaszcza u osób z przeciwwskazaniami do rezonansu magnetyczno-jądrowego),
- urazy w celu lokalizacji złamań (niewidocznych na zdjęciach rentgenowskich),
- inne choroby, takie jak choroby metaboliczne, choroba Pageta (ustalenie rozległości zmian i efektu leczenia).

Algorytmy diagnostyczne w najczęściej występujących jednostkach chorobowych





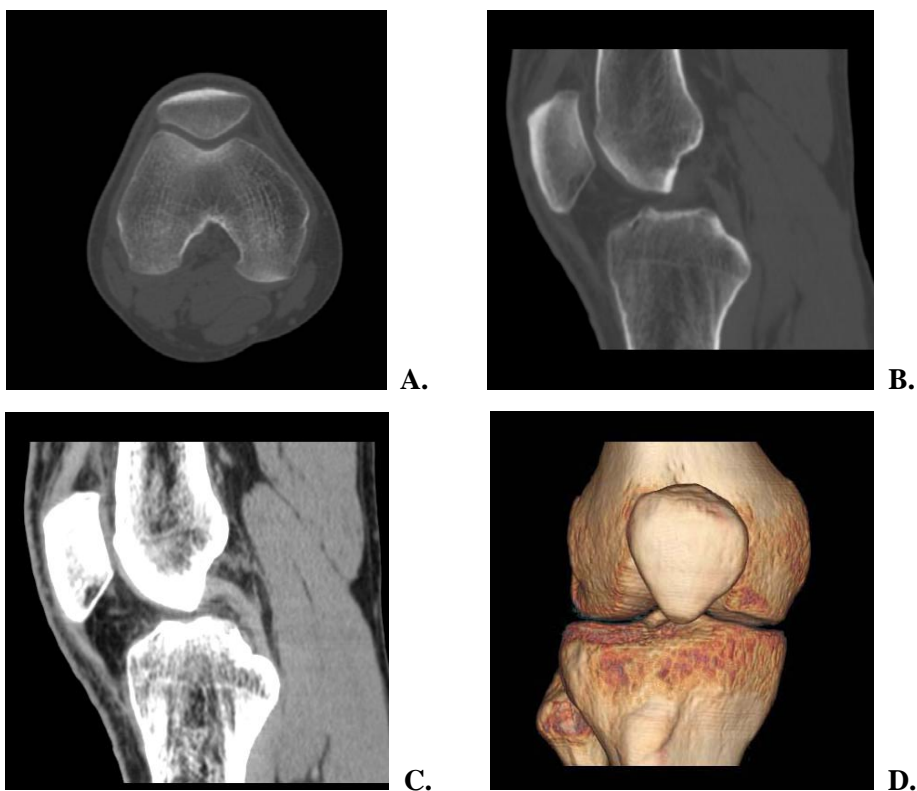
Ryc. 3. Zdjęcie RTG stawu kolanowego. A. – w projekcji przednio-tylnej, B. – w projekcji bocznej.



Ryc. 4. Zdjęcie osiowe rzepki.



Ryc. 5. USG stawu kolanowego. A. – przekrój poprzeczny. B. – przekrój podłużny, ścięgno mięśnia czworogłowego uda. C. – przekrój podłużny (opcja *sieve shape*), więzadło właściwe rzepki.



Ryc. 6. TK stawu kolanowego. A. – skan poprzeczny. B. – rekonstrukcja wielopłaszczyznowa w płaszczyźnie strzałkowej – „okno kostne”. C. – rekonstrukcja wielopłaszczyznowa w płaszczyźnie strzałkowej – „okno miękdotkankowe”. D. – rekonstrukcja trójwymiarowa.



Ryc. 7. MR stawu kolanowego. A. – płaszczyzna czołowa. B. – płaszczyzna strzałkowa.



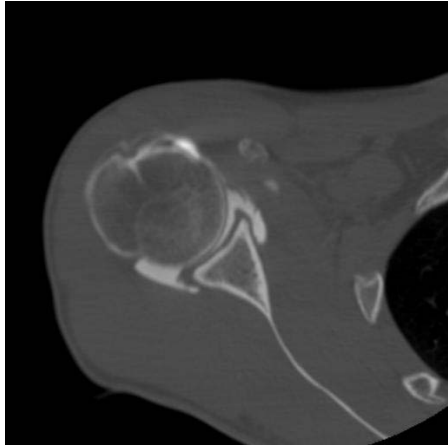
Ryc. 8. RTG stawu ramiennego.



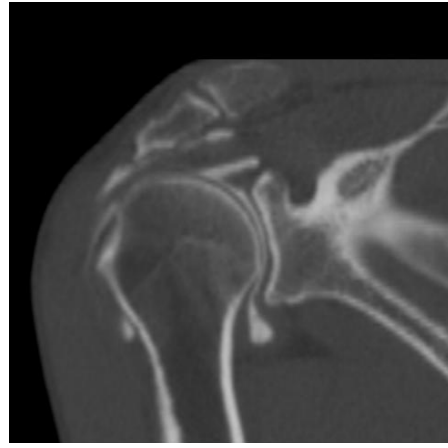
Ryc. 9. USG stawu ramiennego. A. – przekrój poprzeczny pośrodkowy, mięsień nadgrzebieniowy. B. – przekrój podłużny, mięsień nadgrzebieniowy.



Ryc. 10. TK stawu ramiennego. A. – skan poprzeczny. B. – rekonstrukcja w płaszczyźnie czołowej. C. – rekonstrukcja trójwymiarowa.



A.

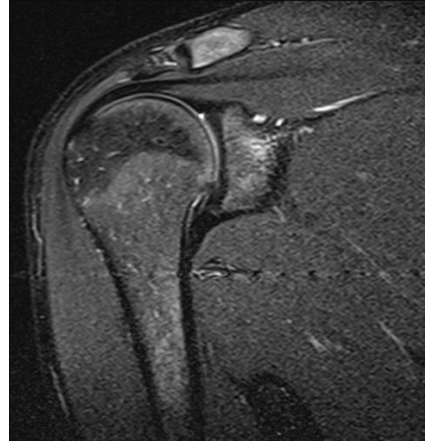


B.

Ryc. 11. Arthro-TK stawu ramiennego. A. – skan poprzeczny. B. – rekonstrukcja w płaszczyźnie czołowej.

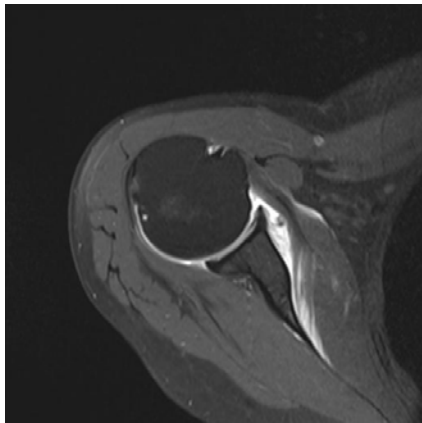


A.

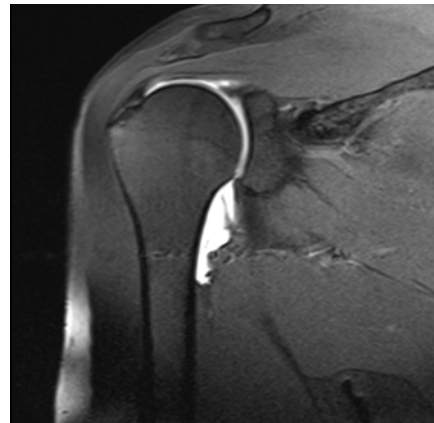


B.

Ryc. 12. MR stawu ramiennego. A. – płaszczyzna poprzeczna. B. – płaszczyzna czołowa.

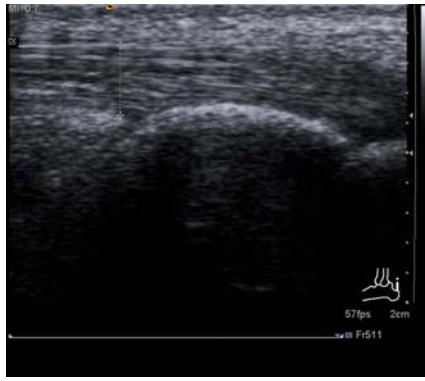


A.



B.

Ryc. 13. Arthro-MR stawu ramiennego. A. – płaszczyzna poprzeczna. B. – płaszczyzna czołowa.



A.



B.



C.

Ryc. 14. USG ścięgna Achillesa. A. – cięcie podłużne. B. – cięcie poprzeczne. C. – cięcie podłużne (opcja *sie scape*) ścięgno widoczne na całej długości.



Ryc. 15. MR ścięgna Achillesa, płaszczyna strzałkowa.



A.



B.

Ryc. 16 A.–B. Toposcan – pomiar długości kończyn dolnych.



Piśmiennictwo

1. *Chapman S., Nakielny R.*: Metody obrazowania radiologicznego. Medycyna Praktyczna. Kraków 2006.
2. *Crim J., Morrison W.*: Arthrography principles and practice in radiology. Amirsys. Salt Lake City 2009.
3. *Greenspan A.*: Diagnostyka obrazowa w ortopedii dla lekarza praktyka. MediPage. Warszawa 2007.
4. *Guglielmi G., Schneider P., Lang T.F., Giannatempo G.M., Cammisa M., Genant H.K.*: Quantitative computed tomography at the axial and peripheral skeleton. Eur. Radiology 1997; 7: s. 32–42.
5. *Marchiori D.M.*: Radiologia kliniczna. Wydawnictwo Czelej. Lublin 1999.
6. *Mc Nally E.*: Ultrasonografia układu ruchu. Elsevier Urban & Partner. Wrocław 2008.
7. *Prokop M., Galanski M.*: Spiralna i wielorzędowa tomografia komputerowa człowieka. MediPage. Warszawa 2007.
8. *Pruszyński B.*: Diagnostyka obrazowa podstawy teoretyczne i metodyka badań, Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 2000.
9. *Pruszyński B.*: Radiologia. Diagnostyka obrazowa. Rtg, TK, USG, MR i radioizotopy. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 2003.
10. *Raby N., Berman L., de Lacey G.*: Diagnostyka radiologiczna w nagłych przypadkach i pomocy doraźnej. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 1997.
11. *Reimers K.*: Ultrasonografia układu ruchu, Urban & Partner. Wrocław 1998.
12. *Rummeny E.J., Reimer P., Heindel W.*: Obrazowanie ciała metodą rezonansu magnetycznego. Med-Media. Warszawa 2010.
13. *Runge V.M.*: Rezonans magnetyczny w praktyce klinicznej. Elsevier Urban & Partner. Wrocław 2007.
14. *Webb W.R., Brant W.E., Major N.M.*: Tomografia komputerowa zastosowanie kliniczne. Elsevier Urban & Partner. Wrocław 2006.



2. Diagnostyka obrazowa u dzieci. Odrębności diagnostyki wieku dziecięcego*

Elżbieta Kuleta-Bosak

Diagnostyka obrazowa w pediatrii to zakres wiedzy o radiologicznych obrazach części ciała i narządów od okresu wewnątrzmacicznego do osiągnięcia dojrzałości. W celu uzyskania diagnostycznych obrazów wykorzystywane są właściwości fizyczne różnych rodzajów promieniowania. Zdjęcia klasycznej radiologii, badania tomografii komputerowej (TK), badania naczyniowe (angiografia, wrenografia), bazują na obrazach diagnostycznych uzyskanych dzięki niewidzialnemu promieniowaniu rentgenowskiemu (promienie X). Ultrasonografia (USG) wykorzystuje nieszkodliwe dla pacjentów fale ultradźwiękowe. Obrazowanie w badaniach tomografii rezonansu magnetycznego (MR) to wykorzystanie jądrowego rezonansu magnetycznego, czyli rezonansowego pochłaniania impulsów fal elektromagnetycznych o częstotliwości radiowej przez jądra atomowe umieszczone w stałym polu magnetycznym. Wykorzystanie promieniotwórczości to badania scyntygraficzne: scyntygrafia, SPECT, PET. Cechą wspólną jest ich nieinwazyjność, łatwość wykonania, powtarzalność, niewielka szkodliwość. Pamiętać należy, że diagnostyka radioizotopowa pozwala na zobrazowanie funkcji różnych narządów, nie daje jednak obrazów anatomicznych badanych struktur.

Wszystkie te metody mogą, czasami muszą, być wykorzystywane w diagnostyce pediatrycznej, a zakres ich stosowania jest taki sam jak u dorosłych. Odrębność metod obrazowania jest spowodowana faktem, że dziecko to nie mały dorosły. Wymagane jest użycie aparatury dostosowanej do badania dzieci, a więc w przypadku:

- USG: głowic wysokiej częstotliwości, odpowiedniego kształtu i wielkości czoła.
- MR: cewki pediatryczne.
- Scyntygrafia: pediatryczne kolimatory.
- RTG klasyczne i TK: odpowiednio niskiej dawki promieniowania. Pamiętać należy o szkodliwościach wynikających z użycia promieni rentgenowskich.

Promieniowanie X wywołuje w organizmie ludzkim wiele reakcji fizycznych i chemicznych, które mają swoje skutki biologiczne. Organizm dziecka jest znacznie bardziej wrażliwy na działanie promieni jonizujących i bardziej zagrożony możliwościami wystąpienia negatywnych skutków, ponieważ:

1. Komórki dziecka charakteryzuje duża aktywność mitotyczna, co wpływa na promienioczułość tkanek i uszkodzenia chromosomów (mutacje punktowe, aberracje chromosomów i/lub zahamowanie podziałów).
2. Szybkość wzrostu ustroju powoduje zwiększenie radioczułości. Organizm rosnącego dziecka składa się z mniejszej liczby komórek niż dorosłego, tak więc uszkodzenie jednej z nich może w trakcie rozwoju zostać przekazane znacznie większej liczbie komórek potomnych.
3. Pod wpływem promieniowania jonizującego w wodzie zachodzą reakcje radiolizy, wytwarzają się wolne rodniki, które mogą uszkodzić układy enzymatyczne lub DNA. Z wiekiem zmniejsza się zawartość wody w organizmie.
4. Szpik kostny, a szczególnie szpik czerwony, jest bardzo wrażliwy na promieniowanie jonizujące. U dziecka ten ostatni znajduje się w całym układzie kostnym. Zamiana szpiku czerwonego w żółty trwa od 4 lub 5 roku życia do okresu pokwitania.

* Zdjęcia zamieszczone w tym rozdziale pochodzą z badań wykonanych w Zakładzie Diagnostyki Obrazowej i Radiologii Zabiegowej Samodzielnego Publicznego Szpitala Klinicznego nr 6 Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach, Górnośląskie Centrum Zdrowia Dziecka im. Jana Pawła II.



5. Ciało dziecka ma niewielkie rozmiary. Badanie jakiegokolwiek narządu dziecka łączy się z rozleglejszym napromienieniem otoczenia: między innymi krwi krążącej, szpiku kostnego, gonad. Im mniejsze dziecko i bliższe sąsiedztwo różnych narządów, tym większa procentowo powierzchnia napromieniowana.
6. Dziecko jest potencjalnym rodzicielem w przyszłości, należy zatem chronić jego gonady, w celu przeciwdziałania wystąpieniu u potomstwa wad wynikających z uszkodzenia materiału genetycznego.

Prawo atomowe stanowi, że badanie radiologiczne może być wykonane tylko na podstawie skierowania wystawionego przez klinicystę po upewnieniu się, że inne alternatywne i nieinwazyjne metody lub wcześniejsze badania nie mogą dostarczyć niezbędnych, analogicznych informacji do postawienia rozpoznania. Wybór właściwej metody obrazowania powinien wynikać ze szczegółowo zebranego wywiadu i dokładnego badania klinicznego. Ścisła współpraca radiologa z klinicystą dziecięcym, znajomość metod obrazowania pozwala wybrać tę, która najszybciej i z jak najmniejszą szkodą dla małego pacjenta doprowadzi do postawienia prawidłowego rozpoznania. Pamiętać należy, że dziecko podczas badania jest wystraszone, niespokojne, płacze, szybciej oddycha, co powoduje nieostrość obrazu wynikającą z poruszenia i konieczność powtórnego badania. Dopuszczalne jest badanie dziecka w obecności rodzica, opiekuna a w niektórych przypadkach konieczne jest wcześniejsze podanie znieczulenia. Radiografia, czyli klasyczne zdjęcia RTG powinny rozpoczynać diagnostykę obrazową narządów klatki piersiowej i kości.

Obrazowanie narządów jamy brzusznej i miednicy, narządów położonych powierzchownie, takich jak jądra czy tarczycy powinny zaczynać badania ultrasonograficzne. Badania USG stawów biodrowych u najmłodszych (noworodki i niemowlęta) to profilaktyka i szybkie rozpoznanie dysplazji stawów biodrowych, a przezcięmiączkowe badania OUN to najprostsza, najszybsza, nieinwazyjna metoda badania struktur mózgowia.

Klatka piersiowa

Standardowe zdjęcie RTG klatki piersiowej wykonywane jest w pozycji stojącej w projekcji P–A (tylno-przedniej) w fazie wdechowej. Małe dzieci mogą być trzymane przez rodziców lub osobę towarzyszącą podczas badania. Dyskomfort takiej sytuacji sprawia, że dzieci często płaczą. Wysiłek oddechowy unosi wtedy przeponę ku górze, do pozycji wydechowej, a niektóre części płuc mogą się zapadać. Naczynia płucne poszerzają się, jak w przypadku przekrwienia. Obraz klatki piersiowej ulega zmianie i może być mylnie oceniony jako zapalenie płuc lub np. zespół aspiracji smółki u noworodka.

U noworodków i niemowląt zdjęcia radiologiczne klatki piersiowej i jamy brzusznej wykonuje się w pozycji leżącej na plecach, fizjologicznej dla dziecka, w której łatwiej je unieruchomić, w projekcji A–P (przednio-tylnej). Zmiany w obrazie wynikające z tej pozycji dla doświadczonego diagnosty nie mają większego znaczenia. U niemowląt istnieje także możliwość badania w aparaturze unieruchamiającej, np. w *Bobiksie*. Pozycja podczas badania (stojąca, leżąca) oraz projekcja (P–A lub A–P) i strona dziecka (prawa, lewa) muszą być oznaczone na kliszy rentgenowskiej lub nośniku cyfrowym (płytki CD). Zdjęcia wykonuje się odpowiednio dobraną dawką (mAs i kV), trzony kręgów piersiowych powinny być widoczne za sylwetką sercowo-naczyniową. Należy zachować symetrię projekcji: wyrostki kolczyste prawidłowo wyśrodkowane, równa odległość pomiędzy końcami mostkowymi obojczyków a linią pionową przechodzącą przez środek mostka i prawidłowa głębokość wdechu: widoczne są nieprzesłonięte przez kopuły przepony odcinki tylne IX lub X żebra. Tchawica położona pośrodkowo, obojczyki i łopatki odwiedzone, aby odsłonić pola płucne, symetryczne cienie sutków.

Prawidłowo wykonane zdjęcie RTG klatki piersiowej pozwala ocenić:

- pola płucne: ich wielkość, symetrię, powietrzną,
- obecność zmian ogniskowych – zacieniń lub przejaśnień,
- rysunek podścieliska,
- wnęki płucne: prawidłowe, węzłowe, naczyniowe,
- sylwetkę serca: kształt, wielkość, rysunek naczyniowy,
- cień środkowy: narządy śródpiersia – zwłaszcza u małych dzieci, u których śródpiersie górne powiększone jest przez grasicę,
- przeponę: jej obecność, wysklepienie,
- widoczne struktury kostne: obojczyki, żebra, kręgosłup piersiowy.



Obraz radiologiczny narządów klatki piersiowej zależy od:

- a) wieku,
- b) fazy oddychania,
- c) techniki wykonywania zdjęć.

Interpretacja zdjęć klatki piersiowej u małych dzieci to szczególne wyzwanie dla radiologa. Wygląd klatki piersiowej i narządów w niej zawartych zmienia się z wiekiem.

U niemowlęcia:

- 1) wymiar przednio-tylny zbliżony do poprzecznego (klatka beczkowata),
- 2) tylne odcinki żeber o przebiegu równoległym,
- 3) lewa połowa przepony wyżej ustawiona (do szóstego miesiąca),
- 4) serce poprzecznie położone o przewodzie prawej komory,
- 5) górna część cienia śródpiersia poszerzona przez grasnicę.

Interpretacja obrazu RTG klatki piersiowej jest szczególnie trudna u noworodków leczonych na oddziałach intensywnej terapii, gdzie zdjęcia wykonuje się aparatem przyłóżkowym, często w fazie wydechowej, co może powodować mylną ocenę upowietrzenia płuc – zmniejszenie upowietrzenia. Na zdjęciu niesymetrycznym, zrotowanym, jedno z płuc może wydawać się mniejsze, a sylwetka serca przemieszczona. Powiększona, przemieszczona grasnica może imitować płatowe zapalenie płuc. Trudności pogłębiają: artefakty ruchowe, ruchy oddechowe, duża liczba drenów, sond, elektrod w badanym polu. Neonatolog oczekuje, aby opis zdjęcia RTG klatki piersiowej zawierał ocenę narządów klatki piersiowej i ocenę położenia rurki intubacyjnej, sondy nosowo-żołądkowej, drenu i końcówki dojścia żylnego, drenu odbarczającego w przypadku stwierdzenia odmy opłucnowej, osierdziowej, płynu/krwii w jamie opłucnej i jamie osierdziowej. W przypadku założenia sztucznych stymulatorów serca, konieczne jest określenie miejsca wprowadzenia i położenia końca elektrod oraz potwierdzenie ciągłości przewodów elektrod.

U dzieci wyniszczonych części miękkie ścian klatki piersiowej są względnie cienkie, co może powodować, że:

- 1) fałdy skórne mogą naśladować obraz odmy opłucnowej,
- 2) cienie fałdów pachowych mogą imitować granice płuc.

Ważne jest, aby pierwsze zdjęcie klatki piersiowej wykonywane u noworodka obejmowało swym zakresem klatkę piersiową i jamę brzuszną. Ocena położenia przepony i rozłożenia gazów w pętlach jelitowych pozwoli na wykrycie wrodzonych wad przewodu pokarmowego. U noworodków z licznymi wrodzonymi wadami kostnymi pierwsze zdjęcie *babygram* powinno obejmować całą sylwetkę noworodka: głowę, tułów, kończyny.

W wieku 9–10 lat obraz radiologiczny klatki piersiowej przypomina klatkę dorosłego człowieka.

Zdjęcia klatki piersiowej w ułożeniu bocznym wykonuje się obecnie coraz rzadziej. Przydatne są w ocenie lokalizacji przestrzennej zmian stwierdzanych w badaniach P–A/A–P. Pomocne są w ocenie poszerzenia śródpiersia górnego przez grasnicę. Zdjęcia z kontrastem w przełyku uwidaczniają ucisk przełyku przez nieprawidłowo przebiegające duże naczynia, czy też zmiany guzowate. Coraz częściej zastępowane są badaniami TK lub angio-TK.

Prześwietlenie u dzieci powinno być wykonywane jak najrzadziej i tylko aparatem z elektronicznym wzmacniaczem obrazu.

Nadal aktualnym **wskazaniem do prześwietlenia** jest poszukiwanie ciała obcego. Ocena umiejscowienia przestrzennego zmiany jest dokładniejsza w badaniach TK. Wielorzędowe spiralne aparaty TK umożliwiają wykonywanie w *post procesingu* rekonstrukcji wielopłaszczyznowych i objętościowych. Podczas badania metodą TK, nawet aparatem najnowszej generacji, dziecko otrzymuje większą dawkę promieniowania, o czym należy pamiętać.

U współpracującego dziecka ocenę ruchomości przepony można zastąpić badaniem USG, a ocenę tętnienia serca i dużych naczyń – echokardiografią.

Bronchografię u dzieci również wykonujemy podczas prześwietlenia, lecz w znieczuleniu ogólnym przy ścisłej współpracy z anestezjologiem. Celem tego badania jest ocena wad i zmian destrukcyjnych drzewa oskrzelowego, często decyduje ono o podjęciu decyzji dotyczącej leczenia chirurgicznego.



Tomografia komputerowa klatki piersiowej

Wielorzędowe aparaty nowej generacji, możliwość coraz lepszych rekonstrukcji wielopłaszczyznowych oraz objętościowych spowodowały, że rola tego badania w diagnostyce klatki piersiowej u dzieci znacznie wzrosła. Dzięki różnicy pochłaniania promieni X przez różne tkanki, badanie TK umożliwia pomiar gęstości tkanek w skali Hounsfielda, co pozwala na odróżnienie tworów litych od torbielowatych, jednoznacznie różnicuje krew, płyn, tkankę tłuszczową, powietrze i gazy, kości oraz zwapnienia. Wykorzystanie okna miękotkankowego, płucnego, przeprowadzenie badania przed i po kontraście umożliwia wykrycie wad płuc i oskrzeli, wad dużych naczyń i serca. Dzięki badaniu TK klatki piersiowej można wykryć najdrobniejsze guzy płuc (u dzieci głównie przerzutowe), dokładnie je lokalizując (wewnątrz płuc, podopłucnowo, śródpiersiowo, we wnęce). W przypadku guzów śródpiersia badanie TK pozwala uściślić ich położenie (w śródpiersiu przednim, środkowym, tylnym), co przybliży rozpoznanie rodzaju guza.

Badanie w oknie płucnym, czy badanie HRCT ocenia miąższ płucny i tkankę śródmiąższową. Pozwala uwidocznić zmiany zachodzące w płucach w przypadku mukowiscydozy, wrodzonych lub nabytych rozstrzeni oskrzeli, w zapaleniach oportunistycznych związanych z infekcją grzybiczą u dzieci leczonych chemioterapią. Możliwa jest podczas jednego badania TK równoczesna ocena narządów i struktur kostnych klatki piersiowej, co pozwala uwidocznić wady układu kostnego, jak i zmiany pourazowe w płucu, sercu czy w kościach. Angio-TK klatki piersiowej u dzieci to diagnostyka wad aorty i dużych naczyń (koarktacja aorty, ringi naczyniowe, sekwestracja płucna).

Badania naczyniowe: arteriografia/aortografia to ocena wad i hemodynamiki serca.

Ultrasonografia w badaniach klatki piersiowej to przede wszystkim:

- echokardiograficzne badania serca – dziedzina opanowana przez kardiologów,
- ocena płynu w jamie opłucnowej w przebiegu chorób układu oddechowego,
- ocena grasicy z przyłożenia głowicy we wcięciu mostka,
- ocena ruchomości przepony.

Jama brzuszna

Diagnostyka obrazowa jamy brzusznej obejmuje badania:

- przewodu pokarmowego,
- układu moczowo-płciowego,
- dużych gruczołów: wątroba, trzustka,
- układu chłonnego: śledziona, węzły chłonne,
- dużych naczyń.

Diagnostykę obrazową rozpoczyna wykonanie zdjęcia przeglądowego jamy brzusznej i/lub USG jamy brzusznej .

Prawidłowe zdjęcie przeglądowe jamy brzusznej:

- obejmuje tułów od łuków żebrowych po spojenie łonowe – oddzielony od klatki piersiowej kopułami przepony,
- uwidacznia zacienienie pod prawą kopułą przepony spowodowane obecnością wątroby,
- bańkę powietrza w żołądku pod lewą kopułą przepony,
- pętle jelit równomiernie rozmieszczone w całej jamie brzusznej.

Szczegółowa analiza zdjęć przeglądowych jamy brzusznej dotyczy oceny:

- rozmieszczenia i obecności gazów: wewnątrz światła jelit i śródściennie, w jamie otrzewnej, w żyłce wrotnej,
- obecności płynu wewnątrz światła jelit lub w jamie otrzewnej,
- obecności poziomów płynu,
- zarysu mięśnia biodrowo-lędźwiowego,
- obecności zwapnień wewnątrz- i zewnątrzotrzewnowych,
- układu kostnego,
- kopuł przepony: ich obecność, zarys, wolne powietrze pod kopułami.



Pamiętać należy:

- jelita wypełniają się powietrzem do 24 godzin po urodzeniu, niewypełnienie powietrzem pętli jelitowych w tym czasie nie jest obrazem patologii,
- konieczne jest wykonanie zdjęcia przeglądowego jamy brzusznej przed przystąpieniem do badań z użyciem środków cieniujących.

Ultrasonografia: podstawowe badanie obrazowe wykonywane u dzieci z dolegliwościami dotyczącymi narządów jamy brzusznej. Jest nieinwazyjne, może być powtarzane wielokrotnie, niezależnie od stanu klinicznego dziecka. Nie wymaga specjalnego przygotowania, poza pozostawieniem dziecka na czczo – u noworodka i młodszego niemowlęcia wystarczy opuścić jeden posiłek a starsze dzieci powinny wstrzymać się od jedzenia przez 3–5 godzin, w zależności od wieku. Zajmuje niewiele czasu (od 5 do 20 minut), można je przeprowadzić na każdym etapie postępowania diagnostycznego i terapeutycznego – także w łóżku pacjenta. Nie wymaga znieczulenia. U najmłodszych dzieci wskazane jest rozpoczynanie badania od miednicy, aby móc ocenić pęcherz moczowy przed wykonaniem przez dziecko mikcji na skutek dotyku głowicą. Warto podkreślić, że badania ultrasonograficzne są najtańsze ze wszystkich stosowanych metod obrazowania narządów, co jest ich dodatkową wartością. Zakres metody rozszerza się w miarę doskonalenia aparatury ultradźwiękowej, co związane jest z użyciem coraz lepszych jakościowo obrazów o lepszej zdolności rozdzielczej, pozwalającej na uwidocznienie zmian o średnicy mniejszej niż 5 mm. Jakość obrazów u dzieci należy do najlepszych ze względu na warunki badania, a zwłaszcza brak dużej ilości tkanki tłuszczowej, która znacznie utrudnia przechodzenie fali ultradźwiękowej, uniemożliwiając lub znacznie utrudniając ocenę narządów leżących głębiej.

Stosowane aktualnie w procesie diagnostycznym aparaty USG wyposażone mogą być w dowolną liczbę głowic, najczęściej szerokopasmowych, o różnych częstotliwościach (2,0–14 MHz), różnej wielkości i o różnych kształtach czoła głowicy. Taki zakres częstotliwości fal ultradźwiękowych, jeśli jest stosowany krótko, nie wywiera szkodliwego wpływu na organizm ludzki. Wybór głowicy do badania uwarunkowany jest wielkością dziecka, jego masą i rodzajem narządu, który chcemy zbadać. Im młodsze i szczuplejsze dziecko, tym częstotliwość głowicy używanej do badania powinna być wyższa. Narządy położone powierzchownie: tarczyca, ślinianki, sutki, tkanki miękkie, przymózgowa przestrzeń płynowa należy diagnozować głowicą linearną o wysokiej częstotliwości (7–14 Mhz). Każdy narząd ma swoją określoną strukturę echogeniczną, która w przypadku zmian chorobowych, anomalii i wad rozwojowych ulega zmianie. Diagnosta powinien bardzo dobrze znać zarówno prawidłowy, jak i patologiczny obraz ultrasonograficzny poszczególnych narządów, aby móc je właściwie ocenić i zdecydować o zakończeniu procesu diagnostycznego lub zaproponować wybór kolejnej metody obrazowej, w celu jak najszybszego ustalenia właściwej diagnozy.

Badanie ultrasonograficzne jamy brzusznej u dzieci musi obejmować ocenę wszystkich narządów jamy brzusznej i miednicy. Jest doskonałą metodą rozpoznawczą:

- wrodzonych i nabytych patologii dróg żółciowych,
- wodonercza i innych wad nerek,
- torbieli – nerek, śledziony, wątroby, przewodu żółciowego wspólnego,
- kamicy pęcherzyka żółciowego i nerek,
- guzów litych,
- obecności wolnego płynu w jamie otrzewnowej.

Ultrasonografia pozwala, poprzez powtórne badanie, po odpowiednim przygotowaniu dziecka, wykluczyć zmiany, które sugerowały obecność guza, a były spowodowane nadmiernym wypełnieniem pęcherza moczowego, żołądka czy masami kałowymi w jelitach.

Badania kontrastowe przewodu pokarmowego to podobnie jak u dorosłych pacjentów:

- 1) badania z podaniem środka cieniującego *per os*,
- 2) lub *per rectum* – diagnostyczny wlew doodbytniczy.

Badania wykonuje lekarz radiolog w asyście technika radiologii, często także pielęgniarki. Obecność rodziców dziecka znacznie poprawia komfort badania.

Podstawowym środkiem cieniującym jest zawiesina siarczanu baru.



W przypadkach podejrzanych o perforację przewodu pokarmowego należy stosować wodne roztwory środków cieniujących: **Ultravist**, **Urografin** lub specjalne środki do badania przewodu pokarmowego, np. **Gastrografin**.

U noworodków z niedrożnością smółkową lub mukowiscydozą do wlewu kontrastowego stosuje się jodowe środki cieniujące rozpuszczalne w wodzie. Czyszczących wlewów doodbytniczych nie wykonuje się u niemowląt i małych dzieci.

Przeciwwskazania do badania przewodu pokarmowego z podaniem środka cieniującego *per os* są następujące:

- stany ostrej niedrożności jelitowej,
- świeże oparzenia przełyku,
- podejrzenie zarośnięcia przełyku – przeciwwskazanie względne, podanie niewielkiej ilości niskojodowego, rozpuszczalnego w wodzie środka kontrastowego może uwidocznic górną przetokę przełykowo-tchawiczą lub przełykowo-oskrzelową.

Podstawowym przeciwwskazaniem do wykonania diagnostycznego wlewu doodbytniczego jest martwicze zapalenie błony śluzowej jelita.

Badania układu moczowego

- ultrasonografia,
- cystourethrografia mikcyjna,
- urografia MR,
- urografia,
- tomografia komputerowa i angio-TK,
- badania naczyniowe.

Cystourethrografia mikcyjna

Wskazania

- przewlekłe, nawracające lub oporne w leczeniu choroby układu moczowego,
- nieprawidłowości rozwojowe zewnętrznych narządów płciowych,
- nieprawidłowa, utrudniona lub bolesna mikcja,
- nietrzymanie moczu.

Technika badania: cystourethrografię mikcyjną można wykonać po osiągnięciu jałowych posiewów moczu oraz prawidłowych badań ogólnych moczu.

Po odkażeniu okolicy ujścia zewnętrznego cewki moczowej wprowadza się do pęcherza cewnik, przez który podajemy drogą szybkiego, ciągłego, dopęcherzowego wlewu kroplówkowego roztwór jodowego środka cieniującego rozcieńczony dwu- lub trzykrotnie solą fizjologiczną. Ilość tego środka zależy od pojemności pęcherza moczowego i od momentu wystąpienia u badanego dziecka wyraźnego parcia na mocz. Odpowiednie dawki roztworu środka cieniującego podawane do pęcherza wynoszą:

u noworodków około	30–50 ml
u niemowląt około	50–70 ml
u dzieci w wieku przedszkolnym	100–200 ml
u dzieci starszych nawet	300–500 ml

Badanie przeprowadza się pod kontrolą ekranu rentgenowskiego wyposażonego w elektroniczny wzmacniacz ekranów rentgenowskich. Należy wykonać tzw. upatrzone zdjęcia w trakcie podawania środka cieniującego, przy pełnym wypełnieniu pęcherza moczowego, w czasie mikcji i po jej zakończeniu. Badanie to ma potwierdzić lub wykluczyć obecność odpływów pęcherzowo-moczowodowych, ocenić zaleganie moczu w pęcherzu po mikcji. Uwidocznienie cewki moczowej podczas mikcji u chłopców pozwala ocenić zastawkę cewki tylnej, obecność której jest przyczyną zaburzeń mikcji, często towarzyszy jej obecność odpływów pęcherzowo-moczowodowych.

Urografia konwencjonalna

Ta metoda obrazowania zawsze powinna być poprzedzona badaniem USG.



Badanie należy wykonać po **dobrym nawodnieniu dziecka** i wcześniejszym oznaczeniu poziomu kreatyniny, co związane jest z minimalizowaniem ryzyka nefropatii pokontrastowej (CIN).

Dobre nawodnienie i oznaczenie poziomu kreatyniny powinno być zasadą przy wykonywaniu wszelkich badań obrazowych, w których podaje się dożylnie środki cieniujące.

Wskazania

- podejrzenie wad i anomalii układu moczowego,
- kolka nerkowa,
- przebyte infekcje układu moczowego,
- nadciśnienie tętnicze,
- niewydolność nerek,
- uraz jamy brzusznej,
- wrodzone wady poza układem moczowym mogące wskazywać na możliwość współistnienia wad układu moczowego.

Cele urografii:

- ocena funkcji nerek: wydzielania i wydalania,
- ocena kształtu, wielkości, położenia nerek,
- ocena układów kielichowo-miedniczkowo-moczowodowych,
- uwidocznienie dróg wyprowadzających mocz,
- różnicowanie złogów uwapnionych i niewapnionych.

Badania TK i angio-TK układu moczowego coraz częściej zastępują urografię w diagnostyce:

- guza nerki,
- przemieszczenia nerek i dróg moczowych przez patologie spoza układu moczowego – pośredni obraz guza jamy brzusznej,
- nacieków nowotworowych na układ moczowy,
- ciągłości dróg moczowych po urazach lub zabiegach operacyjnych,
- anomalii tętnic nerkowych.

Przeciwwskazania

- znacznego stopnia odwodnienie u niemowląt i noworodków, a zwłaszcza wcześniaków z niską wagą urodzeniową,
- uczulenie na jod.

Ogólną zasadą jest podawanie właściwych ilości środka cieniującego z grupy rozpuszczalnych w wodzie niskojonowych preparatów jodowych (Ultravist, Omnipaque):

- u noworodków z prawidłową wagą urodzeniową – 2–3 ml środka cieniującego na 1 kg c.c. (10–12 ml na jedno badanie),
- u noworodków, a zwłaszcza wcześniaków z niską wagą urodzeniową, nie powinno się przekraczać 6–8 ml na jedno badanie,
- u dzieci starszych podajemy średnio 1,0–1,5 ml na 1 kg c.c.

Technika badania:

Dziecko będące na czczo, któremu towarzyszy rodzic, pielęgniarka lub opiekun prawny zgłasza się do badania. Wykonuje się je w pozycji leżącej na plecach, a rozpoczyna od zdjęcia przeglądowego jamy brzusznej. Następnie podaje się dożylnie środek cieniujący i wykonuje zdjęcia po 3–5 minutach, po 5–7 i 15 minutach. Jeśli moczowody nie zostały uwidocznione, należy wykonać zdjęcie u dziecka leżącego na brzuchu. Brak wydzielania jest wskazaniem do wykonania zdjęć opóźnionych po upływie 3; 6; 12 lub 24 godzin. Aby ocenić nerkę opadającą wykonuje się zdjęcie w pozycji stojącej. W pewnych przypadkach korzyści może przynieść zrobienie zdjęcia jamy brzusznej bezpośrednio po oddaniu moczu (zdjęcie pomikcyjne lub mikcyjne), które wykazuje pośrednie lub nawet bezpośrednie cechy wstecznego odpływu pęcherzowo-moczowodowego, czasami z objawami tzw. przejściowego wodonercza.

Szerokie rozpowszechnienie badań ultrasonograficznych u dzieci znacznie zmniejszyło liczbę wykonywanych urografii, a zwiększyło cystouretrografii mikcyjnej.



Do nowych metod należy urografia rezonansu magnetycznego **MRU**, która zapewnia bezpieczne dla dzieci, **pozbawione działania promieni X** badania układu moczowego.

Tomografia komputerowa jamy brzusznej to metoda związana z większym narażeniem na promieniowanie X i kosztowna – u dzieci do 4–5 roku życia wymaga badania w uśpieniu anestezyjologicznym. W celu wykluczenia pomyłek, spowodowanych nakładaniem się pętli jelitowych, konieczne jest zakontrastowanie jelit przez doustne podanie roztworu Urografinu lub wody, co pozostaje w sprzeczności z przygotowaniem dziecka do znieczulenia. Konieczna jest ścisła współpraca z anestezyjologiem. Dobrze wykonane badanie ultrasonograficzne w wielu przypadkach pozwala zrezygnować z badania KT.

Wskazania do TK jamy brzusznej u dzieci

- urazy jamy brzusznej,
- diagnostyka chorób nowotworowych jamy brzusznej,
- wady wrodzone,
- choroby zapalne jelit – choroba Leśniowskiego-Crohna,
- wady wrodzone, anomalie naczyniowe i schorzenia nabyte naczyń – angio-TK.

Badania naczyniowe

Wskazania do angiografii subtrakcyjnej są takie jak u dorosłych, np. w przypadku podejrzenia anomalii naczyniowych, często z następczą interwencją radiologiczną.

Układ kostny

Technika, metody i wskazania u dzieci są takie same jak u dorosłych.

Opis zdjęcia kostnego powinien być oparty na dokładnej znajomości anatomii rentgenowskiej w okresie rozwoju, znajomości czasu pojawiania się jąder kostnienia w danej kości, zachowania się chrząstek wzrostowych. W diagnostyce i leczeniu niskorosłości ważna jest ocena wieku kostnego dziecka na podstawie obecności jąder kostnienia poszczególnych kości ręki. Zarośnięcie chrząstek wzrostowych przynasad dolnych kości udowych i górnych kości piszczelowych kończy proces wzrastania dziecka na długość.

Diagnostyka OUN u dzieci to badania USG, MR, TK

Prześcięciatkowe badanie ultrasonograficzne u dzieci z zachowanym ciemniączkiem powinno być pierwszym badaniem obrazowym struktur OUN. Wykonuje się je głowicą sektorową wysokiej częstotliwości, co najmniej 5 MHz. Do oceny struktur powierzchniowych, takich jak: przymózgowe przestrzenie płynowe i powierzchniowe warstwy mózgowia, konieczna jest głowica liniowa o wysokiej częstotliwości – 7–14 MHz.

Zawsze obowiązuje wykonanie:

1) przekrojów czołowych przechodzących przez:

- płaty czołowe,
- rogi czołowe komór bocznych,
- część centralną rogów bocznych na poziomie otworów Monro,
- trójkąty komorowe,
- płaty potyliczne,

2) przekrojów strzałkowych – w tym:

- jednego pośrodkowego przechodzącego przez osie komór III i IV,
- dwóch nieco skośnych wykonanych w osi komór bocznych,

3) przekrojów czołowych przestrzeni podtwardówkowych wykonywanych głowicą liniową.

Prześcięciatkowe badanie ultrasonograficzne powinno być **badaniem rutynowym** u każdego wcześniaka, którego urodzeniowa masa ciała wynosi 1500 g lub mniej, a wiek płodowy odpowiada 32 tygodniowi życia lub mniej.



Dzieci te stanowią grupę ryzyka, w której niebezpieczeństwo wystąpienia krwawienia śródczaszkowego jest szczególnie duże.

Badanie MR umożliwia dokładną ocenę struktur OUN, zmian zachodzących w istocie białej i szarej podczas dojrzewania oraz w procesach chorobowych, takich jak: zapalenie, procesy demielinizacyjne, choroby spichrzeniowe, guzy mózgu, guzy rdzenia kręgowego, wady OUN.

Badanie TK OUN u dzieci powinno ograniczyć się do oceny zmian pourazowych, struktur kostnych, zwapnień.

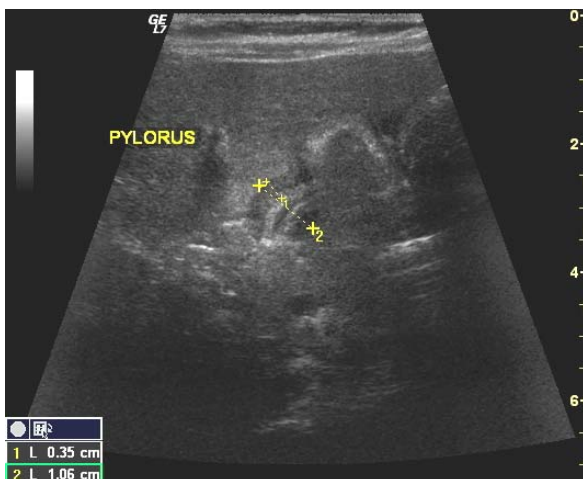
Rozwój metod obrazowania za pomocą MR i wzrastająca liczba pracowni rezonansu magnetycznego doprowadzi zapewne do znacznego ograniczenia badań TK wykonywanych u dzieci. Do oceny zmian pourazowych tomografia komputerowa pozostanie jednak metodą pierwszego rzutu.



Ryc. 17. Prawidłowa urografia u kilkuletniego dziecka. Obustronnie prawidłowe kielichy nerkowe mniejsze. Miedniczka prawa dwudzielna. Miedniczka lewa szersza przy prawidłowych kielichach to odmiana anatomiczna.



Ryc. 18. Prawidłowe RTG klatki piersiowej niemowlęcia. Cień środkowy poszerzony w odcinku górnym przez grasicę – objaw „żagla”.



Ryc. 19. Badanie USG: prawidłowy oddźwiernik: długość kanału oddźwiernika < 17–14 mm, grubość mięśniówki < 4 mm.



Ryc. 20. Miednica dziecka – zachowane chrząstki wzrostowe: w panewce stawów biodrowych, u podstaw głów kości udowej, u podstaw krętarzy, w spojeniu łonowym.

Piśmiennictwo

1. *Garcia-Valtuille R., Garcia-Valtuille A.I., Abascal F., Cerezal L., Argüello M.C.*: Magnetic resonance urography: a pictorial overview. *The British Journal of Radiology*. 2006; 79: s. 614–626.
2. *Marciński A.*: Ultrasonografia pediatryczna. T. 1 i 2. Sanmedia. Warszawa 1994.
3. *Siemianowska M., Wszyńska T.*: Nefrologia dziecięca. T. 1. Ośrodek Informacji Naukowej Polfa. Warszawa 2003.
4. *Slovis T.L.*: Caffey's Pediatric Diagnostic Imaging – eleventh edition. T. 1 i 2. Mosby Elsevier. Filadelfia 2008.

3. Diagnostyka obrazowa serca*

Jan Baron, Katarzyna Gruszczyńska, Stanisław Nowak, Krystian Rudzki

Serce znajduje się w klatce piersiowej na poziomie trzonów kręgów piersiowych Th5–Th9. Tylko 1/3 tego narządu znajduje się po stronie prawej od linii środkowej ciała (prawy przedsionek i niewielka część prawej komory).

Dostępne metody diagnostyczne dają możliwość zarówno oceny sylwetki serca w całości, jak i jego poszczególnych jam.

Zdjęcie klatki piersiowej

Jednym z podstawowych badań serca oprócz EKG i UKG jest zdjęcie klatki piersiowej. Nie wymaga przygotowania pacjenta. Wykonywane jest zazwyczaj w projekcji tylnoprzodniej P–A, to znaczy promienie rentgenowskie przechodzą przez klatkę piersiową od tyłu ku przodowi. Odległość lampy od badanego wynosi 180–200 cm, gdyż przy niej wiązka promieniowania docierająca do pacjenta jest niemal równoległa, co powoduje, że zniekształcenie i powiększenie obrazu jest niewielkie. Przednia powierzchnia klatki piersiowej pacjenta przylega do ścianki, w której znajduje się kasetka z filmem rentgenowskim, co pozwala uniknąć powiększenia badanych narządów.

Zdjęcie klatki piersiowej zazwyczaj wykonywane jest na wdechu, w pozycji stojącej. U pacjentów w stanie ciężkim może być zrobione w pozycji siedzącej lub leżącej. W skrajnych przypadkach możliwe jest wykonanie zdjęcia aparatem przyłóżkowym, bez konieczności przewożenia pacjenta. Często badaniem uzupełniającym zdjęcie w projekcji tylnoprzodniej (P–A) jest zdjęcie boczne: lewoprawe lub prawo-lewe, rzadziej w projekcjach skośnych.

Serce na zdjęciu przeglądowym klatki piersiowej daje równomiernie wysycony cień. O poszczególnych jamach serca można wnioskować na podstawie obrysów jego sylwetki. Ocena ta jest dość przybliżona, gdyż na kształt i wielkość serca na zdjęciu klatki piersiowej mają wpływ następujące czynniki:

- faza oddechu, w której było wykonane zdjęcie,
- pozycja badanego,
- wiek i typ budowy ciała pacjenta,
- ciśnienia w jamach opłucnowych i w jamie otrzewnej.

Sylwetka serca jest wypadkową grubości mięśnia sercowego i wielkości jam serca.

Do orientacyjnej oceny sylwetki serca na zdjęciu P–A klatki piersiowej służy wskaźnik sercowo-klatkowy, czyli tak zwany wskaźnik Groedela, który jest ilorazem największego wymiaru poprzecznego serca do największego wymiaru klatki piersiowej. Pomiar dokonywany jest na poziomie górnego zarysu prawej kopuły przepony. Wartość wskaźnika sercowo-płucnego zależy od wieku badanej osoby:

- u dzieci do 1 roku życia wynosi 0,5–0,58,
- u dzieci między 1 a 6 rokiem życia wynosi 0,49–0,45,
- w wieku 18 lat osiąga średnio wartość 0,4,
- u osoby dorosłej nie powinna przekraczać 0,5.

* Zdjęcia RTG i TK zamieszczone w tym rozdziale pochodzą z badań wykonanych w Zakładzie Radiodiagnostyki i Radiologii Zabiegowej Samodzielnego Publicznego Centralnego Szpitala Klinicznego im. prof. Kornela Gibińskiego Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach.

Zdjęcia z rezonansu magnetycznego zamieszczone w tym rozdziale pochodzą z badań wykonanych w Samodzielnej Pracowni Diagnostyki Obrazowej „Tomograf” Sp. z o.o. w Tychach.



Zdjęcie klatki piersiowej ma szczególne znaczenie w ocenie następstw hemodynamicznych wad serca, a zwłaszcza wad wrodzonych. Jedynym przeciwwskazaniem jest ciąża.

Echokardiografia

Ultrasonografia jest najczęściej stosowaną, powtarzalną i pozbawioną przeciwwskazań metodą obrazowania serca. Używane są głowice sektorowe o częstotliwości od 2,5 do 3,5 MHz dla dorosłych i 5 MHz dla dzieci.

Wskazania

- wady serca,
- kardiomiopatie,
- choroba niedokrwienna serca,
- zapalenie mięśnia sercowego, bakteryjne zapalenie wsierdzia,
- nadciśnienie tętnicze,
- zaburzenia rytmu serca,
- choroby osierdzia (np. płyn w jamie osierdzia, tamponada serca),
- choroby naczyń (np. tętniak aorty),
- nadciśnienie płucne, zatorowość płucna,
- urazy serca,
- nowotwory serca.

Przygotowanie pacjenta

Pacjent do echokardiografii nie wymaga przygotowania, poza badaniem przezprzełykowym, które przeprowadzane jest na czczo, może być wykonane w znieczuleniu ogólnym lub po podaniu środków uspokajających.

Przeciwwskazania

Wśród przeciwwskazań do echokardiografii przezprzełykowej można wymienić: zmiany zapalne i żylaki przełyku, skazę krwotoczną, tętniak aorty.

Obecnie do oceny serca stosuje się:

- Badanie dwuwymiarowe, tzw. B – mode, wykonywane w różnych płaszczyznach, służy do morfologicznej oceny poszczególnych jam serca, mięśnia sercowego, zastawek, dużych naczyń wchodzących i wychodzących z serca, a także do oceny ruchu zastawek i kurczliwości mięśnia sercowego. Po obciążeniu ruchowym lub farmakologicznym (*Stress Echo*) jest stosowane w diagnostyce choroby niedokrwiennej serca do oceny pracy mięśnia sercowego przy zwiększonym wysiłku.
- Badanie trójwymiarowe – 3D (w czasie rzeczywistym – 4D) służy do przestrzennej oceny serca; jego dokładność diagnostyczna w ocenie parametrów funkcji i przepływów serca przewyższa metodę dwuwymiarową. Stosuje się je zwłaszcza u chorych z wadami serca (ocena przecieków i zastawek), do obrazowania kurczliwości odcinkowej serca, wielkości zawału, ropni okołozastawkowych, oceny struktur wewnątrzsercowych, takich jak: vegetacje, skrzepliny, guzy.
- Badanie dopplerowskie, służy do oceny przepływu krwi w jamach serca oraz przepływów przez zastawki lub dodatkowe otwory w obrębie przegrody serca. Ocenia także prędkość przepływu, objętość minutową serca, objętość przecieków, pole powierzchni ujść zastawkowych oraz gradienty ciśnień w poszczególnych jamach serca.
- Doppler (pulsacyjny) tkankowy ze znakowaniem ruchu serca w kolorze – ocenia kierunki, czas trwania, synchroniczność oraz maksymalne i średnie prędkości ruchu poszczególnych fragmentów miokardium, z uwzględnieniem składowych podłużnych, dośrodkowych i okrężnych. Badanie umożliwia ocenę odkształcenia i współczynnika odkształcenia, które odzwierciedlają miejscowe elastyczne właściwości mięśnia serca. Parametry te wykorzystywane są w diagnostyce niedokrwienia miokardium, szczególnie odcinkowego, oraz różnicowania niedokrwienia ostrego i przewlekłego.
- Echokardiografia z użyciem środków kontrastujących: szybkie wstrzyknięcie dożylnie kontrastu powoduje uwalnianie się mikropęcherzyków gazu. Dodatkowo zastosowanie obrazowania harmonicznego poprawia rozdzielczość kontrastową. Dzięki tej metodzie można lepiej ocenić ścianę boczną



i przednią serca, szczególnie u chorych w ciężkim stanie klinicznym, gdy istnieją trudności w badaniu tradycyjnym. Stosowana jest do jednoczesnej oceny perfuzji i kurczliwości mięśnia serca w diagnostyce przecieków i niedomykalności. Zwiększa czułość metod obciążeniowych w diagnostyce niedokrwienia.

- Badanie przezprzelykowe: sonda echokardiograficzna wprowadzana jest do przelyku na wysokość lewego przedsionka. Pozwala z dużą dokładnością ocenić skrzepliny w przedsionkach oraz wegetacje zastawkowe.
- USG wewnątrznaczyniowe: sonda wprowadzana jest do naczyń wieńcowych w trakcie koronarografii. Badanie jest złotym standardem w ocenie morfologii blaszki miażdżycowej.

Tomografia komputerowa serca

Badanie serca w TK możliwe jest zarówno z podaniem środka kontrastowego, jak i bez niego.

I. Obliczanie stopnia uwapnienia tętnic wieńcowych: tzw. wskaźnik calcium score

Badanie wykonywane jest w płaszczyznach poprzecznych, bez podania kontrastu, z zastosowaniem prospektywnego bramkowania EKG. Specjalne oprogramowanie oblicza stopień uwapnienia tętnic wieńcowych – tzw. wskaźnik Agatstona. Uzyskany wynik, w zależności od wieku i płci pacjenta, koreluje z prawdopodobieństwem poważnego zwężenia tętnic wieńcowych i jest wskaźnikiem ryzyka wystąpienia poważnego incydentu wieńcowego.

II. Angiografia TK tętnic wieńcowych (koronarografia TK)

Badanie jest wykonywane po dożylnym podaniu jodowego środka, za pomocą aparatu wielorzędowego, (co najmniej 64 warstwy), z dużą rozdzielczością czasową. Akwizycja jest bramkowana sygnałem EKG. Obecny stopień rozwoju techniki umożliwia zobrazowanie głównych pni oraz gałęzi segmentalnych tętnic wieńcowych. Dokładność diagnostyczna angio-TK pozwala na ocenę stopnia zwężenia tętnic wieńcowych z czułością 90–96% i specyficznością ok. 92–99%. Największą zaletą angio-TK jest wysoka negatywna wartość predykcyjna, czyli zdolność do wykluczenia zwężeń tętnic wieńcowych – prawie 100%.

Przygotowanie pacjenta

W przypadku aparatów 64-rzędowych (i poniżej), konieczne jest podanie b-adrenolityków p.o. lub i.v. w celu zwolnienia akcji serca poniżej 65/minutę. Pacjent musi pozostawać około 4 godziny na czczo.

Przeciwwskazania

- brak pisemnej zgody chorego,
- ciąża,
- nieprawidłowa czynność nerek (wysoki poziom kreatyniny i GFR poniżej 60 ml/kg) oraz inne przeciwwskazania do podania jodowych środków kontrastowych,
- arytmia,
- przeciwwskazania do podania B-blokerów, gdy ich zastosowanie jest konieczne (astma oskrzelowa, blok przedsionkowo-komorowy, niewydolność serca, ciężka hipotonia, niewydolność krążenia, nietolerancja B-adrenolityków).

Ochrona radiologiczna pacjentów

Konieczność bramkowania EKG, stosowanie maksymalnych parametrów lampy RTG oraz zwolnienie akcji serca dzięki użyciu B-blokerów powodują, że dawka promieniowania w trakcie angiografii TK serca wynosi, zależnie od typu aparatu, od 10 do 19 mSv. W nowych, wielorzędowych (128 rzędów i powyżej) typach aparatów można ją zredukować poniżej 1 mSv. Najważniejszą metodą ograniczenia dawki promieniowania jest przestrzeganie wskazań do przeprowadzenia badania przez lekarzy kierujących.



Wskazania do TK serca (stale aktualizowane)

- Ocena anomalii tętnic wieńcowych.
- Wykluczenie zwężeń tętnic wieńcowych u osób z niskim i pośrednim ryzykiem choroby wieńcowej, z niespecyficznymi bólami w klatce piersiowej, przy niejednoznacznym wyniku próby wysiłkowej.
- Przed zabiegami naprawczymi u chorych z kompleksowymi zwężeniami lub przewlekłą niedrożnością tętnic wieńcowych.
- U chorych z bólem w klatce piersiowej, dla różnicowania między chorobą niedokrwinną serca, zatorowością płucną lub rozwarstwieniem aorty.
- Ocena tętnic wieńcowych przed operacją zastawek serca.
- Ocena morfologii serca przed przezskórnym leczeniem ASD lub VSD.
- Podejrzenie guzów serca.
- Ocena osierdzia.
- Ocena morfologii i funkcji serca u chorych z wadami, gdy inne badania nie są wystarczające.
- Ocena morfologii żył płucnych u chorych z migotaniem przedsionków przed ablacją ognisk arytmogennych.
- Pomosty wieńcowe są dobrze widoczne w angio-TK; możliwe jest również uwidocznienie pomostów niedrożnych. Ze względu na duże zaawansowanie zmian miażdżycowych dokładność TK w ocenie zespolenia oraz tętnic natywnych po operacji pomostowania nie jest jednak wystarczająca.
- Dokładność angio-TK wystarcza do oceny ewentualnej restenozy jedynie w dużych (powyżej 3 mm) stentach w proksymalnych segmentach tętnic wieńcowych. Z tego powodu, wg wytycznych, rewaskularyzacja nie jest aktualnie wskazaniem do TK.

Rezonans magnetyczny (MR) serca

Rezonans magnetyczny umożliwia morfologiczną ocenę serca, obserwację jego pracy w ruchu, badanie funkcji, przepływu krwi, perfuzji i żywotności miokardium. Według wytycznych towarzystw radiologicznych i kardiologicznych MR jest uznawany za złoty standard w diagnostyce wielu schorzeń kardiologicznych.

Technika badania

Do badania serca służą standardowe aparaty MR, wyposażone w specjalne programy kardiologiczne. Szybki ruch serca, ruchy oddechowe i przepływ krwi wymagają specjalnej techniki badania i bramkowania akwizycji za pomocą EKG. Serce w MR można obrazować w dowolnej płaszczyźnie: najczęściej wykorzystywane są projekcje czterojamowe, dwujamowe i obrazy w osi krótkiej serca.

Przeciwwskazania do MR serca

- brak zgody chorego,
- metaliczne ciała obce, implanty ślimakowe, rozruszniki i defibrylatory serca; (stenty i szwy metalowe w mostku zwykle nie są przeciwwskazaniem),
- brak współpracy chorego,
- arytmia – przeciwwskazanie względne,
- niewydolność nerek jest przeciwwskazaniem do badań z użyciem kontrastu (Gadolinu) i.v.

Wskazania do MR serca

- ocena wad serca i anomalii tętnic wieńcowych przed i po zabiegach operacyjnych (morfologia i funkcja),
- ocena etiologii świeżo rozpoznanej niewydolności serca,
- ocena funkcji serca i zastawek u chorych po zawale serca,
- podejrzenie kardiomiopatii,
- podejrzenie zapalenia mięśnia sercowego lub zawału serca u chorych z prawidłowym wynikiem koronarografii,
- podejrzenie guzów serca,
- podejrzenie chorób osierdzia,



- ocena lokalizacji i zasięgu zawału mięśnia sercowego, ocena żywotności miokardium przed rewaskularyzacją, uwidocznienie martwicy po PCI (przezskórnej interwencji wieńcowej).

Szczegółowe zastosowanie MR w badaniach serca

Badanie morfologii serca. Obrazowanie statyczne; wykorzystywane jest do oceny morfologii w przypadku wad i guzów serca. Sekwencje T1-zależne pozwalają ocenić ściany komór czy osierdzie lub uwidocznienie nacieków tłuszczowych w miokardium (np. przy podejrzeniu wybranych kardiomiopatii). Sekwencje T2-zależne umożliwiają obrazowanie nowotworów lub obrzęku miokardium w ostrym zawału serca lub zapaleniu mięśnia sercowego.

Sekwencje opóźnione po podaniu środka kontrastowego z zastosowaniem funkcji wytlumienia sygnału z miokardium (tzw. IR) pomagają odróżnić prawidłowe miokardium od blizny pozawałowej (ocena żywotności miokardium).

Badanie funkcji serca. Ukazuje ruch serca w trakcie całego cyklu pracy. Służy do oceny jego funkcji: frakcji wyrzutowej (EF), objętości komór (ESV, EDV) frakcji wyrzutowej i masy komór. Badanie po obciążeniu farmakologicznym (dobutamina) jest wykorzystywane w diagnostyce choroby niedokrwiennej serca.

Badanie przepływu krwi w MR. Rezonans magnetyczny pozwala na obrazowanie krwi płynącej w naczyniach i uzyskanie wykresów prędkości krwi, podobnie jak w USG dopplerowskim. Jest to wykorzystywane w diagnostyce wad zastawkowych serca, do obliczania objętości fali zwrotnej, przecieku itd.

Badanie perfuzji miokardium. Perfuzję miokardium w MR ocenia się, wykonując badanie dynamiczne w trakcie iniekcji środka kontrastowego (gadolinu) dożylnie. Zaburzenia perfuzji widoczne są jako obszary miokardium, które nie ulegają wzmocnieniu w trakcie badania. W chorobie wieńcowej wykonanie w trakcie jednego badania, perfuzji spoczynkowej i testu wysiłkowego (po podaniu i.v. adenozyliny lub dużej dawki dobutaminy) praktykowane jest w ocenie rezerwy wieńcowej. Perfuzja spoczynkowa wykorzystywana jest również w przypadku oceny unaczynienia guzów serca.

Ocena żywotności miokardium. Udowodniono, że zwłóknienie miokardium w rejonie blizny pozawałowej, ulega silnemu wzmocnieniu kontrastowemu w badaniu opóźnionym 15–20 minut po podaniu gadolinu i.v. („jasne = martwe”). Badanie pozwala ocenić skuteczność ewentualnej rewaskularyzacji oraz różnicowanie zmian niedokrwienych, zapalnych i kardiomiopatii.

Angiografia naczyń klatki piersiowej. Angiografia po podaniu środka kontrastowego umożliwia obrazowanie dużych naczyń klatki piersiowej. Jest wykorzystywana w przypadku wad i tętniaków aorty, podejrzeniu zatorowości płucnej czy płucnych malformacji naczyniowych.

Cewnikowanie serca

Jest to inwazyjna metoda obrazowania wnętrza poszczególnych jam serca (**wentrykulografia**) i naczyń wieńcowych (**koronarografia**) przy użyciu cewników i środków cieniujących; czyli niosąca ze sobą oprócz zagrożenia spowodowanego działaniem promieniowania rentgenowskiego także narażenie na działanie środków kontrastowych oraz na manipulacje związane z nakłuciem dużego naczynia żylnego (głównie żyła udowa) lub tętniczego (głównie tętnica udowa) i wprowadzeniem do wnętrza układu sercowo-naczyniowego ciała obcego, jakim jest cewnik.

Przed badaniem pacjent pozostaje na czczo. Konieczne jest oznaczenie: grupy krwi, czynnika Rh, morfologii, czasu krzepnięcia, czasu krwawienia, czasu protrombinowego, czasu kaolinowo-kefalinowego, HBs, poziomu sodu i potasu, poziomu kreatyniny.

