

I. WSTĘP

Medycyna nuklearna jest specjalnością medyczną zajmującą się bezpiecznymi i względnie tanimi technikami izotopowymi zarówno obrazowania stanu narządów wewnętrznych, jak i terapii. Pozwala ona na uzyskanie informacji o funkcjonowaniu i strukturze narządów wewnętrznych, której nie dałoby się uzyskać inaczej niż na drodze interwencji chirurgicznej lub przy pomocy bardzo kosztownych testów. Dzięki wynikom dostarczonym przez diagnostykę nuklearną można podjąć właściwe leczenie, a także prowadzić efektywną profilaktykę. Ta ostatnia jest możliwa ze względu na wysoką czułość stosowanych metod na małe zmiany w funkcjonowaniu organów wewnętrznych lub w ich strukturze, występujące znacznie wcześniej niż zmiany chorobowe. Należy także dodać, że metody medycyny nuklearnej należą do jednych z najbezpieczniejszych metod diagnostycznych, są bezbólowe i nie wymagają usypiania pacjenta. Liczba testów z zakresu medycyny nuklearnej wynosi dziś zapewne około 40 milionów rocznie, co mówi o przydatności tej techniki. W samych Stanach Zjednoczonych wykonuje się rocznie metodami medycyny nuklearnej ok. 20 milionów procedur diagnostycznych i ok. 200 000 procedur terapeutycznych. Liczba lekarzy - specjalistów z zakresu medycyny nuklearnej, zatrudnionych w pełnym wymiarze czasu, wynosi w USA około 2700. W Polsce wykonuje się rocznie zaledwie ok. 60 000 procedur, co biorąc nawet pod uwagę różnicę w wielkości populacji obu krajów pokazuje, ile mamy jeszcze do nadrobienia.

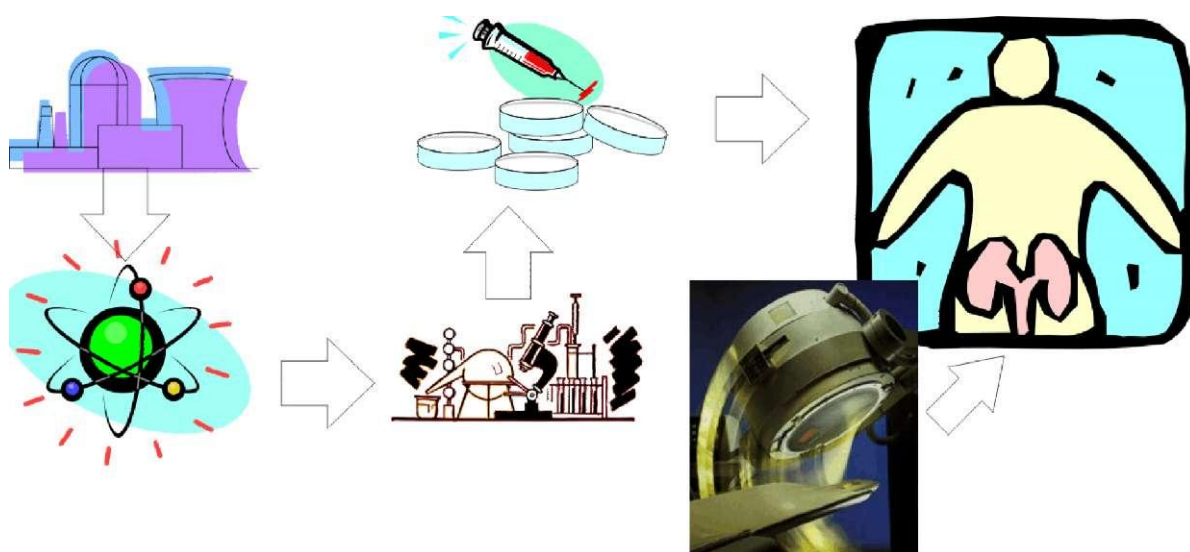
Medycyna nuklearna korzysta z bardzo niewielkich ilości promieniowania jonizującego, emitowanego z wprowadzanych do ciała pacjenta tzw. **radiofarmaceutyków**, tj. substancji, które preferencyjnie są wchłaniane przez interesujące lekarza organy wewnętrzne, kości, tkanki, a także receptory komórkowe. Dzięki temu ostatniemu procesowi możliwe jest diagnozowanie oparte na zauważonych zmianach w funkcjonowaniu komórek i fizjologii pacjenta, a nie

