

Centrum Cyklotronowe Bronowice

O otwartym właśnie Centrum Cyklotronowym w Bronowicach, w którym prowadzona będzie terapia protonowa nowotworów, rozmawiamy z prof. dr. hab. Markiem Jeżabkiem, Dyrektorem Instytutu Fizyki Jądrowej PAN oraz z prof. dr. hab. n. med. Andrzejem Kaweckim, radioterapeutą i onkologiem klinicznym, wiceprzewodniczącym Rady Naukowej Centrum Onkologii – Instytutu im. Marii Skłodowskiej-Curie

Wspólnota protonów

MAREK JEŻABEK

Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego
Polska Akademia Nauk, Kraków
marek.jezabek@ifj.edu.pl

Akademia: Skąd pomysł współpracy fizyków z lekarzami, realizowanej przez Pana ośrodek?

Marek Jeżabek: IFJ PAN ma kilkudziesięcioletnią tradycję współpracy z medycyną. Wszystko zaczęło się od sprowadzenia do Instytutu cyklotronu zakupionego w Związku Radzieckim. Dzięki niemu mogliśmy napromieniowywać wiązkami neutronów pacjentów z nowotworami. Terapię tę zarzucono wówczas ze względu na jej małą precyzję, by powrócić do niej w latach 90., kiedy to pojawił się pomysł, by do leczenia czerniaka gałki ocznej wykorzystać protony przyspieszane w zbudowanym przez naszych pracowników cyklotronie AIC-144. Dostarczał on jednak protonów o zbyt małej energii. Aby protony mogły pokonać 30 mm w wodzie, którą możemy potraktować jako odpowiednik gałki ocznej, muszą zostać przyspieszone do energii 60 megaelektronowoltów. My wówczas dysponowaliśmy tylko 40 MeV. Zdołaliśmy jednak przekonać decydentów, że jesteśmy w stanie odpowiednio przebudować cyklotron AIC-144, i otrzymaliśmy dotację umożliwiającą modernizację akceleratora oraz zakup fotela terapeutycznego. W ten sposób w 2009 roku byliśmy gotowi do terapii oka.

Sukces terapii protonowej czerniaka gałki ocznej pomógł nam w uzyskaniu znaczących środków na budowę Centrum Cyklotronowego Bronowice. Pierwotnie zakładaliśmy jedynie przeniesienie terapii oka z wysłużonego cyklotronu AIC-144 na nowy sprzęt, ale wraz z postępem prac pojawiał się bardziej ambitny plan – budowa tzw. stanowiska gantry. Gantry to specjalna, masywna konstrukcja w kształcie walca, na której umieszczone są ogromne, ważące w sumie 20 ton magnesy zakrzywiające wiązkę protonów. Gantry obraca wiązkę wokół pacjenta, dzięki czemu możemy prowadzić napromieniowywanie z różnych kierunków.

Po długotrwałej procedurze udało nam się uzyskać środki finansowe na realizację projektu. Wówczas to pojawiły się pierwsze modele gantry z wiązką skanującą, której działanie można porównać do pracy wiązki elektronów w kioskach starego typu – dzięki niewielkiemu odchyleniu światła cały poprzeczny przekrój nowotworu piksel po pikselu, na każdej wybranej



głębokości odwzorując poprzeczny przekrój nowotworu. Kluczowa jest tu właśnie precyzja (poniżej 1 milimetra), bo istota tej metody polega na niszczeniu DNA w komórkach nowotworowych. Wiązka protonów ma energię pozwalającą im wnikać do 30 centymetra w głąb ciała, czyli dosięgnąć każdej tkanki, optymalnie dopasowując się do kształtu nowotworu. Instytut Fizyki Jądrowej zakupił dwa takie urządzenia, budując w krakowskich Bronowicach jeden z najnowocześniejszych ośrodków terapii protonowej na świecie.

Co zyskuje się, stosując naświetlanie protonami w stosunku do tradycyjnej radioterapii wykorzystującej promieniowanie elektromagnetyczne?

Charakterystyka oddziaływania protonów z materią polega na tym, że maksymalny efekt biologiczny powstaje na końcu ich drogi. W związku z tym, wybierając energię i zasięg, wybieramy miejsce, w którym te protony rzeczywiście mają maksymalny efekt niszczący DNA.