Wskazania do cewnikowania serca (według standardów Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego):

- diagnostyka wad wrodzonych serca (ze względu na możliwość równoczesnego wykonania badań oksymetrycznych, przydatnych do diagnostyki różnicowej wad i pomiarów ciśnień),
- u chorych z nabytą wadą serca, u których wykonywana jest koronarografia,
- u chorych z niewydolnością serca cewnikowanie prawego serca jest najbardziej dokładną metodą oceny parametrów hemodynamicznych (ciśnień, rzutu serca, oporów naczyniowych). Jest najbardziej dokładną metodą u chorych opornych na leczenie i przed przeszczepem serca.



Przeciwwskazania

- ciąża oraz ogólne przeciwwskazania do badań kontrastowych (ciężki stan pacjenta, zwłaszcza w aspekcie zmian sercowych, obecnie nie jest przeszkodą),
- tętniak rozwarstwiający aorty (względne).

Wskazania do koronarografii

- diagnostyka choroby wieńcowej w aspekcie rewaskularyzacji przezskórnej lub zabiegu operacyjnego,
- wady serca po 40 roku życia w aspekcie leczenia operacyjnego (obecnie koronarografia jest zastępowana przez angio-TK tętnic wieńcowych),
- kontrola po leczeniu operacyjnym, jeśli pojawią się objawy choroby wieńcowej,
- zawał serca w ciągu pierwszych 4 godzin od wystąpienia bólu, jeżeli istnieją możliwości rewaskularyzacji.

Koronarografia pozwala zobrazować stan anatomiczny tętnic wieńcowych, ujawnia obecność patologii i dokładnie ją lokalizuje, ocenia nie tylko zmiany morfologiczne, lecz także nieprawidłowości czynnościowe oraz obecność i stopień krążenia obocznego. Jej rola, mimo rozwoju innych metod diagnostycznych w chorobach mięśnia sercowego, jest więc w dalszym ciągu bardzo duża.

Angiokinematografia

Stanowi wariant badania naczyniowego z rejestracją jego przebiegu za pomocą kamery filmowej, aparatu wideo lub cyfrowego systemu obrazowania. Stosuje się szczególnie w ocenie naczyń wieńcowych i wad serca. Pozwala na dokładną, dynamiczną analizę obrazu.

Badania izotopowe

W zależności od metabolizmu użytego radioizotopu, radioizotopowe metody diagnostyki serca można podzielić na kilka typów, z których najczęściej wykonuje się badania:

- hemodynamiczne (które cechują się tym, że użyty radioizotop w trakcie badania pozostaje w łożysku naczyniowym),
- perfuzyjne (w których radioizotop jest wychwytywany przez mięsień sercowy proporcjonalnie do przepływu krwi).

Badanie hemodynamiczne serca

Radioizotopowe badania hemodynamiczne wykonuje się:

- techniką pierwszego przepływu radioizotopu przez układ krążenia (angiokardiografia radioizotopowa),
- techniką stanu równowagi (wentrykulografia radioizotopowa).

Badanie pierwszego przepływu jest podobne do angiokardiografii rentgenowskiej. Radioizotop (w małej, maksymalnie do 1 ml objętości 0,9% NaCl) wstrzykuje się szybko i.v., tak aby przesunął się w sposób zwarty (jako tzw. bolus) kolejno przez żyłę główną górną, przez prawy przedsionek i komorę, tętnicę płucną, płuca, lewy przedsionek i komorę oraz aortę. Stosuje się szybką rejestrację kolejnych obrazów rozmieszczenia radioizotopu. Do wyliczenia czasu krążenia płucnego czy też oceny wielkości przecieku wewnątrz serca lub dużych naczyń wystarczy rejestrowanie scyntygramów w przedziałach 0,25 s, a nawet 0,5 s. Aby ukazać wahania wypełnienia (objętości) lewej czy prawej komory, czas poszczególnych przedziałów nie powinien przekraczać 30 ms. Po zarejestrowaniu badania analizuje się zmiany aktywności radioizotopu nad wybranymi obszarami zainteresowania (np. płucami, prawą i lewą komorą serca).

Metoda pierwszego przejścia jest pomocna:

- w diagnostyce przecieków wewnątrz serca lub dużych naczyń,
- w ocenie ruchomości ścian i wydolności komór serca.



Angiokardiografia radioizotopowa uważana jest za dokładną metodę oznaczania wielkości przecieków wewnątrz serca lub dużych naczyń, ale nie pozwala na ustalenie ich lokalizacji. Ubytki w przegrodzie międzykomorowej lub międzyprzedsionkowej, podobnie jak w drożnym przewodzie Botalla, prowadzą najczęściej do powstania **przecieków ze strony lewej na prawą**, zgodnie z gradientem ciśnień. Powodują one przedwczesną recyrkulację radioznacznika do prawego serca i płuc, co w charakterystyczny sposób zniekształca krzywą zmian radioaktywności w czasie nad tymi obszarami. Przy przecieku z lewa na prawo obserwuje się bowiem odchylenie dolnej (i środkowej) części ramienia zstępującego krzywej tranzytu radioznacznika przez płuca w kierunku poziomym. Czasami widoczne jest dodatkowe wzniesienie (garb) w tej części krzywej odpowiadające przedwczesnej fali recyrkulacji.

Zaburzenia tranzytu radioznacznika, znamienne dla przecieku z prawa na lewo, to wcześniejsze niż w płucach pojawienie się radioaktywności w lewym sercu i aorcie. Przy dużych przeciekach z prawa na lewo charakterystyczne jest słabe wysycenie radioznacznikiem płuc (radioizotop, przechodząc bezpośrednio z prawego do lewego serca, omija krążenie płucne).

Ilościową ocenę **przecieku z prawa na lewo** najlepiej przeprowadzić za pomocą badania mikrosfer albuminowych znakowanych Tc-99m. Są to stosunkowo duże cząsteczki o średnicy około 15–20 μm podane dożylnie zatrzymują się w prekapilarach płucnych. Przeniknięcie ich do krążenia systemowego i wykrycie za pomocą scyntygrafii planarnej w mózgu lub nerkach wskazuje na istnienie przecieku z prawa na lewo w obrębie serca lub dużych naczyń, bądź też na przetokę tętniczo-żylną w krążeniu małym. Pomiar aktywności nad nerkami i płucami umożliwia obliczenie wielkości przecieku.

Wentrykulografia radioizotopowa

W praktyce klinicznej często konieczne jest oznaczenie frakcji wyrzutowej lewej (lub prawej) komory serca, którą stanowi stosunek objętości wyrzutowej do objętości w końcowej fazie jej rozkurczu. Stwierdzono, że zmiany objętości komór są proporcjonalne do zarejestrowanych nad nimi wahań natężenia promieniowania, a zależność ta jest przy tym w szerokich granicach niezależna od kształtu komór. Do obliczenia frakcji wyrzutowej wystarczy zatem zamiast objętości wykorzystać w obliczeniach zmierzone aktywności w fazie maksymalnego rozkurczu i skurczu.

Frację wyrzutową komór najczęściej bada się metodą stanu równowagi. Metoda ta umożliwia wyznaczenie i/lub monitorowanie frakcji wyrzutowej kilkakrotnie (np. w spoczynku, po wysiłku, po stymulacji przezprzełykowej lub farmakologicznej) bez konieczności wielokrotnego podawania radioznacznika.

Konieczne jest wówczas zastosowanie radioznacznika dłużej utrzymującego się w łożysku naczyniowym. Mogą to być eryocyty znakowane Tc-99m albo albumina znakowana tym radioizotopem.

Obrazy rejestruje się w krótkich przedziałach czasowych (wynoszących, zależnie od częstotliwości akcji serca, 20–30 ms). W tak krótkim czasie, nawet po podaniu najwyższych dopuszczalnych dawek Tc-99m, uzyskuje się złe jakościowo obrazy. Dlatego prowadzi się rejestrację obrazów zsynchronizowaną sygnałem EKG pacjenta (zwykle załamkiem R) poprzez urządzenie nazywane bramką (fizjologiczną). Technika bramkowa pozwala na sumowanie obrazów pochodzących z jednoimiennych przedziałów czasowych wielu (nawet kilkuset) kolejnych cykli serca. W ten sposób otrzymujemy zbiór obrazów reprezentatywnych dla pojedynczego cyklu serca. Frację wyrzutową stanowi stosunek różnicy aktywności w końcowych fazach rozkurczu i skurczu komory względem aktywności w końcowej fazie rozkurczu po odjęciu tła.

Ocena funkcji lewej komory serca za pomocą wentrykulografii radioizotopowej powszechnie jest uważana za metodę referencyjną względem metod opartych na pomiarach geometrycznych. Wentrykulografia radioizotopowa, wspomagana technikami przewarzania obrazów, pozwala także na ocenę ruchomości konturów (ścian) komór, przyczyniając się do wykrycia zaburzeń typu hipokinezy, akinezy lub dyskinezy.



Badanie perfuzji mięśnia sercowego

Do badania perfuzji używa się radioznaczników, które są wychwytywane przez mięsień sercowy proporcjonalnie do lokalnego przepływu krwi. Warunek ten spełniają niektóre jednowartościowe kationy gromadzone wewnątrzkomórkowo, a więc potas i jego analogi. Najkorzystniejszy ze względu na własności emitowanego promieniowania okazał się TI-201. Obecnie coraz częściej używa się też litofilnych związków dających kompleksy z Tc-99m, które przenikają do wnętrza włókien mięśnia sercowego przez nieuszkodzone błony komórkowe i mitochondrialne. Należą do nich pochodne izoni-trylowe. Praktyczne znaczenie zyskał dotychczas metoksy-izobutyloizonitryl (powszechnie znany pod nazwą skrótową MIBI).

Scyntyografię perfuzyjną mięśnia sercowego wykonuje się, podając radioznacznik:

- w spoczynku,
- po obciążeniu chorego za pomocą próby wysiłkowej lub też po podaniu leku rozszerzającego naczynia wieńcowe (test farmakologiczny, szczególnie przydatny, gdy istnieją przyczyny dyskwalifikujące pacjenta do próby wysiłkowej).

Badanie połączone z testem obciążeniowym wykazuje wyższą czułość. Z tego powodu, jeśli nie ma przeciwwskazań, badanie perfuzji mięśnia sercowego należy wykonać po wysiłku fizycznym (lub w połączeniu z testem farmakologicznym) i uzupełnić badaniem spoczynkowym (dla w oceny wpływu obciążenia).

Badanie można zarejestrować w postaci scyntygramów planarnych w trzech projekcjach (przedniej, lewo-skośnej przedniej i lewobocznej). Współcześnie najczęściej badanie wykonuje się metodą tomografii emisyjnej (SPECT). Jeśli użyte zostają radioznaczniki emitujące pozytony (Rb-82-chlorek, N-15-amoniak) badanie rejestruje się techniką PET.

Na scyntygramach perfuzyjnych (gdy nie ma przerostu prawej komory) ukazuje się jedynie mięsień lewej komory. Regionalny spadek przepływu krwi (w następstwie zwężenia naczynia), a także obumieranie i lokalny zanik włókien mięśnia sercowego (np. w miejscu blizny pozawałowej) manifestują się na scyntygramach jako ubytki gromadzenia radioznacznika, które mogą być nieodwracalne (trwałe) lub odwracalne (przejściowe). Ubytki nieodwracalne widoczne są zarówno na scyntygramach wykonanych w spoczynku, jak i po obciążeniu wysiłkiem (lub po próbie farmakologicznej). Jeśli badanie wykonano za pomocą TI-201 stwierdza się je zarówno na obrazach zarejestrowanych w krótkim czasie, jak i po kilku godzinach po podaniu radioznacznika. Odpowiadają one lokalizacji blizn pozawałowych. Ubytki odwracalne (przejściowe) widoczne są jedynie po obciążeniu wysiłkiem (lub testem farmakologicznym). W badaniu za pomocą TI-201 stwierdza się je jedynie na scyntygramach zarejestrowanych w krótkim czasie po podaniu radioznacznika. W okresie późniejszym wysycają się one TI-201. Zjawisko to nazywamy redystrybucją. Stwierdzenie odwracalnych ubytków wychwytu radioznacznika świadczy o obecności niedokrwienia na skutek zwężenia naczynia i dowodzi obecności żywych włókien mięśniowych w miejscu niedokrwienia.

Wskazania do scyntygrafii perfuzyjnej mięśnia sercowego:

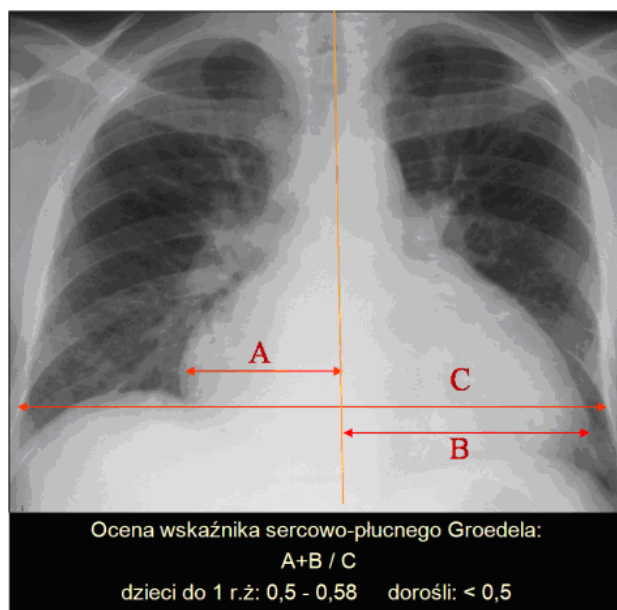
- podejrzenie przewlekłej niewydolności wieńcowej, zwłaszcza w przypadkach pośredniego prawdopodobieństwa choroby, w celu ustalenia rozpoznania, lokalizacji i rozległości niedokrwienia, a także oceny ryzyka przed zabiegiem operacyjnym,
- ostra choroba wieńcowa (badanie w spoczynku) jako badanie porównawcze, aby monitorować wyniki leczenia i ustalić rokowanie.



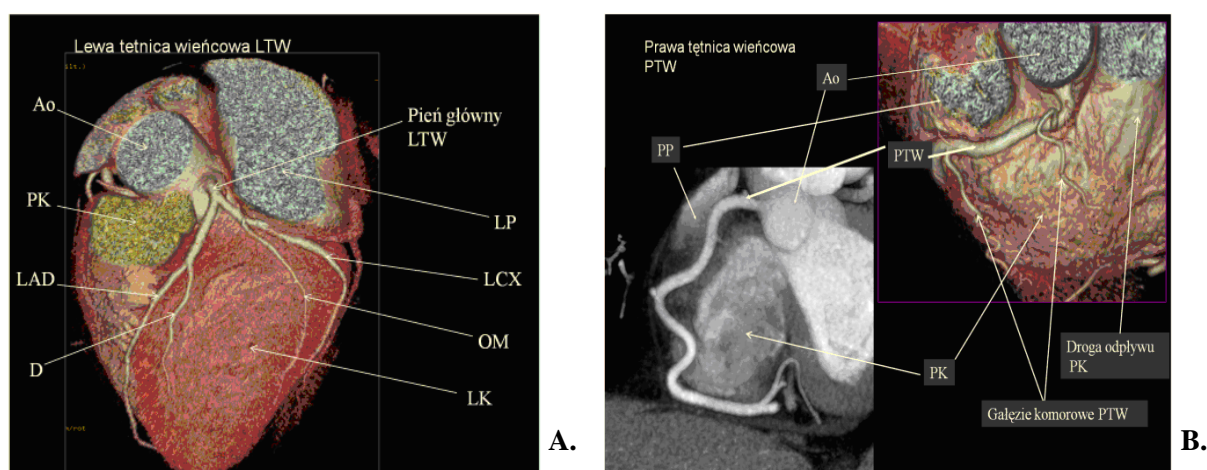
Tabela II. Zastosowanie metod obrazowych w diagnostyce wybranych chorób serca

Jednostka kliniczna	Metoda	Uwagi
Zawał serca, OZW	UKG SPECT Koronarografia RTG klatki piersiowej	UKG i SPECT: ocena funkcji globalnej i regionalnej, zaburzeń kurczliwości, perfuzji miokardium. Koronarografia: metoda diagnostyczna i lecznicza. RTG: ocena sylwetki serca i rysunku naczyniowego płuc (obrzęk płuc).
Stabilna choroba wieńcowa	Angio-TK tętnic wieńcowych Koronarografia UKG SPECT, PET RTG klatki piersiowej	Angio-TK – u chorych z pośrednim ryzykiem choroby niedokrwiennej serca. Pozostałe metody jak wyżej.
Ostry ból w klatce piersiowej	RTG klatki piersiowej, USG, Angio-TK aorty (bramkowane EKG)	Podstawowe badania różnicujące główne przyczyny ostrego bólu w klatce piersiowej (zawał serca, zatorowość, rozwarstwienie aorty). RTG: wykluczenie zapalenia i obrzęku płuc, odmy. USG: ocena płynu w opłucnej (pleuropneumonia). Angio-TK serca, aorty i tętnic wieńcowych z bramkowaniem EKG: różnicowanie rozwarstwienia aorty, zatorowości płucnej i zwężeń wieńcowych.
Choroba niedokrwienna serca	UKG SPECT PET MR serca Badania wysiłkowe Koronarografia	Ocena funkcji globalnej i regionalnej, zaburzeń kurczliwości, perfuzji mięśnia sercowego, żywotności miokardium. Koronarografia; metoda diagnostyczna i lecznicza.
Stan po rewaskularyzacji mięśnia sercowego	Angio-TK tętnic wieńcowych, Koronarografia, UKG SPECT	Angio-TK w celu uwidocznienia zespołów omijających (bypassów) i dużych stentów (powyżej 3 mm) w proksymalnych odcinkach tętnic wieńcowych. Pozostałe metody jak wyżej.
Badanie przed wewnątrznacyniową operacją stenozy aortalnej	Angio-TK	Ocena morfologii zastawki, planowanie zabiegu wewnątrznacyniowego.
Przed terapią zaburzeń rytmu serca	MR, Angio-TK serca	Ocena morfologii żył płucnych.
Zapalenie mięśnia sercowego	MR serca	Ocena obszarów późnego wzmocnienia kontrastowego miokardium w przebiegu zmian zapalnych.
Kardiomiopatie	MR serca	Ocena morfologii i funkcji serca oraz późnego wzmocnienia miokardium dla oceny zwłóknień w przebiegu kardiomiopatii.
Guzy serca	UKG MR serca Angio-TK serca	UKG i TK: ocena morfologii guza. MR serca: ocena morfologii, perfuzji, charakterystyka tkankowa guza.
Anomalie odejścia tętnic wieńcowych	Angio-TK tętnic wieńcowych; Angiografia MR	Ocena anatomii tętnic wieńcowych.
Wady serca	UKG Angiografia izotopowa MR TK Wentrikulografia	MR i TK do oceny morfologii wady, funkcji serca i tętnic wieńcowych.

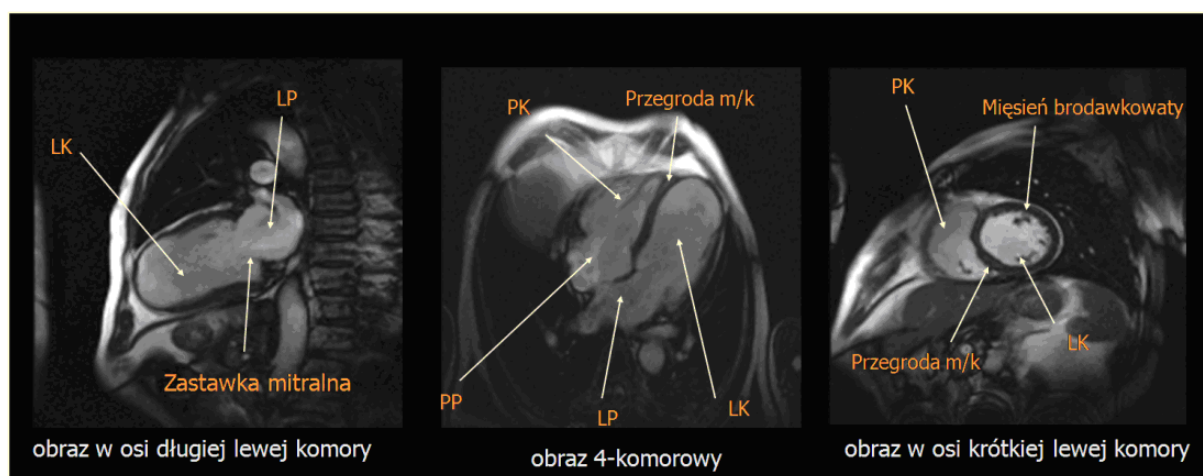




Ryc. 21. Obliczanie wskaźnika sercowo-płucnego na zdjęciu RTG klatki piersiowej.



Ryc. 22. Lewa (A.) i prawa (B.) tętnica wieńcowa w angiografii TK tętnic wieńcowych.



Ryc. 23. Podstawowe płaszczyzny badania serca w rezonansie magnetycznym.

Piśmiennictwo

1. *Mastalerski J., Kozłowski P., Walecki J.*: Leksykon radiologii i medycyny nuklearnej. Fundacja im. prof. Ludwika Rydygiera. Warszawa 1992.
2. *Prokop M., Galanski M.*: Spiralna i wielorzędowa tomografia komputerowa człowieka. Thieme. MediPage. Warszawa 2007.
3. *Pruszyński B.*: Radiologia. Diagnostyka obrazowa. Rtg, TK, USG, MR i medycyna nuklearna. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 2006.
4. *Runge V.M.*: Rezonans magnetyczny w praktyce klinicznej. Elsevier Urban & Partner. Wrocław 2007.
5. *Rydlewska-Sadowska W.*: Echokardiografia kliniczna. Biblioteka Instytutu Kardiologii. Warszawa 1991.



4. Diagnostyka obrazowa układu naczyniowego i chłonnego*

Daniel Knap, Jan Baron, Joanna Pilch-Kowalczyk

Angiografia jest metodą obrazowania naczyń. Początkowo nazwa ta odnosiła się tylko do klasycznej rentgenowskiej angiografii. Obecnie również inne metody obrazujące układ naczyniowy, takie jak tomografia komputerowa i rezonans magnetyczny posługują się tą nazwą (angiografia tomografii komputerowej – angio-TK, angiografia rezonansu magnetycznego – angio-MR). Badanie układu naczyń tętnicznych to **arteriografia**, układu naczyń żylnych – **flebografia**, układu naczyń chłonnych – **limfografia**.

Postęp techniczny sprawił, że ostatnie lata to czas, gdy przed diagnostyką obrazową otwarły się nowe, dotychczas niewykorzystywane możliwości. Metody obrazowania naczyń można podzielić na inwazyjne i nieinwazyjne. Pierwsze z nich to: USG, angio-TK, angio-MR, metody izotopowe, obrazowanie molekularne, natomiast metody inwazyjne to: DSA, IVUS (USG wewnątrznaczyniowe), wewnątrznaczyniowe MR, obrazowanie optyczne, termografia.

Momentem przełomowym dla wykrywania i lokalizowania nieprawidłowości naczyniowych stało się wprowadzenie przez Egasa Moniza w 1927 roku angiografii mózgowej. Metoda ta, dająca bezpośredni obraz światła naczynia, nie była jednak od razu powszechnie stosowana. Powodem były liczne, poważne objawy uboczne związane z ówczesnie stosowanym środkiem cieniującym o nazwie Thorotrast, wprowadzonym do praktyki klinicznej w 1936 roku przez Lomana i Myersona. Ograniczone zastosowanie tej techniki w praktyce klinicznej było poza tym spowodowane trudnościami z dotętnicznym podaniem środka cieniującego oraz brakiem odpowiednich aparatów rentgenowskich. Sytuacja uległa zmianie w latach czterdziestych i pięćdziesiątych XX wieku, przynosząc szybki rozwój angiografii dotętnicznej. Rozpowszechnienie przezskórnej techniki nakłucia tętnicy udowej metodą szwedzkiego radiologa Svena-Ivara Seldingera, zaprezentowaną w 1953 roku, wykorzystywanie pierwszych seriografów oraz użycie bezpieczniejszych, jodowych środków cieniujących wprowadziły angiografię do grupy standardowych metod diagnostycznych. Badania angiograficzne dzieli się na przeglądowe, wybiórcze i „superselektywne”, w zależności od średnicy cewnikowanych naczyń i wielkości łożyska naczyniowego, które ma być zobrazowane.

Przygotowanie do badania naczyniowego

Przed przystąpieniem do badania należy wyjaśnić choremu cel i przyczynę wyboru takiej metody diagnostycznej, a także zapoznać go z przebiegiem zabiegu. Ten obowiązek powinien spoczywać na lekarzu opiekującym się chorym na oddziale. Konieczne jest uzyskanie od chorego świadomej zgody na badanie. Wyjątkiem jest stan zagrożenia życia.

Do planowanej angiografii pacjent zgłasza się na czczo (ostatni posiłek najpóźniej 8 godzin wcześniej) może jednak przyjmować doustnie leki. Konieczne jest wcześniejsze wykonanie oznaczeń laboratoryjnych oceniających: układ krzepnięcia (czas protrombinowy < 16 s, częściowy czas tromboplastynowy < 40 s, liczbę płytek krwi > 75 000/ml), morfologię, HBs, USR, poziom sodu i potasu, kreatyninę, HIV.

U małych dzieci i osób nieprzytomnych lub niewspółpracujących zachodzi często konieczność przeprowadzenia angiografii w znieczuleniu ogólnym. U osób odczuwających lęk przed badaniem

* Zdjęcia z ultrasonografii, TK i angio-TK i DSA zamieszczone w tym rozdziale pochodzą z badań wykonanych w Zakładzie Radiodiagnostyki i Radiologii Zabiegowej Samodzielnego Publicznego Centralnego Szpitala Klinicznego im. prof. Kornela Gibińskiego Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach. Zdjęcie z angio-MR zamieszczone w tym rozdziale pochodzi z Samodzielnej Pracowni Diagnostyki Obrazowej „Tomograf” Sp. z o.o. w Tychach.



wskazane jest podanie leków sedatywnych, ale przy właściwym przygotowaniu chorego zdarza się to bardzo rzadko. Zawsze jednak znieczuleniu miejscowemu poddajemy okolicę nakłucia tętnicy, zwykle wstrzykuje się podskórną ok. 5 ml 1% roztworu lignokainy.

Środki cieniujące

Do badań naczyniowych tętnic i żył wykorzystywane są środki cieniujące rozpuszczalne w wodzie. Najczęściej stosowane środki niejonowe charakteryzują się osmolarnością bardzo zbliżoną do osmolarności krwi, zmniejszając częstość występowania ciężkich powikłań związanych z podaniem tego typu preparatów. U chorych uczulonych na jod można wykonywać badania naczyniowe, podając jako środek cieniujący CO₂ lub gadolinium (skrajnie rzadko), lub przed badaniem zastosować premedykację przeciwuczuleniową (patrz rozdział: *Środki cieniujące stosowane w radiologii klasycznej, rezonansie magnetycznym i ultrasonografii*). Każda pracownia angiograficzna powinna być wyposażona w zestaw środków do udzielania pierwszej pomocy.

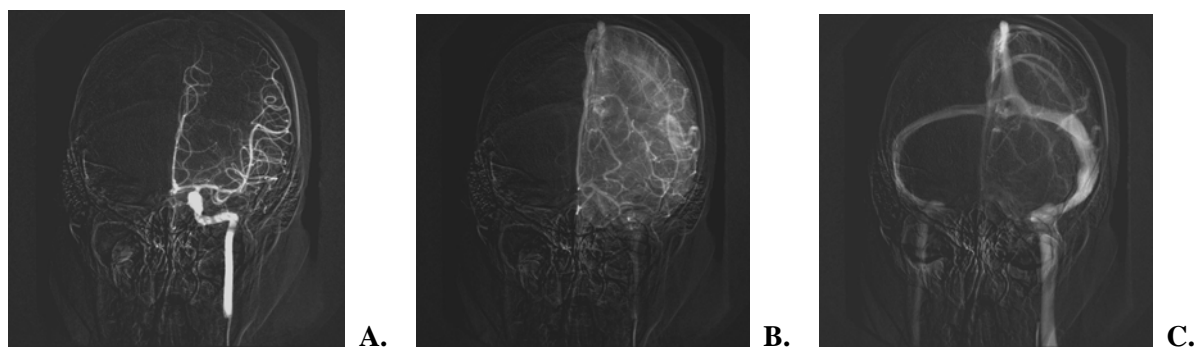
Badania inwazyjne naczyń

Badanie naczyń tętniczych – arteriografia wykonywana jest metodą Seldingera, która polega na przezskórnym wprowadzeniu cewnika z nakłucia tętnicy obwodowej do wybranego naczynia tętniczego. Kolejne etapy tej metody to:

- nakłucie tętnicy,
- wprowadzenie przewodnika do naczynia przez wenflon,
- wycofanie wenflonu,
- wprowadzenie cewnika do naczynia po przewodniku,
- wycofanie przewodnika.

Badanie poprzez bezpośrednie nakłucie tętnicy stosowane jest bardzo rzadko. Może być wykorzystane tylko w angiografii obwodowej i jest wtedy wykonywane przy użyciu igieł z osłonką poliuretanową lub teflonową. Najczęściej cewnik do naczyń tętniczych wprowadzany jest poprzez tętnicę udową, znacznie rzadziej przez tętnicę pachową, ramienną, promieniową czy bezpośrednio do aorty po jej nakłuciu metodą Dos Santosa.

Arteriografia powinna uwidocznić przepływ środka cieniującego przez naczynia tętnicze – faza tętnicza do poziomu naczyń włosowatych – faza mięśzowa aż do uwidocznienia spływu żylnego – faza żylna (ryc. 24).



Ryc. 24. Arteriografia tętnicy szyjnej wewnętrznej po stronie lewej. A. – faza tętnicza. B. – faza mięśzowa. C. – faza żylna.

W dobie szeroko rozwiniętej nieinwazyjnej diagnostyki naczyniowej wskazania do angiografii zostały bardzo ograniczone. Pomimo inwazyjnego charakteru jest często cenną metodą, szczególnie wówczas, gdy wyniki innych metod obrazowych są niepewne. Angiografia jest ponadto integralną częścią zabiegów z zakresu radiologii zabiegowej (porównaj rozdział: *Radiologia zabiegowa*).

Wskazania do angiografii

- poszukiwanie miejsca krwawienia,

- poszukiwanie ciał obcych w układzie naczyniowym,
- ocena unaczynienia zmian nowotworowych,
- ocena naczyń przed planowanym zabiegiem śródnaczyniowym,
- pomocniczo w diagnostyce chorób naczyń: miażdżycy, wadach naczyniowych, uszkodzeniach porazowych, w tym jatrogennych, i stanach zapalnych.

Przeciwwskazania do arteriografii

Nie ma w zasadzie bezwzględnych przeciwwskazań do przeprowadzenia badania naczyniowego. Mając świadomość dużej dawki promieniowania, na jaką jest narażony pacjent w trakcie badania naczyniowego oraz pamiętając o możliwości różnych powikłań, trzeba w sposób rozsądny kierować do badania. W każdym przypadku należy rozważyć ewentualną uzyskaną korzyść diagnostyczną w porównaniu z obciążeniem chorego.

Do *względnych przeciwwskazań* należy zaliczyć: zaburzenia układu krzepnięcia, uczulenie na jodowe środki kontrastowe, alergie w wywiadzie, niewydolność nerek, ciężę, niemożność przyjęcia przez chorego pozycji leżącej.

Powikłania występują stosunkowo rzadko, do najczęstszych należą te, które wiążą się ze stosowaniem znieczulenia, z nakłuciem naczynia (< 0,1%), z manipulacją ciałem obcym wewnątrz układu naczyniowego, ze stosowaniem niejonowych środków cieniujących (0,05%). Odsetek ciężkich powikłań wymagających interwencji chirurgicznej wynosi 0,2–0,5%, powikłań śmiertelnych 0,01–0,05%.

Badanie naczyń tętniczych

Badanie rozpoczyna się od nakłucia naczynia igłą, a następnie – po wprowadzeniu cewnika diagnostycznego do światła naczynia – podaje się środek cieniujący. Przepływ kontrastu zapisuje się w pamięci komputera, uwidaczniając światło i zarysy wewnętrzne naczyń. W badaniach naczyniowych stosuje się igły metalowe z plastikową kaniulą. Uzyskując dostęp do światła naczynia za pomocą igły, wymienia się ją na przewodnik. Zbudowany jest on z metalowego rdzenia w postaci cienkiego drutu, na którym nawinięta jest cieniutka spirala, mogą mieć końcówkę prostą lub w kształcie litery „J”. Sztywność przewodnika zależy od grubości drutu stanowiącego rdzeń. W części przodującej przewodnika rdzeń jest cieńszy, co sprawia, że ta część przyrządu jest bardzo giętka i miękka. Coraz częściej stosuje się przewodniki hydrofilne zbudowane ze stopu niklowo-tytanowego, które pokryte są hydrofilnym polimerem co sprawia, że po zwilżeniu mają bardzo mały współczynnik tarcia. Do badań diagnostycznych używane są przewodniki o średnicy 0,032–0,035 cala. Do wybiórczego cewnikowania tętnic o bardzo wąskim świetle wykorzystywane są przewodniki o średnicy 0,018 lub 0,014 cala.

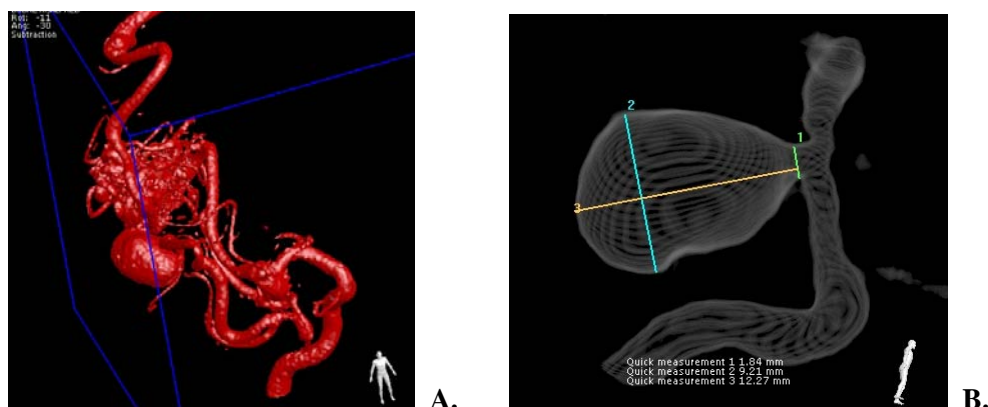
Do podawania środka cieniującego podczas angiografii stosuje się cewniki. Parametry, które opisują cewnik to jego długość, średnica światła, grubość ściany, kształt końca przodującego, pokrycie i materiał, z którego jest wykonany. W zależności od doboru tych parametrów można uzyskać cewnik o różnych cechach, a więc: sztywności, skrętności, elastyczności, pamięci zachowania krzywizny, wytrzymałości na rozciąganie, możliwości cieniowania w obrazie rentgenowskim. Do materiałów, z których wykonywane są cewniki należą przede wszystkim: polietylen, poliuretan, nylon, teflon. Najczęściej wykorzystywane są cewniki polietylenowe.

Trójwymiarowa rotacyjna cyfrowa angiografia subtrakcyjna

Obserwuje się stały rozwój dotętnicznej angiografii. Dzięki wprowadzeniu do powszechnego użytku cyfrowej angiografii subtrakcyjnej (DSA – *digital subtraction angiography*), uzyskuje się obrazy o zdecydowanie lepszej rozdzielczości liniowej. Uzupełnieniem klasycznej dwuwymiarowej angiografii jest, wprowadzona w ostatnich latach, rotacyjna, przestrzenna angiografia cyfrowa (3D *three-dimensional*). Badania angiograficzne wykorzystujące technikę trójwymiarową rozwijają się od lat siedemdziesiątych. Cornelis jako pierwszy zaproponował rotacyjną mózgową rentgenografię, którą w 1975 roku Voigt wprowadził do badań klinicznych. W 1983 roku Thron, a następnie w 1989 roku Schumacher opublikowali prace na temat wykorzystania klinicznego i techniki tej metody. W 1997 roku Fähring opisał zastosowanie obrazu 3D generowanego z komputerowej rotacyjnej angiografii. DSA jest uważana za „złoty standard” w diagnostyce schorzeń naczyń krwionośnych. W diagnostyce przedoperacyjnej – zarówno neurochirurgicznej, jak i embolizacyjnej – DSA z opcją trójwymiarowych rekon-



strukcji jest metodą z wyboru. Nowoczesna 3D DSA z zastosowaniem zaawansowanej stacji roboczej łączy zalety DSA charakteryzującej się dużą rozdzielczością przestrzenną, obrazowaniem w czasie rzeczywistym z możliwościami technik cyfrowego przetwarzania obrazu (ryc. 25 A).



Ryc. 25. A. – 3D DSA w technice SSD tętniak prawej tętnicy środkowej mózgu oraz malformacja tętniczo-żylna. B. – Pomiary worka tętniaka.

3D DSA polega na wykonywaniu ekspozycji rentgenowskich podczas obrotu ramienia C angiografu w trakcie podawania środka cieniującego. Otrzymane dane po subtrakcji są przetwarzane cyfrowo przy użyciu stacji graficznej. Daje to możliwość uzyskania w dowolnych projekcjach rekonstrukcji trójwymiarowych, wielopłaszczyznowych, obrazów angioskopowych oraz wyizolowanie tętniaka spośród otaczających i nakładających się pętli naczyń przy jednorazowej iniekcji środka cieniującego (ryc. 25 B). Dzięki dużej rozdzielczości przestrzennej obraz 3D może być powiększony nawet 500-krotnie, co sprawia, że wykrywanie małych tętniaków jest znacznie łatwiejsze niż w DSA. Zalety i przewaga 3D DSA nad innymi metodami osiągnięta została za pomocą:

- możliwości dokładnych pomiarów długości i objętości,
- redukcji czasu badania, dawki promieniowania i objętości środka cieniującego,
- obrazowania światła naczyń,
- braku artefaktów ze spirali, stentów oraz metalowych klipsów,
- monitorowania postępu leczenia podczas zabiegów wewnątrznacyniowych.

USG wewnątrznacyniowe

IVUS (*intravascular ultrasound*) jest metodą obrazowania naczyń za pomocą specjalnie zaprojektowanego cewnika, na którego końcu znajduje się miniaturowa sonda USG, a jego bliższy koniec jest podłączony do aparatu USG. Najczęstszym celem obrazowania IVUS jest blaszka miażdżycowa oraz stopień zwężenia światła w tętnicach wieńcowych. Przydatność tej metody przejawia się szczególnie w sytuacjach, w których badanie angiograficzne jest niewiarygodne. Wykorzystuje się ją również do oceny wpływu leczenia zwężenia po angioplastyce.

Badanie naczyń żylnych

Flebografia jest badaniem kontrastowym układu żylnego poprzez wprowadzenie do ich światła środka cieniującego oraz rejestracji obrazu w pamięci komputera lub na kliszach RTG. W zależności od drogi wprowadzenia środka cieniującego medycyna wyróżnia flebografię bezpośrednią i pośrednią. Stosuje się ten sam sprzęt oraz środki cieniujące jak w arteriografii. W przeciwieństwie do arteriografii, flebografia (choć może być przeprowadzana także metodą Selinger) bardzo często jest wykonywana z bezpośredniego nakłucia naczynia. W ten sposób są przeprowadzane flebografie kończynowe i badanie przetok dializacyjnych. Badanie żył głównych; dolnej i górnej zwane kawografią oraz żył do nich uchodzących – flebografie wybiórcze – wymagają zwykle cewnikowania. Flebografia pośrednia polega na podaniu środka cieniującego do tętnicy i uwidocznieniu żył w późnej fazie badania arteriograficznego – fazie żylniej. Flebografię pośrednią wykonuje się wtedy, gdy bezpośrednie nakłucie żyły czy jej zacewnikowanie jest trudne lub nie jest możliwe. Klasycznym przykładem jest badanie układu wrotnego.

Wskazania do flebografii

- wady naczyniowe,
- zaburzenia drożności,
- zmiany zapalne oraz pourazowe,
- poszukiwanie ciał obcych (najczęściej fragmentów cewników stosowanych przy długotrwałych wlewach),
- przed leczniczymi zabiegami śródnaczyniowymi.

Przeciwwskazania do flebografii są takie same jak w wypadku arteriografii

Najczęstszym badaniem naczyniowym układu żylnego jest flebografia kończynowa i kawografia.

Flebografia kończynowa

Najczęstszym wskazaniem jest zakrzepowe zapalenie żył oraz zespół pozakrzepowy. Celem badania jest ocena drożności żył głębokich (obecność skrzeplin), stanu zastawek żylnych, wydolności żył przeszywających. Badanie jest wykonywane poprzez bezpośrednie nakłucie żyły na grzbiecie stopy (flebografia kończyny dolnej) lub żyły odłokciowej (flebografia kończyny górnej). Środek cieniujący jest podawany w ilości 30–50 ml z prędkością 3–5 ml/s.

W razie podejrzenia zmian zakrzepowych pierwszym badaniem powinna być zawsze ultrasonografia dopplerowska.

Gdy żyły są drożne, niezmiennione chorobowo, odpływ środka cieniującego odbywa się przez żyły głębokie. Ich obrysy są gładkie, płatki zastawek skierowane są wypukłością ku obwodowi i widoczne w postaci linijnych ubytków. Środek cieniujący w niewielkiej ilości zalega w zachyłkach zastawek i nie cofa się w kierunku obwodu.

Przy zaburzeniach drożności, w badaniu flebograficznym widoczne są najczęściej nierówne obrysy światła żył lub ubytki wypełnienia odpowiadające skrzeplinom. Odpływ środka cieniującego odbywa się przez żyły powierzchowne przy niedrożności żył głębokich. Jeśli żyły łączące są niewydolne, środek cieniujący odpływa żyłami głębokimi oraz cofa się do żył powierzchownych.

Kawografia

Wykonywana jest w razie podejrzenia wad wrodzonych i zaburzeniu drożności (zmiany zakrzepowe, nowotworowe, ucisk z zewnątrz) oraz przed implantacją filtru przeciwzatorowego. Badanie można wykonać poprzez bezpośrednie nakłucie żył obwodowych, w przypadku kawografii dolnej obu żył udowych w pachwinie, kawografii górnej obu żył odłokciowych. Kawografię dolną i górną można wykonać, wprowadzając do żyły głównej cewnik (najczęściej pigtail) metodą Seldingera przez żyłę udową. Chcąc umieścić cewnik w żyłę głównej górnej, należy go przeprowadzić przez prawy przedsionek serca. Środek cieniujący jest podawany w ilości 20–30 ml z prędkością 5–10 ml/s. Zaburzenia drożności żyły głównej w zależności od umiejscowienia prowadzą do zespołu żyły głównej górnej lub dolnej. Niedrożny odcinek nie wypełnia się środkiem cieniującym, uwidaczniają się natomiast drogi krążenia obocznego.

Metody nieinwazyjnego obrazowania naczyń

Ultrasonografia dopplerowska

Zjawisko polegające na zmianie częstotliwości fali dźwiękowej jako następstwa przemieszczania się źródła dźwięku, echa lub odbiornika jako pierwszy opisał w 1842 roku J. Doppler z Salzburga w Austrii. Ultrasonografia dopplerowska z kolorowym obrazowaniem przepływu stanowi połączenie obrazowania w prezentacji B z próbkowaniem dopplerowskim. Przepływ można badać w wycinku obrazu w prezentacji B lub w całym obrazowanym obszarze, aby tego dokonać, aparat mierzy w poszczególnych próbkowanych objętościach przesunięcie dopplerowskie oznaczone kolorem i nakłada na obraz w prezentacji B. W obrazowaniu przepływu w skali barwnej poza *Color Doppler* stosuje się *Power Doppler* oraz *color velocity imaging*. Przyjmuje się, że przepływ w kierunku głowicy kodowany jest kolorem czerwonym, natomiast w kierunku przeciwnym – kolorem niebieskim.



Wskazania do dopplerowskiego badania tętnic

- ocena ściany naczynia, uwidocznienie ewentualnych blaszek miażdżycowych,
- podejrzenie zwężeń naczyń tętniczych; możliwa jest zarówno ocena długości zwężonego odcinka, jak i stopnia zwężenia,
- potwierdzenie okluzji,
- podejrzenie obecności malformacji naczyniowych, głównie tętniaków i przetok tętniczo-żylnych,
- ilościowa ocena przepływu,
- monitorowanie przeszczepu oraz przetok dializacyjnych.

Wskazania do ultrasonografii obwodowych naczyń żylnych

- podejrzenie zakrzepicy naczyń żylnych,
- niewydolność zastawek obwodowych naczyń żylnych,
- niewydolność naczyń przesywających,
- kontrola prowadzonego leczenia.

Zalety techniki Dopplera to: nieinwazyjność, niski koszt, duża dokładność w określeniu stopnia stenozy, brak przeciwwskazań, pacjent nie musi być przygotowywany do badania. Głównym ograniczeniem jest stosunkowo niska powtarzalność wyników, badanie zależne od umiejętności wykonującego.

Udowodniono przydatność ultrasonograficznych środków kontrastujących, powodujących wzmocnienie sygnału dopplerowskiego, do oceny zarówno dużych, jak i drobnych naczyń tętniczych, co skutkuje zwiększeniem czułości wykrywania zaburzeń w zakresie obwodowych naczyń tętniczych, a także w odniesieniu do żyły wrotnej. Diagnostyka naczyń stała się znacznie łatwiejsza oraz dokładniejsza dzięki wprowadzeniu nowoczesnych aparatów ultrasonograficznych oraz głowic szerokopasmowych.

Tomografia komputerowa

Angio-TK zaczęto stosować po wprowadzeniu techniki spiralnej w 1989 roku, a dzięki rozpowszechnieniu wielorzędowych aparatów TK jest obecnie, w wielu sytuacjach klinicznych, metodą z wyboru w rozpoznaniu patologii naczyń.

Angiografia TK polega na obrazowaniu naczyń w tomografii komputerowej w trakcie maksymalnego wzmocnienia po dożylnym podaniu środka kontrastowego. Dokładność oceny zwiększa to, że rozpatrywane są zarówno przekroje poprzeczne wykonane w obszarze zainteresowania, jak i rekonstrukcje wielopłaszczyznowe i objętościowe. Zwykle do oceny jednego badania wykorzystuje się kilka rodzajów rekonstrukcji: MIP – *maximum intensity projection* – odzwierciedlająca piksele o najwyższym pochłanianiu, SSD – *shaded surface display* – odzwierciedlająca powierzchnie struktur anatomicznych, VR – *volume rendering* – objętościowa, która pozwala na rekonstrukcje struktur słabiej pochłaniających promieniowanie, a także angioscopia wirtualna, dzięki której widoczne jest światło naczyń.

Zalety wielowarstwowej TK (*multislice CT, MSCT*) w obrazowaniu naczyń to:

- skrócenie czasu badania, umożliwiające zwiększenie zakresu anatomicznego,
- większa rozdzielczość czasowa, umożliwiająca uwidocznienie fazy tętniczej bez nakładających się żył i tkanek miękkich,
- praktycznie izotropowa rozdzielczość przestrzenna rutynowych badań, znacznie poprawiająca jakość rekonstrukcji trójwymiarowych.

Technika ta najczęściej jest stosowana w neuroradiologii oraz w ocenie aorty – zarówno w odcinku piersiowym, jak i brzuszny wraz z jej dużymi odgałęzieniami.

Rezonans magnetyczny

W MR naczynia mogą być obrazowane bez oraz po podaniu środka kontrastowego. MRA bez wzmocnienia kontrastowego do uwidocznienia naczyń wykorzystuje zmiany sygnału związane z przepływem krwi. Obraz badanych tkanek jest prezentowany trójwymiarowo, za pomocą zbioru obrazów dwuwymiarowych – tzw. obrazów źródłowych. Uzyskane dane objętościowe są wtórnie przetwarzane



cyfrowo, przede wszystkim z użyciem projekcji maksymalnej intensywności sygnału (*maximum intensity projection, MIP*).

Angiografia czasu przelotu (*time of flight MRA, MRA TOF*) wykorzystuje różnice intensywności sygnału między płynącą krwią a tkanką stacjonarną. Krew wpływająca do lub wypływająca z wybranej warstwy posiada inną wartość magnetyzacji podłużnej w stosunku do spinów tkanki stacjonarnej, w zależności od czasu pozostawania (czasu przelotu, *time of flight*) w tej warstwie. MRA TOF jest wykorzystywana głównie w obrazowaniu naczyń mózgowych, ze względu na prawie laminarne przepływy, niewielką zależność od cyklu pracy serca oraz dużą prędkość przepływu w tętnicach (50–100 cm/s), co stwarza dobry kontrast między krwią a podłożem. Największą zaletą tej metody jest łatwość wykonania i zupełna bezinwazyjność.

Stosowane są trzy rodzaje technik TOF:

- 2D: technika wielowarstwowa, wykorzystywana głównie do obrazowania wolnych przepływów (uwidocznienie żył). Jej wadą jest niska rozdzielczość przestrzenna i możliwość zaniku sygnału w przypadku krętego przebiegu naczynia.
- 3D: cała objętość obrazowana jest wzbudzana jednocześnie, a następnie dzielona na cienkie warstwy przez dodatkowy gradient fazowy. Ta technika cechuje się wyższą rozdzielczością przestrzenną i wyższym stosunkiem sygnału do szumu, jej wadą jest zanik sygnału w przypadku wolnego przepływu, zależny również od czasu obrazowania. Podział badanej objętości na kilka mniejszych części umożliwia badanie dłuższych naczyń – tzw. technika 3D multi-slab (MOTSA).

Wadą MRA TOF jest zależność od fizjologicznych warunków przepływu – zanik sygnału w obszarach turbulentnego lub wolnego przepływu, z czego wynika możliwość zawiązania stopnia stenozy w przypadku dużego stopnia zwężeń oraz trudności w różnicowaniu zwężeń krytycznych i niedrożności. Brak sygnału w danym obszarze nie pozwala na określenie przyczyny tego stanu.

Angiografia kontrastowo-fazowa (*phase-contrast angiography, PC*) wykorzystuje efekt fazy dla uzyskania informacji o kierunku i szybkości przepływu krwi: krew płynąca wzdłuż kierunku gradientu pola magnetycznego zmienia swą magnetyzację poprzeczną w stosunku do spinów stacjonarnych. W sekwencjach PC impuls gradientowy o określonej długości i amplitudzie indukuje przesunięcie fazowe magnetyzacji poprzecznej, które może być skompensowane przez drugi impuls gradientowy o przeciwnym znaku. W tkance stacjonarnej suma przesunięć fazowych wynosi zero, natomiast w płynącej krwi nie dochodzi do całkowitego skompensowania przesunięcia fazowego, a pozostałe, resztkowe przesunięcie fazowe jest proporcjonalne do prędkości spinów wzdłuż kierunku gradientu. Metoda PC polega na akwizycji dwóch zbiorów danych: jednego z kompensacją przepływu, drugiego wrażliwego na przepływ. Uzyskane dane przedstawiane są w postaci tzw. **map fazowych**, gdzie intensywność sygnału odzwierciedla przesunięcie fazowe związane z przepływem. Znak przesunięcia fazowego oznacza kierunek przepływu. Tkanka stacjonarna przedstawiana jest w kolorach szarych, natomiast płynąca krew w kolorze jasnym lub ciemnym, w zależności od kierunku przepływu. Drugi rodzaj danych – **mapy magnitude** odzwierciedlają długość wektora różnicy faz, proporcjonalną do prędkości przepływu i wykorzystywane są do anatomicznego uwidocznienia naczyń. Jasność każdego piksela odpowiada prędkości przepływu, nie daje natomiast informacji o jego kierunku. Z uzyskanych map fazowych i *magnitude* w postprocesingu, za pomocą odpowiedniego oprogramowania, powstają wykresy wartości przepływu i prędkości w danym obszarze zainteresowania. Podanie kontrastu może poprawić jakość obrazów, szczególnie w małych naczyniach, a zastosowanie bramkowania EKG redukuje artefakty związane z tętnieniem naczyń.

Angiografia MR ze wzmocnieniem kontrastowym (*contrast-enhanced MRA; CE-MRA*) obecnie jest najczęściej stosowaną metodą obrazowania tętnic domózgowych. Dokładność diagnostyczna tej metody przewyższa MRA TOF i jest porównywalna z innymi technikami (jak *angio-TK*), przy braku narażenia na promieniowanie jonizujące. CE-MRA wykorzystuje efekt skrócenia czasu relaksacji T1 krwi przez środek kontrastowy (gadolin) wypełniający obrazowane światło naczyń. W CE-MRA stosowane są trójwymiarowe sekwencje echa gradientowego (FLASH 3D, 3D FFE, 3D FSGRE). W zależności od czasu opóźnienia, po podaniu środka kontrastowego można uwidocznić naczynia w fazie tętniczej, mięszkowej lub żylniej. Obliczenie czasu opóźnienia decyduje o jakości uzyskanych obrazów w CE-MRA. Uzyskane dane objętościowe są wtórnie rekonstruowane w dowolnych płaszczyznach, za pomocą technik MIP, rekonstrukcji wielopłaszczyznowych MPR, rekonstrukcji objętościowych VR, czy wirtualnej angioskopii. Główne zastosowania CE-MRA to obrazowanie



tętnic szyjnych, aorty, tętnic nerkowych i tętnic kończyn dolnych. Obecne postępy w zakresie rozwoju sprzętu oraz oprogramowania czynią z CE-MRA atrakcyjną alternatywę tradycyjnej angiografii. Technika jest łatwa w użyciu oraz minimalnie inwazyjna.

Badania izotopowe

Badania naczyń obwodowych

Metody radioizotopowe, przydatne w rozpoznawaniu zaburzeń krążenia obwodowego, można podzielić na dwie grupy:

- badania radioizotopowe będące odpowiednikiem rentgenowskiej arteriografii lub wenografii,
- metody oceny przepływu krwi w obrębie naczyń włosowatych.

Przy angioscycntygrafii (angiografii radioizotopowej) zasadnicze znaczenie, podobnie jak w angiokardiografii izotopowej techniką pierwszego przejścia, ma sposób podania radioznacznika (szybkie wstrzyknięcie roztworu o wysokim stężeniu promieniotwórczym).

Wskazania

- zwężenie dużej tętnicy,
- niedrożność tętnicy,
- tętniak, pourazowe uszkodzenia tętnic,
- ocena drożności protez tętnicznych.

Angioscycntygrafia i wenografia radioizotopowa mogą stanowić uzupełnienie badania ultrasonograficznego, zwłaszcza wówczas, gdy zmiany dotyczą obszarów trudno dostępnych za pomocą ultradźwięków lub wynik badania nie jest jednoznaczny.

Miejscowy przepływ krwi przez naczynia włosowate oznacza się za pomocą klirensu tkankowego swobodnie dyfundujących związków promieniotwórczych. Najczęściej wykorzystuje się w tym celu gaz szlachetny, chemicznie bierny, ksenon (Xe-133), który jest z ustroju szybko eliminowany przez płuca, tak że praktycznie nie powraca (nie recyrkułuje) do tkanek obwodowych. Usuwanie Xe-133 z tkanek zależy od lokalnego przepływu krwi.

W chorobach powodujących upośledzenie krążenia obwodowego obniżenie klirensu mięśniowego jest szczególnie łatwo uchwytne w warunkach przekrwienia powysiłkowego. Oznaczenie klirensu tkankowego może być przydatne, np. w śledzeniu efektów leczenia farmakologicznego.

Badania obrazujące naczynia są metodami komplementarnymi. Zastosowanie różnych technik uzyskiwania obrazu umożliwia potwierdzenie lub wykluczenie patologii naczyniowej, co zostało przedstawione na przykładzie przetoki szyjno-jamistej:

- Doppler: odwrócenie widma przepływu w żyłę ocznej górnej z wewnątrz- na zewnątrzczaszkowy.
- MR/TK: wytrzeszcz gałki ocznej, obrzęk oczodołu, poszerzenie zatoki jamistej, kręte naczynia.
- Dynamiczne MR/DSA: przeciek krwi do zatoki jamistej z wczesnym wypełnieniem żyły ocznej górnej w fazie tętnicznej.

Diagnostyka obrazowa układu chłonnego

Limfografia – badanie kontrastowe naczyń chłonnych, którego celem jest uwidocznienie struktury anatomicznej i funkcji układu limfatycznego. Po raz pierwszy kontrastowe badanie radiologiczne zostało przeprowadzone w 1954 roku przez angielskiego chirurga Kinmontha. W zależności od wprowadzenia środka kontrastowego można wykonać limfografię bezpośrednią lub pośrednią.

- limfografia bezpośrednia polega na podaniu do naczynia chłonnego środka kontrastowego; metoda obarczona jest dość dużym odsetkiem powikłań i obecnie jest bardzo rzadko stosowana,
- limfografia pośrednia polega na podaniu kontrastu w skórę stopy, obecnie również wykonywana sporadycznie,
- limfografia izotopowa (limfoscycntygrafia) polega na podaniu koloidu znakowanego technetem, określa stan czynnościowy układu limfatycznego.



Tabela III. Zastosowanie metod obrazowych w diagnostyce wybranych chorób układu naczyniowego i chłonnego

Badany obszar	Metoda	Uwagi
Tętnice obwodowe (kończyn dolnych, górnych oraz szyi)	USG dopplerowskie Angio-TK lub Angio-MR DSA	Podstawową metodą jest badanie USG dopplerowskie, w razie wątpliwości angio-TK lub MR, DSA jako metoda kwalifikująca do terapii endowskularnej.
Żyły obwodowe	USG dopplerowskie Flebografia, Angio-TK Flebografia MR	Podstawową metodą jest badanie USG dopplerowskie, rzadko pojawia się potrzeba uzupełnienia diagnostyki w TK lub MR.
Aorta wraz z rozgałęzieniami	Angio-TK lub Angio-MR, DSA	Wstępna diagnostyka możliwa do przeprowadzenia w angio-MR bez użycia kontrastu, kolejnym krokiem może być zarówno angio-MR z użyciem kontrastu, jak i angio-TK (najczęściej), DSA zarezerwowana dla kwalifikacji do zabiegów endowaskularnych.
Żyła główna górna i dolna, układ wrotny	Angio-TK lub Angio-MR, Kawografia	Najczęściej wykonywane jest angio-TK, ale wstępna diagnostyka możliwa w angio-MR bez kontrastu lub z jego użyciem. Kawografia stosowana bezpośrednio przed zakładaniem filtra żylnego.
Naczynia tętnicze OUN	Angio-TK, Angio-MR DSA	Najczęściej stosowaną metodą jest angio-TK, angio-MR ze względu na mniejszą dostępność – rzadziej. DSA jest „złotym standardem”, ale najczęściej jest stosowana jako metoda kwalifikująca do terapii endowaskularnej.

Badanie to umożliwia: wykrycie przerzutów do węzłów chłonnych oraz określa zasięg rozprzestrzeniania się nowotworu, tzn. ustala, w jakich węzłach są obecne przerzuty nowotworowe, wykrycie pierwotnego nowotworu układu chłonnego (limfatycznego), sprawdzenie skuteczności leczenia operacyjnego. Skuteczność tej metody w rozpoznawaniu zmian przerzutowych w węzłach chłonnych ocenia się na około 75%. Obecnie, w związku z rozwojem dokładniejszych metod obrazowania układu limfatycznego (tomografia komputerowa, ultrasonografia, rezonans magnetyczny), badanie jest coraz rzadziej wykonywane.

Wskazania do przeprowadzenia badania:

- uzupełnienie tomografii komputerowej (TK), w celu oceny struktury powiększonych węzłów chłonnych, jeżeli ich powiększenie nie jest charakterystyczne,
- sprawdzenie podejrzanych węzłów chłonnych znajdujących się w pachwinach, miednicy i jamie brzusznej,
- ocena rozprzestrzeniania się nowotworu: czerniaka złośliwego skóry, guzów jądra, ziarnicy złośliwej, raka szyjki macicy, nowotworów układu chłonnego.

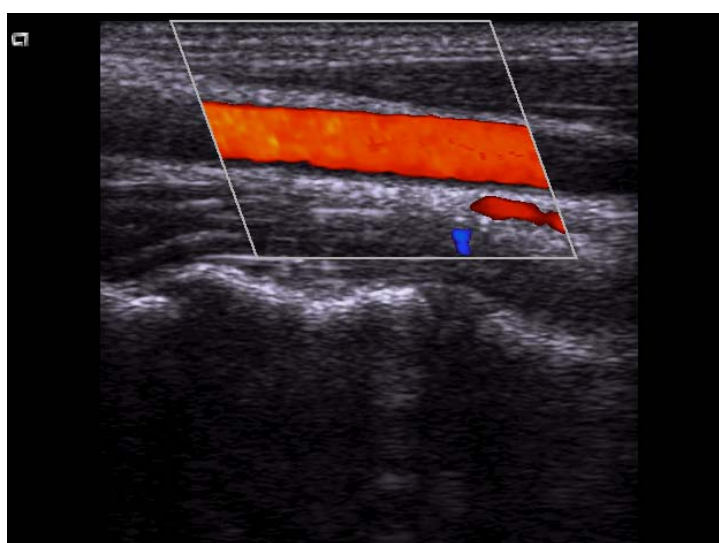
Powikłania związane z limfografią występują rzadko i mogą być miejscowe (zakażenie rany, zapalenie naczyń chłonnych, przejściowy obrzęk kończyn) lub ogólne (gorączka, nudności, wymioty, objawy uczuleniowe, zatory płucne, zapalenie płuc, zapaść sercowo-naczyniowa).

Pozytonowa tomografia emisyjna (PET) w połączeniu z tomografią komputerową (PET/CT) jest stosowana w diagnozowaniu przerzutów do węzłów chłonnych w przypadku wielu nowotworów złośliwych. Czerniak złośliwy jest jednym z nowotworów wysoce metabolizujących fluorodeoksyglukozę (FDG). Badanie FDG-PET/CT jest wysoce czułą i swoistą metodą diagnostyczną umożliwiającą właściwą ocenę stanu zaawansowania u chorych na czerniaka z podejrzeniem przerzutów do węzłów chłonnych. Badanie wykonywane jest jako uzupełniające w przypadku powiększonych węzłów chłonnych wykrytych innymi metodami.

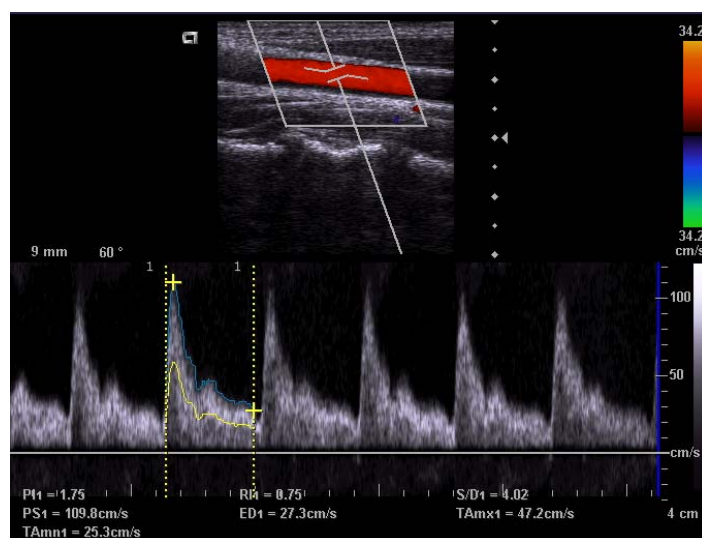




Ryc. 26. USG B-mode tętnicy szyjnej wspólnej.



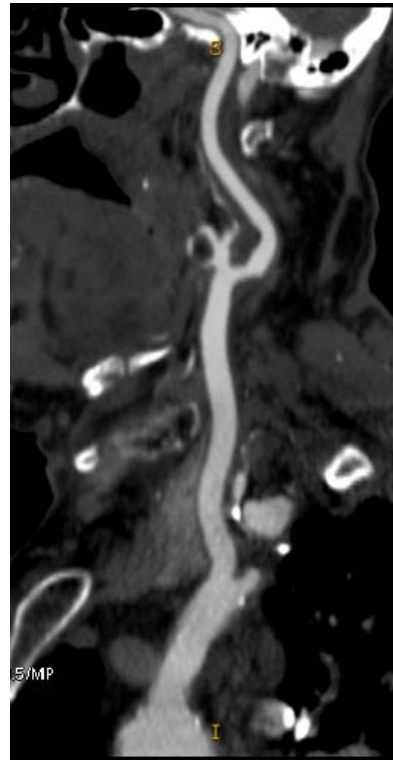
Ryc. 27. USG dopplerowskie z zakodowanym kolorem światłem tętnicy szyjnej wspólnej.



