



Praca poglądowa/Review paper

Początki medycyny nuklearnej w Europie

The development of Nuclear Medicine in Europe

Agata Pietrzak¹, Filip Nadoln², Witold Cholewiński³

¹Zakład Medycyny Nuklearnej, Wielkopolskie Centrum Onkologii

² Student kierunku Elektroradiologia, Wydział Nauk o Zdrowiu Uniwersytetu Medycznego im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu

³ Katedra i Zakład Elektroradiologii Uniwersytetu Medycznego im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu

Streszczenie

Artykuł przedstawia początki Medycyny Nuklearnej jako jednej najintensywniej ewoluujących dziedzin medycyny, fizyki, chemii oraz inżynierii medycznej. Europejska medycyna nuklearna z uwagi na podłoże historyczne i polityczne, mające duży wpływ na kształtowanie wszystkich gałęzi nauki na kontynencie, należy bez wątpienia do jednego najciekawszych wątków w medycynie światowej. Złożoność genezy i ewolucji medycyny nuklearnej stanowi doskonały przykład kreatywności europejskich badaczy.

Abstract

This article describes Nuclear Medicine as one of most intensively developing fields of medicine, physics, chemistry and engineering. European Nuclear Medicine as undoubtedly one of the most interesting topics in the medical world, deserves closer attention because of its complex historical and political origin which had great influence on establishing all branches of science on the continent.

Słowa kluczowe: medycyna nuklearna, promieniotwórczość, pozytonowa tomografia emisyjna/tomografia komputerowa, PET/CT, scyntygrafia

Keywords: nuclear medicine, radioactivity, positron emission computed tomography/computed tomography, PET/CT, scintigraphy

Adres do korespondencji

Agata Pietrzak

Zakład Medycyny Nuklearnej

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

Telefon. +486188xxxxxxx; Fax.+486188xxxxxx

e-mail: agata.pietrzakk@gmail.com

Wstęp

Medycyna nuklearna jest dziedziną zajmującą się wykorzystywaniem radioizotopów w diagnostyce i terapii izotopowej. Techniki obrazowania w zakresie medycyny nuklearnej nazywa się scyntyografią z uwagi na fakt wykorzystywanie zjawiska scyntytacji, czyli efektu oddziaływania promieniowania jonizującego na strukturę kryształów scyntyacyjnych będących częścią głowicy aparatu scyntygraficznego. W praktyce stosuje się m.in. tak zwane gamma kamery lub hybrydowe skanery PET/CT czy PET/MR. Badania te należą do grupy czynnościowych, przedstawiających nie tylko budowę anatomiczną badanego obszaru, ale przede wszystkim funkcję poszczególnych struktur i narządów. Do najczęściej stosowanych technik należą: scyntygrafia planarna (dwuwymiarowa) oraz metody objętościowe takie jak SPECT/CT, PET/CT czy PET/MR [1].

Istotą obrazowania molekularnego, jak nazywane są badania scyntygraficzne, jest zastosowanie odpowiedniego radiofarmaceutyku, czyli substancji składającej się z izotopu promieniotwórczego będącego emitentem cząstek gamma (fotonów) o różnych, zależnych od specyfiki badania energiach oraz ligandu, czyli swoistego nośnika metabolicznego, którego podstawową cechą jest powinowactwo biologiczne i chemiczne do badanej tkanki. Zasadniczo radiofarmaceutyk nie jest substancją uniwersalną, co znaczy, że każda technika czy obszar objęty diagnostyką wymaga użycia innego radioznacznika. Badania molekularne znalazły szerokie zastosowanie w onkologii, dzięki fizjologicznym własnościom zmian pierwotnych i przerzutowych, znanych uczonym od początków XX wieku [1, 2]. Obecnie, najczęściej wykorzystywany jest fakt zwiększonej utylizacji glukozy przez zmiany nowotworowe o charakterze złośliwym (tzw. Efekt Warburga, opracowany przez Otto Warburga [3,4]), dzięki której to właściwości zastosowanie znalazł radiofarmaceutyk ^{18}F -FDG (fluorodeoxyglukoza), będący połączeniem izotopu fluoru-18 i analogu glukozy. ^{18}F -FDG jest obecnie jednym z najczęściej stosowanych radioznaczników w badaniach PET/CT wielu regionów ciała [5].

