

INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ

im. Henryka Niewodniczańskiego

Polskiej Akademii Nauk

ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków

Raport nr 2083/AP

Eksploatacja stanowiska radioterapii protonowej nowotworów oka w IFJ PAN w latach 2013-2015

Tomasz Horwacik, Barbara Michalec, Marzena Cygan-Bakoniak, Teresa Cywicka-Jakiel,
Anna Czaderna, Edyta Durlak, Łukasz Góra, Leszek Grzanka, Tomasz Kajdrowicz,
Dominika Kędzierska, Robert Kos, Anna Kozera, Aleksander Krempa, Artur Krempa,
Irena Lipeńska, Małgorzata Liszka, Leszek Malinowski, Gabriela Mierzwińska,
Tomasz Nowak, Ewa Ogrodowicz, Anna Pędracka, Marta Ptaszkiewicz,
Agnieszka Rogóż–Duda, Marzena Rydygier, Bartłomiej Sadowski, Katarzyna Skowrońska,
Liliana Stolarczyk, Urszula Sowa, Jan Swakoń, Michael Waligórski, Paweł Olko.

Abstract

Proton radiotherapy is an effective treatment modality for ocular cancer patients with choroidal melanoma. In 2011 a proton radiotherapy facility at the Institute of Nuclear Physics Polish Academy of Sciences was commissioned and went into clinical operation. By the end of the year 2015, a total of 128 ocular patients of the University Hospital in Kraków were irradiated at this facility, of whom 113 were treated under contract from the National Health Fund.

1. Wstęp

Radioterapię protonową jako metodę leczenia schorzeń nowotworowych gałki ocznej zastosowano po raz pierwszy w 1975 roku w Stanach Zjednoczonych [1]. W roku 2011 do wąskiego grona 5 krajów w Europie stosujących ten rodzaj terapii w leczeniu nowotworów okulistycznych dołączyła Polska. Wykorzystując zaprojektowane i zbudowane w IFJ PAN stanowisko terapii oka przy cyklotronie AIC-144, przy współpracy Instytutu z Kliniką Okulistyki, Onkologii Okulistycznej Szpitala Uniwersyteckiego w Krakowie oraz Centrum Onkologii – Instytutu im. Marii Skłodowskiej–Curie oddział w Krakowie, w IFJ PAN przygotowano procedury i stanowisko do zabiegów radioterapii protonowej. W latach 2011-2015 – początkowo w ramach eksperymentu medycznego (15 pacjentów), a od 2013 roku w ramach regularnej radioterapii, finansowanej przez kontrakt z Narodowym Funduszem Zdrowia – procedurę radioterapii protonowej czerniaka naczyniówki gałki ocznej przeprowadzono dla łącznej liczby 128 pacjentów Szpitala Uniwersyteckiego w Krakowie.

Czerniak błony naczyniowej oka (ang. Choroidal Melanoma) jest złośliwym nowotworem wewnątrzgałkowym, najczęściej występującym spośród nowotworów pierwotnych oka (ponad 80 % przypadków) [2]. Częstotliwość występowania nowych przypadków w populacji wynosi 6 do 8 na 1 mln osób na rok [3]. W okresie do lat 70 XX wieku leczenie czerniaka naczyniówki polegało na enukleacji (usunięciu) gałki ocznej. Z wprowadzeniem brachyterapii (początkowo wykorzystującej izotop ^{60}Co , następnie ^{106}Ru i ^{125}I) [4, 5, 6] i niedługo później radioterapii protonowej – radioterapia, a w szczególności radioterapia wiązką protonów stała się preferowaną metodą leczenia, ograniczając wskazania do enukleacji do przypadków wyjątkowo dużych guzów, naciekających poza gałkę oczną [3].

Wiązka protonowa w zastosowaniach terapeutycznych wykazuje szereg korzystnych właściwości: zależny od energii, ściśle określony zasięg protonów, szybki zanik wiązki na głębokościach w tkance przekraczających ten zasięg, zwiększoną w porównaniu z obszarem wlotowym depozycję energii (dawkę) w obszarze tzw. piku Bragga, umiarkowane rozpraszanie w tkance, czy możliwość formowania jednorodnego rozkładu dawki w obszarze tarczowym nawet z użyciem pojedynczej wiązki protonów poprzez wytworzenie tzw. poszerzonego piku Bragga. Radioterapia protonowa umożliwia uzyskanie wysokiej konformalności napromienienia obszaru tarczowego i oszczędzenie w znacznym stopniu otaczających guz tkanek zdrowych. W przypadku nowotworów okulistycznych wskazaniem dla radioterapii

protonowej są guzy znacznych rozmiarów oraz guzy położone w tylnym biegunie gałki ocznej – w pobliżu obszarów krytycznych - plamki żółtej i nerwu wzrokowego, gdzie zastosowanie brachyterapii może być utrudnione [3, 7].