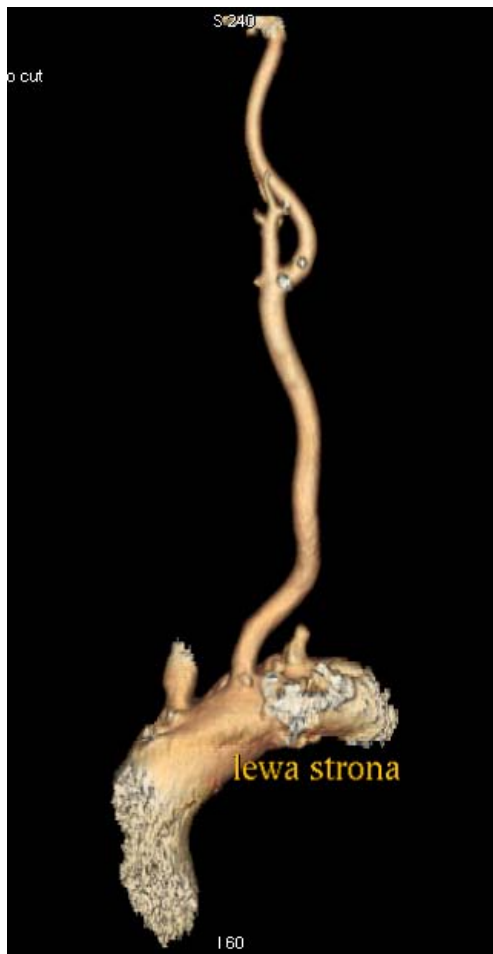
Ryc. 28. USG dopplerowskie z zapisem spektrum tętnicy szyjnej wspólnej.



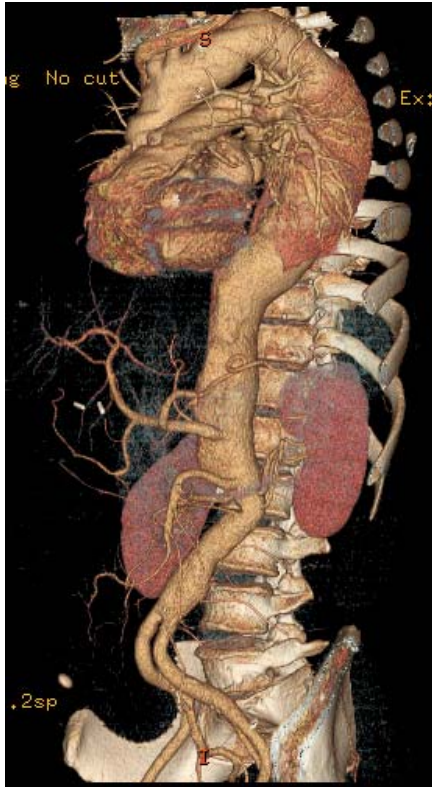
Ryc. 29. Angio-MR odcinka brzuszne-
go aorty w rekonstrukcji obję-
tościowej.



Ryc. 30. Angio-TK tętnicy szyjnej w rekon-
strukcji po krzywej (od łuku aorty
do wejścia w obręb czaszki).



Ryc. 31. Angio-TK tętnicy szyjnej w rekonstrukcji
objętościowej.



Ryc. 32. Angio-TK całej aorty w rekonstrukcji objętościowej.



Ryc. 33. USG B-mode w cięciu podłużnym brzuszego odcinka aorty z odejściem pnia trzewnego i tętnicy kręzkowej górnej.

Piśmiennictwo

1. Anxionnat R., Bracard S., Macho J., Da Costa E., Vaillant R., Launay L., Troussset Y., Romeas R., Picand L.: 3D-Angiography. Clinical interest. First application in interventional neuroradiology. *J. Neuroradiol.* 1998; 25: s. 251–262.
2. Reiser M.F., Semmler W., Hricak H.: *Magnetic Resonance Tomography.* Springer Verlag. Berlin 2008.
3. Runge Val M.: *Rezonans magnetyczny w praktyce klinicznej.* Elsevier Urban & Partner. Wrocław 2007.
4. Schmidt G.: *Ultrasonografia.* MediPage. Warszawa 2008.
5. Szczerbo-Trojanowska M.: Układ naczyniowy. *Radiologia interwencyjna.* [w:] *Leksykon radiologii i diagnostyki obrazowej.* Red. Walecki J., Pruszyński B., ZamKor. Kraków 2003: s. 317–369.
6. Tanoue S., Kiyosue H., Kenai H., Nakamura T., Yamashita M., Mori H.: Three-dimensional reconstructed images after rotational angiography in the evaluation of intracranial aneurysms: surgical correlations. *Neurosurgery* 2000; 47: s. 866–871.

5. Diagnostyka obrazowa śledziony*

Joanna Pilch-Kowalczyk

Śledziona, będąca narządem chłonnym, należącym do układu krążenia, zlokalizowana jest w obrębie jamy brzusznej, w podżebrzu lewym. Jej górna powierzchnia sąsiaduje z przeponą, dolna z tylną ścianą żołądka, zagięciem śledzionowym okrężnicy, górnym biegunem nerki lewej, lewym nadnerczem oraz z ogonem trzustki.

Przeciętne wymiary tego narządu to: długość do 12 cm, szerokość do 7 cm, grubość do 4 cm, oprócz nich istotne bywa określenie wskaźnika śledzionowego, który jest iloczynem długości, maksymalnej grubości oraz grubości na poziomie wnęki, powinien mieścić się w zakresie od 120 do 480 cm³. U 10–40% populacji występuje śledziona dodatkowa, zwykle w pobliżu śledziony, identyczna w badaniach obrazowych jak śledziona właściwa, o średnicy do 3 cm.

USG

Ultrasonografia śledziony jest elementem składowym badania USG jamy brzusznej. Zalecane jest, aby pacjent do badania zgłosił się na czczo. Brak jest przeciwwskazań, natomiast wskazania to zarówno diagnostyka, jak i monitorowanie procesów patologicznych.

Wskazania

- rozpoznawanie procesów rozrostowych w obrębie śledziony, przebiegających z lub bez splenomegalii,
- ocena struktury śledziony w chorobach układowych i spichrzeniowych,
- po urazach jamy brzusznej – podejrzenie pęknięcia śledziony,
- nadciśnienie wrotne (oprócz klasycznego USG niezbędne jest badanie dopplerowskie do oceny przepływów w krążeniu wrotnym i obocznym).

Tomografia komputerowa

Pacjent do TK zgłasza się na czczo, gdyż integralną częścią oceny narządów jamy brzusznej, w tym śledziony, jest badanie po dożylnym podaniu środka cieniującego – część procesów patologicznych jest izodensyjna w stosunku do mięszu śledziony przed wzmocnieniem. Środek cieniujący powoduje w fazie tętnicznej charakterystyczne pasmowate wzmocnienie, w fazie wrotnej – jednorodne, intensywne wzmocnienie narządu, pozwalając odróżnić nieprawidłowy mięsz od obszarów patologicznych. Tomografia komputerowa wraz z USG są podstawowymi metodami obrazowania śledziony.

Wskazania

- splenomegalia,
- urazy jamy brzusznej,
- torbiele,
- nowotwory,
- chłoniaki,
- polisplenia i asplenia.

* Zdjęcia z ultrasonografii i TK zamieszczone w tym rozdziale pochodzą z badań wykonanych w Zakładzie Radiodiagnostyki i Radiologii Zabiegowej Samodzielnego Publicznego Centralnego Szpitala Klinicznego im. prof. Kornela Gibińskiego Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach.

Zdjęcia z rezonansu magnetycznego pochodzą z pracowni MR „Helimed” Diagnostic Imaging Sp. z o.o., Spółka Komandytowa przy SPCSK w Katowicach Ligocie.



Tomografia rezonansu magnetycznego

Badanie śledziony jest zwykle częścią badania jamy brzusznej. Bywa zlecane u pacjentów, którym nie można wykonać TK lub wtedy, gdy obraz zmian w śledzionie jest niecharakterystyczny w TK i USG. Badanie wykonywane jest przed i po dożylnym podaniu środka kontrastowego. Tomografia MR jest szczególnie przydatna w różnicowaniu zawartości zmian torbielowatych śledziony.

Wskazania

- różnicowanie w początkowym okresie procesów rozrostowych mięszu śledziony, zwłaszcza w chłoniakach,
- różnicowanie między zmianami torbielowatymi a krwinkami.

Badania naczyniowe

Angiografia pnia trzewnego lub wybiórcza arteriografia tętnicy śledzionowej – przygotowanie do badania, metody, wskazania i przeciwwskazania – patrz rozdział: *Diagnostyka obrazowa układu naczyniowego i chłonnego*.

Splenoportografia pośrednia, czyli faza żylna arteriografii pnia trzewnego, bardzo rzadko bywa stosowana przed zabiegami operacyjnymi do oceny stanu żyły śledzionowej i żyły wrotnej.

Splenoportografia bezpośrednia jako badanie inwazyjne, polegające na przezskórnym nakłuciu śledziony i podaniu do jej mięszu środka cieniującego, który następnie kontrastuje żyłę śledzionową i żyłę wrotną, dzięki dużej dostępności USG i TK obecnie nie jest stosowana.

Zdjęcie przeglądowe jamy brzusznej

Mało przydatne do diagnostyki śledziony, może ujawnić obecność zwapnień w jej rzucie.

Badania kontrastowe przewodu pokarmowego

Ze względu na sąsiedztwo żołądka i zagięcia śledzionowego jelita grubego, powiększenie śledziony może powodować odkształcenie lub przemieszczenie tych części przewodu pokarmowego.

Metody izotopowe

Badanie z użyciem koloidów znakowanych Tc99m w celu potwierdzenia:

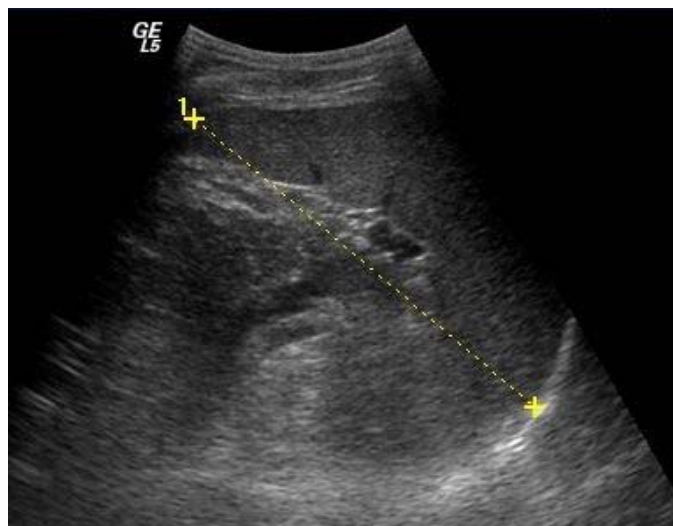
- aspleni, polispleni lub splenosis,
- śledziony dodatkowej,
- ektopii mięszu śledziony.

PET/CT

Przydatne w celu rozpoznawania przerzutów do śledziony.

Tabela IV. Zastosowanie metod obrazowych w diagnostyce wybranych chorób śledziony

Jednostka kliniczna	Metoda	Uwagi
Splenomegalia, choroby układowe i spichrzeniowe	USG, TK/MR	Przy znacznym powiększeniu śledziony konieczne jest podanie zwiększonej ilości ś.c. dożylnie do uzyskania diagnostycznych obrazów w badaniu dynamicznym.
Uraz wielonarządowy	USG, TK	Jeśli pacjent jest w dobrym stanie, zaczynamy od USG, które można powtarzać; jeśli pacjent jest w stanie ciężkim należy wykonać TK.
Polisplenia, asplenia, splenosis, śledziony dodatkowa, ektopia śledziony	Metody izotopowe,	W celu potwierdzenia braku lub zwiększonej liczby śledzion, lub wykrycia ich nietypowego położenia, konieczne jest wykonanie diagnostyki z użyciem Tc99m, mniejsze znaczenie mają metody morfologiczne, jak USG czy TK, MR.
Nowotwory pierwotne i wtórne	USG, TK/MR, PET/CT	Ocena morfologii zmian możliwa zwykle już w USG, czasem konieczne rozszerzenie diagnostyki o TK lub MR, natomiast do oceny rozsiewu i zwiększonego metabolizmu konieczne jest badanie izotopowe, najlepiej w połączeniu z morfologicznym, czyli PET/TK.



Ryc. 34. USG śledziony ujawnia jednorodną strukturę narządu.



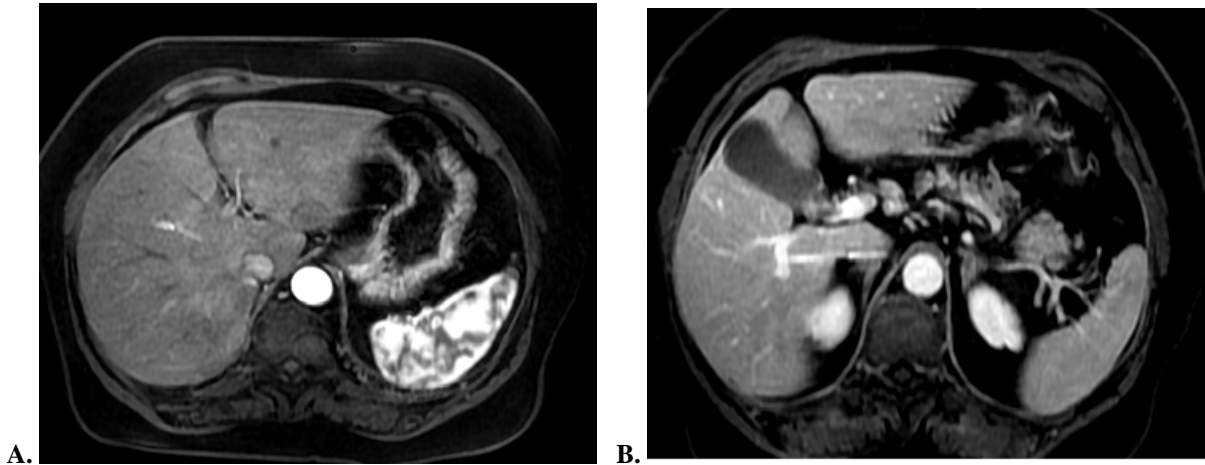
Ryc. 35. TK jamy brzusznej, przekrój poprzeczny w fazie żylnowo-wrotnej badania wielofazowego uwidoczniła jednorodny miąższ śledziony.



Ryc. 36. TK jamy brzusznej, rekonstrukcja wielopłaszczyznowa – widoczna niezmienniona śledziona oraz żyła śledzionowa łącząca się z żyłą kręzkową górną w żyłę wrotną.



Ryc. 37. Sekwencja T2-zależna 2D Fiesta z saturacją tłuszczu – płaszczyzna czołowa na poziomie wątroby, nerek i śledziony. W pobliżu dolnego bieguna śledziony widoczna mała, okrągła śledziona dodatkowa.



A.

B.

Ryc. 38. Sekwencja LAVA, przekrój poprzeczny. Widoczne typowe, nierównomierne wzmocnienie śledziony w fazie tętniczej (A.) i jednorodne w fazie żylnno-wrotnej (B.).

Piśmiennictwo

1. *Fedrerle M.P., Jeffrey R.B., Deser T.S., Anne V.S., Eraso A., Chen J.J-S., Guliani-Chabra S., Pealer K.M.:* Diagnostic Imaging Abdomen. Amirsys. Salt Lake City 2008.
2. *Mastalerski J., Kozłowski P., Walecki J.:* Leksykon radiologii. Fundacja im. prof. Ludwika Rydygiera. Warszawa 1992.

6. Diagnostyka obrazowa płuc i opłucnej*

Tomasz Lebda-Wyborny

Płuca są narządem parzystym, leżącym w klatce piersiowej. Anatomicznie podzielone są na płaty, przy czym prawe płuco składa się z trzech płatów (górny, środkowy i dolny), oddzielonych od siebie szczeliną międzypłatową skośną i poziomą, natomiast płuco lewe składa się z dwóch płatów (górny i dolny), między którymi przebiega szczelina międzypłatowa skośna. W obrębie płuc wyróżniamy segmenty oskrzelowo-płucne (10 w prawym płucu i 9 w lewym), które oddzielone są od siebie przegrodami łącznotkankowymi i zaopatrywane przez osobne odgałęzienia trzeciorzędowe drzewa oskrzelowego oraz przez osobne odgałęzienia tętnicy płucnej – w związku z tym każdy segment pełni rolę oddzielnej jednostki funkcjonalnej i może być usunięty chirurgicznie bez naruszania funkcji sąsiednich segmentów. Opłucna to podwójna błona surowicza, składająca się z dwóch blaszek: ściennej, stykającej się bezpośrednio z powięzią piersiową, śródpiersiem i przeponą oraz trzewnej, która pokrywa płuco i ściśle do niego przylega. Pomiędzy blaszkami opłucnej znajduje się szczelinowata przestrzeń – jama opłucnej – zawierająca kilka mililitrów płynu surowiczego, zmniejszającego tarcie przy oddychaniu. W warunkach prawidłowych nie jest ona widoczna w badaniach radiologicznych.

W diagnostyce chorób płuc i opłucnej radiologia ma do dyspozycji metody klasyczne (RTG klatki piersiowej, fluoroskopia) oraz metody tomografii komputerowej (TK wielorzędowe przed i po podaniu środka cieniującego, HRCT, angio-TK). Rolę uzupełniającą spełniają angiografia, ultrasonografia, metody medycyny nuklearnej (scyntygrafia, SPECT i PET) i rezonans magnetyczny oraz metody hybrydowe (np. PET-CT). Nową metodą łączącą wiele zalet klasycznej radiografii i TK jest tomosynteza. Coraz częściej w diagnostyce radiologicznej wykorzystywane są systemy radiografii cyfrowej, w których klasyczna klisza fotograficzna zostaje zastąpiona przez cyfrowy detektor, co pozwala na obróbkę, analizę i magazynowanie badań w postaci binarnej.

Zdjęcie przeglądowe klatki piersiowej



Ryc. 39. RTG klatki piersiowej PA – obraz prawidłowy

Jest to najczęściej na świecie wykonywane badanie radiologiczne, które w połączeniu z dokładnym wywiadem i badaniem fizykalnym jest podstawową metodą badania klatki piersiowej. Klasyczne zdjęcie wykonywane jest w projekcji P–A na stojąco, w której pacjent stoi przodem do kasy z filmem, czyli wiązka promieni RTG przechodzi przez jego ciało od tyłu (*Posterior*), do przodu (*Anterior*). Taka pozycja warunkuje najmniejsze zniekształcenie liniowe wielkości śródpiersia, które znajduje się bardzo blisko kasy. Badanie, w miarę możliwości, wykonywane jest na pełnym wdechu.

Główne **wskazania** do wykonania przeglądowego zdjęcia klatki piersiowej w projekcji P–A obejmują kliniczne objawy choroby układu oddechowego lub sercowo-naczyniowego, kontrolę wcześniej zdiagnozowanej choroby narządów klatki pier-

* Zdjęcia zamieszczone w tym rozdziale pochodzą z badań wykonanych w Zakładzie Diagnostyki Obrazowej Samodzielnego Publicznego Szpitala Klinicznego im. prof. Kornela Gibińskiego Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach.

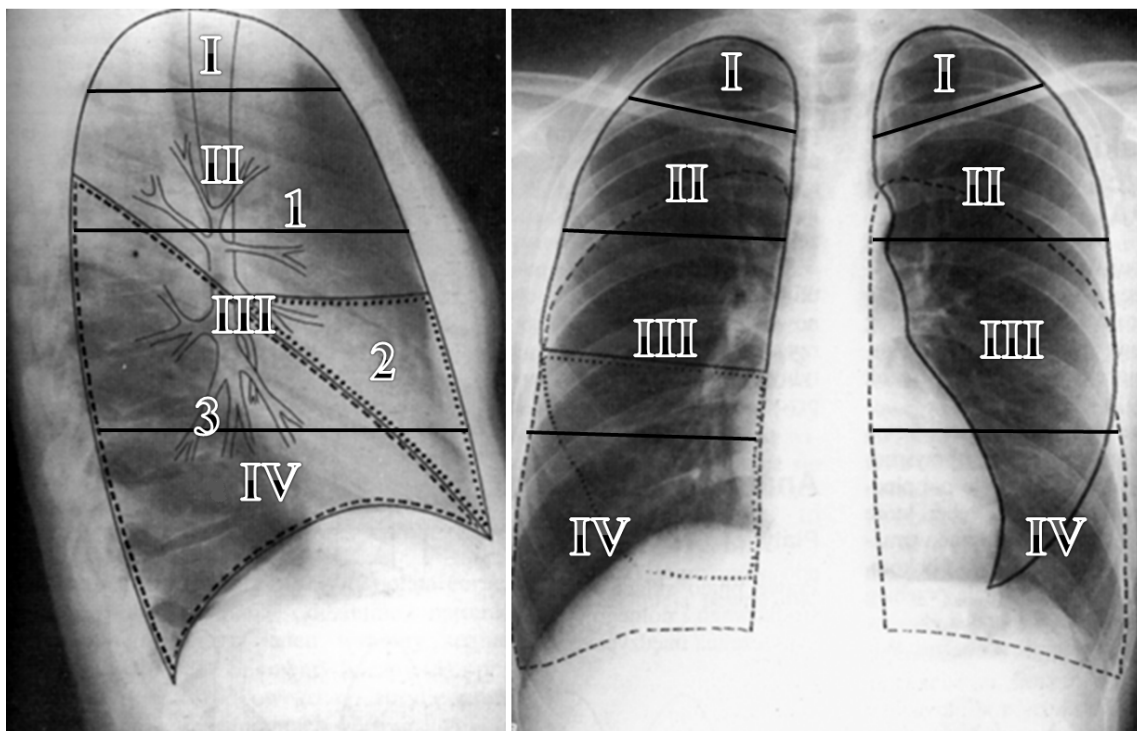
siowej i ocenę przedoperacyjną przed niektórymi procedurami chirurgicznymi oraz badania przesiewowe osób zdrowych.

Najważniejsze zalety przeglądowego zdjęcia klatki piersiowej to niewielki koszt pojedynczego badania, duża dostępność i bardzo niska dawka promieniowania. Do wad zalicza się, przede wszystkim, niższą niż w innych metodach rozdzielczość tkankową (przy zachowanej doskonałej rozdzielczości liniowej) oraz znaczne trudności w ocenie narządów śródpiersia i struktur okolicy górnego otworu klatki piersiowej (z powodu nakładania się struktur na siebie oraz identycznego stopnia pochłaniania promieniowania RTG przez wszystkie tkanki miękkie).

Ocena zdjęcia RTG klatki piersiowej obejmuje ocenę poprawności technicznej (poprawność danych administracyjnych, uwidocznienie pól płucnych w całości, symetria i poprawna ekspozycja zdjęcia oraz faza oddechu), ocenę pól płucnych, cienia środkowego (sylwetka serca, górne śródpiersie oraz wnęki płucne), ustawienia kopuł przepony oraz ściany klatki piersiowej.

Do **dotychczasowych projekcji** zalicza się: projekcję celowaną na szczyty płuc (pozwala dokładnie uwidocznić obszary przesłonięte przez częste zmiany zwyrodnieniowe stawów mostkowo-obojczykowych), zdjęcie w pozycji leżącej na boku promieniem poziomym (ocena obecności płynu lub powietrza w jamach opłucnowych, przy braku możliwości pionizacji pacjenta), zdjęcie na wydechu (ocena odmy), zdjęcie na wdechu i wydechu w rozedmie wentylowej oraz projekcje boczne. Te ostatnie pozwalają na lepsze uwidocznienie struktur budujących wnęki płucne oraz na lokalizację stwierdzonych na zdjęciu P–A zmian w trójwymiarowej przestrzeni (płaty i segmenty). Projekcja boczna jest projekcją rutynową tylko przy poszukiwaniu zmian nowotworowych oraz w diagnostyce krwiopłucia.

W ocenie umiejscowienia zmian na zdjęciu RTG klatki piersiowej używa się radiologicznego pojęcia pól płucnych: pola szczytowe (powyżej obojczyka), górne (od obojczyka do górnego bieguna wnęki), środkowe (między II a IV żebrem w odcinku przednim – szerokość wnęki płucnej) i dolne (poniżej dolnego bieguna wnęki). Należy mieć świadomość, że pola te nie odnoszą się w żadnym stopniu do anatomicznego podziału na płaty płuc – przykładowo zmiana zlokalizowana nadprzeponowo, w dolnym polu płucnym może znajdować się w płacie górnym. Wzajemne stosunki pomiędzy polami płucnymi, a anatomią płatów płuc przedstawiono na rycinie 40.



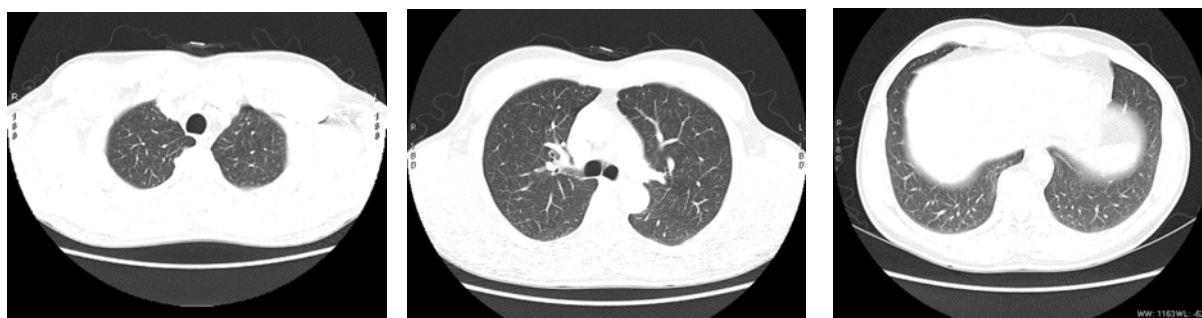
Ryc. 40. Płaty anatomiczne płuc a radiologiczne pola płucne. Cyfry arabskie oznaczają płaty płucne (1 – górny – linia ciągła, 2 – środkowy – linia kropkowana i 3 – dolny – linia przerywana), cyfry rzymskie oznaczają pola płucne (I – pole szczytowe, II – pole górne, III – pole środkowe, IV – pole dolne).

Fluoroskopia klatki piersiowej (skopia TV)

Zasada badania jest identyczna, jak w przypadku klasycznej radiografii, jednakże obraz zamiast na błonie fotograficznej, powstaje na analogowym detektorze promieniowania RTG, który przekształca dane w czasie rzeczywistym na obraz na ekranie monitora. Jest to badanie dynamiczne, które pozwala na ocenę ruchomości poszczególnych struktur oraz na rozprojektowanie struktur nakładających się na siebie. Znaczącą jego wadą jest wielokrotnie większa dawka promieniowania niż przy klasycznym zdjęciu RTG – proporcjonalna do czasu ekspozycji. Zwykle jest ona używana jako metoda uzupełniająca do oceny zmian ogniskowych uwidocznionych na zdjęciu RTG, które prawdopodobnie są artefaktami wynikającymi z sumowania się cieni nakładających się struktur. Może być również stosowana do oceny ruchomości przepony.

Tomografia komputerowa klatki piersiowej (TK)

Po zdjęciu przeglądowym jest to najczęściej stosowana technika obrazowania w diagnostyce chorób płuc. Jej rozdzielczość kontrastowa (zdolność rozpoznawania różnic w gęstości tkankowej) oraz zdolność do precyzyjnego umiejscawiania zmian w trójwymiarowej przestrzeni jest znacząco większa niż zdjęcia RTG. Tomografia komputerowa klatki piersiowej jest metodą używaną do wyjaśnienia nieprawidłowości stwierdzanych na klasycznych zdjęciach RTG. Standardowe badanie TK klatki piersiowej jest wykonywane przed i po dożylnym podaniu środka cieniującego. W zależności od wskazań klinicznych odpowiednio dobierana jest liczba warstw (im więcej warstw, tym większa dokładność, ale też proporcjonalnie większa dawka promieniowania jonizującego) i zakres skanowania.



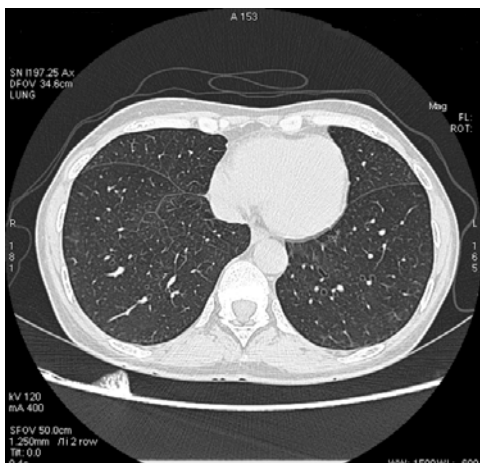
Ryc. 41. TK klatki piersiowej – przekrój przez szczyty płuc, przekrój na wysokości bifurkacji tchawicy, przekrój na wysokości kopuł przepony (okno płucne) – obraz prawidłowy.

Dzięki powszechnemu stosowaniu aparatów wielorzędowych skanujących techniką spiralną istnieje możliwość uzyskania rekonstrukcji objętościowych 3D i wielopłaszczyznowych, co zwiększa dokładność badania i pozwala na czytelną prezentację otrzymanych wyników. Jeśli badanie wykonano odpowiednio cienką warstwą, istnieje możliwość wykonania trójwymiarowej rekonstrukcji drzewa oskrzelowego, co pozwala na uzyskanie obrazów wirtualnej bronchoskopii.

Wskazania do TK ze wzmocnieniem kontrastowym obejmują ocenę mięszu płuc, ocenę opłucnej, węzłów chłonnych i struktur śródpiersia, ściany klatki piersiowej w zmianach nowotworowych pierwotnych i wtórnych oraz w stanach zapalnych. Tomografia komputerowa szczególnie dobrze pozwala ocenić nawet bardzo niewielkie (2–3 mm) zmiany ogniskowe mięszu płuc i monitorować ich progresję. Umożliwia również precyzyjną ocenę węzłów chłonnych śródpiersia oraz wnęk płucnych, służy do oceny naciekania na kości i uwidacznia nawet niewielką ilość płynu zarówno w jamie opłucnowej, jak i worku osierdziowym. Do wad tomografii komputerowej należą: brak jednoznacznej możliwości różnicowania między tkanką zapalną a nowotworową oraz wielokrotnie większe narażenie na promienie jonizujące niż podczas przeglądowego zdjęcia klatki piersiowej (100–500x).

Tomografia komputerowa wysokiej rozdzielczości (HRCT)

Ocenę przewlekłych, rozsianych procesów śródmiąższowych (rozedma, pylica, śródmiąższowe zwłóknienia płuc oraz rozstrzenie oskrzeli) ułatwia wykonanie cienkich warstw z bardzo wysoką rozdzielczością przestrzenną i znacznym pomiędzy nimi odstępem (*high resolution CT*). Ze względu na fakt braku ciągłości warstw oraz brak konieczności podania środka cieniującego, badanie to służy



Ryc. 42. HRCT płuc – obraz prawidłowy.

wyłącznie do oceny zmian rozsianych (pojedyncze zmiany ogniskowe mogą być niewidoczne pomiędzy warstwami).

Angiografia tomografii komputerowej (angio-TK)

Zastosowanie szybkich skanerów spiralnych oraz automatycznych strzykawek do podawania środka cieniującego umożliwia uzyskanie precyzyjnego obrazowania naczyń w dowolnie wybranej fazie. W diagnostyce chorób płuc najczęściej wykorzystywane jest obrazowanie tętnic płucnych w celu oceny zatorowości płucnej. Ocena fazy tętniczej umożliwia dodatkowo wykluczenie rozwarstwienia aorty jako przyczyny ostrego bólu w klatce piersiowej.

Tomosynteza

Cyfrowa tomosynteza jest badaniem, które łączy zalety tomografii komputerowej (brak znaczącego nakładania się struktur klatki piersiowej) z zaletami klasycznej radiografii (niska dawka promieniowania). W trakcie ekspozycji lampa RTG wykonuje częściowy obrót dookoła detektora (zwykle 40°), zbierając około 10 zestawów danych z płaszczyzn czołowych. Zestaw danych cyfrowych może być użyty do rekonstrukcji obrazów na różnych głębokościach i o różnej grubości warstwy, co pozwala na ocenę, nawet niewielkich oraz położonych w miejscach trudno dostępnych, zmian ogniskowych miąższu płucnego z dokładnością zbliżoną do tomografii komputerowej przy kilkadziesiąt razy mniejszej dawce promieniowania. Aktualnie trwają badania nad użytecznością zastosowania tej metody w badaniach przesiewowych u pacjentów z wysokim ryzykiem wystąpienia raka płuc.

Ultrasonografia

Zastosowanie ultrasonografii w diagnostyce chorób płuc jest marginalne, ze względu na brak możliwości penetracji wiązki ultradźwięków przez upowietrzoną tkankę płucną. Dostęp do struktur śródpiersia jest również utrudniony przez kostną ścianę klatki piersiowej. Ultrasonografia jest natomiast metodą z wyboru w ocenie obecności płynu w jamach opłucnowych.

Rezonans magnetyczny

Pomimo wielu zalet metody (brak promieniowania jonizującego, możliwość otrzymywania obrazu w projekcji strzałkowej i czołowej) znaczenie rezonansu magnetycznego w diagnostyce chorób płuc i opłucnej jest obecnie niewielkie ze względu na niską rozdzielczość przestrzenną i ograniczoną korzyść w ocenie miąższu płucnego.

Podstawowe **wskazania** obejmują ocenę śródpiersia i wnęk (gdy wyniki TK są niejednoznaczne), ocenę patologii ściany klatki piersiowej (szerzenie się procesu nowotworowego na ścianę klatki piersiowej i jej pierwotne nowotwory) oraz poszukiwanie wznowy w całkowicie zaciemnionej po amputacji płuca połowie klatki piersiowej. Rezonans magnetyczny ma także dużą skuteczność rozpoznawania guzów tylnego śródpiersia wychodzących z kanału kręgowego.

Dzięki możliwości wizualizacji różnic sygnału płynącej krwi i tkanek otaczających rozwinęła się metoda wykonywania angiografii przy użyciu MR, która nie wymaga dożylnego podawania środka kontrastowego i nie naraża pacjenta na promieniowanie jonizujące. Rzadko jednak bywa wykorzystywana w diagnostyce ostrej zatorowości płucnej, gdyż słaba dostępność do niej w trybie dyżurowym i dłuższy czas wykonania preferują metodę angio-TK. Najczęstsze wskazanie to przewlekłe rozwarstwienie aorty – możliwość uzyskania obrazów w płaszczyźnie czołowej ułatwia ocenę tej patologii.



Procedury inwazyjne

Nowoczesne metody radiologiczne dają możliwość wykonywania precyzyjnych procedur biopsyjnych. Nakłucia zmian opłucnowych (zmiany ogniskowe, odma, płyn w jamie opłucnej) dokonuje się zazwyczaj pod kontrolą USG. Tomograf komputerowy, dzięki laserowym znacznikom pozycjonowania, umożliwia natomiast biopsję zmian leżących głębiej w mięszu płucnym oraz natychmiastowe wykluczenie powikłań (odma, krwawienie).

Angiografia klasyczna

Angiografia klasyczna tętnic płucnych polega na bezpośrednim dotętnicznym podaniu środka cieniującego oraz wizualizacji jego dystrybucji. Nie jest ona rutynowo wykonywana w diagnostyce zatorowości płucnej (większa inwazyjność procedury niż dla angio-TK), chyba że po diagnostyce przewiduje się wdrożenie terapii endowaskularnej (celowana tromboliza lub embolektomia). Angiografia odgałęzień tętnic oskrzelowych (krążenie systemowe) jest wykonywana w diagnostyce krwiopłucia, a wykryte w niej malformacje naczyniowe mogą jednocześnie zostać poddane embolizacji.

Metody izotopowe

Badania radioizotopowe płuc są pomocne w ocenie niektórych funkcji układu oddechowego. Radioznacznik w czasie badania scyntygraficznego płuc może być podawany drogą dożylną, aby ocenić perfuzję oraz wziewną, w celu oceny wentylacji.

Scyntygrafia perfuzyjna płuc

Badanie perfuzyjne płuc przeprowadza się, wstrzykując dożylnie mikrosfery albuminowe znakowane Tc-99m. Ich wymiary (15–20 μm) uniemożliwiają im swobodne przedostawanie się przez kapilary krążenia płucnego. Zatrzymują się więc (przejściowo) w prekapilarach tętniczych, pośrednio ukazując dystrybucję krwi w obrębie krążenia małego. U ludzi zdrowych, którym podano radioznacznik w pozycji siedzącej, słabiej wysyczone są na scyntygramach pola szczytowe i podszczytowe obu płuc. Odzwierciedla to obniżony przepływ krwi krążenia płucnego przez obszary gorzej wentylowane. Różnica wysycania górnych pól w porównaniu z dolnymi jest mniej zaznaczona wówczas, gdy osoba badana bezpośrednio przed aplikacją radioznacznika wykona kilka głębokich oddechów lub pozostaje w czasie iniekcji w pozycji leżącej.

Zaleca się podawanie dożylnie mikrosfer znakowanych Tc-99m (w dawce 80–150 MBq) w pozycji leżącej. Bezpośrednio po wstrzyknięciu radioznacznika wykonuje się odwzorowanie jego rozmieszczenia w 6 projekcjach: przedniej, tylnej, obu bocznych oraz obu tylnobocznych.

Najważniejszym wskazaniem do perfuzyjnej scyntygrafii płuc jest podejrzenie zatoru (zatorowości) płuc. Wiodącym objawem jest obecność segmentalnych ubytków perfuzji przy braku zmian na scyntygramach wentylacyjnych (oraz na zdjęciu RTG płuc) o identycznej lokalizacji.

Scyntygrafia perfuzyjna może być także pomocna w ocenie rozległości zmian w nowotworach płuc (przed kwalifikacją chorego do zabiegu operacyjnego), w diagnostyce zwłóknień płuc (w celu określenia rozległości zmian), przy różnicowaniu pomiędzy pierwotnym i wtórnym nadciśnieniem płucnym, w diagnostyce niektórych wrodzonych wad, np. przy zwężeniu jednej z gałęzi tętnicy płucnej lub hipoplazji jednego płuca, jak również przy obecności ciała obcego w drzewie oskrzelowym.

Scyntygrafia wentylacyjna płuc

Badanie wentylacyjne płuc stanowi cenne uzupełnienie scyntygrafii perfuzyjnej. Wykonuje się je z pomocą gazu radioaktywnego (np. Xe-133) lub radioaerozolami będącymi bardzo drobnymi kropelkami cieczy o średnicy poniżej 1 μm (np. Tc-99m-DTPA w roztworze 0,9% NaCl).

Scyntyografię wentylacyjną płuc wykonuje się najczęściej jako badanie uzupełniające przy podejrzeniu zatoru w obrębie krążenia płucnego. Może być też przydatne w rozpoznawaniu zwężenia dróg oddechowych oraz w śródmiąższowych chorobach płuc (celem sprawdzenia przepuszczalności nabłonka płucnego).



PET-CT

PET-CT to procedura hybrydowa łącząca metodę radiologiczną (tomografia komputerowa), z metodą medycyny nuklearnej (PET – *positron emission tomography*). PET jest metodą, która pozwala na uzyskanie trójwymiarowych obrazów, prezentujących czynność poszczególnych narządów (3D) lub ich czynność w czasie (4D). Do jej wykonania potrzebne jest wyskospecjalistyczne urządzenie posiadające skaner TK oraz gammakamerę zintegrowane w jednej obudowie. Najczęściej częsteczką nośnikową dla radioizotopu jest FDG (metaboliczny analog glukozy), czyli analiza intensywności jej wychwytu przedstawia aktywność metaboliczną tkanki lub narządu, jako wyraz regionalnego zapotrzebowania na glukozę.

W diagnostyce układu oddechowego PET-CT jest używana do oceny stadium zaawansowania nowotworu oraz do monitorowania terapii onkologicznej. Zasadniczą wadą jest niewielka dostępność i wysoki koszt badania.

Tabela V. Zastosowanie metod obrazowych w diagnostyce wybranych schorzeń płuc i opłucnej

Jednostka kliniczna	Metoda	Uwagi
1	2	3
Infekcja górnych dróg oddechowych	Brak	Bez diagnostyki radiologicznej.
Zapalenie płuc	RTG P–A	Kontrola po 4–6 tygodniach u osób starszych i palaczy albo gdy utrzymują się objawy kliniczne. U pozostałych po ustąpieniu objawów bez kontroli.
Ostry ból w klatce piersiowej	EKG, biochemia RTG P–A	Podstawowe badania różnicujące główne przyczyny ostrego bólu w klatce piersiowej (zawał serca, zatorowość, rozwarstwienie aorty). RTG rzadko jest specyficzne, ale pozwala wykluczyć rzadsze przyczyny oraz rozpoznać stany zagrażające życiu (obrzęk płuc, odma). Przy zawale ocena sylwetki serca w RTG.
Zatorowość płucna	Angio-TK USG żył KKD Scyntygrafia	RTG niespecyficzne. Możliwa jednoczesowa ocena żył głębokich kończyn dolnych w angio-TK (jeśli to niemożliwe, to ocena żył w USG Doppler). W przypadkach niezagrażających życiu można rozpoczynać diagnostykę od scyntyigrafii wentylacyjno-perfuzyjnej.
Rozwarstwienie aorty	Angio-TK Angio-MR	Angio-MR w przypadkach wątpliwych o przewlekłym charakterze.
Niewielkiego stopnia uraz klatki piersiowej	Brak	Jeśli pacjent bez objawów klinicznych, zwykle można odstąpić od diagnostyki, wykazanie złamania żebra, niewielkiej odmy lub ogniska stłuczenia nie zmienia postępowania klinicznego.
Średniego lub dużego stopnia uraz klatki piersiowej	RTG TK	RTG P–A lub A–P w zależności od stanu pacjenta. Jeśli wynik niejednoznaczny lub występują trudności, uzupełnić diagnostykę o TK z oceną kręgosłupa. Przy urazach wielonarządowych skanowanie całego ciała.
Badanie przesiewowe lub wstępne	RTG P–A	Wyłącznie dla grup wysokiego ryzyka: (imigranci), niektóre grupy zawodowe (spawacze, górnicy, pracownicy narażeni na kontakt z azbestem, nurkowie).
Badanie przedoperacyjne	RTG P–A	Nieuzasadnione jest rutynowe wykonywanie przedoperacyjnego RTG KLP u pacjentów poniżej 35 roku życia, u których badanie kliniczne nie wykazuje zmian w obrębie narządów klatki piersiowej.
Płyn w jamie opłucnej	USG RTG TK	USG metodą z wyboru – można jednocześnie wykonać odbarczenie pod kontrolą USG. RTG może nie pokazać niewielkiej ilości płynu. W przypadku niemożliwości pionizacji pacjenta można wykonać zdjęcie boczne promieniem poziomym. TK w przypadkach wątpliwych – nietypowa lokalizacja w zrostach, gęsty płyn.



1	2	3
POCHP, choroby śródmiąższowe płuc	HRCT	W celu rozpoznawania nowych przypadków i określenia lokalizacji zmian.
POCHP i astma – kontrola	RTG	Tylko w przypadku istotnej zmiany objawów klinicznych.
Krwiopłucie	RTG P–A + BOK TK Bronchoskopia Angio-TK Angiografia	Jeśli RTG jest prawidłowe, a krwiopłucie nie ma związku z infekcją, pierwszeństwo wykonania TK/angio-TK lub bronchoskopii zależy od ośrodka. Jeśli brak zmian w powyższych – do rozważenia klasyczna angiografia, która pozwala wykazać niewielkie krwawienie.
Pacjent z podejrzeniem choroby nowotworowej	RTG P–A + BOK Bronchoskopia TK	W razie wykrycia zmiany ogniskowej w RTG biopsja w bronchoskopii lub pod kontrolą TK (w zależności od lokalizacji). jeśli w RTG nie ma zmiany ogniskowej, dalsze poszukiwania w TK.
Pacjent ze stwierdzoną chorobą nowotworową: staging oraz kontrola terapii	TK KLP TK j. brzusznej Scyntygrafia MR PET PET-CT	TK klatki piersiowej zawsze powinno obejmować ocenę nadnerczy (częste miejsce przerzutów raka płuc). Ocena węzłów chłonnych i wątroby w badaniu TK jamy brzusznej. Scyntygrafia dla oceny zajęcia układu kostnego przez przerzuty. MR pomocne w ocenie ściany klatki piersiowej i zmian penetrujących do wnętrza oraz śródpiersia. PET i PET-CT umożliwiają odnalezienie bardzo niewielkich ognisk przerzutowych.
Pacjent z oddziału intensywnej terapii	RTG A–P TK USG	RTG tylko w przypadku pogorszenia stanu klinicznego. Ocena obecności płynu w jamie opłucnej możliwa w przyłożkowym USG. TK może być pomocne w przypadkach wątpliwych, choć trudne do wykonania u pacjenta podłączonego do respiratora.

Piśmiennictwo

1. *Hofer M.*: Podstawy radiologii klatki piersiowej. MediPage. Warszawa 2008.
2. *Oestmann J.*: Radiologia kliniczna – zaczynamy. MediPage. Warszawa 2007.
3. Procedury diagnostyczne w radiologii – Polskie Lekarskie Towarzystwo Radiologiczne. Stan aktualny na 01.01.2011. www.polradiologia.org [dostęp: 15.03.2012 r.].
4. *Pruszyński B.*: Radiologia. Diagnostyka obrazowa. Rtg, TK, USG, MR i medycyna nuklearna. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 2008.
5. *Sąsiadek M.*: Diagnostyka obrazowa narządów klatki piersiowej. Elsevier Urban & Partner. Wrocław 2008.



7. Diagnostyka obrazowa śródpiersia*

Joanna Machnik-Broncel, Joanna Pilch-Kowalczyk

Śródpiersie (*mediastinum*) stanowi pośrodkowo położoną przestrzeń między oboma workami opłucnej oraz między piersiowym odcinkiem kręgosłupa a mostkiem. Górne ograniczenie stanowi otwór górny klatki piersiowej, a dolne przepona. Śródpiersie obustronnie pokryte jest opłucną śródpiersiową. Składa się ze śródpiersia górnego i dolnego. Przebieg korzenia płuca oraz więzadła płucnego pozwala na podział śródpiersia dolnego na przednie, środkowe i tylne.

- *Śródpiersie górne* – stanowi przestrzeń między rękojęścią mostka a górnymi kręgami piersiowymi, od dołu ograniczoną przez umowną płaszczyznę przechodzącą przez kąt mostka i dolną powierzchnię trzonu kręgu Th4; zawiera grasicę, obie żyły ramiennie-głowe i początkowy odcinek żyły głównej górnej, łuk aorty wraz z odchodzącymi naczyniami, tchawicę, przełyk, nerwy błędne z odchodzącymi gałęziami, przewód piersiowy, węzły chłonne oraz pień współczulny.
- *Śródpiersie przednie* – stanowi przestrzeń między osierdziem a mostkiem; zawiera gałęzie śródpiersiowe naczyń piersiowych wewnętrznych, więzadło mostkowo-osierdziowe oraz węzły chłonne.
- *Śródpiersie środkowe* – stanowi worek osierdziowy wraz z jego zawartością (serce, aortę wstępującą, dolny odcinek żyły głównej górnej, piersiowy odcinek żyły głównej dolnej, końcowy odcinek żyły nieparzystej, pień płucny dzielący się na dwie tętnice płucne, żyły płucne, węzły chłonne, część głęboką splotu sercowego) oraz biegnące po osierdziu nerwy przeponowe i naczynia osierdziowo-przeponowe.
- *Śródpiersie tylne* – stanowi przestrzeń między osierdziem a kręgosłupem i tylnymi odcinkami żeber; zawiera odcinek piersiowy aorty zstępującej, żyłę nieparzystą i żyłę nieparzystą krótką, przełyk, tchawicę i jej rozdzielenie, nerwy błędne z odchodzącymi gałęziami, przewód piersiowy, częściowo nerwy trzewne, węzły chłonne oraz pień współczulny.

Zdjęcie RTG klatki piersiowej stanowi podstawową metodę diagnostyczną w rozpoznaniu chorób klatki piersiowej. Standardowo zdjęcie przeglądowe klatki piersiowej wykonuje się w projekcji tylnoprzodniej (P–A) w pozycji stojącej, na zdjęciu w projekcji A–P (w pozycji siedzącej lub leżącej) kształt śródpiersia, jak również wymiar serca ulegają zmianie. Struktury śródpiersia wraz z mostkiem oraz kręgosłupem wchodzi w skład cienia środkowego. Ocena śródpiersia wymaga wykonania zdjęcia przy użyciu napięcia powyżej 120 kV – pozwala to na ocenę ostrości zarysów śródpiersia, serca i naczyń. Brzeg śródpiersia powinien być ostry – dopuszczalne jest pewne przymglenie w kącie sercowo-przeponowym, przy wierzchołkach i przy prawej wnęce, poza tym zniekształcenie lub przerwanie ciągłości linii, pasm lub zachyłków śródpiersiowych świadczy o procesie patologicznym. U dzieci cień środkowy w części górnej bywa poszerzony przez grasicę.

W ocenie śródpiersia należy uwzględnić fakt, iż górny otwór klatki piersiowej jest nachylony względem płaszczyzny poprzecznej – górny brzeg śródpiersia przedniego sięga do poziomu obojczyków, a szczyty płuc rzutują się ponad nimi. W związku z tym można zaobserwować tzw. objaw szyno-piersiowy (objaw Felsona) – struktury leżące w górnej części śródpiersia przedniego (do przodu od tchawicy) zbliżają się do dolnych brzegów obojczyków, a ponieważ powyżej obojczyków otoczone są tkankami miękkimi szyi, na zdjęciu klatki piersiowej górno-boczne zarysy są zatarte, wyraźne pozo-

* Zdjęcia 43 i 44 zamieszczone w tym rozdziale pochodzą z badań wykonanych w Zakładzie Diagnostyki Obrazowej i Radiologii Zabiegowej Samodzielnego Publicznego Szpitala Klinicznego nr 6 Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach Górnośląskie Centrum Zdrowia Dziecka im. Jana Pawła II.

Zdjęcie 45 zamieszczone w tym rozdziale pochodzi z badania wykonanego w Zakładzie Radiodiagnostyki i Radiologii Zabiegowej Samodzielnego Publicznego Centralnego Szpitala Klinicznego im. prof. Kornela Gibińskiego Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach.

stają jedynie dolne zarysy. Patologie zlokalizowane do tyłu od tchawicy otoczone są przez tkankę płucną – mają wyraźne obrysy i rzutują się powyżej obojczyków.

Fluoroscopia klatki piersiowej dzięki możliwości dynamicznej oceny może być uzupełnieniem zdjęcia, umożliwia bowiem:

- wyprojektowanie sumujących się cieni,
- wykrycie zmiany położonej poza sercem,
- ocenę tętnienia udzielonego,
- ocenę ruchów śródpiersia w trakcie oddychania,
- ocenę zmiany kształtu guza lub struktur śródpiersia podczas próby Valsalvy.

Dłuższy czas trwania niż zdjęcie klatki piersiowej powoduje, że fluoroscopia znacznie zwiększa dawkę promieniowania rentgenowskiego.

Tomografia komputerowa

Tomografia komputerowa jest rutynową techniką obrazowania śródpiersia.

Wskazania

- diagnostyka guzów – wykrywanie, diagnostyka różnicowa,
- ocena zmian opłucnowych i zmian ściany klatki piersiowej – podejrzenie ropniaka, różnicowanie wysięku/nacieku/niedodmy/guza, azbestoza,
- choroby naczyń,
- uraz klatki piersiowej,
- zapalenie śródpiersia,
- zespół żyły głównej górnej.

Badanie struktur śródpiersia powinno odbywać się po podaniu środka cieniującego (zwykle 1–2 ml/kg m.c.) – w celu różnicowania naczyń, węzłów chłonnych i innych struktur o gęstości tkankowej, a także do oceny patologii oraz dla uzyskania obrazu naczyń. Badanie TK bez podania środka cieniującego jest stosowane w znikomym stopniu, głównie jako składowa diagnostyki po urazie wielonarządowym.

Badanie techniką spiralną pozwala na zmniejszenie liczby artefaktów ruchowych. Na podstawie rekonstrukcji trójwymiarowych możliwa jest wielopłaszczyznowa ocena struktur śródpiersia.

Badanie standardowo przeprowadza się w pozycji leżącej na plecach z uniesionymi ramionami, na szczycie wdechu, od tylnych zachyłków opłucnej do szczytów płuc. Wykonywane jest przed i po dożylnym podaniu środka cieniującego, jego ilość i prędkość podania zależą od rodzaju patologii i liczby rzędów tomografu, z użyciem którego wykonywane jest to badanie. Większych ilości oraz szybszego podania (3–5 ml/s) wymaga ocena naczyń śródpiersia oraz bogato unaczynionych patologii.

Rezonans magnetyczny

O ile badanie MR ma ograniczone zastosowanie w obrazowaniu płuc, o tyle dzięki możliwości uzyskania wielopłaszczyznowych obrazów stanowi jednak bardzo dobrą metodę dla uwidocznienia struktur śródpiersia i wnęki płucnej. Dokładne zróżnicowanie tkanek na podstawie różnej intensywności sygnału powoduje, iż jest to metoda dokładniejsza niż badanie tomografii komputerowej, co ma szczególne znaczenie w monitorowaniu leczenia onkologicznego. Dodatkowo w badaniu MR możliwa jest ocena układu naczyniowego bez konieczności podania środka cieniującego. W celu eliminacji bądź zmniejszenia liczby artefaktów ruchowych stosuje się szybkie sekwencje i bramkowanie EKG – szczególnie podczas obrazowania struktur poniżej poziomu łuku aorty.

Wskazania

- zmiany naczyniowe śródpiersia i górnego otworu klatki piersiowej,
- ocena fazy rozwoju nowotworów płuc, wykrywanie przerzutów do śródpiersia,
- ocena guzów śródpiersia,
- monitorowanie przebiegu terapii chłoniaków ziarniczych i nieziarniczych.

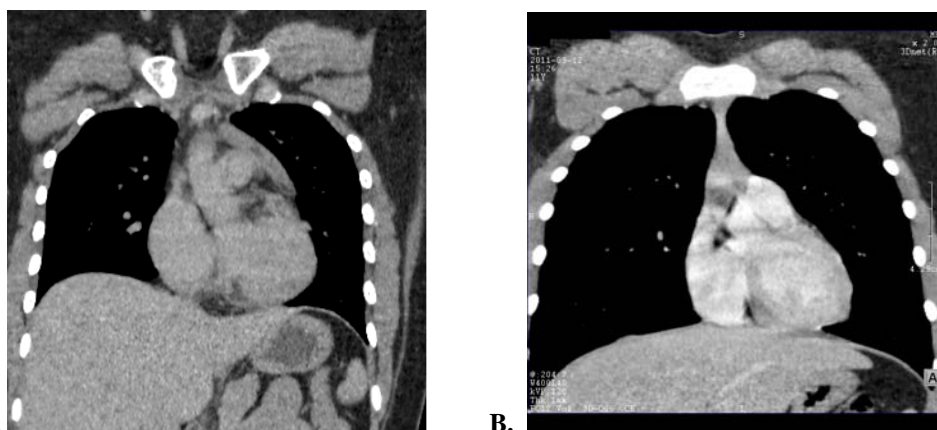


Obecnie badanie MR wykorzystywane jest głównie do uzyskiwania obrazów śródpiersia i wnęk płucnych u pacjentów z przeciwwskazaniami do stosowania jodopochodnych środków cieniujących lub u pacjentów, u których wynik badania TK jest wątpliwy – szczególnie dotyczy to zmian we wnętrzu płuca.

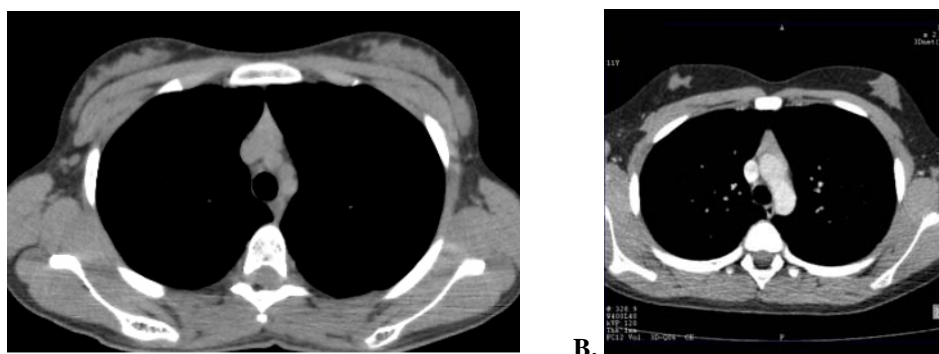
USG

Badanie USG jest pomocne w ocenie grasicy i węzłów chłonnych śródpiersia u dzieci.

Badania izotopowe stosowane w diagnostyce zmian związanych z tarczycą – wole śródpiersiove (patrz rozdział: 15. *Diagnostyka obrazowa gruczołów wydzielania wewnętrznego*).



Ryc. 43. TK klatki piersiowej, rekonstrukcja wielopłaszczyznowa w płaszczyźnie czołowej. A. – przed wzmocnieniem. B. – po wzmocnieniu kontrastowym. Okno miękkotkankowe – widoczne struktury śródpiersia, płuca niemożliwe do oceny.



Ryc. 44. TK klatki piersiowej dziecka trzynastoletniego, przekrój poprzeczny na poziomie grasicy, która widoczna jest do przodu od dużych naczyń. A. – przed wzmocnieniem. B. – po wzmocnieniu kontrastowym.



Ryc. 45. TK klatki piersiowej po dożylnym podaniu środka cieniującego z rekonstrukcją wielopłaszczyznową struktur śródpiersia wykonaną w płaszczyźnie zbliżonej do czołowej.

Piśmiennictwo

1. *Chapman S., Nakielny R.*: Metody obrazowania radiologicznego. Medycyna Praktyczna. Kraków 2006.
2. *Crone J., Carroll M., Brown I., Delany D.*: Zdjęcia rentgenowskie klatki piersiowej. Czelej. Lublin 2000.
3. *Prokop M., Galanski M.*: Spiralna i wielorzędowa tomografia komputerowa człowieka. MediPage. Warszawa 2007.
4. *Pruszyński B.*: Radiologia. Diagnostyka obrazowa Rtg, TK, USG, MR i medycyna nuklearna. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 2008.
5. *Val Runge M.*: Rezonans magnetyczny w praktyce klinicznej. Elsevier Urban & Partner. Wrocław 2007.



8. Diagnostyka obrazowa przewodu pokarmowego*

Joanna Pilch-Kowalczyk, Anna Zymon-Zagórska, Stanisław Nowak, Krystian Rudzki

ANATOMIA RADIOLOGICZNA

Przełyk

Przełyk leży w śródpiersiu tylnym. Rozpoczyna się na wysokości dolnego brzegu chrząstki pierścieniowatej – na poziomie VI kręgu szyjnego i biegnie w dół, aż do połączenia z żołądkiem (wpust) na poziomie Th10–Th11.

Wzdłuż przebiegu przełyku widać kilka fizjologicznych zwężeń:

- 1) pierścieniowate na poziomie chrząstki pierścieniowatej,
- 2) aortalne na poziomie łuku aorty,
- 3) oskrzelowe na wysokości lewego oskrzela głównego,
- 4) zwężenie przeponowe na poziomie rozworu przełykowego przepony.

Bezpośrednio ponad i pod zwężeniem przeponowym widoczne są niewielkie fizjologiczne poszerzenia przełyku – górne, noszące nazwę bańki nadprzeponowej, oraz dolne – bańki nadwpustowej.

Badanie przełyku stanowi składową badania kontrastowego górnego odcinka przewodu pokarmowego.

Żołądek

Anatomia radiologiczna żołądka rozróżnia pięć jego części: dno, wpust, trzon, część przedodźwiernikową i odźwiernik. Błona śluzowa żołądka tworzy fałdy. Te, które należą do krzywizny mniejszej są przedłużeniem podłużnych fałdów śluzówki przełyku i rozciągają się dalej przez odźwiernik na dwunastnicę. Inna ich grupa, wychodząca z dna żołądka, biegnie początkowo w kierunku krzywizny mniejszej, a następnie oddala się od niej i w najniższym punkcie żołądka zagina się, biegnąc z powrotem ku górze. Ząbkowane obrysy krzywizny większej są następstwem krzyżowania się włókien podłużnych, skośnych i okrężnych ściany żołądka. Obraz radiologiczny wpustu zależy od jego stanu czynnościowego. Po przejściu fali perystaltycznej przez przełyk, fałdy błony śluzowej części brzusznej przełyku wpuklają się do światła żołądka, tworząc tzw. brodawkę Jutrasa. Najwyższe fałdy znajdują się w dnie, najniższe w trzonie żołądka. Rozciągnięcie ich za pomocą gazu umożliwi uwidocznienie pól żołądkowych.

Jelito cienkie

Jelito cienkie stanowi najdłuższą część przewodu pokarmowego, mając średnio od 4 do 5 metrów długości. W jego skład wchodzi dwunastnica, jelito czcze (2/5), jelito kręte (3/5 części zadwunastniczej).

Dwunastnica stanowi początkowy odcinek jelita cienkiego, długości 25–30 cm. Jej górna część łączy się z odźwiernikiem, dolna przechodzi w jelito czcze. W dwunastnicy wyodrębniamy: opuszkę stanowiącą początek części górnej, zgięcie górne, część zstępującą, zgięcie dolne, część wstępującą. Jej kształt i położenie może być zmienne, zazwyczaj przybiera ona kształt podkowiasty lub poziomo ułożonej litery „U”. Opuszka ma najczęściej kształt trójkątny.

* Zdjęcia z ultrasonografii, badań kontrastowych i TK zamieszczone w tym rozdziale pochodzą z badań wykonanych w Zakładzie Radiodiagnostyki i Radiologii Zabiegowej Samodzielnego Publicznego Centralnego Szpitala Klinicznego im. prof. Kornela Gibińskiego Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach.



Dwunastnica sąsiaduje z kilkoma narządami, których powiększenie może ją zniekształcać. Powiększenie, zwłaszcza trzustki, pęcherzyka żółciowego oraz płatów: prawego i czworobocznego wątroby, powinno być wskazaniem do radiologicznej oceny dwunastnicy. Mniej więcej w połowie wysokości części zstępującej znajduje się brodawka większa, gdzie uchodzą PŻW i przewód trzustkowy.

Rzeźba błony śluzowej jest różna w poszczególnych częściach dwunastnicy. W opuszcze widoczne są cienkie, podłużne fałdy, w częściach dalszych pojawiają się początkowo małe, a następnie coraz wyższe fałdy okrężne.

Okrężne fałdy błony śluzowej w jelicie czczym mają wysokość 7–8 mm, w jelicie krętym ulegają obniżeniu do 2–3,5 mm, aż do zaniku w jego końcowym odcinku. Grubość fałdów błony śluzowej to średnio 2 mm, grubość ściany jelita od 1 do 3 mm (w zależności od stopnia jego rozciągnięcia).

Jelito grube

Końcowy odcinek jelita cienkiego zagłębia się do światła kątnicy, tworząc fałdy – górny i dolny, które ograniczają zastawkę krętniczno-kątniczą. Na zdjęciu osiowym uwidacznia się ona jako twór owalny lub gwiazdkowaty.

Część wstępująca jelita grubego, aż do zagięcia wątrobowego, leży pozaotrzewnowo, poprzeczna jest ruchoma i leży wewnątrzotrzewnowo (poza niewielkim odcinkiem sąsiadującym z zagięciem wątrobowym). Zstępnicą do poziomu lewego stawu krzyżowo-biodrowego również położona jest pozaotrzewnowo. Poniżej niego kieruje się ku przodowi i zostaje pokryta otrzewną; ta część jelita grubego nosi nazwę esicy. Na poziomie S2–S4 esica przechodzi w odbytnicę, która posiada dwa zagięcia: krzyżowe i kroczone. Jej dolna część nosi nazwę bańki odbytnicy, poniżej znajduje się kanał odbytnicy.

