



# Zastosowanie technik medycyny nuklearnej w ortopedii

## Application of nuclear medicine techniques in orthopedics

Paulina Cegła<sup>1</sup>, Anna Kostiukow<sup>2</sup>, Katarzyna Pietrasz<sup>3</sup>, Witold Cholewiński<sup>4,1</sup>

<sup>1</sup> Zakład Medycyny Nuklearnej, Wielkopolskie Centrum Onkologii, 61-866 Poznań, tel.: +48 61 885 07 89, e-mail: paulina.cegla@gmail.com

<sup>2</sup> Katedra i Klinika Reumatologii i Rehabilitacji, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, ul. 28 czerwca 1956r. nr 135-147, 61-545 Poznań

<sup>3</sup> Studentka Elektroradiologii, Wydział Nauk o Zdrowiu, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, ul. Smoluchowskiego 11, 60-179 Poznań

<sup>4</sup> Katedra i Zakład Elektroradiologii, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, ul. Garbary 15, 61-866 Poznań

### Wprowadzenie

Wczesne postawienie diagnozy pozwala na wdrożenie odpowiedniego leczenia, umożliwiające osiągnięcie zamierzonego celu terapeutycznego. Badania obrazowe są kluczowym narzędziem diagnostycznym ułatwiającym ortopedom postawienie odpowiedniej diagnozy i wdrożenie zindywidualizowanego leczenia.

Do najczęściej stosowanych metod diagnostyki obrazowej układu mięśniowo-szkieletowego należą: radiografia konwencjonalna (ang. *Radiography*, RTG) [1], ultrasonografia (ang. *Ultrasonography*, USG) [2], tomografia komputerowa (ang. *Computed Tomography*, CT) [3] oraz rezonans magnetyczny (ang. *Magnetic Resonance*, MR) [4]. Obecnie szeroko stosowane badania z zakresu medycyny nuklearnej przyczyniają się do zapobiegania chorobom, diagnozowania ich oraz leczenia, np. leczenia nadczynności

tarczycy pierwiastkiem radioaktywnego Jodu 131 (<sup>131</sup>I) [5]. Cechą charakterystyczną obrazowania w medycynie nuklearnej jest uwidocznienie zmian zachodzących w funkcjonowaniu danego narządu bądź układu, które występują znacznie wcześniej niż zmiany anatomiczne. Na przykład w przypadku ostrego zakażenia w przebiegu ostrego zapalenia kości i szpiku, musi nastąpić zniszczenie kości z 30% demineralizacją, zanim będzie można ją wykryć za pomocą CT [6].

Techniki obrazowania stosowane w medycynie nuklearnej, takie jak planarna scyntygrafia układu kostnego (ang. *Whole Body Scan*, WBS), scyntygrafia emisyjna pojedynczego fotonu w połączeniu z CT (ang. *Single Photon Emission Tomography/Computed Tomography*, SPECT/CT) bądź pozytonowa tomografia emisyjna z tomografią komputerową (ang. *Positron Emission Tomography/Computed Tomography*, PET/CT) dostarczają zasadniczych informacji diagnostycznych

134

### Streszczenie

Główną zaletą obrazowania z zastosowaniem technik medycyny nuklearnej jest możliwość uchwycenia zmian funkcjonalnych, które pojawiają się przed zmianami anatomicznymi. W związku z tym wykorzystanie technik medycyny nuklearnej umożliwia wczesne wykrycie m.in. chorób układu mięśniowo-szkieletowego.

**Słowa kluczowe:** ortopedia, obrazowanie, medycyna nuklearna, scyntygrafia, SPECT/CT, PET/CT

### Abstract

The major advantage of nuclear medicine imaging is that functional changes appear before an anatomical change. Therefore, imaging in nuclear medicine enables the early detection of diseases of the musculoskeletal system.

**Key words:** orthopedy, diagnosis, nuclear medicine, scintigraphy, SPECT/CT, PET/CT

otrzymano / received:

10.01.2019

poprawiono / corrected:

14.01.2019

zaakceptowano / accepted:

27.02.2019



w różnych sytuacjach klinicznych, spotykanych regularnie w praktyce ortopedycznej [7].

## Scyntygrafia układu kostnego

Pomimo nowych metod stosowanych w medycynie nuklearnej, scyntygrafia układu kostnego wykorzystująca dwufosfoniany, które po połączeniu z izotopem Technetu  $^{99m}\text{Tc}$  wbudowywane są do kości, pozostaje najczęściej używaną techniką obrazowania układu mięśniowo-szkieletowego. Najpowszechniej stosowanym ligandem jest metylenodwufosfonian (MDP), etylenohydroksydwufosfonian (HEDP) oraz hydroksymetylenodwufosfonian (HMDP) [8]. Obecność wiązań p-c-p (ang. *Peptide Carrier Protein*) sprawia, że związki te są odporne na hydrolizę przez fosfatazy alkaliczne, które w 50-60% produkowane są w kościach. Po 2-3 h od dożylniej iniekcji radiofarmaceutyku od 20-35% gromadzona jest w układzie kostnym, natomiast pozostała część wydalana jest przez układ moczowy [9]. Badania autoradiograficzne wykazały, że dwufosfoniany znakowane  $^{99m}\text{Tc}$  są głównie absorbowane w fazie mineralnej kości w miejscu aktywnego tworzenia kości. Aktywacja osteoblastów widoczna jest w wielu patologiach występujących w układzie kostnym (jako ogniska wzmożonego gromadzenia znacznika w odniesieniu do prawidłowej tkanki), tym samym zmniejszając swoistość badania. W ortopedii najczęściej zastosowanie znajduje scyntygrafia trójfazowa układu kostnego, która uwidacznia ukrwienie odcinków kostnych oraz obrzęk otaczających tkanek miękkich. Wzmożone ukrwienie wokół wszczepionego implantu sugeruje proces ropny, natomiast niezaburzona perfuzja sugeruje łagodne obłuzowanie. Należy pamiętać o okresie regeneracyjnym implantacji protezy, który może trwać do 18 miesięcy [8], a brak wychwytu wokół implantu po tym czasie wyklucza możliwość jego obłuzowania. Scyntygrafia trójfazowa stosowana jest w przypadku podejrzenia obłuzowania endoprotezy, zapalenia bądź zakażenia kości i tkanek miękkich, chorobie Pageta, chorobie Legg-Perhensa, nowotworach łagodnych kości (kostniak, włókniak kostniejący), złamaniach przeciążeniowych, urazach sportowych, w ocenie żywotności przeszczepów kostnych, w przypadku utajonych urazów narządu ruchu czy w zespole dziecka maltretowanego [10].