Wśród najczęściej wykonywanych badań izotopowych wyróżniamy m.in. scyntyografię ślinianek, tarczycy, serca, nerek oraz układu kostnego. Badania scyntygraficzne wykorzystywane są w diagnostyce przerzutów nowotworowych do kośćca czy tkanek miękkich, wykrywania ognisk martwiczych, nowotworów pierwotnych i wtórnych, oceny przedoperacyjnej lokalizacji i objętości guza, oceny stopnia zaawansowania choroby nowotworowej, ewaluacji skuteczności leczenia, a także w różnicowaniu nowotworów łagodnych i złośliwych [6,7].

Metoda:

Treści przedstawione w niniejszej pracy oparto na analizie szerokiego zbioru danych piśmienniczych, opisujących podstawy oraz tło historyczne europejskiej medycyny nuklearnej.

Cel:

Celem pracy było przedstawienie zarysu historii medycyny nuklearnej na przykładzie wybranych krajów Europy.

Wyniki:

• Tło historyczne

Za początki medycyny nuklearnej jako dziedziny medycyny, fizyki, chemii oraz inżynierii medycznej uznaje się najczęściej odkrycie promieniowania X przez Konrada Roentgena (1895r.) [8] oraz zjawiska promieniotwórczości przez francuskiego chemika i fizyka, Antoine Henri Becquerela (1896r.). Jednoznaczne określenie daty powstania tej wciąż intensywnie rozwijającej się gałęzi nauki i diagnostyki obrazowej stwarza jednakże wiele trudności, gdyż wymienione odkrycia leżą u podstaw wszystkich technik związanych z wykorzystaniem promieniowania jonizującego.

W 1936r. w Berkeley (Kalifornia, Stany Zjednoczone), powstało pierwsze laboratorium radiochemiczne na świecie. Pracownią Donner's Laboratory kierował m.in. Ernest Lawrence, wynalazca cyklotronu, dzięki

któremu otrzymano radioizotop węgla-14. Rozwój prac laboratorium oraz pierwsze sukcesy diagnostyczne – terapeutyczne skłoniły do współpracy brata Ernesta Lawrence’a, Johna. Obecnie, większość autorów wskazuje właśnie J. Lawrence’a jako pioniera obrazowania molekularnego, który użył izotopu fosforu-32 u chorych na białaczkę (1936r.). W 1937, podążając śladami Lawrence’a, Joseph Hamilton przeprowadził badania dynamiki szlaków biochemicznych w ciele człowieka z użyciem radioizotopu sodowego [9].

Próby stosowania radionuklidów w diagnostyce medycznej na szeroką skalę podjęto już w latach 20-tych XX wieku we Freiburgu w Niemczech. Eksperymentem medycznym z podaniem radiofarmaceutyku szczerom celem zbadania procesu biodystrybucji radioznacznika kierował George de Hevesy (zwany „ojcem medycyny nuklearnej”). Syntezę powszechnie stosowanych do dziś radiofarmaceutyków rozpoczęto jednak dopiero w 1946r, w Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, USA [10].

Do ważnych odkryć XIX i XX wieku, mających istotny wpływ na rozwój medycyny nuklearnej, zaliczyć należy także odkrycie radu i polonu przez Marię Skłodowską-Curie (1898r.), prac Frédéric Joliot-Curie oraz Irène Joliot-Curie, czy Hala Angera – twórcy badań scyntygraficznych (konstrukcja pierwszej gamma kamery na świecie, 1957r.) [11-13]. Przemówienie Prezydenta Stanów Zjednoczonych, Dwighta D. Eisenhowera „Atoms for Peace” na 47. Plenarnym Zgromadzeniu Ogólnym Organizacji Narodów Zjednoczonych 8.12.1953, skutkujące powołaniem IAEA (International Atom Energy Agency/MAEA – Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej) w 1959r. oraz Komisji Energii Atomowej w USA [14], pozwoliło ustanowić medycynę nuklearną samodzielną dyscypliną medyczną.

