



Praca poglądowa/Review paper

Obrazowanie radioizotopowe w
onkologii pediatricznej – przegląd metod

*Radioisotope imaging in
the oncological paediatrics – the review*

Radzińska P¹, Zając R¹, Pietrzak AK²,
Wiecheć K³, Żurawski J⁴, Cholewiński W⁵

¹Licencjat Elektroradiologii, student kierunku Elektroradiologia (studia II stopnia)
Wydziału Nauk o Zdrowiu przy Uniwersytecie im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu

²Zakład Medycyny Nuklearnej, Wielkopolskie Centrum Onkologii, Poznań, Polska

³Sluchacz stacjonarnych studiów III stopnia, Katedra i Zakład Psychologii Klinicznej,
Uniwersytet Medyczny im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu

⁴Zakład Immunobiochemii, Uniwersytet Medyczny im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu

⁵Katedra i Zakład Elektroradiologii, Uniwersytet Medyczny im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu

Streszczenie

Do najczęstszych chorób onkologicznych występujących u pacjentów pediatricznych należą: białaczki, chłoniaki, nowotwory złośliwe ośrodkowego układu nerwowego (OUN) oraz neuroblastoma. Częste zachorowania oraz ograniczona czułość i swoistość konwencjonalnych metod obrazowych sugeruje konieczność rozszerzenia postępowania diagnostycznego wobec tej szczególnej grupy chorych o procedury wysokospecjalistyczne, wśród których przydatne wydają się być badania radioizotopowe.

Abstract

The most common malignancies observed in paediatric patients are leukemia, lymphoma, central nervous system (CNS) malignant neoplasms and neuroblastoma. Increasing number of new cases of the diseases and limited sensitivity and specificity of the conventional imaging methods in this important and susceptible group of patients suggest the necessity to include the advanced imaging procedures into clinical management, among which radioisotope examinations seem to be useful option.

Słowa kluczowe: obrazowanie molekularne; onkologia; pediatria; techniki radioizotopowe

Keywords: molecular imaging; oncology; paediatrics; radioisotope imaging

Adres do korespondencji

Agata Karolina Pietrzak

Zakład Medycyny Nuklearnej,

Wielkopolskie Centrum Onkologii, ul. Garbary 15, 61-866 Poznań, Polska

Telefon. +48 533 678 105

e-mail: agata.pietrzakk@gmail.com

Wstęp

Medycyna nuklearna jest dziedziną szeroko stosowaną w diagnostyce wielu schorzeń, także tych występujących w grupie pacjentów pediatrycznych. Z uwagi na wysoką wrażliwość organizmu dziecka względem potencjalnie szkodliwych skutków promieniowania jonizującego, właściwe przygotowanie chorego do badania oraz uważne dostosowanie parametrów akwizycyjnych, uwzględniające potrzeby i uwarunkowania pacjenta pediatrycznego jest niezwykle istotne. Odpowiednie postępowanie zwiększa szansę właściwego przeprowadzenia badania, uzyskania skanów akwizycyjnych o dużej wartości diagnostycznej, ustalenia rozpoznania klinicznego i doboru odpowiedniej terapii, a w konsekwencji – zwiększenia wskaźnika przeżywalności chorych pediatrycznych [1-4]. Wykrycie i prawidłowe rozróżnienie typu obserwowanych zmian, a następnie monitorowanie przebiegu chorób nowotworowych u dzieci możliwe jest w medycynie nuklearnej dzięki użyciu swoistych radiofarmaceutyków, które różnią się zarówno sposobem otrzymywania, jak i parametrami fizycznymi, takimi jak: okres połowicznego rozpadu (okres półrozpadu, $T_{1/2}$), typ i energia emitowanych kwantów gamma, czy w końcu - własnościami biologicznymi (m.in. powinowactwem biochemicznym względem badanej tkanki) [3].

Cel pracy

Celem niniejszej pracy jest wskazanie przydatności metod radioizotopowych w diagnostyce chorób występujących u dzieci z uwzględnieniem doboru techniki, parametrów akwizycyjnych oraz protokołu badania w odniesieniu do reguły ALARA (ang. *as low as reasonably achievable*), która w tej grupie chorych ma szczególne znaczenie.

Materiał i metoda

Niniejsza praca przeglądowa powstała w oparciu o analizę piśmiennictwa naukowego, dotyczącą stosowania badań radioizotopowych w pediatrii.