## SPECT i SPECT-CT

Biorąc pod uwagę brak możliwości dokładnego odwzorowania anatomicznego w obrazach dostarczanych przez planarną scyntyografię kości, rutynowo wykorzystuje się SPECT. Metoda ta pozwala na otrzymanie przekrojów poprzecznych, czołowych i strzałkowych, co znacznie podnosi czułość badania [11]. Obrazowanie metodą SPECT jest najbardziej przydatne w ocenie kręgosłupa piersiowo-lędźwiowego, czaszki oraz miednicy ze względu na rozległą tkankę miękką otaczającą te obszary, zapewniając tym samym lepszy kontrast obrazu w wykrywaniu uszkodzeń. W dzisiejszych czasach większość zakładów medycyny

nuklearnej dysponuje urządzeniami hybrydowymi SPECT/CT, które wzbogacają obraz czynnościowy (SPECT) o obrazy anatomiczne (CT), podwyższając tym samym czułość badania [8].

## PET-CT

W przeciwieństwie do scyntygrafii kości, obrazowanie PET opiera się na wykrywaniu fotonów anihilacyjnych o wysokiej energii (511 keV), emitowanych przez pozyton. Pomimo szerokiego wykorzystania techniki PET/CT w onkologii, znajduje ona również zastosowanie w innych obszarach medycyny, w tym w zaburzeniach układu mięśniowo-szkieletowego. W praktyce klinicznej większość badań PET/CT wykonuje się za pomocą analogu glukozy znakowanego Fluorem 18 ( $^{18}\text{F}$ -fluoro-2-deoksy-D-glukozy,  $^{18}\text{F}$ -FDG), który jest aktywnie pobierany przez komórki wykazujące zwiększony metabolizm glukozy, za pomocą specyficznych transporterów glukozy (ang. *Glucose transporter*, GLUT): GLUT-1 i GLUT-4. W kolejnym etapie jest fosforylowany przez heksokinazę do FDG6-fosforanu, który nie ulega już dalszym przemianom. Obecnie  $^{18}\text{F}$ -FDG jest coraz częściej stosowane do obrazowania pierwotnych i wtórnych guzów występujących w układzie mięśniowo-szkieletowym, a także w infekcjach [12]. Innym ważnym znacznikiem stosowanym w obrazowaniu układu szkieletowego jest Fluorek sodu znakowany Fluorem 18 ( $^{18}\text{F}$ -NaF). Mechanizm wychwytu  $^{18}\text{F}$ -NaF w kości jest taki sam jak w przypadku dwufosfonianów znakowanych  $^{99m}\text{Tc}$ , tj. adsorpcja na powierzchniach kostnych z predyspozycją do miejsc aktywnej przebudowy kostnej. Wychwyty  $^{18}\text{F}$ -NaF jest około dwukrotnie wyższy, a jego współczynnik oczyszczania krwi szybszy w porównaniu z  $^{99m}\text{Tc}$ -dwufosfonianami, co powoduje wzrost stosunku aktywności kości do tła [13-15].

Celem niniejszej pracy jest podsumowanie dostępnej wiedzy na temat zastosowania technik medycyny nuklearnej w obrazowaniu układu mięśniowo-szkieletowego i ich użyteczności w różnych łagodnych i złośliwych patologiach obejmujących układ mięśniowo-szkieletowy.

## Ostre i przewlekłe zapalenie kości i szpiku

Techniki wykorzystywane w medycynie nuklearnej do oceny i lokalizacji stanu zapalnego pozwalają ocenić ogniska zapalne na poziomie molekularnym, poprzez znakowanie czynników biorących bezpośredni udział w procesie zapalnym (immunoglobuliny, leukocyty, przeciwciała). Standardowym obrazem widocznym w badaniach scyntygraficznych w przypadku infekcji jest zwiększony regionalny przepływ krwi odpowiadający zwiększonemu wychwytoowi w obrazach opóźnionych (po 2-3 h od dożylniej iniekcji). Różni się to od zapalenia tkanki łącznej, w którym obserwuje się jedynie wzrost przepływu krwi w tkankach miękkich bez zwiększonego wychwytu radioznacznika w obrazach opóźnionych.  $^{99m}\text{Tc}$ -MDP ma wysoką czułość (82-95%) i dokładność (90%) w wykrywaniu ostrego, nieskomplikowanego zapalenia



kości i szpiku, w ciągu 28 do 48 godzin po wystąpieniu objawów [16]. Jednak inne stany (np. złamania, stawy neuropatyczne, zapalenie stawów) mogą w obrazie scyntygraficznym naśladować zapalenie kości i szpiku, co zmniejsza jego swoistość. Dodanie czwartej fazy (po 24 h od iniekcji) zwiększa swoistość badania, jednak obrazy uzyskane po tym czasie ze względu na okres półrocznego rozpadu  $^{99m}\text{Tc}$  ( $T_{1/2}=6,01\text{h}$ ) znacząco tracą na jakości [17]. Ponadto, w przypadku badań u dzieci, scyntygrafia kości może wykazywać zmniejszony wychwyt radioizotopu, co przypisuje się zwiększonemu ciśnieniu na naczynia krwionośne, usuwaniu okostnej poprzez gromadzenie się ropy i zakrzepicy, co prowadzi do otrzymania fałszywie negatywnego wyniku badania. Około 30% pacjentów z ostrym zapaleniem kości i szpiku rozwijają podostre lub przewlekłe zapalenie kości i szpiku [18].