2. Opis stanowiska radioterapii przy cyklotronie AIC-144

Stanowisko radioterapii protonowej nowotworów oka przy cyklotronie AIC-144 (Rys. 1) zostało zaprojektowane i w znacznym stopniu zbudowane w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN [8]. Wykorzystuje poziomą wiązkę protonów przyspieszonych do energii 60 MeV. Wiązka po ekstrakcji z komory przyspieszającej cyklotronu transportowana jest systemem jonowodów i kierowana na tarczę rozpraszającą w celu uzyskania jednorodnego rozkładu fluencji protonów. Następnie po przejściu przez układ kolimatorów wiązka wprowadzana jest na stanowisko terapii.



Rys. 1. Stanowisko radioterapii protonowej nowotworów oka przy cyklotronie AIC-144 - widok ogólny. Na pierwszym planie widoczny jest fotel terapeutyczny z założoną maską unieruchamiającą głowę pacjenta, obok - ława optyczna z uchwytem kolimatora końcowego i układem formowania wiązki. Widoczne są także zainstalowane cyfrowe rejestratory obrazu RTG oraz elementy osłon neutronowych. Po prawej stronie widoczny jest pomalowany na czerwono fragment końcowy traktu wiązki (jonowodu).

Na stanowisko radioterapii protonowej gałki ocznej składają się następujące układy:

- Układ formowania wiązki protonowej – zestaw urządzeń umieszczonych na ławie optycznej, za wylotem jonowodu traktu jonowego, w osi wiązki protonowej (Rys. 2). Zadaniem tego układu jest formowanie wiązki protonowej w projekcji osiowej (poprzez dobór zasięgu i modulacji wiązki) zgodnie z wymaganiami planu leczenia gałki ocznej pacjenta. W skład układu formowania wchodzi następujące urządzenia:

Dyskryminator zasięgu – napędzane silnikiem krokowym i wykonane z PMMA koło o zmiennym profilu grubości wraz z przeciwklinem. Dyskryminator zasięgu służy do regulacji maksymalnego zasięgu wiązki protonowej. Pozycja koła dyskryminatora kontrolowana jest z dokładnością odpowiadającą warstwie o wody grubości 0,01 mm.

Modulator zasięgu – urządzenie formujące głębokościowy rozkład dawki poprzez wytworzenie tzw. poszerzonego piku Bragga (ang. *Spread-out Bragg Peak, SOBP*) za pomocą wirującego w wiązce protonowej śmigła z PMMA. Dla spełnienia wymagań planu leczenia w zakresie głębokościowego rozkładu dawki konkretne śmigła (tj. o odpowiednim profilu grubości) dobierane jest z biblioteki liczącej kilkadziesiąt śmigieł. Do napędu śmigła wykorzystywany jest silnik elektryczny prądu stałego wraz z przekładnią pasową. Obrót śmigła kontrolowany jest za pomocą enkodera i czujnika indukcyjnego.



Rys. 2. Widok ławy optycznej z układami formowania i monitorowania wiązki. Od prawej: dyskryminator zasięgu, modulator zasięgu, przelotowe komory jonizacyjne.