Wyniki

O sposobie przygotowania dziecka do badania z użyciem radiofarmaceutyku decyduje wybór techniki obrazowania. Do najczęstszych zaleceń należy zapewnienie odpowiedniego poziomu nawodnienia organizmu, co ułatwia proces biodystrybucji radioznacznika i umożliwia jego szybkie wydalenie wraz z moczem (preparat radiofarmaceutyczny nie ulega wydłużonemu gromadzeniu i nie zwiększa całkowitej dawki pochłoniętej) [1]. Dodatkowo, aktywność promieniotwórcza preparatów radiofarmaceutycznych stosowanych w badaniach dzieci powinna być ściśle ograniczona i znacznie niższa niż ta wykorzystywana w przypadku osób dorosłych [2]. Aktywność promieniotwórczą radioizotopu, dostarczanego przeważnie drogą dożylną, reguluje lokalne prawo i rekomendacje uznanych towarzystw naukowych (m.in. z ang. *European Association of Nuclear Medicine* - EANM). Jak dotąd, w literaturze nie zanotowano skutków ubocznych użycia radiofarmaceutyków w grupie chorych pediatrycznych [6].

Zgodnie z wytycznymi EANM (Tabela 1., Tabela 2.) aktywność promieniotwórczą radioizotopu należy dostosować do wieku i masy ciała chorego, co umożliwi zapewnienie możliwie najwyższej jakości obrazowania przy jak najmniejszym narażeniu na promieniowanie jonizujące [7-8].

Tabela 1. Aktywność promieniotwórcza preparatów radiofarmaceutycznych w badaniu scyntygrafii kości u dzieci (źródło: EANM)

Masa ciała [kg]	Aktywność ^{99m} Tc-MDP [MBq]	Masa ciała [kg]	Aktywność ^{99m} Tc-MDP [MBq]
3	40	32	255
4	40	34	270
6	60	36	280
8	75	38	295
10	95	40	310
12	110	42	320
14	125	44	335
16	140	46	350
18	155	48	360
20	170	50	375
22	185	52-54	395
24	200	56-58	420
26	215	60-62	445
28	225	64-66	470
30	240	68	490

Legenda: ^{99m}Tc-MDP – radioznacznik: metylenodwufosfonian znakowany izotopem technetu-99 metastabilnego, kg – kilogram, MBq – megabecquerel (jednostka aktywności promieniotwórczej)

Tabela 2. Aktywność promieniotwórcza preparatów radioizotopowych, stosowana u dzieci w badaniu ¹⁸F-FDG PET/CT* (źródło: EANM)

Masa ciała [kg]	Aktywność [MBq]	Masa ciała [kg]	Aktywność [MBq]
3	14	32	102
4	16	34	108
6	24	36	112
8	30	38	118
10	38	40	124
12	44	42	128
14	50	44	134
16	56	46	140
18	62	48	144
20	68	50	150
22	74	52-54	158
24	80	56-58	168
26	86	60-62	178
28	90	64-66	188
30	96	68	196

Legenda: ¹⁸F-FDG PET/CT – pozytonowa tomografia emisyjna/tomografia komputerowa z użyciem radiofarmaceutyku ¹⁸F-fluorodeoksyglukozy

Bezpośredni wpływ na przebieg badania oraz wartość diagnostyczną otrzymanych obrazów ma zachowanie niezmienną pozycji ciała chorego przez cały czas trwania skanowania. Niekontrolowana zmiana ułożenia jest przyczyną artefaktów ruchowych, utrudniających lub uniemożliwiających wykonanie oraz prawidłową interpretację otrzymanych obrazów. Precyzyjne i komfortowe pozycjonowanie pacjenta pediatrycznego, zastosowanie elementów unieruchamiających (np. taśmy, poduszki), współpraca z opiekunem lub - w wybranych przypadkach - zastosowanie sedacji, są w badaniach dzieci szczególnie ważne [2]. Aktywne uczestnictwo opiekuna w procedurze diagnostycznej (np. podtrzymywanie dziecka) jest jednak możliwe tylko wówczas, gdy jest to osoba pełnoletnia, a w przypadku kobiet – gdy nie jest ona w ciąży.