Promieniowanie wytraca energię stopniowo, penetrując tkankę. Dla promieniowania elektromagnetycznego zależność jonizacji (a co za tym idzie – efektu biologicznego) od drogi przebytej w ciele pacjenta to szeroka krzywa, odpowiadająca z reguły dużej dawce zarówno przed, jak i za nowotworem. Dla protonów wygląda to zupełnie inaczej: początkowo stosunkowo niewielka wartość, potem wąskie maksimum – tak zwany pik Bragga – i gwałtowny spadek, praktycznie do zera. W związku z tym, jeśli dobrze dobierzemy energię, to możemy tak napromieniować, żeby nie uszkodzić ważnego organu, który jest na przykład za nowotworem. Jeśli mamy nowotwór w oku i on jest przestrzennie odseparowany od nerwu wzrokowego, to udaje się tak poprowadzić wiązkę, żeby nie uszkodzić nerwu wzrokowego. Dla nowotworów poza gałką oczną możemy tak dobrać wiązkę, żeby otrzymać optymalne dopasowanie do przestrzennego kształtu guza nowotworowego.

Obok: prof. dr hab. Paweł Olko pod urządzeniem gantry. Widoczna jest część konstrukcji, na której umocowane są magnesy zakrzywiające wiązkę protonów

Centrum Cyklotronowe Bronowice

Czy w Instytucie leczy się tylko dorosłych? Pewne nowotwory oka występują bardzo często u dzieci.

Stosowana u nas metoda jest szczególnie dobra dla dzieci, ponieważ wszelkie uszkodzenia podczas radioterapii w młodym, rosnącym organizmie mają poważniejsze konsekwencje niż u dorosłych. U młodych osób większe jest także ryzyko, że pojawią się skutki uboczne w postaci nowotworu wywołanego napromieniowaniem i dlatego radioterapia protonowa jest powszechnie uznawana za pierwsze wskazanie w przypadku szeregu nowotworów u dzieci. Z dorosłymi sytuacja przedstawia się gorzej ze względu na koszty - na jednego pacjenta w takiej terapii trzeba wydać 100 tysięcy złotych, przy czym innymi metodami można uzyskać podobny efekt za 20-30 tysięcy. Jest to nowa terapia i brakuje badań długoterminowych pokazujących jej rezultaty po kilkadziesiąt lat od naświetlań, w związku z czym decyzja o finansowaniu jej nie jest łatwa.

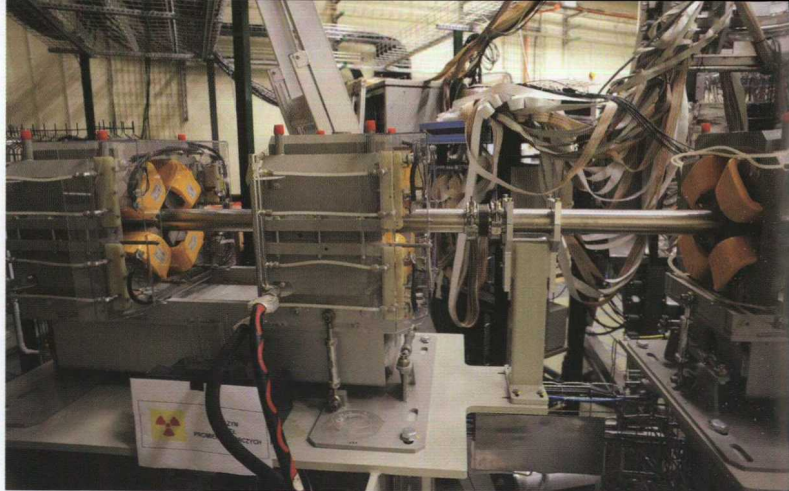
Czy mimo to jest szansa, żeby NFZ refundował leczenie pacjentów z innymi nowotworami niż oka?

Uzyskanie refundacji świadczenia medycznego przebiega wieloetapowo. W pierwszej kolejności minister zdrowia zleca wycenę danej procedury medycznej Agencji Oceny Technologii Medycznej i Taryfikacji. Następnie decyduje, czy określona procedura może być refundowana w Polsce i w przypadku pozytywnej decyzji NFZ ogłasza konkurs. Na chwilę obecną radioterapia protonowa w Polsce refundowana jest tylko w przypadku nowotworów gałki ocznej. W innych przypadkach pacjent może się ubiegać o refundację leczenia za granicą. Natomiast w odniesieniu do nowotworów głowy czy szyi to obecnie procedura jest wyceniana przez AOTMiT.

Jak wygląda taka terapia od strony pacjenta?