konieczne od razu na zmianach anatomicznych w tkankach. Wraz z lepszym rozumieniem procesów zachodzących w komórkach rozwija się dział medycyny, który można nazwać medycyną molekularną, w której metody medycyny nuklearnej mogą być bardzo przydatne, gdyż dzięki nim widzimy zmiany w funkcjonowaniu komórek lub przyswajaniu specyficznych substancji, charakterystycznym dla danej jednostki chorobowej.

Medycyna nuklearna korzysta najczęściej z radiofarmaceutyków emitujących promieniowanie gamma, które jest rejestrowane przez tzw. **gamma-kamery**. W szczególnym wypadku **pozytonowej tomografii emisyjnej (PET)** radiofarmaceutyk zawiera emiter pozytonów. Oddziaływanie pozytonów z elektronami prowadzi do powstania kwantów promieniowania gamma, które są rejestrowane w kamerze PET. Dawka promieniowania pochłaniana przez pacjenta w trakcie procedur medycyny nuklearnej jest porównywalna z dawkami typowymi dla diagnostyki rentgenowskiej.

Dzisiejsza medycyna nuklearna wypracowała procedury skuteczne w wielu działach medycyny, w tym w pediatrii, kardiologii, badaniach wentylacji płuc aż po psychiatrię. Liczba procedur obrazujących sięga setki i nie ma takiego istotnego dla funkcjonowania człowieka narządu wewnętrznego, którego nie dałoby się zdiagnozować tymi metodami. Warto przy tej okazji zauważyć, że w odróżnieniu od takich technik jak **tomografia komputerowa (TK)** czy obrazowanie przy użyciu **jądrowego rezonansu magnetycznego (MRI)**, nie wspominając o badaniach **ultrasonograficznych (USG)**, w których obrazowane są szczegóły anatomiczne, medycyna nuklearna skupia się głównie na funkcjach fizjologicznych narządów czy tkanek, dostarczając np. serii zdjęć obrazujących np. zmiany ukrwienia serca w funkcji czasu. W wypadku zastosowań terapeutycznych korzysta się z radiofarmaceutyków, które usadawiają się w miejscu nowotworu i go niszczą dzięki wysyланemu przez nie promieniowaniu (w języku angielskim określa się to nazwą *targeted therapy*).

Rys. 1.1 ilustruje procesy typowe dla medycyny nuklearnej: izotop promieniotwórczy, wytworzony w reaktorze lub akceleratorze, wbudowywany jest w związek chemiczny, w szczególności – farmaceutyk, który w ten sposób staje się radiofarmaceutykiem. Ten, podany pacjentowi w formie tabletki lub zastrzyku, usadawia się w narządzie wewnętrznym. Wychodzące zeń promieniowanie charakteryzuje rozkład natężenia odpowiadający rozkładowi radiofarmaceutyka w narządzie, co de facto pokazuje obraz narządu wewnętrznego.



Rys. 1.1 Typowa droga od wytworzenia izotopu do obrazowania. Na rysunku miejscem wytwarzania izotopu jest reaktor, jednak może być nim także akcelerator - w zależności od potrzebnego izotopu

Medycyna nuklearna nie oznacza jedynie diagnostyki, ma ona bowiem silnie rozwiniętą gałąź terapeutyczną, o której powiemy więcej w jednym z rozdziałów. W tym jednak wypadku używane izotopy powinny wysyłać promieniowanie o stosunkowo niewielkim zasięgu, aby można je było wykorzystać do niszczenia np. komórek nowotworowych lub redukcji bólów związanych z przerzutami do kości w ramach tzw. **terapii paliatywnej**.