Najpowszechniej stosowane radiofarmaceutyki w diagnostyce stanów zapalnych to: cytrynian  $^{67}\text{Ga}$  ( $^{67}\text{Ga}$ -cytrynian), znakowane leukocyty, immunoglobuliny oraz cząstki koloidalne. Zwiększona akumulacja  $^{67}\text{Ga}$  powiązana jest z uwalnianiem się dużej ilości laktoferytyny z granulocytów w stanach zapalnych oraz zwiększonym ukrwieniem i przepuszczalnością naczyń krwionośnych w ognisku zapalnym [19]. Czulość badania z użyciem  $^{67}\text{Ga}$  waha się od 25-80% przy swoistości wynoszącej 67% [20]. Ze względu na długi czas skanowania (akwizycję wykonuje się po 24, 48 i 72 godzinach od dożylnego iniekcji znacznika), metoda ta powoli zostaje wyparta przez znakowane leukocyty. Pobrana próbka krwi żyłnej chorego poddawana jest wirowaniu w celu separacji leukocytów, które następnie znakowane są Indem 111 ( $^{111}\text{In}$ ) bądź  $^{99m}\text{Tc}$  heksametylopropylen (HMPAO). W porównaniu z planarną scyntyografią kości badanie przy użyciu znakowanych leukocytów wykazało 80-90% swoistość w wykrywaniu stanów zapalnych [21]. Ze względu na to, że większość wyznakowanych leukocytów to neutrofile, procedura ta jest najbardziej przydatna w identyfikacji procesów zapalnych, w których pośredniczą neutrofile, np. w infekcjach bakteryjnych, jednak ma ograniczoną wartość w wykrywaniu rdzeniowego zapalenia kości i szpiku. Akwizycję po podaniu znakowanych leukocytów wykonuje się około 1, 4 i 24 godzinach od dożylnego iniekcji. Dodatkowo zaleca się również wykonanie SPECT bądź SPECT/CT w celu zwiększenia swoistości i czułości badania [22, 23].

## Zakażenia protetyczne

Dzięki poprawie technik chirurgicznych i dostępności lepszych protez zwiększa się liczba pacjentów decydujących się na implantację protezy. Choć kliniczne wyniki operacji wymiany stawów są zadowalające, to jednak implanty zawodzą. Rozluźnienie tkanek spowodowane czynnikami mechanicznymi i reakcją zapalną na komponenty protetyczne są najczęstszą przyczyną powikłań po wszczępieniu implantu, a następnie infekcji. Zakażenie jest prawdopodobnie najpoważniejszym powikłaniem operacji alloplastyki stawów, od około 1-2% w przypadku implantów pierwotnych do ~3-5% w przypadku implantów rewizyjnych [24]. Ze względu na to, że stosuje się różne metody

leczenia, należy odróżnić zakażenie od aseptycznego obłuzowania protezy. Badanie scyntygraficzne z użyciem znakowanych leukocytów ma przewagę w różnicowaniu aseptycznego obłuzowania z infekcją, jednak niska czulość metody przypisywana jest przewlekłości procesu, podczas gdy słaba swoistość – niespecyficznemu zapaleniu [25, 26].

## $^{18}\text{F}$ -FDG PET-CT w chorobach układu mięśniowo-szkieletowego

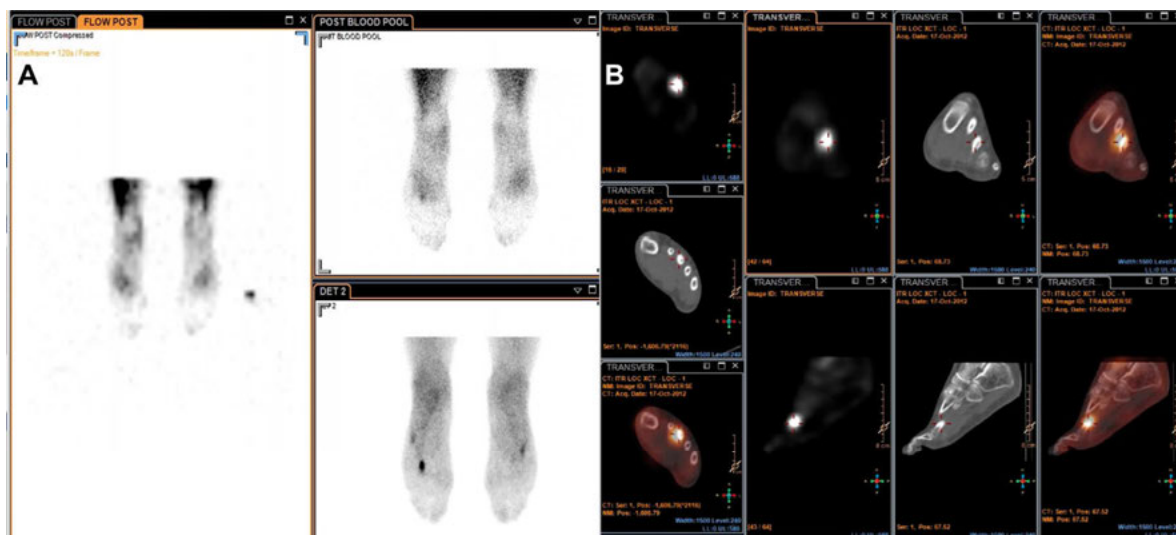
Zwiększoną akumulację  $^{18}\text{F}$ -FDG obserwuje się w zapaleniu kości i stawów, złamaniach, normalnie gojącej się kości oraz zmianach zwyrodnieniowych [27]. W ostrych i podostrych zakażeniach kości i tkanek miękkich wrażliwość badania  $^{18}\text{F}$ -FDG-PET/CT wynosi 98%, a specyficzność od 75 do 99% [28]. Badanie  $^{18}\text{F}$ -FDG-PET/CT u pacjentów z podejrzeniem całkowitego zakażenia stawu wykazały 90% czulość oraz 89% specyficzność w rozpoznawaniu zakażenia protez kończyn dolnych [29]. Dokładność  $^{18}\text{F}$ -FDG-PET/CT wynosiła 96% dla protez stawu biodrowego oraz 81% w przypadku protez stawu kolanowego [30]. Jednakże w połączeniu z podejrzeniem obłuzowania protezy  $^{18}\text{F}$ -FDG-PET/CT nie pozwala na różnicowanie pomiędzy septycznym i aseptycznym obłuzowaniem ze względu na wzmożony wychwyt radioizotopu w obu przypadkach, który jest spowodowany immunologiczną reakcją zapalną na wszczępienie materiału protetyczny [31].