Dawkę promieniowania podaje się porcjami, tzw. frakcjami. W przypadku terapii oka są to cztery napromieniowania wykonywane dzień po dniu. Samo naświetlanie trwa kilkadziesiąt sekund, ale sporo czasu - około pół godziny - zajmuje odpowiednie ustawienie pacjenta, tak aby wiązka trafiła precyzyjnie w zaatakowane przez chorobę miejsce. W przypadku innych nowotworów zwykle stosuje się kilkadziesiąt frakcji.

Terapia prowadzona jest pod szyldem Narodowe Centrum Radioterapii Hadronowej. Dlaczego?



Kiedy występowaliśmy o fundusze na ośrodek terapii nowotworów, zdawaliśmy sobie sprawę, że jest to projekt ważny nie tylko dla Instytutu Fizyki Jądrowej, lecz także dla całego kraju. Co więcej, współpraca z innymi ośrodkami była niezbędna do jego realizacji. W 2006 roku wiedzieliśmy, że nasz Instytut nie jest w stanie samodzielnie podjąć takiego wyzwania i dlatego narodził się pomysł założenia konsorcjum - Narodowego Centrum Radioterapii Hadronowej. Pierwotnie zakładano, że w Instytucie Fizyki Jądrowej będziemy wykorzystywać protony, natomiast znacznie bardziej ambitne i jednocześnie kosztowne przedsięwzięcie zostanie ulokowane w Warszawie. Wtedy myśleliśmy o leczeniu nie tylko protonami, ale również jonami węgla. A ponieważ te wszystkie cząstki - zarówno protony, jak i neutrony oraz nukleony tworzące jądro atomowe - oddziałują silnie, ich wspólna nazwa to hadrony. Stąd nazwa.

Proszę powiedzieć więcej o terapii jonami węgla.

Stan wiedzy w tym zakresie znacznie się zmienił od 2006 roku, kiedy powstawały plany Centrum, i związane z nimi początkowo nadzieje trochę osłabły. Terapia jonami węgla nie została jednak całkiem porzucona i z sukcesem prowadzona jest na przykład w doskonałym ośrodku terapii onkologicznej w Heidelbergu w Niemczech. Problem polega jednak na tym, że gantry potrzebne do wykorzystania takich jonów jest znacznie większe i kosztowniejsze niż odpowiednie dla protonów. Zrezygnowaliśmy więc chwilowo z tego pomysłu, chociaż nie była to łatwa decyzja.

Jakie badania prowadzą państwo poza radioterapią? W Centrum widzieliśmy oprócz stanowisk radioterapii także halę eksperymentalną.

Nasz cyklotron może współpracować z kilkoma stanowiskami. Jedną z linii faktycznie biegnie do hali eksperymentalnej, gdzie od dwóch lat prowadzimy badania podstawowe z fizyki jądrowej. Testujemy tam także odporność elektroniki na promieniowanie, które stanowi poważny problem przy lotach kosmicznych, bo promieniowanie

**Po lewej: fragment jonowodu, którym wiązka protonów biegnie z cyklotronu do stanowiska w hali eksperymentalnej
Po prawej: stanowisko z fotelem terapeutycznym do radioterapii nowotworów oka
Obok: maska pomagająca w ustawieniu pacjenta do radioterapii oka**



kosmiczne to przecież protony. Badamy też materiały scyntylacyjne, czyli nowe kryształy na potrzeby detektorów wykorzystywanych, np. w fizyce cząstek. W trakcie uruchamiania jest program badawczy z zakresu radiobiologii.

Dzięki cyklotronowi z wiązką protonów o mocy 230 MeV staliśmy się niezwykle atrakcyjnym miejscem do badań fizyki jądrowej. Mamy dwa detektory – jeden sprowadziliśmy z Holandii, drugi zbudowaliśmy częściowo własnymi siłami. Pozwalają one na badanie na przykład oddziaływania wielkiej liczby nukleonów, co jest bardzo ważnym zagadnieniem teorii fizyki jądrowej. Chociaż poza światem fizyki jesteśmy najlepiej znani z terapii nowotworów, to badania podstawowe są głównym przedmiotem działalności Instytutu i decydują o naszej randze naukowej – mamy kategorię A+ i status Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego.

Zatrudniamy 550 pracowników i 70 doktorantów. Część z nich zaangażowanych jest przy radioterapii protonowej, ale zajmują się też innymi działami fizyki. Kończymy także wyposażanie nowego wielkiego laboratorium do badań podstawowych i obrazowania metodami fizycznymi.

Czy prowadzą państwo także badania z zakresu nauk biologicznych?