- Układ monitorowania wiązki protonowej – jest to zestaw umieszczonych na ławie optycznej przelotowych komór jonizacyjnych i współpracujących z nimi elektrometrów, monitorujących natężenie (prąd) wiązki protonowej i jej ułożenie w przestrzeni (Rys. 2). W skład zestawu wchodzi osiem elektrometrów, komora przelotowa tzw. 6-segmentowa i dwie komory przelotowe PTW. Te ostatnie wraz ze współpracującymi z nimi elektrometrami stanowią dwa niezależne tory dozymetryczne.
- Uchwyt kolimatora końcowego – cylindryczny profil znajdujący się na końcu ławy optycznej (Rys. 4), na którym mocowane są kolimatory końcowe o wymaganej aperturze, a także indywidualne kolimatory pacjenta, formujące wiązkę w projekcji poprzecznej.
- Układ pozycjonowania pacjenta – zestaw urządzeń wykorzystywanych podczas ustawiania pacjenta w pozycji terapeutycznej, w której leczone oko przyjmuje pozycję zgodną z wymaganiami planu leczenia. Osiągnięcie pozycji terapeutycznej odbywa się w złożonym procesie pozycjonowania, który obejmuje odpowiednie ustawienie pacjenta i jego leczonego oka w przestrzeni, wykonanie zdjęć RTG weryfikujących pozycję oka względem pozycji terapeutycznej i ewentualną korektę położenia oka pacjenta. Pozycjonowanie ma charakter iteracyjny - pozycja pacjenta jest korygowana i weryfikowana do momentu osiągnięcia właściwej pozycji terapeutycznej. Pozycja ta jest monitorowana podczas napromieniania. W skład układu pozycjonowania wchodzi:

Fotel terapeutyczny produkcji firmy Schär Engineering AG/Ltd (Rys. 3). Fotel umożliwia unieruchomienie, a następnie przemieszczenie pacjenta poprzez ruch w osiach X, Y, Z, a także rotację wokół osi pionowej i pochylenie głowy pacjenta.

Zestaw dwóch aparatów RTG w układzie ortogonalnym, służący do weryfikacji pozycji pacjenta względem środka układu współrzędnych (izocentrum) stanowiska terapii (Rys. 3).

System cyfrowej rejestracji obrazu RTG składający się z dwóch rejestratorów obrazu RTG (tzw. *flat-panels*), umożliwiających szybką akwizycję obrazów RTG w projekcji osiowej i poprzecznej.

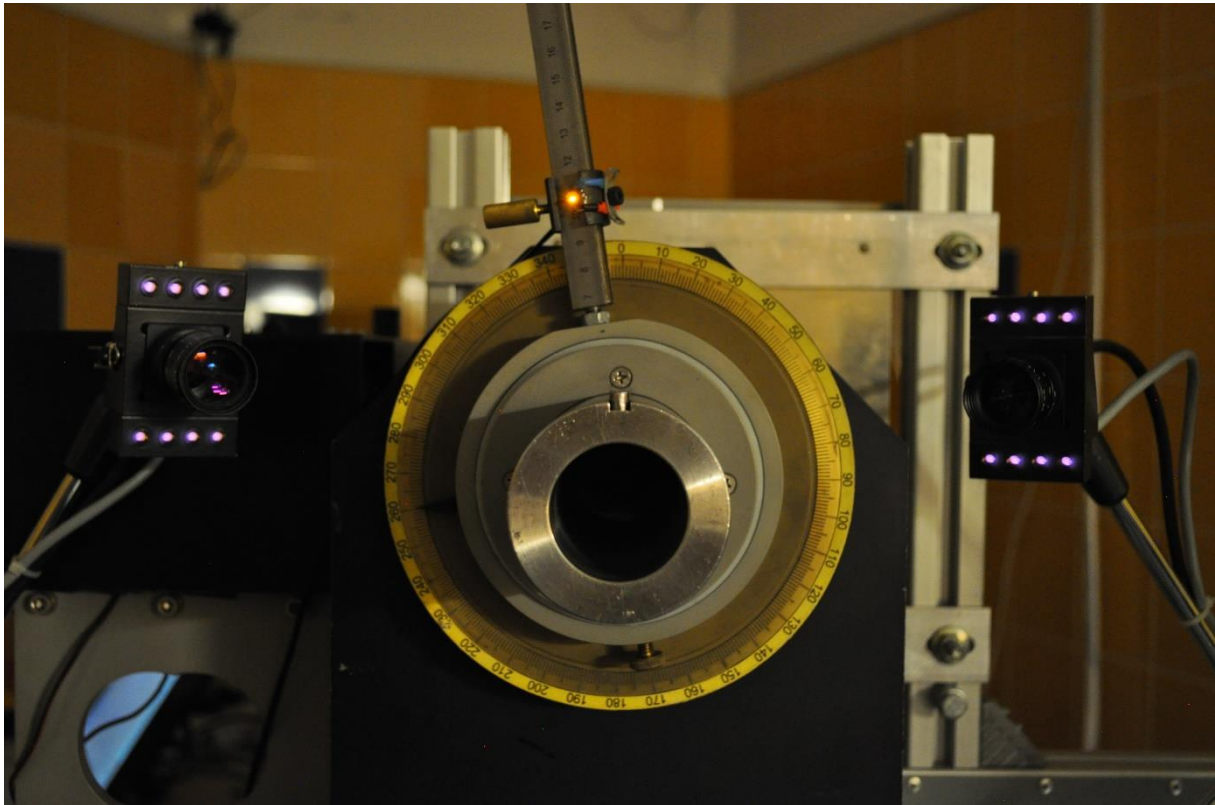
Układ pozycjonowania oka – ruchome ramię z suwakiem wyposażonym w świecąca diodę (Rys. 4). Jakkolwiek poddawany terapii pacjent ma unieruchomioną głowę, to pozostaje ruchomość (obrót) leczonej gałki ocznej. Aby ją ustawić w pozycji terapeutycznej pacjent

