



Radioterapia protonowa, cz. 5: Pozycjonowanie pacjenta w radioterapii protonowej nowotworów zlokalizowanych poza narządem wzroku

Proton radiotherapy, part 5:
Positioning of the patient in proton radiotherapy of
tumors located outside the organ of vision

Tomasz Mikołajski, Weronika Dziechciarz, Marzena Rydygier, Monika Radolińska, Renata Kopeć

Institut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk w Krakowie, ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków

Streszczenie

Abstract

Radioterapia protonowa, dostępna w Polsce od 2011 roku, wymaga szczególnie dokładnego pozycjonowania pacjenta ze względu na fizykę wiązki protonowej. Unieruchomienia stosowane dla pacjentów, napromienianych z powodu nowotworów zlokalizowanych w okolicy mózgowia czy też głowy/szyi, nie odbiegają znacząco od unieruchomień stosowanych w nowoczesnych metodach radioterapii fotonowej. Jednakże wykorzystywane zestawy unieruchomień indywidualnych muszą zapewnić jak najwierniejsze codzienne odtworzenie pozycji terapeutycznej pacjenta, aby przeprowadzane napromienianie mogło być jak najbardziej konformalne. Szereg czynności – od wykonania unieruchomienia, poprzez obrazowanie i weryfikację pozycji pacjenta – ma finalnie na celu zapewnienie jak najmniejszej toksyczności leczenia przy zachowanej jego radykalności. W niniejszym artykule przedstawiono elementy składające się na indywidualny zestaw unieruchomień pacjenta oraz przybliżono procedury obrazowania i weryfikacji pozycji pacjenta, z uwzględnieniem różnic między radioterapią protonową a konwencjonalną radioterapią fotonową.

Słowa kluczowe: radioterapia protonowa, planowanie leczenia, pozycjonowanie pacjenta, system weryfikacji pozycji pacjenta, unieruchomienia

Proton beam therapy has been available in Poland since 2011. Patients with brain tumors or head and neck tumors are immobilized in a very similar way to the patients undergoing photon radiotherapy. However, the individual immobilization sets used must ensure that the patient's therapeutic position is reproduced as closely as possible on a daily basis, so that the irradiation can be as conformal as possible. Each activity, from immobilization, through imaging and verification of the patient's position, is aimed at ensuring the minimum toxicity of treatment while maintaining its radicality. This article presents the components of an individual patient immobilization set, introduces imaging and patient position verification procedures, and presents the differences between proton radiotherapy and conventional photon radiotherapy.

Key words: proton radiotherapy, treatment planning, patient positioning, patient positioning verification system, immobilization

otrzymano / received:

20.10.2022

poprawiono / corrected:

28.10.2022

zaakceptowano / accepted:

07.11.2022



Radioterapia protonowa nowotworów zlokalizowanych poza narządem wzroku

Terapia protonowa dostępna jest w Polsce od 2011 roku, kiedy w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN (IFJ PAN) rozpoczęto napromienianie zmian nowotworowych narządu wzroku z wykorzystaniem izochronicznego cyklotronu AIC-144, produkującego wiązkę protonów o energii 60 MeV. Było to możliwe dzięki współpracy zespołów lekarzy, fizyków i elektroradiologów ze Szpitala Uniwersyteckiego w Krakowie i Instytutu Fizyki Jądrowej PAN. W 2015 roku w Centrum Cyklotronowym Bronowice IFJ PAN w Krakowie do pracy klinicznej został oddany cyklotron izochroniczny C-230 belgijskiej firmy IBA, który pozwala na dostarczenie wiązki protonowej o energii z zakresu 70-230 MeV. Dzięki temu od 2016 roku możliwa jest terapia na nowym stanowisku do terapii protonowej gałki ocznej oraz na dwóch stanowiskach do napromieniania zmian nowotworowych zlokalizowanych poza narządem wzroku. Ośrodek został wyposażony w dwa stanowiska Gantry wykorzystujące wiązkę skanującą (producent IBA) oraz w tomograf komputerowy Siemens. System unieruchomienia pacjenta został dostarczony przez firmę QFix, w skład którego wchodzi elementy, takie jak maski termoplastyczne, podgłówki indywidualne, dodatkowe akcesoria unieruchamiające oraz system blatów terapeutycznych z wymiennymi nakładkami [1].