Jak najbardziej. Rozwijamy naświetlanie rozmaitych próbek biologicznych protonami o różnych energiach, zarówno w nowym Centrum, jak

i z wykorzystaniem starego cyklotronu AIC-144, i akceleratora Van Der Graafa generującego mikrowiązkę – można strzelać pojedynczymi protonami w wybrany fragment jądra atomowego. Dysponujemy również mikrowiązką promieni Roentgena. Instytut Fizyki Jądrowej PAN posiada unikatowe możliwości badań oddziaływania różnego rodzaju promieniowania z materią żywą i z obiektami biologicznymi.

Wśród uczestników Narodowego Centrum Radioterapii Hadronowej znaczną część stanowią instytucje medyczne. Jak wygląda współpraca z lekarzami?

Do tej pory na terapię czerniaka gałki ocznej kierował do nas swoich pacjentów zespół Oddziału Klinicznego Okulistyki i Onkologii Okulistycznej Szpitala Uniwersyteckiego UJ, który jest jednym z naszych trzech głównych partnerów. Drugim jest Dziecięcy Szpital Uniwersytecki w Prokocimiu, jak wspominałem bowiem, nowotwory u dzieci należą do głównych wskazań do radioterapii protonowej. Trzecim partnerem jest Krakowski Oddział Instytutu Marii Curie-Skłodowskiej, ale współpracujemy z całym Centrum Onkologii, także z oddziałami w Warszawie i Gliwicach. Terapią zainteresowany jest również Uniwersytet Medyczny w Katowicach oraz Świętokrzyskie Centrum Onkologii w Kielcach.

Myszę, że w ciągu kilku lat z wykorzystaniem obu stanowisk gantry będziemy mogli przyjmować do 700 pacjentów rocznie, co np. w zakresie czerniaka gałki ocznej pokryje krajowe zapotrzebowanie na tego typu terapię. Dla środowiska onkologów to niewątpliwie dobra wiadomość, że w Polsce będzie można prowadzić radioterapię protonową na światowym poziomie. ■

Jak to działa? prof. dr hab. Paweł Olko (na zdjęciu na str. 4), Centrum Cyklotronowe Bronowice, Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie podczas wykładu Wszechnicy PAN:
Naszym zadaniem jako fizyków było zrealizowanie budowy oraz doprowadzenie cyklotronu do stanu, w jakim można go wykorzystać do terapii. Kiedy instalowaliśmy cyklotron, wywołaliśmy paraliż komunikacyjny Krakowa, a potem musieliśmy zburzyć bramę, żeby go wwieźć do Instytutu. Teraz wszystko działa i jesteśmy gotowi na przyjęcie pacjentów.
Celem radioterapii jest zniszczenie DNA komórek nowotworowych za pomocą promieniowania. Wiązka złożona z protonów, w przeciwieństwie do wykorzystywanych zwykle fotonów, posiada taką właściwość, że większość jej energii jest deponowana na końcu, co ogranicza uszkodzenia tkanek na jej drodze. Żeby wiązka wniknęła na określoną głębokość, trzeba ją rozpędzić. Do tego właśnie

potrzebny jest cyklotron, który działa trochę jak huśtawka. Pole elektryczne rozpędza proton, a pole magnetyczne zakrzywia jego tor i nie pozwala mu uciec. Do rozpędzenia nie potrzeba wielkiej siły, ale trzeba ją dokładać w odpowiednich momentach. Następna kwestia to dostosowanie wiązki do kształtu i miejsca nowotworu. W tym celu najpierw naświetlamy najgłębszą część nowotworu wiązką o największej dawce, potem obniżamy nieco dawkę i skanujemy troszkę bliższą część itd. Do manipulowania wiązką stosujemy olbrzymie magnesy, które odchylają bieg protonów. Poruszające nimi urządzenie zwane gantry waży 100 ton i ma 11 metrów średnicy, ale pozwala na uzyskanie precyzji rzędu 0,5 milimetra. Efekt napromieniowania możemy od razu sprawdzić za pomocą pozytonowej tomografii emisyjnej (PET), ponieważ wiązka protonów, przechodząc przez tkankę, indukuje w niej powstawanie żyjących krótko izotopów promieniotwórczych. W ten sposób od razu wiadomo, czy zabieg został przeprowadzony prawidłowo.

Centrum Cyklotronowe Bronowice

ANDRZEJ KAWECKI

Centrum Onkologii - Instytut
im. Marii Skłodowskiej-Curie, Warszawa
a.kaweckidom@gazeta.pl

Academia: Jak pan jako lekarz ocenia terapię protonową?