kieruje wzrok na diodę, wyznaczającą tzw. punkt fiksacji. Dokładna pozycja punktu fiksacji, w postaci wartości kątów - azymutalnego i polarnego obliczana jest przez system planowania leczenia indywidualnie dla każdego pacjenta poddawanego radioterapii.

Układ podglądu oka – zestaw kamer pozwalający na podgląd pozycji gałki ocznej i struktur ją otaczających oraz wykonanie ich obrysów, wspomagających ocenę czy oko pacjenta zachowuje odpowiednią pozycję w trakcie wykonywania zdjęć RTG i napromieniania (Rys. 4). Układ współpracuje z promiennikami podczerwieni, co umożliwia pracę kamer w warunkach zredukowanego oświetlenia.



Rys. 3. Elementy układu pozycjonowania pacjenta: fotel terapeutyczny (po lewej) oraz jeden z dwóch aparatów RTG (po prawej).



Rys. 4. Uchwyt kolimatora końcowego i układy pozycjonowania i podglądu oka. Widoczna zapalona żółta dłoń wskazuje punkt fiksacji, na który pacjent spogląda podczas napromieniania. Z obu stron widoczne są kamery wizyjne z włączonymi promiennikami podczerwieni, co umożliwia pracę w warunkach zredukowanego oświetlenia.

Obsługę stanowiska terapii zapewnia system sterowania zbudowany przez firmę Infotech Przemysłowe Technologie Informatyczne i Systemy Pomiarowe. Umożliwia on zdalną pracę z układami stanowiska terapii, rejestrację i prezentację danych pomiarowych oraz kontrolę prawidłowości pracy urządzeń.

3. Przebieg procedury radioterapii protonowej narządu wzroku

Realizacja procedury radioterapii jest procesem, w ramach którego współpracuje zespół lekarzy, fizyków, techników elektroradiologii i pielęgniarek. Nadzór nad radioterapią sprawuje lekarz specjalista w zakresie radioterapii onkologicznej. Po rozpoznaniu i kwalifikacji, pacjent przygotowywany jest do procedury radioterapii protonowej, przechodząc zabieg chirurgiczny, w trakcie którego na gałkę oczną wokół podstawy guza naszywane są niewielkie markery tantalowe. W odróżnieniu od guza są one widoczne na zdjęciach RTG, co pozwala w dalszych

etapach tej procedury lokalizować guz w obrazowaniu RTG. Pacjent poddawany jest też badaniom diagnostycznym w celu zebrania danych dla przygotowania planu leczenia. Obejmują one min. pomiar rozstawu i wielkości gałek ocznych – zdrowej i leczonej, lokalizację i pomiar wielkości guza, położenie markerów tantalowych względem podstawy guza i struktur anatomicznych oka. Badania wykonywane są z użyciem wielu technik śródoperacyjnych i obrazowych - przezroczystego obrazowania dna oka, badań ultrasonograficznych (USG), tomografii magnetycznego rezonansu jądrowego (MRI), optycznej tomografii koherentnej (OCT) i niekiedy tomografii komputerowej (CT).