Do terapii protonowej, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z 6 czerwca 2016 roku (Dziennik Ustaw poz. 855), są kwalifikowane nowotwory:

- podstawy czaszki i okolicy okołordzeniowej wieku dorosłego, takie jak chrzestniakomięsak i struniak (stan po niedoszczętnym leczeniu operacyjnym lub brak możliwości leczenia operacyjnego guza pierwotnego lub wznowy);
- mięsaki tkanek miękkich i kości wieku dziecięcego (przypadki o lokalizacji okołoponowej i podstawy czaszki);
- nowotwory wieku dziecięcego wymagające napromieniania osi mózgowo-rdzeniowej, takie jak nowotwory zarodkowe (tj. szyszniak zarodkowy, rdzeniak płodowy, rak splotu naczyniówkowego, złośliwy wyściółczak z udokumentowanym rozsiewem do płynu mózgowo-rdzeniowego);
- nowotwory zatok obocznych nosa, tj.: czerniak złośliwy, nerwiak węchowy zarodkowy, rak gruczołowo-torbielowy, rak śluzowo-naskórkowy, rak niezróżnicowany (stan po niedoszczętnym leczeniu operacyjnym lub brak możliwości leczenia operacyjnego guza pierwotnego lub wznowy);
- glejaki wysokorzędnicowane (WHO G1 i G2) – przypadki, które wymagają napromieniania o przewidywanej wyraźnej korzyści oszczędzenia narządów krytycznych [2].

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z 9 stycznia 2019 roku (Dziennik Ustaw poz. 77) do wskazań do terapii protonowej dodatkowo kwalifikują się nowotwory wieku dorosłego o lokalizacji okołoponowej, podstawy czaszki i okolicy przykręgosłupowej, tj.: mięsaki tkanek miękkich i kości; nowotwory wieku dziecięcego podstawy czaszki i okolicy okołordzeniowej pod postacią chrzestniakomięsaka lub struniaka; raka

gruczołowo-torbielowatego gruczołów ślinowych, który wymaga napromieniania okolicy podstawy czaszki, tj. stan po leczeniu operacyjnym oraz brak możliwości leczenia operacyjnego guza pierwotnego lub wznowy; nawrót miejscowy nowotworów obszaru głowy i szyi po radykalnej radioterapii wymagający ponownego napromieniania z intencją radykalną [3].

Od początku działania CCB do dnia publikacji niniejszego tekstu radioterapię z wykorzystaniem wiązki protonowej przeszło ponad 700 pacjentów z nowotworami poza narządem wzroku. Głównie byli to pacjenci z nowotworami mózgowia oraz podstawy czaszki.

Procedura przygotowania unieruchomienia oraz obrazowania, cykl weryfikacji obrazowej i napromieniania pacjenta

Pierwszym etapem procesu planowania terapii protonowej jest wykonanie precyzyjnego unieruchomienia. Elektroradiolog wykonuje odpowiednie unieruchomienie na podstawie uzyskanych informacji od lekarza prowadzącego, w szczególności o: obszarze anatomicznym, który będzie leczony, rozpoznaniu wiodącym oraz dodatkowych spersonalizowanych informacji na temat chorego, tj.: niepełnosprawnościach, klaustrofobii, trudnościach z oddychaniem, elementach wyjmowanych bądź zdejmowanych (wszelkiego rodzaju protezy) czy też świeżych ranach na ciele pacjenta [4].

Przygotowanie unieruchomienia

W przypadku standardowego unieruchomienia do napromieniania zmian zlokalizowanych w okolicy głowy i szyi unieruchomienie wykonuje się w pozycji leżącej na plecach. System unieruchomienia pacjenta, składający się z dedykowanego blatu terapeutycznego z wymiennymi nakładkami (ang. *Insert*), jest instalowany na każdym stanowisku w Centrum Cyklotronowym Bronowice (tj. modelarnia, tomograf komputerowy oraz aparat terapeutyczny), co daje możliwość ułożenia pacjenta w identyczny sposób na każdym z w/w stanowisk [5]. Pacjentów z lokalizacją nowotworu w okolicach głowy i szyi (ang. *Head and Neck*, H&N) zwykle unieruchamia się na blacie typu BoS (ang. *Base of Skull*) lub Portrait. Nakładki wykonane są z włókna węglowego. Dobierane są w zależności od przewidywanej geometrii pól:

- nakładka typu BoS daje szeroki dostęp roboczy, czyli możliwe jest zaplanowanie bocznych czy skośnych wiązek na głowę i szyję;
- nakładka typu Portrait ze względu na swoją jednorodną budowę umożliwia realizację leczenia wiązkami z kierunku PA (ang. *Posterior-anterior*);
- nakładka typu Standard wykorzystywana jest zwykle, gdy zachodzi konieczność wykorzystania dodatkowych urządzeń stabilizujących (unieruchomienie rąk nad głowę pacjenta) bądź innych elementów indeksowanych względem insertu, ale nie ma konieczności unieruchamiania głowy [6].



Ryc. 1 Nakładki na blaty terapeutyczne – od lewej insert Portrait, BoS i Standard
Źródło: Opracowanie własne.

Ręce pacjenta układa się zwykle wzdłuż ciała lub na klatce piersiowej, zaś nogi na spersonalizowanym ustawieniu, w przypadku CCB – na nakładce CombiFix [7]. Combifix jest to akcesorium pozwalające na stabilizowanie miednicy i kończyn dolnych, w skład którego wchodzi trzy elementy: płyta podstawowa, 3 bazy Kneefix oraz Feetfix (do ustabilizowania kolan i stóp) [7]. Po dobraniu odpowiedniego ułożenia dla pacjenta wykonuje się indywidualny podglówek pozwalający na stabilizację i podtrzymanie głowy oraz odcinka szyjnego kręgosłupa. Podglówek jest odpowiednio modelowany, a następnie jego kształt jest utrwalany z wykorzystaniem spryskiwacza z wodą, gdyż materiał, z którego jest wykonany, tężeje pod wpływem wody i zachowuje żądany, zamodelowany kształt. Kolejnym elementem unieruchomienia pacjenta jest maska termoplastyczna nakładana na twarz pacjenta, zapobiegająca mimowolnym ruchom głowy w trakcie napromieniania. Maska termoplastyczna jest rozgrzewana w łaźni wodnej z gorącą wodą. Kiedy maska jest elastyczna, informuje się pacjenta, że będzie miał nałożoną ciepłą i mokrą masę na okolice głowy i szyi. Zazwyczaj wykorzystuje się maski 5- lub 9-punktowe, ich dobór podyktowany jest lokalizacją oraz wielkością obszaru napromienianego. Dodatkowo jeśli zmiana zlokalizowana jest w okolicy twarzoczaszki, ważne



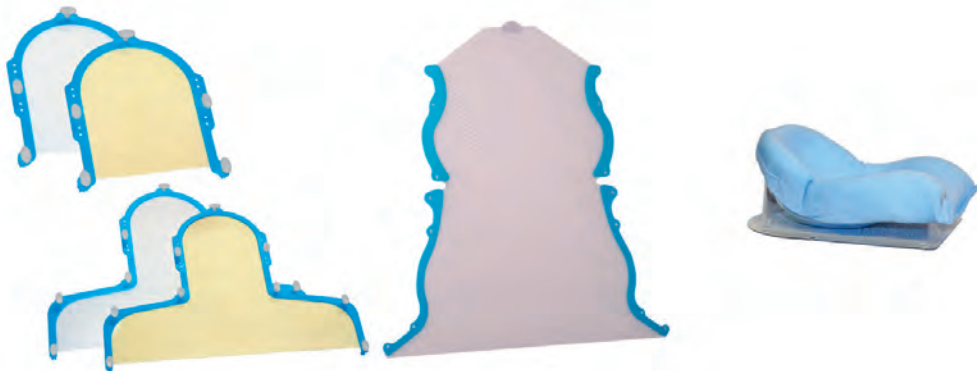
Ryc. 3 Przykładowy zestaw unieruchomień pacjenta napromienianego z powodu nowotworu okolicy mózgowia
Źródło: Opracowanie własne.

jest unieruchomienie narządu żucia, do czego wykonuje się specjalistyczne gryzaki [6].