## Złamania przeciążeniowe

Złamania zmęczeniowe są efektem powtarzających się urazów bądź przeciążeń działających na zdrową kość. W diagnostyce, prócz badania klinicznego, wykorzystuje się również badania obrazowe, takie jak RTG oraz WBS, która ze względu na ocenę metabolizmu kostnego jest badaniem bardziej czułym niż konwencjonalny RTG. W przypadku złamań występujących w obrębie śródstopia scyntygrafia kości jest metodą referencyjną (Rys. 1), natomiast złamania w obszarze kości krzyżowej cechuje charakterystyczny wychwyt w postaci litery „H”. Wykonanie obrazowania SPECT/CT w przypadku złamania zmęczeniowego pozwala na dokładne odzwierciedlenie struktur anatomicznych [32, 33].

## *Shin Splints* (zespół przeciążenia przyśrodkowej okolicy piszczeli)

Dolegliwość ta najczęściej dotyczy biegaczy, dynamicznych chodźców bądź osób uprawiających dynamiczny sport, np. koszykówkę. Jest spowodowana głównie przeciążeniem mięśni (w szczególności płaszczkowatego) lub nieprawidłowościami biochemicznymi (nadmierna pronacja bądź supinacja stopy). *Shin Splints* łatwo odróżnić od złamania zmęczeniowego, ponieważ wykazuje liniową (a nie zaokrągloną bądź wrzecionowatą) aktywność w badaniu scyntygraficznym. Dodatkowo wykonując scyntyografię trójfazową, nie odnotowuje się zaburzeń przepływu krwi w pierwszych dwóch fazach badania [34].



**Rys. 1** Scyntygrafia trójfazowa (A) rozszerzona o badanie SPECT/CT (B) kości śródstopia lewego. W I i II fazie badania scyntygraficznego widoczny jest obszar wzmożonego unaczynienia w obrębie III kości śródstopia lewego, w III fazie ognisko zwiększonego gromadzenia znacznika w III kości śródstopia lewego. Obraz sugeruje złamanie III kości śródstopia lewego.

Źródło: Materiał własny.

## Złamania przebyte w dzieciństwie

W przypadku bardzo małych dzieci można zaobserwować ograniczone ruchy kończyn bądź stawów. Scyntygrafia kości może być pomocna w identyfikacji miejsca, które uległo złamaniu, w sytuacji, gdy dziecko nie jest w stanie samo o tym poinformować. Badanie to jest również wykorzystywane w przypadku dzieci doświadczających przemocy fizycznej ze strony osób dorosłych bądź rówieśników [35]. WBS jest badaniem uzupełniającym do badania RTG, zapewniając dodatkowe informacje, niedostępne

w innych metodach diagnostycznych. Należy jednak pamiętać, że w przypadku dzieci, w badaniu scyntygraficznym układu kostnego przy użyciu  $^{99m}\text{Tc}$ -dwufosfonianów występuje wzmożone, fizjologiczne gromadzenie znacznika w obrębie stawów (Rys. 2) wynikające z normalnego rozwoju dziecka [35].

## Urazy sportowe

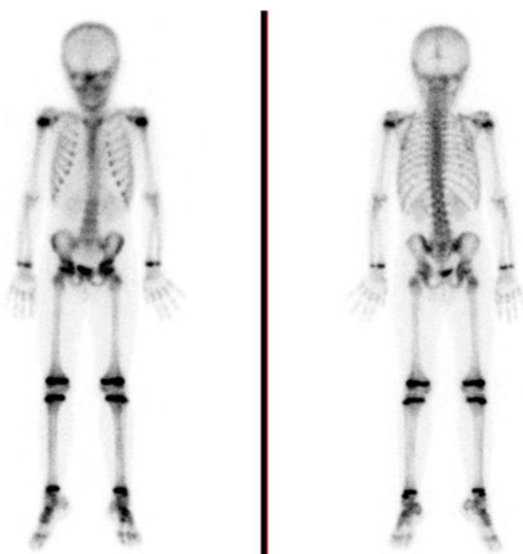
Scyntygrafia trójfazowa kości (szczególnie dwie pierwsze fazy) odgrywa znaczącą rolę w wykrywaniu urazów tkanek miękkich. WBS uwidacznia zaburzony przepływ krwi w dotkniętej chorobą strukturze z opóźnionym wychwytem znacznika, gdy występuje nekroza/zwapnienie lub bliskie przyleganie do sąsiadujących struktur kostnych. Wykonanie akwizycji SPECT/CT daje możliwość dokładnej lokalizacji anatomicznej danej struktury [34].