Początki i rozwój medycyny nuklearnej w wybranych krajach Europy

Wśród krajów najszerzej wykorzystujących obrazowanie molekularne w Europie wyróżnić można: Austrię, Belgię, Hiszpanię, Włochy, Francję, Czechy, Szwajcarię, Niemcy, Wielką Brytanię - członków European Association of Nuclear Medicine z siedzibą w Austrii. Jako jedno z największych i najbardziej aktywnych stowarzyszeń światowych, zrzesza pracowników naukowych i klinicznych medycyny nuklearnej wszystkich kontynentów. EANM powstało 6. Września 1985 roku z połączenia dwóch niezależnych towarzystw: Society of Nuclear Medicine – Europe oraz European Nuclear Medicine Society [15].

Obecnie istnieje wiele organizacji o zasięgu krajowym oraz międzynarodowym, zainteresowanych wszelkimi aspektami medycyny nuklearnej i angażujących we współpracę liczne ośrodki naukowo – badawcze. Na terenie Polski od roku 1987 działa Polskie Towarzystwo Medycyny Nuklearnej [16], wspierane przez pracowników zakładów medycyny nuklearnej różnych specjalności (lekarzy, pielęgniarki, elektroradiologów czy techników rentgenodiagnostyki, a także inspektorów ochrony radiologicznej), organizujące zjazdy oraz konferencje dotyczące medycyny nuklearnej jako przedmiotu nauki i praktyki, a także radiofarmakologii czy ochrony radiologicznej. Spośród licznych towarzystw o zasięgu krajowym wymienić należy także: Society of Nuclear Medicine India, Canadian Association of Nuclear Medicine, Hellenic Society of Nuclear Medicine, Chinese oraz Hong Kong Society of Nuclear Medicine i inne. Najbardziej znaczące pozostają jednakże EANM oraz Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging (SNMMI), działająca na terenie Stanów Zjednoczonych. Zarówno EANM, jak i SNMMI uznawane są powszechnie za wyznacznik praw, zasad oraz kierunków kliniczno – badawczych, wdrażanych we wszystkich krajach świata.

Polska należy obecnie do państw członkowskich EANM.

Charakterystyka wybranych krajów Europy

• Austria

Badania rozpoczęte w latach 30-tych ubiegłego stulecia w II. Szpitalu Klinicznym Uniwersytetu Medycznego w Wiedniu pod kierownictwem profesora K. Fellingera, którego przekonanie o bezwzględnej konieczności dostosowania poziomu medycyny austriackiej do standardów światowych, doprowadziło - za namową współpracownika Herberta Vettera – do zainteresowania technologią otrzymywania radiofarmaceutyków w Austrii. Prace Fellingera przejął i kontynuował Vetter, prowadząc eksperymenty i doświadczenia medyczne – fizyczne w Instytucie Radowym w Wiedniu aż do wybuchu II wojny światowej, która na pewien czas wstrzymała możliwość pozyskiwania niezbędnych do badań izotopów promieniotwórczych. Działania