Powierzchnia błony śluzowej jelita grubego jest gładka i zawiera gruczoły (krypty) jelitowe tworzące w niej zagłębienia. Tkanka podśluzowa – luźna tkanka łączna – zawiera naczynia krwionośne i chłonne oraz włókna nerwowe. Błona mięśniowa zbudowana jest z warstw mięśni gładkich: warstwa zewnętrzna, podłużna tworzy trzy zgrubienia – taśmy: swobodną, sieciową i kreskową. Ich napięcie działa jak sprężyste więzadło, zmuszając pozostałą część ściany okrężnicy do układania się w fałdy i hausty. W kanale odbytnicy natomiast występują podłużne fałdy tzw. słupy odbytnicze (6–10), między którymi widoczne są zagłębienia – zatoki odbytnicze oraz trzy fałdy poprzeczne.

Wyrostek robaczkowy w większości przypadków położony jest pozakątniczo (65%).

DIAGNOSTYKA OBRAZOWA PRZEWODU POKARMOWEGO

Zdjęcie przeglądowe klatki piersiowej – nie jest metodą właściwą dla badania przewodu pokarmowego, może jednak ujawniać nieprawidłowości, które się z niego wywodzą. Poszerzenie cienia śródpiersia może być spowodowane zapaleniem śródpiersia w perforacji przełyku lub wydłużeniem i poszerzeniem przełyku w achalazji, obecność przepukliny rozworu przełykowego może ujawniać poziom płynu w obrębie śródpiersia. Ujawnienie powyższych nieprawidłowości na zdjęciu przeglądowym jest wskazaniem do badania kontrastowego górnego odcinka przewodu pokarmowego.

Zdjęcie przeglądowe jamy brzusznej – podstawowa metoda diagnostyczna umożliwiająca stwierdzanie cech perforacji przewodu pokarmowego, czyli powietrza pod kopolami przepony oraz ocenę niedrożności poprzez zobrazowanie poziomów płynów.

Ważne: Zdjęcia przeglądowe nie wymagają przygotowania pacjentów.

A. Kontrastowe badanie górnego odcinka przewodu pokarmowego

Badania kontrastowe to podstawowe metody diagnostyczne służące do obrazowania przewodu pokarmowego. **Metoda jednokontrastowa** stosowana jest obecnie do oceny szczelności i drożności przewodu pokarmowego, w tym przełyku. W takich wskazaniach podawany jest kontrast rozpuszczalny w wodzie. **Metoda dwukontrastowa** jest powszechnie wykorzystywana w badaniu górnego odcinka przewodu pokarmowego, które obejmuje badanie przełyku, żołądka, dwunastnicy aż do zagięcia dwunastniczo-czczego.

Jeśli nie ma podejrzenia nieszczelności przewodu pokarmowego, zasadniczym kontrastem jest siarczan baru – zawiesina barytowa.



- **Badanie jednokontrastowe.** W czasie badania pacjent przyjmuje doustnie 200–300 ml kontrastu, który wypełnia światło żołądka. Jeśli kontrast wypełnia strukturę pozostającą poza anatomicznym zarysem ściany mówimy o **naddatku wypełnienia**, jeśli natomiast miejsce kontrastu w świetle przewodu pokarmowego zajmuje zmiana rozrostowa o pochłanianiu tkanek miękkich, daje ona **ubyttek wypełnienia**.
- **Badanie dwukontrastowe.** Polega na doustnym podaniu preparatów gazotwórczych krótko przed podaniem zawiesiny barytowej, której w początkowej fazie badania pacjent wypija 2–3 łyki lub na wykorzystaniu powietrza zalegającego w przewodzie pokarmowym. Otrzymujemy wtedy obraz rozciągniętych za pomocą gazu fałdów błony śluzowej i pokrytych cienką warstwą kontrastu. Metoda ta jest znacznie dokładniejsza od badania jednokontrastowego, pozwala na uwidocznienie nawet tak drobnych elementów anatomicznych, jak pólka żołądkowe. W trakcie badania pacjent pozostaje w pozycji stojącej oraz w pozycji leżącej: kolejno na obu bokach, na plecach i brzuchu. Zdjęcia wykonywane są pod kontrolą fluoroskopii, są to zdjęcia celowane.

Wskazania

Ocena budowy i czynności żołądka w chorobie wrzodowej, nowotworach, po zabiegach operacyjnych.

Przeciwwskazania: ciąża

B. Badania kontrastowe jelita cienkiego

Pasaż jelitowy – jednokontrastowe badanie jelita cienkiego

Pacjent do badania zgłasza się na czczo. Doustnie podawany jest środek cieniujący pozytywnie – baryt, który fizjologiczną drogą powoli przechodzi przez poszczególne pętle jelita cienkiego. Badanie można uznać za zakończone, jeśli kontrast przedostanie się przez zastawkę krętniczno-kątniczą do jelita grubego. Oczywiście jest, że tak przebiegające badanie nie może w całości odbywać się pod kontrolą fluoroskopii ze względu na długi czas i bardzo dużą dawkę promieniowania, na jaką narażony byłby pacjent. W trakcie badania wykonywane są zdjęcia, na których otrzymuje się obrazy nakładających się pętli, co zwykle utrudnia ich ocenę. W uzasadnionych przypadkach wykonywane są zdjęcia celowane, robione pod kontrolą fluoroskopii. Obecnie metoda ta jest stosowana sporadycznie w ocenie sprawności pasażu przez jelito cienkie, gdy brak jest możliwości wykonania badania dwukontrastowego.

Enterokliza – dwukontrastowe badanie jelita cienkiego

Polega na podaniu środków kontrastowych: pozytywnego – preparat siarczanu baru (średnio 200 ml) i negatywnego – 0,5% wodny roztwór metylocelulozy (do 2000 ml), bezpośrednio do światła jelita cienkiego poza zagięcie dwunastniczo-czcze. Jest to możliwe z użyciem dedykowanej sondy do enteroklizy, zakładanej pod kontrolą fluoroskopii (wariant drogi) lub sondy nosowo-żółciowej zakładanej przez lekarza z użyciem endoskopu (wariant znacznie tańszy, ale mało rozpowszechniony).

Wskazania

- ocena zmian śluzówkowych w jelicie cienkim w przebiegu chorób zapalnych i nowotworowych,
- poszukiwanie przetok międzypętlowych i zewnętrznych w chorobie Leśniowskiego-Crohna,
- polipy,
- uchyłki.

Niedogodności związane z klasyczną enteroklizą:

- konieczność wprowadzenia sondy do jelita cienkiego (może wymagać znieczulenia),
- skutki uboczne: wymioty,
- środek kontrastowy – baryt,
- zależność od wykonującego badanie,
- brak możliwości wykrycia zmian poza światłem jelita,
- wysoki koszt (przy użyciu dedykowanej sondy jelitowej).



Przygotowanie chorego do badań kontrastowych górnego odcinka przewodu pokarmowego

Do badania kontrastowego górnego odcinka przewodu pokarmowego pacjent zgłasza się na czczo, to znaczy w dniu badania bez jedzenia i picia (nie powinien również palić papierosów), ostatni posiłek w godzinach wczesnowieczornych w dniu poprzedzającym badanie. Od przygotowania pacjenta można odstąpić w przypadku podejrzenia perforacji przewodu pokarmowego.

C. Badania kontrastowe jelita grubego

Przygotowanie chorego do badania kontrastowego dolnego odcinka przewodu pokarmowego

Pacjent przed badaniem kontrastowym jelita grubego wymaga bezwzględnie dokładnego oczyszczenia błony śluzowej jelita z mas kałowych.

Na dwa do trzech dni przed badaniem zalecana jest dieta płynna, bezresztkowa. W dniu poprzedzającym badanie pacjent otrzymuje doustnie 1–2 litrów płynów wieloelektrolitowych (Fosfolaxativa, Fortrans), w razie potrzeby dawkę powtarza się wcześniej rano w dniu badania. W dniu badania pacjent pozostaje na czczo.

- Jednokontrastowy wlew jelita grubego. Polega na całkowitym wypełnieniu go zawiesiną barytową, co jest kontrolowane przy użyciu fluoroskopii RTG i zdjęć poszczególnych odcinków jelita. Ze względu na małą dokładność tej metody, obecnie znajduje sporadyczne zastosowanie (w uchyłkowatości, kiedy w obawie przed perforacją jelita nie podaje się powietrza oraz w chorobie Hirschsprunga, kiedy dla uzyskania pełnego obrazu rozciągniętego jelita pacjent nie powinien być przygotowywany do badania – jest to jedyna taka sytuacja w kontrastowym badaniu jelita grubego!).
- Dwukontrastowy wlew jelita grubego. W dalszym ciągu jest to popularne badanie w diagnostyce jelita grubego, choć coraz częściej zastępowane kolonografią TK. Do jego przeprowadzenia stosuje się specjalny zestaw, składający się z plastikowej kanki doodbytniczej, połączonej z pojemnikiem zawierającym zawiesinę barytową (środek cieniujący pozytywnie) i z cienką rurką do pompowania powietrza (środek cieniujący negatywnie). Jeżeli dysponujemy pompą automatyczną, wówczas podawanie barytu i powietrza może się odbywać w zaprogramowany wcześniej sposób. W celu stwierdzenia, czy pacjent został właściwie przygotowany do wlewu, można wcześniej wykonać zdjęcie przeglądowe jamy brzusznej. Następnie, przez wprowadzoną doodbytniczo kankę, podawany jest baryt i powietrze tak długo, aż uzyska się równomierne pokrycie błony śluzowej całego jelita grubego cienką warstwą barytu, a powietrze w równomierny sposób rozedmie jelito. Aby uzyskać taki efekt, pacjent w trakcie badania wielokrotnie zmienia położenie ciała, tak aby kilka razy obrócił się wokół własnej osi. Zalecane jest również w trakcie badania dożylnie podanie 1 ampułki buscopanu, co ułatwia rozciągnięcie jelita, znosi komponentę skurczową towarzyszącą niektórym zmianom organicznym i zmniejsza dolegliwości związane z rozciąganiem jelita. Całość badania prowadzona jest pod kontrolą fluoroskopii RTG. Zdjęcia wykonywane są kolejno, w miarę uzyskiwania zadowalających obrazów poszczególnych odcinków jelita grubego. Po zakontrastowaniu całego jelita grubego wykonywane jest również jego zdjęcie na jednej, dużej kliszy. W celu oceny kurczliwości jelita grubego konieczne jest także zdjęcie całej jamy brzusznej, po wypróżnieniu się pacjenta z podanych środków.

Wskazania

- podejrzenie nowotworu jelita grubego,
- naciek na jelito z zewnątrz,
- uchyłki,
- podejrzenie perforacji jelita grubego (badanie wykonywane jest środkiem cieniującym rozpuszczalnym w wodzie!)

Ultrasonografia

W dalszym ciągu zbyt rzadko stosowana do oceny przewodu pokarmowego u dorosłych. W diagnostyce przewodu pokarmowego u dzieci ma ugruntowaną pozycję w ocenie przerostowego zwężenia odźwiernika, zapalenia wyrostka robaczkowego czy wgłobienia. Możliwe jest wykonanie badania przezbrzuszenie, zwykle głowicą 2,5–5 MHz oraz badanie z użyciem sond endokawitarnych (EUS), aby ocenić śródścienne patologie przełyku, żołądka, dwunastnicy oraz odbytnicy. Wymagane



jest przygotowanie pacjenta poprzez pozostawanie na czczo co najmniej 8 godzin lub badany odcinek przewodu pokarmowego (najczęściej żołądek i jelito grube) bezpośrednio przed badaniem USG jest wypełniany płynem w objętości 1–2 l. Wypełnienie przewodu pokarmowego płynem i rozciągnięcie jego ścian ułatwia ocenę patologii. Wskazane jest dożylnie podanie 1 ampułki Buscopanu (20 mg) w trakcie badania, aby zahamować perystaltykę w badanym obszarze.

Taka modyfikacja badania nosi nazwę hydrosonografii. Jeśli ma dotyczyć jelita grubego, wymaga przygotowania pacjenta analogicznie jak do badań kontrastowych dolnego odcinka przewodu pokarmowego.

Wskazania do przezbrzusznego USG

Istnieją następujące wskazania do przezbrzusznego USG przewodu pokarmowego:

- rozlane lub odcinkowe pogrubienie ściany żołądka w nowotworach,
- wrodzone, przerostowe zwężenie odźwiernika u dzieci,
- niedrożność (oprócz próby jej lokalizacji ważna jest ocena perystaltyki – czy jest ona „walcząca”, czy jelita są już atoniczne).
- choroby zapalne jelit, zwłaszcza choroba Leśniowskiego-Crohna i jej powikłania,
- zapalenie wyrostka robaczkowego,
- łagodne i złośliwe guzy jelita cienkiego i grubego,
- zapalenie uchyłków jelita grubego,
- niedrożność naczyń krezki.

Wskazania do badania EUS

- ocena zmian śródściennych, w tym podśluzówkowych przelyku, żołądka, dwunastnicy i odbytnicy: zatarcie warstwowej budowy ściany, określenie głębokości nacieku i ewentualnie jego penetracji poza ścianę przewodu pokarmowego,
- BAC pod kontrolą EUS.

Do badań USG brak jest przeciwwskazań, wymagana jest natomiast współpraca ze strony pacjenta.

Tomografia komputerowa

Wprowadzenie do diagnostyki obrazowej wielorzędowej tomografii komputerowej (MSCT – *multislice computed tomography*), dzięki skróceniu czasu skanowania, umożliwiło badanie przewodu pokarmowego. Stało się to możliwe dzięki:

- badaniu całej jamy brzusznej i miednicy małej na jednym zatrzymanym oddechu,
- wyeliminowaniu artefaktów ruchowych wynikających z perystaltyki,
- rekonstrukcjom wielopłaszczyznowym i trójwymiarowym.

Wybór właściwej techniki badania TK zależy od rozpoznania kierującego.

Przygotowanie do badania

Do badań planowych pacjent zgłasza się na czczo (5 godzin bez jedzenia i tylko 2 godziny bez picia, aby uniknąć odwodnienia, co sprzyja uszkodzeniu nerek po dożylnym podaniu środka cieniującego). Przewód pokarmowy, w zależności od rozpoznania kierującego, można wypełnić płynem negatywnie lub pozytywnie kontrastującym jego światło.

Najczęściej stosowane **substancje negatywnie kontrastujące** to woda i wodny roztwór laktulozy. **Pozytywnie kontrastują** 2–3% wodny roztwór jodowego środka cieniującego oraz E-Z-CAT, czyli roztwór barytu na potrzeby TK.

Wskazania do TK przelyku

- ocena resekcyjności raka przelyku: stopień pogrubienia ściany przelyku i długość zmienionego odcinka, pogrubienie ściany tchawicy lub oskrzela przylegającego do zmienionego odcinka przelyku, brak tkanki tłuszczowej izolującej zmieniony odcinek przelyku od sąsiednich narządów, stopień



- przylegania guza do aorty, amputacja żyły płucnej, wysięk osierdziowy, wysięk opłucnowy, węzły chłonne > 6 mm w śródpiersiu, > 10 mm poniżej rozwidlenia tchawicy i na poziomie pnia trzewnego,
- potwierdzenie nieuszczelności drogi pokarmowej: perforacja przełyku, (również jatrogenna), nieuszczelność zespolenia w przypadku wątpliwego wyniku badania kontrastowego górnego odcinka przewodu pokarmowego,
 - ocena żyłaków przełyku.

W celu oceny nacieku nowotworowego, perforacji czy nieuszczelności drogi pokarmowej z innego powodu zaleca się wypełnienie światła przełyku kontrastem pozytywnym. W diagnostyce żyłaków światło przełyku najlepiej wypełnić wodą, aby umożliwić lepszą ocenę wzmocnienia kontrastowego w świetle żyłaków.

Wskazania do TK żołądka

- łagodne i złośliwe nowotwory żołądka, zwłaszcza wyrastające poza jego ścianę,
- ocena resekcyjności nowotworów złośliwych: nacieki na narządy sąsiednie oraz duże naczynia (zwłaszcza pień trzewny), powiększenie i lokalizacja zmienionych węzłów chłonnych, przerzuty do wątroby,
- podejrzenie nacieku śródściennego w przebiegu chłoniaka i sarkoidozy żołądka,
- potwierdzenie perforacji,
- potwierdzenie nieuszczelności zespolenia, jeśli badanie GOPP nie dało jednoznacznej odpowiedzi.

Badanie żołądka powinno być wykonywane po jego wypełnieniu 1000 ml wody w pierwszych trzech grupach wskazań, w kolejnych dwóch po jego wypełnieniu kontrastem pozytywnym.

Wskazania do TK jelita cienkiego i grubego

- nowotwory łagodne i złośliwe jelita cienkiego oraz grubego,
- choroby zapalne jelit,
- perforacje,
- ocena nieuszczelności zespolenia,
- poszukiwanie przetok.

Wskazania do diagnostyki jelit po ich wypełnieniu *kontrastem pozytywnym*

- utrwalone zwężenie światła jelita,
- poszukiwanie przerwania ciągłości ściany jelita, przetok międzypętlowych i zewnętrznych,
- ocena ropni międzypętlowych.

Wskazania do badania jelit po ich wypełnieniu *kontrastem negatywnym*

- ocena zmian śródściennych,
- podejrzenie nieprawidłowego unaczynienia ściany – zmiany zapalne, niedokrwienne i malformacje naczyniowe,
- guzy i polipy dobrze unaczynione.

Badania TK w celu oceny jelita cienkiego po jego wypełnieniu kontrastem negatywnym to enterografia i enterokliza.

- Enterokliza TK – kontrast podawany pompą automatyczną przez sondę wprowadzoną za zagięcie dwunastniczo-czcze z prędkością ok. 200 ml/min.
- Enterografia TK – kontrast podawany doustnie – badanie lepiej znoszone przez pacjentów, wymaga minimalnej współpracy ze strony pacjenta, skuteczność diagnostyczna obu metod podobna.

Badanie wykonywane jest u pacjentów pozostających na czczo, zaleca się także, aby 1–2 dni wcześniej stosowali dietę bezresztkową. W trakcie badania podawany jest dożylnie środek cieniujący w ilości około 1,2–1,5 ml/k.c.c. Skanowanie jamy brzusznej przeprowadzane jest cienką warstwą, co umożliwia wykonywanie czytelnych rekonstrukcji.

Końcowy odcinek jelita krętego można również ocenić za pomocą **endoskopii wirtualnej**, czyli rekonstrukcji wnętrza jelita, co stosowane jest zwykle w chorobach obejmujących jelito grube i przez ciągłość końcowy odcinek jelita krętego.



Kolonografia TK

Wymaga takiego przygotowania jelita jak do klasycznej kolonoskopii czy wlewu kontrastowego, co omówiono już wcześniej.

Jeśli pacjenta nie można dokładnie przygotować, lepiej zamiast kolonografii TK wykonać badanie TK po doustnym i/lub doodbytniczym podaniu środka cieniującego rozpuszczalnego w wodzie lub wody. Rozciągnięcie jelita jest wtedy bardziej równomierne niż w kolonografii KT bez należytego przygotowania jelita, kiedy to oprócz odcinków dobrze rozciągniętych są również obkurczone i wypełnione resztkami mas kałowych, co uniemożliwia ocenę.

Badanie wykonywane jest po wypełnieniu jelita powietrzem (łatwiej rozdać jelito po i.v. podaniu 20 mg Buscopanu tuż przed badaniem) oraz zwykle po dożylnym podaniu rozpuszczalnego w wodzie środka cieniującego, jonowego lub niejonowego w ilości 1,2 ml/kg.c.c. Po skanowaniu na plecach pacjent układany jest na brzuchu, następnie podaje się ponownie powietrze, tak dużo jak to możliwe i skanuje się po raz kolejny. Podanie środka cieniującego dożylnie jest niezbędne do przeprowadzenia oceny wszystkich narządów jamy brzusznej. Badanie to jest dobrze tolerowane przez pacjentów (lepiej niż klasyczna kolonoskopia lub wlew kontrastowy jelita grubego), co jest spowodowane krótkim czasem badania, wymaga niewielkiej współpracy ze strony pacjenta, bez potrzeby znieczulenia, pozwala na ocenę całości dobrze przygotowanego jelita grubego, (rozpoznawanie nowotworów synchronicznych), umożliwia dokładną ocenę lokalizacji zmiany w jelicie i określenie odległości zmiany od odbytu, umożliwia dokładną ocenę struktur pozajelitowych i rozpoznanie innych zmian patologicznych. Pozwala sklasyfikować nowotwory w systemie TNM, a także odróżnić zmianę śródścienną od ucisku z zewnątrz. Metoda jest bezpieczna – opisano nieliczne przypadki perforacji, w związku z tym umożliwia ocenę wnętrza jelita grubego u pacjentów z przeciwwskazaniami do klasycznej kolonoskopii. Zebrane dane można poddawać wielokrotnej ocenie.

Wskazania

- niepełna kolonoskopia klasyczna, co zdarza się u 5% badanych (najlepiej wykonać badanie w tym samym dniu, u już przygotowanego pacjenta),
- zwężenie jelita grubego uniemożliwiające wykonanie klasycznej kolonoskopii lub inne przeciwwskazania do jej przeprowadzenia, jak niewydolność układu krążenia i/lub układu oddechowego, skaza krwotoczna lub leczenie środkami przeciwkrzepliwymi,
- stan po naświetlaniach miednicy małej,
- w skriningu nowotworów jelita grubego – duża czułość rozpoznawania zmian powyżej 8–10 mm (czułość 83–100%), badanie można wykonać z użyciem niskiej dawki promieniowania, metoda jest bezpieczna, efektywna i szybka,
- po operacyjnym leczeniu raka jelita grubego, w ocenie wznowy miejscowej, współistniejących polipów lub raka w innej niż operowana części jelita grubego; jednocześnie możliwa ocena miejscowej rozległości zmian oraz przerzutów do wątroby, węzłów chłonnych, otrzewnej i przestrzeni zaotrzewnowej.

Niestety, istnieje możliwość popełnienia pomyłki związanej z niewłaściwym przygotowaniem pacjenta (niedostateczne rozciągnięcie jelita powietrzem może skutkować tworzeniem nieistniejących patologii – fałszywe zwężenie światła jelita bądź pogrubienie ściany, zalegający płyn i masy kałowe mogą ukrywać patologię), sam sposób prowadzenia badania może powodować dyskomfort spowodowany rozciągnięciem jelita. Co oczywiste, brak możliwości pobrania wycinka.

Angio-TK naczyń trzewnych

Służy do oceny naczyń tętniczych i żylnych, do badania pacjent zgłasza się na czczo. Metoda jest bezpieczna i dobrze tolerowana przez pacjentów ze względu na krótki czas badania. Warto także wspomnieć, że obciąża pacjenta mniejszą dawką promieniowania niż angiografia klasyczna, a dostarcza dodatkowych informacji o narządach jamy brzusznej.



Do jej ograniczeń należy:

- niemożność bezpośredniego uwidocznienia aktywnego krwawienia,
- wynacznienie nie jest widoczne, jeśli dokonuje się z prędkością < 0,1 ml/min (w arteriografii klasycznej < 0,5 ml/min!),
- rozdzielenie diagnostyki od terapii.

Wskazania

Skanowanie pojedyncze, wyłącznie w fazie tętnicznej:

- zator tętniczy,
- zespół więzadła łukowatego – skanowanie na wydechu!

Skanowanie podwójne – w fazie tętnicznej i żylniej:

- krwawienie z przewodu pokarmowego,
- malformacje naczyniowe,
- ocena resekcyjności nowotworów – najczęściej raka trzustki.

Arteriografia klasyczna

Przygotowanie i przeciwwskazania – patrz rozdział: *Radiologia zabiegowa*. Obecnie arteriografia jest badaniem ostatecznie kwalifikującym pacjenta do leczenia endowaskularnego.

Wskazania do procedur endowaskularnych w dorzeczu naczyń trzewnych

- embolizacja źródła krwawienia,
- rekanalizacja ostrego niedokrwienia: tromboliza celowana,
- rekanalizacja przewlekłych zwężeń: angioplastyka balonowa, stenty,
- embolizacja przerzutów do wątroby.

REZONANS MAGNETYCZNY

Jest to metoda umożliwiająca dokładną ocenę zarówno światła, ściany, jak i najbliższego otoczenia przewodu pokarmowego. Wymaga przygotowania pacjenta poprzez opróżnienie z zawartości tej części przewodu pokarmowego, która ma być badana, w sposób analogiczny jak do badań kontrastowych. Następnie pacjent ma wypełniany przewód pokarmowy kontrastem. Doustne środki kontrastowe mogą być paramagnetykami skracającymi czas relaksacji T1 (dają wysoki sygnał – **pozytywne** kontrasty) lub superparamagnetykami, które skracają czas relaksacji T2 (dają niski sygnał – **negatywne** kontrasty). Jeszcze inny typ, to dwufazowe środki kontrastowe, czyli takie, których intensywność sygnału zależy od stosowanej sekwencji, w T1 obniżają intensywność sygnału, natomiast w T2 – wzmacniają.

Do środków **pozytywnych** zaliczamy: roztwory gadolinu, EDTA – chlorek żelazowy, środki oleiste (olej kukurydziany), zawiesiny baru o niskim stężeniu.

Do środków **negatywnych** zaliczamy: SPIO (cząsteczki superparamagnetycznego tlenku żelaza), środki mające wolne protony.

Do środków **dwufazowych** zaliczamy: wodę, glikol polietylenowy, substancje zawierające mangan, sok z czarnej porzeczki i zieloną herbatę.

Wybór kontrastu zależy od rozpoznania kierującego i – co za tym idzie – od zastosowanych sekwencji, brak do tej chwili standardów które to określają. Przed badaniami przewodu pokarmowego wskazane jest podanie Buscopanu, aby uniknąć artefaktów ruchowych.

Badanie żołądka i dwunastnicy

Wymagane jest doustne podanie przed diagnozowaniem około 1000 ml kontrastu, zazwyczaj stosowane są w tym celu kontrasty negatywne. Przed badaniem podaje się również 20 mg Buscopanu a w jego trakcie także dożylny środek kontrastowy.



Badanie jelita cienkiego

Podobnie jak w TK wykonuje się enterografię lub enteroklizę. Preferowana jest enterokliza, gdyż w związku z długim czasem badania w jego trakcie powinien również być podawany przez sondę dojelitową kontrast. Do badania jelita cienkiego najlepiej stosować kontrasty dwufazowe w objętości 1,5–2,5 litra. Podobnie jak w badaniu żołądka, dożylnie podawany jest Buscopan i środek kontrastowy.

Badanie jelita grubego

Bezpośrednio przed badaniem do opróżnionego z zawartości jelita grubego podaje się około 1000 ml kontrastu pozytywnego, negatywnego lub dwufazowego, dożylnie Buscopan i środek kontrastowy.

Oceniając wnętrze jelita grubego można wykonać **kolonografię MR**, co wymaga podania większej ilości kontrastu – około 2000 ml, aby uzyskać dobre rozciągnięcie światła, dożylnie podawany jest Buscopan i środek kontrastowy. W zależności od oprogramowania aparatu i rozpoznania kierującego stosuje się właściwie dobrany kontrast. Po pełnej akwizycji danych wykonywane są rekonstrukcje wnętrza jelita grubego. Metoda jest stosowana szczególnie chętnie do oceny polipowatych zmian wrastających do wnętrza jelita grubego.

Wskazania do przeprowadzenia MR przewodu pokarmowego

- nowotwory łagodne i złośliwe całej cewy pokarmowej,
- choroba Leśniowskiego-Crohna, zwłaszcza w poszukiwaniu przetok,
- *colitis ulcerosa*,
- inne choroby zapalne jelit.

DIAGNOSTYKA IZOTOPOWA

Krwawienia z przewodu pokarmowego

Metody radioizotopowe w ostatnich latach znalazły zastosowanie w rozpoznawaniu krwawień z tych odcinków przewodu pokarmowego, które są niedostępne w badaniu endoskopowym. Wykonuje się je poprzez znakowanie czerwonych krwinek ($Tc\ 99m$) – nadtechnecjanem, co umożliwi obserwację przez 24 godziny i ujawnianie krwawień o charakterze przerywanym. W trakcie obserwacji krwawienie manifestuje się miejscowym gromadzeniem radioaktywności w obrębie jamy brzusznej.

Uchylek Meckla

Jedną z przyczyn krwawienia z przewodu pokarmowego, występującego zwłaszcza u dzieci, jest ektopia śluzówki żołądka w uchyłku Meckla. Anomalię tę najłatwiej wykryć za pomocą scyntygrafii jamy brzusznej po podaniu ($Tc\ 99m$) – nadtechnecjanu. Radioznacznik ten jest bowiem wychwytywany przez śluzówkę żołądka i wydzielany do światła przewodu pokarmowego (własności takie wykazuje również śluzówka położona ektopowo).

Motoryka przewodu pokarmowego

Izotopy promieniotwórcze są powszechnie stosowane w badaniu motoryki przewodu pokarmowego, a zwłaszcza jego górnego odcinka. Za pomocą pokarmu znakowanego związkami radioaktywnymi można oznaczyć czas jego przechodzenia (pasażu) przez przełyk. Stwierdzono, że u ludzi zdrowych pasaż nigdy nie przekracza 15 sekund.

Badanie z użyciem radioizotopów stanowi najdokładniejszą metodę pomiaru szybkości opróżniania żołądka. Polega ono na oznaczaniu szybkości spadku radioaktywności w rzucie żołądka po doustnym podaniu radioznacznika w formie związanej z pokarmem. W praktyce klinicznej badanie to jest stosowane w ograniczonym zakresie. Wykonuje się je przy rozpoznawaniu zaburzeń motoryki żołądka po zabiegu operacyjnym lub przy ocenianiu skuteczności leczenia operacyjnego otyłości. Za



pomocą doustnie podanych radioznaczników (używa się w tym celu substancji znakowanych In-111) można też określić szybkość pasażu przez jelito cienkie.

Tabela VI. Zastosowanie metod obrazowych w diagnostyce wybranych chorób przewodu pokarmowego

Jednostka kliniczna	Metoda	Uwagi
Perforacja przelyku	Badanie kontrastowe, TK	Badania kontrastowe w podejrzeniu nieszczelności przewodu pokarmowego wykonuje się z użyciem śr.c. rozpuszczalnego w wodzie, jeśli obraz jest niejasny, konieczne TK.
Perforacja przewodu pokarmowego poniżej przepony	Zdjęcie przeglądowe jamy brzusznej, badanie kontrastowe, TK	Powietrze pod przeponą potwierdza obecność wolnego powietrza w jamie otrzewnej, do zlokalizowania miejsca perforacji konieczne jest badanie kontrastowe podejrzanego odcinka lub TK.
Niedrożność przewodu pokarmowego	Zdjęcie przeglądowe jamy brzusznej w pozycji stojącej,	U pacjentów w ciężkim stanie zamiast w pozycji stojącej można wykonać zdjęcie na boku promieniem poziomym lub TK, przeciwwskazane są badania kontrastowe.
Wgłobienie	USG, TK	U dzieci zalecane jest USG, u osób dorosłych zwykle niezbędne jest TK.
Przerostowe zwężenie odźwiernika u dzieci	USG	USG jest obecnie standardem, nie wymaga dodatkowych badań obrazowych.
Zapalne choroby jelita cienkiego	Enterografia TK lub enterokliza MR, klasyczna enterokliza, USG dopplerowskie	Najbardziej dostępna i dobrze akceptowana przez pacjentów jest enterografia TK, która zwykle pozwala potwierdzić rozpoznanie, ponieważ większość pacjentów to ludzie młodzi, mniej obciążające jest badanie MR, jednak trudniej dostępne, klasyczna enterokliza rzadko stosowana – głównie dla potwierdzenia przetok międzypętlowych i lepszej oceny zmian śluzówkowych, do oceny aktywności procesu zapalnego USG z opcją dopplerowską, i badania ze wzmocnieniem kontrastowym w MR i TK.
Zapalne choroby jelita grubego	TK, MR, badanie dwukontrastowe	Badanie dwukontrastowe jest przeciwwskazane w aktywnej fazie choroby, natomiast dobrze obrazuje utrwalone zmiany pozapalne, do kompleksowej oceny zmian zalecane TK bądź MR.
Zapalenie wyrostka robaczkowego	USG, TK	Zwykle wystarczające jest badanie kliniczne, w rzadkich przypadkach konieczne obrazowanie – USG u dzieci i młodych, szczupłych dorosłych lub TK, jeśli USG jest niediagnostyczne.
<i>Megacolon toxicum</i>	Zdjęcie przeglądowe jamy brzusznej	Do bardziej dokładnej oceny wskazane TK bez wypełniania przewodu pokarmowego śr.c.!
Nowotwory przewodu pokarmowego	Badania kontrastowe, TK, MR, PET/CT	Endoskopia z pobraniem wycinka, badania kontrastowe dla rozległości zmian wewnątrz p.pok. z oceną jego drożności, do oceny wg. systemu TNM-TK lub MR i PET/CT.
Krwawienie z przewodu pokarmowego	Angio-TK DSA Scyntygrafia	Angio-TK z wyższą czułością wykrywa krwawienie – wystarczy 0,1 ml/min, podczas gdy w DSA wypływ musi być 0,5 ml/min. DSA powinno być stosowane, jeśli planowana jest terapia endowskularna. Do diagnostyki nawracających krwawień najlepszą metodą jest scyntygrafia krwinkami znakowanymi.

Badanie zarzucania (reflusu) treści żołądkowej do przelyku przeprowadza się po podaniu cho-remu do wypicia dość dużej objętości płynu (300 ml) zawierającego radioznacznik (Tc-99m). Ewentualne przedostawanie się treści żołądkowej do przelyku, samoistne lub po prowokowanym podwyż-



szeniu ciśnienia wewnątrz jamy brzusznej, można określić ilościowo po zarejestrowaniu obrazów w pamięci systemu komputerowego.

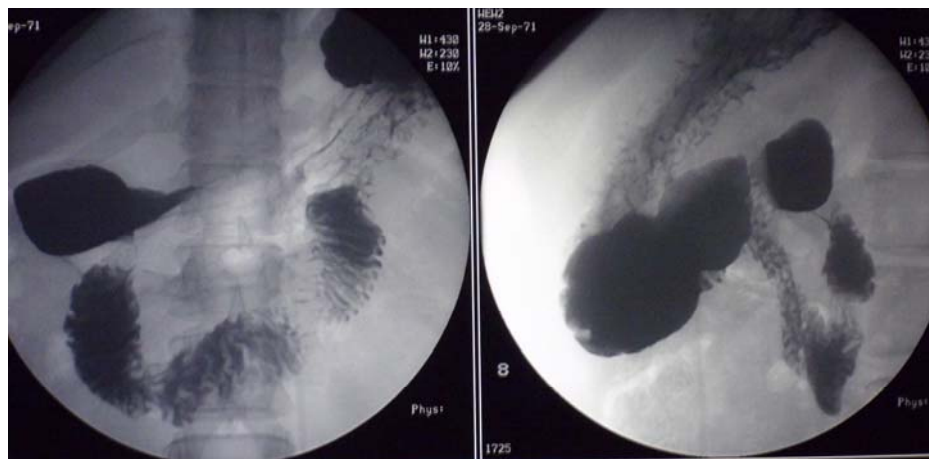
Zastosowanie pochodnych kwasu N-imino-dwuoctowego, znakowanych Tc-99m, umożliwia rozpoznanie zarzucania treści dwunastniczej do żołądka, bez konieczności wprowadzania zgłębnika do górnego odcinka przewodu pokarmowego. W zaburzeniu tym obserwuje się pojawienie wyraźnego wzrostu radioaktywności w rzucie żołądka.



Ryc. 46. USG po wypełnieniu jelita grubego płynem. Stanowi ono doskonale okno akustyczne dla oceny jelita cienkiego. Zarówno jelito cienkie, jak i grube niezmięnione.



Ryc. 47. Zdjęcie przeglądowe jamy brzusznej. Obraz prawidłowy.



Ryc. 48. Badanie dwukontrastowe górnego odcinka przewodu pokarmowego – widoczne żołądek i dwunastnica – bez nieprawidłowości.



Ryc. 49. Jednokонтрастowe badanie jelita cienkiego – pasaż. Zwracając uwagę nieco poszerzone pętle jelita cienkiego w lewym górnym kwadrancie jamy brzusznej.



Ryc. 50. Dwukонтрастowe badanie jelita cienkiego – enterokliza. W początkowym odcinku jelita czczego widoczna sonda, przez którą podany został środek cieniujący.



Ryc. 51. Dwukонтрастowy wlew jelita grubego – uzyskano zakонтрастowanie całego, niezmiennego jelita grubego.



Ryc. 52. TK jamy brzusznej po wypełnieniu przewodu pokarmowego wodnym roztworem Laktulozy (kontrast negatywny). A. – przekrój poprzeczny i B. – rekonstrukcja wielopłaszczyznowa w płaszczyźnie czołowej. Obraz prawidłowy.



Ryc. 53. TK jamy brzusznej po wypełnieniu przewodu pokarmowego wodnym roztworem środka cieniującego (kontrast pozytywny), rekonstrukcja w płaszczyźnie czołowej.

Piśmiennictwo

1. *Maconi G., Bianchi Porro G.*: Ultrasonografia przewodu pokarmowego. Med-Media. Warszawa 2010.
2. *Prokop M., Galanski M.*: Spiralna i wielorzędowa tomografia komputerowa człowieka. Thieme MediPage. Warszawa 2007.
3. *Rummeny E.J., Reimer P., Heindel W.*: Obrazowanie ciała metodą rezonansu magnetycznego. Med-Media. Warszawa 2010.

9. Diagnostyka obrazowa wątroby, dróg żółciowych i trzustki*

Joanna Pilch-Kowalczyk

Wątroba

Wątroba jest zlokalizowana w 4/5 prawym podżebrzu, tylko 1/5 narządu znajduje się po stronie lewej. W diagnostyce wątroby został przyjęty podział narządu na 8 segmentów naczyniowych. Segmenty 1, 2, 4a, 7 i 8 znajdują się powyżej wnęki wątroby, pozostałe poniżej. W warunkach typowych trzy żyły wątrobowe oddzielają od siebie segmenty górne: prawa 7 od 8, środkowa 8 od 4a, lewa 4a od 2. Poniżej wnęki wątroby znajdują się: segment 3 w przedłużeniu 2, 4b w przedłużeniu 4a, 5 w przedłużeniu 8 i 6 w przedłużeniu segmentu 7. Każdy z segmentów jest zaopatrywany przez gałąź żyły wrotnej i tętnicy wątrobowej oraz drenowany przez przewód żółciowy.

METODY OBRAZOWANIA

USG

Ultrasonografia jest podstawową metodą obrazowania narządów mięszzowych jamy brzusznej, w tym wątroby. Pacjent do badania narządów jamy brzusznej zgłasza się na czczo. Badanie podstawowe, czyli B-mode, powinno być w miarę możliwości uzupełniane o dopplerowską ocenę zmian ogniskowych wątroby. Oddzielną metodą diagnostyczną, dotyczącą innych wskazań niż USG jamy brzusznej, jest badanie dopplerowskie naczyń trzewnych. Obecnie badanie USG z użyciem środków kontrastujących jest mało dostępne, podobnie jak elastografia.

Wskazania do USG jamy brzusznej

- ocena wielkości wątroby, jej kształtu, echogeniczności miąższu,
- nieprawidłowe wyniki badań laboratoryjnych,
- żółtaczka,
- ból brzucha,
- podejrzenie guza pierwotnego wątroby,
- poszukiwanie zmian przerzutowych,
- monitorowanie i ocena torbieli,
- podejrzenie marskości i ocena ewentualnego nadciśnienia wrotnego,
- pourazowa ocena narządów jamy brzusznej.

Ograniczenia metody

- brak współpracy ze strony pacjenta,
- wysokie prawostronne ustawienie przepony,
- zespół Chilaiditi (przemieszczenie jelita grubego między wątrobę a przednią ścianę jamy brzusznej),
- powietrze w drogach żółciowych.

* Zdjęcia z ultrasonografii, badań kontrastowych i TK zamieszczone w tym rozdziale pochodzą z badań wykonanych w Zakładzie Radiodiagnostyki i Radiologii Zabiegowej Samodzielnego Publicznego Centralnego Szpitala Klinicznego im. prof. Kornela Gibińskiego Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach. Zdjęcia z badań rezonansu magnetycznego pochodzą z pracowni MR „Helimed” Diagnostic Imaging Sp. z o.o., Spółka Komandytowa przy SPCSK w Katowicach Ligocie.



USG z użyciem środków kontrastujących (CEUS)

- różnicowanie zmian ogniskowych w wątrobie.

Elastografia

Wykonuje się ją zwykle, aby potwierdzić obecności zmiany, określić jej rozmiar i lokalizację, a przede wszystkim ocenić jej twardość.

Wskazania

- marskość wątroby,
- ocena mięszu wątroby w procesach przebiegających z jej włóknieniem,
- diagnostyka różnicowa zmian ogniskowych wątroby.

Wskazania do badania dopplerowskiego

- ocena unaczynienia ogniskowych zmian wątroby,
- nadciśnienie wrotne,
- kontrola po przeszczepie wątroby,
- ocena przeszzyjnych, wewnątrzwątrobowych zespołów wrotno-systemowych (TIPS).

Zdjęcie przeglądowe jamy brzusznej – nie jest stosowane do oceny wątroby.

Tomografia komputerowa

Po USG najczęściej stosowana metoda oceny mięszu wątroby. Od wprowadzenia do diagnostyki tomografów wielorzędowych możliwa jest ocena narządu w fazie tętnicznej, żylnowo-wrotnej i opóźnionej po jednorazowym podaniu środka cieniującego. Do badania pacjent zgłasza się na czczo (5 godzin bez jedzenia i 2 godziny bez picia). Ponieważ TK jamy brzusznej obejmuje ocenę wszystkich narządów znajdujących się w obszarze badanym, wymagane jest wypełnienie przewodu pokarmowego wodnym roztworem środka cieniującego, aby umożliwić jego ocenę i odgraniczyć jelita od narządów mięszowych. Doustnie zwykle pacjent otrzymuje około 1000 ml płynu, dożylnie 1–1,5 ml/kg.cc. Średnia prędkość przepływu środka cieniującego, konieczna do oceny narządów mięszowych, wynosi 3–3,5 ml/sek. Dla oceny wszelkich nieprawidłowości w obrębie wątroby wykonuje się obecnie badania wielofazowe: dwufazowe w fazie tętnicznej i w fazie żylnowo-wrotnej (około 30 sek. po fazie tętnicznej) oraz badanie trójfazowe z dodatkową fazą opóźnioną (5–15 minut po dożylnym podaniu środka cieniującego).

Wskazania do TK dwufazowego

- rozpoznawanie przerzutów,
- po urazie (skanowanie doogonowe w fazie tętnicznej i dogłowe w fazie żylnowo-wrotnej).

Wskazanie do TK trójfazowego

- zalecane w diagnostyce różnicowej zmian ogniskowych wątroby,
- w wybranych przypadkach w diagnostyce zmian pourazowych.

Wskazania do badania z dożylnym podaniem środka cieniującego i pojedynczym skanowaniem w fazie żylnowo-wrotnej:

- ocena procesów zapalnych,
- warianty budowy anatomicznej (rzadko wymaga badania dwufazowego).

Angio-TK

Umożliwia ocenę naczyń tętnicznych po dożylnym podaniu środka cieniującego. Do oceny wyłącznie tętnic wątroby stosowana bardzo rzadko, głównie w podejrzeniu tętniaka prawdziwego lub rzekomego oraz w celu wstępnej oceny warunków anatomicznych przed planowanym leczeniem



endowaskularnym. Częściej wykonywana wraz z fazą wrotną w celu kompleksowej oceny układu naczyniowego wątroby:

- przed planowanym przeszczepem,
- do oceny resekcyjności zmian położonych w sąsiedztwie dużych pni tętniczych i żylnych.

Arteriografia

Stosowana wyłącznie jako wstęp do terapeutycznej procedury endowaskularnej, takiej jak:

- embolizacja paliatywna bogato unaczynionych guzów,
- wstęp do chemoembolizacji guzów,
- embolizacja przed zabiegiem operacyjnym w celu zmniejszenia krwawienia.

Wenografia

Jest to metoda stosowana jako wstęp do wytworzenia połączenia wrotno-kawalnego (TIPS) u pacjentów z nadciśnieniem wrotnym. Polega na wstecznym zacewnikowaniu żył wątrobowych z nakłucia żyły szyjnej.

Rezonans magnetyczny

MR jest metodą stosowaną najczęściej dla oceny procesów patologicznych przebiegających z nagromadzeniem tkanki tłuszczowej (stłuszczenie wątroby, zwłaszcza ogniskowe) lub spichrzaniem żelaza (pierwotna lub wtórna heomochromatoza). W celu oceny procesów przebiegających ze stłuszczeniem stosowane są sekwencje z wytłumieniem sygnału z tkanki tłuszczowej. Badanie jest wykonywane w kilku płaszczyznach, zwykle w poprzecznej, czołowej i ewentualnie strzałkowej. Wybór sekwencji i ich liczba zależne są od rozpoznania kierującego, podstawę obrazowania wątroby stanowią sekwencje T1 i T2-zależne. Badanie powinno zawierać również część dynamiczną po dożylnym podaniu kontrastu. Najczęściej stosowane są preparaty gadolinu, *kontrastu zewnątrzkomórkowego*, nie wnikaającego do komórek wątrobowych.

Środki hepatotropowe wychwytywane są przez hepatocyty i wydzielane z żółcią, mogą to być związki na bazie gadolinu lub manganu.

Środki specyficzne dla układu siateczkowo-śródbłonkowego, wychwytywane przez komórki tego układu, zawierają małe cząsteczki tlenku żelaza.

Wskazania do MR

- nietypowe stłuszczenie wątroby,
- heomochromatoza,
- torbiele powikłane,
- diagnostyka zmian ogniskowych w wątrobie, jeśli obraz TK jest niecharakterystyczny lub pacjent ma przeciwwskazania do wykonania wielofazowego TK,
- marskość wątroby,
- zapalenia i choroby pasożytnicze.

Drogi żółciowe i pęcherzyk żółciowy

Drogi żółciowe powstają wewnątrzwątrobowo z włosowatych kanalików żółciowych przechodzących w przewodziki międzyzrazikowe i dalej w przewodziki żółciowe, które łączą się w przewody wątrobowe prawy i lewy. Powyższe łączą się w pojedynczy przewód wątrobowy wspólny, poniżej odejścia przewodu pęcherzykowego przyjmuje on nazwę przewodu żółciowego wspólnego.

Metody obrazowania dróg żółciowych i pęcherzyka żółciowego

USG

Ultrasonografia jest podstawową metodą oceny dróg żółciowych i pęcherzyka żółciowego, badanie to jest składową USG jamy brzusznej, pacjent zgłasza się na czczo.



Wskazania

- kamica żółciowa,
- różnicowanie przyczyn żółtaczki,
- ocena stopnia poszerzenia dróg żółciowych śród- i pozawątrobowych oraz lokalizacja przeszkody w odpływie żółci,
- kwalifikacja pacjentów do przezskórnej, przezwątrobowej cholangiografii, zwykle połączonej z założeniem drenażu zewnętrznego, co jest postępowaniem paliatywnym w nieresekcyjnych guzach.

Tomografia komputerowa

Badanie jest składową TK jamy brzusznej.

Wskazania

- inne niż kamica przyczyny poszerzenia dróg żółciowych,
- *cholangiocarcinoma* dróg żółciowych i/lub pęcherzyka żółciowego.

Cholangio-MR

Badanie to powinno być stosowane w diagnostyce dróg żółciowych i pęcherzyka, jeśli wynik USG jest wątpliwy. Nie wymaga bezwzględnego pozostawiania pacjenta na czczo, ale badanie jest łatwiejsze do interpretacji, jeśli na obraz dróg żółciowych nie nakłada się sygnał z płynu znajdującego się w górnym odcinku przewodu pokarmowego. Obraz dróg żółciowych powstaje dzięki rejestrowaniu sygnału z wolno płynących płynów, w tym żółci, w sekwencjach obrazujących płyn (w sekwencjach T2-zależnych, jasny płyn = wysoki sygnał).

- kamica żółciowa,
- zapalenia dróg żółciowych i pęcherzyka żółciowego,
- cholecystozy,
- anomalie rozwojowe,
- szkody jatrogenne dróg żółciowych oraz pooperacyjna ocena zespołów wątrobowo-jelitowych,
- schorzenia mięszu wątroby powodujące zmiany w drogach żółciowych,
- pozawątrobowe przyczyny zaburzeń odpływu żółci,
- pierwotne nowotwory dróg żółciowych i pęcherzyka żółciowego,
- guzy wtórnie naciekające drogi żółciowe.

Cholangiografia i drenaż przezskórny, przezwątrobowy

Jest to metoda stosowana w postępowaniu paliatywnym u pacjentów z zablokowanym odpływem dojelitowym żółci, przy braku możliwości założenia protezy lub stentu do dróg żółciowych od strony światła przewodu pokarmowego. Pacjent wymaga przygotowania: wykonania oznaczeń morfologii, poziomu protrombiny, czasów krwawienia i krzepnięcia. Miejsce nakłucia zwykle wybiera się w linii pachowej środkowej. Nakłucia dokonuje się pod kontrolą fluoroskopii, po wyjałowieniu i znieczuleniu skóry. Po nakłuciu dróg żółciowych podaje się kontrast, w celu ich zobrazowania, a następnie zakłada się drenaż zewnętrzny.

Badanie jest obciążone **możliwością powikłań**, przede wszystkim krwawień do mięszu lub pod torebkę wątroby czy do jamy otrzewnej. Rzadziej dochodzi do żółciowego zapalenia otrzewnej, posocznicy czy odmy opłucnowej.

W związku z tym obecnie wykonuje się je wyłącznie jako wstęp do drenażu zewnętrznego.

Przeciwwskazania

- ropne zmiany skórne w lokalizacji przewidywanego wkłucia,
- zaburzenia układu krzepnięcia,
- skrajnie ciężki stan pacjenta.



Cholangiografia pooperacyjna

Polega na zakontrastowaniu dróg żółciowych przez dren pozostawiony w trakcie zabiegu operacyjnego na drogach żółciowych. Najczęściej jest to dren Kehra (dren T) pozostawiany po cholecystectomii z powodu kamicy pęcherzykowej i przewodowej. Pod kontrolą fluoroskopii podaje się wodny 30% roztwór środka cieniującego (najlepiej niejonowego). Następnie wykonuje się zdjęcia celowane dróg wewnątrz- i zewnątrzwątrobowych.

Wskazania

- podejrzenie kamicy resztkowej,
- pooperacyjna ocena dróg żółciowych i sprawności opróżniania się dróg żółciowych ze środka cieniującego,
- ocena zwieracza bańki wątrobowo-trzustkowej,
- ocena szczelności i drożności zespolenia wątrobowo-jelitowego.

Cholangiografia śródoperacyjna

Wykonywana jest w trakcie zabiegu opracyjnego dróg żółciowych. Polega na podaniu bezpośrednio do przewodu pęcherzykowego (po resekcji pęcherzyka) lub przez wprowadzony śródoperacyjnie do dróg żółciowych cienki dren, 20–30% wodnego roztworu środka cieniującego w celu stwierdzenia ewentualnych złożeń.

Endoskopowa cholangiopankreatografia wsteczna (ECPW)

Polega na wstecznym zacewnikowaniu PŻW pod kontrolą wzroku, w trakcie endoskopii i wypełnieniu dróg żółciowych 20–30% roztworem środka cieniującego.

Wskazania

- diagnostyka różnicowa żółtaczek mechanicznych,
- podejrzenie patologii brodawki Vatera,
- kamica przewodowa (jeśli to możliwe, w trakcie badania dokonuje się sfinkterotomii i ewakuacji złożeń).

Badanie czasem jest łączone z protezowaniem dróg żółciowych – głównie w kamicy, żółciopochodnym OZT, nowotworach dróg żółciowych.

Wątroba i drogi żółciowe w badaniach izotopowych

Współcześnie wykonywane badania radioizotopowe wątroby można podzielić, w zależności od mechanizmu gromadzenia użytego radioznacznika, na scyntyografię statyczną oraz dynamiczną wątroby i dróg żółciowych (tzw. cholescyntygrafia).

Statyczną scyntyografię wątroby wykonuje się obecnie z reguły za pomocą radiofarmaceutyków wychwytywanych przez układ siateczkowo-śródbłonkowy (związków koloidalnych znakowanych Tc-99m). Utrzymują się one bowiem przez stosunkowo długi czas w miejscu nagromadzenia, umożliwiając uzyskanie dobrej jakości scyntygramów w kilku projekcjach.

Obecnie z badania korzysta się rzadko. Może być ono pomocne w wykrywaniu ogniskowych zmian w miąższu wątroby (nowotwory pierwotne i wtórne, ropnie, torbiele) oraz w rozszanym uszkodzeniu miąższu wątroby (marskość).

Cholescyntyografię wykonuje się za pomocą pochodnych kwasu N-imino-dioctowego, tworzących kompleksy z Tc-99m. Od wielu lat do dyspozycji jest szereg pochodnych kwasu N-imino-dioctowego (np. trimetylo-bromo-IDA), które w minimalnym stopniu są eliminowane przez nerki. Za pomocą tego rodzaju radiofarmaceutyków można przeprowadzić badanie nawet przy wysokich stężeniach bilirubiny, dochodzących do 500 $\mu\text{mol/l}$.

Po dożylnym podaniu pochodnej kwasu N-imino-dioctowego na kolejnych scyntygramach ukazują się: wątroba, drogi żółciowe wraz z pęcherzykiem żółciowym (jeśli drożny jest przewód pęcherzykowy) oraz pętle jelitowe. Stosunkowo słaba rozdzielczość metody nie pozwala na uwidocznienie



niewielkich tworów strukturalnych, jak np. złogi czy nawet zwężenia dróg żółciowych. Badanie to daje nam natomiast dobry wgląd w czynność wątroby i dróg żółciowych między innymi dzięki zapewnieniu ciągłości obserwacji.

Wskazania

Wskazania do cholescyntygrafii to:

- objawy cholestazy (w tym podejrzenie zarośnięcia dróg żółciowych u noworodków),
- podejrzenie ostrego zapalenia pęcherzyka żółciowego,
- podejrzenie pooperacyjnego lub pourazowego wycieku żółci,
- zarczucie dwunastniczo-żołądkowe (refluks).

Scyntygrafia wątroby znakowanymi krwinkami

Scyntygrafia wątroby za pomocą krwinek znakowanych Tc-99m jest badaniem obecnie często wykonywanym przy podejrzeniu naczyniaka wątroby. W miejscu odpowiadającym jego lokalizacji widoczne jest nagromadzenie znakowanych erytrocytów.

Trzustka

Trzustka położona jest zaotrzewnowo, nieco skośnie na poziomie trzonów kręgów L1–L3. Głowa trzustki jest objęta przez pętlę dwunastnicy, ogon sięga wnęki śledziony. Miejsce przylegania do tętnicy i żyły kręzkowej górnej stanowi umowną granicę między głową i trzonem trzustki. Przejście trzonu w ogon znajduje się na poziomie zagięcia dwunastniczo-czczego. Między przednią powierzchnią trzonu trzustki a tylną ścianą żołądka znajduje się torba sieciowa, wzdłuż tylnej ściany trzustki biegną tętnica i żyła śledzionowe.

Metody obrazowania trzustki

Zdjęcie przeglądowe jamy brzusznej może wykazać obecność zwapnień w rzucie trzustki w przebiegu PZT; PZT nie jest jednak wskazaniem do jego wykonania.

USG

Wstępną metodą oceny trzustki jest USG przezbrzuszne.

Do badania pacjent zgłasza się na czczo.

Wskazania

- nowotwory łagodne i złośliwe,
- PZT,
- OZT – głównie do rozpoznawania przyczyny i monitorowania przebiegu choroby oraz powikłań.

Ze względu na małą skuteczność diagnostyczną tej metody w ocenie nowotworów trzustki, zalecane jest badanie z użyciem sondy endokawitarnej (EUS), w trakcie badania możliwa jest biopsja zmiany dla jednoznacznej oceny histopatologicznej.

W badaniu USG trzustki coraz częściej stosowane bywają środki kontrastujące, co pozwala na dokładną ocenę martwicy trzustki w OZT, ułatwia różnicowanie między guzem a pseudoguzem w PZT lub w ciężkim, powikłanym OZT. Metoda pozwala także na diagnostykę różnicową litych guzów trzustki.

Tomografia komputerowa

Obecnie jest to metoda łącząca dużą dostępność ze skutecznością diagnostyczną. Do badania pacjent zgłasza się na czczo. Na około pół godziny przed badaniem otrzymuje do wypicia 500 ml wodnego roztworu środka cieniującego, aby uzyskać wypełnienie okołotrzustkowych pętli jelitowych. Zazwyczaj pacjent jest badany w pozycji leżącej na plecach, w razie potrzeby badanie można wykonać na prawym boku (ocena głowy trzustki) bądź na brzuchu (trzon i ogon). W trakcie badania podawany jest dożylnie środek cieniujący 1–1,5 ml/kg.c.c., z prędkością 3–3,5 ml/sek. W zależności od rozpoznania kierującego, badanie jest wykonywane jedno- lub trójfazowo.



Wskazania do jednofazowego badania trzustki

- rozpoznanie i monitorowanie OZT

Wskazania do trójfazowego badania trzustki

- nowotwory łagodne i złośliwe – diagnostyka różnicowa i ocena resekcyjności,
- PZT,
- powikłania naczyniowe OZT (podejrzenie zakrzepicy wrotnej, tętniak rzekomy).

ECPW

Do badania pacjent zgłasza się na czczo, musi również mieć aktualne wyniki badania układu krzepnięcia, ze względu na częste jednoczesowe wykonywanie sfinkterotomii endoskopowej:

- diagnostyka i różnicowanie nowotworów trzustki,
- żółciopochodne OZT (ECPW połączone ze sfinkterotomią endoskopową),
- PZT,
- kamica trzustkowa,
- zakładanie endoprotez do przewodów trzustkowych.

Rezonans magnetyczny

W dalszym ciągu ma znaczenie metody uzupełniającej, a nie podstawowej w ocenie patologii trzustki. Badanie wykonywane jest przed i po dożylnym podaniu kontrastu, dobór sekwencji zależy od rozpoznania kierującego.

Ostatnio, oprócz tradycyjnie stosowanych sekwencji, do oceny trzustki zaleca się także sekwencję DWI, która jest czuła dla różnicowania tkankowego – współczynnik dyfuzji spada w nowotworach złośliwych.

Wskazania

- diagnostyka różnicowa torbielowatych nowotworów trzustki,
- ocena zawartości zbiorników płynowych – powikłań OZT lub PZT (różnicowanie między obecnością tkanek martwiczych oraz krwawieniem do torbieli).

Cholangio-MR

Zwykle stosowane do oceny dróg żółciowych, ale przydatne w ocenie przewodu Wirsunga i jego patologii. Jeśli to możliwe, należy wykonać badanie dynamiczne z dożylnym podaniem sekretyny, co poprawia wizualizację przewodu trzustkowego.

Wskazania

- podejrzenie uszkodzenia przewodu Wirsunga – pourazowe i pozapalne,
- stan po częściowej resekcji trzustki,
- diagnostyka przetok trzustkowych i innych powikłań PZT oraz OZT dotyczących przewodu trzustkowego,
- podejrzenie nowotworu wywodzącego się z przewodów trzustkowych,
- upośledzenie odpływu soku trzustkowego,
- odmiany anatomiczne przewodu trzustkowego.

Kontrastowe badania przewodu pokarmowego

Duże patologie wywodzące się z trzustki mogą prowadzić do ucisku, modelowania bądź przemieszczenia drogi pokarmowej. W przypadku nieprawidłowości zlokalizowanych w głowie trzustki, badanie górnego odcinka przewodu pokarmowego może być konieczne do oceny pasażu kontrastu przez ten odcinek.



Arteriografia

Obecnie niestosowana do diagnostyki chorób trzustki, natomiast z jej użyciem można przeprowadzić celowaną terapię w przypadku ciężkiego martwiczego OZT (CRAI – *continuous regional arterial infusion*), podając przez cewnik wprowadzony do tętnicy śledzionowej, grzbietowej trzustki, żołądkowo-dwunastniczej bądź kręzkowej górnej inhibitor proteazy.

Scyntygrafia

W diagnostyce guzów neuroendokrynnych przewodu pokarmowego, w tym trzustki, stosowane są metody scyntygrafii receptorowej, np. w *insulinoma* jest stosowany InDTPA-oktreotydu, poza tym scyntygrafia receptorów somatostatynowych oraz PET.

Tabela VII. Zastosowanie metod obrazowych w diagnostyce wybranych chorób wątroby, dróg żółciowych i trzustki

Jednostka kliniczna	Metoda	Uwagi
1	2	3
Marskość wątroby z nadciśnieniem wrotnym	USG dopplerowskie, TK wielofazowe, MR wielofazowe	USG pozwala zarówno na ocenę morfologii wątroby, jak i naczyń wrotnych wraz z pomiarem prędkości i kierunku przepływu oraz oceną krążenia obocznego. Bardziej dokładna ocena morfologii naczyń krążenia obocznego oraz sposobu wzmocnienia wątroby jest możliwa w wielofazowym TK lub MR.
Naczyniak wątroby	USG dopplerowskie, wielofazowe TK lub MR, scyntygrafia	W nietypowym obrazie wzmocnienia i wątpliwym USG rozstrzygające znaczenia ma scyntygrafia krwinkami znakowanymi Tc-99m.
Gruźlak wątroby	USG, wielofazowe TK lub MR	Heterogennie hiperechogeniczna struktura – wymaga zwykle dodatkowego obrazowania w wielofazowym TK lub MR, charakterystyczne szybkie wypłukiwanie kontrastu ze zmiany.
Gruźlakorak z komórek wątrobowych	USG, wielofazowe TK lub MR	W USG zwykle obraz niecharakterystyczny, wymaga badania wielofazowego, TK lub MR.
Rak z komórek dróg żółciowych	USG, wielofazowe TK lub MR, cholangio-MR	Dla postaci obwodowej wystarczająca jest zwykle diagnostyka w USG i TK, postać zajmująca drogi na poziomie wnęki wątroby wymaga zwykle obrazowania dróg żółciowych: cholangio-MR lub ECPW.
Kamica dróg żółciowych i pęcherzyka żółciowego	USG, cholangiografia-MR, TK dla oceny powikłań	Jeśli obraz USG jest niediagnostyczny, metodą zalecaną jest cholangiografia – MR, TK nie nadaje się do oceny złogów, które często są drobne, niezwapniałe i nie wyodrębniają się z gęstej żółci, natomiast TK jest zalecane do oceny powikłań.
Rak pęcherzyka żółciowego	USG, wielofazowe TK lub MR	USG zwykle dobrze obrazuje zmianę w pęcherzyku, naciek na miąższ wątroby i/lub przerzuty oraz poszerzenie dróg żółciowych wskutek ich wtórnego nacieku, wielofazowe TK lub MR dokładniej ocenia zmiany.
OZT	USG, TK, MR, cholangio-MR,	USG lub cholangio-MR do potwierdzenia etiologii żółciowej, USG dopplerowskie do oceny powikłań naczyniowych, TK do oceny morfologii zmian trzustkowych i pozatrzustkowych oraz powikłań naczyniowych. MR najczęściej do oceny powikłań, jak przetoka trzustkowo-opłucnowa, zespół przerwanego przewodu trzustkowego, do oceny zawartości zbiorników płynowych lub jak TK do oceny morfologii zmian trzustkowych i pozatrzustkowych.



1	2	3
PZT	USG, EUS, wielofazowe TK lub MR, cholangio-MR	USG jako metoda do wstępnej oceny narządu oraz do monitorowania powikłań, TK lub MR do oceny wykładników morfologicznych schorzenia i jego powikłań. MR nie nadaje się do oceny zwapnień, cholangio-MR do oceny zmian w przewodach trzustkowych. EUS do dokładnej oceny zmian trzustkowych.
Rak gruczołowy trzustki	USG, EUS z biopsją, wielofazowe TK lub MR, PET/CT	USG służy do wstępnej oceny zmiany, EUS do dokładnego różnicowania guza, ponadto umożliwia wykonanie biopsji celowanej, różnicowanie i ocena resekcyjności guza odbywa się na podstawie badań wielofazowych w TK lub MR, PET/CT do oceny rozsiewu nowotworu.
Rak z komórek układu neuroendokrynnego	jak wyżej oraz scyntygrafia receptorów somatostatynowych (SRS)	Jak wyżej, SRS umożliwia różnicowanie oraz ocenę stopnia zaawansowania zmian oraz kontrolę odpowiedzi na leczenie.
Uraz wielonarządowy	USG, TK	U pacjentów w dobrym stanie diagnostykę rozpoczyna USG, w ciężkim – TK.