W kolejnym etapie procedury, podczas wizyty pacjenta na stanowisku radioterapii wykonywane są indywidualne elementy unieruchamiające: maska i gryzak, które pozwalają na powtarzalne unieruchamianie Pacjenta. Wykonywany jest także zestaw zdjęć RTG leczonego oka – w połączeniu z danymi diagnostycznymi, ten zestaw danych jest podstawą do stworzenia w systemie planowania leczenia matematycznego modelu gałki ocznej pacjenta i znajdującego się w niej guza nowotworowego. W oparciu o wygenerowany przez system model oka i nowotworu, który zostaje zaakceptowany przez lekarzy specjalistów w dziedzinie okulistyki i radioterapii onkologicznej, przygotowywane są wariantowe plany leczenia. W procesie planowania leczenia wykorzystywany jest program Eclipse Ocular Proton Planning firmy Varian Medical Systems. Ocena sporządzonych planów opiera się min. na analizie histogramów dawki (DVH, DLH, DAH) dla guza oraz struktur takich jak: plamka żółta, tarcza nerwu wzrokowego, soczewka, ciało rzęskowe, siatkówka, objętość całej gałki ocznej. W obliczeniach rozkładu dawki wewnątrz gałki przyjmuje się średnią gęstość gałki ocznej wynoszącą $1,05 \text{ g/cm}^2$ oraz uwzględnia parametry wiązki protonowej (zasięg, profile lateralne, proksymalne i dystalne) oraz geometrię stanowiska radioterapii. Przy wyborze pozycji terapeutycznej oka brane są pod również pod uwagę uwarunkowania anatomiczne pacjenta (m. in. kształt i głębokość oczodołu) oraz zakres możliwości współpracy pacjenta przy kierowaniu jego leczonej gałki ocznej w pożądanym kierunku.

Po pozytywnym zaopiniowaniu planu leczenia, w trakcie kolejnej wizyty pacjenta na stanowisku radioterapii odbywa się z jego udziałem tzw. weryfikacja planu leczenia. Po unieruchomieniu pacjenta na fotelu terapeutycznym i skierowaniu przez niego wzroku na punkcie fiksacji, ustalana i weryfikowana jest jego pozycja terapeutyczna. Obserwowane jest ułożenie na leczonym oku wiązki świetlnej symulującej wiązkę protonową i dokonywane jest

odsunięcie (retrakcja) powiek poza obszar wiązki, co pozwala ostatecznie ustalić geometrię napromieniania, zapobiega mruganiu i chroni powiekę przed zbędnym napromienieniem. Na czas retrakcji powiek, leczone oko jest nawilżane zewnętrznie. Wykonywane są również pomiary położenia pola świetlnego względem zewnętrznych struktur oka i oceniany jest zakres tzw. cyklorotacji (obrotu gałki ocznej wokół osi podłużnej). System planowania leczenia generuje cyfrowe rekonstrukcje położenia markerów tantalowych (tzw. DRR) w projekcjach osiowej i poprzecznej, odpowiadające pozycji terapeutycznej oka. W procesie pozycjonowania pacjenta należy doprowadzić do zgodności położenia: markerów na zdjęciach RTG z ich zrekonstruowanymi obrazami.

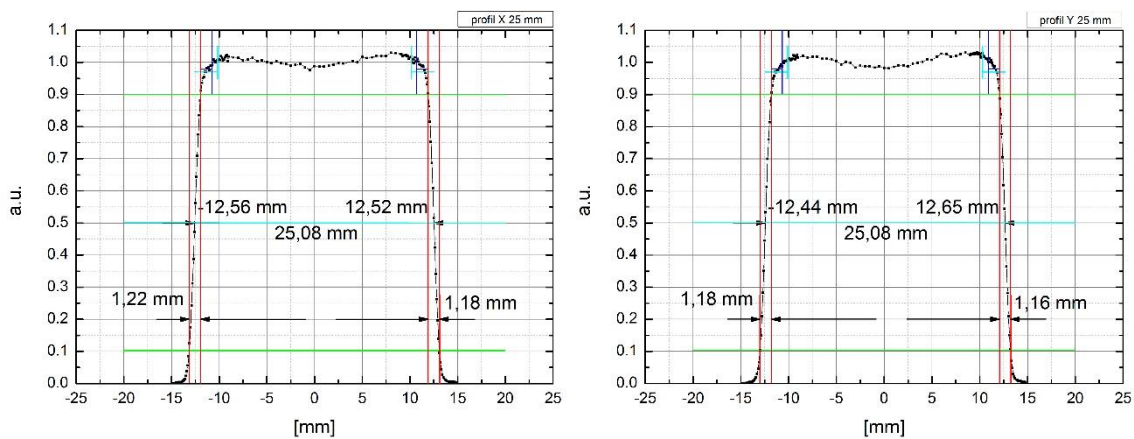
Dane zebrane w trakcie weryfikacji planu leczenia służą do przygotowania jego ostatecznej wersji, w której zdefiniowane są pozycje fotela i układu pozycjonowania oka (punktu fiksacji), wartości zasięgu i modulacji wiązki protonowej w wodzie oraz kształt apertury indywidualnego kolimatora pacjenta. Ostateczna wersja planu leczenia jest ponownie oceniana przez konsylium lekarzy i fizyków i po jej zaakceptowaniu i zatwierdzeniu planu do leczenia, plan ten jest realizowany.