wznowiono w 1950r. w szpitalu uniwersyteckim w Wiedniu, gdzie za zgodą profesora Fellingera powstał jeden z pierwszych w Europie ośrodków zajmujących się stosowaniem radioizotopów w praktyce klinicznej. Prace Vettera, dotyczące początkowo jedynie badań serca, przerwał ówczesny kierownik ośrodka, Werner Weissel, jako potencjalnie szkodliwe i nieużyteczne w przypadku niejednoznacznej bądź szczególnie złożonej chorobie kardiologicznej. Vetter, nie mając możliwości wyposażenia pracowni w niezbędną aparaturę, zaangażował we współpracę Fritza Hawliczka, pracownika Instytutu Radowego, który skonstruował dla Vettera m.in. liczniki scyntylacyjne opracowane na bazie aparatury Geigera – Müllera, połączone z układem kolimatorów, a w konsekwencji – prostą gamma kamerę do badań scyntygraficznych. Mimo sukcesów, Vetter wstrzymał prace jako nieprzynoszące realnej korzyści zdrowotnej chorym i opuścił Austrię na rzecz stypendium w Anglii. Dzięki współpracy z N. Veallem, E. Pochinem, N. Trottem i L. Lamertonem, którzy umożliwili Vetterowi publikację badań, zainteresował nowo powstałą MAEA austriacką medycyną i wraz z lekarzem, Rudolfem Höffnerem, po raz kolejny w swej karierze naukowej, wznowił badania. Do najważniejszych osiągnięć w historii austriackiej medycyny nuklearnej należy wymienić nie tylko wkład Vettera, ale również leczenie chorób tarczycy izotopem jodu-131, czy stosowanie fosforu-32w leczeniu nadkrwistości [17].

• Belgia

W 1948r. w Szpitalu Uniwersyteckim w Liège, G. Merchie i G. Brüll jako pierwsi belgijscy badacze użyli izotopu jodu w terapii chorób tarczycy, wprowadzając tym samym medycynę nuklearną w belgijską praktykę kliniczną. Z uwagi na zadowalające efekty terapii, dyrektor Katolickiego Uniwersytetu w Leuven, Gerard van der Schurren, zdecydował się utworzyć pierwsze w kraju laboratorium radioizotopowe. Ponieważ kierownictwo nad laboratorium objął ginekolog i onkolog Jan Bonte, głównym obszarem zainteresowania belgijskiej medycyny nuklearnej stały się choroby żeńskiego układu rozrodczego, a szczególnie ich związek z dysfunkcjami gruczołu tarczowego. Badania zostały jednak przerwane z uwagi na zbyt wiele zobowiązań zawodowych Bonte, które uniemożliwiały mu efektywne kierowanie laboratorium.

Belgia stała się pierwszym krajem kontynentu, w którym opracowano standardy ochrony radiologicznej. Pionierem dziedziny był Michael de Roo [17].

• Bułgaria

Pierwsze laboratorium radiochemiczne w kraju powstało w 1958r. i rozpoczęło swoją działalność od terapii radiojodowej. Bułgaria - czerpiąc z osiągnięć sąsiadów - niezwykle szybko wdrożyła diagnostykę molekularną w praktykę kliniczną. Już w 1969r. rozpoczęto produkcję radioizotopów generatorowych (początkowo: indu-113 metastabilnego, a dwa lata później – technetu-99 metastabilnego). W 1972r. zainstalowano natomiast pierwszą gamma kamerę w kraju.

Pozycję Bułgarii w Europie ugruntowało utworzenie Centralnego Laboratorium Medycyny Nuklearnej [18] z siedzibą na Uniwersytecie Medycznym w Sofii. Laboratorium zostało zamknięte, po czym jego działalność wznowił Stefan Milanov, który kierował nim do 1976r. Milanov, jako uznany ekspert, zasiadł w zarządzie utworzonego w 1966r. Bułgarskiego Towarzystwa Medycyny Nuklearnej, po czym objął stanowisko narodowego konsultanta w dziedzinie medycyny nuklearnej, a w końcu - wydawcy jednego z pierwszych czasopism tego obszaru „Radiation and Medicine”.

Medycyna nuklearna w Bułgarii stała się odrębną dziedziną medycyną w 1992r [17].