## Choroby metaboliczne kości

Zaburzenia metaboliczne kości stanowią heterogenną grupę występującą w obrębie układu szkieletowego. Badanie scyntygraficzne układu kostnego może być przydatne w diagnostyce, wykrywaniu powikłań i monitorowaniu odpowiedzi na zastosowane leczenie.

## Choroba Padgeta kości

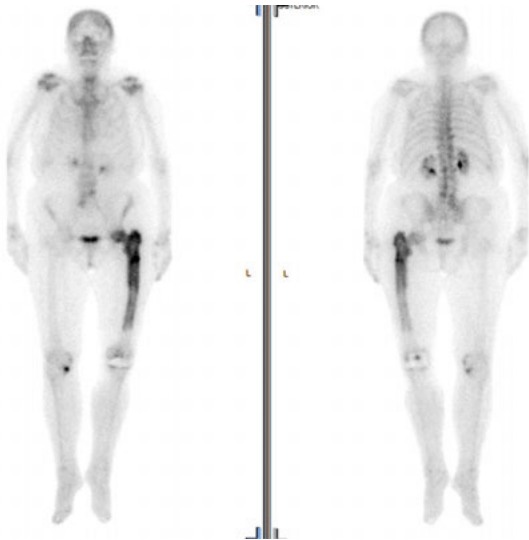
Polega ona na zaburzeniach równowagi w procesie tworzenia oraz wchłaniania się kości. Początkowym etapem choroby Pageta jest zwiększona resorpcja osteoklastyczna, po której następuje wyrównawcza aktywność osteoblastyczna



**Rys. 2** Prawidłowy wychwyty  $^{99m}\text{Tc}$ -MDP w obrębie stawów u dzieci  
Źródło: Materiał własny.



i zwiększone tworzenie kości. Cechą charakterystyczną w scyntygrafii kości jest wzmożona aktywność radiofarmaceutyku, rozciągająca się od końca kości i rozprzestrzeniająca się zarówno w kierunku proksymalnym, jak i dystalnym (Rys. 3), często ukazując krawędź prowadzącą w kształcie litery „V”. Kluczowe jest również wykorzystanie scyntygrafii układu kostnego w monitorowaniu odpowiedzi na zastosowane leczenie bifosfonianami, podobnie jak w przypadku badania  $^{18}\text{F}$ -NaF-PET/CT [36-38].



**Rys. 3** Wzmoczone gromadzenia  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP na całej długości kości udowej lewej w przebiegu choroby Pageta  
Źródło: Materiał własny.

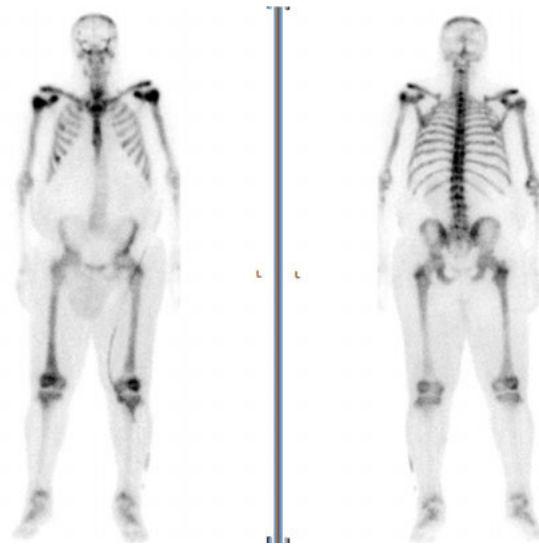
### Nadczynność przytarczyc

Rutynowa diagnostyka nadczynności przytarczyc polega na wykonaniu badań biochemicznych odzwierciedlających poziom stężenia parathormonu w surowicy. Scyntygrafia kości w przypadku tego zaburzenia stanowi dodatkową metodę obrazowania, która nie jest standardowo stosowana w diagnostyce. Badanie scyntygraficzne układu kostnego z  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -dwufosfonianami najczęściej stosuje się w diagnostyce różnicowej hiperkalcemii i zmian nowotworowych. Charakterystyczny obraz w przypadku nadczynności przytarczyc w scyntygrafii układu kostnego to tzw. *Superscan*, czyli wzmożone, równomierne gromadzenie znacznika w szkielecie osiowym bez widocznych zmian ogniskowych [33].

### Osteodystrofia nerkowa

Choroba ta spowodowana jest wczesnymi wadami rozwojowymi nerek bądź ich długotrwałym zapaleniem, natomiast przyczyną są zaburzenia gospodarki wapniowo-fosforanowej. Obraz scyntygrafii układu kostnego z użyciem  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -dwufosfonianów jest podobny jak w przypadku nadczynności przytarczyc, jednak występuje brak aktywności radioaktywnego moczu w pęcherzu moczowym, co najczęściej spowodowane jest niewydolnością

nerek w przebiegu choroby (Rys. 4). W przypadku tego zaburzenia możliwe jest także wykonanie badania  $^{18}\text{F}$ -NaF-PET/CT, które wykazało porównywalne wyniki do badań scyntygraficznych układu kostnego [39].



**Rys. 4** Zwiększona akumulacja  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP w kręgosłupie, w żebrach obustronnie oraz w obojczykach bez ewidentnych zmian ogniskowych, tzw. *Superscan*. Brak aktywności radioaktywnego moczu w pęcherzu moczowym  
Źródło: Materiał własny.

