

Ocena błędów pozycjonowania pacjenta w masce BrainLab podczas radiochirurgii stereotaktycznej guzów mózgu

Klaudia Lewcio-Szczęśna¹ (ABCDEF), Natalia Samołyk² (DEF), Dominika Hempel^{2,3} (DEF), Marek Z. Wojtukiewicz³ (DE), Ewa Sierko^{2,3} (ACDEF)

¹ Department of Radiotherapy, MSC Memorial Cancer Center Institute of Oncology in Warsaw, Poland

² Department of Radiotherapy, Comprehensive Cancer Center in Białystok, Poland

³ Department of Oncology, Medical University of Białystok, Poland

WKŁAD AUTORÓW: (A) Projekt badania · (B) Zbieranie Danych · (C) Analiza Statystyczna · (D) Interpretacja Danych · (E) Przygotowanie Rękopisu · (F) Gromadzenie Piśmiennictwa · (G) Gromadzenie Funduszy

Adres do korespondencji: Ewa Sierko
Department of Oncology, Medical University of Białystok
12 Ogrodowa St., 15-025 Białystok, Poland
Phone: 48-85-6646827, e-mail: ewa.sierko@iq.pl

STRESZCZENIE

Wstęp. Podstawowym elementem planowania radiochirurgii stereotaktycznej (SRS) guzów mózgu jest dokładne unieruchomienie głowy pacjenta w celu zminimalizowania ruchów w trakcie napromieniania. Jedną z metod stabilizacji głowy jaką jest wykorzystanie maski termoplastycznej firmy BrainLab.

Cel. Celem badania była analiza częstości występowania i charakteru błędów ułożenia chorych, a także próba określenia ich przyczyn u pacjentów poddanych jednofrakcyjnej radiochirurgii stereotaktycznej zmian w OUN z wykorzystaniem nieinwazyjnych masek termoplastycznych.

Materiał i metody. W badaniu wzięło udział 30 pacjentów leczonych w Zakładzie Teleradioterapii CO-I im. Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie (CO-I). Wszyscy pacjenci byli unieruchamiani z wykorzystaniem maski termoplastycznej BrainLab. Analizowano powtarzalność ułożenia pacjentów podczas etapów planowania i realizacji SRS: symulacji wstępnej, symulacji zasadniczej i na aparacie terapeutycznym. Brano pod uwagę przesunięcia w osiach: X – *poprzecznej*, Y – *podłużnej*, Z – *pionowej*, jak również oceniano rotację głowy w masce. Uzyskane dane były analizowane w odniesieniu do etapu leczenia, płci pacjentów oraz rodzaju wykorzystanej maski termoplastycznej (z gryzakiem lub bez niego).

Wyniki. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, iż większe przesunięcia w każdej osi obserwowane były na etapie aparatu terapeutycznego w porównaniu do symulacji leczenia i w szczególności dotyczyły one osi Y i Z. Wszystkie z zaobserwowanych przesunięć mieściły się w granicy tolerancji błędów ułożenia (2 mm) określonej dla SRS w Zakładzie Teleradioterapii CO-I. Największe odchylenia w zakresie rotacji głowy występowały na etapach symulacji. Wykazano większe rozbieżności w ułożeniu głowy w grupie pacjentów unieruchamianych przy użyciu masek termoplastycznych nie wyposażonych w gryzaki.

Wnioski. Pomimo występowania rozbieżności w pozycjonowaniu pacjentów, przeprowadzona procedura SRS była w każdym przypadku leczeniem o najwyższej jakości. Wypracowanie ujednoczonych standardów dotyczących techniki SRS pozwoliłoby w przyszłości uniknąć rozbieżności podczas pozycjonowania chorych w trakcie poszczególnych etapów leczenia. Leczenie z wykorzystaniem technik stereotaktycznych powinno być wykonywane przez zespół wykwalifikowanych i doświadczonych techników, co stanowiłoby gwarancję jakości SRS.

Słowa kluczowe: radiochirurgia stereotaktyczna, maski, pozycjonowanie pacjenta, guzy mózgu, radioterapia stereotaktyczna, błędy ułożenia

Liczba słów: 2813 Tabele: 8 Ryciny: 0 Piśmiennictwo: 18

Received: 05.09.2017

Accepted: 12.10.2017

Published: 29.12.2017

WSTĘP

Technika stereotaktyczna opiera się na precyzyjnym zlokalizowaniu zmiany patologicznej przy użyciu przestrzennie rozłożonych znaczników tworzących system trójwymiarowych współrzędnych [1]. Radiochirurgia stereotaktyczna (SRS) jest to podanie pojedynczej wysokiej dawki promieniowania jonizującego w obszarze zmiany chorobowej zlokalizowanej za pomocą techniki stereotaktycznej, przy jednoczesnej maksymalnej ochronie zdrowych tkanek [2].