• Chorwacja

Pierwszy zakład medycyny nuklearnej założył I. Šimonovič w Klinice Chorób Wewnętrznych szpitala Rebro w Zagrzebie w 1959r. Jednym z pierwszych elementów wyposażenia zakładu były liczniki scyntylacyjne, które pracownicy zakładu konstruowali samodzielnie na potrzeby ośrodka. Początkowo działania instytutu dotyczyły, podobnie jak w innych ośrodkach europejskich, badań gruczołu tarczowego. Pracownicy zakładu, nie mając dostępu do zasobów światowej, wciąż nowej, medycyny nuklearnej, zmuszeni byli także samodzielnie sporządzać radiofarmaceutyk oparty o izotop jodu-131, a także budować pierwsze aparaty służące obrazowaniu tarczycy. Chorwacka medycyna nuklearna rozwijała się jednocześnie z czechosłowacką,

napotykaną podobne problemy z dostępem do nowości technologicznych i zmagającą się z dużym oporem władz kraju w kwestii kontaktów z krajami zachodnimi, co jednakże nie przeszkodziło Chorwacji, Czechom i Słowacji w osiągnięciu wysokiego poziomu dzisiejszej medycyny nuklearnej [17].

• Dania

U podłoża duńskiej medycyny nuklearnej leżą doświadczenia zoologiczne, zapoczątkowane w roku 1926. Badania dotyczące radioizotopowego śledzenia filtracji kłębuszkowej nerek i zjawiska resorpcji, prowadzone na Uniwersytecie w Kopenhadze doprowadziły w 1935r. do opisanego przez George'a de Hevesy procesu stosowania ligandów, czyli nośników metabolicznych łączonych z izotopem. Uniwersytet zasłynął z pierwszego zastosowania fosforu-32 w leczeniu pacjentów cierpiących na białaczkę. Duńscy uczeni we współpracy ze szwedzkimi badaczami podjęli również działania mające na celu otrzymanie i stosowanie w praktyce klinicznej izotopu kryptonu-82.

Głównym obszarem zainteresowania duńskiej medycyny nuklearnej był fizjologiczny aspekt stosowania radioizotopów. W latach 1963-1993, 18 zakładów fizjologii i medycyny nuklearnej, zaangażowawszy szpitale uniwersyteckie Rigshospitalet, Glostru i Bispebjerg celem utworzenia i pełnego ukształtowania medycyny nuklearnej jako odrębnej dziedziny diagnostyki i terapii w Danii, rozpoczęły wspólne prace na Uniwersytecie w Kopenhadze. Ze uwagi na wyraźny do dziś związek ze środowiskiem duńskich fizjologów, obszarem zainteresowania medycyny nuklearnej stały się nie tylko diagnostyka obrazowa czy terapia izotopowa, ale także biologia i zoologia. To niespotykane dotąd w Europie połączenie Dania zawdzięcza m.in. Augustowi Kroghowi, Johannesowi Lindhardowi, Poulowi Brandt – Rehbergowi, Erikowi Howüh Christensenowi, Hansowi H. Ussingowi, a także dwóm światowej sławy naukowcom: Nielsowi Bohrowi i wspomnianemu już Georgowi de Hevesy [17]. Obecnie, Dania należy do grupy znaczących producentów gammakamer w Europie.

• Polska

Medycyna nuklearna stała się w Polsce odrębną dziedziną diagnostyki i terapii w 1988r., jednakże jej początki sięgają lat 50-tych XX wieku (Poznań). W roku 1952 po raz pierwszy w praktyce klinicznej wykorzystano izotop jodu w leczeniu dysfunkcji tarczycy, a inicjatorem terapii prof. Maciej Gembicki. W 1970r. osiągnięcia prof. Gembickiego uznała MAEA, która wydała zgodę na uczestnictwo Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu w prowadzeniu międzynarodowych programów szkoleniowych dla specjalistów z całego świata w dziedzinie wykorzystywania radiofarmaceutyków w terapii izotopowej.