Początków medycyny nuklearnej należy chyba szukać w latach dwudziestych zeszłego stulecia, kiedy to Georges de Hevesy wykonywał eksperymenty ze szczurami, którym podawał radionuklidy. Chyba właśnie jemu należy przypisać pierwszeństwo w zrozumieniu, że nuklidy promieniotwórcze mogą być użyte jako charakterystyczne znaczniki. Jednak prawdziwy rozwój tej gałęzi medycyny stał się możliwy dopiero po opanowaniu metod produkcji radionuklidów przy użyciu akceleratorów cząstek naładowanych. John Lawrence był tym, który jako pierwszy spróbował leczyć białaczkę korzystając z fosforu-32. Do pionierów medycyny nuklearnej należy zaliczyć nie tylko twórców akceleratorów, jak Ernest Lawrence, lecz także Marię Skłodowską-Curie oraz Fryderyka i Irenę Joliot-Curie. W każdym razie były to lata trzydzieste XX. wieku. Jednak pierwszy większy sukces leczniczy osiągnięto dopiero w 1946 roku, kiedy to Sam Seidlin ogłosił wyleczenie raka tarczycy przy pomocy jodu-131. W kolejnych latach zaczęły się rozwijać metody obrazowania. Pierwszą kamerę scyntylicyjną nazywa się **kamerą Angera** od nazwiska jej twórcy, Hala Angera.

W latach 60. XX w. odkryto, że izotop ^{67}Ga może służyć do zobrazowania nowotworów miękkich tkanek, jak raka płuc i nowotworów mózgu. Około 10 lat później opanowano produkcję izotopu ^{201}Tl , który służy do określania przepływu krwi i uszkodzeń w sercu, a Michael Phelps, Edward Hoffman i Michel Ter-Pogossian wprowadzili na rynek skanery PET. W tym samym czasie zsyntetyzowano 18-FDG, radiofarmaceutyk stosowany w tej technice. W latach 90. pojawił się generator izotopowy ^{188}Rh , który znalazł zastosowanie w redukowaniu wywołanych rakiem bólów kości, pojawiły się także inne izotopy (np. ^{47}Sc , ^{67}Cu , ^{153}Sm , ^{188}Rh , ^{199}Au), które wykorzystuje się w procedurach terapeutycznych. Rozwój medycyny nuklearnej jest stały: rozwijają się narzędzia, rozwija się produkcja nowych radiofarmaceutyków, dotąd niestosowanych.

Jeśli chodzi o rozwój stosowanych radionuklidów, tu niewątpliwie prym dzierży $^{99\text{m}}\text{Tc}$, odkryty przez C.Perriera i E.Segrego, którzy po prostu szukali brakującego w Tablicy Mendelejewa pierwiastka o liczbie atomowej 43. Dziś ten izotop znajduje bardzo liczne

zastosowania w obrazowaniu fizjologii różnych narządów. Z kolei, gdy rozwinęła się technika pozytonowej tomografii emisyjnej, takim znaczącym izotopem okazał się ^{18}F .

W niniejszym wykładzie prześledzimy jedynie podstawy fizyczne medycyny nuklearnej pozostawiając sprawy ściśle medyczne tylko w tle naszych zainteresowań. Zwrócimy jednak uwagę na problemy wpływu promieniowania na organizmy i ryzyka związanego z promieniowaniem jonizującym.

Nim skończymy ten rozdział może warto uświadomić sobie, jakie zawody występują w ramach medycyny nuklearnej. Są nimi:

- **radiolog**, a więc lekarz, który posługuje się radiofarmaceutykami w celu diagnozowania i terapii choroby,
- **radiofarmaceuta**, a więc specjalista przygotowujący i rozprowadzający radiofarmaceutyki,
- **fizyk medyczny**, odpowiadający za tworzenie nowej i prawidłowe wykorzystanie obecnej na rynku aparatury, a także obliczający rozkład dawek w narządach, posiadający wiedzę z zakresu rekonstrukcji obrazów i analizy danych, nie wspominając o zasadach ochrony radiologicznej
- **technik medycyny nuklearnej (technik-elektro radiolog)**, współpracujący ściśle z lekarzem radiologiem i pacjentem. Technik spełnia nie tylko rolę pomocniczą, jest także osobą, która powinna umieć wyjaśnić pacjentowi rodzaj stosowanej procedury, jej istotę i korzyści z jej zastosowania.

To, co łączy wszystkie wymienione tu zawody, to niewątpliwie znacznie zwiększona odpowiedzialność zawodowa, wymagająca stałego pogłębiania wiedzy. W zależności od kraju warunki uzyskania odpowiednich certyfikatów, a czasem także zakresy obowiązków, są różne