### Osteoporoza i osteomalacja

Scyntygrafia układu kostnego nie jest rutynową metodą stosowaną w diagnostyce osteoporozy. Wykorzystuje się ją raczej do lokalizacji złamań w przebiegu choroby, szczególnie tych, które są trudno dostępne do zobrazowania w konwencjonalnym badaniu RTG (np. żebra). Dodatkowo technika ta pozwala na wykluczenie innych przyczyn bólów kości u pacjentów. Osteomalacja wykazuje w badaniu scyntygraficznym układu kostnego podobne cechy jak inne choroby metaboliczne kości, co związane jest ze zwiększonym tworzeniem się osseiny [40].

### Dysplazja kości

Dysplazja włóknista charakteryzuje się powolnym, progresywnym zastąpieniem jamy szpikowej przez tkankę włóknistą. W obrazach scyntygraficznych z zastosowaniem  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -dwufosfonianów zwykle występuje wzmożone unaczynienie i intensywny wychwyt radioznacznika z dobrze ograniczonymi marginesami, natomiast brak zachowania zarysów kostnych różnicuje dysplazję włóknistą od choroby Pageta. Identyfikacja zmian poliototycznych, które często są bezobjawowe, jest głównym wskazaniem do wykonania scyntygrafii układu kostnego. Badanie uwidocznia wtórne powikłania występujące w przebiegu dysplazji włóknistej, jednak obraz zmian uwidocznionych w WBS zależy od rodzaju i miejsca dysplazji [41].



## Kompleksowy zespół bólu regionalnego

Kompleksowy zespół bólu regionalnego (ang. *Complex Regional Pain Syndrome*, CRPS) obejmuje spektrum cech czuciowych, autonomicznych i motorycznych, które w przeważającej mierze dotyczą kończyn i występują przy braku definiowalnej nieprawidłowości ze strony układu neurologicznego. Szerokie zastosowanie w tej chorobie znalazła scyntygrafia trójfazowa układu kostnego, a obrazy różnią się w zależności od stadium zaawansowania. We wczesnych stadiach dochodzi do zwiększenia przepływu krwi w pierwszych dwóch fazach badania (naczyniowej i tkankowej) oraz wzmożony wychwyt  $^{99m}\text{Tc}$ -dwufosfonianów w kościach, w trzeciej fazie badania (metabolicznej). Charakterystyczny jest również wychwyt okostawowy radiofarmaceutyku. W późniejszych stadiach zaawansowania CRPS wykazuje normalny bądź zmniejszony przepływ krwi w pierwszych dwóch fazach badania, przy zwiększonej akumulacji radioznacznika w fazie opóźnionej [42].

## Obrazowanie stawów

Rola scyntygrafii układu kostnego jest komplementarna do obrazowania anatomicznego stawów. Główną zaletą tej metody jest wczesne wykrywanie subklinicznego zapalenia błony maziowej i monitorowanie odpowiedzi na leczenie. Scyntygrafia trójfazowa ma porównywalną czułość do badania MR w identyfikacji wczesnego reumatoidalnego zapalenia stawów, natomiast jest bardzo czuła w rozpoznaniu septycznego zapalenia stawów, przewyższając standardowe obrazy RTG. Wykonanie scyntygrafii trójfazowej układu kostnego wykazuje zwiększony przepływ krwi w tkankach miękkich i stawach oraz rozlany wzrost wychwyty w kościach wokół stawów w fazie metabolicznej [8].

## Radiosynowektomia

Radiosynowektomia (ang. *Radiosynovectomy*, RSO) jest metodą leczenia przerośniętej błony maziowej występującej w różnych schorzeniach stawów, wykorzystująca dostawową iniekcję pierwiastków promieniotwórczych emitujących promieniowanie  $\beta$ . Najczęściej stosowanymi izotopami są Itr 90 (cytrynian/krzemian  $^{90}\text{Y}$ ), który wykorzystuje się w leczeniu stawów kolonowych, Ren 186 (siarczek  $^{186}\text{Re}$ ), stosowany w terapii stawów średniej wielkości, np. łokciowych, nadgarstkowych i skokowych, oraz Erb 169 (cytrynian  $^{169}\text{Er}$ ) mający zastosowanie w leczeniu drobnych stawów rąk i stóp (Tabela 1). Wskazania do wykonania RSO obejmują: reumatoidalne zapalenie stawów (RZS), tłuszczycowe zapalenie stawów, zapalenie stawów w hemofilii, reaktywne zapalenie stawów, uporczywy wysięk stawu po endoprotezoplastyce, utrzymujący się wysięk maziówkowy, choroby zapalne stawów, np. choroba Behçeta, choroba Lyma, zapalenie stawów z obecnością dwuwodnego pirofosforanu wapnia oraz inne zapalenia stawów z obecnością przerostu błony maziowej oraz wysiękiem [10, 43].

Tabela 1 Charakterystyka izotopów promieniotwórczych stosowanych w RSO

Parametr	Erb 169 ( $^{169}\text{Er}$ )	Ren 186 ( $^{186}\text{Re}$ )	Itr 90 ( $^{90}\text{Y}$ )
Okres półrozpadu $T_{1/2}$ [dni]	9,5	3,7	2,7
Max energia promieniowania $\beta$ [MeV]	0,34	0,98	2,26
Średni (max) zasięg promieniowania [mm]	0,3 (0,7)	1,2 (3,6)	3,6 (11)
Zalecana aktywność [MBq]	10-40	37-185	185-222

Źródło: [44].