Pierwszą gammakamerę w Polsce zainstalowano w 1974r., w 1982r SPECT, w 2003 PET/CT, w 2013 PET/MR. Działalność Polskiego Towarzystwa Medycyny Nuklearnej doprowadziła do utworzenia jedyne w Polsce czasopisma poświęconego medycynie nuklearnej „Problemy Medycyny Nuklearnej”, a później „Nuclear Medicine Review” z inicjatywy prof. Piotra Lassa oraz prof. Juliana Linieckiego [16]. Z danych pochodzących z 2014r. wynika, że w Polsce istnieją 63 zakłady Medycyny Nuklearnej, zainstalowanych jest przeszło 100 gammakamer i 24 skanery PET/CT. Dane z roku 2016 wskazują na 2 aparaty PET/MR [16].

Najstarszym i wciąż wiodącym ośrodkiem w Polsce jest Zakład Medycyny Nuklearnej i Endokrynologii Onkologicznej w Gliwicach, specjalizujący się w diagnostyce i leczeniu chorób nowotworowych gruczołów dokrewnych.

• Wielka Brytania

George von Hevesy, a właściwie György von Hevesy, pochodzący z Węgier, a kształcony w Niemczech uczony rozpoczął pracę z Ernestem Rutherfordem w Manchesterze w 1911r. Eksperyment z użyciem zawierającej ołów zastawy stołowej dał początek pracy badacza nad uzyskiwaniem radu z ołowiu [19]. Późniejsze osiągnięcia, uhonorowane Nagrodą Nobla w roku 1943 prowadziły do odkrycia hafnu (we współpracy z Dirkiem Costerem), właściwości aktynu, stworzenia pierwszych znaczników radioizotopowych (wraz z Friedrichem Panethem) oraz stwierdzenia promieniotwórczości samaru, dziś szeroko stosowanego w leczeniu bólu wywołanego obecnością przerzutów nowotworowych w obrębie układu kostnego [20]. Postać badacza pojawia się w historii europejskiej medycyny nuklearnej wielokrotnie. Prace Hevesy'ego, rozpoczęte

w Niemczech, a kontynuowane w Wielkiej Brytanii oraz Danii, zaowocowały ostatecznie uznaniem Węgra za niekwestionowanego „ojca medycyny nuklearnej”.

W 1947r. J.S. Mitchell we współpracy z MAEA, wprowadził na medyczny rynek brytyjski szereg radioizotopów, sprowadzonych z Oak Ridge National Laboratory w Tennessee. Rozwój radiochemii Wielkiej Brytanii zapoczątkowała konferencja w Oxfordzie w 1951r., by już w 1954r. powszechne zastosowanie w diagnostyce i terapii onkologicznej znalazły m.in. bizmut-206, fosfor-32, jod-131, czy też chrom-59 [21,22].

Pierwsze scyntygramy powstawały w latach 50-tych i służyły monitorowaniu wielorakich przypadłości. Należały do nich, m.in., obrazowanie ciała chorego z unieruchomieniami mechanicznymi (stosowanymi w schorzeniach lokomotorycznych oraz pourazowych), a także (jak i w pozostałych częściach Europy) – badań gruczołu tarczowego. Pierwszymi diagnostami byli Ansell, Rotblat i Geiger, a konstruktorem kryształów scyntylicyjnych – Russell Herbert [22, 23]. W latach 60-tych natomiast, zainstalowano pierwszą w pełni wyposażoną kamerę Angera (Hammersmith).

W latach 70. XX wieku rozpoczęto stosowanie izotopu fluoru-18, dziś szeroko stosowanego w preparatach fluorodeoksyglukoza, fluorocholina i innych. Wielka Brytania była pierwszym krajem kontynentu, w którym izotop ten dopuszczono do użycia w praktyce onkologicznej.

Dyskusja:

Europejska medycyna nuklearna wyrosła na gruncie prac wielu ludzi i licznych ośrodków naukowo – badawczych na świecie, a u jej podstaw leżą wszystkie najważniejsze odkrycia w dziedzinie fizyki oraz chemii XIX i XX wieku. Za ojca medycyny nuklearnej uważa się dziś George’a de Hevesy, jednakże i Hevesy opierał swoje prace na dorobku wielkich uczonych takich jak Antoine Henri Becquerel czy rodzina Curie, a rezultaty prowadzonych przez niego doświadczeń były następstwem współpracy ze specjalistami wielu dyscyplin naukowych. Eksperymenty z użyciem radioizotopów prowadziły równolegle niemalże wszystkie kraje kontynentu, toteż w samej tylko Europie nie sposób wskazać instytutu, który włączył badania z zakresu medycyny nuklearnej w praktykę kliniczną bezsprzecznie jako pierwszy [17].