Współpraca z pacjentem pediatrycznym wymaga szczególnego zaangażowania personelu medycznego przeprowadzającego badanie obrazowe, zarówno z uwagi na wrażliwość organizmu dziecka na szkodliwe skutki oddziaływania promieniowania jonizującego, jak i konieczność włączenia w wybrane elementy procedury medycznej jego opiekuna. Zróżnicowanie chorych pod względem budowy fizycznej oraz rozwoju psychicznego wymaga ponadto indywidualnego postępowania i protokołu diagnostycznego, których niezwykle istotnymi elementami są empatia oraz właściwa komunikacja z chorym i jego opiekunami, służących jednoznacznie przekazaniu wszelkich niezbędnych informacji dotyczących przebiegu badania i zapewnieniu dziecku możliwie wysokiego poziomu poczucia bezpieczeństwa. Właściwe przygotowanie pacjenta pediatrycznego jest zatem najistotniejszym etapem każdej procedury medycznej [5].

Najczęściej występującymi nowotworami złośliwymi wieku dziecięcego są: białaczki, chłoniaki oraz nowotwory złośliwe ośrodkowego układu nerwowego (OUN) [9]. Tabela 3. przedstawia procentowy udział poszczególnych jednostek chorobowych w wybranych regionach świata:

Tabela 3. Częstość występowania poszczególnych nowotworów złośliwych wśród dzieci (Źródło: Epidemiologia chorób nowotworowych u dzieci - Anna Balcerska Katedra i Klinika Pediatrii, Hematologii, Onkologii i Endokrynologii Akademii Medycznej w Gdańsku Copyright © 2009 Via Medica ISSN 1897-3590)

Typ nowotworu	Polska	Europa	Stany Zjednoczone
Białaczka	28,7%	33,5%	30%
Chłoniak złośliwy	14,3%	9,9%	13%
Guz mózgu	16,3%	22,6%	19%
Guz SNS	6,6%	6,8%	7%
Retinoblastoma	2,7%	3,3%	1%
Rak nerki	6,5%	6,9%	7%
Guz wątroby	1,5%	0,9%	1%

Legenda: SNS – układ współczulny (z ang. *sympathetic nervous system*)

Istotnym elementem obrazowania radioizotopowego jest dobór właściwego radiofarmaceutyku, dostosowanego do rodzaju techniki obrazowej i badanego obszaru ciała chorego. Radioznaczniki stosowane w diagnozowaniu schorzeń onkologicznych dzielimy na swoiste i nieswoiste. Do nieswoistych należą: cytrynian znakowany izotopem galu-67 (^{67}Ga), tal-201 (^{201}Tl) i znakowane technetem-99 metastabilnym (metastabilnym - znajdującym się w okresie krótkotrwałego wzbudzenia; $^{99\text{m}}\text{Tc}$): metoksyizobutyloizonitryl (MIBI), tetrofosmina oraz kwas dimerkaptobursztynowy (DMSA) [10]. Do radioznaczników swoistych zaliczamy natomiast m.in. przeciwciała przeciwko antygenom nowotworowym znakowane indem-111 (^{111}In). Radiofarmaceutyki nieswoiste wykazują powinowactwo do tkanek o różnym utkaniu histologicznym, natomiast swoiste ulegają wybiórczej kumulacji w tkance nowotworowej określonego typu, bądź ich ograniczonej grupy. W badaniu pozytonowej tomografii emisyjnej/tomografii komputerowej (ang. *positron emission tomography/computed tomography*, PET/CT) najczęściej stosowanym obecnie radiofarmaceutykiem jest ^{18}F -fluorodeoksyglukoza (^{18}F -FDG), który umożliwia wykrycie zmiany patologicznej charakteryzującej się wzmożoną użyciem

glukozy względem tkanek otaczających, spowodowanej zwiększoną ekspresją glikoprotein transportowych GLUT (z ang. *glucose transporter*) [11-13], spośród których znaczenie onkologiczne wykazują GLUT-1 i GLUT-2 (podwyższone stężenie transportera GLUT-1 obserwuje się w przebiegu raka płuca, GLUT-2: patologii trzustki). ¹⁸F-FDG jest jednakże radioznacznikiem nieswoistym, co oznacza, że w licznych przypadkach, m.in. w ocenie różnicowej zmian łagodnych i złośliwych, metoda ¹⁸F-FDG PET/CT może wykazywać zbyt niską dokładność diagnostyczną, aby jednoznacznie wskazać charakter obserwowanej zmiany (¹⁸F-FDG ulega akumulacji w obszarze zmian złośliwych, a także niezłośliwych, takich jak ogniska zapalne). W Tabeli 4. przedstawiono radiofarmaceutyki stosowane w diagnozowaniu wybranych typów schorzeń onkologicznych z uwzględnieniem mechanizmu biodystrybucji.