W trakcie przygotowania unieruchomienia dla każdej lokalizacji istotne jest ułożenie pacjenta symetrycznie wzdłuż linii lasera, co znacznie ułatwia odtwarzalne ułożenie pacjenta na stanowisku napromieniania oraz skanowania. Oczywiście u osób z pewnymi niepełnosprawnościami taka pozycja może wiązać się z różnymi wymuszeniami dla pacjenta, co skutkuje tym, że ułożenie to nie będzie powtarzalne. W takich przypadkach znajduje się taką pozycję, która będzie najbardziej komfortowa dla pacjenta i stosunkowo łatwa do odtworzenia. Jest to bardzo istotne ze względu na fakt, że pacjent w trakcie sesji terapeutycznej musi w bezruchu leżeć czasem nawet do 40 minut.

Unieruchomienie pacjenta, jak już wcześniej wspomniano, jest pierwszym bardzo istotnym elementem przygotowania do radioterapii. Poprawnie wykonane unieruchomienie umożliwia precyzyjne odtworzenie pozycji terapeutycznej. Pozwala to na ułożenie pacjenta w pozycji, w której zostało wykonane skanowanie tomograficzne na potrzeby planowania leczenia. Wpływa to na powtarzalne rozmieszczenie struktur anatomicznych, w tym obszaru tarczowego oraz narządów krytycznych, które należy chronić przed niepożądaną dawką.

Poprawnie wykonane unieruchomienie wpływa również na zmniejszenie ruchomości interfrakcjonalnej oraz intrafrakcjonalnej. Ruchomość intrafrakcjonalna jest rozumiana jako



Ryc. 2 Maski termoplastyczne oraz podglówek indywidualny stosowane w protonoterapii
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [6].

ruchomości pacjenta w trakcie trwania pojedynczego seansu terapeutycznego. Unieruchomienie ma za zadanie utrzymanie ustawienia pacjenta w wartościach tolerancji przewidzianej dla danego obszaru napromienianego. Ruchomość interfrakcyjna obserwowana jest jako niedokładność ułożenia pacjenta między kolejnymi frakcjami. Unieruchomienie zapewnia powtarzalne ułożenia pacjenta z seansu na seans, co daje możliwość skorygowania pozycji pacjenta przed rozpoczęciem obrazowania, co z kolei prowadzi do zmniejszenia ilości korekt pozycji w trakcie trwania seansu oraz zminimalizowania dawki od obrazowania weryfikacyjnego. Należy podkreślić, że zachowanie restrykcyjnych wartości tolerancji w zakresie pozycjonowania pacjenta w trakcie terapii protonowej wymaga odpowiednio przygotowanego zestawu unieruchomień pacjenta najwyższej klasy, a także wykwalifikowanego zespołu techników elektroradiologów.

Pełne unieruchomienie, które zostało stworzone w modelarni, jest akceptowane przez lekarza nadzorującego terapię i zostaje zapisane przez elektroradiologa w formularzu unieruchomienia pacjenta w wersji papierowej oraz/lub elektronicznej [8, 9].

Weryfikacja obrazowa

Po wykonaniu unieruchomienia pacjent jest kierowany na stanowisko tomografii komputerowej (TK), na której wykonywany jest skan służący do kalkulacji planu leczenia. Akwizycja odbywa się w pozycji terapeutycznej, czyli z zastosowanymi indywidualnymi akcesoriami unieruchamiającymi. Skan TK do planowania leczenia musi wiernie odwzorowywać gęstości elektronowe tkanek, aby system mógł poprawnie obliczyć energię wiązek terapeutycznych. Obrazowanie wykonuje się bez użycia środków kontrastowych. Aby nie zakłócić gęstości elektronowych i poprawnie określić gęstości tkanek na podstawie jednostek Hounsfielda (ang. *Hounsfield Unit*, HU), wykorzystuje się tzw. krzywe