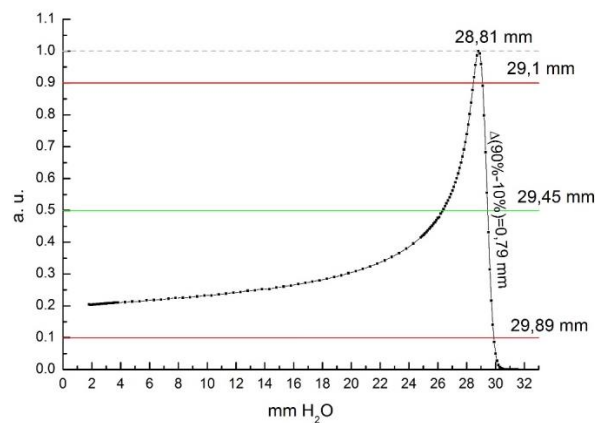
Rys. 5. Elementy formujące wiązkę protonową wykonywane lub dobierane indywidualnie dla pacjenta zgodnie z wymaganiami planu leczenia: indywidualny kolimator pacjenta (po lewej), śmigło modulatora zasięgu (po prawej).

W oparciu o wymagania zatwierdzonego planu leczenia wykonywany jest indywidualny kolimator pacjenta i dobierane jest odpowiednie śmigło modulatora zasięgu (Rys. 5). Stanowisko radioterapii jest sprawdzane i konfigurowane tak, aby uzyskać wiązkę protonową o odpowiednich parametrach. W ramach kontroli jakości dokonywana jest kontrola parametrów wiązki w konfiguracji referencyjnej. Wykonywane są pomiary poprzecznych

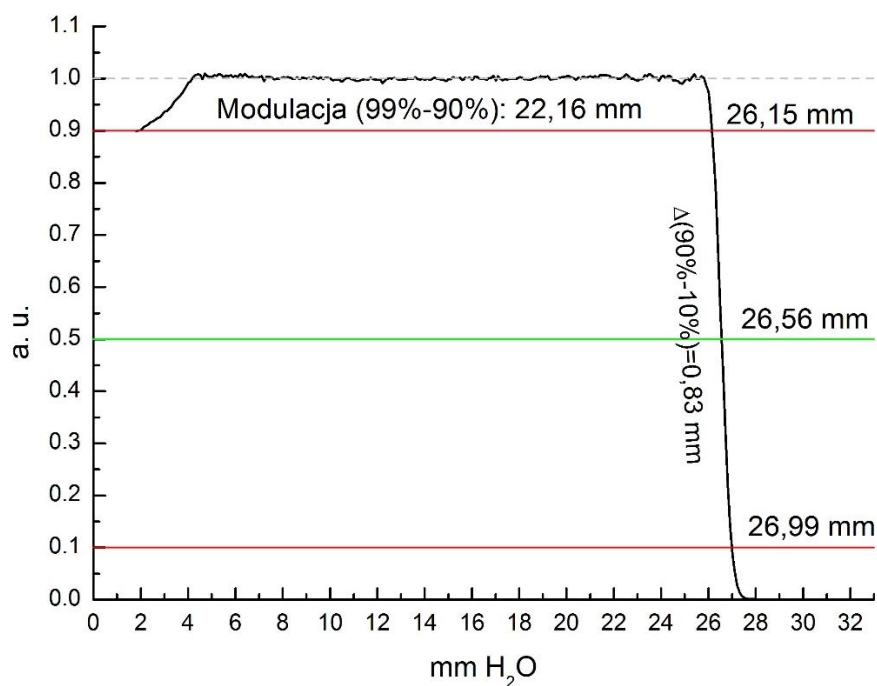
profilu wiązki w powietrzu dla kolimacji 25 mm (Rys. 6), głębokościowych rozkładów dawki w wodzie dla wiązki pierwotnej (Rys. 7) i dla wiązki o modulacji referencyjnej (pomiar piku Bragga i poszerzonego piku Bragga). Przeprowadzane są pomiary dozymetryczne w wodzie z wykorzystaniem dawkomierza referencyjnego (Rys.9), zgodnie z protokołem dozymetrycznym TRS 398 Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej [9]. Następnie, po konfiguracji stanowiska zgodnie z wymaganiami planu leczenia pacjenta, przeprowadzane są pomiary głębokościowego rozkładu dawki dla wiązki modulowanej (Rys. 8) i pomiary dozymetryczne z użyciem dawkomierza referencyjnego przy stanowisku skonfigurowanym tak, aby uzyskać dawkę frakcyjną 15 CGE (Cobalt Gray Equivalent).