Tabela 4. Diagnostyka izotopowa guzów złośliwych. (Źródło: Zastosowanie technik medycyny nuklearnej w onkologii. Piotr Lass Tomasz Bandurski, Jarosław Dzierżanowski. 10/2000, Borgis - Nowa Medycyna, 2000)

Typ nowotworu	Radiofarmaceutyk	Mechanizm wychwytu
Chłoniak złośliwy	cytrynian ⁶⁷ Ga, ²⁰¹ Tl, ^{99m} Tc-tetrofosmina	pompa sodowo-potasowa
Pheochromocytoma*, nerwiak zarodkowy	¹²³ I-MIBG, ¹³¹ I-MIBG	włączenie znacznika w metabolizm katecholamin
Guz mózgu**	²⁰¹ Tl, ^{99m} Tc-MIBI/tetrofosmina	pompa sodowo-potasowa, wychwyty w mitochondriach
Rhabdomyosarcoma***	¹¹¹ In-antymiozyna	wiązanie z miozyną

Legenda: *guz chromochłonny nadnerczy, **dotyczy szczególnie wznowy nowotworowej, a także choroby resztkowej, *** mięśniakomięsak prądkowanokomórkowy

• Guzy mózgu

Guzy mózgu stanowią około 20% wszystkich nowotworów złośliwych wieku dziecięcego. Najczęstszymi typami histologicznymi nowotworów ośrodkowego układu nerwowego (OUN) są: gwiaździaki, wyściółczaki oraz rdzeniaki, a badaniem z wyboru w ich diagnostyce jest magnetyczny rezonans jądrowy (z ang. *magnetic resonance imaging*; MRI) lub tomografia komputerowa (ang. *computed tomography*, CT lub tomografia komputerowa - TK). Ograniczeniem tych metod jest jednak stosunkowo niska swoistość w rozróżnianiu zmiany łagodnej i złośliwej (np. blizny pooperacyjnej i zmiany nowotworowej o charakterze złośliwym) [14]. Spośród technik radioizotopowych, istotną rolę w badaniu mózgu chorego pediatrycznego pełni tomografia emisyjna pojedynczego fotonu (ang. *single-photon emission computed tomography*, SPECT/CT) z zastosowaniem radioznaczników ²⁰¹Tl lub ^{99m}Tc-MIBI [15]. Radiofarmaceutyki te ulegają zwiększonej akumulacji w obszarze guza w stosunku do wychwyty w tkance martwiczej, dzięki czemu są widoczne na uzyskanym obrazie. Technika ¹⁸F-FDG PET/CT nie należy do rutynowo stosowanych w wykrywaniu nowotworów OUN tak wśród dzieci, jak i chorych dorosłych z uwagi na wysoki fizjologiczny wychwyty ¹⁸F-FDG w prawidłowym mózgowiu, istotnie obniżający zarówno czułość, jak i swoistość metody. Dotyczy to w szczególności guzów o niskim stopniu złośliwości (akumulacja radioznacznika przypomina zazwyczaj gromadzenie w istocie szarej lub jest niższa) [16].

Z uwagi na odmienną charakterystykę biologiczną poszczególnych typów radioznaczników, zarówno w grupie chorych pediatrycznych, jak i dorosłych, możliwe jest uwidocznienie innych zmian metabolicznych niż proces nowotworowy. Zastosowanie fluorodopaminy (fluorodopa; ¹⁸F-DOPA), czy ¹¹C-metioniny pozwala śledzić transport aminokwasów w obszarze mózgu: znakowany aminokwas utylizowany jest przez komórki patologicznie zmienione jako substrat procesu syntezy białek, a metoda ta wykazuje w wybranych

przypadkach istotnie wyższą czułość i swoistość niż najczęściej stosowana technika ^{18}F -FDG PET/CT. Najwyższą dokładność diagnostyczną w obrazowaniu mózgu we wszystkich grupach chorych wykazywać może technika pozytonowej tomografii emisyjnej/magnetycznego rezonansu jądrowego (PET/MR), której przydatność obserwowano m.in. w wyznaczeniu obszaru stereotaktycznej biopsji mózgu. Przepuszczalnie, metoda PET/MR może w przyszłości stanowić istotny element procesu kwalifikacji pacjenta pediatrycznego do wdrożenia postępowania chirurgicznego [17].