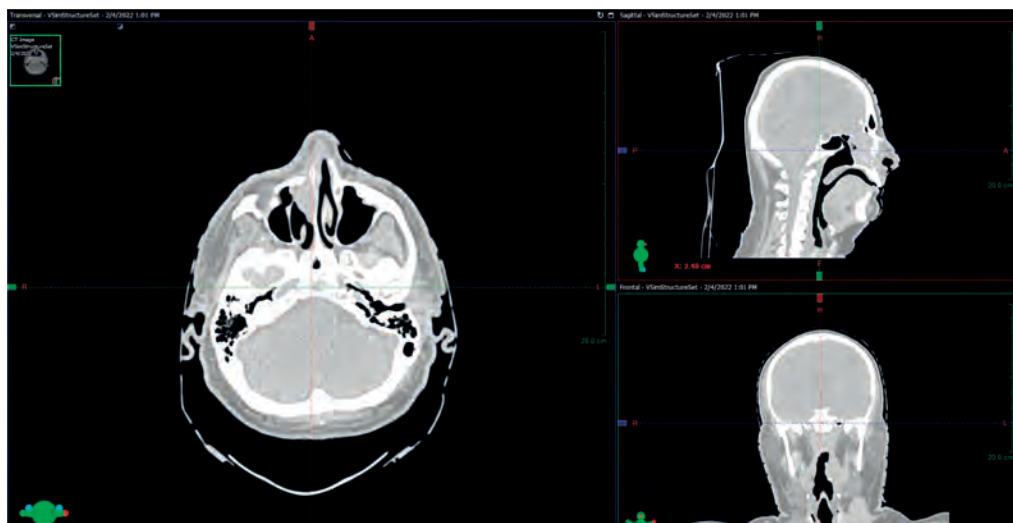
kalibracji. Wspomniane krzywe kalibracji tworzy się na podstawie pomiarów HU materiałów o znanej gęstości. W tym celu skanuje się specjalne fantomy z wkładkami, które odzwierciedlają fizyczną gęstość tkanek człowieka, takich jak kość, tkanka płucna, tkanka mózgowa itp. Na podstawie wielu skanów wyznaczana jest średnia wartość HU dla danej gęstości elektronowej, która jest potem wykorzystywana w kalkulacji dawki przez system planowania leczenia. W obu standardowych protokołach skanowania stosuje się modulację prądu lampy rentgenowskiej w celu obniżenia dawki dla pacjenta. Natomiast nie można stosować modulacji napięcia lampy rentgenowskiej ze względu na zmieniające się widmo promieniowania. W przypadku skanowania pacjentów, którym wszczepiono elementy metalowe (stabilizatory, implanty), należy zastosować jeden z protokołów skanowania z możliwością tłumienia artefaktów będących efektem zjawiska tzw. utwardzania wiązki promieniowania X, np. IMAR (ang. *Iterative Metallic Artifact Reduction*) [9, 10].

Tabela 1 Parametry skanu CT dla regionu głowy i szyi

| Protokół | Wartości |
|------------------------|----------------|
| Napięcie [kV] | 120 |
| Czas rotacji | 1 |
| Grubość warstwy | 1,5 |
| Inkrementacja | 1,2 |
| Kolimacja | 64 × 0,6 mm |
| Pitch factor | 0,55 |
| FoV [mm] | 350/650 |
| Kernel rekonstrukcyjny | B30 |
| Okna rekonstrukcyjne | miękkotkankowe |

Źródło: Opracowanie własne.

Po wykonaniu skanu TK uzyskane obrazy wysyłane są do stacji MMWP (ang. *Multimodality Workplace*), gdzie wykonuje się wirtualny plan, który przygotowujemy na potrzeby znakowania punktu referencyjnego. Punkt ten jest przenoszony na maskę lub ciało pacjenta przy użyciu systemu ruchomych centratorów



Ryc. 4 Przykładowe przekroje tomograficzne do planowania leczenia pacjenta napromienianego z powodu nowotworu okolicy podstawy czaszki
Źródło: Opracowanie własne.



laserowych zamontowanych w bunkrze tomografu komputerowego. Pozycja punktu referencyjnego nie musi odwzorowywać dokładnego położenia guza nowotworowego – nie jest to wymagane na tym etapie planowania leczenia. Należy zadbać, aby punkt był zaznaczony w miejscu, które nie zmienia swojej pozycji z frakcji na frakcję, np. można go zaznaczyć na masce termoplastycznej lub na skórze pacjenta, gdzie nie ma zbyt dużo podskórnej warstwy tkanki tłuszczowej – w takim przypadku może dochodzić do przesuwania się skóry ze znacznikiem względem nieruchomych, głębszych warstw tkanek.

Po zarejestrowaniu odpowiedniego skanu pacjenta przygotowywany jest dla niego optymalny plan leczenia, uwzględniający odpowiednie kąty napromieniania, energię wiązki, intensywność poszczególnych wiązek oraz dawki wyznaczone w systemie planowania leczenia, które będą zaabsorbowane w trakcie terapii przez narządy krytyczne [11]. Po akceptacji przez lekarza przygotowanego planu leczenia, dokonuje się weryfikacji dozymetrycznej na stanowisku napromieniania. Po pomyślnej weryfikacji dozymetrycznej pacjent może być napromieniany.