Andrzej Kawecki: *Narosło wokół niej wiele mitów. Najważniejszy głosi, że jest to metoda skuteczniejsza od radioterapii konwencjonalnej. Tymczasem obie w zbliżony sposób oddziałują na komórki nowotworowe. Wyższość radioterapii protonowej polega jednak na możliwości lepszej ochrony narządów krytycznych, czyli zdrowych tkanek cechujących się wrażliwością na napromienianie. Specyficzne właściwości fizyczne wiązki protonów pozwalają zmniejszyć ryzyko nasilonych działań niepożądanych w sytuacji, kiedy musimy się od narządu krytycznego „odcinać na ostro”, tj. kiedy objętość napromieniana znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie takiego narządu.*

Czy ta metoda jest uznana w środowisku onkologów i radioterapeutów?

Oczywiście. W USA na przykład do 2020 roku ma działać 20 ośrodków prowadzących protonoterapię. Kilkanaście działa także w Europie. Opracowane są rekomendacje zawierające wskazania do jej użycia. Nie można więc powiedzieć, że ta metoda to wymysł i zarzucać jej brak efektywności. Ale nie można jej też obwołać radykalnym przełomem w onkologii. Trzeba pamiętać, że radioterapia protonowa ma swoje ograniczenia i zachować równowagę w formułowaniu informacji dla masowego odbiorcy. Każda nowa technologia medyczna budzi w chorych nadzieje, ale pojawiają się też żądania – także ze strony osób, które do takiej terapii w ogóle się nie kwalifikują.

Powiedzmy zatem, kto się kwalifikuje?

Wskazania są dość dobrze określone. Radioterapia protonowa jest np. zachowawczym leczeniem z wyboru w przypadku nowotworów zlokalizowanych w okolicy podstawy czaszki, gdzie znajduje się dużo narządów krytycznych takich jak nerwy wzrokowe czy pień mózgu. Innym wskazaniem są nowotwory osi rdzenia kręgowego, gdzie także chodzi o „ostre odcięcie” od narządów krytycznych, niektóre nowotwory głowy i szyi wymagające powtórnego napromieniania i przede wszystkim nowotwory u dzieci. W przypadku organizmu, który intensywnie się rozwija, cho-



dzi o to, żeby zminimalizować ryzyko odległych działań niepożądanych radioterapii. A główną zaletą radioterapii protonowej jest zmniejszenie możliwości wystąpienia niepożądanych skutków w szerszej perspektywie czasowej, czyli w okresie ponad 6 miesięcy od zakończenia leczenia.

Jeśli natomiast chodzi o inne nowotwory, takie jak rak płuca, gruczołu krokowego czy piersi, wyższość radioterapii protonowej nad radioterapią fotonową pozostaje nieudowodniona. Lista wskazań do terapii protonowej jednak rośnie i niewykluczone, że za kilka-kilkadziesiąt lat będzie zalecana w przypadku szerszego niż dziś spektrum chorób.

Chciałbym, żeby w naszym kraju powstały przynajmniej dwa zakłady radioterapii protonowej. Nie można jednak mówić, że rocznie takiej terapii wymaga 8-10 tysięcy chorych, bo to nieprawda. Takich chorych jest znacznie mniej.

Skoro jesteśmy przy statystykach, ile osób rocznie kieruje pan na terapię protonową?

Ponieważ na razie Centrum Cyklotronowe w Bronowicach czeka na wycenę procedury radioterapii protonowej przez Agencję Oceny Technologii Medycznych i Taryfikacji, chorych wymagających takiego leczenia wysyłamy za granicę, głównie do ośrodków niemieckich. Jako konsultant wojewódzki z Mazowsza kierowałem tam około 20 chorych rocznie. Jednak chorych, którzy potencjalnie wymagaliby radioterapii protonowej, jest oczywiście więcej. Wedle różnych szacunków to od 500 do 1500 osób w skali roku, przy czym



sam skłaniałbym się do 1200-1500. Oczywiście przy zachowaniu obowiązujących obecnie wskaźników istotną część pacjentów stanowić będą dzieci. Kiedy już będziemy dysponowali radioterapią protonową w kraju, otworzą się ponadto szerokie możliwości prowadzenia doświadczeń i kontrolowanych badań klinicznych w celu poszukiwania nowych wskaźników i modyfikacji technologii.