• Chłoniak złośliwy

Chłoniak złośliwy obejmuje 10-15% wszystkich zachorowań na nowotwory złośliwe wśród dzieci. Chłoniaki nieziarnicze występują najczęściej w dzieciństwie i wykrywane są zwykle w okresie rozsiewu (wysoki stopień zaawansowania choroby). Ziarnica złośliwa charakteryzuje się szczytowym momentem zachorowań w okresie dojrzewania. W przeciwieństwie do chłoniaków nieziarniczych, nowotwór ten wykrywany jest zwykle we wczesnym stadium, często w obszarze klatki piersiowej. Szczególną rolę w wykrywaniu, ocenie stopnia zaawansowania oraz monitorowaniu leczenia obu typów chłoniaków złośliwych pełni scyntygrafia z użyciem ^{67}Ga [18] i ^{201}Tl . W przypadku ^{201}Tl , obserwowany obszar akumulacji radiofarmaceutyku może być wyższy w przypadku nowotworu o łagodnym przebiegu w stosunku do wychwytu w zmianie o średnim lub wysokim stopniu złośliwości. W przeciwieństwie do ^{201}Tl , utylizacja ^{18}F -FDG będzie natomiast znaczna w ostatniej grupie. Wykazano, że w badaniu PET/CT możliwe jest wykrycie ognisk zlokalizowanych zarówno w węzłach chłonnych, jak i narządach niewęzłowych, które nie uwidaczniają się w metodach konwencjonalnych, a także odróżnienie ich od zmian łagodnych (np. blizn wywołanych terapią), co umożliwi dokładniejsze określenie rokowania [19]. W przypadku badań radioizotopowych istnieje jednak ryzyko wyniku fałszywie dodatniego lub fałszywie ujemnego ze względu na fizjologiczne wysokie gromadzenie radioznacznika w grasicy oraz w obszarach intensywnego wzrostu kości [20].

• Neuroblastoma (Nerwiak zarodkowy)

Szczyt zachorowań na neuroblastomę występuje między 20. a 30. miesiącem życia i bardzo rzadko po 5. r.ż. Guz zlokalizowany jest przeważnie w nadnerczu i charakteryzuje go obecność zwapnień. Użyteczne w diagnostyce nerwiaka zarodkowego są MR, CT oraz techniki scyntygraficzne, a wykorzystanie radioznaczników ^{123}I -MIBG (metajodobenzylguanidyna; analog guanetydyny oraz noradrenaliny) oraz ^{111}In pozwala wykryć nawet 85% zmian [21]. Wysoka czułość scyntygrafii z użyciem ^{123}I -MIBG wynika z faktu wysokiego gromadzenia radiofarmaceutyku w obszarze guza, spowodowanego włączeniem radioznacznika w metabolizm katecholamin, które produkowane są zasadniczo przez rdzeń nadnerczy [22]. Wzmoczona utylizacja ^{111}In w obserwowanej zmianie wskazuje na obecność receptorów somatostatynowych typu 2. (SSTR2A lub B) w komórkach patologicznych. W badaniu scyntygraficznym możliwe jest wykrycie i określenie stopnia zaawansowania choroby, a także ocena odpowiedzi na wdrożone leczenie. Zaletą techniki jest wysoka swoistość w rozróżnieniu nerwiaka zarodkowego i blizny pooperacyjnej, co jest niezwykle trudne w przypadku obrazowania innymi dostępnymi metodami obrazowania. Nerwiak zarodkowy jest ponadto guzem charakteryzującym się wysoką aktywnością metabolizmu glukozy, co warunkuje użyteczność metody ^{18}F -FDG PET/CT w ocenie guza [23]. *Treves i wsp.* wskazują, że w grupie 17. dzieci, poddanych kontrolnemu badaniu ^{18}F -FDG PET/CT poprzedzającemu wdrożenie chemio - lub radioterapii, zaobserwowano wzmoczoną utylizację ^{18}F -FDG w obszarze nerwiaka zarodkowego w 16 przypadkach. Powtórzenie badania w trakcie leczenia uwidoczniło natomiast znaczny spadek aktywności metabolizmu glukozy w obszarze zmiany [1].