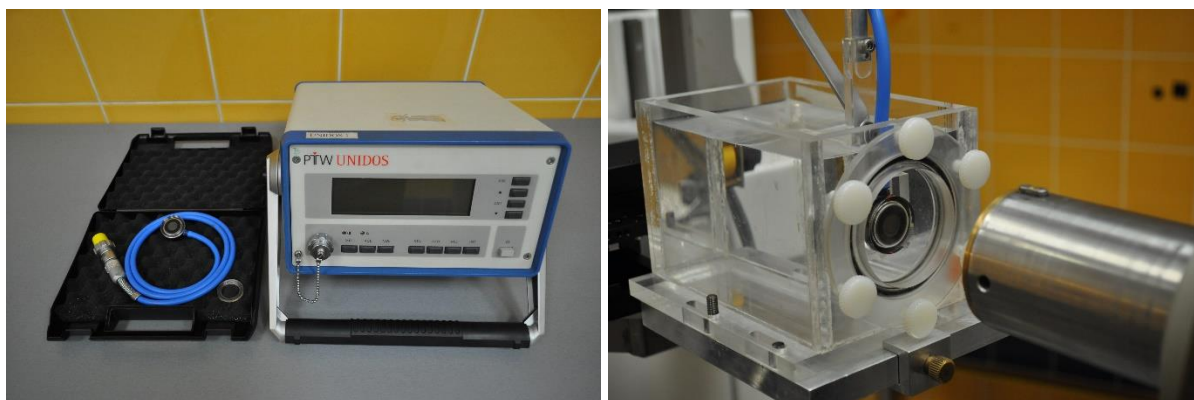
Rys. 6. Przykłady profili wiązki protonowej w powietrzu dla kolimacji 25 mm.



Rys. 7. Głębokościowy rozkład dawki w wodzie dla pierwotnej wiązki protonowej. Jako zasięg wiązki protonowej przyjmowana jest głębokość w wodzie odpowiadająca 90% (po stronie dystalnej rozkładu) maksymalnej wartości znormalizowanego rozkładu.



Rys. 8. Przykład głębokościowego rozkładu dawki w wodzie dla modulowanej wiązki protonowej o zasięgu 26,15 mm i modulacji 22,16 mm (wielkości określone dla równoważnych odległości w wodzie).



Rys. 9. Dawkomierz referencyjny: elektrometr UNIDOS i płasko-równoległa komora jonizacyjna Markusa (po lewej). Komora Markusa spozycjonowana w fantomie wodnym dla pomiaru głębokościowego rozkładu dawki (po prawej).

Podanie dawki terapeutycznej odbywa się ciągu czterech kolejnych dni tzw. „tygodnia terapii”. Każdego dnia w ramach procedury kontroli jakości stanowisko terapii jest sprawdzane i przygotowywane wraz z wiązką protonową zgodnie z wymaganiami planu leczenia pacjenta.

Pacjent po przybyciu na stanowisko terapii jest unieruchamiany i pozycjonowany, a następnie po osiągnięciu pozycji terapeutycznej podawana jest dawka frakcyjna 15 CGE. Łączna dawka podana w przeciągu 4 dni wynosi 60 CGE. Po zakończeniu cyklu radioterapii pacjent udaje się do domu, przechodząc okresowe wizyty kontrolne w Klinice Okulistyki i Onkologii Okulistycznej Szpitala Uniwersyteckiego. Łączny czas realizacji procedury radioterapii protonowej nowotworów oka, od momentu naszyca markerów tantalowych do podania całkowitej dawki terapeutycznej wynosi od 3 do 4 tygodni.