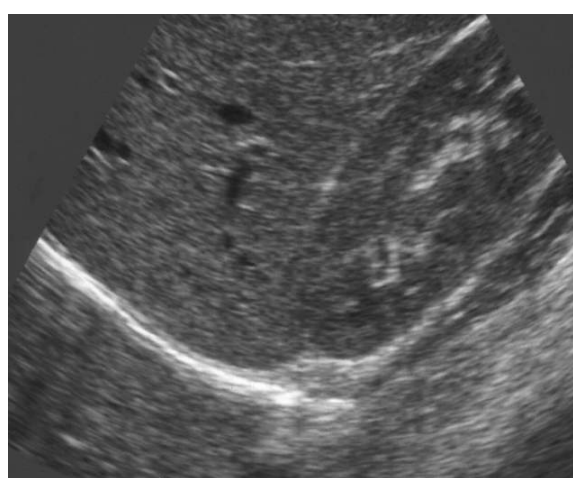
Ryc. 54. USG wątroby na poziomie ujścia prawej żyły wątrobowej do żyły głównej dolnej.



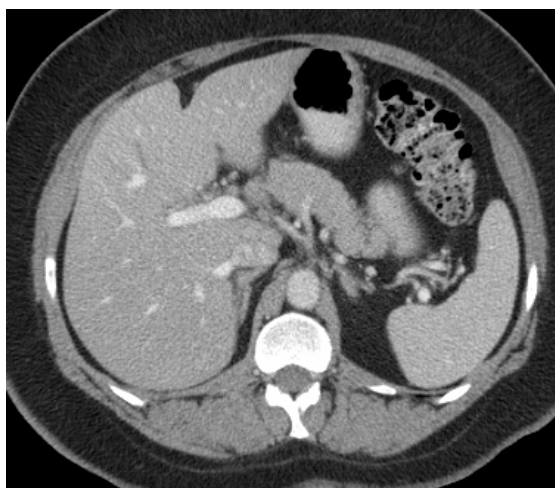
Ryc. 55. USG, pęcherzyk żółciowy w cięciu skośnym.



Ryc. 56. USG cięcie poprzeczne na poziomie nadbrzusza. Bezpośrednio do powłok przylega lewy płąt wątroby, do tyłu od niego widoczny jest trzon trzustki, a za nim żyła śledzionowa.



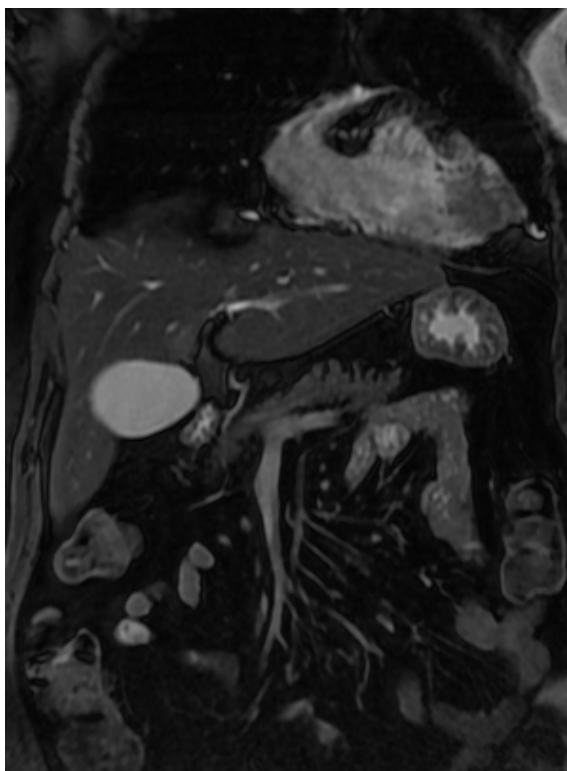
Ryc. 57. USG, cięcie skośne obrazujące prawą nerkę przylegającą do prawego płata wątroby.



Ryc. 58. TK jamy brzusznej po dożylnym podaniu środka cieniującego, w fazie żylnno-wrotnej. Przekrój poprzeczny na poziomie wnęki wątroby z widoczną żyłą wrotną. Do tyłu od wypełnionego środkiem cieniującym żołądka widoczny trzon trzustki.



Ryc. 59. TK jamy brzusznej, rekonstrukcja wielopłaszczyznowa w płaszczyźnie zbliżonej do czołowej. Widoczna wątroba i trzustka oraz wypełniony kontrastem przewód pokarmowy.



Ryc. 60. MR sekwencja FIESTA w płaszczyźnie czołowej obrazuje przekrój przez wątrobę, pęcherzyk żółciowy, spływ wrotny (w przedłużeniu żyły kręzkowej górnej) i trzon trzustki.

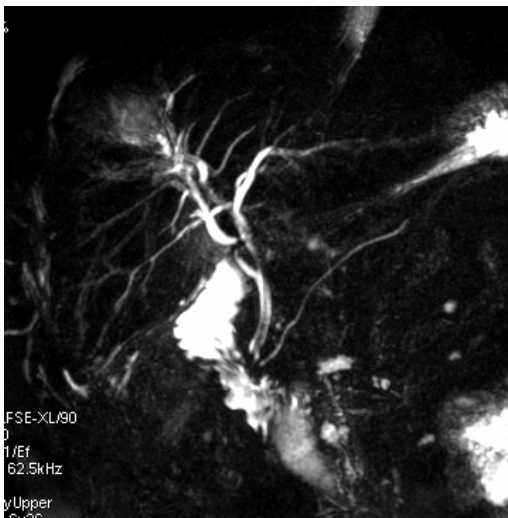


A.

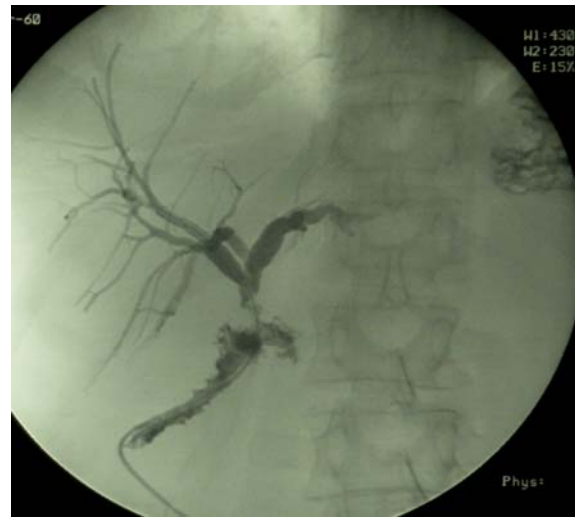


B.

Ryc. 61. MR sekwencja LAVA – badanie dynamiczne po dożylnym podaniu kontrastu. A. – faza tętnicza, we wnęce wątroby zakontrastowana tętnica wątrobowa właściwa, a do tyłu od niej zaczynająca się kontrastować żyła wrotna. B. – faza żylnowo-wrotna – we wnęce wątroby intensywnie wzmacniona żyła wrotna i słabo zakontrastowana tętnica wątrobowo-włściwa.



Ryc. 62. Cholangiopankreatografia rezonansu magnetycznego – badanie pozwala na ocenę dróg żółciowych śród- i pozawątrobowych oraz przewodu trzustkowego bez konieczności podania kontrastu.



Ryc. 63. Cholangiografia pooperacyjna. Przez wprowadzony śródoperacyjnie do dróg żółciowych dren podano środek cieniujący, uzyskując zakontrastowanie dróg żółciowych i zespoleń wątrobowo-jelitowej. Sprawny spływ kontrastu do pętli jelitowej.



Ryc. 64. Cholangiografia przezskórna, przezwątrobowa – badanie inwazyjne pozwalające na równoczesne założenie odbarczającego drenażu zewnętrznego jeśli doszło do zamknięcia odpływu żółci do światła przewodu pokarmowego.

Piśmiennictwo

1. *Prokop M., Galanski M.*: Spiralna i wielorzędowa tomografia komputerowa człowieka. Thieme MediPage. Warszawa 2007.
2. *Rummeny E.J., Reimer P., Heindel W.*: Obrazowanie ciała metodą rezonansu magnetycznego. Med-Media. Warszawa 2010.
3. *Schmidt G.*: Ultrasonografia. MediPage. Warszawa 2008.

10. Diagnostyka obrazowa układu moczowego*

Anna Siemianowicz, Wojciech Wawrzynek, Andrzej Zaleski, Stanisław Nowak, Krystian Rudzki

Anatomia topograficzna

Nerki położone są w przestrzeni zaotrzewnowej, przykręgosłupowo, na poziomie Th12–L3, nerka lewa z reguły położona jest nieco wyżej (na poziomie Th11–L2), nerka prawa nieco niżej (na poziomie Th12–L3). Ich wnęki znajdują się na wysokości trzonów kręgów L2–L3. Osie długie obu nerek bieżą skośnie, bieguny górne skierowane są przyśrodkowo, bieguny dolne bocznie. Odległość pomiędzy biegunami górnymi obu nerek wynosi 7–8 cm, pomiędzy biegunami dolnymi 11–12 cm. W pozycji stojącej nerki przemieszczają się ku dołowi o 4–5 cm. Ruchomość oddechowa wynosi 2–3 cm. Przestrzeń pomiędzy nerkami a sąsiadującymi narządami wypełniona jest tkanką tłuszczową. Wymiar podłużny nerki przeciętnie wynosi 10–12 cm, wymiar poprzeczny 5–6 cm, grubości 3–4 cm. Nerka lewa z reguły jest nieco większa od prawej, różnica długości w warunkach prawidłowych nie przekracza 2 cm. Miąższ nerki zbudowany jest z warstwy korowej oraz rdzenia, które otaczają układ wyprowadzający nerki złożony z kielichów mniejszych, kielichów większych i miedniczki nerkowej.

Moczowody, położone również pozaotrzewnowo, stanowią odcinek dróg odprowadzających mocz z miedniczki nerkowej do pęcherza moczowego. Długość moczowodu wynosi średnio 27–30 cm. Moczowód lewy jest nieco dłuższy od prawego. Szerokość moczowodu, w zależności od fazy czynnościowej, wynosi 3–7 mm, grubość jego ściany do 3 mm.

Pęcherz moczowy jest zbiornikiem mięśniowym o gładkich, równych obrysach, położonym w miednicy małej do tyłu od spojenia łonowego, u kobiet od góry może być modelowany przez macicę. Pęcherz moczowy położony jest zaotrzewnowo, jedynie dno i część trzonu pokrywa otrzewna ścienna. W obrębie pęcherza moczowego wyróżniamy szczyt, trzon i dno pęcherza moczowego. Końcowy odcinek układu moczowego stanowi cewka moczowa.

Metody obrazowania układu moczowego

- ultrasonografia,
- zdjęcie przeglądowe jamy brzusznej,
- urografia,
- pielografia,
- cystografia,
- uretrografia,
- tomografia komputerowa (TK),
- urografia – TK,
- rezonans magnetyczny (MR),
- urografia – MR,
- badania angiograficzne (angiografia subtrakcyjna, angio-TK, angio-MR).

Obecnie najczęściej wykonywane badania układu moczowego to: USG, TK i MR.

* Zdjęcia zamieszczone w tym rozdziale pochodzą z badań wykonanych w Zakładzie Diagnostyki Obrazowej Samodzielnego Publicznego Wojewódzkiego Szpitala Chirurgii Urazowej im. dra Janusza Daaba w Piekarach Śląskich.



Ultrasonografia

Ultrasonografia jest metodą badania powszechnie dostępną, nieinwazyjną, nieobciążającą pacjenta. Umożliwia ocenę kształtu, wielkości, położenia obu nerek oraz ocenę miąższu nerki (składającego się z kory i rdzenia) oraz miedniczki nerkowej. Ocena moczowodu zwykle jest możliwa jedynie na krótkich odcinkach w sąsiedztwie miedniczki nerkowej i pęcherza moczowego. W badaniu USG nerki najczęściej ocenia się w ułożeniu pacjenta na plecach lub w ułożeniu prawo- i lewobocznym. Można je badać również w pozycji siedzącej lub stojącej. Niezależnie od pozycji badanego, obie nerki należy zobrazować w dwóch płaszczyznach: podłużnej i poprzecznej. Badanie USG nerek jest częścią badania USG jamy brzusznej, na które pacjent powinien zgłosić się na czczo, jeśli chodzi o samą ocenę nerek, nie jest to bezwzględnie wymagane.

USG pęcherza moczowego wymaga przygotowania pacjenta. Pęcherz moczowy musi być dobrze wypełniony moczem, zaleca się wypicie około 1 litra płynu przed badaniem. W wyjątkowych przypadkach u pacjentów zacewnikowanych można wypełnić pęcherz moczowy roztworem soli fizjologicznej do momentu odczuwania dyskomfortu przez pacjenta. Badanie wykonuje się w ułożeniu pacjenta na plecach, uzyskując przekroje poprzeczne i podłużne oraz pod kątem 30–45 stopni. Zalecana jest ocena pęcherza moczowego we wszystkich płaszczyznach, również po opróżnieniu. Badanie USG pęcherza moczowego można wykonać również z użyciem sondy doodbytniczej oraz przezcewkowo. Badania przezcewkowe wykonywane są przez urologów.

Standardowo badania USG jamy brzusznej i miednicy małej wykonywane są u osób dorosłych sondą 3,5 MHz, natomiast u dzieci sondą 5 MHz. Badanie dopplerowskie pozwala na ocenę naczyń nerkowych, a zwłaszcza szerokości naczyń, przepływu oraz stanu ścian tętnic nerkowych.

Wskazania do badania USG nerek

- ból w okolicy lędźwiowej i wzdłuż przebiegu moczowodów,
- kamica nerkowa,
- łagodne i złośliwe guzy nerek,
- wodonercze,
- anomalie i wady rozwojowe,
- urazy nerek,
- ocena nerki przeszczepionej,
- nawracające zakażenia dróg moczowych.

Wskazania do badania USG pęcherza moczowego

- bolesne, częste oddawanie moczu,
- krwiomocz,
- nawracające zakażenia pęcherza moczowego,
- nowotwory pęcherza moczowego,
- kamica pęcherza moczowego,
- zatrzymanie moczu.

Zdjęcie przeglądowe jamy brzusznej

Zdjęcie przeglądowe jamy brzusznej może być wykonywane jako odrębne badanie lub może stanowić wstęp do urografii. Celem zdjęcia traktowanego jako wstęp do urografii jest ocena stanu przygotowania pacjenta do badania, co umożliwia podjęcie decyzji o jego wykonaniu bądź odstąpieniu od niego. Zdjęcie przeglądowe jamy brzusznej w ocenie układu moczowego pozwala na ocenę obecności złogów uwapnionych w rzucie nerek i dróg moczowych.

Zdjęcie przeglądowe jamy brzusznej przed urografią wykonywane jest w pozycji leżącej na plecach lub w pozycji stojącej, prawidłowo obejmuje obszar od 12 kręgu piersiowego do spojenia łonowego. Na dobrze wykonanym zdjęciu przeglądowym widoczne są zarysy mięśni biodrowo-lędźwiowych, zarysy nerek, a często również i pęcherza moczowego. Na zdjęciu przeglądowym jamy brzusz-



nej można wstępnie ocenić kształt, wielkość i położenie obu nerek. Czasami można zobaczyć cień dobrze wypełnionego pęcherza moczowego. Wykonanie zdjęcia przeglądowego jamy brzusznej i urografii powinno być poprzedzone przygotowaniem pacjenta, którego celem jest wyeliminowanie gazów jelitowych i mas kałowych, zazwyczaj częściowo przesłaniających nerki oraz drogi moczowe. Do tego celu stosuje się doustne preparaty przeczyszczające (w postaci tabletek bądź płynów) oraz czopki. Podanie w przeddzień badania kilku kapsułek Espumisanu pozwala usunąć gazy jelitowe.

Urografia

Urografia dożylna jest podstawowym badaniem radiologicznym w diagnostyce układu moczowego. Pozwala na ocenę czynnościową i morfologiczną nerek oraz układu odprowadzającego mocz, ponieważ podany dożylnie środek cieniujący jest zagęszczany, a później wydalany przez nerki. Po wykonaniu zdjęcia przeglądowego jamy brzusznej i zakwalifikowaniu pacjenta do dalszej części badania zakładane jest wkłucie dożylnie. Następnie podawany jest środek cieniujący w dawce przeciętnie 1 ml/kg masy ciała. Środki cieniujące stosowane do urografii to substancje jodowe, obecnie najczęściej niejonowe. Technika urografii może się nieco różnić w zależności od wykonującego ją ośrodka. Tradycyjnie zdjęcia wykonywane są pomiędzy 3 a 25 min (najczęściej w 5, 10, 15 i 25 min) od podania środka cieniującego. Pacjent pozostaje w pozycji leżącej, a ostatnie zdjęcie wykonuje się na stojąco, aby ocenić stopień ruchomości nerek. Możliwe jest wykonanie zdjęcia dodatkowego po mikcji, w celu oceny zalegania moczu w obrębie pęcherza moczowego. Sposób prowadzenia urografii zależy od rozpoznania kierującego oraz od uwidocznionych w jej trakcie nieprawidłowości. Badanie to powinno być kontrolowane i modyfikowane przez lekarza radiologa, który w razie konieczności zleca dodatkowe zdjęcia i projekcje. W prawidłowej urografii grubość warstwy korowej nerek wynosi 15 mm, kielichy mniejsze mają kształt kubeczków obejmujących brodawki nerkowe i po 3, 4 łączą się w kielichy większe uchodzące do miedniczki nerkowej. Moczowody mogą być widoczne w całości lub fragmentarycznie, przerwy w ich ciągłości związane są z ich perystaltyką. W trakcie badania pęcherz moczowy wypełnia się stopniowo moczem cieniującym, w warunkach prawidłowych jego obrysy są gładkie.

Wskazania

- ocena kształtu, wielkości oraz funkcji wydalniczej nerek,
- ocena kamieni odlewowych układu kielichowo-miedniczkowego,
- różnicowanie złogów uwapnionych i niewapnionych,
- uwidocznienie w całości dróg odprowadzających mocz,
- ocena wad rozwojowych nerek,
- ocena przemieszczenia nerek i dróg moczowych przez zmiany patologiczne zlokalizowane poza układem moczowym,
- ocena nacieków nowotworowych na układ moczowy,
- ocena ciągłości dróg odprowadzających mocz po urazach lub zabiegach operacyjnych.

Przeciwwskazania – patrz rozdział: *Środki cieniujące stosowane w radiologii klasycznej, rezonansie magnetycznym i ultrasonografii*.

Możliwe powikłania – jak po dożylnym podaniu środka cieniującego (patrz rozdział: *Środki cieniujące stosowane w radiologii klasycznej, rezonansie magnetycznym i ultrasonografii*).

Urografia minutowa

Wskazaniem do urografii minutowej jest nadciśnienie nerkopochodne, upośledzenie ukrwienia nerek powoduje zmniejszenie przesączenia kłębkowego i opóźnienie zakontrastowania nerek oraz dróg moczowych. Ponieważ zwykle dotyczy jednej nerki, szybsze podanie środka cieniującego i wykonanie pierwszych zdjęć w 1, 2 i 3 min pozwala ujawnić różnicę sprawności działania nerek. Dalsze postępowanie jest takie, jak w urografii klasycznej. Jeśli zachodzi podejrzenie nadciśnienia nerkopochodne, wskazana jest ocena naczyń nerkowych.



Pielografia

Obecnie jest to badanie rzadko stosowane, inwazyjne, zlecane i wykonywane przez urologów u pacjentów przed planowanymi zabiegami operacyjnymi. Wiąże się z ryzykiem zakażenia dróg moczowych. Wyróżniamy pielografię wstępującą i zstępującą.

Pielografia wstępująca polega na tym, że po wprowadzeniu do pęcherza moczowego cystoskopu cewnikuje się moczowód, a po wprowadzeniu cewnika do miedniczki nerkowej podaje się 3–5 ml środka cieniującego o stężeniu około 30%. Zdjęcia wykonywane są pod kontrolą fluoroskopii u pacjenta pozostającego w pozycji leżącej na plecach, w projekcji A–P oraz w obu projekcjach skośnych. Po około 5–10 min wykonywane jest zdjęcie w pozycji stojącej, które służy do oceny zdolności opróżniania miedniczki nerkowej i ustalenia poziomu ewentualnej przeszkody w drogach odprowadzających moczu.

Pacjent powinien zgłosić się na czczo. Badanie przeprowadzane jest przez urologa w trakcie cystoskopii.

Wskazania

- nerka „niema” urograficznie,
- zwężenie w ujściu miedniczkowo-moczowodowym,
- złogi bezcieniowe.

Pielografia zstępująca polega na przezskórnym nakłuciu miedniczki nerkowej pod kontrolą USG, fluoroskopii lub rzadko TK i podaniu środka cieniującego. Badanie ma na celu określenie stanu miedniczki nerkowej, kielichów i moczowodów oraz umiejscowienie i określenie charakteru przeszkody w moczowodzie. Zdjęcia rutynowo wykonywane są w projekcji A–P, niekiedy skośnej. Pielografia zstępująca może poprzedzać wytworzenie czasowego lub trwałego drenażu nerki.

Cystografia

Jest to badanie kontrastowe pęcherza moczowego. Zaleca się, aby pacjent zgłosił się na czczo, z pęcherzem częściowo wypełnionym moczem. Po zacewnikowaniu pacjenta, do pęcherza moczowego podaje się rozcieńczony jodowy środek cieniujący (w stężeniu około 20%). Z reguły wprowadza się około 100–200 ml rozcieńzonego środka cieniującego lub do momentu wystąpienia uczucia silnego parcia na mocz. U niemowląt rozcieńczony środek cieniujący podaje się we wlewie kroplowym, aż do momentu, gdy kroplówka przestaje kapać. Następnie pod kontrolą fluoroskopii wykonuje się zdjęcie, u pacjenta leżącego na plecach, w projekcji A–P oraz boczne i skośne. Kolejne zdjęcie, w projekcji A–P na stojąco, wykonuje się po mikcji, aby określić stopień zalegania moczu w pęcherzu moczowym.

Cystografia mikcyjna

Badanie przeprowadza się tak samo jak cystografię, przy czym zdjęcie wykonywane jest w czasie mikcji, pod kontrolą fluoroskopii.

Wskazania

- odpływ pęcherzowo-moczowodowy,
- uszkodzenie (rozerwanie) pęcherza moczowego,
- guzy pęcherza moczowego,
- uchyłki pęcherza moczowego,
- przetoki pęcherzowo-jelitowe.

Uretrografia

Celem tego badania jest ocena cewki moczowej, może być ono wykonane w czasie mikcji podczas cystografii mikcyjnej, jak również podczas wstecznego podawania środka cieniującego do cewki moczowej (uretrografia wstępująca). Zdjęcia wykonuje się taką samą techniką, jak podczas cystografii mikcyjnej.



Wskazania

- zwężenie cewki moczowej,
- przetoki pourazowe,
- uchyłki cewki moczowej,
- ektopowe ujście moczowodu do cewki.

Tomografia komputerowa

Spiralna tomografia komputerowa pozwala na bardzo dokładną ocenę układu moczowego. Badanie TK jamy brzusznej i miednicy małej w celach diagnostyki układu moczowego przeprowadzane jest przed i po dożylnym podaniu środka cieniującego. Zalecane jest wypełnienie pętli jelitowych 2% roztworem wodnego środka cieniującego, aby ułatwić ich oddzielenie od poszczególnych narządów jamy brzusznej i od nerek, a także umożliwić właściwą ocenę węzłów chłonnych. Badanie wykonywane jest u pacjenta leżącego na plecach, przeważnie warstwą o grubości 1,25–2,5 mm. Skany przed i.v. podaniem środka cieniującego istotne są zwłaszcza w ocenie obecności uwapnionych złogów i zwapnień w obrębie dróg moczowych. Następnie podawany jest środek cieniujący w dawce 1,0–1,5 ml/kg masy ciała i wykonywane są skany w fazie tętniczej, mięsaszowej i wydzielniczej oraz w razie potrzeby wydzielniczej opóźnionej.

Faza tętnicza rozpoczyna się w 25 s po dożylnym podaniu środka cieniującego, faza mięsaszowa w 100 s po dożylnym podaniu środka cieniującego, faza wydzielnicza powyżej 5 min, natomiast faza wydzielnicza opóźniona powyżej 15 min po podaniu środka cieniującego. Spiralna tomografia komputerowa pozwala na wykonanie rekonstrukcji wielopłaszczyznowych, a zwłaszcza bardzo przydatnych rekonstrukcji w płaszczyźnie czołowej.

Badanie TK jamy brzusznej i miednicy małej z dożylnym podaniem środka cieniującego może być przeprowadzone jako badanie jedno- lub wielofazowe w zależności od problemu klinicznego.

Urografia TK

Modyfikacja protokołu badania TK, zastosowanie podwójnego bolusa środka cieniującego oraz odpowiednie przygotowanie pacjenta (nawodnienie przed badaniem oraz podanie niewielkiej dawki Furosemidu) pozwala na bardzo dobre uwidocznienie układu kielichowo-miedniczkowego, moczowodów i pęcherza moczowego w fazie wydzielniczej. Urografia tomografii komputerowej jest alternatywną metodą diagnostyczną w stosunku do urografii klasycznej przy ściśle zachowanych wskazaniach.

Wskazania do badania TK układu moczowego

- wady nerek,
- kamica,
- wodonercze,
- guzy łagodne i złośliwe,
- zmiany zapalne nerek,
- choroby naczyniowe,
- urazy i zmiany pooperacyjne,
- wady wrodzone pęcherza moczowego,
- guzy pęcherza moczowego,
- stany zapalne.

Przeciwwskazania do badania TK układu moczowego

- brak wskazań,
- ciąża,
- przeciwwskazania do dożylnego podania środka cieniującego (patrz rozdział: *Środki cieniujące stosowane w radiologii klasycznej, rezonansie magnetycznym i ultrasonografii*).



W tomografii komputerowej w diagnostyce pęcherza moczowego i moczowodów można wykonać również wirtualną endoskopię, która umożliwi uzyskanie obrazu wnętrza narządów bez konieczności wprowadzania endoskopu.

Rezonans magnetyczny

Badanie MR nerek można wykonywać zarówno w nisko-, jak i wysokopolowych systemach. Przeprowadza się je u pacjenta leżącego na plecach, przy użyciu cewek powierzchniowych, przed i po dożylnym podaniu środka kontrastowego (dawka środka kontrastowego: 0,1 mmol Gd-DTPA/kg masy ciała). Standardowo wykonuje się sekwencje w płaszczyźnie poprzecznej i czołowej, w razie potrzeby można dodatkowo wykonać sekwencje w płaszczyźnie strzałkowej. Najbardziej pomocne w wykrywaniu i charakterystyce zmiany patologicznej są badania dynamiczne oraz obrazy opóźnione po dożylnym podaniu środka kontrastowego. Do badania MR nerek nie jest wymagane specjalne przygotowanie pacjenta.

Wskazania do badania MR nerek

- podejrzenie guza nerki,
- wady rozwojowe,
- niedrożność dróg moczowych,
- kamica nerkowa,
- przeciwwskazania do podania jodowych środków cieniujących w TK lub urografii klasycznej,
- diagnostyka układu moczowego u dzieci, ze względu na ochronę radiologiczną pacjenta.

Badania MR stanowią uzupełnienie tomografii komputerowej w przypadku niejednoznacznego obrazu zmian w badaniu USG i TK oraz w przedoperacyjnym określeniu stopnia zaawansowania guza.

Przeciwwskazania – takie jak do badań MR (patrz rozdział: *Podstawy obrazowania metodą rezonansu magnetycznego*).

MR pęcherza moczowego

Badanie MR pęcherza moczowego wykonywane jest w ułożeniu pacjenta na plecach z użyciem cewki powierzchniowej lub cewki powierzchniowej i endorektalnej w przypadku badań celowanych oraz do oceny guzów o znanej lokalizacji. Cewki endorektalne pozwalają na dobre uwidocznienie dna i tylnej ściany pęcherza moczowego. Badanie MR wykonuje się przed i po dożylnym podaniu środka kontrastowego (dawka środka kontrastowego 0,1 mmol Gd-DTPA/kg masy ciała). Pęcherz moczowy powinien być odpowiednio wypełniony, około 100–200 ml moczu, lepsze wyniki uzyskuje się, jeśli pacjent odda mocz nie później niż na 2 godz. przed badaniem. Aby wyeliminować artefakty związane z perystaltyką jelit, przed badaniem można podać dożylnie Buscopan lub Glukagon. Obrazowanie MR pęcherza moczowego wykonuje się w płaszczyźnie poprzecznej, czołowej i strzałkowej.

Wskazania do badania MR pęcherza moczowego

Głównym wskazaniem jest ocena stopnia zaawansowania guzów pęcherza moczowego.

Przeciwwskazania – takie jak do badania MR (patrz rozdział: *Podstawy obrazowania metodą rezonansu magnetycznego*).

Urografia MR

Urografia MR pozwala na uwidocznienie całej wydzielniczej części układu moczowego, uzyskując obrazy przypominające klasyczną urografię. Urografia MR opiera się na sekwencjach T1-zależnych po podaniu i.v. środka kontrastowego lub na sekwencjach T2-zależnych. Urografia MR oparta na sekwencjach T2-zależnych nie wymaga podania i.v. środka kontrastowego i może być wykonana niezależnie od funkcji wydzielniczej nerek. Urografia MR stanowi alternatywę dla urografii klasycznej. Jej wadą jest wysoki koszt badania oraz gorsza dostępność.



Badania angiograficzne

Ocena naczyń nerkowych w badaniach angiograficznych możliwa jest w angiografii subtrakcyjnej, angio-TK i angio-MR (patrz rozdział: *Diagnostyka obrazowa układu naczyniowego i chłonnego*).

Diagnostyka izotopowa

Metody radioizotopowe odgrywają ważną rolę we współczesnej diagnostyce chorób nerek i dróg moczowych. Istnieje wiele substancji, które w przeważającej ilości, jeśli nie wyłącznie, wydalane są przez układ moczowy. Związki te przejściowo gromadzą się w nerkach, a ich pochodne, znakowane radioizotopami emitującymi promieniowanie γ , zostały wykorzystane zarówno do wizualizacji, jak i oceny funkcji tego narządu.

Radioizotopowe badania układu moczowego można podzielić na dwie grupy w zależności od metabolizmu użytych radioznaczników:

- statyczna scyntygrafia wykonywana za pomocą związków o powolnym wydalaniu do moczu,
- dynamiczna, czyli sekwencyjna scyntygrafia (renoscyntygrafia), gdy użyte związki są szybko wychwytywane przez nerki i wydalane z moczem.

Statyczna scyntygrafia nerek

Spośród wielu radioznaczników, które używano do scyntygrafii statycznej nerek, obecnie stosuje się prawie wyłącznie DMSA (kwas dwumerkaptobursztynowy), dający kompleksy z Tc-99m.

Scyntygrafia statyczna pozwala przede wszystkim na ocenę morfologiczną nerek. Obecnie takie wskazania, jak: guzy (nowotwory) nerek, torbiele (torbielowatość nerek), ropień nerek rzadko stanowią podstawę do skierowania chorego na scyntyografię statyczną nerek. Jako badanie morfologiczne ustępuje ona bowiem znacznie (ze względu na słabą rozdzielczość przestrzenną) innym metodom diagnostyki obrazowej.

Badanie wykonuje się najczęściej w diagnostyce odmiedniczkowego zapalenia nerek. Rozwijające się w tej chorobie zbliznowacenia uwidaczniają się na scyntygramach w postaci ubytków gromadzenia radioznacznika. Metoda może też być przydatna w ocenie udziału czynności obu nerek.

Renoscyntygrafia

Metody radioizotopowe utrzymały swą wiodącą rolę w badaniach czynnościowych nerek. Sekwencyjną scyntyografię nerek wykonuje się za pomocą gammakamery, rejestrując kolejne obrazy rozmieszczenia Tc-99m-etylenodicysteiny (Tc-99m-EC) lub innego radioznacznika, szybko wychwytywanego i wydalanego przez nerki. Na scyntygramach wybiera się następnie (w sposób typowy) obszary zainteresowania nad nerkami w celu generacji krzywych zmian aktywności w czasie (zwanych krzywymi renograficznymi lub renogramami).

W prawidłowym renogramie można rozróżnić trzy fazy:

- szybki wzrost radioaktywności w czasie pierwszego dopływu radioznacznika – faza naczyniowa,
- powolny dalszy wzrost, gdy przeważa sekrecja kanalikowa – faza mięsaszowa, czyli sekrecyjna,
- spadek radioaktywności odzwierciedlający jego wydalanie – faza wydalnicza, czyli ekskrecyjna.

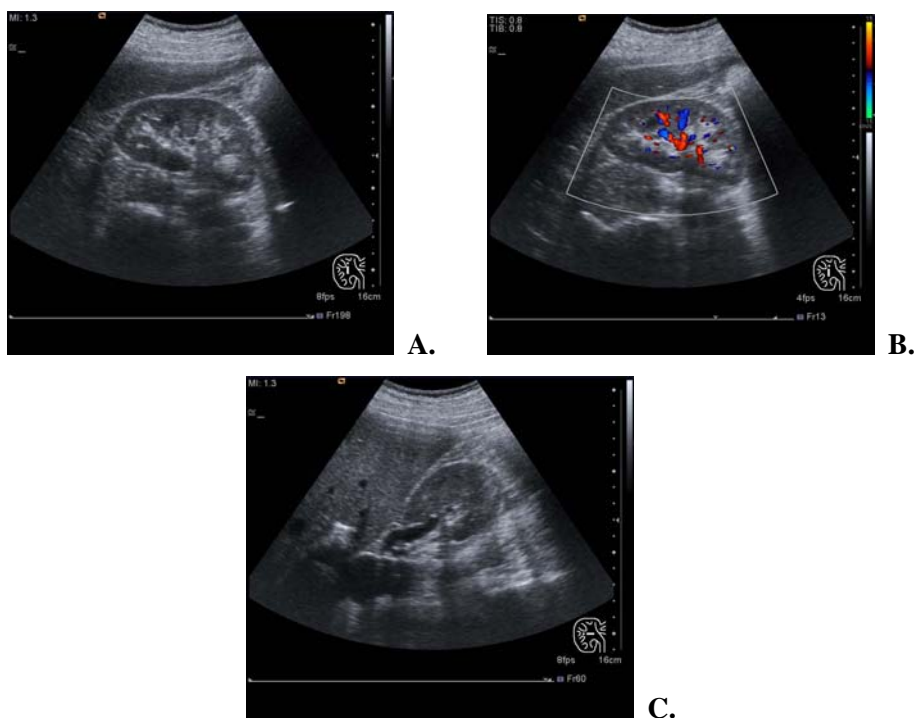
Przebieg krzywych renograficznych wykazuje znaczne różnice indywidualne i zależy w dużej mierze od stopnia nawodnienia ustroju. Dlatego badanie to nadaje się przede wszystkim do oceny jednostronnych chorób nerek. Przy interpretacji diagnosta opiera się wówczas nie tylko na bezwzględnych wartościach czasu trwania poszczególnych faz, ale porównuje również przebieg krzywych z nad obu nerek. Zastój w obrębie nerki (dróg moczowych) objawia się stałym wzrostem radioaktywności. Uszkodzenie mięszu nerki (lub niedokrwienie na skutek zwężenia tętnicy nerkowej), niezależnie od etiologii, powoduje opóźnienie gromadzenia i wydalania radioznacznika. W ciężkich uszkodzeniach mięszu brak w ogóle gromadzenia radioznacznika w rzucie chorej nerki.

Wskazania do renoscyntygrafii (renografii) są następujące:

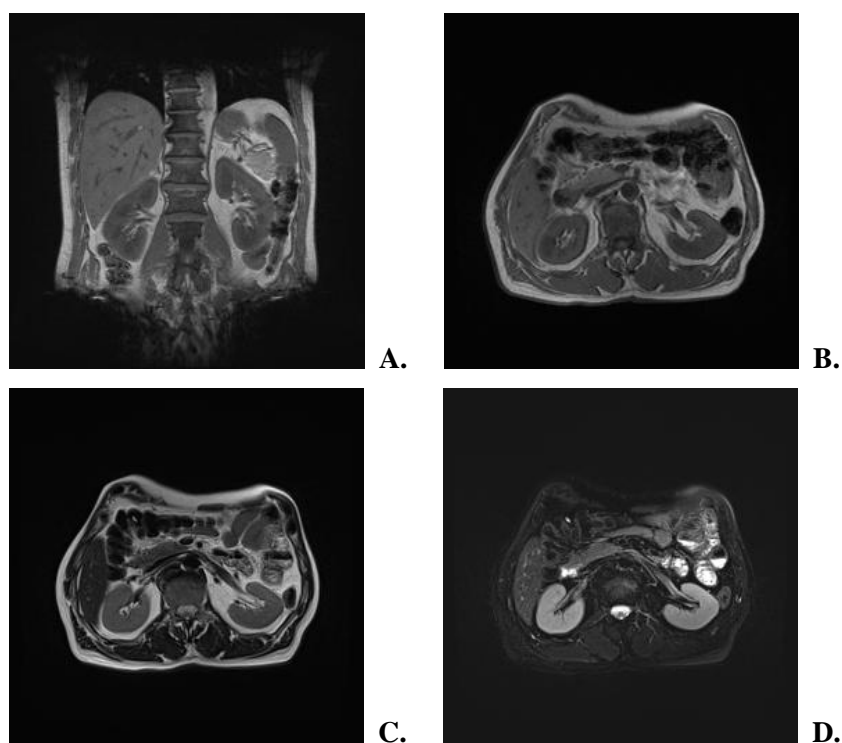
1. Podejrzenie zwężenia tętnicy nerkowej jako przyczyny nadciśnienia tętniczego (za naczyniowo-nerkową etiologią nadciśnienia przemawia pogorszenie funkcji nerki niedokrwionej po zastosowaniu inhibitora enzymu konwertującego).
2. Różnicowanie zaburzeń odpływu moczu spowodowanych uropatią zaporową i poszerzeniem górnych dróg moczowych (co jest możliwe poprzez ocenę reakcji na zastosowany lek diuretyczny w trakcie badania).



3. Kontrola funkcji nerek w przebiegu przewlekłych jednostronnych chorób nerek oraz efektywności drenażu dróg moczowych.
4. Podejrzanie zarzucania moczu z pęcherza do moczowodów i górnych dróg moczowych.
5. Ocena nerki przeszczepionej.



Ryc. 65. USG nerek. A. – Obraz USG nerki w cięciu podłużnym. B. – Obraz USG nerki w cięciu podłużnym, kodowany kolorem. C. – Obraz USG nerki w cięciu poprzecznym w poziomie wnętrza nerki.



Ryc. 66. Badanie MR nerek. A. – Obraz T1-zależny w płaszczyźnie czołowej. B. – Obraz T1-zależny w płaszczyźnie poprzecznej. C. – Obraz T2-zależny w płaszczyźnie poprzecznej. D. – Obraz T2-zależny z saturacją tkanki tłuszczowej w płaszczyźnie poprzecznej.



A.



B.



C.



D.



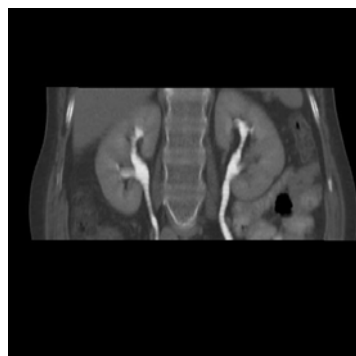
E.



F.



G.



H.

Ryc. 67. Badanie TK nerek. A. – Skan poprzeczny bez wzmocnienia kontrastowego. B. – Rekonstrukcja w płaszczyźnie czołowej w fazie bez wzmocnienia kontrastowego. C. – Skan poprzeczny w fazie tętniczej. D. – Rekonstrukcja w płaszczyźnie czołowej w fazie tętniczej. E. – Skan poprzeczny w fazie mięszkowej. F. – Rekonstrukcja w płaszczyźnie czołowej w fazie mięszkowej. G. – Skan poprzeczny w fazie wydzielniczej. H. – Rekonstrukcja w płaszczyźnie czołowej w fazie wydzielniczej.

Piśmiennictwo

1. *Bochenek A., Reicher M.*: Anatomia człowieka. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 1992.
2. *Brandt W.E., Helms C.A.*: Podstawy diagnostyki radiologicznej. T. 3. MediPage. Warszawa 2007.
3. *Chapman S., Nakielny R.*: Metody obrazowania radiologicznego. Medycyna Praktyczna. Kraków 2006.
4. *Daniel B., Pruszyński B.*: Anatomia radiologiczna Rtg, TK, MR, USG, S.C. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 2005.
5. *Kawashima A., Vrtiska T.J., LeRoy A.J., Hartman R.P., McCollough C., King B.F.*: CT Urography. *Radio-Graphics* 2004; 24: s. 35–54.
6. *Kim J.K., Cho K.S.*: CT urography and virtual endoscopy: promising imaging modalities for urinary tract evaluation, *British Journal of Radiology* 2003; 76: s. 199–209.
7. *Kremer H., Dobrinski W.*: Diagnostyka ultrasonograficzna. Elsevier Urban & Partner. Wrocław 2004.
8. *Palmer P.E.S.*: Diagnostyka ultrasonograficzna. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 1997.
9. *Prokop M., Galanski M.*: Spiralna i wielorzędowa tomografia komputerowa człowieka. MediPage, Warszawa 2007.
10. *Pruszyński B.*: Diagnostyka obrazowa – podstawy teoretyczne i metodyka badań. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 2000.
11. *Pruszyński B.*: Radiologia. Diagnostyka obrazowa. Rtg, TK, USG, MR i radioizotopy. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 2003.
12. *Runge V.M.*: Rezonans magnetyczny w praktyce klinicznej. Elsevier Urban & Partner. Wrocław 2007.
13. *Rummeny E.J., Reimer P., Heindel W.*: Obrazowanie ciała metodą rezonansu magnetycznego. Med-Media. Warszawa 2010.
14. *Walecki J., Pruszyński B.*: Leksykon radiologii i diagnostyki obrazowej. Zamkor. Kraków 2003.
15. *Webb W.R., Brant W.E., Major N.M.*: Tomografia komputerowa zastosowanie kliniczne. Elsevier Urban & Partner. Wrocław 2006.



11. Diagnostyka obrazowa gruczołu krokowego

Anna Siemianowicz, Wojciech Wawrzynek, Anna Zymon-Zagórska

Anatomia topograficzna

Gruczoł krokowy położony jest w obrębie miednicy małej, do tyłu od spojenia łonowego, a do przodu od bańki odbytnicy. Ma kształt spłaszczonego stożka, którego podstawa skierowana jest ku górze, łączy się z dnem pęcherza moczowego, wierzchołek skierowany jest ku dołowi i leży na przeponie moczowo-płciowej. Gruczoł krokowy składa się z dwóch płatów, prawego i lewego, połączonych wężyną nazywaną również płatem środkowym. Wielkość tego gruczołu jest zmienna i zależy od wieku. U dorosłego mężczyzny ma następujące wymiary: wymiar przednio-tylny 2–3 cm, wymiar boczny 3–4 cm, wymiar głowowo-ogonowy 3–4 cm. Prawidłowa objętość gruczołu krokowego wynosi 10–20 cm³.

Metody diagnostyczne w obrazowaniu gruczołu krokowego

- USG,
- tomografia komputerowa,
- rezonans magnetyczny.

Ultrasonografia

Ultrasonografia jest metodą powszechnie dostępną i nieobciążającą pacjenta. Wstępnej oceny gruczołu krokowego można dokonać w badaniu USG przez powłoki głowicą 3,5 MHz. Warunkiem dobrego uwidocznienia tego gruczołu jest maksymalne wypełnienie pęcherza moczowego. Badanie USG umożliwia ocenę kształtu, wielkości i struktury gruczołu krokowego. Na dokładniejszą ocenę pozwalają badania wykonane przy użyciu głowic endokawitarnych: wewnątrzodbytnicznej lub wewnątrzcewkowej. Prawidłowy gruczoł krokowy w badaniu USG ma jednorodną hiperechogeniczną strukturę.

Wskazania: zapalenie, gruczolak, rak gruczołu krokowego

Tomografia komputerowa

W diagnostyce zmian gruczołu krokowego znaczenie tej metody diagnostyki jest ograniczone ze względu na brak możliwości różnicowania pomiędzy prawidłową a hiperplastyczną i nowotworową tkanką gruczołową. Tomografia komputerowa ma znaczenie w ocenie zajęcia węzłów chłonnych, pozatorebkowego szerzenia się zmian nowotworowych oraz jako badanie kontrolne u pacjentów z rozpoznany nowotworem gruczołu krokowego.

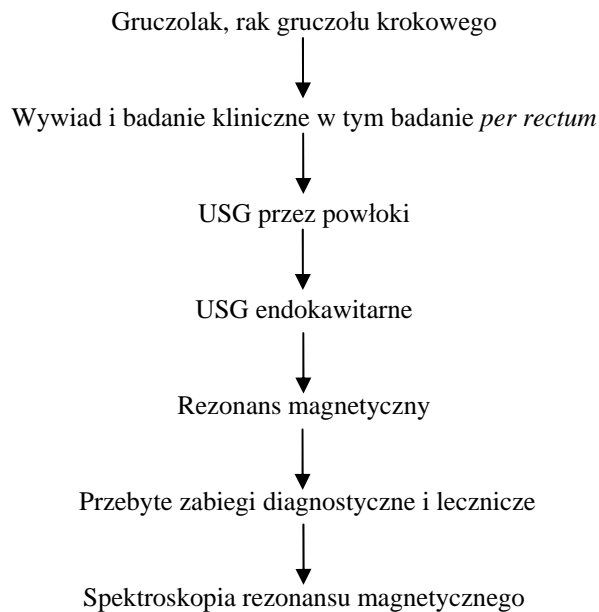
Rezonans magnetyczny

Badanie rezonansu magnetycznego pozwala na uwidocznienie strefowej budowy gruczołu krokowego. Rozróżnienie poszczególnych stref ma istotne znaczenie kliniczne ze względu na lokalizację raka gruczołu krokowego głównie w strefie obwodowej, natomiast łagodnego przerostu gruczołu krokowego w strefie przejściowej. Badanie MR można wykonać przy użyciu cewki powierzchniowej typu *body* lub cewki endorektalnej w połączeniu z cewką powierzchniową, co znacząco polepsza jakość uzyskanych obrazów. Badanie MR wykonuje się w trzech płaszczyznach: poprzecznej, czołowej i strzałkowej. Oprócz zmian w samym gruczole krokowym, ta metoda diagnostyczna pozwala ocenić stosunek gruczołu krokowego do odbytnicy, pęcherza moczowego, mięśnia dźwigacza odbytu, mięśni zasłonowych wewnętrznych, pęcherzyków nasiennych i naczyń żylnych okołogruczołowych oraz



ocenić zajęcie węzłów chłonnych. Badanie MR należy wykonać przed i po dożylnym podaniu środka kontrastowego. U pacjentów po przebytych zabiegach diagnostycznych i leczniczych w obrębie gruczołu krokowego, oprócz typowego badania MR, wykonuje się również spektroskopię MR.

Algorytmy diagnostyczne w najczęściej występujących jednostkach chorobowych



Piśmiennictwo

1. *Bochenek A., Reicher M.*: Anatomia człowieka. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 1992.
2. *Brant W.E., Helms C.A.*: Podstawy diagnostyki radiologicznej. MediPage, Warszawa 2008.
3. *Daniel B., Pruszyński B.*: Anatomia radiologiczna Rtg, TK, MR, USG, S.C. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2005.
4. *Kremer H., Dobrinski W.*: Diagnostyka ultrasonograficzna. Elsevier Urban & Partner. Wrocław 2004.
5. *Prokop M., Galanski M.*: Spiralna i wielorzędowa tomografia komputerowa człowieka. MediPage. Warszawa 2007.
6. *Rummeny E.J., Reimer P., Heindel W.*: Obrazowanie ciała metodą rezonansu magnetycznego. Med-Media. Warszawa 2010.
7. *Runge V.M.*: Rezonans magnetyczny w praktyce klinicznej. Elsevier Urban & Partner. Wrocław 2007.
8. *Webb W.R., Brant W.E., Major N.M.*: Tomografia komputerowa zastosowanie kliniczne. Elsevier Urban & Partner. Wrocław 2006.



12. Diagnostyka obrazowa w ginekologii

Magdalena Machnikowska-Sokołowska, Andrzej Zaleski

Zdjęcie przeglądowe miednicy małej obecnie ma znikomą rolę w diagnostyce ginekologicznej. Najczęściej wykonywane jest z przyczyn pozaginekologicznych, co pozwala uwidocznić patologię w miednicy: przemieszczenie pętli jelitowych przez guzy wychodzące z miednicy małej, zwapnienia w mięśniakach macicy, zwapnienia w guzach jajników lub zwapnienia i elementy kostne, np. w potworniakach.

Histerosalpingografia (HSG) – to klasyczne badanie kontrastowe narządu rodniego, umożliwiające radiologiczną ocenę jamy macicy i jajowodów, wykonywane za pomocą strzykawki i aparatu Schulzega. Przeprowadzane jest po podaniu środka cieniującego rozpuszczalnego w wodzie, bezpośrednio do światła macicy, w dawce jednorazowej 3 ml, maksymalnej do 10 ml, 3-krotnie, w odstępach 1–2 min, po poprzednim podaniu pacjentce leków przeciwbólowych, aby uzyskać efekt spazmolityczny w jajowodach. Zdjęcia wykonywane są przy słabym wypełnieniu jamy macicy oraz po podaniu pod zwiększonym ciśnieniem środka cieniującego, co powoduje zakontrastowanie jajowodów i przedostanie się środka cieniującego do jamy otrzewnej, a to pozwala na ocenę ich drożności. Pacjentka do badania powinna zgłosić się z opróżnionym pęcherzem moczowym.

Wskazania

- ocena drożności jajowodów,
- zaburzenia rozwojowe macicy i jajowodów,
- zrosty wewnątrzmaciczne.

Przeciwwskazania

- ciąża,
- wole toksyczne tarczycy,
- niewydolność nerek,
- ciężkie uszkodzenie wątroby,
- podwyższone CRP i leukocytoza,
- ostre i podostre stany zapalne narządu rodniego,
- III i IV stopień czystości pochwy.

Badanie USG

Jest specjalistycznym badaniem diagnostycznym, wykonywanym niemalże rutynowo jako uzupełnienie badania ginekologicznego. Wykonuje się je głowicami: przezbrzuszną, która wymaga wypełnienia pęcherza moczowego lub głowicami dopochwowymi i doodbytniczymi, co nie wymaga takiego przygotowania i umożliwia dokładniejszą diagnozę. Materiałem pomocniczym w ultrasonografii ginekologicznej jest Atlas Merza.

Badanie ultrasonograficzne (przez powłoki) miednicy żeńskiej powinno zobrazować: trzon i dno macicy, część pochwową i szyjkę macicy z oceną endometrium i grubości ściany macicy, jajniki wraz z dojrzewającymi w ich obrębie pęcherzykami Graafa, struktury sąsiednie. Zawsze należy oceniać pęcherz moczowy, który powinien być wypełniony. Prawidłowe jajowody w badaniu USG są niewidoczne.

Badanie USG endokawitarne – przezpochwowe, z użyciem kolorowego Dopplera wprowadzili Kurjak i Zalud w 1989 roku. Pozwala ono zobrazować struktury ruchome, dając możliwość jednoczesnego uwidocznienia budowy i unaczynienia wybranego obszaru. Kolorowy Doppler stosowany w ginekologii onkologicznej pomaga w ocenie szybko rosnących guzów, w tym nowotworów złośli-



wych. Ocena poszczególnych parametrów przepływu pozwala wykryć rozrosty endometrium. Nieprawidłowe parametry przepływu stwierdzone są również w nowotworach jajników, gdzie naczynia te są znacznie bardziej poszerzone i tworzą charakterystyczną sieć. Ze względu na zwiększone ryzyko zapadalności kobiet na nowotwory narządu rodowego w okresie okołomenopauzalnym badanie USG w tym okresie powinno być wykonywane podczas każdej wizyty kontrolnej. USG endokawitarne zaleca się również przed wprowadzeniem hormonalnej terapii zastępczej (HTZ), w celu wstępnej oceny mięśnia macicy z oceną grubości błony śluzowej oraz przydatków. Podczas HTZ badanie USG należy powtarzać corocznie, w celu monitorowania ewentualnych zmian patologicznych mogących pojawić się w trakcie terapii.

Badanie USG często wykorzystuje się do monitorowania cyklu miesięczkowego oraz w diagnozowaniu i leczeniu niepłodności. Pozwala ono ocenić zmiany zachodzące w śluzówce macicy i monitorować wzrost pęcherzyka jajowego w poszczególnych fazach cyklu.

Badanie USG wielowymiarowe: 3D i 4D, pozwala uwidocznic niewielkie nacieki nowotworowe, mięśniaki podśluzówkowe czy polipy endometrialne, co jest szczególnie przydatne przy kwalifikacji do zabiegu.

Postęp w archiwizacji danych w postaci cyfrowej pozwala na analizę wyników badania w późniejszym czasie, ich porównywanie, a w związku z rozwojem telemedycyny, także przesyłanie obrazów czy danych do ekspertów na całym świecie.

Pod nadzorem USG wykonuje się zabiegi ginekologiczne, np. biopsje, pobranie komórek jajowych, amnioredukcje i inne.

Wskazania do badania USG miednicy

- określenie wielkości, położenia i kształtu macicy,
- rozpoznanie i ustalenie charakteru wad macicy,
- wykrycie nieprawidłowości trzonu macicy – wielkość, kształt, lokalizacja zmian, np. mięśniaków czy innych guzów,
- ocena grubości i echogenności błony śluzowej macicy,
- ocena prawidłowości jajników oraz wykrycie w nich guzów (nowotwory lite, torbielowato-lite i torbiele),
- monitorowanie cyklu miesięczkowego i wzrostu pęcherzyków jajnikowych,
- określenie faz cyklu, głównie owulacji,
- nadzór w trakcie zabiegów, np. pobrania komórek jajowych, zapłodnień in vitro,
- określanie położenia wkładki wewnątrzmacicznej.

Ciągły postęp w konstrukcji oraz oprogramowaniu aparatów USG sprawia, iż wartość kliniczna tego badania wciąż wzrasta, nie może ona jednak zastąpić innych metod w diagnostyce obrazowej – takich badań, jak: TK, MR, klasycznych badań RTG.

Tomografia komputerowa (TK) miednicy męskiej jest powszechnie stosowaną metodą diagnostyczną (stanowi badanie II rzutu, zaraz po ultrasonografii). Pacjentka do badania zgłasza się na czczo. W pracowni na 2–3 godziny przed badaniem, otrzymuje doustnie około 1,5–2,5 litrów 2% wodnego roztworu środka cieniującego w celu zakontrastowania pętli jelitowych. Przed rozpoczęciem picia kontrastu należy wykonać mikcję, a kolejną dopiero po badaniu, gdyż diagnostyka miednicy wymaga wypełnienia pęcherza moczowego. W czasie badania podaje się dożylnie średnio 1,0–2,0 ml/kg m.c. środka cieniującego.

Badanie TK pozwala zróżnicować zmiany w macicy, zwłaszcza wykryć guzy w jej szyjce, pozwala ocenić ich położenie, wielkość, gęstość, czyli charakter (torbielowaty, lity, mieszany, w tym ogniska martwicy), zwapnienia, zmiany naciekowe. Możliwości diagnostyczne TK w mniejszym stopniu dotyczą zmian w jajnikach.

Do oceny patologii na wczesnym etapie rozwoju zalecane jest badanie rezonansu magnetycznego, które wykazuje wyższą rozdzielczość tkankową i jest dokładniejsze.



Wskazania do badania TK

- ocena wad wrodzonych macicy i pochwy,
- zmiany w jajnikach, jajowodach: torbielowate, lite, nacieki,
- nietypowe zapalenia,
- choroby naczyń,
- ocena stopnia zaawansowania guza – rozprzestrzenianie się nacieku nowotworowego,
- zmiany pozabiegowe i wznowy,
- duże zmiany w macicy i przymaciczach (małe zmiany oceniane w badaniu MR).

Arteriografia naczyń miednicy męskiej ma obecnie niewielkie znaczenie w diagnostyce ginekologicznej – w diagnostyce naczyń miednicy korzysta się z możliwości, jakie niosą ze sobą angio-TK i angio-MR. Dzięki angio-TK można obecnie zobrazować stosunek i drożność naczyń w odniesieniu do zmian. W nieoperacyjnych nowotworach narządów rodnych oraz w mięśniakach macicy wykonywana jest przeskórna embolizacja patologicznych naczyń, najczęściej gałęzi tętnicy biodrowej wewnętrznej (patrz rozdział: *Radiologia zabiegowa*), co pozwala na kwalifikację do dalszego postępowania klinicznego.

Urografia – pozwala na ocenę prawidłowości moczowodów w przypadku istnienia guzów miednicy. Określa się stopień przemieszczenia, ucisk lub stopień nacieczenia moczowodów przez zmianę nowotworową.

Przygotowanie i metodyka urografii (patrz rozdział: *Diagnostyka obrazowa układu moczowego*).

Wskazania do urografii w ginekologii

- po zabiegach ginekologicznych jeśli istnieje podejrzenie uszkodzenia dróg moczowych i/lub aby sprawdzić ich drożność,
- ocena stosunku guza narządów rodnych do moczowodów i pęcherza moczowego.

Cystografia, która jest rzadko stosowana w ginekologii, została omówiona w rozdziale *Diagnostyka obrazowa układu moczowego*.

Wskazania do cystografii w ginekologii

- ocena szczelności pęcherza moczowego (po rozległych zabiegach ginekologicznych),
- wykrycie przetoki moczowo-płciowej.

Cystoskopia jest wykonywana najczęściej w przypadku zmian nowotworowych w zaawansowanych stadiach raka szyjki macicy, nie wymaga znieczulenia ogólnego, jedynie wprowadzany do pęcherza moczowego sztywny cewnik smarowany jest żelem znieczulającym. Poprzez cewnik, wprowadzany jest cystoskop, przez który lekarz ogląda wnętrze pęcherza. Jedynym przygotowaniem przed zabiegiem jest opróżnienie pęcherza moczowego. Dawniej podczas cystoskopii oceniano stopień naciekania nowotworu i ewentualnego ucisku przez guz, co obecnie rutynowo jest oceniane w badaniach TK lub MR.

Badanie urodynamiczne – stosuje się je w diagnostyce nietrzymania moczu. W nowoczesnych ośrodkach podejmuje się próby wykonywania tego badania w ultrasonografii przezpochwowej, co pozwala na określenie postaci wspomnianego schorzenia – zdolności do gromadzenia i wydalania moczu. Podczas badania dokonuje się pomiaru objętości moczu podczas swobodnej mikcji, ilości zalegającego moczu w pęcherzu po mikcji, czynności mięśni zwieraczy cewki moczowej. W stosunku do klasycznego badania urodynamicznego trudny jest pomiar profilu zmian ciśnienia w pęcherzu moczowym. Rutynowo, badanie urodynamiczne wykonuje ginekolog na fotelu ginekologicznym, bez znieczulenia, za pomocą specjalistycznego sprzętu. Do pęcherza moczowego oraz odbytu zakłada się specjalne cewniki połączone przewodami z przetwornikami ciśnienia, dodatkowo do odbytu zakłada się specjalną elektrodę. Przygotowanie do badania polega na oczyszczeniu pętli jelitowych w dniu poprzedzającym badanie poprzez wykonanie lewatywy oraz wypełnieniu pęcherza moczowego. Zawsze przed badaniem, ze względu na zwiększone ryzyko infekcji dróg moczowych, wykonuje się posiew i badanie ogólne moczu.

Podstawową metodą obrazową w diagnostyce zmian patologicznych w miednicy u kobiet jest **badanie ultrasonograficzne (USG)** wykonywane przez powłoki brzucha oraz sondą dopochwową.



W razie wątpliwości diagnostycznych USG jest **uzupełniane tomografią komputerową (TK)**. Ze względu na szkodliwe promieniowanie jonizujące i konieczność podania pacjentce środka cieniującego zawierającego jod, badanie TK ma ograniczone zastosowanie, zwłaszcza u dzieci i kobiet w wieku rozrodczym, ciężarnych oraz osób uczulonych na kontrasty jodowe.

W ginekologiczno-urologiczno-onkologicznej diagnostyce kobiet rośnie znaczenie **rezonansu magnetycznego (MR)**, którego działanie opiera się na wykorzystaniu pola magnetycznego, a stosowane środki kontrastowe nie zawierają jodu. Oprócz aspektów bezpieczeństwa na popularność metody wpływa jej wysoka rozdzielczość liniowa i kontrastowa, specyficzność tkankowa i możliwość wielopłaszczyznowego obrazowania.

Udane próby zastępowania bardziej inwazyjnych technik diagnostycznych: histerosalpingografii, limfografii, urografii, arteriografii, planimetrii rentgenowskiej przez odpowiedniki w MR powodują, że rezonans magnetyczny staje się istotnym narzędziem diagnostycznym.

Wskazania do MR miednicy

- wady rozwojowe miednicy, głównie układu moczowo-płciowego, szczególnie u dziewcząt i młodych kobiet (gdy badanie USG nie dostarcza pełnej informacji),
- guzy narządów rodnych, aby określić stopień ich zaawansowania, np. w raku szyjki lub trzonu macicy,
- różnicowanie łagodnych i złośliwych guzów jajnika, szczególnie przed podjęciem decyzji o wyborze metody leczenia,
- różnicowanie wznowy guza i zmian pooperacyjnych,
- ocena efektów radio- i chemioterapii,
- ocena nietypowych procesów zapalnych.

Rezonans magnetyczny z cewkami dopochwowymi służy do określania stopnia zaawansowania raka szyjki i trzonu macicy.

Histerosalpingografia techniką rezonansu magnetycznego (HSG MR) – stworzyła możliwość wykonania badania jamy macicy i jajowodów w celu oceny ich drożności bez narażania narządu rodowego na promieniowanie rentgenowskie, dając dodatkowo możliwość oceny morfologicznej innych narządów miednicy i struktur sąsiednich.

Wskazania

- ocena zmian rozwojowych narządów rodnych,
- zwężenie lub niedrożność jajowodów,
- ocena zrostów śródmacicznych.

Spektroskopia rezonansu magnetycznego (MRS), polega na określaniu składników biochemicznych badanej tkanki, ocenia stopień zaawansowania oraz odpowiedź nowotworów na chemioterapię.

Badania obrazowe, w tym MR, nie służą do wykrycia guza, który jest już rozpoznany innymi metodami (badaniem ginekologicznym, cytologicznym, biopsją), ale do oceny stopnia zaawansowania zmian i do dalszej kwalifikacji.

Rezonans magnetyczny w onkologii ginekologicznej służy do oceny objętości guza, morfologii, czasu i stopnia wzmocnienia guza w dynamicznym badaniu po podaniu środka kontrastowego. Porównanie czasu początku wzmocnienia i czasu do osiągnięcia jego szczytu w badaniach wykonywanych przed rozpoczęciem leczenia i po jego zakończeniu dostarcza istotnych informacji na temat odpowiedzi na stosowane leczenie.