Profesor Jeżabek wspominał, że właśnie takie są ambicje Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego uczestniczącego w konsorcjum.

Tak. Opracowany w latach 2005-2006 plan rozwoju radioterapii protonowej w Polsce zakładał uruchomienie dwóch ośrodków. Ośrodek w Instytucie Fizyki Jądrowej w Bronowicach jest pierwszy. Zainstalowano tam nowoczesny cyklotron z dwoma gantry, wyjściami terapeutycznymi, umożliwiającymi realizowanie nowoczesnych technik, jak napromienianie z modulowaniem intensywności wiązki protonów. Drugim etapem miał być ośrodek terapii hadronowej w Warszawie. Pierwotnie, przed 10 laty, planowano jego utworzenie w Centrum Onkologii, ale w 2009 roku ustalono, że powstanie on w Warszawskim Uniwersytecie Medycznym. No i tutaj w dalszym ciągu wszystko jest na etapie planów.

Instytut Fizyki Jądrowej nie jest jednostką medyczną. Jak więc wygląda państwa współpraca od strony logistycznej?

Faktycznie, to sytuacja wyjątkowa, że urządzenie terapeutyczne mieści się poza szpitalem czy zakładem radioterapii. Kluczowa jest więc współpraca z Centrum Onkologii, a konkretnie z Centrum Onkologii w Krakowie, co wydaje się logiczne i naturalne. W tym przypadku nie jest to kwestia naukowa, tylko sprawa rutynowej praktyki klinicznej. Ośrodki onkologiczne w Polsce powinny kierować chorych do Bronowic, bo to dla pacjentów łatwiejsze i – mam nadzieję – tańsze niż wyjazd za granicę.

Poza tym zespół znakomitych fizyków jest bardzo potrzebny. Tylko oni potrafią ustawić

i zrealizować odpowiednie parametry techniczne napromieniania wymierzone w cel ustalony przez lekarza.

Radioterapia zwykle obejmuje całą serię zabiegów. Jak to wygląda w szczegółach?

Klasyczne napromienianie prowadzone jest codziennie od poniedziałku do piątku, natomiast przerwa wypadająca w weekend jest wskazana ze względu na profilaktykę odczynu popromiennego. Taki cykl, w zależności od nowotworu, trwa od czterech do nawet siedmiu tygodni. Jeśli chory jest w dobrym stanie ogólnym i nie przewidujemy nasilonych odczynów popromiennych, terapia taka może być prowadzona w trybie ambulatoryjnym.

Jak wygląda perspektywa badań naukowych nad nowymi metodami radioterapii, którą otwiera powstanie takich ośrodków jak Bronowice?

Medycyna XXI wieku opiera się na dowodach (ang. evidence based medicine). Żadna nowa technologia nie wejdzie do rutynowej praktyki bez oparcia w wynikach kontrolowanych badań klinicznych o wysokim stopniu wiarygodności. W onkologii za najbardziej wiarygodne uznaje się badania randomizowane, czyli porównujące wyniki w grupach chorych losowo leczonych standardowo lub metodą eksperymentalną. Jeżeli wykażą one wyższość terapii eksperymentalnej, staje się ona nowym standardem postępowania. W przypadku radioterapii protonowej przeprowadzenie takich badań jest jednak trudne, ponieważ wymagają dużych grup chorych, a ograniczeniem jest dostępność metody, jak również fakt, że stosowana jest często w nowotworach, które występują rzadko. Do tego dochodzą kwestie etyczne. O zaletach radioterapii protonowej wnioskujemy więc na podstawie dowodów o tak zwanym trzecim stopniu wiarygodności – opartych na doświadczeniach jednego ośrodka czy też na analizach retrospektywnych. Jeśli ośrodków radioterapii protonowej będzie więcej, będziemy mieli więcej danych. Rozwój radioterapii protonowej w Polsce pozwoli nam włączyć się do kontrolowanych badań międzynarodowych. Należy więc dołożyć starań, aby Centrum w Bronowicach się rozwijało. Leży to w szeroko pojętym interesie polskiej onkologii. ■

Rozmawiali Agnieszka Kloch i Olek Michalski,
zdjęcia Jakub Ostałowski

Więcej informacji o CCB i szersze wersje wywiadów:
www.naukaonline.pl

Po lewej: stanowisko terapeutyczne z łóżkiem dla pacjenta w urządzeniu gantry
Po prawej: szkolenie personelu w Centrum Cyklotronowym Bronowice – przygotowanie pacjenta do tomografii komputerowej