Ograniczeniem metody ^{18}F -FDG PET/CT w diagnostyce nerwiaka zarodkowego jest wysokie fizjologiczne gromadzenie w szpiku kostnym, co może skutkować wynikiem fałszywie dodatnim lub fałszywie ujemnym.

• Inne nowotwory złośliwe wieku dziecięcego

Guz Wilmsa (nerczak zarodkowy) jest nowotworem złośliwym nerki, występującym u dzieci, które nie ukończyły 5. r.ż. Choroba przebiega zwykle bezobjawowo, i przyjmuje postać masy w jamie brzusznej

możliwej do oceny ultrasonograficznej (USG), MR i CT, przy czym techniki scyntygraficzne nie są uznawane za przydatne w monitorowaniu tego schorzenia. Pomimo wzmożonej akumulacji glukozy w obszarze guza, metoda ^{18}F -FDG PET/CT nie stanowi elementu standardowego postępowania diagnostycznego w odniesieniu do nerczaków zarodkowych z uwagi na wysokie fizjologiczne wydalanie ^{18}F -FDG przez nerki [24].

Najczęstszymi nowotworami złośliwymi kości występującymi w dzieciństwie są kostniakomięsaki (osteosarcoma) oraz nowotwory z grupy mięsaka Ewinga. Osteosarcoma występuje częściej, jednak rzadko dotyczy dzieci przed ukończeniem 7. r.ż. Szczyt zachorowań obejmuje zwykle młodzież oraz młodych dorosłych, a zmiana patologiczna zlokalizowana jest zwykle w kościach długich. Nowotwory z grupy mięsaka Ewinga występują u chorych pomiędzy 5. a 30. r.ż., a leczenie z wyboru obejmuje oszczędzającą kończyny resekcję chirurgiczną i chemioterapię. Wśród nielicznych badań radioizotopowych, uznawanych obecnie za użyteczne w diagnostyce mięsaka, wyróżnić należy scyntyografię z użyciem $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI (jednak tylko w przypadku kostniakomięsaków).

Przypuszczalnie, technika ^{18}F -FDG PET/CT może służyć monitorowaniu przerzutów nowotworowych do układu kostnego towarzyszących nowotworom z grupy mięsaka Ewinga występującym u dzieci [25].

Mięsak komórek poprzecznie prążkowanych (Rhabdomyosarcoma) jest nowotworem złośliwym tkanek miękkich, występującym u dzieci pomiędzy 3. a 6. r.ż., a rozwijającym się zwykle w regionie głowy i szyi (m.in. oczodół, zatoki przynosowe). Metodą z wyboru w diagnostyce rhabdomyosarcoma są CT oraz MR. Technika radioizotopową użyteczną w diagnostyce schorzenia jest scyntygrafia z użyciem ^{67}Ga , która może służyć wczesnemu wykryciu, określeniu stopnia zaawansowania oraz ocenie przerzutów nowotworowych do kości [1].

Dyskusja

Rozwój medycyny nuklearnej stwarza możliwość wykrywania schorzeń nie tylko narządów czy układów ludzkiego ciała, ale również otrzymywania obrazów na poziomie komórkowym i subkomórkowym [26]. Zaawansowane metody obrazowania znajdują zastosowanie także w przypadku diagnozowania chorób onkologicznych występujących u pacjentów pediatrycznych, a ważnym ich etapem jest przygotowanie pacjenta do badania. Empatia i troska okazana dziecku oraz jego opiekunom zwiększa szanse na prawidłowe przeprowadzenie procedury diagnostycznej, szczególnie istotnej i trudnej u tej grupy chorych.