Tabela VIII. Przydatność metod diagnostycznych w ginekologii

Badania podstawowe			Przesiewowe	Metody uzupełniające, wg wskazań
USG przez pochwowe	MR miednicy	TK miednicy	USG przezbrzuszne	HSG Badania naczyniowe Badania urodynamiczne Spektroskopia MR

NAJCZĘSTSZE PATOLOGIE W DIAGNOSTYCE GINEKOLOGICZNEJ W MR

Diagnostyka raka szyjki i trzonu macicy

Ocena stopnia zaawansowania opiera się na klasyfikacji FIGO lub na systemie TNM. Wartość badania MR jest wysoka: oceniana jest głębokość nacieku szyjki i trzonu na podstawie zaburzenia jej warstwowej budowy. Rak szyjki macicy widoczny jest w badaniu MR od stadium IB (gdzie zmiany ograniczone są wyłącznie do szyjki). W kolejnych stadiach MR ocenia zasięg zmian. Technika saturacji tkanki tłuszczowej i dożylnie podanie środka kontrastowego oceniają zajęcie przymaciczy i naciek struktur sąsiednich. Ocena głębokości naciekania w diagnostyce raka trzonu macicy jest oparta na zaburzeniu warstwowej budowy trzonu macicy. Najistotniejsze jest uwidocznienie w badaniu MR linii warstwy łączącej błonę śluzową i błonę mięśniową. Ta linia przestaje być widoczna u kobiet po menopauzie. Obecnie badanie MR to metoda z wyboru:

- w przedoperacyjnej ocenie stopnia zaawansowania raka trzonu macicy,
- w celu różnicowania wznovy guza od pooperacyjnych zmian bliznowatych i zmian włóknistych po terapii. W pierwszym roku po zakończeniu leczenia różnicowanie jest trudne, a nawet niemożliwe – masa resztkowa guza i wznowa oraz wczesne zmiany popromienne i po chemioterapii nie różnią się obrazem, dopiero po upływie około roku w obrazie tkanki nowotworowej i włóknistej pojawia się różnica.

Limfografia MR z zastosowaniem specyficznych środków kontrastowych, podawanych dożylnie, które docierają do węzłów chłonnych drogą limfatyczną po przejściu przez ściany naczyń włosniczokowych (super małe cząsteczki tlenku żelaza, ang. USPIO – *ultrasmall iron oxide particles*), stosowana jest do oceny zajęcia węzłów chłonnych i przerzutów, nawet odległych. Przerzuty do węzłów chłonnych nie wychwytyują środka kontrastowego, podanie USPIO stwarza różnicę między prawidłowymi, a przerzutowo zmienionymi węzłami chłonnymi, daje szansę uwidocznienia przerzutów w niepowiększonych węzłach chłonnych i odróżnienia węzłów powiększonych odczynowo od przerzutowych.

Diagnostyka gruczolistości wewnętrznej (adenomyosis), nienowotworowej choroby macicy jest jednoznaczna w rezonansie magnetycznym, niespecyficzna w badaniach USG i TK, gdzie oceniana jest jako powiększenie macicy. W MR rozróżnia się rozlaną i ograniczoną postać gruczolistości wewnętrznej, nie stwierdza się poszerzonych naczyń żylnych, które często towarzyszą mięśniakom.

Szybki rozwój techniki MR sprawia, że przybywa wiele sposobów zwiększenia jej dokładności diagnostycznej. Należy tu wspomnieć o metodach saturacji tkanki tłuszczowej, podaniu doustnych i doodbytniczych środków kontrastowych lub środka kontrastowego wychwytywanego przez węzły chłonne. Dzięki wysokiej specyficzności tkankowej badanie MR pozwala na jednoznaczne różnicowanie tkanki litej i płynnej (ubogo- i bogatobiałkowej), tkanki tłuszczowej i krwi w różnym stopniu hemolizy, co w diagnostyce guzów jajnika ma szczególne znaczenie.

Diagnostyka MR zmian torbielowatych jest wysoce specyficzna: np. torbiele endometrialne, zależnie od stadium ewolucji, zawierają wynaczynioną krew, torbiele skórzaste – tkankę tłuszczową, potworniaki zawierają inne tkanki (włosy, kule tłuszczowe, poziomy tłuszcz – płyn, oceniane w TK zwapnienia, kości, zęby).

Zastosowanie techniki saturacji tkanki tłuszczowej w badaniu MR pozwala na jednoznaczne różnicowanie torbieli endometrialnych i torbieli dermoidalnych. Stłumienie sygnału z wewnątrzmię-



nicznej tkanki tłuszczowej w torbielach dermoidalnych występuje też między pętlami jelitowymi, pozwala na wykrywanie drobnych ognisk endometriozy rozsianych w miednicy, poza jajnikami.

Rezonans magnetyczny ma zasadnicze znaczenie w różnicowaniu poszczególnych łagodnych guzów jajnika i odróżnianiu ich od zmian złośliwych, kiedy ultrasonografia nie daje jednoznacznej odpowiedzi, natomiast nie przewyższa wartości innych badań obrazowych w ocenie stopnia zaawansowania raka jajnika.

Diagnostyka raka jajnika

W ocenie torbielowatych guzów jajnika stosuje się następujące kryteria ich złośliwości:

- wielkość powyżej 4 cm,
- grubość ścian i przegród powyżej 3 mm,
- obecność guzków przyściennych i tworów brodawkowatych,
- obecność części litej, zwłaszcza z ogniskami rozpadu.

Dodatkowe kryteria złośliwości dotyczą bardziej zaawansowanych zmian, takich jak: wodobrzusze, limfadenopatia, cechy naciekania innych narządów i ścian miednicy, obecność przerzutów do otrzewnej i narządów odległych.

Diagnostyka ciąży została opisana w rozdziale: *Diagnostyka obrazowa w położnictwie*. Teratogeny wpływ pola magnetycznego na płód nie został udowodniony, mimo to badanie MR nie jest zalecane w pierwszym trymestrze ciąży.

Ultrasonografia jest podstawowym narzędziem diagnostycznym. Jeśli obraz USG macicy, łożyska lub płodu jest wątpliwy i w stanach patologicznych matki, kiedy oceny wymagają inne narządy, np. przemieszczone przez ciężarną macicę oraz często trudne do oceny w USG, wtedy konieczne jest poszerzenie diagnostyki o badanie MR. Wykonanie tego badania u płodu jest trudne technicznie, choć stosuje się superkrótkie czasy akwizycji oraz techniki 3D.

Badanie MR przewyższa wartość badania USG w ocenie wad wrodzonych ośrodkowego układu nerwowego płodu, natomiast **dostarcza mniej niż USG** informacji na temat wad układu krążenia i kończyn.

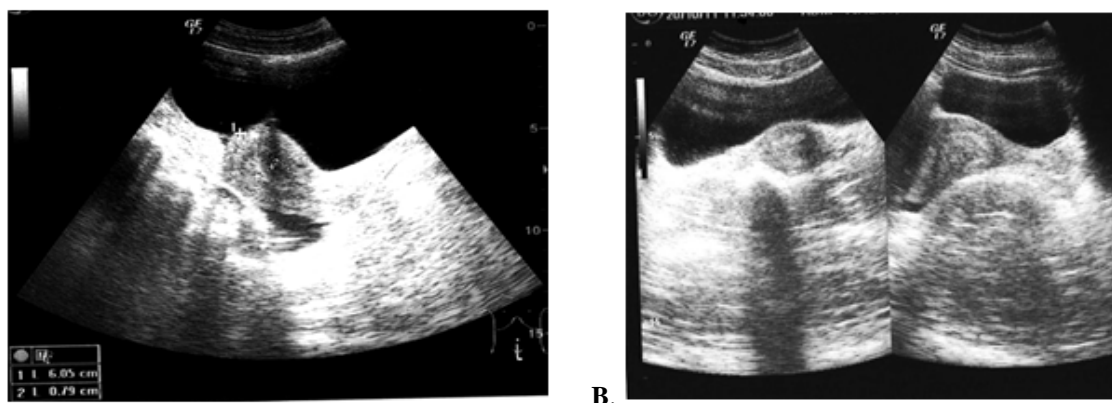
Diagnostyka nietrzymania moczu w rezonansie magnetycznym pozwala na szczegółowe i wielopłaszczyznowe uwidocznienie anatomii dna miednicy oraz jego nieprawidłowości. Oceny mięśni i powięzi, ściany pochwy, cewki moczowej, pomiaru odległości (np. odległości między linią łono-guziczną a pęcherzem) i kątów (np. kąta cewkowo-pęcherzowego) w warunkach napięcia i relaksacji dna miednicy, stają się alternatywą dla badań inwazyjnych, takich jak np. kolpocystektografia.

Nowotwory narządu rodowego w wyższych stopniach zaawansowania mogą naciekać pęcherz moczowy. Zawsze należy pamiętać, iż w pierwotnym raku pęcherza moczowego, który np. w IV stopniu zaawansowania wg systemu klasyfikacji TNM (T4) nacieka narządy sąsiadujące, w tym macicę i pochwę, szczególnie w przypadku późnego rozpoznania i zaawansowania może być trudno uwidocznić jego punkt wyjścia. W niejasnych przypadkach, takich jak w nowotworach narządu rodowego, podanie środka kontrastowego i zastosowanie saturacji tkanki tłuszczowej pomaga rozstrzygnąć wątpliwości diagnostyczne, natomiast w ocenie pęcherza moczowego rolę taką spełniają wirtualna cystoskopia i urografia MR (ta ostatnia służy diagnostyce dróg wyprowadzających mocz na całej długości). **Wirtualna cystoskopia MR** pozwala uwidocznić guzy pęcherza z czułością zbliżoną do konwencjonalnej cystoskopii, a w połączeniu z badaniem morfologicznym dostarcza informacji o zasięgu nacieku w głąb ściany pęcherza, stopniu ekspansji do tkanek okołopęcherzowych. **Urografia MR** uwidocznia układy kielichowo-miedniczkowe nerek, moczowody i pęcherz moczowy bez narażenia pacjentki na promieniowanie jonizujące i bez konieczności podania jodowego środka kontrastowego, co ma szczególne znaczenie u osób młodych, uczulonych na ten środek, kobiet ciężarnych, chorych z niewydolnością nerek. Niektórzy autorzy uważają, że wartość urografii MR przewyższa wartość klasycznego badania w ocenie moczowodów i zmniejsza liczbę przypadków, gdy konieczne jest wykonanie pielografii wstępującej. U chorych po cystektomii, z odtworzonym pęcherzem moczowym, urografia MR jest proponowana jako nieinwazyjne badanie kontrolne.



Diagnostyka MR w endometriozie pęcherza moczowego to uwidocznienie ognisk gruczolistości zewnętrznej w każdej lokalizacji w organizmie, pozwala przed planowanym leczeniem operacyjnym ocenić rozległość i głębokość procesu oraz ewentualne zajęcie warstwy mięśniowej.

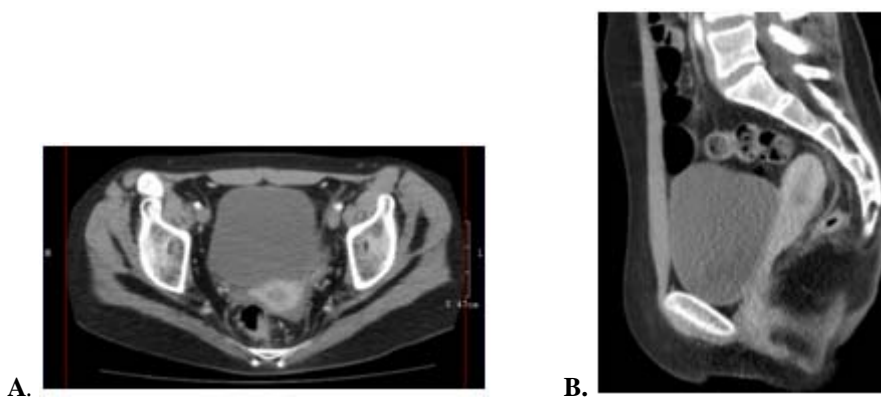
Intensywny rozwój technik, szczególnie jeśli chodzi o rezonans magnetyczny oraz zwiększenie dostępu do aparatury, pozwala przypuszczać, że diagnostyka schorzeń miednicy w coraz większym stopniu będzie opierała się na szerokim spektrum zastosowań badania MR.



Ryc. 68 A.–B. USG przez powłoki brzuszne. Badanie wykonano w Zakładzie Diagnostyki Obrazowej i Radiologii Zabiegowej Samodzielnego Publicznego Szpitala Klinicznego nr 6 Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach Górnośląskie Centrum Zdrowia Dziecka im. Jana Pawła II.

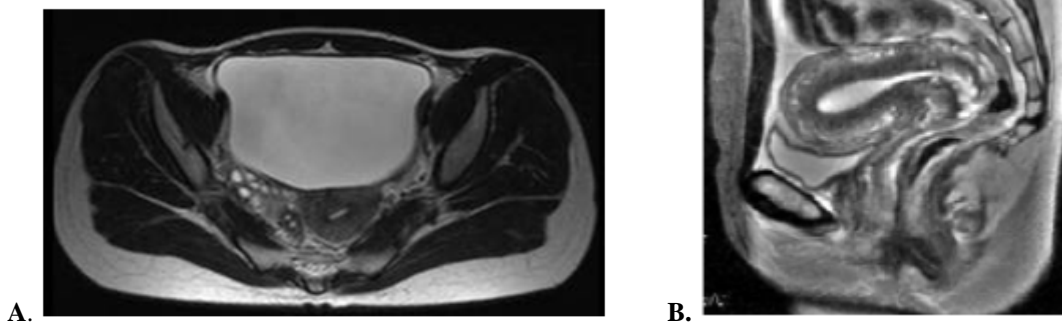


Ryc. 69. USG przezpochwowe – za zgodą Pacjentki.

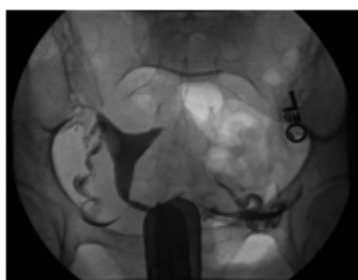


Ryc. 70 A.–B. TK miednicy. Badanie wykonano w Zakładzie Diagnostyki Obrazowej i Radiologii Zabiegowej Samodzielnego Publicznego Szpitala Klinicznego nr 6 Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach Górnośląskie Centrum Zdrowia Dziecka im. Jana Pawła II.





Ryc. 71A.–B. MR miednicy. Badanie wykonano w pracowni MR MCD „Voxel” w Bytomiu.



Ryc. 72. HSG – wykonano w Zakładzie Radiodiagnostyki i Radiologii Zabiegowej Samodzielnego Publicznego Centralnego Szpitala Klinicznego im. prof. Kornela Gibińskiego Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach.

Piśmiennictwo

1. Ayida G., Harris P., Kennedy S., Seif M., Balow D., Chamberlain P.: Hysterosalpingo-contrast sonography HyCoSy using Echowist-200 in the outpatient investigation of infertility patients. *Br. J. Radiol.* 1996; 69(826): s. 910–913.
2. Bekiesińska-Figatowska M.: Choroby macicy i przydatków. [w:] Rezonans magnetyczny i tomografia komputerowa w praktyce klinicznej. Red. J. Walecki, A. Ziemiański. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 1997: s. 392–400.
3. Bellin M.F.: MR lymphography in pelvic cancer. *Eur. Radiol.* Feb. 2000; suppl. 1, 10(2): s. 54.
4. Boss E.A., Massuger L., Pop L., Verhoef L., Huisman H.J., Boonstra J., Barentsz J.: Post-radiotherapy contrast enhancement changes in fact dynamic MRI of cervicovaginal carcinoma. Article first published online: 21 MAR 2001, DOI: 10.102/jmri. 1084, Special Issue: European Special Issue, 600–606, April 2001.
5. Guerrio S., Ajossa S., Gierada M., Virgilio B., Pilloni M., Melis G.B.: Imaging of ovaria masses: magnetic resonance imaging. *Clinical Obstetrics & Gynecology* 1991; 34(2): s. 443.
6. Hamm B.: Lymphographic agents. *Eur. Radiol.* Feb. 2000; 10(2): s. 63.
7. Kim S.H., Choi B.I., Han J.K., Kim H.D., Lee H.P., Kang S.B., Lee J.Y., Han M.C.: Preoperative staging of uterine cervical carcinoma: comparison of CT and MRI in 99 patients. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 1993; 17(4): s. 633–640.
8. Kubik-Huch R.A.: Female pelvis. *Eur. Radiol.*, Feb. 2000; suppl. 1, 10(2): s. 89.
9. Luboldt W., Krestin G.P.: Kidneys. [in:] *Abdominal and Pelvic MRI* (ed.) A. Heuck, M. Reiser. Springer-Verlag. Berlin–Heidelberg 1998: s. 149–166.
10. Manfredi R., Maresca G., Smaniotto D., Greggi S., Andrulli D., Rabitti C., Summaria V., Valentini A.L., Panici P.B., Cellini N., Marana P.: Cervical cancer response to neoadjuvant therapy: MR imaging assessment. *Radiology* 1998; 209(3): s. 819–824.
11. Prokop M., Galański M.: Spiralna i wielorzędowa tomografia komputerowa. Wyd. I. MediPage. Warszawa 2007; 20: s. 687–710.
12. Scheidler J., Heuck A.F., Steinborn M., Kimmig R., Reiser M.F.: Parametrial invasion in cervical carcinoma: evaluation of detection at MR imaging with fat suppression. *Radiology* 1998; 206(1): s. 125–129.
13. Słomko Z: *Ginekologia Polska*. t. 1–2, Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Wyd. II. Warszawa 2008.
14. Unterweger M., Marincek B., Gottstein-Aalame N., Debatin J.F., Seifert B., Oschsenbein-Imhof N., Peerucchini D., Kubik-Huch R.A.: Ultrafast MR imaging of pelvic floor continence mechanisms. *Eur. Radiol.* 2000; suppl. 1, 10(2): s. 144.

13. Diagnostyka obrazowa w położnictwie

Magdalena Machnikowska-Sokołowska, Joanna Pilch-Kowalczyk

Szkodliwe działanie promieniowania rentgenowskiego na rozwijający się zarodek i płód jest przeciwwskazaniem do stosowania badań radiologicznych w czasie ciąży. Zasadnicze znaczenie mają badania ultrasonograficzne z rozszerzaniem dostępnych opcji wielowymiarowych (3D i 4D) i dopplerowskich. Wielkim postępem jest możliwość stosowania badania MR w okresie prenatalnym. Uwidocznienie pęcherzyka ciążowego w ultrasonografii w obrębie macicy możliwe jest około 5 tygodnia ciąży*, natomiast w 7–8 tygodniu widoczny jest płód. Diagnostyka ultrasonograficzna pozostaje metodą z wyboru w obrazowaniu płodu, istnieją jednak sytuacje, w których nie dostarcza ona pełnych informacji. Wskazane jest wówczas badanie MR służące do oceny zmian, głównie w OUN: wad, guzów mózgu, zmian niedotlenieniowo-niedokrwiennych, oceny dojrzałości mózgu, oceny kręgosłupa i kanału kręgowego, wad narządowych oraz obrazowania serca płodu. Standard wg RSNA podkreśla sekwencje kinematograficzne – *cine MR*, stosowane do obserwacji ruchów płodu – jego dobrostanu, co umożliwia w czasie rzeczywistym ocenę dyskretnych ruchów kończyn, połykania, zwracania głowy oraz perystaltyki układu pokarmowego i moczowego płodu. Dodatkowo wykonuje się spektroskopię MR, aby dokonać pomiaru stężenia choliny w płynie owodniowym i płucach płodu (główny składnik surfaktantu) – oceniając dojrzałość płuc i zaburzenia rozwojowe OUN, w bardzo rzadkich przypadkach wspomagając rozpoznanie guzów mózgu u płodu.

Zaleca się przesiewowe, tj. przeprowadzane u każdej ciężarnej kobiety badanie USG, wykonywane minimum 3-krotnie podczas trwania całej ciąży, w następujących odstępach: między 11–14, około 20 oraz około 30 tygodnia ciąży. Jakość badania USG zależy od doświadczenia lekarza badającego oraz jakości aparatu. Szczegółowa i częstsza ultrasonografia wskazana jest w ciążyach podwyższonego ryzyka, a poszerzenie diagnostyki o badanie MR wskazane jest w przypadku podejrzenia wrodzonych wad rozwojowych, zwłaszcza zespołu wad wrodzonych.

Wskazania do ultrasonografii

- rozpoznanie wczesnej ciąży – ocena pęcherzyka ciążowego,
- obecność lub brak czynności serca płodu, ocena jego aktywności,
- określenie położenia płodu w macicy, wieku ciążowego, terminu porodu, wagi oraz płci płodu,
- ustalenie wieku ciąży (poprzez wymiar dwuciemienny – tzw. długość ciemieniowo-siedzeniowa (CRL), obwód główki i tułowia, długość kości udowej, uwidocznienie punktów kostnienia kości długich),
- ocena rozwoju i monitorowanie rozwoju płodu,
- rozpoznanie ciąży mnogiej i ciąży ektopowej (pozamacicznej, zaśniadu groniastego), rozpoznawanie wrodzonych wad rozwojowych płodu – wady genetyczne, np. zespół Downa – ocena przezierności karkowej do 14 tygodnia (NT) i kości nosowej (NB), wad strukturalnych,
- ocena umiejscowienia łożyska, jego dojrzałości i wydolności,
- określenie ilości płynu owodniowego,
- rozpoznawanie wewnątrzmacicznego obumarcia płodu,
- rozpoznawanie zmian patologicznych narządów rodnych u ciężarnych,
- wykluczenie rozrostów i nowotworów trofoblastu,
- nadzór w trakcie zabiegów, tj. amniopunkcja, amnioredukcja, kordocenteza i inne.

Uzupełnieniem klasycznej ultrasonografii jest badanie dopplerowskie, znakowanie przepływu kolorem, tzw. kolorowy Doppler, które jest przydatne w ocenie przepływu łożyskowego, wad serca

* w USG przezpochwowym na początku 5 tyg., w USG przezbrzusznym – pod koniec 5 lub w połowie 5–6 tyg.



płodu oraz przepływu w różnych naczyniach płodu. Ultrasonografia dopplerowska w perinatologii, wg atlasu Dubiela, jest szczególnie przydatna, gdy ciąży towarzyszy nadciśnienie, w razie hipotrofii płodu, cukrzycy typu I oraz w monitorowaniu ciąży mnogiej, najczęściej bliźniaczej. Dzięki temu badaniu można zmierzyć parametry przepływu krwi w następujących naczyniach płodu:

- tętnicy i żyły pępowinowej,
- tętnicach macicznych – ocena wzrostu oporu świadczy o pogorszeniu ukrwienia płodu,
- tętnicy środkowej mózgu – centralizacja krążenia krwi świadczy o narastającej kwasicy,
- aorcie,
- tętnicy szyjnej wewnętrznej,
- tętnicy nerkowej.

Ryzyko aberracji chromosomowej wzrasta wraz z liczbą wad rozwojowych stwierdzanych u płodu, jeśli stwierdza się 2 wady rozwojowe, ryzyko aberracji chromosomowej u dziecka wynosi średnio ok. 10%, gdy jest ich 8 lub więcej – ok. 90%.

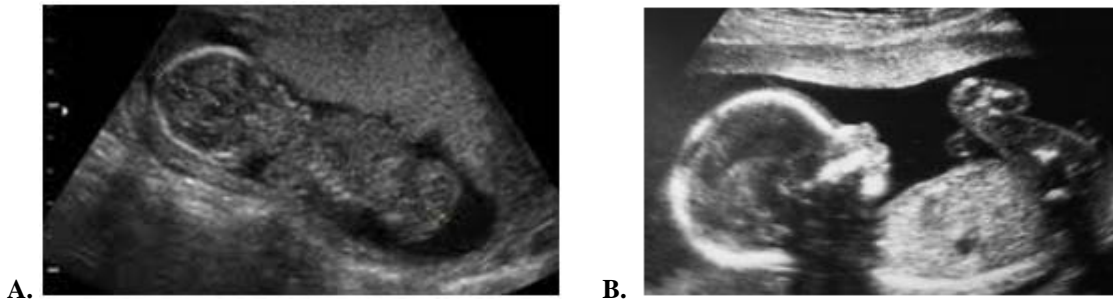
W ostatnich latach nabiera znaczenia badanie MR, które wprowadzone do praktyki klinicznej stworzyło nowe możliwości diagnostyczne w perinatologii. Nieinwazyjność metody, brak stwierdzonych dotychczas skutków ubocznych pozwalają na bezpieczne zastosowanie rezonansu magnetycznego w badaniu kobiet ciężarnych. Umożliwia ono dokładną ocenę morfologiczną narządów płodu, szczególnie mózgowia. Od czasu pierwszego doniesienia z 1983 roku, informującego o tym, że radiolodzy i ginekolodzy z Harvard Medical School w Bostonie i z Columbia Presbyterian Medical Center z Nowego Jorku opracowali nowy sposób rozpoznawania wad płodu, porównując analizę mózgu płodów w rezonansie w obrazie dwu- i trójwymiarowym, rola tej techniki gwałtownie wzrosła. Początkowo wartość metody była ograniczona warunkami technicznymi aparatury, takimi jak długi czas akwizycji obrazu, co wiązało się z licznymi artefaktami ruchów płodu, a także długim czasem badania, co próbowano zredukować przez podawanie matce leków sedatywnych, bądź stosowanie podawanego bezpośrednio do płynu owodniowego bromku pankuronium. Dzięki postępowi technicznemu czas badania został skrócony, stworzono programy umożliwiające skrócenie czasu akwizycji oraz polepszenie rozdzielczości i kontrastowości obrazu. Wykorzystanie w najnowszych aparatach MR szybkich sekwencji (np. *single-shot*) w znacznym stopniu zminimalizowało artefakty ruchowe i nie wymaga sedacji matki w celu uzyskania dobrych jakościowo obrazów. Bezpieczeństwo tej metody i brak skutków ubocznych są jej głównymi zaletami, ale przestrzega się, aby było wykonywane po pierwszym trymestrze ciąży, kiedy to wystarczające są badania ultrasonograficzne. Rezonans magnetyczny jest szczególnie użyteczny, gdy prenatalne badanie ultrasonograficzne jest utrudnione.

Wskazania do przeprowadzenia rezonansu magnetycznego płodu ulegają stopniowemu poszerzeniu, jednak nadal w większości przypadków MR wykonywany jest w następstwie zmian wykrytych w USG (lub przy utrzymujących się dolegliwościach).

Wskazania

- ocena stanu płodu, gdy USG jest niejednoznaczne z powodu małowodzia lub znacznej otyłości ciężarnej,
- ocena wad wrodzonych płodu (serca, wątroby, mózgu, rdzenia kręgowego, nerek i pęcherza moczowego),
- konieczność oceny główki płodu, która jest ułożona niewygodnie dla badającego (USG niediagnostyczne),
- przedwczesne kostnienie sklepienia czaszki,
- dokonanie pomiarów pelwimetrycznych u pacjentek z wadami miednicy,
- ocena położenia i struktury łożyska wraz z pomiarem przepływu krwi, jeśli badanie USG jest trudne do oceny.

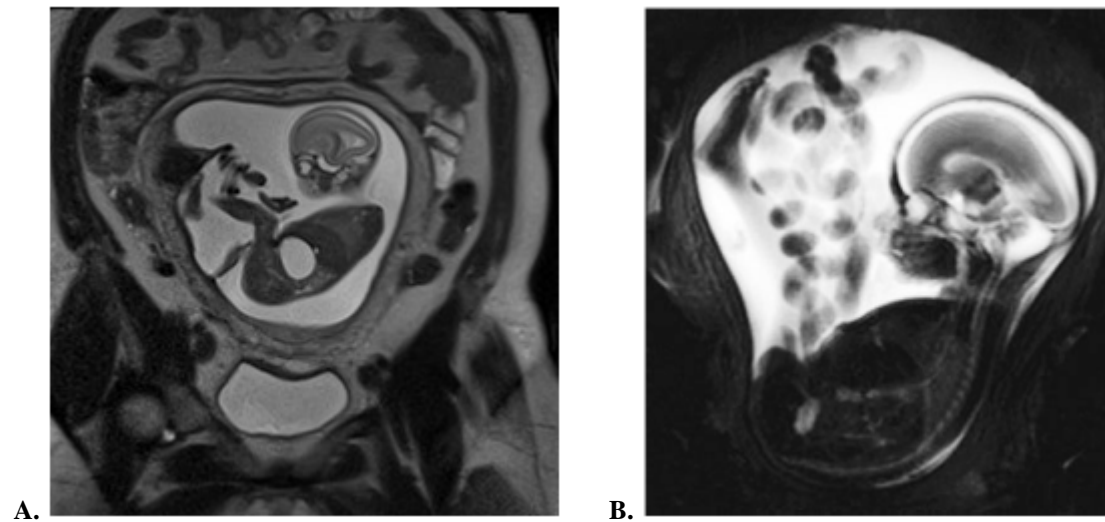




Ryc. 73 A.–B. USG płodu – za zgodą Pacjentki.



Ryc. 74. USG 4D płodu – za zgodą Pacjentki.



Ryc. 75 A.–B. MR płodu – za zgodą Pacjentki w pracowni MR MCD „Voxel” w Zabrze.

Piśmiennictwo

1. Beck W.W.: *Położnictwo i ginekologia*. Elsevier Urban & Partner. Wrocław 1995.
2. Borowska-Matwiejczuk K., Walecki J.: *Plód widziany w badaniach rezonansu magnetycznego*. OPM 2005: s. 12.
3. Burgener F.A., Mayer S.P., Tan K., Zaunbauer W.: *Diagnostyka różnicowa w obrazowaniu metodą rezonansu magnetycznego*. Med-Media. Warszawa 2009.
4. Ciesielski B., Kuziemski W.: *Obrazowanie metodą magnetycznego rezonansu w medycynie*. Oficyna Wydawnicza TUTOR. Gdańsk–Toruń 1994.
5. Kremer H., Drobiński W.: *Diagnostyka ultrasonograficzna*. Elsevier Urban & Partner. Wrocław 1996.
6. Tymińska B., Jakubowski W.: *Diagnostyka rezonansu magnetycznego w ginekologii i położnictwie – możliwości i ograniczenia metody*. *Rez. Magn. Med.* 1994; 2 (1): s. 72–78.

7. *Nicolaides K.H., Węgrzyn P.*: Badanie ultrasonograficzne między 11–13 tygodniem ciąży. Fetal Medicine Foundation. London 2004.
8. *Tarasów E., Borowska-Matwiejczuk K., Walecki J., Urban J.*: Metabolic changes in fetuses with hypoxic-ischemic injury of the CNS: a study using 1H MR spectroscopy. Polish J. Radiol. 2004; 69: s. 17–22.
9. *Walecki J., Bekesińska-Figatowska M., Ceran A.*: Zastosowanie rezonansu magnetycznego w diagnostyce chorób miednicy kobiety. *Borgio – Nowa Medycyna* 2000; 5: 62–68.
10. *Walecki J., Zawadzki M.*: Postępy w diagnostyce obrazowej w 2005 r., Zakład Radiologii Centrum Medycznego Kształcenia Podyplomowego, Centralny Szpital Kliniczny, MSWiA w Warszawie, *Medycyna Praktyczna* 2006; 07: 151–164.
11. *Zalewski J.*: Diagnostyka ultrasonograficzna w ginekologii i położnictwie. Podręcznik i atlas. T. 1: Ginekologia. Elsevier Urban & Partner. Wrocław 1998.
12. Standard diagnostyczny w perinatologii. Dostępny [on-line] www.perinatology.com [dostęp: 15.03.2012 r.].



14. Diagnostyka obrazowa gruczołów piersiowych*

Kamila Smulska

Anatomia

Gruczoł piersiowy jest narządem parzystym rozwijającym się u osobników płci żeńskiej w okresie pokwitania. Jest wyniosłością w kształcie półkuli lub stożka, która u młodych kobiet leży na wysokości od III do VII żebra na powierzchni mięśnia piersiowego większego oraz na powięzi mięśnia zębatego przedniego (jedynie niewielka część boczna gruczołu). Na szczycie sutka znajduje się ciemniej zabarwiona stożkowata lub cylindryczna wyniosłość tworząca brodawkę sutkową, która umiejscowiona jest na środku okrągłego, pigmentowanego pola nazywanego otoczką brodawki sutkowej.

Sutek jest zbudowany z tkanki gruczołowej tworzącej ciało sutka i z otaczającego je ciała tłuszczowego. Składa się z 15–20 płatów gruczołowych w kształcie stożka, podstawą skierowanego w stronę ściany klatki piersiowej. Może występować dodatkowy płatek położony częściowo w dole pachowym, zwany ogonem Spence'a. Płaty dzielą się na zraziki, a te na gronka. Najmniejszą strukturą anatomiczno-czynnościową jest końcowa jednostka przewodowo-zrazikowa (TDLU – *terminal ductolobular unit*). Od gronek i zrazików uchodzą przewody tworzące wspólny przewód mlekowy płatowy, mający ujście na brodawce sutkowej, który przed brodawką rozszerza się w zatokę mlekową o średnicy 5–8 mm. Gruczoł jest otoczony torebką z tkanki łącznej włóknistej, która wnika w jego miąższ, dzieląc płaty na płaciki. Pasma tkanki łącznej biegną od skóry do powięzi piersiowej, tworząc więzadła wieszadłowe (Coopera), które podtrzymują sutek przy ścianie klatki piersiowej. W tkance łącznej zrębu przebiegają naczynia krwionośne i limfatyczne oraz włókna nerwowe. W prawidłowych warunkach gruczoł sutkowy nie rozwija się u mężczyzn, patologiczny rozwój tkanki gruczołowej określany jest mianem ginekomastii.

Wzajemne stosunki ilościowe tkanki gruczołowej, tłuszczowej i tkanek podporowych zmieniają się w następstwie zmian hormonalnych związanych z okresem dojrzewania, cyklem miesięczkowym, ciążą, laktacją, menopauzą czy stosowaniem terapii hormonalnej, co ma odzwierciedlenie w badaniach obrazowych.

W zależności od budowy sutków wyróżnia się następujące typy:

- *Młodzięczy* – o budowie gruczołowej z brakiem lub niewielką ilością tkanki tłuszczowej. Badaniem z wyboru jest ultrasonografia, w której tkanka gruczołowa widoczna jest jako struktura hiperechogeniczna. Niedostępny badaniu mammograficznemu, ze względu na gorsze obrazowanie tkanki gruczołowej w tej metodzie, która daje obraz mniej przejrzysty, uwidaczniając struktury o wysokim pochłanianiu, niemal „nieprzejrzyste” dla promieni rentgenowskich.
- *Dojrzały* – o budowie mieszanej, wykazującej zmienność w zależności od przemian hormonalnych. Poza tkanką gruczołową zawiera różną ilość tkanki tłuszczowej, która jest zlokalizowana głównie podskórną i w okolicy zasutkowej oraz wnika pomiędzy zraziki gruczołowe. Im większa ilość tkanki tłuszczowej, tym obraz mammograficzny staje się bardziej przejrzysty.
- *Inwolucyjny* (pomenopauzalny) – o budowie tłuszczowej. Tkanka gruczołowa stopniowo zanika i zastępowana jest przez tkankę tłuszczową poprzedzielaną przegrodami łącznotkankowymi (hiperechogeniczne pasma w USG na tle hipoechogenicznej tkanki tłuszczowej), aż do całkowitej dystrofii tkanki tłuszczowej w sutku. Utkanie gruczołowe najdłużej utrzymuje się w kwadrantach

* Zdjęcia z USG i mammografii zamieszczone w tym rozdziale pochodzą z badań wykonanych w Zakładzie Radiodiagnostyki i Radiologii Zabiegowej Samodzielnego Publicznego Centralnego Szpitala Klinicznego im. prof. Kornela Gibińskiego Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach.

Zdjęcia z rezonansu magnetycznego zamieszczone w tym rozdziale pochodzą z badań wykonanych w Samodzielnej Pracowni Diagnostyki Obrazowej „Tomograf” Sp. z o.o. w Tychach.



górnno-zewnętrznych sutków. Ze względu na przejrzysty obraz radiologiczny tkanki tłuszczowej najbardziej czułą metodą diagnostyczną dla sutków inwolucyjnych jest mammografia.

- *Występujący w okresie ciąży i laktacji* – charakteryzuje się znacznym wzrostem objętości tkanki gruczołowej, w obrębie której dobrze widoczne są poszerzone przewody mlekowe.

METODY OBRAZOWANIA

1. Mammografia konwencjonalna

Ta podstawowa metoda radiologiczna wykrywania klinicznie bezobjawowego raka sutka jest wystandaryzowanym badaniem, które jako jedyne jest stosowane w badaniach skriningowych. Metoda ta posiada zdecydowaną przewagę w obrazowaniu mikrozwapnień, które mogą być pierwszym objawem wczesnego raka oraz umożliwia wykrycie zmian wielkości 5 mm. Stanowi metodę z wyboru w diagnostyce sutków dojrzałych kobiet.

W mammografii wykorzystuje się różnicę pochłaniania rentgenowskiego pomiędzy tkankami wchodzącymi w skład sutka. Ze względu na zwiększone pochłanianie promieniowania przez tkankę gruczołową, mammografia ma ograniczone zastosowanie w obrazowaniu sutków o „gęstym” utkanu gruczołowym, dlatego nie zaleca się jej wykonywania u kobiet poniżej 35 roku życia.

Do badania używa się aparatów rentgenowskich, w których użycie niskiego napięcia (25–31 kV) pozwala na uzyskanie promieniowania miękkiego. Wyposażone są one w funkcję automatycznego doboru wartości mAs, dzięki czemu możliwe jest odróżnienie rodzaju tkanek miękkich oraz uwidocznienie mikrozwapnień. W skład każdego analogowego aparatu mammograficznego wchodzi m.in.: anoda molibdenowa z filtrami molibdenowym i rodowym, dwa ogniska lampy nie większe niż 0,1 mm i 0,3 mm dla odległości SID = 60 cm, kratki przeciwrozproszeniowe i filmy mammograficzne.

Rutynowe badanie ogranicza się do wykonania zdjęć każdego sutka w dwóch projekcjach: skośnej (MLO) i kranio-kaudalnej (CC), z kompresją przy użyciu wyprofilowanej płytki uciskowej. Pozwala to na unieruchomienie i równomierne rozłożenie sutka, co skutkuje zmniejszeniem nieostrości, poprawą kontrastu i zmniejszeniem dawki promieniowania. W przypadku stwierdzenia nieprawidłowości na zdjęciach standardowych, badanie należy poszerzyć o projekcje dodatkowe lub inne badania obrazowe (najczęściej USG jako metoda uzupełniająca mammografię). Do oceny zdjęć należy używać wyłącznie dedykowanych do mammografii negatoskopów żaluzjowych.

Dzięki wyposażeniu aparatów mammograficznych w specjalne przystawki oraz oprogramowanie, możliwe jest wykonywanie pod kontrolą mammografii inwazyjnych procedur diagnostycznych, takich jak biopsje (biopsja aspiracyjna cienkoigłowa, stereotaktyczna biopsja aspiracyjna cienkoigłowa, gruboigłowa lub mammotomiczna) oraz przedoperacyjna lokalizacja zmiany poprzez wprowadzanie w jej okolicę metalowych kotwiczek.

Wskazania

- ocena sutków u kobiet po 35 roku życia,
- badanie skriningowe u kobiet w wieku 50–69 lat, mające na celu wykrycie raka piersi w fazie przedklinicznej, gdy nie jest on jeszcze wyczuwalny palpacyjnie,
- podejrzenie procesu złośliwego,
- podejrzenie procesu o charakterze łagodnym w celu dokładnej diagnostyki oraz wykluczenia obecności zmiany subklinicznej przed podjęciem leczenia zachowawczego,
- wykrycie wznowy,
- wyciek z brodawki sutkowej,
- konieczność dokładnego zlokalizowania zmian przed przewidywanym zabiegiem chirurgicznym,
- ocena skuteczności zabiegu oszczędzającego,
- kontrola po leczeniu operacyjnym, chemo- i radioterapii,
- kontrola przed planowaną hormonalną terapią zastępczą.



Przeciwwskazania

- ciąża,
- wiek poniżej 35 roku życia, jeśli nie ma jest ściśle określonych wskazań – zwykle jest to metoda stosowana u młodych kobiet o dużym biuście, ze znaczną komponentą tkanki tłuszczowej, u których USG może być nieskuteczne w ocenie głębiej położonych części gruczołów piersiowych.
- należy unikać wykonywania mammografii w drugiej połowie cyklu miesięczkowego, u kobiet, u których zaistniała możliwość zapłodnienia oraz występuje tkliwość gruczołów piersiowych uniemożliwiająca właściwą kompresję.

2. Kseromammografia

Metoda wykorzystująca inny rodzaj detektora promieniowania rentgenowskiego niż w klasycznej mammografii. Opiera się na zjawisku przewodnictwa świetlnego w półprzewodniku (selenie), które zachodzi pod wpływem promieniowania rentgenowskiego. Za pomocą rozpylonego naładowanego elektrostatycznie proszku uwidacznia się obraz, który następnie przenosi się na papier i utrwała.

Zaletą kseromammografii jest możliwość uwidocznienia na zdjęciach w projekcji bocznej całego sutka wraz ze ścianą klatki piersiowej oraz dołów pachowych. Pozwala ona również na wykrywanie zmian wielkości od 3 mm oraz dobre obrazowanie mikrozwapnień.

Do wad metody należy zaliczyć znacznie wyższą niż w mammografii klasycznej dawkę promieniowania, możliwość pojawienia się artefaktów w czasie obróbki płyty kserograficznej i wysokie koszty badania.

3. Mammografia cyfrowa

Metoda polega na otrzymywaniu obrazów w formie cyfrowej dzięki obecności detektorów promieniowania RTG i elementów generujących obraz w postaci elektronicznej. Pozwala na uzyskanie obrazów o znacznie lepszej jakości niż w mammografii konwencjonalnej.

Do zalet metody zalicza się:

- większą rozdzielczość kontrastową,
- możliwość wtórnej obróbki obrazu cyfrowego, m.in. regulację jasności i kontrastu, powiększanie fragmentów obrazu czy jego filtrację,
- potencjalną możliwość redukcji dawki promieniowania,
- wyeliminowanie tradycyjnego systemu obróbki fotochemicznej zdjęć,
- elektroniczną archiwizację,
- możliwość pracy w systemie teleradiologii.

4. Galaktografia – ductografia

Metoda pozwalająca na wykrycie oraz określenie wielkości i dokładnej lokalizacji zmian patologicznych w obrębie przewodów mlekowych. Wskazaniem do jej wykonania jest samoistny wyciek z brodawki sutkowej. Polega na wprowadzeniu do ujścia przewodu mlekowego igły do limfografii lub sondy galaktograficznej i podaniu 0,8–3 ml środka cieniującego. Następnie wykonuje się dokumentację zdjęciową: zdjęcia obu piersi w projekcji kraniokaudalnej i bocznej oraz celowane w tych projekcjach.

5. Pneumocystografia

Polega na nakłuciu i opróżnieniu torbieli z płynu (który po odwirowaniu przesyła się do badania cytologicznego) oraz zastąpieniu go powietrzem, a następnie wykonaniu zdjęć mammograficznych w dwóch standardowych projekcjach. Pneumocystografia pozwala na dokładną ocenę wewnętrznej ściany torbieli oraz ewentualnej nieprawidłowej zmiany rozrostowej wpuklającej się do jej wnętrza. Obecnie badanie nie jest prawie wcale wykonywane, gdyż opróżnianie torbieli przeprowadza się pod kontrolą USG.



6. Ultrasonografia – sonomammografia

Wykonuje się ją głowicami liniowymi o częstotliwości 5–12 MHz, średnio 7–7,5 MHz. Zalecana długość czoła głowicy mieści się w zakresie 60–80 mm, przy czym dopuszczalne jest użycie krótszych głowic liniowych (40 mm). Diagnostyka za pomocą USG zawsze musi być poprzedzona badaniem podmiotowym i przedmiotowym pacjentki. W celu oceny skóry i tkanki podskórnej oraz sutków małych rozmiarów przydatne jest użycie żelowych nakładek dystansujących.

W badaniu stosuje się technikę radialną, która wynika z budowy anatomicznej sutków. Głowicę należy przyłożyć wzdłuż długiej osi płaata gruczołowego i następnie, pamiętając o promienistym układzie płatów, przesuwając ją zgodnie z ruchem wskazówek zegara, co zapewnia dobrą ocenę wszystkich struktur anatomicznych, łącznie z przewodami mlekowymi. Głowicę należy trzymać w taki sposób, aby jednocześnie dotykać skóry opuszkami palców, co pozwala na jednoczesne badanie palpacyjne. USG jest badaniem dynamicznym, w którym stosuje się kontrolowany ucisk tkanek sutka w celu oceny ich elastyczności oraz zmian położenia. Ucisk pomocny jest także w wyeliminowaniu cienia akustycznego znajdującego się za brodawką sutkową, który spowodowany jest przez gęstą tkankę łączną brodawki i przewodów mlekowych. Ultrasonografia daje również możliwość oceny unaczynienia tkanek sutka i zmian patologicznych w kolorowym dopplerze lub dopplerze mocy.

Każdą zmianę patologiczną należy uwidocznić minimum w dwóch prostopadłych do siebie projekcjach oraz wykonać dokumentację zdjęciową. Badanie USG powinno także obejmować doły pachowe (piętro górne, środkowe i dolne) oraz doły nad- i podobojczykowe.

Wskazania

- ocena sutków u kobiet poniżej 35 roku życia,
- ocena sutków w okresie ciąży i laktacji,
- obecność wyczuwalnych palpacyjnie guzków i zgrubień w piersiach,
- dodatkowa ocena zmian o niejasnym charakterze widocznych w mammografii,
- różnicowanie zmian litych i płynowych,
- ocena palpacyjnie wyczuwalnej zmiany u kobiet z gęstymi sutkami przy niediagnostycznym obrazie mammograficznym,
- zmiany, które ze względu na lokalizację nie zostały w pełni uwidocznione w badaniu mammograficznym (np. położone przy ścianie klatki piersiowej),
- nasilona dysplazja torbielowato-włóknista,
- ocena sutków po wszczępieniu implantów,
- kontrola po operacjach oszczędzających i radioterapii,
- kontrola blizny, ściany klatki piersiowej i dołów pachowych po mastektomii,
- celowane pobieranie materiału do badania cytologicznego i histopatologicznego,
- monitorowanie w trakcie terapii hormonalnej,
- kliniczne objawy zapalenia sutka, zwłaszcza podejrzenie ropnia,
- wyciek z brodawki sutkowej (ocena przewodów mlekowych),
- ocena sutków po urazach,
- badanie z wyboru u dzieci i mężczyzn.

Przeciwwskazania: brak

Do niedogodności badania należą

- mniejsza czułość podczas badania sutków z dużą ilością tkanki tłuszczowej,
- ograniczenia w uwidocznieniu mikrozwąpień,
- wynik zależy od umiejętności wykonującego badanie.

Pomimo wielu zalet oraz dużej dostępności sonomammografia nie została zastosowana w badaniach skriningowych.

7. Elastografia

Zmodyfikowana metoda ultrasonograficzna, w której wykorzystuje się ocenę podstawowych właściwości mechanicznych tkanek. Na podstawie oceny ściśliwości tkanek generowane są obrazy



w kolorze, przy czym odpowiednie wzorce przypisane są zmianom łagodnym i złośliwym, co znacznie poprawia skuteczność metody w wykrywaniu nowotworów piersi.

Dzięki bardziej precyzyjnemu określeniu charakteru zmiany możliwe jest zmniejszenie liczby zbytecznych biopsji piersi. Elastografia umożliwia także dokładniejszą ocenę wielkości zmiany, która jest przeważnie zaniżana w USG. Metoda ta dostarcza również informacji o budowie piersi, dlatego może być stosowana jako badanie dodatkowe, wykonywane po stwierdzeniu nieprawidłowego obrazu w mammografii.

8. Rezonans magnetyczny

Najbardziej czuła metoda wykrywania zmian nowotworowych piersi. Do jej zalet należy brak wykorzystania promieniowania jonizującego oraz dobre obrazowanie sutków o gęstym utkananiu. Do badań wykorzystuje się aparaty o natężeniu pola minimum 1 T posiadające cewkę dedykowaną, umożliwiającą badanie obu piersi jednocześnie. Badanie wykonuje się w pozycji leżącej na brzuchu, co pozwala uniknąć poruszania się piersi w trakcie oddychania.

Rutynowo stosuje się sekwencje T1 i T2-zależne bez i z saturacją tłuszczu, w projekcjach poprzecznych, wieńcowych i strzałkowych, co w przypadku obrazowania zmian położonych w pobliżu ściany klatki piersiowej lub w okolicy pachowej po stronie lewej pozwala uniknąć nakładania się artefaktów sercowych. Następnie wykonuje się badanie dynamiczne po dożylnym podaniu środka kontrastowego (gadolin) w dawce 0,1–0,2 ml/kg masy ciała, z prędkością około 3–3,5 ml/s. Grubość obrazowanej warstwy nie powinna przekraczać 4 mm, optymalnie 2 mm z rozdzielczością w płaszczyźnie wynoszącą 1 mm lub mniej.

Najistotniejszym ocenianym parametrem jest stopień wzmocnienia poszczególnych tkanek, gdyż w większości raków inwazyjnych obserwuje się typowe krzywe z szybkim i intensywnym wzmocnieniem po upływie 1–2 minut od początku podawania kontrastu.

Rezonans magnetyczny gruczołów sutkowych należy wykonywać:

- pomiędzy 6. a 16. dniem cyklu miesięczkowego,
- minimum 6 miesięcy od zabiegu chirurgicznego i radioterapii piersi,
- po odstawieniu stosowanych środków hormonalnych (minimum na 4 tygodnie przed badaniem).

Pod kontrolą rezonansu magnetycznego mogą być wykonywane takie zabiegi interwencyjne, jak: biopsje przezskórne, zakładanie igieł lokalizacyjnych lub znaczników, jednak jeśli jest możliwe uwidocznienie zmiany w USG lub mammografii, zaleca się, aby je wykonać pod kontrolą jednej z tych metod, znacznie bardziej dostępnych niż MR.

Wskazania

- badanie przesiewowe u kobiet z wysokim ryzykiem raka piersi (w przypadku mutacji genu BRCA 1 i BRCA 2,
- radioterapia klatki piersiowej pomiędzy 10 a 30 rokiem życia,
- monitorowanie wyników neoadjuwantowej terapii hormonalnej lub chemioterapii,
- przed planowanym leczeniem oszczędzającym, w celu dokładnego określenia rozmiarów guza, wykluczenia wieloogniskowości i wielośrodkowości,
- kontrola po leczeniu oszczędzającym raka piersi,
- przerzuty do węzłów chłonnych pachowych, kiedy ognisko pierwotne podejrzewane jest w piersiach przy ujemnych wynikach USG i mammografii,
- krwisty wyciek z brodawki przy ujemnych wynikach USG i mammografii,
- określenie stopnia zaawansowania nowotworu przy zajęciu ściany klatki piersiowej, gdy nie ma możliwości oceny na podstawie badania USG lub mammograficznego,
- podejrzenie uszkodzenia protezy piersi lub innych powikłań związanych z założeniem implantów.

Do wskazań nie należy:

- potwierdzenie zmiany uwidocznionej w ultrasonografii i mammografii,
- diagnostyka pogłębiona „gęstych” piersi gruczołowych,
- diagnostyka pogłębiona podejrzanych mikrozwapnień,
- różnicowanie stanów zapalnych i nowotworów.



Przeciwwskazania: ogólne jak do wykonania rezonansu magnetycznego.

Do innych technik wykorzystywanych w diagnostyce sutków, niestosowanych obecnie jeszcze rutynowo ze względu na małą dostępność i wysoki koszt badania, z których część jest przeprowadzana jedynie w ramach badań klinicznych, należą:

- Pozytonowa tomografia emisyjna (PET) – badanie z zastosowaniem radiofarmaceutyku fluorodeoksyglukozy, wykonywane w celu wykrywania zmian przerzutowych w węzłach chłonnych pachowych i przerzutów odległych oraz rozpoznawania nawrotów choroby.
- Spektroskopia protonowa rezonansu magnetycznego (MRS) – badanie polegające na ocenie metabolitów piersi, z których decydującym jest cholina, gdyż podwyższenie jej poziomu stwierdza się w zmianach złośliwych. Stosuje się w nim technikę z saturacją tłuszczu i wody. Pozwala na różnicowanie zmian złośliwych i łagodnych.
- Mammoscintygrafia – badanie oceniające wychwyty radioizotopu ^{99m}Tc MIBI, przydatne w różnicowaniu pomiędzy zmianami łagodnymi i złośliwymi, w wykrywaniu nieprawidłowych węzłów chłonnych (ograniczona swoistość dla węzłów przerzutowych) oraz w wykluczeniu wznowy miejscowej po operacji raka sutka (różnicowanie z blizną i zmianami po radioterapii).

Tabela IX. Zastosowanie metod obrazowych w diagnostyce wybranych chorób gruczołów piersiowych

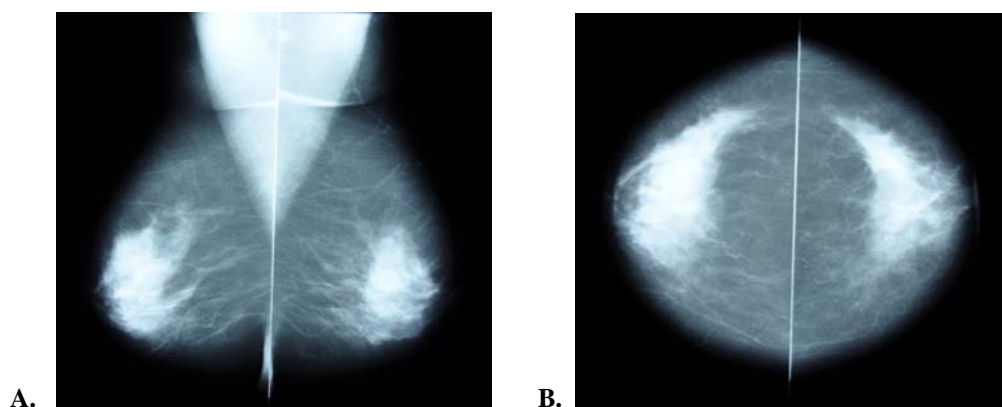
Zagadnienie kliniczne	Metoda	Uwagi
1	2	3
Badanie przesiewowe u kobiet bez objawów klinicznych przed 40 rokiem życia	USG	Mammografia nie jest wskazana ze względu na zmniejszoną czułość w sutkach gruczołowych u młodych kobiet oraz rzadkie występowanie raka w tej grupie wiekowej.
Badanie przesiewowe u kobiet bez objawów klinicznych w wieku 40–49 lat	Mammografia, USG	USG jako badanie uzupełniające u kobiet z piersiami o gęstym utkaniu gruczołowym.
Badanie przesiewowe u kobiet bez objawów klinicznych po 50 roku życia	Mammografia	Program skriningowy wczesnego wykrywania raka piersi obejmuje kobiety w wieku 50–69 lat, badania wykonywane są co 2 lata.
Pacjentki z grupy wysokiego ryzyka	Mammografia, USG	Przed 35 r.ż.: USG, mammografia przy ściśle określonych wskazaniach; po 35 r.ż.: mammografia, USG jako badanie uzupełniające.
Rak sutka w wywiadzie rodzinnym	Mammografia, USG	Przy wysokim ryzyku raka piersi (mutacja genu BRCA 1 i BRCA 2) rezonans magnetyczny.
Przed i w trakcie hormonalnej terapii zastępczej	Mammografia	Do 50 r.ż. co dwa lata, po 50 r.ż. raz do roku. USG jako metoda uzupełniająca przy gęstych sutkach gruczołowych.
Protezy silikonowe	Mammografia, USG, MR	Mammografia jako metoda rutynowa w badaniach przesiewowych z zastosowaniem odpowiedniej techniki badania piersi z implantami. MR przy podejrzeniu uszkodzenia protezy lub powikłań pozabiegowych.
Kliniczne podejrzenie raka	Mammografia, USG, MR, mammoscintygrafia	Mammografia – w celu wykrycia zmiany i planowania postępowania przedoperacyjnego, negatywna mammografia nie wyklucza raka, wyniki muszą być konfrontowane z badaniami klinicznymi. USG – ocena sutków gruczołowych u młodych kobiet, różnicowanie torbieli i guzów litych. MR – przy obecności przerzutów w węzłach chłonnych pachowych, gdy nie uwidoczniło ogniska pierwotnego w piersiach w innych metodach. Mammoscintygrafia – ocena rozległości procesu nowotworowego (m.in. wykrycie nieprawidłowych węzłów chłonnych) oraz różnicowanie zmian złośliwych i łagodnych.



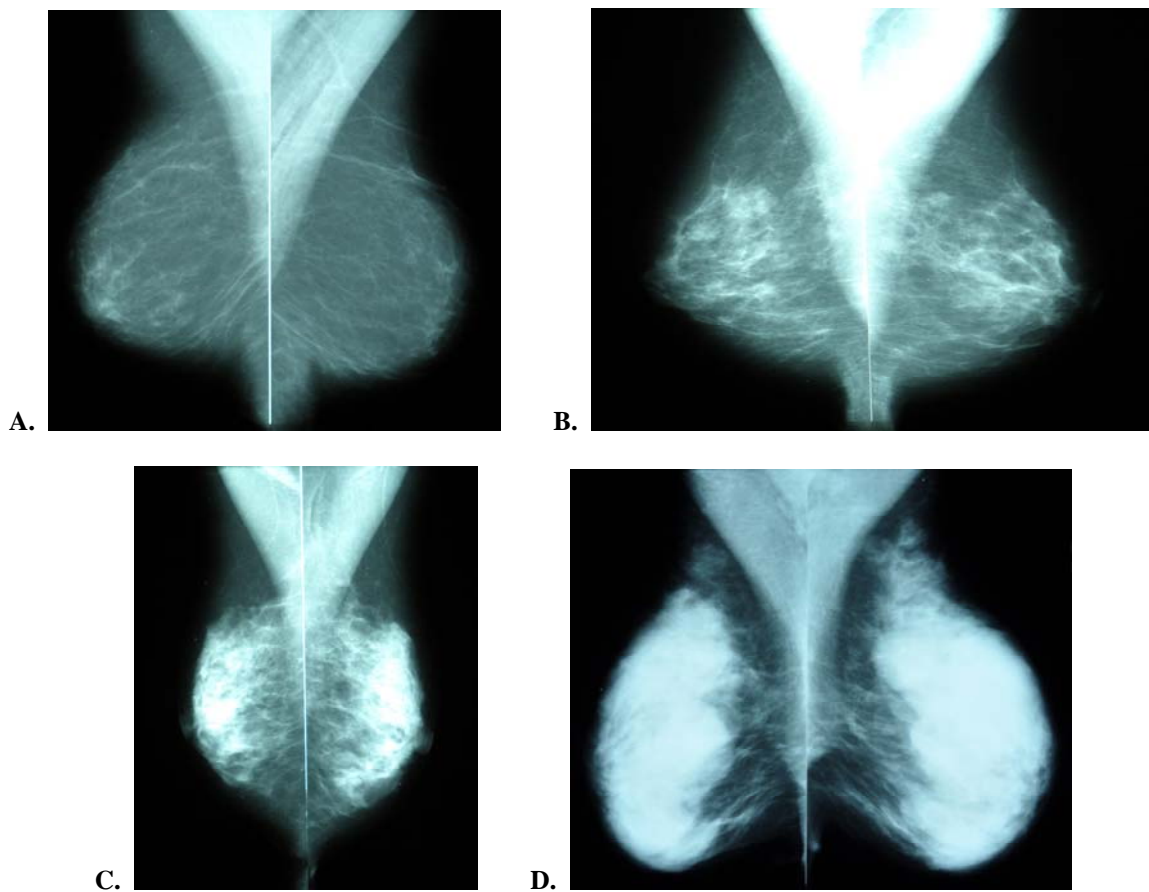
1	2	3
Palpacyjnie wyczuwalny guz	Mammografia, USG	Mammografia po 35 r.ż., USG przed 35 r.ż oraz u kobiet starszych z gęstymi sutkami, u których nie uwidoczniło zmiany w mammografii.
Zapalenie sutków	USG	Różnicowanie ropnia i rozlanych zmian zapalnych oraz możliwość drenażu ropnia po kontrolą USG.
Kontrola po operacyjnym leczeniu raka	Mammografia, USG, MR, PET, mammoscintygrafia	MR – po operacjach oszczędzających, PET, mammoscintygrafia – wykluczenie wznowy.

Kategorie BI-RADS

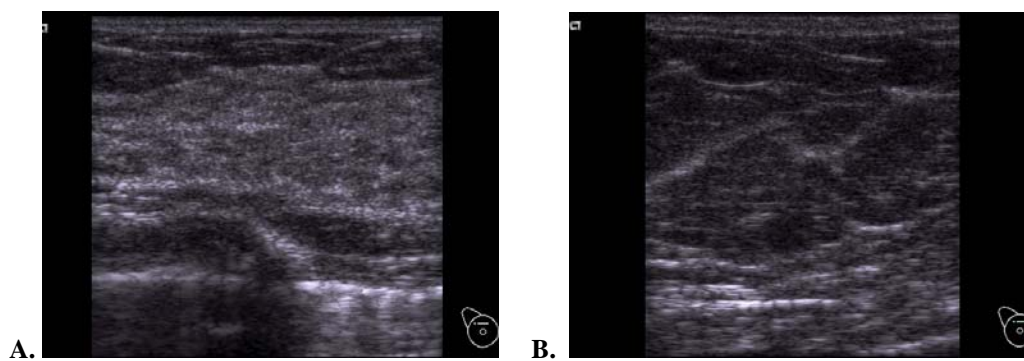
- 0 – wymaga dodatkowych badań obrazowych i/lub porównania z badaniami poprzednimi,
 1 – norma,
 2 – zmiana łagodna,
 3 – zmiana prawdopodobnie łagodna, krótkoterminowa kontrola,
 4 – zmiana podejrzana, dalsza diagnostyka, biopsja,
 5 – zmiana o wysokim prawdopodobieństwie złośliwości, konsultacja onkologiczna i weryfikacja mikroskopowa,
 6 – rak potwierdzony – nie dotyczy skryningu.



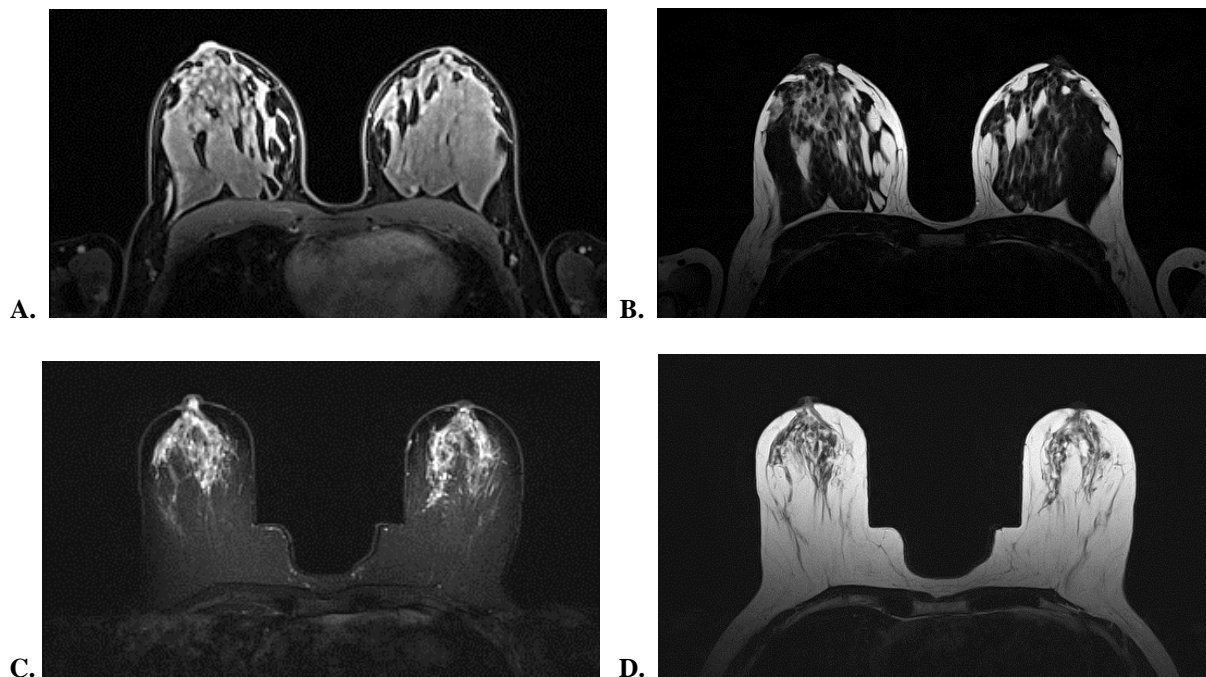
Ryc. 76. Mammografia. A. – projekcja skośna (MLO). B. – projekcja kranio-kaudalna (CC).