Medycyna nuklearna, choć znana od dawna, status samodzielnej specjalności medycznej uzyskała dopiero w latach 90-tych ubiegłego wieku. Pierwszym praktycznym zastosowaniem radiofarmaceutyków była terapia izotopowa chorób tarczycy z użyciem jodu-131. Początkowo, badacze skupiali się przede wszystkim na rozwijaniu technik otrzymywania radioizotopów oraz analizie procesu biodystrybucji radioznacznika w ustroju ludzkim, pomijając aspekty związane z bezpieczeństwem radiacyjnym czy dziś powszechnie stosowaną ochroną radiologiczną. Jednym z pionierów tej dyscypliny w Europie była Belgia.

Historia europejskiej medycyny nuklearnej zasługuje na szczególną uwagę ze względu na towarzyszące jej krytyczne wydarzenia wojenne. Prace nad otrzymywaniem i wykorzystywaniem radiofarmaceutyków niejednokrotnie przerywano z uwagi na toczące się w wielu krajach działania militarne, uniemożliwiające badaczom pełne poświęcenie się nauce. Jednocześnie pierwsze doniesienia o negatywnym wpływie promieniowania jonizującego na organizm żywy i o potencjalnie niebezpiecznym zainteresowaniu sił zbrojnych atomem, doprowadziły do rozprzestrzeniającej się radiofobii i obaw, że owoce pracy uczonych mogą zostać wykorzystane w sposób realnie zagrażający bezpieczeństwu społeczeństw europejskich. Brak pełnej świadomości skutków niewłaściwego wykorzystywania otwartych źródeł promieniowania, a także liczne niepowodzenia związane z pierwszymi praktykami diagnostycznymi i terapeutycznymi, skutkowały niejednokrotnie zamykaniem projektów badawczych i blokadą możliwości stosowania radiofarmaceutyków w lecznictwie (m.in. Austria, Belgia, Chorwacja) [17,24].

Mimo licznych przeszkód o charakterze zarówno politycznym, jak i ekonomicznym, europejskie ośrodki medycyny nuklearnej osiągnęły liczne sukcesy kliniczne, naukowe i technologiczne, dzięki którym nie ustępują wiodącym instytutom światowym.

Wnioski

Z uwagi na bogatą i złożoną historię, europejska medycyna nuklearna zasługuje na szczególną uwagę. Rozwój tej gałęzi medycyny, współgrający z echem historii geopolitycznej świata, dowodzi kreatywności i determinacji europejskich uczonych.