Do technik obrazowania radioizotopowego, które znajdują zastosowanie w onkologii pediatrycznej, należą procedury z użyciem radiofarmaceutyków takich jak ^{67}Ga , ^{201}Tl , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI/tetrofosmina, ^{18}F -FDG, czy też znakowane ^{111}In przeciwciała przeciwko antygenom nowotworowym. Mimo, że metodą z wyboru w diagnostyce guzów mózgu pozostaje MR, badanie scyntygraficzne z użyciem $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI może być w wybranych przypadkach porównywalnie czułą i swoistą metodą obrazową, użyteczną w pediatrii. W przyszłości elementem standardowego postępowania diagnostycznego u dzieci z podejrzeniem guza mózgu może okazać się badanie PET/MR. Zastosowanie badań izotopowych w ocenie chłoniaków złośliwych służy możliwie wczesnemu wykryciu choroby, co umożliwi szeroko stosowana w praktyce onkologicznej metoda ^{18}F -FDG PET/CT, zapewniająca wyższą czułość i swoistość niż dostępne techniki radiologiczne. Nerwiak zarodkowy monitorowany jest najczęściej metodą scyntygrafii z użyciem ^{123}I -MIBG oraz ^{18}F -FDG PET/CT jako dokładniejszymi – w porównaniu z CT, MR - narzędziami diagnostycznymi, szczególnie w rozróżnieniu zmiany łagodnej i złośliwej (np. blizny przetrwałej po leczeniu i guza). W przypadku rhabdomyosarcoma, użyteczna okazuje się scyntygrafia z użyciem ^{67}Ga , natomiast w ocenie guzów Wilmsa oraz kostniakomięsaków rola technik radioizotopowych nie została jeszcze w pełni poznana.

Wnioski

Techniki radioizotopowe są ważną i rozwijającą się grupą badań obrazowych, użytecznych w monitorowaniu licznych jednostek chorobowych wśród pacjentów onkologicznych. Stosowane u chorych dorosłych, mogą okazać się także użytecznym narzędziem diagnostycznym w pediatrii.

Konflikt interesu/ Conflict of interest

Nie występuje / None

Finansowanie/ Financial support

Nie występuje / None

Etyka/ Ethics

Treści przedstawione w artykule są zgodne z zasadami Deklaracji Helsińskiej, dyrektywami EU oraz ujednoliconymi wymaganiami dla czasopism biomedycznych.

Piśmiennictwo / References

- [1] Treves S.T. Pediatric Nuclear Medicine/PET. Springer, 2007. ISBN 978-0-387-32322-0.
- [2] Samuel AM. PET/CT in pediatric oncology. Indian J Cancer 2010;47:360-70.
- [3] Abou DS, Pickett JE, Thorek DLJ. Nuclear molecular imaging with nanoparticles: radiochemistry, applications and translation. Br J Radiol 2015;88:20150185.
- [4] Salerno S, Marchese P, Magistrelli A, Tomá P, Matranga D, Midiri M, et al. Radiation risks knowledge in resident and fellow in paediatrics: a questionnaire survey. Ital J Pediatr 2015;41:21.
- [5] Drubach LA. Nuclear Medicine Techniques in Pediatric Bone Imaging. Semin Nucl Med 2017;47:190-203.
- [6] Surasi DS, Bhambhani P, Baldwin JA, Almodovar SE, O'Malley JP. ¹⁸F-FDG PET and PET/CT patient preparation: a review of the literature. J Nucl Med Technol 2014;42:5-13.
- [7] Stauss J, Hahn K, Mann M, De Palma D. Guidelines for paediatric bone scanning with ^{99m}Tc-labelled radiopharmaceuticals and ¹⁸F-fluoride. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2010;37:1621-8.
- [8] Stauss J, Franzius C, Pfluger T, Juergens KU, Biassoni L, Begent J, et al. Guidelines for ¹⁸F-FDG PET and PET-CT imaging in paediatric oncology. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2008;35:1581-8.
- [9] Chyrek AJ. Brachyterapia mięsaków tkanek miękkich w lokalizacji uro-genitalnej u dzieci w świetle doniesień konferencji ESTRO35. Zeszyty Naukowe Wielkopolskiego Centrum Onkologii/Letters in Oncology Science 2018;15:48-51.
- [10] Lass P, Bandurski T, Dzierżanowski J. Zastosowanie technik medycyny nuklearnej w onkologii. 10/2000, Borgis - Nowa Medycyna, 2000.
- [11] Adekola K, Rosen ST, Shanmugam M. Glucose transporters in cancer metabolism. Curr Opin Oncol 2012;24:650-54.
- [12] Thorens B, Mueckler M. Glucose transporters in the 21st Century. Am J Physiol Endocrinol Metab 2010;298:E141-5.
- [13] Ganapathy V, Tharangaju M, Prasad PD. Nutrient transporters in cancer: relevance to Warburg hypothesis and beyond. Pharmacol Therapeut 2009;121:29-40.
- [14] Koh DM, Creviston Kaste S, Vinnicombe SJ, Morana G, Rossi A, Herold CJ, et al. Proceedings of the International Cancer Imaging Society (ICIS) 16th Annual Teaching Course. Cancer Imaging 2016;16:28.
- [15] Akdemir UO, Atay Kapucu AL. Nuclear Medicine Imaging in Pediatric Neurology. Mol Imaging Radionucl Ther 2016;25:1-10.
- [16] Patronas NJ, Di Chiro G, Kufta C, Bairamian D, Kornblith PL, Simon R, Larson SM. Prediction of survival in glioma patients by means of positron emission tomography. J Neurosurg 1985;62:816-22.
- [17] Stanescu L, Ishak GE, Khanna PC, Biyyam DR, Shaw DW, Parisi MT, et al. FDG PET of the brain in pediatric patients: imaging spectrum with MR imaging correlation. Radiographics 2013;33:1279-30.
- [18] Uslu L, Donig J, Link M, Rosenberg J, Quon A, Daldrup-Link HE, et al. Value of ¹⁸F-FDG PET and PET/CT for evaluation of pediatric malignancies. J Nucl Med 2015;56:274-8.
- [19] Shammas A, Lim R, Charron M. Pediatric FDG PET/CT: physiologic uptake, normal variants, and