Dzienne napromienianie

Cykl dziennych napromieniowań pacjenta poprzedza resymulacja, która jest kolejnym etapem procedury protonoterapii, zaraz po weryfikacji dozymetrycznej planu na aparacie terapeutycznym oraz po akceptacji planu leczenia przez fizyka planującego i lekarza prowadzącego. W trakcie resymulacji pacjent zostaje zaznajomiony ze stanowiskiem do napromieniania, a następnie sprawdzana jest geometria planu terapeutycznego, która polega na weryfikacji pozycji pacjenta z wykorzystaniem zdjęć rentgenowskich w polach terapeutycznych określonych w planie leczenia [4]. Resymulacja ma na celu sprawdzenie geometrii planu leczenia pod kątem ewentualnych kolizji, jakie mogą zachodzić między elementami unieruchomienia lub pacjentem

a elementami stanowiska terapeutycznego, takimi jak głowica czy rejestratory promieniowania rentgenowskiego. Dodatkowo pozwala układającym pacjenta elektroradiologom zaobserwować, w jaki sposób ułożyć pacjenta w pozycji terapeutycznej. W momencie wykonywania zdjęć weryfikacyjnych w polach terapeutycznych zwykle dochodzi do rozprojektowania się struktur anatomicznych, które mogą się nakładać na siebie w polu przeznaczonym do pozycjonowania pacjenta.

Cykl radioterapii standardowo składa się z 25-42 frakcji (ich ilość zależy od lokalizacji i typu leczonego nowotworu). Kolejne frakcje podawane są codziennie, od poniedziałku do piątku. W CCB IFJ PAN napromienianie odbywa się na jednym z dwóch stanowisk Gantry. Na stanowisku Gantry pacjent jest układany w pozycji terapeutycznej na blacie przymocowanym do ramienia robotycznego, pozwalającego na ruch w sześciu stopniach swobody (6DoF – ang. *six degrees of freedom*). Taki system do pozycjonowania pacjenta (ang. *Patient Positioning System, PPS*) pozwala na precyzyjniejsze ustawienie pacjenta w żądanej pozycji, wykorzystując dodatkowo osie rotacyjne.



Ryc. 6 Schemat przedstawiający dostępne osie korekty pacjenta w systemie 6DoF
Źródło: [13].



Ryc. 5 Stanowisko Gantry
Źródło: Opracowanie własne.

Po unieruchomieniu pacjenta PPS przejeżdża do pozycji startowej, tzw. pozycji „SETUP”. Następnie wykonywana jest weryfikacja obrazowa. Sprawdzenie pozycji pacjenta odbywa się z użyciem dwuosiowego, ortogonalnego, dwuźródłowego systemu kilowoltowego. Orientacyjne wartości warunków ekspozycji są zawarte w tabeli 2.

Tabela 2 Orientacyjne warunki ekspozycji ortowoltowego systemu rentgenowskiego służącego do pozycjonowania pacjenta na stanowisku Gantry.

| Lokalizacja | Napięcie [kV] | Prąd [mA] | Czas [ms] | mAs | Tryb ekspozycji |
|------------------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|
| Głowa/szyja | A: 75 B: 85 | A: 250 B: 320 | A: 100 B: 200 | A: 25 B: 64 | Jednoczesna |
| Kregostup piersiowy | A: 110 B: 125 | A: 250 B: 320 | A: 200 B: 200 | A: 50 B: 64 | Pojedyncza |
| Kregostup lędźwiowo-krzyżowy | A: 120 B: 125 | A: 320 B: 400 | A: 200 B: 200 | A: 64 B: 80 | Pojedyncza |

Źródło: Opracowanie własne.