Konflikt interesu / Conflict of interest

Nie występuje / None

Piśmiennictwo / References

- [1] Pruszyński B. i in. Diagnostyka obrazowa. Podstawy teoretyczne i metodyka badań. Wydanie I, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, ISBN 978-83-200-3749-4, rozdział 6: 471-505, 2000
- [2] Histed S.N., Lindenberg M.L., Mena E., Turkbey B., Choyke P.L., Kurdziel K.A. Review of functional/anatomical imaging in oncology. Nuclear Medicine Communications. vol.33(4):349-361, 2012. DOI: 10.1097/MNM.0b013e32834ec8a5
- [3] Warburg O., Wind F., Negelein E. The metabolism of tumours in the body. The Journal of General Physiology. vol.8(6):519-530, 1927
- [4] Dondajewska E, Suchorska WM. Hypoxia-inducible factor as a transcriptional factor regulating gene expression in cancer cells. Współczesna Onkologia vol.15: 234-39, 2011
- [5] Cook GJ, Wegner EA, Fogelman I. Pitfalls and artifacts in 18FDG PET and PET/CT oncologic imaging. Seminars in Nuclear Medicine. Vol.34(2):122-33, 2004
- [6] Chandra R. Nuclear Medicine Physics. The Basics, Fifth edition. Wolters Kluwer Company, ISBN 0683-30092-X, rozdziały 1, 3, 5, 11, 12,14, 1998
- [7] Histed S.N., Lindenberg M.L., Mena E., Turkbey B., Choyke P.L., Kurdziel K.A. Review of functional/anatomical imaging in oncology. Nuclear Medicine Communications. vol.33(4):349-361, 2012. DOI: 10.1097/MNM.0b013e32834ec8a5
- [8] Morgan M. The Literature of Radiobiology and Atomic Medicine. Bulletin of Medical Library Association. Vol.41(3):258-264, str.258, 1953
- [9] Kahn J. From Radioisotopes to Medical Imaging, History of Nuclear Medicine written at Berkeley. Science Articles Archive. Berkeley, 1996
- [10] Short History of Oak Ridge National Laboratory (1943–1993)”. Oak Ridge National Laboratory. April 8, 2006. Retrieved November 11, 2012.
- [11] Buck A., Decristoforo C. Highlights lecture EANM 2015: the search for nuclear medicine’s superheroes, European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. vol.43:1910-1927, 2016. DOI: 10.1007/s00259-016-3423-4
- [12] Hicks R., Lau E., Binns D. Hybrid imaging is the future of molecular imaging. Biomedical imaging and intervention journal. vol.3(3), 2007. DOI: 10.2349/biij.3.3.e49
- [13] William D.E. Donner Laboratory: the Birthplace of nuclear medicine. Journal of Nuclear Medicine. vol.40(1):16N,18N,20N, 1999
- [14] Eisenhower D. Atoms for peace, przemówienie Prezydenta Stanów Zjednoczonych, 1953. źródło: strona internetowa Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA/IAEA), <https://www.iaea.org/about/history/atoms-for-peace-speech>
- [15] Section and European Board of Nuclear Medicine (EBNM), strona www: <http://uems.eanm.org/index.php?id=47>
- [16] Teresińska A., Birkenfeld B., Królicki L., Dziuk M.. Nuclear medicine training and practice in Poland. European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. vol.41(10):1995-1999, 2014. DOI: 10.1007/s00259-014-2853-0
- [17] Feld M., de Roo M. History of nuclear medicine in Europe. Schattauer, ISBN 3-7945-2234-6, rozdział 5, 2003
- [18] Central Laboratory of Nuclear Medicine (CLNM)
- [19] McCready R. et al. A History of Radionuclide Studies in the UK: 50th Anniversary of the British Nuclear Medicine Society. Springer, Chapter 2: A History of Nuclear Medicine in the UK, str. 9-18, ISBN 978-3-319-28623-5
- [20] Levi H. George Hevesy and his concept of radioactive indicators—In retrospect. European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. vol. 1:3-10, 1976. DOI: 10.1007/BF00253259
- [21] Mitchell JS. Applications of recent advances in nuclear physics to medicine; with special reference to

- the pile and the cyclotron as sources of radioactive isotopes. *British Journal of Radiology*. vol.19:481-487,1946
- [22] Mallard J, Trott NG. Some aspects of the history of nuclear medicine in the United Kingdom. *Seminars in Nuclear Medicine*. vol.9: 203-2017, 1979
- [23] Smithers DW. Some varied applications of radioactive isotopes to the localization and treatment of tumors. *Acta Radiologica*. vol. 35: 49-61, 1951
- [24] Jha A.K., Singh A.M., Shetye B., Shah S., Agrawal A., Purandare N.C., Monteiro P., Rangarajan V. Radiation safety audit of a high volume Nuclear Medicine Department. *Indian Journal of Nuclear Medicine*. vol.29(4):227-234, 2014. DOI: 10.4103/0972-3919.142625