## Wnioski

Pomimo wyzwań związanych z obrazowaniem morfologicznym, techniki medycyny nuklearnej odgrywają ważną rolę w diagnostyce szeregu chorób niezakaźnych, zapalnych, metabolicznych i urazowych układu mięśniowo-szkieletowego. Zwiększenie dostępności nowych radiofarmaceutyków oraz rozpowszechnienie wiedzy dotyczącej wykorzystania metod obrazowania molekularnego w ortopedii przyczynia się do wdrożenia odpowiedniego leczenia oraz uzyskania oczekiwanego efektu terapeutycznego.

## Literatura

- R.K. Cui, J.L. Zuo, H.H. Wu, J.P. Gao, Z.L. Gao: *Radiological study on the cup abduction angle during total hip arthroplasty*, Zhongguo Gu Shang, 31, 2018, 1096-1099.
- S. Covei-Banicioiu, P.L. Ciurea, C.D. Parvanescu, B.A. Chisailau, A. Barbulescu, M. Cepareanu et al.: *Ultrasonography Role in Evaluation of Achilles Tendon Enthesis in Reactive Arthritis Patients*, Curr Health Sci J., 42, 2016, 263-268.
- J.S. Yoder, F. Kogan, G.E. Gold: *Applications of PET-Computed Tomography-Magnetic Resonance in the Management of Benign Musculoskeletal Disorders*, PET Clin., 14, 2019, 1-15.
- M. Posadzy, J. Desimpel, F. Vanhoenacker: *Staging of Osteochondral Lesions of the Talus: MRI and Cone Beam CT*, J Belg Soc Radiol., 101(2), 2017, 1.
- K.K. Wong, B.L. Shulkin, M.D. Gross, A.M. Avram: *Efficacy of radioiodine treatment of graves' hyperthyroidism using a single calculated  $^{131}\text{I}$  dose*, Clin Diabetes Endocrinol., 4, 2018, 20.
- Society of Nuclear Medicine: *The Benefits of Nuclear Medicine*, 1995.
- J.D. Fortin, E.C. Weber: *The fundamentals of musculoskeletal imaging*, Pain Physician., 7, 2004, 149-160.
- P. Zorga, B. Birkenfeld: *Scyntygrafia układu kostnego*, [w:] B. Birkenfeld, M. Listewnik: *Medycyna nuklearna, obrazowanie molekularne*, Wydawnictwo Pomorskiego Uniwersytetu Medycznego w Szczecinie, 2011, 44-52.
- I. Fogelman: *Skeletal uptake of diphosphonates – a review*, Eur J Nucl Med., 5, 1980, 473-476.
- Dziennik Urzędowy Ministra Zdrowia, Obwieszczenie Ministra Zdrowia z dnia 22 grudnia 2014 w sprawie ogłoszenia wykazu wzorcowych procedur radiologicznych z zakresu medycyny nuklearnej.
- E. Even-Sapir: *Imaging of malignant bone involvement by morphologic, scintigraphic and hybrid modalities*, J Nucl Med., 46, 2005, 1356-1367.
- R. Kubota, S. Yamada, K. Kubota et al.: *Intratumoral distribution of urone-18-urorodeoxyglucose in vivo: high accumulation in macrophages and granulation tissues studied by microautoradiography*, J Nucl Med., 33, 1992, 1972-1980.
- G.M. Blake, S.J. Park-Holohan, G.J. Cook et al.: *Quantitative studies of bone with the use of  $^{18}\text{F}$  fluoride and  $^{99m}\text{Tc}$  methylene diphosphonate*, Semin Nucl Med., 31, 2001, 2849.
- H. Schirrmeyer, A. Guhlmann, K. Elsner et al.: *Sensitivity in detecting osseous lesions depends on anatomic localization: Planar bone scintigraphy versus  $^{18}\text{F}$  PET*, J Nucl Med., 40, 1999, 1623-1629.
- H. Schirrmeyer: *Detection of bone metastases in breast cancer by positron emission tomography*, Radiol Clin North Am., 45, 2007, 669-676.
- C.J. Palestro, M.A. Torres: *Radionuclide imaging in orthopedic infections*, Semin Nucl Med., 27, 1997, 334-345.