- benign conditions. Radiographics 2009;29:1467-86.
- [20] Costantini DL, Vali R, McQuattie S, Chan J, Punnett A, Weitzman S, et al. A Pilot Study of 18F-FLT PET/CT in Pediatric Lymphoma. International Journal of Molecular Imaging 2016;2016:6045894.
- [21] Bleeker G, Tytgat GA, Adam JA, Caron HN, Kremer LC, Hoofst L, et al. 123I-MIBG scintigraphy and 18F-FDG-PET imaging for diagnosing neuroblastoma. Cochrane Database Syst Rev 2015;CD009263.
- [22] Freebody J, Wegner EA, Rossleigh MA. 2-deoxy-2-((18F)fluoro-D-glucose positron emission tomography/computed tomography imaging in paediatric oncology. World J Radiol 2014;28;6:741-55.
- [23] Padma S, Sundaram PS, Tewari A. PET/CT in paediatric malignancies - An update. Indian J Med Paediatr Oncol 2016;37:131-40.
- [24] Moinul Hossain AK, Shulkin BL, Gelfand MJ, Bashir H, Daw NC, Sharp SE, et al. FDG positron emission tomography/computed tomography studies of Wilms' tumor. Eur J Nucl Med Mol Imaging 37:1300-08.
- [25] Biermann M, Schwarzmüller T, Fasmer KE, Reitan BC, Johnsen B, Rosendahl K, et al. Is there a role for PET-CT and SPECT-CT in pediatric oncology? Acta Radiol 2013;54:1037-45.
- [26] Arevalo-Perez J, Paris M, Graham MM, Osborne JR. A Perspective of the future of nuclear medicine training and certification. Semin Nucl Med 2016;46:88-96.

Spis rycin i tabel

- **Tabela 1.** Aktywność promieniotwórcza preparatów radiofarmaceutycznych w badaniu scyntygrafii kości u dzieci (źródło: EANM)
- **Tabela 2.** Aktywność promieniotwórcza preparatów radioizotopowych, stosowana u dzieci w badaniu 18F-FDG PET/CT (źródło: EANM)
- **Tabela 3.** Częstość występowania poszczególnych nowotworów złośliwych wśród dzieci (źródło: Epidemiologia chorób nowotworowych u dzieci - Anna Balcerska Katedra i Klinika Pediatrii, Hematologii, Onkologii i Endokrynologii Akademii Medycznej w Gdańsku 2009 Via Medica ISSN 1897-3590)
- **Tabela 4.** Diagnostyka izotopowa guzów złośliwych (źródło: Zastosowanie technik medycyny nuklearnej w onkologii. Piotr Lass Tomasz Bandurski, Jarosław Dzierżanowski. 10/2000, Borgis - Nowa Medycyna, 2000)