Ryc. 77. Różne typów budowy piersi w mammografii. A. – piersi tłuszczowe. B. – piersi tłuszczowo-gruczolowe. C. – piersi gruczolowo-tłuszczowe. D – piersi gruczolowe.



Ryc. 78. USG. A. – piersi o strukturze gruczolowej. B. – piersi o strukturze tłuszczowej.



Ryc. 79. Rezonans magnetyczny. A. – piersi o budowie gruczołowej, sekwencja T1 po dożylnym podaniu środka kontrastowego. B. – piersi o budowie gruczołowej, sekwencja T2 TSE. C. – piersi o budowie tłuszczowej, sekwencja T2 SPAIR. D. – piersi o budowie tłuszczowej sekwencja T2 TSE.

Piśmiennictwo

1. Dziukowa J., Wesółowska E.: Mammografia w diagnostyce raka sutka. MediPage. Warszawa 2006.
2. Jakubowski W.: BIRADS w badaniach sonomammograficznych. Roztoczańska Szkoła Ultrasonografii, Warszawa-Zamość 2009.
3. Jakubowski W.: Standardy badań USG Polskiego Towarzystwa Ultrasonograficznego. Oficyna Poligraficzna APLA S.J.S. Warszawa-Zamość 2008.
4. Leught W.: Atlas ultrasonograficzny sutka. Elsevier Urban & Partner. Wrocław 1998.
5. Oestman J.: Radiologia kliniczna – zaczynamy. MediPage. Warszawa 2007.
6. Procedury diagnostyczne w radiologii. Polskie Lekarskie Towarzystwo Radiologiczne. www.polradiologia.org [dostęp: 15.03.2012 r.].
7. Runge V.M.: Rezonans magnetyczny w praktyce klinicznej. Elsevier Urban & Partner. Wrocław 2007.
8. Sokółowska-Pituchowa J.: Anatomia człowieka. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 2003.
9. Tabar L., Tot T., Dean P.B.: Rak piersi. Wczesne wykrywanie przy użyciu mammografii. MediPage. Warszawa 2010.

15. Diagnostyka obrazowa gruczołów wydzielania wewnętrznego*

Anna Barczyk-Gutkowska, Joanna Pilch-Kowalczyk, Stanisław Nowak, Krystian Rudzki

Nadnercza

Parzysty gruczoł nadnerczowy jest położony obustronnie nad górnymi biegunami nerek w przestrzeni zaotrzewnowej. Prawy gruczoł leży między odnogą przepony, prawym płatem wątroby i za żyłą główną dolną. Lewe nadnercze znajduje się przyśrodkowo od górnego bieguna nerki, za ogonem trzustki i naczyniami śledzionowymi. Nadnercza mogą mieć kształt trójkątny, linijny, odwróconej litery V lub Y. Przeciętne wymiary tego gruczołu, to: długość 3–5 cm, szerokość 2–3 cm, grubość 5 mm.

Metody obrazowania nadnerczy

U dzieci dobrą metodą przesiewową jest ultrasonografia. U dorosłych najczęściej metodą z wyboru jest tomografia komputerowa, rzadziej rezonans magnetyczny ze względu na mniejszą dostępność, wyższy koszt i mniejszą rozdzielczość przestrzenną tej metody. Bardzo rzadko stosowana jest arteriografia, najczęściej jako wstęp do embolizacji bogato unaczynionego guza, w celach wyłącznie diagnostycznych, obecnie nie jest stosowana. Wenografia i urografia obecnie nie są stosowane w diagnostyce nadnerczy.

Ultrasonografia

Metoda z wyboru u noworodków, szczególnie w przypadku podejrzenia poporodowego krwawienia do nadnerczy spowodowanego przejściowym niedotlenieniem lub urazem okołoporodowym. Umożliwia postawienie rozpoznania i monitorowanie wchłaniania się krwiaka.

U osób dorosłych badanie USG nadnerczy może być trudne technicznie ze względu na małe rozmiary narządu. Dopiero obecność patologii powodujących powiększenie (zmiany powyżej 1 cm) mogą pozwolić na uwidocznienie nadnercza.

Tomografia komputerowa

Technika wykonania badania: pacjent zgłasza się na czczo, po wypełnieniu przewodu pokarmowego podanym doustnie roztworem środka cieniującego. Skanowanie jamy brzusznej wykonuje się przed, a następnie po dożylnym podaniu środka cieniującego. W celu różnicowania łagodnych gruczołaków nadnerczy od zmian złośliwych, zaleca się ocenę współczynnika osłabienia promieniowania w obrazach bez wzmocnienia oraz zastosowanie badania dynamicznego, to jest ocenę stopnia wzmocnienia gruczołu w fazie żylna-wrotnej i prędkości „wypłukiwania” środka cieniującego w fazie opóźnionej (po 10 minutach).

Wskazania

- podejrzenie obecności przerzutów do nadnerczy (nowotwory płuc, sutka, nerki i przewodu pokarmowego),

* Zdjęcia z TK i USG zamieszczone w tym rozdziale pochodzą z badań wykonanych w Zakładzie Radiodiagnostyki i Radiologii Zabiegowej Samodzielnego Publicznego Centralnego Szpitala Klinicznego im. prof. Kornela Gibińskiego Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach.

Zdjęcia z rezonansu magnetycznego pochodzą z badań wykonanych w Samodzielnej Pracowni Diagnostyki obrazowej „Tomograf” Sp. z o.o. w Tychach.



- guz hormonalnie czynny, np. guz chromochłonny,
- pierwotny guz nadnerczy,
- wylew do nadnerczy, u dorosłych głównie po urazie lub w trakcie zapalenia gruczołu,
- zespoły endokrynologiczne spowodowane np. przerostem nadnerczy lub hormonalnie czynnym gruczolakiem.

Rezonans magnetyczny

Technika badania: zwykle w płaszczyznach poprzecznych i czołowych warstwami grubości od 5–8 mm, standardowo stosuje się obrazowanie T1 i T2-zależne oraz T1-zależne po zastosowaniu środka kontrastowego podanego dożylnie (związki gadolinu). Dodatkowe sekwencje z saturacją tłuszczu i przesunięcia chemicznego w fazie i przeciwfazie ułatwiają diagnostykę różnicową zmian łagodnych od złośliwych.

Zalety rezonansu magnetycznego:

- nie wymaga podania jodowych środków cieniujących – ważne u pacjentów z wywiadem uczuleniowym,
- nie naraża pacjentów na promieniowanie jonizujące.

Wskazania pokrywają się z tymi, które dotyczą badania TK, ale MR jest szczególnie zalecane dla następujących pacjentów:

- dzieci i młodzi dorośli,
- pacjenci uczuleni na kontrasty jodowe, stosowane w TK,
- z wykrytym we wcześniejszym badaniu guzem nadnercza, w celu różnicowania między łagodnym gruczolakiem a zmianą złośliwą jako alternatywa dla dynamicznego badania TK,
- z podejrzeniem guza chromochłonnego nadnerczy,
- z rakiem nadnerczy – ocena przedoperacyjna,
- z podejrzeniem krwawienia do nadnerczy – możliwość zróżnicowania na podstawie zmian intensywności sygnału przebytego krwawienia od aktualnego.

Dodatkową zaletą jest to, że badanie MR daje możliwość zidentyfikowania towarzyszącego guzom nadnerczy czopu nowotworowego w świetle dużych naczyń.

Scyntygrafia rdzenia nadnerczy

W istocie rdzennej nadnerczy gromadzi się metajodobenzylguanidyna (MIBG), którą można znakować radioizotopami jodu: I-131 lub I-123. Związek ten, będący analogiem norepinefryny (noradrenaliny), jest magazynowany w pęcherzykach presynaptycznych nerwów układu sympatycznego. U zdrowego człowieka rdzeń nadnerczy po podaniu [I-131]-MIBG nie uwidacznia się lub wysyca się bardzo słabo. Gromadzenie radiofarmaceutyku stwierdza się natomiast przy przeroście rdzenia nadnerczy oraz w guzie chromochłonnym oraz w niektórych innych guzach, np. *paraganglioma*. Lokalizacja *pheochromocytoma* za pomocą [I-131]-MIBG okazała się szczególnie przydatna przy pozanadnerczowym położeniu guza oraz w różnicowaniu pomiędzy jego łagodną a złośliwą odmianą.

Tarczycy i przytarczycy

Tarczycy położona jest przednio-bocznie w stosunku do tchawicy i krtani, gruczoł tarczowy składa się najczęściej z dwóch płatów (często nieznacznie asymetrycznych), połączonych cieśnią. Średni wymiar płatów wynosi około 5 x 2 x 2 cm. Cieśń ma grubość do 5 mm. Dwie pary przytarczyc przylegają do tylnej powierzchni płatów tarczycy, ze względu na małe rozmiary prawidłowych gruczołów przytarczycznych (około 5 x 3 mm) ich uwidocznienie jest trudne. W większości przypadków powiększone przytarczycy są uwidaczniane poniżej płatów tarczycy, między tchawicą a powięzią szyjną.

W diagnostyce obrazowej tarczycy i przytarczyc największą rolę odgrywiają ultrasonografia i badania izotopowe.



Ultrasonografia

Technika wykonania badania: wykonuje się je u pacjenta leżącego na plecach, głowicą o wysokiej częstotliwości (5–10 MHz) ocenia się przekroje poprzeczne i podłużne narządu oraz ewentualny wpływ powiększonej tarczycy na sąsiednie struktury (tchawicę, przełyk, duże naczynia szyi). Badanie USG jest czułą metodą wykrywania zmian ogniskowych w tarczycy, należy jednak pamiętać, że możliwości różnicowania zmian łagodnych od złośliwych są ograniczone. Przydatne może być badanie z opcją dopplerowską, pozwalające na ocenę stopnia unaczynienia zmiany. W trakcie badania tarczycy należy zwrócić uwagę na cechy powiększenia przytarczyc.

Wskazania do USG tarczycy

- zaburzenia czynnościowe – objawy niedoczynności i nadczynności gruczołu,
- wyczuwalne podczas badania fizykalnego: guzki w miększu gruczołu, powiększenie tarczycy (wole),
- podejrzenie zapalenia gruczołu,
- wykonanie pod kontrolą USG biopsji zdiagnozowanej wcześniej zmiany,
- jako badanie uzupełniające do scyntygrafii tarczycy,
- pacjenci z grupy ryzyka rozwoju raka tarczycy.

Wskazaniem do badania USG przytarczyc jest podejrzenie pierwotnej lub wtórnej nadczynności gruczołów.

Tomografia komputerowa uzupełnia badanie USG w ocenie wola zamostkowego, może być stosowana do oceny stopnia zaawansowania nowotworu tarczycy w przypadku braku dostępu do badania MR.

Rezonans magnetyczny umożliwia lepszą niż w badaniu TK ocenę stopnia zaawansowania procesu nowotworowego przed zabiegiem chirurgicznym (naciek na struktury szyi i śródpiersia: naczynia, nerwy i drogi oddechowe oraz obecność powiększonych przerzutowo węzłów chłonnych), natomiast po zabiegu – ocenę wznowy. Jest metodą pomocną w diagnozowaniu ektopowo położonego utkania tarczycy.

Scyntygrafia tarczycy

Zdolność do wychwytywania przez tarczycę jodu promieniotwórczego (I-131 lub I-123), jak również niektórych innych radioaktywnych związków (np. [Tc-99m]-nadtechnejanu), wykorzystuje się od lat do wykonywania scyntygrafii tarczycy. Jest to jedno z najczęściej prowadzonych badań radioizotopowych. W większości ośrodków stosuje się w tym celu [Tc-99m]-nadtechnejan. Wprawdzie radioznacznik ten nie jest swoisty dla tarczycy (np. wychwytyują go i wydzielają do jamy ustnej także ślinianki) i nie ulega wbudowaniu do tyreoglobuliny, to jednak w większości przypadków pozwala na uzyskanie wyników, których wartość diagnostyczna nie odbiega od efektów badania wykonanego za pomocą I-131. Tc-99m jest też radioznacznikiem z wyboru przy wykonywaniu scyntygrafii tarczycy u dzieci. Przy podejrzeniu natomiast ektopowego położenia tarczycy (w tym wola pozamostkowego), przy kontroli doszczętności jej wycięcia z powodu zróżnicowanego raka (rak brodawczakowaty i rak pęcherzykowy), a także przy poszukiwaniu przerzutów nowotworowych (raka tarczycy) badanie wykonuje się za pomocą radioizotopów jodu.

Scyntygrafia pozwala na uzyskanie wielu informacji morfologicznych, z których znaczenie ma przede wszystkim ocena położenia gruczołu. Badanie to dostarcza bardzo istotnych informacji na temat lokalnej funkcji gruczołu. Rozmieszczenie radioizotopu (względne wysycenie radioznacznikiem) jest bowiem proporcjonalne do miejscowego nasilenia czynności (wychwytu radioznacznika i produkcji hormonów). Główne wskazania do scyntygrafii tarczycy stanowią:

- Podejrzenie ektopii tego gruczołu (np. w przypadku stwierdzenia guza śródpiersia, guza nasady języka, guza szyi niezwiązanego z tarczycą).
- Wole guzkowe (stwierdzone badaniem fizykalnym lub ultrasonograficznym), gdy równocześnie wykonane oznaczenie stężenia TSH wykazało obniżenie poziomu tego hormonu. Celem wykonania scyntygrafii jest ustalenie związku nadczynności tarczycy z obecnością guzka(ów) w jej miększu.



- Pojawienie się zgrubień (guzków) na szyi u chorych operowanych z powodu niezłośliwych chorób tego gruczołu (wykrycie koncentracji radioznacznika w obrębie guzka przemawia za hiperplazją pozostałej tkanki gruczołowej).

Scyntygrafia przytarczyc

Obecnie do lokalizacji gruczolaka przytarczyc używa się przeważnie pochodnej izonitrylowej, znanej jako Tc-99m-MIBI, która ulega szybkiemu gromadzeniu nie tylko w gruczolaku (rozroście) przytarczyc, lecz także w tarczycy. U niektórych chorych wymywanie radioznacznika z przytarczyc jest wolniejsze niż z miększu tarczycy i na „późnych” scyntygramach, zarejestrowanych po 1–2 godz. od podania Tc-99m-MIBI, uwidacznia się gruczolak przytarczyc w postaci ogniska zwiększonego gromadzenia radioznacznika.

W pozostałych przypadkach gruczolaka można uwidocznić na tzw. scyntygramach „subtrakcyjnych”, uzyskiwanych przez odjęcie od obrazu rozmieszczenia Tc-99m-MIBI, gromadzącego się tak w tarczycy, jak i przytarczycach, obrazu rozmieszczenia [Tc-99]-nadtechnecjanu (lub jodku-I-123), a więc radioznaczników ulegających akumulacji w tarczycy, a nie w przytarczycach.

Przysadka mózgowa

Przysadka mózgowa leży w dole przysadki na dnie siodła tureckiego kości klinowej. Składa się z płata przedniego (gruczołowego) wydzielającego hormony i płata tylnego (przysadka nerwowa) magazynującego hormony wytwarzane w podwzgórzu.

Rezonans magnetyczny

W przypadku podejrzenia patologii przysadki mózgowej **rezonans magnetyczny** jest badaniem z wyboru w ocenie samej przysadki i okolicy okołosiodłowej. Wykonuje się je w płaszczyznach czołowych i strzałkowych w sekwencji T2 przed podaniem dożylnym kontrastu oraz w sekwencji T1 przed i po jego dożylnym podaniu w płaszczyźnie czołowej lub strzałkowej. Grubość warstwy nie powinna przekraczać 3 mm. Ocenie podlega przysadka oraz zatoka jamista, tętnice szyjne wewnętrzne, skrzyżowanie nerwów wzrokowych.

Tomografia komputerowa

Tomografia komputerowa jest stosowana:

- przed podjęciem decyzji o sposobie wykonania zabiegu neurochirurgicznego, rozważając dostęp przez nos, należy wykluczyć anomalie rozwojowe zatok obocznych nosa,
- w ocenie destrukcji elementów kostnych siodła tureckiego,
- w przypadku podejrzenia guza przysadki u pacjenta z przeciwwskazaniem do wykonania badania MR.

Scyntygrafia za pomocą analogu somatostatyny

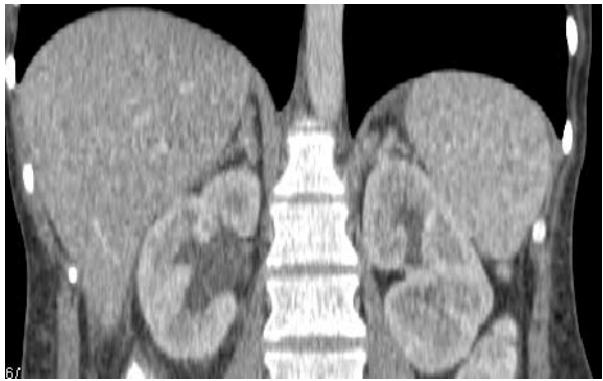
W wielu guzkach hormonalnie czynnych (przede wszystkim w rakowiaku, w *gastrinoma*, w niektórych guzkach przedniego płata przysadki i innych), a także w niektórych guzach hormonalnie nieczynnych (np. oponiak, rak drobnokomórkowy) występują receptory somatostatyny. Guzki takie można uwidocznić na scyntygramach zarejestrowanych po podaniu analogu tego hormonu, nazwanego *octreotide*, a cechującego się znacznie większą stabilnością (dłuższym okresem półtrwania w organizmie) w porównaniu z właściwym hormonem.

Obecnie używa się najczęściej pochodnych somatostatyny znakowanych In-111 lub Tc-99m. Większą czułością w wykrywaniu guzków z receptorami somatostatyny cechuje się badanie wykonane techniką PET z wykorzystaniem analogów znakowanych Ga-68 lub F-18.





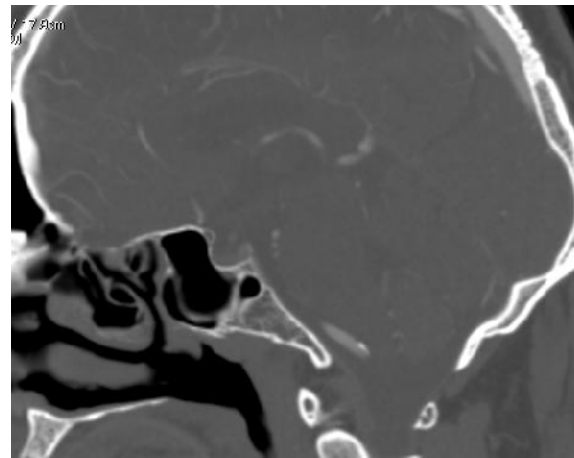
Ryc. 80. Nadnercza, badanie TK, płaszczyzna poprzeczna.



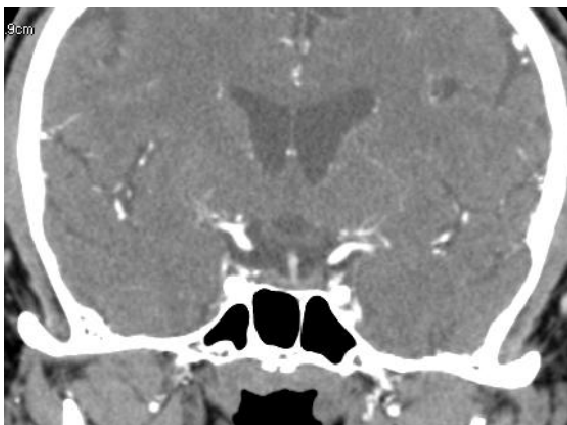
Ryc. 81. Nadnercza, badanie TK, rekonstrukcja czołowa.



Ryc. 82. Nadnercza, badanie MR, sekwencja T2-za-
leżna z saturacją tłuszczu, płaszczyzna poprzeczna.



Ryc. 83. Siodło tureckie, badanie TK, rekonstrukcja strzałkowa.

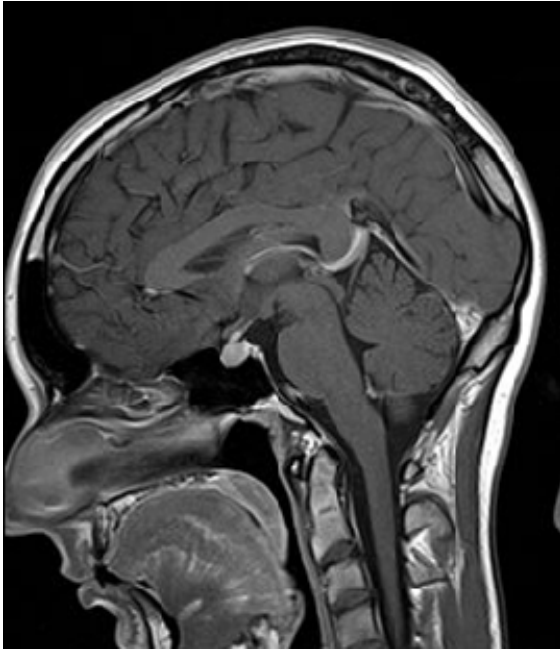


Ryc. 84. Lejek przysadki, badanie TK, rekonstrukcja czołowa.



Ryc. 85. Przysadka, badanie TK, rekonstrukcja strzałkowa.





Ryc. 86. Przysadka, badanie MR płaszczyzna strzałkowa, sekwencja T1-zależna po wzmocnieniu kontrastowym.



Ryc. 87. Przysadka, badanie MR płaszczyzna strzałkowa, sekwencja T2-zależna.



Ryc. 88. Tarczycyca, badanie TK, płaszczyzna poprzeczna.



Ryc. 89. Lewy płat tarczycy, USG.

Piśmiennictwo

1. Blake Michael A., Carmel G., Cronin and Giles W.: Boland Adrenal Imaging. 10.2214/AJR.10.4547 AJR June 2010 vol. 194 no.
2. Elster Allen D.MD: Modern Imaging of the Pituitary. Radiology 1993; 187: s. 1–14.
3. Evanson E.J.: MRCP, FRCR Imaging the pituitary gland. Imaging 2002; 14: s. 93–102.

4. *Frates Mary C.*, MD and co-authors: Management of Thyroid Nodules Detected at US: Society of Radiologists in Ultrasound Consensus Conference Statement. *Radiology* 2005; Dec. 237: s. 794–800.
5. *Gotway M.B.*, *Higgins C.B.*: MR imaging of the thyroid and parathyroid glands. *Magn Reson Imaging. Clin. N. Am.* 2000; Feb. 8(1): s. 163–182.
6. *Hoang Jenny K.*, *Wai Kit Lee*, *Lee M.*, *Johnson D.*, *Farrell S.*: US Features of Thyroid Malignancy: Pearls and Pitfalls. *RadioGraphics* 2007; May 27: s. 847–860.
7. *Johnson P.*, *Horton K.M.*, *Fishman E.K.*: Adrenal Mass Imaging with Multidetector CT: Pathologic Conditions, Pearls, and Pitfalls. *RadioGraphic* 2009; Sep. 29: s. 1333–1351.
8. *Jhaveria K.*, *Manu M.*, *Shroffa*, *Girish M.*, *Fatterpekarb*, *Somb P.M.*: CT and MR Imaging Findings Associated with Subacute Thyroiditis *AJNR* 2003; 24: s. 143–146.
9. *Mayo-Smith W.W.*, *Boland G.W.*, *Noto R.B.*, *Lee M.J.*: State-of-the Art Adrenal Imaging. *RadioGraphics*, 2001; Jul. 21: s. 995–1012.
10. *Weber A.L.*, *Randolph G.*, *Aksoy F.G.*: The thyroid and parathyroid gland. CT and MR imaging and correlation with pathology and clinical findings. *Radiol. Clin. North. Am.* 2000; Sep. 38(5): s. 1105–1129.



16. Diagnostyka obrazowa ośrodkowego układu nerwowego*

Małgorzata Korzekwa, Joanna Pilch-Kowalczyk, Stanisław Nowak, Krystian Rudzki

Klasyczne zdjęcia rentgenowskie

Rozwój nowocześniejszych technik obrazowania oraz ich dostępność znacznie ograniczyły zastosowanie klasycznej rentgenodiagnostyki w obrazowaniu OUN. Jednakże wciąż pozostają aktualne pewne wskazania do wykorzystywania tych metod.

Przygotowanie pacjenta

- brak konieczności przygotowania,
- podczas wykonywania zdjęcia pacjent powinien być nieruchomy.

1. Zdjęcie czaszki A–P i boczne.

Wskazania

- zmiany urazowe twarzoczaszki, zwykle wymagają projekcji uzupełniających,
 - podejrzenie obecności metalicznych ciał obcych gałki ocznej (lub tkanek miękkich głowy) – zarówno ze wskazań okulistycznych, jak i przed badaniem MR,
 - podejrzenie patologii wywodzących się z kości – choroba Pageta, dysplazja włóknista, poszukiwanie ognisk osteolitycznych, hiperostoza czołowa,
 - przebyty uraz czaszkowo-mózgowy nie jest obecnie wskazaniem do wykonania zdjęć klasycznych, ocena zmian pourazowych powinna być przeprowadzona na podstawie badania TK.
2. Zdjęcia celowane – zdjęcia upatrzonej okolicy, zawsze wykonywane jako uzupełnienie zdjęć klasycznych.
3. Zdjęcia styczne – wykorzystywane do oceny złamania kości z jej wgłobieniem.
4. Standardowe zdjęcia celowane wybranych okolic:
- zdjęcie w projekcji Rhese'go – celowane na otwór nerwu wzrokowego,
 - zdjęcia w projekcjach: Stenversa, Schüllera, Mayera, Chaussego, Guillena – celowane na poszczególne części piramidy kości skroniowej,
 - zdjęcia osiowe do oceny podstawy czaszki,
 - zdjęcie celowane na siodło tureckie, wykonywane w projekcji bocznej.

Przeciwwskazania – ciąża

USG

Ultrasonografia w diagnostyce OUN to głównie badania naczyń tętniczych – zarówno ocena morfologiczna ścian, ewentualnych blaszek miażdżycowych, jak również ocena przepływu krwi, jej kierunku i prędkości, czyli badanie dopplerowskie.

Ocena mózgowia jest możliwa u dzieci przez niezarośnięte ciemiączko, natomiast u dorosłych przez ubytek w kości.

* Zdjęcia TK i angio-TK zamieszczone w tym rozdziale pochodzą z badań wykonanych w Zakładzie Radiodiagnostyki i Radiologii Zabiegowej Samodzielnego Publicznego Centralnego Szpitala Klinicznego im. prof. Kornela Gibińskiego Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach. Badania rezonansu magnetycznego zostały wykonane w Pracowni Rezonansu Magnetycznego Centrum Diagnostycznego „Voxel” w Bytomiu.



Przygotowanie pacjenta:

- przygotowanie nie jest konieczne,
- pacjent leży płasko na plecach, z odpowiednio ustawioną głową.

Wskazania do badań dopplerowskich przedczaszkowych odcinków tętnic szyjnych: wspólnych oraz początkowych odcinków tętnic szyjnej wewnętrznej i zewnętrznej, a także tętnic kręgowych:

- zmiany miażdżycowe,
- zwężenia lub niedrożność,
- przed zabiegami stentowania,
- malformacje tętniczo-żylnie i zmiany hemodynamiczne przez nie powodowane.

Badanie wykonywane jest z użyciem głowic liniowych o częstotliwości od 5 do 10 MHz.

Wskazania do przezczaszkowego badania dopplerowskiego

- skurcz naczyńowy po SAH,
- wzmożone ciśnienie śródczaszkowe,
- malformacje naczyniowe,
- zwężenia i niedrożności naczyń,
- ocena krążenia obocznego (w przebiegu zmian niedokrwiennych).

Istnieje również możliwość monitorowania przepływu naczyniowego podczas zabiegów neurochirurgicznych przez dostęp śródoperacyjny. Badanie przezczaszkowe wykonywane jest z użyciem głowic liniowych 2–2,5 MHz przez łuskę kości skroniowej.

USG przeziemiączkowe

Jest podstawową metodą badania OUN u noworodków i niemowląt przez okienko akustyczne niezarośniętego ciemiączka. Zazwyczaj wykorzystywany jest dostęp poprzez ciemiączko przednie, lecz badanie można również przeprowadzić przez ciemiączko tylne, łuskę kości skroniowej i okolicę nadoczodołową. Dokładniejszy opis tej metody zamieszczono w rozdziale: *Diagnostyka obrazowa u dzieci. Odrębności diagnostyki wieku dziecięcego.*

Przeciwwskazania – brak

Cyfrowa angiografia subtrakcyjna (CAS) – Digital Subtraction Angiography (DSA)

Jest inwazyjną metodą obrazowania układu naczyniowego. Obecnie badania wykonywane są metodą Seldingera, to znaczy konieczne jest cewnikowanie wybranych naczyń z dostępu przez nakłucie tętnicy obwodowej (najczęściej udowej prawej). W diagnostyce OUN wykonywana jest zazwyczaj panangiografia, czyli cewnikowanie obu tętnic szyjnych wspólnych i co najmniej jednej tętnicy kręgowej. Zdjęcia wykonywane są w standardowych projekcjach A–P, bocznej oraz skośnej, każdorazowo podawany jest środek cieniujący. W zależności od wskazań klinicznych może ulec zmianie liczba cewnikowanych naczyń oraz liczba i rodzaj wykonywanych projekcji.

Metoda opiera się na subtrakcji, czyli odejmowaniu uzyskanych obrazów podczas podawania środka cieniującego do zacewnikowanej selektywnie tętnicy od obrazu „maski”, uzyskanej przed podaniem kontrastu. Dzięki temu otrzymuje się obraz zakontrastowanych naczyń, bez nakładania się cieni kości.

Jest złotym standardem oceny patologii naczyniowych OUN.

Wraz z opcją rotacji (trójwymiarowa rotacyjna angiografia subtrakcyjna – 3dDSA) umożliwia dokładną ocenę morfologii patologii naczyniowej, jest niezbędna przed zabiegami z dziedziny radiologii interwencyjnej oraz wskazana przed operacjami neurochirurgicznymi – patrz rozdział: *Radiologia zabiegowa.*

Tomografia komputerowa

Tomografia komputerowa jest podstawową metodą obrazowania ośrodkowego układu nerwowego. Co prawda, w ocenie wielu patologii przewyższa ją dokładnością rezonans magnetyczny, jed-



nakże znacznie lepsza dostępność tej metody, zwłaszcza w diagnostyce ostrych stanów, stawia ją na pierwszym miejscu w algorytmie diagnostycznym.

Przygotowanie pacjenta

1. TK głowy bez wzmocnienia nie wymaga przygotowania pacjenta

Wskazania do TK głowy bez wzmocnienia

- pacjenci pourazowi – możliwa jednoczesna ocena struktur kostnych oraz tkanki nerwowej,
- ocena patologii kości mózgo- i twarzoczaszki,
- udar mózgu niedokrwienny i krwotoczny,
- ocena mózgowia przed wdrożeniem terapii trombolitycznej,
- podejrzenie krwawienia podpajęczynówkowego (SAH),
- ostry, nagły ból głowy (ukierunkowane różnicowanie: SAH?, ostre wodogłowie?),
- ocena układu komorowego nad- i podnamiotowego.

Na podstawie wykonanego badania TK głowy bez wzmocnienia ocenia się ewentualną konieczność podania środka cieniującego dożylnie, ze względu na dodatkową wartość diagnostyczną.

Bez wzmocnienia wykonuje się również:

TK wysokiej rozdzielczości (HRCT) zatok obocznych nosa

- zapalenie zatok obocznych nosa,
- ocena drożności kompleksów ujściowo-przewodowych.

TK wysokiej rozdzielczości piramid kości skroniowych

- ocena struktur kostnych i powietrznych w procesach nowotworowych i zapalnych,
- po urazach.

2. TK głowy z podaniem środka cieniującego dożylnie

- pacjent na czczo, z oznaczonym poziomem kreatyniny,
- dawka środka cieniującego 1–2 ml/kg m.c.

Wskazania do TK głowy z podaniem środka cieniującego dożylnie

- diagnostyka bólów głowy,
- pacjenci z pierwszym napadem padaczkowym,
- podejrzenie procesu rozrostowego pierwotnego i przerzutowego,
- zakrzepica żylna,
- zmiany zapalne (wyższą skuteczność diagnostyczną ma MR).

Ograniczenia metody

- pacjent podczas badania musi leżeć nieruchomo, z symetrycznie ułożoną głową, czego niekiedy nie można uzyskać bez znieczulenia (pacjenci pobudzeni, niespokojni, w przymusowym ułożeniu),
- trudności w jednoznacznej ocenie tylnej jamy ze względu na artefakty z kości.

Wskazania do TK oczodołów

- ocena struktur wewnątrz- i zewnątrzgałkowych przy wątpliwym USG,
- nowotwory pierwotne i wtórne gałek ocznych i struktur pozagałkowych,
- stany pourazowe,
- ciało obce.

Przeciwwskazania: ciąża (z wyjątkiem zagrożenia życia)



Angiografia tomografii komputerowej – angio-TK

Podobnie jak angiografia rezonansu magnetycznego jest nieinwazyjną metodą obrazowania układu naczyniowego. Obraz uzyskiwany jest podczas szybkiej akwizycji danych z użyciem spiralnej TK, pozostającej w związku czasowym z podaniem środka cieniującego dożylnie. Do badania angio-TK głowy podaje się zwykle 1,5–2,0 ml/kg m.c. niejonowego środka cieniującego z przepływem 3–4 ml/s przy użyciu strzykawki automatycznej.

Przygotowanie pacjenta

- pacjent na czczo, z oznaczonym poziomem kreatyniny,
- założone wkłucie dożylnie.

Wskazania

- podejrzenie obecności malformacji naczyniowych,
- ocena tętniaka przed zabiegiem neurochirurgicznym,
- ocena unaczynienia guza OUN,
- podejrzenie zakrzepicy zatok żylnych.

Przeciwwskazania: ciąża (z wyjątkiem zagrożenia życia kobiety)

Perfuzja TK

Perfuzja TK polega na ocenie zmian gęstości tkankowej, zależnej od przepływu jodowego środka cieniującego przez łożysko naczyniowe badanych tkanek. Zapewnia ilościową ocenę krążenia w obszarze zainteresowania. Z użyciem właściwego oprogramowania ocenia się następujące parametry:

- ilość przepływającej krwi na 100 g tkanki nerwowej/minutę – CBF (*cerebral blood flow*), pomiar uśredniony dla istoty szarej i białej wynosi 50–60 ml/100 g/min,
- objętość krwi w badanym łożysku naczyniowym na 100 tkanki – CBV (*cerebral blood volume*), dla istoty szarej 5–6 ml/100 g, dla istoty białej 2–3 ml/100 g,
- średni czas przejścia zakontrastowanej krwi przez łożysko naczyniowe – MTT (*Mean Transit Time*), średnio wynosi 3–5 sekund.

Wskazania

- wczesna diagnostyka udaru niedokrwienego – kwalifikacja do trombolizy,
- diagnostyka różnicowa guzów mózgu,
- różnicowanie zmian po leczeniu ze wznową.

Rezonans magnetyczny

Przygotowanie nie jest wymagane, należy jednak zwrócić uwagę na liczne przeciwwskazania – patrz rozdział: *Podstawy obrazowania metodą rezonansu magnetycznego*.

Wskazania

- podostre i przewlekłe urazy głowy,
- podostry i przewlekły SAH oraz krwotoki miąższowe,
- badanie z wyboru do oceny infekcji OUN,
- badanie z wyboru w przypadku nowotworów mózgu (TK wykazuje przewagę w ocenie zwapnień oraz ognisk osteolitycznych),
- diagnostyka przewlekłych bólów głowy,
- schorzenia istoty białej, ze szczególnym uwzględnieniem i różnicowaniem z SM (najczulsza metoda do wykrywania plak w sekwencji FLAIR),
- diagnostyka otępienia,
- przewlekłe, oporne na leczenie napady padaczkowe,
- badanie z wyboru w neuroradiologii pediatrycznej (ocena mielinizacji mózgu, encefalopatie niedotlenieniowo-niedokrwienne, wady wrodzone).



MR oczodołu

Obejmuje ocenę oczodołu, nerwu wzrokowego, mięśni gałki ocznej (przy podejrzeniu wklonowania) i ciała tłuszczowego oraz gruczołu łzowego.

Wskazania

- diagnostyka pourazowych powikłań naczyniowych (rozwarstwienie naczyń, przetoki lub tętniaki rzekome),
- poszukiwanie i ocena małych zmian wewnątrzgałkowych,
- poszukiwanie ognisk demielinizacji w nerwie wzrokowym,
- przerzuty do gałki ocznej i pozostałych struktur wewnątrzoczodołowych oraz ich nowotwory pierwotne,
- ocena patologii skrzyżowania wzrokowego.

MR przysadki: badanie z wyboru w przypadku guzów przysadki.

MR stawu skroniowo-żuchwowego: metoda z wyboru do oceny zmian pourazowych stawu skroniowo-żuchwowego.

Dyfuzja MR (DWI)

Polega na ocenie różnic swobodnej dyfuzji cząsteczek wody w obszarach objętych niedokrwieniem i pozostałych, prawidłowych, gdzie nie dochodzi do spowolnienia dyfuzji, możliwa jest również ocena ilościowa na mapach ADC (*apparent diffusion coefficient*) po wytlumieniu wysokiego sygnału płynu pozakomórkowego w sekwencji T2.

Patrz również rozdział: *Podstawy obrazowania metodą rezonansu magnetycznego.*

Wskazania

- ocena ostrego niedokrwienia – istnieje możliwość wykrycia zmian w ciągu kilku minut od początku trwania objawów klinicznych, wcześniej niż pokażą się w sekwencjach FLAIR czy T2,
- różnicowanie między guzem a obrzękiem,
- określanie stopnia złośliwości guza.

Obrazowanie tensora dyfuzji (DTI)

Oddzielnym udoskonaleniem wynikającym z użycia analizy dyfuzyjnej jest tworzenie obrazów dróg istoty białej (traktografia) oceniając ruch cząsteczek wody wzdłuż przebiegu włókien nerwowych. Metodę tę stosuje się w planowaniu zabiegów neurochirurgicznych oraz w schorzeniach naczyniowych.

Perfuzja MR (PWI)

Wykorzystuje zmianę sygnału wywołaną wyłącznie przepływem krwi lub krwi i podanego dożylnie środka kontrastowego dla zobrazowania stanu mikrokrążenia. Podobnie jak w perfuzji TK oceniane są: CBF, CBV, MTT.

Wskazania

- ostre i przewlekłe stany upośledzenia krążenia mózgowego,
- ocena unaczynienia guza przydatna w diagnostyce różnicowej.

Funkcjonalne obrazowanie MR (fMRI)

To nieinwazyjna metoda oceniająca intensywność sygnału tkanki nerwowej w zależności od poziomu natlenowanej krwi (BOLD) w jej obrębie, co odpowiada aktywności neuronów. Porównuje się obrazy wykonywane w spoczynku (wariant kontrolny) oraz po stymulacji (wariant eksperymentalny), odejmując od obrazu eksperymentalnego obraz kontrolny. Uzyskuje się lokalizację obszarów mózgu odpowiedzialnych za daną czynność, dzięki czemu można tworzyć mapy ośrodków korowych.



Funkcjonalny MR jest wciąż rozwijającą się techniką obejmującą obrazowanie neurobehawioralne i neurofizjologiczne, jest już wykorzystywany przy planowaniu zabiegów neurochirurgicznych (usuwania ognisk padaczkorodnych, guzów mózgu i malformacji tętniczo-żylnych) oraz do oceny ewentualnych pozabiegowych deficytów neurologicznych.

Ograniczeniem metody jest m.in. nakładanie się kilku aktywacji neuronalnych na siebie i brak możliwości rozróżnienia typu aktywności pobudzenia oraz hamowania, zależność od sposobu przeprowadzenia badania, a także niska rozdzielczość czasowa.

Angio-MR

Metoda opiera się na różnicy intensywności sygnału tkanek stacjonarnych i szybko poruszającego się płynu – TOF-MRA lub po podaniu środka kontrastowego dożylnie CE-MRA. Uzyskany obraz po podaniu środka kontrastowego jest dokładniejszy, lecz ograniczeniem metody jest brak możliwości rozdzielania obrazu tętnic i żył. Do oceny przepływów krwi w różnych kierunkach i z różną prędkością wykorzystuje się metodę angiograficzną kontrastu fazy (PC – *phase contrast*).

Wskazania

- ocena malformacji naczyniowych i jako badanie przesiewowe w poszukiwaniu tętniaków,
- ocena tętnic szyjnych (CE-MRA).

Spektroskopia MR

Ocenia profile odpowiednich metabolitów w danym obszarze w porównaniu ze stałym wzorcem prawidłowych tkanek, na podstawie przesunięć chemicznych ich protonów. Najczęściej oceniane metabolity tkanki nerwowej to cholina, kreatyna, N-acetyloasparaginian, a także mleczany i lipidy. Patrz również rozdział: *Podstawy obrazowania metodą rezonansu magnetycznego*.

Wskazania

- diagnostyka guzów mózgu pierwotnych i przerzutowych,
- ropni mózgu,
- niedotlenieniowej encefalopatii niedokrwiennej,
- ocena powikłań radioterapii OUN – martwicy popromiennej i popromiennego zapalenia tętnic oraz różnicowanie ich ze wznową guza,
- diagnostyka chorób dysmielinizacyjnych i demielinizacyjnych (SM).

Przeciwwskazania

Ograniczenia obrazowania w przypadkach ostrych wiążą się z małą lub brakiem dostępności aparatów MR w całodobowym trybie dyżurowym oraz brakiem kompatybilności ze sprzętem anestetycznym i monitorującym funkcje życiowe pacjenta. Dotyczy to szczególnie pacjentów oddziałów intensywnej terapii, lecz również pozabiegowych (np. po usunięciu guza mózgu).

Istotny jest również czas trwania rezonansu, np. wykonanie wymaganych sekwencji w diagnostyce zmian rozrostowych trwa ok. 45 minut przy użyciu aparatu 1,5 T.

Pozostałe przeciwwskazania – patrz rozdział: *Podstawy obrazowania metodą rezonansu magnetycznego*.

Badania radioizotopowe ośrodkowego układu nerwowego

Radioizotopowe metody obrazowania ośrodkowego układu nerwowego, zależnie od metabolizmu użytego radioznacznika, umożliwiają ukazanie zaburzeń różnych procesów biochemicznych i fizjologicznych. Scyntygrafia za pomocą związków nieprzechodzących przez barierę krew–mózg była pierwszą nieagresywną metodą uwidaczniającą zmiany patologiczne w obrębie mózgowia. Rozwój TK oraz MR, metod górujących nad scyntyografią nie tylko swoistością, lecz także znacznie wyższą czułością, spowodował, że badanie to obecnie zostało praktycznie zarzucone. Medycyna nuklearna dysponuje natomiast wieloma radioznacznikami pozwalającymi na badanie innych funkcji ośrodkowego układu nerwowego, a mianowicie lokalnego przepływu krwi, metabolizmu niektórych substan-



cji, czy też rozmieszczenia receptorów dla różnych neurotransmiterów w obrębie mózgu. Jedynie badania perfuzyjne (dotyczące przepływu krwi) są aktualnie szerzej dostępne.

W badaniach perfuzyjnych stosuje się radioznaczniki, które swobodnie przechodzą przez barierę krew–mózg, gromadząc się w obrębie mózgowia proporcjonalnie do miejscowego przepływu krwi. Najczęściej używane są w tym celu związki kompleksowe (HM PAO – heksametylo-propyleno-amino-oksym lub ECD – etyleno-dicysteino-dietyl-ester), znakowane Tc-99m. Badanie to wykonuje się wyłącznie techniką tomografii emisyjnej SPECT lub SPECT-CT.

Na tomogramach silniej wysycona jest kora niż istota biała, co odpowiada różnicy przepływu krwi, przy czym rozkład radioznacznika jest symetryczny (różnice wysycenia części symetrycznych nie przekraczają 7%).

Wskazaniami do scyntygrafii perfuzyjnej mózgu są następujące stany:

- różnicowanie etiologii otępienia,
- poszukiwanie ognisk padaczkowych,
- podejrzenie zawału mózgu w następstwie zatoru lub zakrzepu,
- podejrzenie śmierci mózgowej.

Technika tomografii emisyjnej PET również pozwala uwidocznić perfuzję mózgu (np. z pomocą H₂O-15). W rutynowej praktyce klinicznej korzystne może okazać się wykorzystanie fluorodeoksyglukozy (F-18-FDG) jako markera do rozpoznawania i różnicowania chorób otępiennych oraz padaczek lekoopornych przed planowanym leczeniem operacyjnym. Należy jednak podkreślić, że metody obrazowania z wykorzystaniem radiofarmaceutyków pozytonowych i technik rejestracji PET oraz PET-CT, górujące czułością nad techniką SPECT i SPECT-CT, są w naszym kraju relatywnie drogie, a ich refundacja ograniczona jest do minimalnego zakresu wymienionych powyżej wskazań.

Obie techniki – SPECT oraz PET – stosuje się również w obrazowaniu rozmieszczenia ligandów wychwytywanych przez receptory dopaminowe D₁–D₄, serotonergiczne, cholinergiczne, GABA-ergiczne. Substancje te mogą być znakowane za pomocą I-123 lub Tc-99m (dla rejestracji obrazów techniką SPECT lub SPECT-CT) albo radioizotopami pozytonowymi, np. C-11 (dla rejestracji obrazów techniką PET lub PET-CT). Ta grupa radiofarmaceutyków pozwala na bardziej precyzyjne ustalenie przyczyn niektórych chorób, np. choroby Parkinsona, chorób otępiennych oraz padaczek.

Tabela X. Zastosowanie metod obrazowych w diagnostyce wybranych chorób OUN

Jednostka kliniczna	Metoda	Uwagi
1	2	3
Urazy czaszkowo-mózgowe	TK MR	Ocena w oknie mózgowym i kostnym – możliwość jednoczesnej oceny zmian kostnych i wewnątrzczaszkowych. Jedynie w MR widoczny rozlany uraz aksonalny.
Zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych	MR TK	Badania po podaniu środka kontrastowego. Zarówno TK, jak i MR może być prawidłowe. Możliwość oceny powikłań, takich jak: wodogłowie, zapalenie czy ropień mózgu, zmiany niedokrwienne.
Zapalenie mózgu	TK MR	W badaniu TK obszary hipodensyjne. MR ma większe znaczenie we wczesnych etapach, szczególnie sekwencja FLAIR oraz DWI.
Krwawienie podpajęczynówkowe (SAH)	TK MR (FLAIR) Nakłucie łędźwiowe	Badanie z wyboru, wykonywane bez wzmocnienia kontrastowego – objaw hiperdensyjnych rowków mózgowych związany z obecnością świeżo wynaczynionej krwi. Dodatkowo możliwość oceny powikłań SAH – zmian niedokrwiennych, wodogłowie, powstania krwiaka śródmózgowego, czy przebiccia krwiaka do układu komorowego. Sekwencja FLAIR ma przewagę nad TK w ocenie ostrej fazy krwawienia w tylnej jamie, wadą jest niska specyficzność tej sekwencji z możliwościami fałszywie pozytywnych rozpoznań w przypadku zmian zapalnych i rozsiewu nowotworowego w obrębie opon. SAH przewlekły – powtarzający się, w niewielkich ilościach – jest możliwy do zdiagnozowania wyłącznie w badaniu MR, ze względu na metabolity krwi (hemosyderyna). W przypadku niewielkiego SAH.



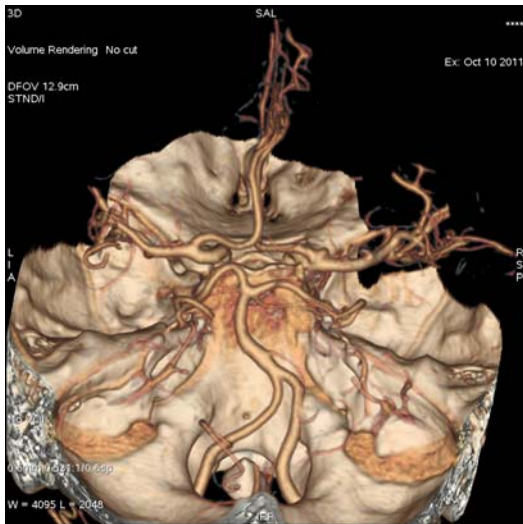
1	2	3
Wodogłowie	TK MR	Badanie bez wzmocnienia kontrastowego. Ocena stopnia poszerzenia OUN (wskaźnik Evansa). Ocena aktywności procesu pod postacią przesięków. Ocena sprawności założonego drenażu.
Patologie naczyniowe (tętniaki, naczyniaki wewnątrzczaszkowe)	TK Angio-TK lub Angio-MR DSA	W zależności od wielkości tętniaka możliwe do rozpoznania nawet od średnicy 3 mm. Tętniaki duże i olbrzymie mają przeważnie zwapnienia w ścianach, wywołują efekt masy, wzmacniają się niejednorodnie ze względu na obecność skrzeplin w worku tętniaka. Jako poszerzenie diagnostyki przy podejrzeniu patologii naczyń. DSA jako „złoty standard” oceny naczyń oraz metoda weryfikująca w przypadkach wątpliwych, metoda niezbędna przed interwencją wewnątrznaczyniową oraz pomocna przed zabiegiem neurochirurgicznym.
Choroby naczyniopochodne	Dyfuzja MR Perfuzja MR Perfuzja TK TK MR DSA USG Doppler	TK jako wstępna metoda różnicowania udarów (krwotoczny czy niedokrwienny) oraz ujawniająca morfologiczne wykładniki udaru. Perfuzja TK oraz dyfuzja i perfuzja MR w diagnozowaniu najwcześniejszych objawów niedokrwienia oraz do odróżnienia zmian nieodwracalnych od przejściowych. Jako wskazanie do DSA jest planowanie zabiegu trombolizy celowanej w pierwszych godzinach udaru niedokrwiennego.
Schorzenia istoty białej	TK MR Spektroskopia MR	Badanie TK może być prawidłowe lub pokazuje jedynie obniżenie gęstości istoty białej (zmiany hipodensyjne – niespecyficzne). MR ocenia zarówno stopień mielinizacji istoty białej, jak i jej patologie. Spektroskopia MR w przypadku uszkodzenia istoty białej powoduje spadek stężenia NAA – markera biochemicznego neuronów oraz zmienia proporcje choliny do innych metabolitów.
Zespoły otępienne	TK MR PET SPECT	TK służy głównie jako badanie „przesiewowe” – wykluczające inne nieprawidłowości. MR pozwala na precyzyjną ocenę zaniku mózgu miejscowego i uogólnionego (pomiar objętości hipokampa). Zmiany stwierdzone w PET mogą pokazywać zmiany wcześniej niż TK czy MR, jako obszary o obniżonym metabolizmie, a w badaniu SPECT jako obszary obniżenia miejscowego przepływu krwi.
Guzy wewnątrzczaszkowe	TK MR Perfuzja MR Spektroskopia MR DSA	W badaniach obrazowych uwzględnia się, oprócz struktury, gęstości/sygnału, stopnia wzmocnienia kontrastowego, lokalizacji i morfologii także zależność od wieku i płci pacjenta, co niekiedy zawęża diagnostykę różnicową. W badaniach naczyniowych ocena unaczynienia i objawów pośrednich – modelowanie naczyń. W przypadku zmian guzowatych podstawy czaszki badaniem z wyboru jest MR.



Ryc. 90. Angio-TK głowy, rekonstrukcja wielopłaszczyznowa w płaszczyźnie poprzecznej na poziomie naczyń koła tętniczego mózgu.



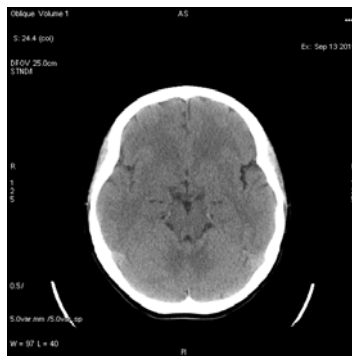
Ryc. 91. Angio-TK głowy, rekonstrukcja wielopłaszczyznowa w płaszczyźnie strzałkowej, wykonana w linii pośrodkowej.



Ryc. 92. Angio-TK głowy, rekonstrukcja objętościowa naczyń koła tętniczego mózgu.



A.

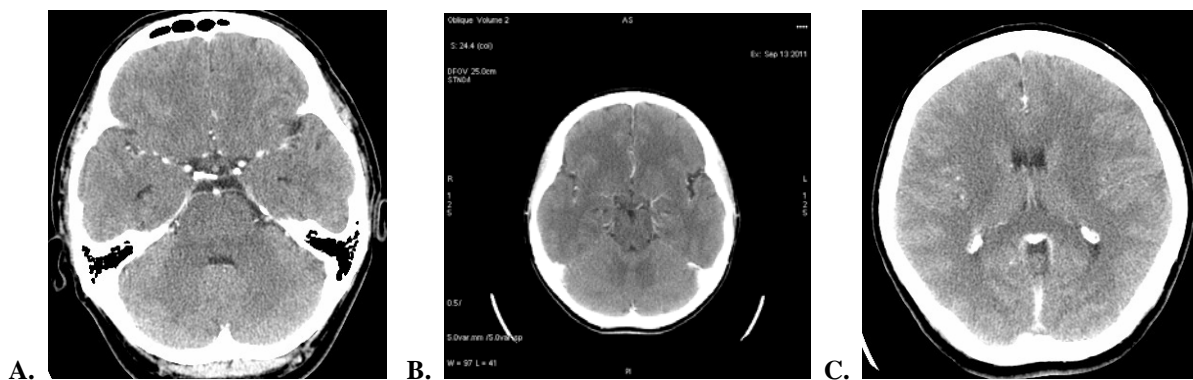


B.

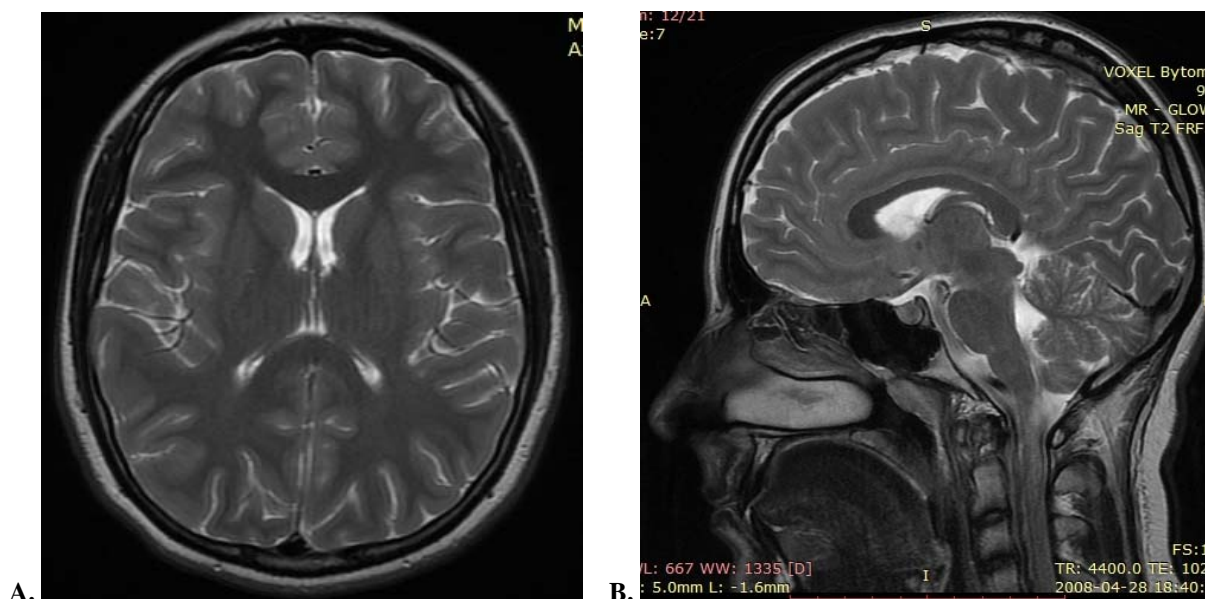


C.

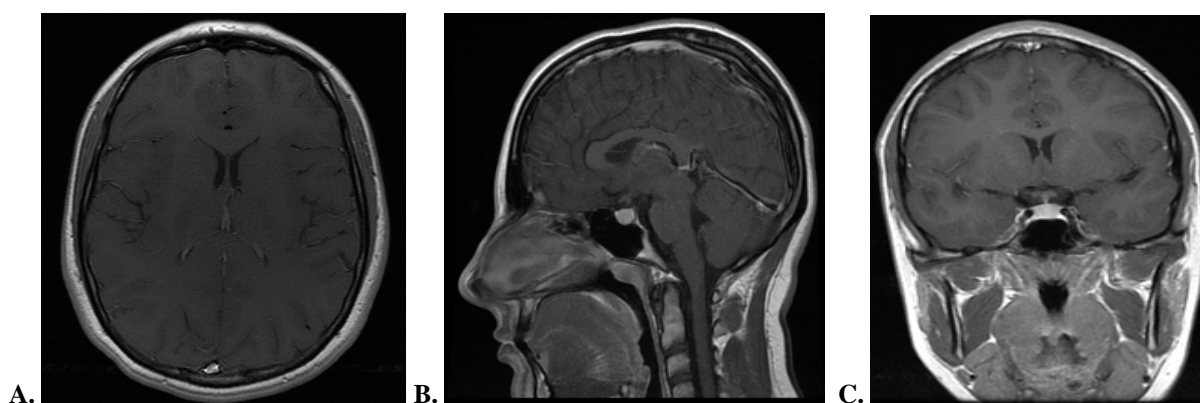
Ryc. 93. TK głowy bez wzmocnienia kontrastowego. Kolejne przekroje na poziomie: A. – komory IV, B. – korarów mózgu, C. – rogów czołowych komór bocznych.



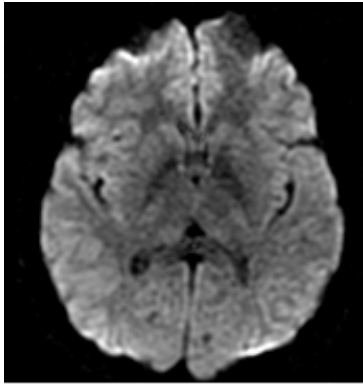
Ryc. 94. TK głowy po dożylnym podaniu środka cieniującego. A., B. i C. – kolejne przekroje.



Ryc. 95. MR głowy w sekwencji T2-zależnej. A. – płaszczyzna poprzeczna. B. – płaszczyzna strzałkowa.



Ryc. 96. Sekwencja T1-zależna po dożylnym podaniu kontrastu. A. – płaszczyzna poprzeczna. B. – płaszczyzna strzałkowa. C. – płaszczyzna czołowa.



Ryc. 97. Dyfuzja cząsteczek wody, płaszczyzna poprzeczna na poziomie jąder podkorowych.

Piśmiennictwo

1. *Brandt W.E., Helms C.A.*: Postępy diagnostyki radiologicznej. T. I. MediPage. Warszawa 2007.
2. *Walecki J.*: Postępy neuroradiologii. PFUN. Warszawa 2007.
3. *Walecki J., Pruszyński B.*: Leksykon radiologii i diagnostyki obrazowej. Zamkor. Kraków 2003.

17. Diagnostyka obrazowa kanału kręgowego i rdzenia*

Małgorzata Korzekwa, Joanna Pilch-Kowalczyk, Stanisław Nowak, Krystian Rudzki

Klasyczne zdjęcia rentgenowskie

Zdjęcia rentgenowskie określonego odcinka kręgosłupa wykonywane są w dwóch projekcjach: A–P i bocznej. Dodatkowo mogą być wykonane zdjęcia celowane na otwory międzykręgowe (prawy i lewy skos) oraz zdjęcia czynnościowe, dotyczące głównie odcinka szyjnego i lędźwiowego (w przedpochyleniu i tyłozgięciu).

Przygotowanie pacjenta: brak konieczności przygotowania

Wskazania

- ocena stopnia zaawansowania zmian zwyrodnieniowych,
- badanie przesiewowe do wykluczenia ostrych stanów chorobowych,
- rozpoznanie wad rozwojowych,
- wstępna ocena zmian pourazowych kręgosłupa.

Przeciwwskazania: ciąża

USG

Badanie można przeprowadzić do 6 miesiąca życia (do tego wieku pozostają nieskostniałe elementy kręgosłupa). Ocena sondą liniową 10–12 MHz od strony grzbietowej.

Przygotowanie pacjenta: brak konieczności przygotowania

Wskazania

- zespoły dysraficzne,
- wady wrodzone OUN,
- zmiany rozrostowe rdzenia i kanału kręgowego,
- uraz poporodowy, szczególnie po porodach poślądkowych,
- kontrola pooperacyjna,
- ocena śródoperacyjna.

Przeciwwskazania: brak

DSA

Angiografia naczyń tętniczych rdzenia jest skomplikowaną metodą diagnostyczną i powinna być wykonywana w ośrodkach z dużym doświadczeniem i z jednoczasową dostępnością do metod zaopatrzenia z zakresu radiologii interwencyjnej. Trudność metody wiąże się z dużą odmiennością anatomiczną naczyń, ich dużą liczbą i małą średnicą.

Dostępność badań TK i MR znacznie ograniczyła liczbę wykonywanych angiografii rdzeniowych.

* Zdjęcia TK pochodzą z badań wykonanych w Zakładzie Radiodiagnostyki i Radiologii Zabiegowej Samodzielnego Publicznego Centralnego Szpitala Klinicznego im. prof. Kornela Gibińskiego Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach.

Zdjęcia rezonansu magnetycznego (oprócz ryc. 100) zostały wykonane w pracowni Rezonansu Magnetycznego Medycznego Centrum Diagnostycznego „Voxel” w Bytomiu.



Wskazania

- metoda z wyboru do oceny i leczenia embolizacją malformacji rdzeniowych,
- ocena unaczynienia zmian guzowatych (pierwotnych i przerzutowych) z jednoczasową embolizacją (w guzach bogato unaczynionych embolizacja tętnic zaopatrujących, co prowadzi do zmniejszenia łożyska naczyniowego).

Przeciwwskazania

- tętniak rozwarstwiający aorty,
- koagulopatie,
- niewydolność krążenia,
- niewydolność nerek.

Patrz również rozdział: *Radiologia zabiegowa*.

TK

Technikę badania należy skorelować z treścią skierowania, w zależności od problemu klinicznego można wybrać:

1. Obrazowanie sekwencyjne (aksjalne)

Płaszczyzna badania każdorazowo dostosowana jest do nachylenia konkretnej przestrzeni międzykręgowej.

Wskazania

- choroby zwyrodnieniowe kręgosłupa, (najlepsza metoda do oceny zmian zwyrodnieniowych struktur kostnych, zwapnień i objawu próżni),
- diagnostyka dyskopatii.

2. Obrazowanie spiralne (helikalne)

W tym przypadku następuje ciągła akwizycja danych z określonego zakresu. Płaszczyzna badania jest prostopadła do stołu, czyli przypadkowa dla każdej przestrzeni międzykręgowej – nie należy stosować tej metody do oceny patologii krążka międzykręgowego.

Istotną korzyścią jest skrócenie czasu trwania badania, co wpływa zarówno na komfort pacjenta, jak i na redukcję artefaktów ruchowych oraz możliwość wykonania rekonstrukcji wielopłaszczyznowych.

Wskazania

- jako badanie pierwszego rzutu u pacjentów pourazowych – ocena elementów kostnych oraz krwawienia do kanału kręgowego, jest również badaniem z wyboru w urazach wielonarządowych,
- ocena wrodzonych zmian kostnych,
- choroby zapalne kręgosłupa.

Wskazania do podania środka kontrastowego dożylnie

- diagnostyka guzów kanału kręgowego i rdzenia,
- ocena patologii naczyniowych – malformacji tętniczo-żylnych.

MR

Wskazania

- precyzyjna ocena zmian zwyrodnieniowych krążka międzykręgowego (począwszy od uszkodzenia pierścienia włóknistego do oceny stopnia ucisku struktur nerwowych), aparatu więzadłowego oraz trzonów kręgow,



- badanie z wyboru po operacji przepukliny krążka międzykręgowego i różnicowania między tkanką bliznowatą a przepukliną nawrotową,
- ocena zmian niedokrwiennych rdzenia i innych schorzeń naczyniopochodnych (malformacji naczyniowych),
- diagnostyka chorób zapalnych i demielinizacyjnych,
- metoda z wyboru w diagnostyce zmian nowotworowych rdzenia kręgowego.