17. O. Israel, S. Gips, J. Jerushalmi et al.: *Osteomyelitis and soft-tissue infection: differential diagnosis with 24 hour/4 hour ratio of <sup>99m</sup>Tc MDP uptake*, Radiology, 163, 1987, 7256.
18. S.E. Anderson, P. Heini, M.J. Sauvain et al.: *Imaging of chronic recurrent multifocal osteomyelitis of childhood first presenting with isolated primary spinal involvement*, Skeletal Radiol., 32, 2003, 328-336.
19. C.J. Palestro: *The current role of gallium imaging in infection*, Semin Nucl Med., 24, 1994, 128-141.
20. C. Pineda, A. Vargas, A.V. Rodriguez: *Imaging of osteomyelitis: current concepts*, Infect Dis Clin N Am., 20, 2006, 789-825.
21. D.S. Fineman, C.J. Palestro, C.K. Kim et al.: *Detection of abnormalities in febrile AIDS patients with <sup>111</sup>In-labeled leukocyte and GA-67 scintigraphy*, Radiology, 170, 1989, 677-680.
22. J.L. Whalen, M.L. Brown, R. McLeod, R.H. Fitzgerald Jr.: *Limitations of indium leukocyte imaging for the diagnosis of spine infections*, Spine, 16, 1991, 193-197.
23. R. Linke, T. Kuwert, M. Uder, R. Forst, W. Wuest: *Skeletal SPECT/CT of the peripheral extremities*, AJR Am J Roentgenol., 194, 2010, 329-335.
24. A.D. Hanssen, J.A. Rand: *Evaluation and treatment of infection at the site of a total hip or knee arthroplasty*, Instr Course Lect., 48, 1999, 111-122.
25. D.K. Wukich, S.H. Abreu, J.J. Callaghan et al.: *Diagnosis of infection by preoperative scintigraphy with indium labeled white blood cells*, J Bone Joint Surg Am, 69, 1987, 1353-1360.
26. C. Love, G.G. Tronco, A.K. Yu et al.: *Diagnosing lower extremity prosthetic joint infection: intraindividual comparison of leukocyte/marrow and leukocyte/bone imaging*, J Nucl Med, 48 2007, 62.
27. C. Beckers, X. Jeukens, C. Ribbens et al.: *<sup>18</sup>F-FDG PET imaging of rheumatoid knee synovitis correlates with dynamic magnetic resonance and sonographic assessments as well as with the serum level of metalloproteinase-3*, Eur J Nucl Med Mol Imaging, 33, 2006, 275-280.
28. K.D. Stumpe, H. Dazzi, A. Schaffner et al.: *Infection imaging using wholebody FDG-PET*, Eur J Nucl Med, 27, 2000, 822-832.
29. H. Zhuang, P.S. Duarte, M. Pourdehnad et al.: *The promising role of <sup>18</sup>F-FDG PET in detecting infected lower limb prosthesis implants*, J Nucl Med., 42, 2001, 44-48.
30. P. Reinartz, T. Mumme, B. Hermanns et al.: *Radionuclide imaging of the painful hip arthroplasty: positronemission tomography versus triple-phase bone scanning*, J Bone Joint Surg Br., 87, 2005, 465-470.
31. C. Love, E.M. Scott, M.B. Tomas et al.: *Diagnosing infection in the failed joint replacement: a comparison of coincidence detection <sup>18</sup>F-FDG and <sup>111</sup>In-labeled leukocyte/<sup>99m</sup>Tc-sulfur colloid marrow imaging*, J Nucl Med, 45, 2004, 1864-1871.
32. K.J. Donohoe: *Selected topics in orthopedic nuclear medicine*, Orthop Clin North Am, 29, 1998, 85-101.
33. D.J. Sartoris: *Skeletal system: The Requisites*, St Louis, Mosby, 2001, 110-144.
34. S. Barai, R. Kumar, H. Dhanpati et al.: *Bone scintigraphy in sports injuries*, Ortho Today, 5, 2003, 29-32.
35. P.K. Kleinman: *Shaken babies*, Lancet, 352(9130), 1998, 8156.
36. I. Fogelman, D. Carr: *A comparison of bone scanning and radiology in the assessment of patients with symptomatic Paget's disease*, Eur J Nucl Med, 5, 1980, 417-421.
37. D. Rotés-Sala, J. Monfort, A. Solano et al.: *The clover and heart signs in vertebral scintigraphic images are highly specific of Paget's disease of bone*, Bone, 34, 2004, 605-658.
38. J. Installé, A. Nzeusseu, . Bol et al.: *<sup>18</sup>F-Fluoride PET for monitoring therapeutic response in Paget's disease of bone*, J Nucl Med, 46, 2005, 1650-1658.
39. C. Messa, W.G. Goodman, C.K. Hoh et al.: *Bone metabolic activity measured with positron emission tomography and <sup>18</sup>F-Fluoride ion in renal osteodystrophy: Correlation with bone histomorphometry*, J Clin Endocrinol Metab, 77, 1993, 949-955.
40. I. Fogelman, J.H. McKillop, W.R. Greig et al.: *Pseudofractures of the ribs detected by bone scanning*, J Nucl Med, 18, 1977, 1236-1237.
41. N. Fukumitsu, M. Dohi, K. Midda et al.: *Bone scintigraphy in polyostotic fibrous dysplasia*, Clin Nucl Med, 24, 1999, 446-447.
42. D. Ruffin: *Natural history of reflex sympathetic dystrophy syndrome*, J Nucl Med, 25, 1984, 423-429.
43. G. Cluine, M. Fisher: *EANM procedure guidelines for radiosynovectomy*, Eur J Nucl Med. Mol Imaging, 30, 2003, 12-16.
44. D. Jurgilewicz: *Radiosynowektomia, ulotka dla lekarzy*, 2013.

reklama

## SYSTEM ALIGNRT® DO RADIOCHIRURGII STEREOTAKTYCZNEJ (SRS) ORAZ RADIOTERAPII STEREOTAKTYCZNEJ (SBRT)



Vision RT rewolucjonizuje zabiegi stereotaktyczne. Przy zastosowaniu systemu AlignRT można czerpać korzyści płynące z bezramowej radiochirurgii stereotaktycznej, której dokładność została udowodniona w wielu niezależnych badaniach\*, a opublikowane dane wyników pacjentów są porównywalne z bardziej inwazyjnymi metodami\*\*.



### DLACZEGO SYSTEM ALIGNRT DLA SRS / SBRT?

- ✓ Nieinwazyjny: Śledzi powierzchnię ciała pacjenta
- ✓ Szybkie ustawianie i krótki czas trwania
- ✓ Otwarta maska na twarz redukuje klaustrofobię pacjentów poddawanych radiochirurgii stereotaktycznej podczas monitorowania ruchu
- ✓ Monitorowanie pozycji pacjenta w czasie rzeczywistym
- ✓ Bez użycia promieniowania jonizującego: bez dodatkowej dawki promieniowania
- ✓ Dokładność śledzenia pacjenta poniżej jednego milimetra

**E:** kontakt@visionrt.com

**T:** +48510202951

**visionrt** | Defining the Standard of Care in SURFACE GUIDED RADIATION THERAPY

Please find references at  
VisionRT.com/References.

©2019 Vision RT Ltd. All rights reserved.  
1016-0294 Issue 1.0