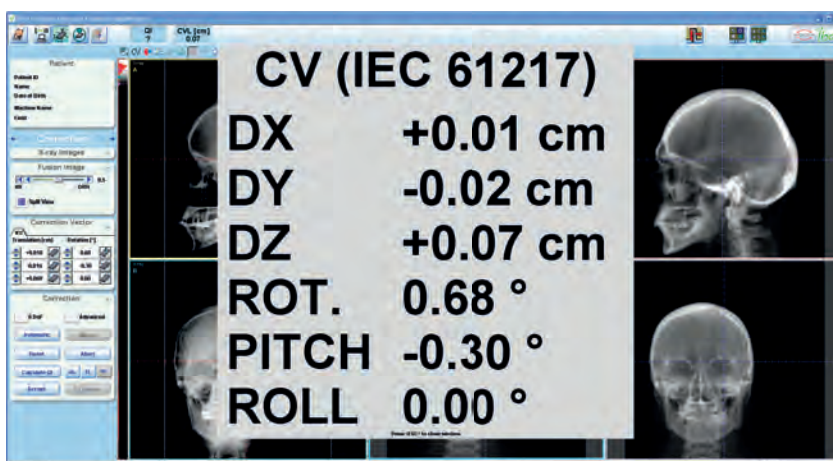
W większości przypadków rozbieżności w położeniu niweluje się przez przesunięcie o wektor wyznaczony w systemie PPS. W wyjątkowych sytuacjach stosuje się dodatkową manualną

korekcję pozycji pacjenta. Pacjent jest pozycjonowany z określoną dokładnością od 1 do 3 mm (w zależności od lokalizacji zmiany nowotworowej) oraz do 1 stopnia rotacji. Po zaakceptowaniu przez lekarza pozycji pacjenta przechodzi się do napromieniania. Weryfikację obrazową w polu typu SETUP wykonuje się codziennie przed napromienianiem, podobnie jak w większości protokołów radioterapii fotonowej. Wynika to z faktu, że zastosowanie nieradiograficznych metod pozycjonowania pacjenta, takich jak ustawienie się w izocentrum przy pomocy centratorów laserowych lub z wykorzystaniem optycznego systemu pozycjonowania, może nie być wystarczająco dokładne, aby z odpowiednią precyzją odtworzyć pozycję terapeutyczną. Pole typu SETUP nie ma przypisanej dawki terapeutycznej i służy wyłącznie do korekty pozycji pacjenta – zwykle jest ono realizowane z kątów, które pokrywają się z osiami translacji stołu terapeutycznego – czyli z kątów 0, 90, 180 oraz 270 stopni. Weryfikację obrazową w polach terapeutycznych (z przypisaną dawką terapeutyczną wyrażoną w jednostkach monitorowych – ang. *Monitor Units* – MU) wykonuje się w trakcie resymulacji oraz



Ryc. 7 Okno systemu weryfikacji pozycji pacjenta – od lewej: kilowoltowe zdjęcie rentgenowskie, okno fuzyjne, radiogram stworzony na podstawie skanu CT do planowania leczenia

Źródło: Opracowanie własne.



Ryc. 8 Uzyskany ostateczny wektor korekty pozycji pacjenta

Źródło: Opracowanie własne.



przez 3 następną frakcję. W przypadku, gdy w trakcie weryfikacji obrazowej między polami zaobserwuje się przesunięcie powyżej zakresu tolerancji, weryfikacja obrazowa zostaje wydłużona na kolejne frakcje. W indywidualnych przypadkach weryfikacja obrazowa w polach terapeutycznych może zostać przedłużona decyzją lekarza prowadzącego. Zasada obrazowania w trzech następujących po sobie frakcjach ma na celu obserwację pozycji pacjenta w trakcie trwania seansu terapeutycznego.

Główne różnice między radioterapią fotonową a protonową

W porównaniu z konwencjonalną radioterapią fotonową radioterapia protonowa ze względu na charakterystykę wiązki wymaga dużo większej dokładności ułożenia pacjenta [12]. Jest to możliwe między innymi dzięki zastosowaniu spersonalizowanych elementów unieruchomienia, takich jak podgłówek indywidualny, który jest jednorazowy i odpowiednio ukształtowany względem głowy i szyi pacjenta, oraz maski, która jest dedykowana do terapii protonowej. Podyktowane jest to głównie fizyką wiązki protonowej, która ze względu na występowanie charakterystycznego rozkładu głębokościowego, tzw. piku Bragga, jest bardzo czuła na każdą niepewność w pozycjonowaniu pacjenta, jak i każdą zmianę jego anatomii. Fakt ten należy również brać pod uwagę w momencie tworzenia planu terapii, głównie w okolicach, które wymagają przejścia wiązki przez struktury charakteryzujące się czasową zmiennością upowietrzenia (w regionie głowy/szyi są to m.in. zatoki i wyrostki sutkowate).