Przeciwwskazania: patrz rozdział: *Podstawy obrazowania metodą rezonansu magnetycznego*

Mielografia

Mielografia polega na podaniu niejonowego środka cieniującego drogą nakłucia lędźwiowego, najczęściej na poziomie L₃–L₄. Rzadziej wykonuje się nakłucie na wysokości C1–C2 (mielografia podpotyliczna). Obecnie badanie to jest zastępowane przez nieinwazyjną mielografię MR. W diagnostyce stosowane są wyłącznie niejonowe środki cieniujące rozpuszczalne w wodzie, o niskiej osmolalności.

Wskazania

- skomplikowane przypadki pooperacyjne,
- brak możliwości wykonania MR.

Przeciwwskazania: patrz rozdział: *Rentgenodiagnostyka*.

Mielo-TK

Stosowane są wyłącznie niejonowe środki cieniujące rozpuszczalne w wodzie, o niskiej osmolalności, które podaje się dokanałowo, jak w przypadku klasycznej mielografii. Następnie wykonywane jest badanie z opóźnieniem ok. 30–60 minut, gdyż zbyt duże stężenie środka cieniującego w przestrzeni podpajęczynówkowej utrudnia interpretację obrazu.

Ze względu na swój inwazyjny charakter metoda coraz częściej jest zastępowana przez mielografię – MR.

Wskazania

- bezpośrednie uwidocznienie krążka międzykręgowego i obrysu rdzenia kręgowego,
- ocena zmian pourazowych rdzenia i kanału kręgowego.

Mielo-MR

Jest to metoda nieinwazyjna, polegająca na możliwości zobrazowania przestrzeni podpajęczynówkowej kanału kręgowego dzięki zastosowaniu sekwencji silnie T2-zależnych.

Wskazania

- procesy uciskowe wewnątrzkanałowe oraz zmiany zwyrodnieniowe wpuklające się w obręb kanału kręgowego i uciskające korzenie nerwów rdzeniowych,
- urazy (np. podejrzenie wyrwania korzeni ze splotu barkowego).

Radikulografia

Jest metodą inwazyjną z podaniem przez nakłucie lędźwiowe środka kontrastowego do przestrzeni podpajęczynówkowej. Stosowane są wyłącznie niejonowe środki kontrastowe rozpuszczalne w wodzie, o niskiej osmolalności.

Badanie wykonywane jest u pacjenta w pozycji leżącej, w projekcji A–P, P–A, bocznych i skośnych oraz bocznej w pozycji stojącej.

Wskazania: diagnostyka wrodzonych i nabytych zwężeń kanału kręgowego (opcja radikulografii czynnościowej w pozycji stojącej w skłonie i odchyleniu ku tyłowi).



Radioizotopowe badanie krążenia płynu mózgowo-rdzeniowego

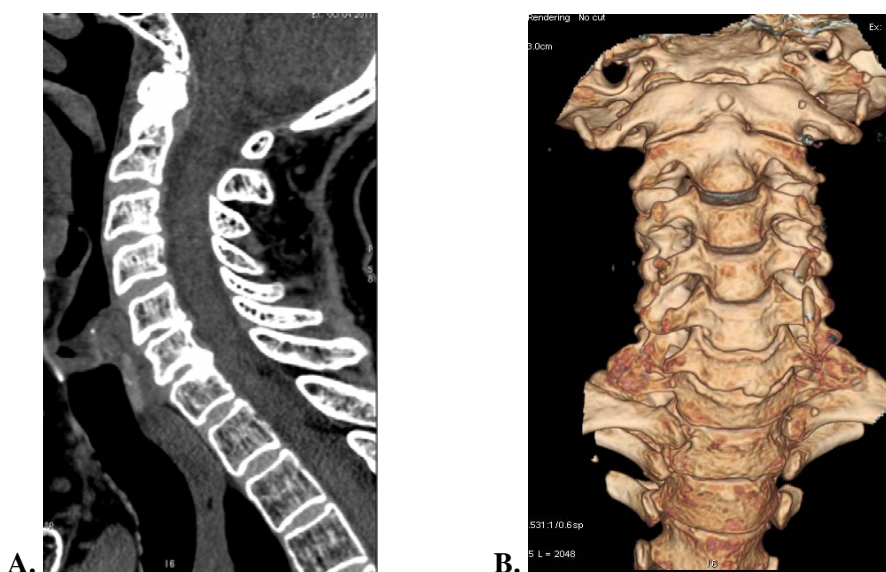
W badaniu przestrzeni płynowych centralnego systemu nerwowego używa się najczęściej radioizotopów (^{111}In -DTPA lub $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA) wstrzykiwanych poprzez punkcję lędźwiową do przestrzeni podpajęczynówkowej. Rozprzestrzenianie się znacznika wraz z krążeniem płynu mózgowo-rdzeniowego, umożliwia uwidocznienie kanału kręgowego, zbiorników podstawy mózgu, a w stanach patologicznych także komór bocznych. Metodą tą wykonać można badanie kanału kręgowego (mieloscyntygrafia) oraz górnego odcinka przestrzeni płynowej (cysternografia). Badanie kanału kręgowego straciło na wartości z chwilą wprowadzenia do praktyki nowoczesnych środków kontrastowych do mielografii rentgenowskiej oraz możliwości diagnostyki za pomocą badania TK i MR. Nadal znaczenie kliniczne posiada natomiast badanie górnego odcinka przestrzeni płynowej, czyli **cysternografia izotopowa**, głównie jako metoda czynnościowa.

Wskazaniami do cysternografii są:

- wodogłowie wewnętrzne normotensyjne (zespół Hakima-Adamsa),
- wyciek płynu mózgowo-rdzeniowego do jamy nosowej,
- badanie drożności zastawki komorowo-przedsionkowej.

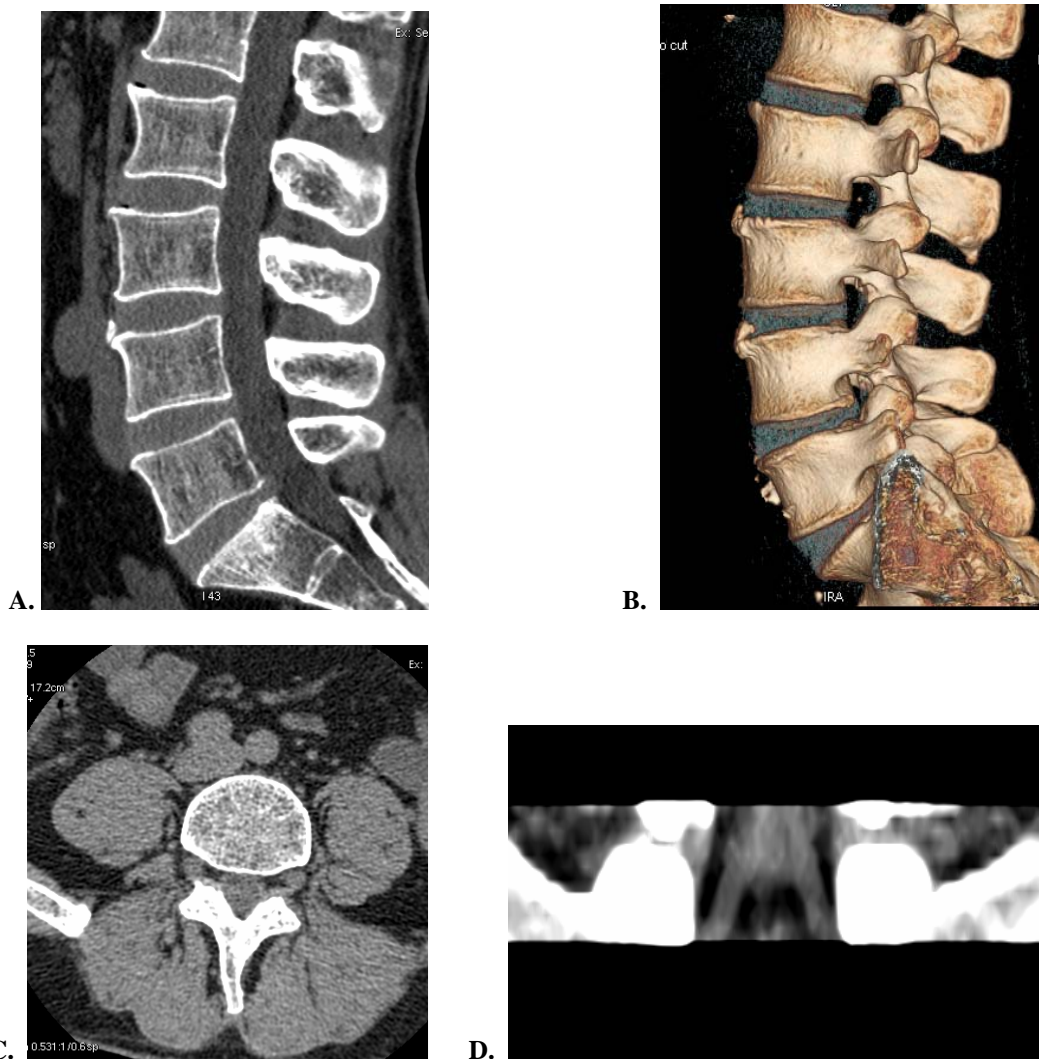
Tabela XI. Zastosowanie metod obrazowych w diagnostyce wybranych chorób kanału kręgowego i rdzenia

Problem diagnostyczny	Metoda	Uwagi
Ocena elementów kostnych kanału kręgowego	Zdjęcia przeglądowe w różnych projekcjach, TK, MR	Zmiany zwyrodnieniowe zwykle oceniane na zdjęciach przeglądowych, zmiany pourazowe w TK a nowotworowe w TK i MR.
Aparat więzadłowy	MR TK	Najdokładniejsza ocena możliwa w MR, TK pozwala na wstępną ocenę dużych więzadeł (np. więzadła żółte w odcinku lędźwiowym kręgosłupa).
Krażki międzykręgowe	MR, TK, zdjęcia przeglądowe	MR najdokładniej ocenia krażki międzykręgowe, zwłaszcza w przebiegu procesu degeneracyjnego w ich obrębie, TK pozwala na wstępną ocenę krażków, najbardziej wydolna jest TK w odcinku lędźwiowym, zdjęcie przeglądowe pozwala jedynie na ocenę pośrednią na podstawie szerokości przestrzeni międzykręgowych, może ujawniać zwapnienia w krażkach międzykręgowych.
Rdzeń kręgowy	MR, TK	MR jest jedyną metodą pozwalającą na pełną ocenę rdzenia kręgowego, TK pozwala wyłącznie na jego wstępną ocenę.

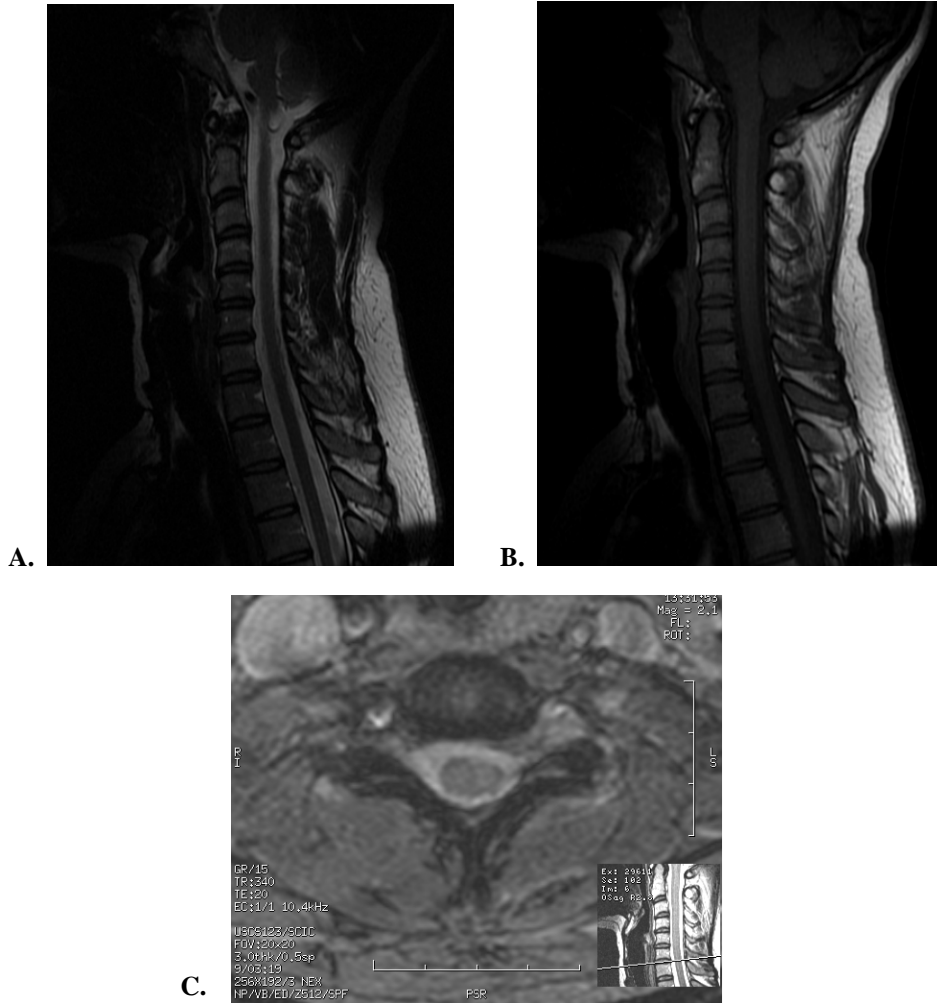


Ryc. 98. TK spiralne odcinka szyjnego kręgosłupa. A. – rekonstrukcja wielopłaszczyznowa w płaszczyźnie strzałkowej. B. – rekonstrukcja objętościowa, widok od przodu.





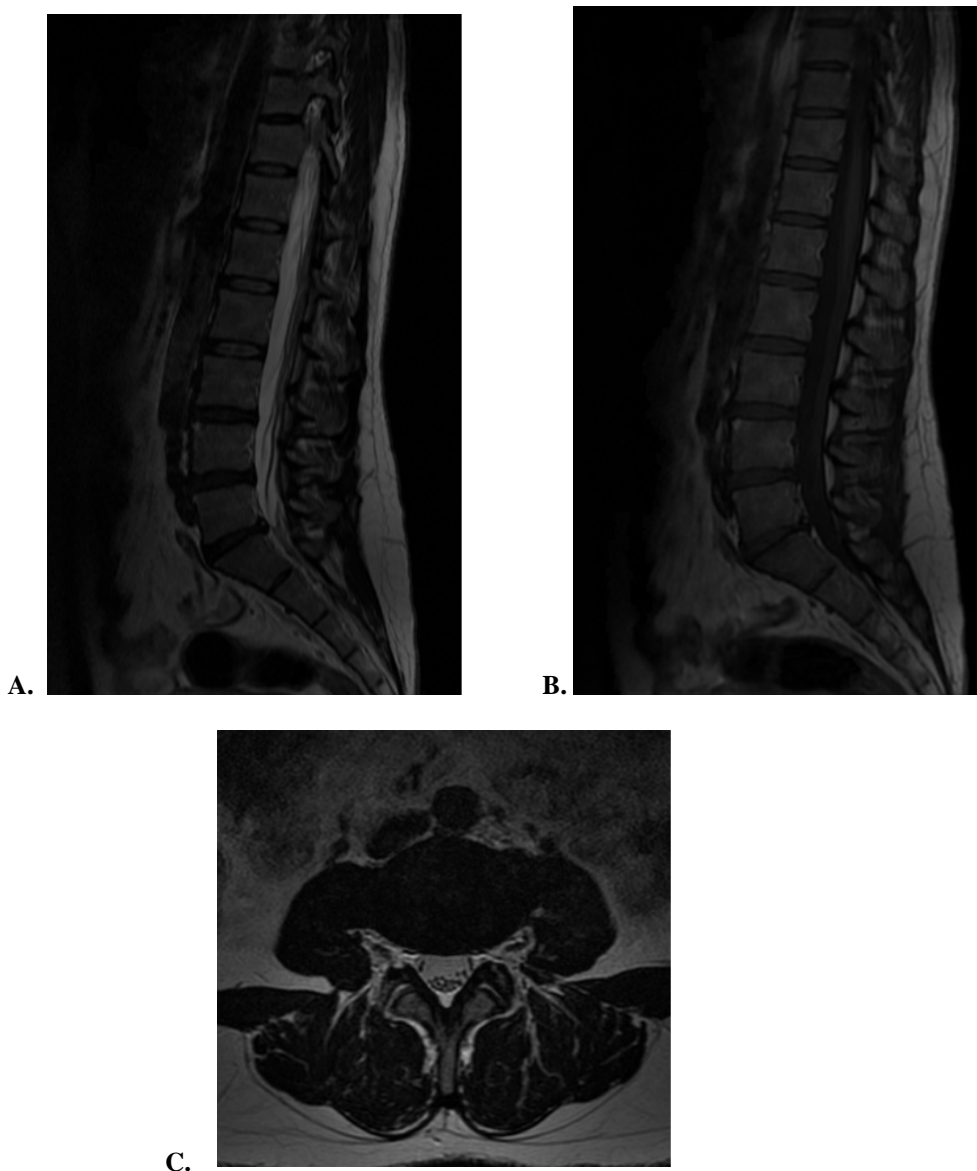
Ryc. 99. TK spiralne odcinka lędźwiowego kręgosłupa. A. – rekonstrukcja wielopłaszczyznowa w płaszczyźnie strzałkowej. B. – rekonstrukcja objętościowa, widok z boku. C. – TK aksjalne przestrzeni międzykręgowej L4–L5, przekrój poprzeczny na poziomie trzonu kręgu L5. D. – TK aksjalne przestrzeni międzykręgowej L5–S1, rekonstrukcja w płaszczyźnie czołowej przez nerwy rdzeniowe.



Ryc. 100. MR odcinka szyjnego kręgosłupa. A. – w sekwencji T2-zależnej, w płaszczyźnie strzałkowej. B. – w sekwencji T1-zależnej, w płaszczyźnie strzałkowej. C. – w sekwencji T2-zależnej, w płaszczyźnie poprzecznej. Zdjęcie zostało wykonane w pracowni RM „Helimed” Diagnostic Imaging Sp. z o.o. Spółka Komandytowa przy SPCSK w Katowicach Ligocie.



Ryc. 101. MR odcinka piersiowego kręgosłupa. A. – w sekwencji T2-zależnej, w płaszczyźnie strzałkowej. B. – w sekwencji T1-zależnej, w płaszczyźnie strzałkowej.



Ryc. 102. MR odcinka lędźwiowego kręgosłupa. A. – w sekwencji T2-zależnej, w płaszczyźnie strzałkowej. B. – w sekwencji T1-zależnej, w płaszczyźnie strzałkowej. C. – w sekwencji T2-zależnej, w płaszczyźnie poprzecznej, na poziomie ogona końskiego.

Piśmiennictwo

1. *Brant W.A, Helms C.A.*: Postępy diagnostyki radiologicznej. T. I. MediPage. Warszawa 2007.
2. *Hosten N., Liebig T.*: Tomografia komputerowa głowy i kręgosłupa. MediPage. Warszawa 2007.
3. *Walecki J.*: Postępy neuroradiologii. PFUN. Warszawa 2007.

18. Diagnostyka obrazowa w stomatologii*

Anna Siemianowicz, Wojciech Wawrzynek, Hanna Potempa

Diagnostyka obrazowa jest niezbędna i zajmuje szczególną pozycję we współczesnej stomatologii, pozwalając na uzyskanie dokładnych informacji niedostępnych innymi metodami diagnostycznymi.

Obrazowanie wykorzystywane jest w stomatologii od ponad stu lat, pierwsze stomatologiczne zdjęcie rentgenowskie wykonane zostało już kilkanaście dni po epokowym odkryciu K. Roentgena.

Podstawową metodą diagnostyki stomatologicznej są zdjęcia rentgenowskie: wewnątrz- i zewnątrzustne (podział w zależności od lokalizacji kliszy rentgenowskiej lub detektora cyfrowego wewnątrz lub poza jamą ustną).

Do wewnątrzustnych zalicza się zdjęcia:

- zębowe,
- skrzydłowo-zgryzowe,
- zgryzowe.

Do zewnątrzustnych zalicza się zdjęcia:

- pantomograficzne,
- cefalometryczne,
- czaszki w projekcji tylno-przedniej (P–A) i bocznej,
- skośne boczne żuchwy,
- zatok obocznych nosa (w projekcji wg Watersa),
- warstwowe wyrostków zębodołowych.

Najczęściej wykonywane są zdjęcia zębowe **wewnątrzustne**, które pozwalają na uwidocznienie pojedynczych zębów (w zależności od ustawienia filmu na każdym zdjęciu widać od dwóch do czterech zębów) oraz otaczających je tkanek zębodołu.

Zdjęcia skrzydłowo-zgryzowe pozwalają na uwidocznienie na jednym zdjęciu koron górnych i dolnych zębów przedtrzonowych oraz trzonowych. Zdjęcia zgryzowe wykonywane są na kliszy ułożonej w jamie ustnej w płaszczyźnie zgryzowej.

Pośród zdjęć **zewnątrzustnych** najczęściej wykonywane są zdjęcia pantomograficzne. Wykonuje się je w oparciu o zasadę zdjęć warstwowych, co pozwala na zobrazowanie zakrzywionych struktur twarzoczaszki na płaskim filmie. Na zdjęciu uzyskujemy obraz warstwy przebiegającej wzdłuż krzywizny łuków zębowych. Ponadto, pantomogram poza zobrazowaniem zębów pozwala na ocenę kości szczęki i żuchwy, stawów skroniowo-żuchwowych, zatok szczękowych. Uzyskany obraz nie zachowuje wymiarów rzeczywistych.

Zdjęcia cefalometryczne (boczne czaszki) są robione za pomocą aparatów pantomograficznych ze specjalną przystawką, służącą do ustabilizowania głowy pacjenta. Zdjęcie jest wykonywane z odległości 3 m, co zapewnia równoległy przebieg wiązki promieniowania i zapobiega powstawaniu powiększenia obrazu badanych struktur. Zdjęcie to wykorzystywane jest do pomiarów liniowych i kątowych dla celów ortodontycznych.

Zdjęcia warstwowe wyrostków zębodołowych kości szczęki i żuchwy wykonywane są w przekrojach poprzecznych, pozwalają na ocenę wysokości kości wyrostka zębodołowego z zachowaniem

* Zdjęcia zamieszczone w tym rozdziale pochodzą z badań wykonanych w Zakładzie Diagnostyki Obrazowej Samodzielnego Publicznego Wojewódzkiego Szpitala Chirurgii Urazowej im. dra Janusza Daaba w Piekarach Śląskich.



wymiarów rzeczywistych. Zdjęcia te wykonywane są przed planowaniem zabiegów implantologicznych.

Spiralna tomografia komputerowa daje obraz struktur twarzoczaszki w płaszczyznach poprzecznych, pozwala na ocenę struktur kostnych szczęki i żuchwy, jak również otaczających tkanek miękkich. Spiralna tomografia komputerowa daje możliwość uzyskania rekonstrukcji płaszczyznowych w dowolnej płaszczyźnie oraz pozwala na wykonanie rekonstrukcji trójwymiarowych. Zastosowanie specjalnego oprogramowania dedykowanego badaniom stomatologicznym – programu dentascan, pozwala w postprocesingu na dodatkową obróbkę danych uzyskanych w trakcie akwizycji, z zachowaniem odpowiednich parametrów technicznych badania TK, oraz uzyskanie wielu informacji niezbędnych lekarzom stomatologom. Badania Dental-TK z obróbką danych w programie dentascan pozwalają uzyskać obrazy w płaszczyznach prostopadłych do linii zgryzu, z zachowaniem wymiarów rzeczywistych, otrzymać rekonstrukcje pantomograficzne szczęki i żuchwy, rekonstrukcje wielopłaszczyznowe oraz trójwymiarowe. Badania Dental-TK najczęściej wykonywane są u pacjentów przed planowanymi zabiegami implantologicznymi oraz w przypadku zębów zatrzymanych i dodatkowych. W implantologii wykonywane ponadto są badania Dental-TK „podwójnego skanu” składające się z dwóch etapów. W pierwszym etapie wykonuje się badanie Dental-TK u pacjenta z założoną protezą lub specjalną wkładką („wirtualne zęby”), natomiast w drugim wykonuje się skany samej protezy lub wkładki. Następnie, uzyskane w trakcie akwizycji dane stomatolodzy wprowadzają do programu SimPlant, co pozwala im na interaktywne planowanie leczenia implantologicznego, włącznie z wizualizacją 3D. Program SimPlant jest kompatybilny ze spiralnymi tomografami komputerowymi oraz tomografami stożkowymi.

Tomografia stożkowa (tomografia *Cone-Beam*) pozwala na uzyskanie obrazów warstwowych elementów kostnych twarzoczaszki za pomocą wiązki promieniowania rentgenowskiego w kształcie stożka. Aparaty te swą budową przypominają tomografy komputerowe lub pantomografy. Tą metodą można uzyskać obrazy w płaszczyźnie poprzecznej, czołowej i strzałkowej oraz trójwymiarowe. Tomografia stożkowa wykorzystywana jest najczęściej w implantologii, protetyce i ortodoncji.

Tomografia rezonansu magnetycznego wykonywana jest w celu dokładnej oceny patologicznych zmian miękkotkankowych oraz w diagnostyce stawów skroniowo-żuchwowych.

Wskazania i przeciwwskazania do radiologicznych badań stomatologicznych

Wskazania

- przywierzchołkowe zmiany zapalne,
- ocena zmian próchnicznych oraz istniejących wypełnień,
- urazy zębów i zębodołów oraz kości szczęki i żuchwy,
- ocena korzeni zębów przed ekstrakcją,
- ocena liczby i położenia zębów zatrzymanych oraz dodatkowych,
- przed i po leczeniu implantologicznym,
- ocena patologicznych zmian łagodnych i złośliwych w obrębie kości szczęki i żuchwy,
- ocena przed- i pooperacyjna,
- cefalometria.

Przeciwwskazania

- ciąża (w tym okresie diagnostyka z użyciem promieniowania rentgenowskiego wykonywana jest wyłącznie w szczególnych przypadkach, np. nowotwory),
- brak wskazań.

Przygotowanie pacjenta

- badania radiologiczne w stomatologii nie wymagają specjalnego przygotowania,
- należy pamiętać o zasadach ochrony radiologicznej.

Kierując pacjentów na stomatologiczne badania radiologiczne należy pamiętać, że w stomatologii i radiologii stomatologicznej obowiązuje międzynarodowy system oznaczania zębów.



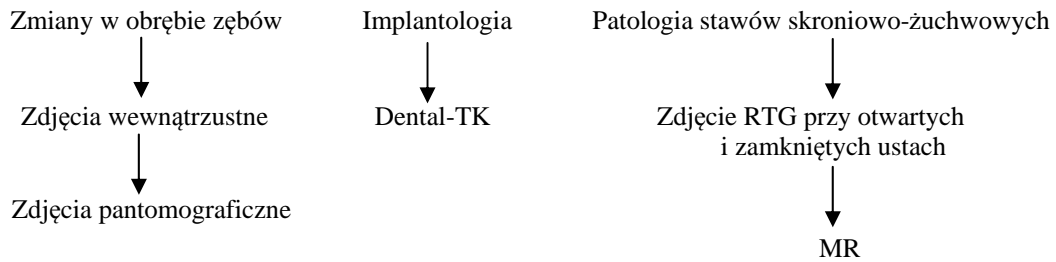
Schemat oznaczania zębów stałych:

	Szczerka																		
Strona prawa	18	17	16	15	14	13	12	11		21	22	23	24	25	26	27	28	Strona lewa	
	48	47	46	45	44	43	42	41		31	32	33	34	35	36	37	38		
	Żuchwa																		

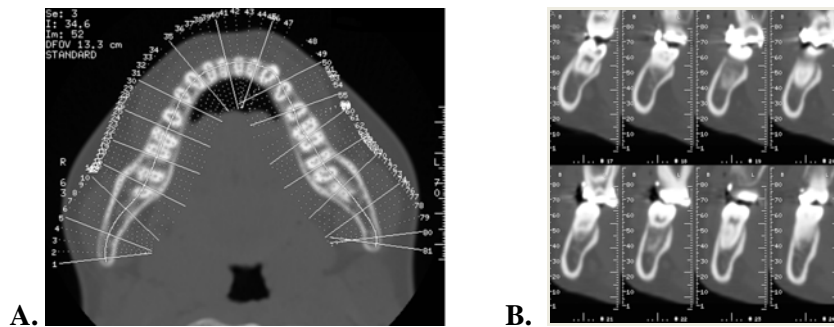
Schemat oznaczania zębów mlecznych:

	Szczerka														
Strona prawa	55	54	53	52	51		61	62	63	64	65	Strona lewa			
	85	84	83	82	81		71	72	73	74	75				
	Żuchwa														

Algorytmy diagnostyczne w najczęściej występujących jednostkach chorobowych

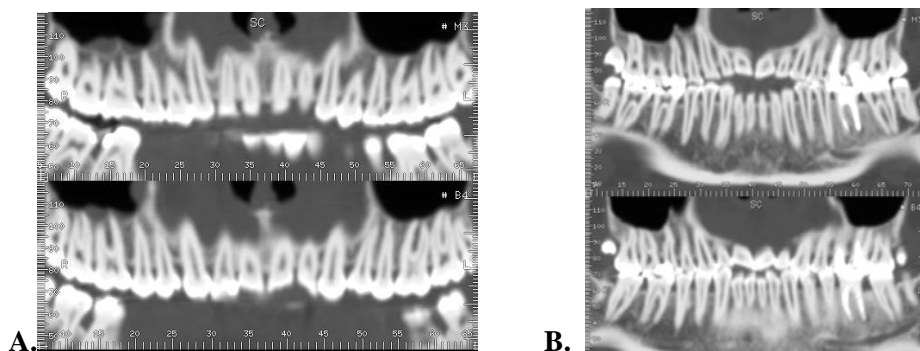


Ryc. 103. Badanie Dental-TK, rekonstrukcja trójwymiarowa.



Ryc. 104. Badanie Dental-TK. A. – skan poprzeczny żuchwy, diagram przekrojów prostopadłych do linii zgryzu; B. – przekroje w płaszczyznach prostopadłych do linii zgryzu.





Ryc 105. Badanie Dental-TK, rekonstrukcje pantomograficzne. A. – Rekonstrukcje pantomograficzne szczęki; B. – Rekonstrukcje pantomograficzne żuchwy.

Piśmiennictwo

1. *Gahleitner A., Watzek G., Imhof H.:* Dental CT: imaging technique, anatomy and pathologic conditions of the jaws. *Eur Radiol.* 2003; 13(2): s. 366–376.
2. *Langlais R.P.:* Radiologia stomatologiczna – interpretacja badań. Elsevier Urban & Partner. Wrocław 2006.
3. *Pruszyński B.:* Radiologia. Diagnostyka obrazowa. Rtg, TK, USG, MR i radioizotopy. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 2003.
4. *Różyło-Kalinowska I.:* Postępy w diagnostyce obrazowej narządu żucia – badania zębów, stawów skroniowo-żuchwowych i ślinianek. Szkoła Radiologii PLTR. Kielce 4–5.11.2005.
5. *Różyło T.K., Różyło-Kalinowska I.:* Radiologia stomatologiczna. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 2007.
6. *White S.C., Pharoah M.J.:* Radiologia stomatologiczna. Czelej. Lublin 2002.

19. Radiologia zabiegowa*

Daniel Knap, Jan Baron

Radiologia zabiegowa wykorzystuje diagnostyczne metody obrazowania do wykonywania przezskórnych zabiegów leczniczych. Przeprowadza się je w znieczuleniu miejscowym lub ogólnym, a promieniowania rentgenowskiego używa się do lokalizacji zmiany chorobowej, monitorowania medycznej procedury radiologicznej oraz kontroli i dokumentowania terapii. Radiologia zabiegowa, zwaną również chirurgią wewnątrznacyniową, jest nową, szybko rozwijającą się specjalnością medyczną, zajmującą się leczeniem niektórych schorzeń za pomocą metod wykorzystywanych przez radiologów do cewnikowania naczyń. Zabiegi wewnątrznacyniowe stanowią nowoczesny standard postępowania ze względu na ich dużą skuteczność oraz mniejsze ryzyko wystąpienia niekorzystnych skutków ubocznych w porównaniu z tradycyjnymi zabiegami chirurgicznymi.

Zabieg wewnątrznacyniowy poprzedza badanie układu naczyniowego (porównaj rozdział: *Diagnostyka obrazowa układu naczyniowego i chłonnego*). Podczas zabiegów stosuje się cewniki przeglądowe, prowadzące, wybiórcze, współośiowe, balonowe, pomiarowe oraz specjalne. Środki embolizujące tworzą trzy kategorie: w zależności od miejsca zamierzonej embolizacji (proksymalnie, dystalnie), trwałości zamknięcia naczynia i stopnia przepuszczalności dla promieni rentgenowskich. Do materiałów embolizacyjnych należą: spirale, alkohol poliwinylowy (PVA), kleje cyjanoakrylowe, Onyx, balony odczepiane. Środkiem embolizującym, działającym krótkotrwale, jest spongostan.

Procedury zabiegowe mogą dotyczyć naczyń OUN lub obwodowych, poza tym obwodowo przeprowadzane są również zabiegi nienacyniowe.

Radiologiczne zabiegi wewnątrznacyniowe wykonywane w OUN można podzielić na następujące grupy:

- embolizacja tętniaków mózgu,
- embolizacja naczyniaków mózgu,
- embolizacja guzów mózgu,
- selektywna, mechaniczna trombektomia i/lub tromboliza dotętnicza,
- angioplastyka oraz stentowanie – rozszerzanie naczyń zwężonych, np. w przebiegu miażdżycy, re-kanalizacja naczyń.

Obwodowe zabiegi wewnątrznacyniowe

- implantacja filtrów żyły głównej dolnej,
- embolizacja mięśniaków macicy,
- embolizacja naczyń obwodowych w przebiegu krwotoków, naczyniaków, rozległych przetok tętniczo-żylnych, nowotworów,
- wytwarzanie zespołów naczyniowych, np. między układem wrotnym i systemowym w przypadkach nadciśnienia wrotnego (TIPS),
- farmakoterapia celowana: leki obkurczające naczynia, trombolityczne, cytostatyki,
- angioplastyka oraz zakładanie stentów do naczyń obwodowych.

* Zdjęcia zamieszczone w tym rozdziale pochodzą z badań wykonanych w Zakładzie Radiodiagnostyki i Radiologii Zabiegowej Samodzielnego Publicznego Szpitala Klinicznego im. prof. Kornela Gibińskiego Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach.



Obwodowe zabiegi nienaczyniowe

- wertebroplastyka,
- przezskórny drenaż nieprawidłowych zbiorników płynu (krwiaków, torbieli, ropni, wodonercza),
- drenaż i usuwanie kamieni z dróg żółciowych,
- rozszerzanie zwężeń przewodu pokarmowego, np. zwężeń przełyku,
- plastyka i szynowanie moczowodów.

Ważnym zabiegiem jest również usuwanie ciał obcych z układu naczyniowego, a dzięki angiografii można ustalić ich położenie w naczyniu. Najczęściej ciałami obcymi są fragmenty cewników do długotrwałych wlewów, cewników diagnostycznych lub przewodników. Cewniki, które są niecieniujące w obrazie rentgenowskim, mogą być widoczne dzięki zaleganiu w ich świetle środka cieniującego po wykonanej angiografii.

Przygotowanie chorego do planowego zabiegu jest podobne jak w przypadku zabiegów diagnostycznych (Patrz rozdział: *Diagnostyka obrazowa układu naczyniowego i chłonnego*). W zależności od rodzaju zabiegu i potrzeby stosuje się odpowiednie leki, najpopularniejsze wazodilatatory to nitrogliceryna i papaweryna, poza tym środki przeciwkrzepliwie: heparyna i warfaryna oraz czynniki hamujące agregację płytek: kwas acetylosalicylowy i pochodne tienopirydyny.

1. Omówienie zabiegów wewnątrznaczyniowych wykonywanych w OUN

Embolizacja tętniaków mózgu

Przez wiele lat jedynym sposobem leczenia tętniaków tętnic mózgowych było postępowanie operacyjne. W wielu przypadkach z powodu szczególnego umiejscowienia tętniaka leczenie neurochirurgiczne było utrudnione lub wręcz niemożliwe. Takie sytuacje generowały powstawanie innych sposobów leczenia. Jedną z wielu metod terapii wewnątrznaczyniowej wykorzystywanej przez radiologię zabiegową jest embolizacja za pomocą spiral. Od 1991 roku w leczeniu wewnątrznaczyniowym stosuje się coraz częściej wypełnienie wnętrza worka w tętniakach mózgu za pomocą platynowych elektroodczepialnych spiral (GDC, *Guglielmi detachable coils*) lub innych systemów. Wprowadzenie embolizacji do leczenia tętniaków wewnątrzczaszkowych – jako alternatywy dla neurochirurgicznego klipsowania – stworzyło szczególną szansę pacjentom z tętniakiem nieoperacyjnym.

Dobór metody leczenia zależy od lokalizacji, wielkości, morfologii tętniaka, technicznego dostępu oraz stanu i wieku pacjenta. Zabieg chirurgicznego zabezpieczenia tętniaka za pomocą klipsa jest bardziej efektywny (nie dochodzi do rekanalizacji), z kolei wewnątrznaczyniowy (EVT) sposób terapii jest mniej inwazyjny. Głównym celem EVT jest całkowita okluzja tętniaka wewnątrzczaszkowego oraz przeciwdziałanie SAH.

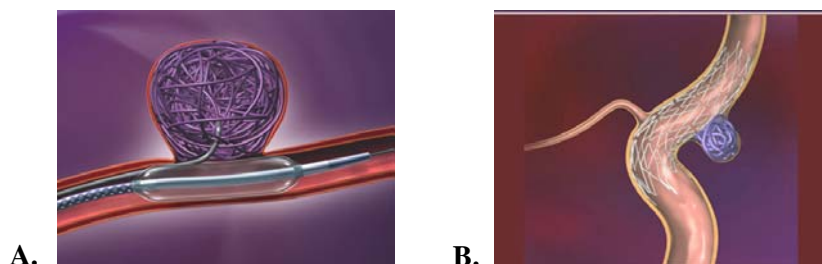
Prekursorem leczenia wewnątrznaczyniowego był rosyjski neurochirurg F. Serbinienko, który w 1971 roku przedstawił metodę embolizacji za pomocą odczepialnych balonów wprowadzanych do worka tętniaka. W styczniu 1991 roku G. Guglielmi po raz pierwszy zastosował spirale odczepialne, co zrewolucjonizowało wewnątrznaczyniowe leczenie tętniaków mózgu. Obecnie wyczepianie spirali domózgowych z przewodnika dostarczającego spiralę do worka tętniaka następuje w sposób mechaniczny, galwaniczny lub hydrauliczny. Zaletą tego sprzętu jest możliwość ciągłego kontrolowania położenia spirali przez wykonującego zabieg oraz uwolnienie jej po upewnieniu się, że jest prawidłowo ułożona w worku tętniaka. Szczególne uznanie wśród radiologów zabiegowych zyskały spirale 3D, z „pamięcią kształtu”, rozszerzające wskazania anatomiczne do leczenia wewnątrznaczyniowego. Metoda embolizowania za pomocą spiral ciągle jest udoskonalana, czego przykładem jest opublikowanie w 2006 roku pierwszej pracy opisującej bezpieczeństwo stosowania oraz skuteczność *HydroCoil Embolic System* (HES). System ten zwiększa trzykrotnie swoją objętość poprzez hydrożel pokrywający platynowe spirale, pochłaniając wodę z krwi. HES zaprojektowano tak, aby zwiększał stopień spoistości i wypełnienia w porównaniu ze standardowymi spiralami stosowanych do okluzji jamy tętniaka.

Kolejnym krokiem w leczeniu tętniaków wewnątrzczaszkowych było wprowadzenie stentów. Zwiększyło to możliwość leczenia tętniaków z szeroką szyją, zapobiegając wypadaniu spiral do naczynia macierzystego. Zastosowanie stentów stanowiło rozwinięcie techniki remodelingu, zaprezentowanej w 1994 r. przez francuskiego radiologa interwencyjnego J. Moreta. Technika ta polegała na



wykorzystaniu balonu, później również stentu do podparcia wypadających spiral z tętniaka o szerokiej szyjce (ryc. 106 A.–B.).

Obserwuje się ciągły rozwój i udoskonalanie tej techniki poprzez stosowanie metody *kissing balloon*, z użyciem dwóch balonów. Metoda ta wykazuje bardzo dużą skuteczność w przypadku skomplikowanych embolizacji trudnych technicznie tętniaków wewnątrzczaszkowych. Konieczne jest doskonalenie materiałów używanych do wewnątrznaczyniowego zamykania tętniaków. Intensywne poszukiwania zaowocowały wprowadzeniem na rynek materiałów embolizacyjnych nowej generacji, takich jak płynny środek embolizacyjny, np. Onyx. Najnowsze spirale pokrywane są białkami przyspieszającymi procesy rozrostu śródbłonna i fibroblastów. Powoduje to zamknięcie szyi tętniaka przez warstwę śródbłonna i trwałe odłączenie go od światła tętniaka, zapobiegając w ten sposób rekanalizacji.



Ryc. 106. Embolizacja z wykorzystaniem techniki remodelingu. A. – niskociśnieniowym balonem. B. – za pomocą stentu.

W ciągu ostatnich lat rozwinęła się metoda wyłączania tętniaków mózgu z krążenia za pomocą stentów o bardzo gęstym utkaniu (np.: Silk, Pipeline), tzw. *flow diverters*, bez konieczności wprowadzania spiral embolizacyjnych do worka tętniaka. Wstępne wyniki wskazują, że są one skuteczne w tętniakach olbrzymich i obejmujących ujścia naczyń (zwłaszcza tętnicy ocznej) i nie powodują zamknięcia naczyń pokrytych przez stent.

Obecnie przyjmuje się, że metodą embolizacji można wyłączyć z krążenia do 80% wszystkich tętniaków, wprowadzając za pomocą mikrocewnika do ich światła materiał embolizacyjny, a wszystkimi dostępnymi metodami wewnątrznaczyniowymi (z remodelingiem i stentami typu *flow diverters*) – do 95%.

Kwalifikację do leczenia wewnątrznaczyniowego podejmuje się w grupie neurochirurgów i radiologów.

Wskazania do EVT

- pacjenci: w ciężkim stanie ogólnym,
- tętniaki w lokalizacji trudnej do klipsowania – tętniaki podklinowe,
- tętniaki w obszarze kręgowo-podstawnym,
- brak zgody pacjenta na zabieg neurochirurgiczny przy korzystnym stosunku worka do szyjki tętniaka.

Względne przeciwwskazania do EVT

- tętniaki o średnicy do 2 mm i powyżej 25 mm,
- wartość stosunku średnicy worka tętniaka do szyi tętniaka $< 1,2$,
- nagłe skurcze naczyniowe,
- zaburzenia krzepnięcia krwi,
- niewydolność nerek,
- nasilone zmiany miażdżycowe utrudniające dojście do tętniaka,

Bezwzględne przeciwwskazania do EVT

- bardzo zły stan kliniczny,
- znane uprzednio reakcje uboczne po heparynie, uczulenie na środki kontrastowe,
- niekorzystna lokalizacja i geometria tętniaka.

Pierwszym, bardzo ważnym krokiem, niezbędnym do zaplanowania zabiegu, jest dokładna ocena morfologii tętniaka oraz jego wymiarów. Dokonuje się tego za pomocą cyfrowej angiografii subtrakcyjnej (DSA) oraz stacji roboczej 3D DSA (ryc. 107A.–B.).



Ryc 107. Tętniak na podziale tętnicy szyjnej wewnętrznej prawej. A. – DSA – projekcja skośna. B. – 3D DSA projekcja A–P (w maksymalnym powiększeniu), przykład pomiarów.

Stacja robocza 3D DSA pozwala również na dokładne zobrazowanie i analizę ewentualnego napływu kontrastu w okolicę worka tętniaka po zabiegu embolizacji. Obecnie skuteczność wypełnienia światła tętniaka spiralami określana jest za pomocą skali *Montreal*. Wykorzystując dokładne pomiary tętniaka oraz jego objętość uzyskaną za pomocą stacji roboczej 3D DSA, można jeszcze dokładniej określić stopień wypełnienia worka tętniaka materiałem embolizacyjnym, co wpływa na późniejszą rekanalizację.

Podczas embolizacji pacjent jest pod opieką lekarza anestezjologa w znieczuleniu ogólnym złożonym, w ciągłej heparynizacji. Spirale są implantowane do worka tętniaka za pomocą mikrocewnika oraz odczepiane pod kontrolą fluoroskopii. Celem leczenia wewnątrznaczyniowego jest wypełnienie tętniaka spiralami tak gęsto, jak to możliwe. Spirale wprowadza się do worka tętniaka do momentu jego bezpiecznego całkowitego wypełnienia, co potwierdza się w badaniu angiograficznym.

Dużym problemem w leczeniu spiralami platynowymi jest gęstość wypełnienia worka tętniaka spiralami i rekanalizacja, której częstość wg różnych źródeł kształtuje się od 10 do 40%. Rekanalizacja po zabiegach wewnątrznaczyniowych doprowadza do nawrotów wypełnienia tętniaka krwią, co zwiększa ryzyko krwotoku podpajęczynówkowego.

Czynniki sprzyjające rekanalizacji to:

- szeroka szyjka tętniaka,
- duże i olbrzymie tętniaki
- niekompletna obliteracja.

Według wielu autorów gęstość wypełnienia pomiędzy 20–25% chroni tętniak przed rekanalizacją.

Możliwość dokładnej oceny objętości tętniaka za pomocą stacji 3D DSA jest także stosowana praktycznie do oceny skuteczności długoterminowego leczenia wewnątrznaczyniowego tętniaków wewnątrzczaszkowych. Powodzenie innych metod okluzji tętniaków z wykorzystaniem materiałów wypełniających, takich jak płynne polimery, stosowane podczas wypełniania worka tętniaka, również ściśle zależy od wolumetrycznej oceny tętniaka.

Embolicacja naczynek mózgu

Malformacje naczyniowe (AVM – *arterio-venous malformations*) uwidaczniają się w badaniu jako konglomerat nieprawidłowych naczyń tętniczych oraz żylnych. Celem badania naczyniowego jest uwidocznienie zarówno tętnic zaopatrujących, jak i żył drenujących malformację. Często w obrębie malformacji występują przetoki tętniczo-żylnie. Embolicacja naczynek tętniczo-żylnych mózgu

(AVM) polega na zamknięciu, np.: klejem cyjanoakrylowym, Onyxem lub cząsteczkami PVA pnia doprowadzającego krew do gniazda naczyniaka. Embolizacja może być uzupełnieniem operacji lub stanowić samodzielną metodę leczniczą.

Embolizacja guzów mózgu

Embolizacja guzów mózgu jest zabiegiem przedoperacyjnym dla oponiaków oraz zabiegiem paliatywnym guzów nieoperacyjnych. Zwykle wykonywana jest u pacjentów, u których zabieg operacyjny może wiązać się z dużą utratą krwi. Przedoperacyjna embolizacja ułatwia przeprowadzenie zabiegu chirurgicznego w „suchym” polu operacyjnym, skraca czas operacji oraz ilość płynów krwiozastępczych. Guzy mózgu, zwłaszcza oponiaki, embolizuje się cząsteczkami PVA.

Selektywna, tromboliza dotętnicza i trombektomia

Jest sposobem wewnątrznacyniowego leczenia świeżych zakrzepów tętnicznych z zastosowaniem środków fibrynolitycznych: urokinazy, rekombinowanego tkankowego aktywatora plazminogenu (r-tPA) lub streptokinazy. Istotną rolę w leczeniu udarów odgrywa czas rozpoczęcia terapii mającej na celu udroźnienie naczyń. Metoda ta może być jednak zastosowana tylko do 4,5 godzin od wystąpienia pierwszych objawów, co obejmuje zaledwie 5% pacjentów. Od kilku lat wykorzystuje się również inne metody terapii wewnątrznacyniowej, polegające na wprowadzeniu do naczyń mózgowych mikronarzędzi umożliwiających mechaniczne usuwanie zatoru. Wydłużają one okno terapeutyczne do 8 godzin od początku objawów, co znacznie zwiększa liczbę pacjentów zakwalifikowanych do leczenia. Do tego typu urządzeń zalicza się *Merci*, które jest kształtu helikalnego, podobne do korkociągu. Urządzenie jest wprowadzane przez mikrocewnik poza skrzeplinę, a następnie wycofywane wraz z materiałem zatorowym przez cewnik prowadzący. Inny przykład mechanicznego udrażniania to koszyk o nazwie *Catch*, za pomocą którego łapie się materiał zatorowy do cewnika prowadzącego. Kolejny przykład trombolizy mechanicznej to system o nazwie *Penumbra*, który wykorzystuje mikrocewnik i separator do mechanicznego rozdrobnienia skrzepliny. Wysoki wskaźnik rekanalizacji oraz korzystne wyniki kliniczne u pacjentów z okluzją tętnicy w części proksymalnej można uzyskać za pomocą stentu Solitaire. W chwili otwierania samorozprężalnego stentu skrzeplina powinna znajdować się w części centralnej.

Stosując różne wspomniane metody rewaskularyzacji tętnic mózgowych można przywrócić krążenie w 70–80% niedrożności naczyń. Kliniczne efekty i rokowanie pacjentów są uzależnione przede wszystkim od wyjściowego stanu neurologicznego i czasu rozpoczęcia leczenia.

Angioplastyka oraz stentowanie

W ostatnich latach wzrasta znaczenie neuroradiologii interwencyjnej w leczeniu naczyń za pomocą stentów i/lub balonów w wielu chorobach, takich jak: wewnątrzczaszkowe przewężenie spowodowane miażdżycą, rozwarstwienie, uraz, dysplazja włóknistomięśniowa, skurcz naczyń, leczenie tętniaków (patrz: *Embolizacja tętniaków mózgu*, s. 183) i inne. Szczególne znaczenie w przeciwdziałaniu wewnątrznacyniowych powikłań odgrywa farmakologia (patrz rozdział: *Diagnostyka obrazowa układu naczyniowego i chłonnego*). Stenoza wewnątrzczaszkowa jest przyczyną 8–10% udarów mózgu. Rozszerzanie naczyń zwężonych, np. w przebiegu miażdżycy, często wymaga zastosowania stentów wewnątrzczaszkowych. Użycie najnowszych stentów wewnątrznacyniowych daje obiecujące efekty, ze śmiertelnością około 0–6% w pierwszym miesiącu od udaru. Po zabiegu jest konieczna terapia przeciwzakrzepowa.

Przeciwwskazania

- ustabilizowany ubytek neurologiczny,
- obecność dokonanego zawału mózgu,
- długi czas od wystąpienia objawów klinicznych.

Skuteczność zabiegu oceniana jest na 40–75%. Do powikłań zalicza się: przerwanie ciągłości ściany naczynia, zakrzep naczynia macierzystego, odwarstwienie śródbłonna. Nadmierny odczyn naprawczy nazywany jest przerostem miointymialnym i może prowadzić do nawrotu zwężenia po angioplastyce zwężenia w stencie.



2. Omówienie zabiegów wewnątrznaczyniowych wykonywanych obwodowo

Filtr żyły głównej dolnej

Zakładany w postaci metalowej konstrukcji, która stanowi mechaniczną przeszkodę dla materiału zatorowego przemieszczającego się z kończyn dolnych i miednicy małej, powodując zatorowość płucną (ok. 90%). Filtry dzielimy na stałe i czasowe, a ich skuteczność ocenia się na ok. 95%. W celu założenia filtru uzyskuje się najczęściej dostęp przez prawą żyłę udową lub rzadziej prawą żyłę szyjną. Powikłania związane z implantacją filtru występują w ok. 7% przypadków. Najczęstsze to nieprawidłowe rozwarście filtru, jego przemieszczenie oraz zakrzepica.

Embolizacja mięśniaków macicy

Obecnie metoda ta jest alternatywą dla zabiegu histerektomii. Podczas zabiegu istotne jest wybiórcze podanie materiału zatorowego (embolizacyjnego), co powoduje zamknięcie naczyń krwionośnych w obszarze zaopatrywanym przez wybraną tętnicę. Niedokrwienie prowadzi do zmian nieodwracalnych w postaci ostrego zawału. Materiałem embolizacyjnym jest alkohol poliwinylowy o różnej wielkości cząsteczek.

Reakcją organizmu na zatrzymane miejscowo krążenie jest zespół poembolizacyjny, na który składają się dolegliwości bólowe, nieznaczna gorączka oraz nudności i wymioty. Nasilenie objawów zależy od wielkości materiału embolizacyjnego, rozległości obszaru niedokrwionego oraz osobniczej wrażliwości. Zespół poembolizacyjny wymaga intensywnego leczenia. Mięśniaki po embolizacji zmniejszają swoją objętość o około 60% po 3 miesiącach i 80% po roku. Skuteczność zabiegu ocenia się na 75–80%. Kwalifikację do zabiegu embolizacji oraz kontrolę przeprowadza się za pomocą MR.

Powikłania występują rzadko, do najczęstszych należą: przedwczesna menopauza, zakażenie, martwica macicy, niezamierzona embolizacja innych tętnic. Opisywane są przypadki urodzenia zdrowych dzieci po zabiegu embolizacji mięśniaków.

Embolizacja naczyń obwodowych w przebiegu krwotoków, naczyńniaków, rozległych przetok tętniczo-żylnych, nowotworów

Krwawienie z przewodu pokarmowego jest najczęstszą przyczyną wykonania angiografii tętnic krezkowych. W leczeniu zmian pourazowych i krwawień z przewodu pokarmowego celem embolizacji jest opanowanie krwawienia przez zamknięcie uszkodzonych naczyń oraz powstałych w wyniku urazu przetok tętniczo-żylnych i pseudotętniaków. Około 60% przetok tętniczo-żylnych umiejscawia się w obrębie kończyn dolnych. Istnieje wiele środków embolizacyjnych, których wybór zależy od wielkości zmiany, umiejscowienia i architektury.

Wytwarzanie zespołów naczyniowych, np. między układem wrotnym i systemowym w przypadkach nadciśnienia wrotnego (TIPS)

Celem wytworzenia wewnątrzwątrobowej przetoki wrotno-systemowej (TIPS – *transjugular intrahepatic portosystemic shunt*) jest odbarczenie układu wrotnego. Wytwarzanie przetoki pomiędzy żyłą wrotną i jedną z żył wątrobowych polega na wprowadzeniu igły przez żyłę szyjną do żyły głównej górnej, dolnej, następnie do wątrobowej. Kanał przetoki w miększu wątroby poszerza się balonem do 8–10 mm i zabezpiecza stenem pokrywającym.

Wskazania

- krwawienie z żyłaków przełyku odporne na leczenie farmakologiczne i skleroterapię,
- krwawienie z żyłaków ekotopowych lub z błony śluzowej żołądka,
- wodobrzusze w przebiegu marskości wątroby, zakrzepicy żył wątrobowych lub żyły wrotnej.



Przeciwwskazania: ciężka niewydolność wątroby lub prawej komory

Skuteczność zabiegu w wyspecjalizowanych ośrodkach sięga ok. 97%. Najgorszym powikłaniem jest wytworzenie zespolenia, które prowadzi do groźnego krwawienia.

Farmakoterapia celowana: leki obkurczające naczynia, trombolityczne, cytostatyki

- *Leki obkurczające naczynia* – celowane podawanie leków obkurczających naczynia polega na bezpośrednim ich podawaniu do tętnicy zaopatrującej zmiany chorobowe. Do najczęściej stosowanych preparatów o takim działaniu zaliczana jest wazopresyna. Wywołuje ona skurcz mięśni gładkich naczyń trzewnych, zmniejszając przepływ krwi, co sprzyja wytworzeniu skrzepu w miejscu krwawienia. Najczęściej jest wykorzystywana u chorych krwawiących z rozległych powierzchni przewodu pokarmowego, w przebiegu zmian zapalnych z owrzodzeniami błony śluzowej, a także w leczeniu uszkodzeń jatrogennych. Skuteczność metody oceniana jest na 50–85%.
- *Fibrynoliza celowana* – działanie leków fibrynolitycznych polega na rozpuszczaniu zakrzepów. Obwodowo najczęściej stosuje się je w leczeniu niedrożności kończyn dolnych. Powodzenie fibrynolizy zależy od podatności zakrzepu na leki trombolityczne, właściwego ich doboru i metody podania.
- *Chemoembolizacja wątroby (TACE – transcatheter arteria chemoemboliation)* jest wykorzystywana w nieoperacyjnych HCC, przerzutach nowotworów neuroendokrynych i przerzutach raka jelita grubego. Technika ta opiera się na selektywnym zacementowaniu gałęzi tętnicy wątrobowej jak najbliższej guza. Pozwala na 100-krotne zwiększenie stężenia chemioterapeutyku i znacznie przedłuża czas jego kontaktu z tkanką nowotworową w porównaniu z chemioterapią systemową. Podaje się emulsję chemioterapeutyku (Cisplatyna, Mitomycyna, 5-FU) z cząsteczkami embolizacyjnymi (PVA, spongostan). Pozytywna odpowiedź na chemoembolizację wynosi 60–80%. Wydłużenie przeżycia dochodzi do 14 miesięcy.

Angioplastyka oraz zakładanie stentów obwodowych

Angioplastyka polega na stosowaniu metod endowaskularnych w celu udrożnienia lub poprawienia przepływu w naczyniach. Czasami – ze względu na lokalizację oraz zmiany mniej podatne na rozszerzanie – aby uzyskać dobry wynik, należy zastosować stent. Połączenie różnych materiałów i konstrukcji stentów sprawia, że różnią się między sobą wieloma cechami, takimi jak np. giętkość, siła radialna, stopień skręcania, gęstość utkania oraz cieniowanie w obrazie radiologicznym.

Wskazania to zwężenia i odcinkowe niedrożności powstałe na tle miażdżycowym, pozapalnym, popromiennym oraz pooperacyjnym tętnic szyjnych, podobojczykowych, aorty, tętnic nerkowych, tętnic trzewnych, tętnic kończyn dolnych, przetok dializacyjnych, w układzie żylnym.

W miejscu zwężenia stosuje się balon rozprężany nawet do 20 atmosfer.

W leczeniu tętniaków aorty stosuje się stentgraft. Tętniak aorty brzusznej może być zaopatrzony wewnątrznaczyniowo, pod warunkiem, że rozpoczyna się poniżej tętnic nerkowych. Wskazaniem do implantacji stentgraftu może być także przetoka tętniczo-żylna, perforacja lub pęknięcie naczynia.

3. Omówienie zabiegów nienaczyniowych

Wartebroplastyka

Wartebroplastyka i kyfoplastyka są wykonywane u pacjentów ze złamaniami kompresyjnymi trzonów kręgosłupa. Polegają one na wstrzyknięciu do trzonu kręgowego przez specjalną igłę cementu akrylowego pod kontrolą promieni rentgenowskich. Głównym wskazaniem są silne dolegliwości bólowe u pacjentów ze złamaniami kompresyjnymi, utrzymujące się pomimo leczenia przeciwbólowego i usztywnienia gorsetem. Redukcję lub całkowite zniesienie bólu uzyskuje się u ok. 90% pacjentów.

Prześcierny drenaż nieprawidłowych zbiorników płynu (krwiaków, torbieli, ropni, wodonercza)

Polega na nakłuciu nieprawidłowych zbiorników igłą pod kontrolą rentgenowską lub USG. Opróżnienie może również wystąpić po wprowadzeniu cewnika drenującego. Leczenie kończy się sukcesem w 70% przypadków. Najczęstsze powikłania to: krwawienie, bakteriemia, zapalenie otrzewnej, odma opłucnowa, przetoka jelitowa.



Drenaż i usuwanie kamieni z dróg żółciowych

Celem drenażu jest zapewnienie odpływu żółci z dróg żółciowych wewnątrzwątrobowych u chorych z żółtaczką mechaniczną. Prowadzi do obniżenia stężenia bilirubiny w surowicy krwi i ustąpienia objawów klinicznych żółtaczki. Wykonywane są trzy rodzaje drenaży żółciowych: zewnętrzny, zewnętrzno-wewnętrzny oraz wewnętrzny.

U operowanych pacjentów z kamicią żółciową zostaje wprowadzony śródoperacyjnie dren Kehra, co umożliwi ewakuację pozostawionych złogów żółciowych tą drogą. Złóg zostaje uchwycony przez koszyczek stalowy, wyprowadzony do światła drenu i usunięty na zewnątrz. Skuteczność zabiegu sięga ok. 95%.

Rozszerzanie zwężeń przewodu pokarmowego, np. zwężeń przełyku

Metodę stosuje się w nowotworowych lub nienowotworowych zwężeniach przełyku, niekwalifikujących się do leczenia operacyjnego. W przypadku nieresekcyjnego nowotworu przełyku, przy zachowanej drodze pokarmowej, lecz bez załamania osi przełyku, można zastosować samorozprężalny stent powlekany. W znaczący sposób poprawia on komfort życia pacjenta.

Plastyka i szynowanie moczowodów

Zwężenia moczowodu są najczęściej następstwem urazu jatrogennego, zmian zapalnych i nowotworowych. Zabieg rozpoczyna się przez nakłucie nerki, a następnie wprowadza się cewnik. Za pomocą balonu wysokociśnieniowego można wprowadzić cewnik typu double-J, co zapewnia utrzymanie drożności moczowodu. Jeden jego koniec umieszcza się w pęcherzu, a drugi w miedniczce nerkowej.

Piśmiennictwo

1. *Fiorella D., Lylyk P., Szikora I., Kelly M.E., Albuquerque F.C., McDongall C.Cz., Nelson P.K.*: Curative cerebrovascular reconstruction with the Pipeline embolization device: the emergence of definitive endovascular therapy for intracranial aneurysms. *J. NeuroInterv. Surg.* 2009; 1: s. 56–65.
2. *Juszkat R., Nowak S., Kociemba W., Smół S., Blok T., Parzycki W.*: Endovascular treatment of cerebral aneurysms using hydraulically detachable coils. *Polish Journal of Radiology* 2006; 71(3): s. 57–63.
3. *Juszkat R., Nowak S., Pancylusz W.*: Advances in interventional neuroradiology. *Progres in Neuroradiology 2009*: Jerzy Walecki. New York: International Scientific Literature 2009.
4. *Lubicz B., Leclerc X., Gauvrit J.Y., Lejeune J.P., Pruvo J.P.*: Three-dimensional packing with complex orbit coils for the endovascular treatment of intracranial aneurysms. *AJNR AM J. Neuroradiol.* 2005; 26: s. 1342–1348.
5. *Morris P.*: Practical Neuroangiography 2nd ed. Lippincott Williams&Wilkins, Philadelphia 2007.
6. *Osborn A.G.*: Diagnostic cerebral angiography. 2nd ed. Lippincott Williams&Wilkins, Philadelphia 1999.
7. *van Rooij W.J., Sluzewski M.*: Intracranial aneurysms: packing, complex coils, and recurrence. *Radiology* 2008; 246: s. 988–989.
8. *Szajner M.*: Przeznaczyniowa embolizacja jako nowoczesna metoda leczenia tętniaków wewnątrzmożgowych. [w:] Red. Czepko R.: Wybrane zagadnienia diagnostyki i leczenia malformacji naczyniowych ośrodkowego układu nerwowego. Wyd. UJ. Kraków 2007: s. 35–40.
9. *Szajner M., Jargiello T., Szczerbo-Trojanowska M.*: The use of GDC-10 coils in treatment of small – baby (< 4 mm in diam.) intracranial aneurysms by percutaneous embolisation. *Polish Journal of Radiology.* 2004; 69(51): s. 39–40.
10. *Szajner M., Szczepanek D., Trojanowski T., Nestorowicz A., Szczerbo-Trojanowska M.*: Porównanie wyników leczenia tętniaków tętnicy środkowej mózgu metodą mikrochirurgiczną i embolizacji przeznaczyniowej – ocena skuteczności dwóch metod na podstawie analizy wyników leczenia 60 przypadków. *Neurol. Neurochir. Pol.* 2003; 37(1): s. 133–149.
11. *Szczerbo-Trojanowska M.*: Układ naczyniowy. Radiologia interwencyjna. [w:] Red. Walecki J., Pruszyński B.: Leksykon radiologii i diagnostyki obrazowej. ZamKor. Kraków 2003: s. 317–369.