4. Podsumowanie

Po 40 latach od pierwszego zastosowania radioterapii protonowej w leczeniu nowotworów narządu wzroku, pacjenci ze schorzeniami nowotworowymi gałki ocznej stanowią najliczniejszą grupę (ponad 20 tys. osób) spośród osób poddanych radioterapii protonowej [10]. Uzyskane na podstawie obserwacji tak licznej grupy statystyki wskazują, że zastosowanie radioterapii protonowej umożliwia uzyskanie wysokiego prawdopodobieństwa lokalnej kontroli guza (ponad 90%) jak również wysokiej długoterminowej przeżywalności pacjentów, zależnej jednak od braku występowania odległych przerzutów [3]. Zastosowanie radioterapii protonowej często sprzyja zachowaniu leczonego oka i utrzymaniu jego użytecznej funkcji, zależy to jednak istotnie od wielkości i lokalizacji nowotworu [3]. Wstępne wyniki kontroli niemal 100 pacjentów leczonych w Krakowie metodą radioterapii protonowej potwierdzają wysoką skuteczność tej metody leczenia [11].

Radioterapia protonowa i brachyterapia to skuteczne metody leczenia nowotworów narządu wzroku. Ta pierwsza – w niektórych aspektach przewyższająca brachyterapię – jest dostępna w nielicznych ośrodkach na świecie ze względu na konieczność posiadania skomplikowanej instalacji jaką jest akcelerator protonów i stanowisko radioterapii umożliwiające uzyskanie wysokiej precyzji napromieniania. Wdrożenie w Polsce radioterapii protonowej jest znaczącym osiągnięciem współpracujących ze sobą zespołów lekarzy i fizyków - polskich i zagranicznych.

5. Bibliografia

- [1] Gragoudas E.S., Goitein M., Koehler A.M., et al. "Proton irradiation of small choroidal malignant melanomas", *American Journal of Ophthalmology*, 1977;83:665–673.
- [2] Romanowska-Dixon B., Kubicka-Trzaska A. „Leczenie czerniaka naczyniówki, wykorzystanie fototrombozy indukowanej zielenią indocyjaninową”, *Przegląd Okulistyczny* 2008, nr 2 (22), s. 1-2.
- [3] Gragoudas E.S "Proton Beam Irradiation of Uveal Melanomas: The First 30 Years. The Weisenfeld Lecture", *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, November 2006, Vol. 47, No. 11 *Science*, November 2006, Vol. 47, No. 11
- [4] Stallard H. "Radiotherapy for malignant melanoma of the choroid". *Br J Ophthalmol*. 1966; 50: 147–155.
- [5]. Kleineidam M., Guthoff R., Bentzen SM. "Rates of local control, metastasis, and overall survival in patients with posterior uveal melanomas treated with ruthenium-106 plaques". *Radiother Oncol*. 1993;28: 148–156.
- [6] Packer S., Rotman M., Salanitro P. "Iodine-125 irradiation of choroidal melanoma: clinical experience". *Ophthalmology*. 1984;91: 1700–1708.
- [7] Sas-Korczyńska B., Markiewicz A., Romanowska-Dixon B., Pluta E. "Preliminary results of proton radiotherapy for choroidal melanoma – the Kraków experience", *Contemp Oncol* 2014; 18 (5): DOI: 10.5114/wo.2014.42233
- [8] Swakoń J., Olko P., Adamczyk D., Cywicka-Jakiel T., Dąbrowska J., Dulny B., Grzanka L., Horwacik T., Kajdrowicz T., Michalec B., Nowak T., Ptaszkiewicz M., Sowa U., Stolarczyk L., Waligórski M.P.R., "Facility for proton radiotherapy of eye cancer at IFJ PAN in Krakow", *Radiat. Meas.*, 45 (2010) 1469;
- [9] *Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy, an International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water*, Technical Report Series No. 398 International Atomic Energy Agency, Vienna, 2000.
- [10] www.ptcog.ch
- [11] Romanowska-Dixon B., Seminarium "Terapia protonowa oka w Krakowie" Podsumowanie czterech lat terapii protonowej czerniaka gałki ocznej, Kraków, IFJ PAN 23 kwietnia 2015 r.