Podsumowanie

Terapia protonowa jest jedną z najbardziej konformalnych metod w leczeniu nowotworów, która może zminimalizować ryzyko skutków ubocznych, a tym samym zmniejszyć szkodliwy wpływ dostarczonej dawki na jakość życia pacjentów. Aby wykorzystać zalety wynikające ze stosowania tego typu radioterapii, z punktu widzenia elektrodzielnika, należy zwrócić szczególną uwagę na wykonanie precyzyjnego unieruchomienia pacjenta oraz wykonanie najwyższej jakości skanów tomograficznych, czyli procedur, które finalnie wpływają na odtwarzalną pozycję terapeutyczną. Następnym elementem jest codzienne, jak najdokładniejsze jej odtworzenie oraz weryfikacja na aparacie terapeutycznym oraz reagowanie w takich sytuacjach, jak zmiana anatomii pacjenta (wskutek działania promieniowania lub leków) czy też niespodziewanego poruszenia się pacjenta w trakcie seansu terapeutycznego [1].

Piśmiennictwo

1. R. Kopeć: *Rozwój i zastosowanie metod pomiarowych i obliczeniowych na potrzeby ochrony radiologicznej personelu w medycynie*, Rozprawa habilitacyjna, Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk, Kraków 2019.
2. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 6 czerwca 2016 roku [online] Available: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU2016000855/O/D20160855.pdf>.

3. Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 9 stycznia 2019 r. [online] Available: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU2019000077/O/D20190077.pdf>.
4. Radioterapia protonowa nowotworów zlokalizowanych poza narządem wzroku – rozszerzenie wskazań [online] Available: http://bipold.aotm.gov.pl/assets/files/zlecenia_mz/2015/090/RPT/AOTMiT_OT_430_7_rozszerzenie_wskazan_2018.pdf (dostęp: 26.07.2018).
5. U. Gaikwad, M.P. Noufal, J. Sylvia et al.: *Encouraging early outcomes with image guided pencil beam proton therapy for cranio-spinal irradiation: first report from India*, *Radiat Oncol* 17, 2022, 115.
6. Qfix Catalog Web [online] Available: <https://qfix.com/sites/default/files/Qfix%20Catalog-Web.pdf>.
7. Combifix™ 3 [online] Available: <https://civcort.com/ro/hip-pelvic-positioning/bellyboards/combifix-HP2.htm>.
8. M.-C. Ma Charlie, T. Lomax: *Proton and carbon ion therapy*, CRC PRESS, Boston 2012.
9. D. Yerramilli, M.R. Bussière, J.S. Loeffler, H.A. Shih: *Proton beam therapy (for CNS tumors)*, *Adult CNS Radiation Oncology*, Springer, Cham., 2018, 709-722.
10. A. Singh Gautam et al.: *Immobilization and Simulation*, *Proton Therapy E-Book: Indications, Techniques, and Outcomes*, 2020, 45.
11. M. Garbacz, G. Foltyska, M. Rydygier, D. Krzempek, R. Kopeć: *Radioterapia protonowa, cz. 4: Wstęp do planowania leczenia*, *Inżynier i Fizyk Medyczny*, 11, 2022, 269-276.
12. M. Rydygier, M. Bałamut, K. Czerska, K. Guguła, H. Jabłoński, W. Komenda, D. Krzempek, M. Liszka, N. Mojżeszek, P. Rogalski, R. Kopeć: *Radioterapia protonowa, cz. 2: Charakterystyka wiązek*, *Inżynier i Fizyk Medyczny*, 11, 2022, 149-155.
13. Ch. Udell: *DoF, FoV, Anchors, and Markers: Demystifying Common AR Terms* [online] available: <https://learningsolutionsmag.com/articles/dof-fov-anchors-and-markers-demystifying-common-ar-terms> (dostęp: 10.07.2019).

reklama

KONTROLA DAWEK



LABORATORIUM DOZYMETRII INDYWIDUALNEJ I ŚRODOWISKOWEJ

ul. Radzikowskiego 152
31-342 Kraków
e-mail: ladis@ifj.edu.pl

tel.: 12 662 84 57
fax: 12 662 81 58