Pionierem radioterapii stereotaktycznej był wybitny neurochirurg Lars Leksell, który w roku 1951 sformułował założenia SRS zmian wewnątrzczaszkowych [3]. Początkowo wykorzystywał on do tego celu lampę rentgenowską emitującą promieniowanie X o energii 250KV, następnie izotop kobaltu-60, stosowany obecnie w aparacie Gamma Knife [3]. W 1984 roku Betti i Derechinsky opisali przypadek użycia przyspieszacza liniowego do przeprowadzenia SRS [4]. Kolejnym ważnym osiągnięciem w rozwoju techniki stereotaktycznej było udoskonalenie przez Lutza systemu dokładnej lokalizacji zmiany patologicznej – dostosowano wtedy pozycję stołu terapeutycznego do ułożenia głowy pacjenta w unieruchomieniu nieinwazyjnym [5].

Dzięki postępowi w zakresie technik pozycjonowania, unieruchamiania oraz obrazowania pacjenta jaki dokonał się w ostatnich latach

SRS znajduje coraz większe znaczenie w leczeniu wewnątrzczaszkowych ognisk chorobowych [1].

Podstawą techniki SRS jest precyzyjne ustabilizowanie głowy chorego w celu zminimalizowania wszelkich ruchów podczas planowania radioterapii, jak i w trakcie leczenia. Jedną z metod pozycjonowania chorego jest stosowanie ramy stereotaktycznej, którą przytwierdza się do czaszki przy pomocy 4 śrub wykonanych z włókna węglowego o ceramicznych zakończeniach [6]. Innym sposobem, znacznie mniej inwazyjnym jest wykonanie indywidualnej maski termoplastycznej ze specjalnym gryzakiem, bądź bez tej modyfikacji – w przypadku pacjentów z odruchami wymiotnymi lub brakiem zębów. Oba rodzaje unieruchomień mocowane są do stołu terapeutycznego za pomocą specjalnego mechanizmu. Opisane metody pozwalają precyzyjnie podać wysoką dawkę promieniowania jonizującego w ściśle zdefiniowany obszar.

Celem badania była analiza częstości występowania i charakteru błędów ułożenia chorych, a także próba określenia ich przyczyn u pacjentów poddanych jednofrakcyjnej radiocirurgii stereotaktycznej zmian w OUN z wykorzystaniem nieinwazyjnych masek termoplastycznych firmy BrainLab.

MATERIAŁY I METODY

Grupa badana składała się z 30 pacjentów, którzy zostali poddani SRS. Chorzy byli leczeni w Zakładzie Teleradioterapii w Centrum

Onkologii – Instytucie (CO-I) im. Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie. Na przeprowadzenie badania uzyskano zgodę Komisji Bioetycznej Uniwersytetu Medycznego w Białymstoku.

Średnia wieku chorych wynosiła 58 lat. Charakterystyka grupy pod względem płci i wskazań do SRS została przedstawiona w tabeli 1.

Każdy etap planowania, jak i wdrożenia SRS przeprowadzono u wszystkich 30 chorych zgodnie z protokołem postępowania przy SRS stosowanym w CO-I w Warszawie.

Planowanie leczenia rozpoczynano od wykonania przez techników unieruchomienia chorego przy wykorzystaniu termoplastycznych masek firmy BrainLab. W celu lepszej stabilizacji głowy pacjenta u większości chorych maski stereotaktyczne formowano ze specjalnym indywidualnie dobranym gryzakiem. U chorych, u których wystąpiły odruchy wymiotne lub stwierdzano brak użębienia rezygnowano z gryzaka.

Następnie, po upływie co najmniej 12 godzin od wykonania maski, przeprowadzano weryfikację odtwarzalności ułożenia głowy pacjenta w masce podczas tzw. symulacji wstępnej. Procedura dotycząca SRS zakłada, iż w trakcie symulacji wstępnej pacjent powinien być co najmniej dwukrotnie pozycjonowany.

W kolejnym etapie planowania SRS wykonywano skany tomografii komputerowej OUN (co 1 mm) u chorego unieruchomionego w masce stereotaktycznej. Pudło lokalizacyjne, na którym naniesione były liczne punkty referencyjne, mocowano do stołu w okolicę głowy pacjenta. Bazując na skanach TK przesłanych do systemu planowania leczenia BrainSCAN, lekarz radioterapeuta określał objętości obszarów tarczowych oraz narządów krytycznych i przy współpracy z fizykiem medycznym tworzyli plan leczenia SRS. Przygotowany plan eksportowano do systemu leczenia VARIS. Pacjent ponownie trafiał do zespołu pracującego na symulatorze, gdzie w dniu rozpoczęcia SRS, ewentualnie kilka dni wcześniej, miał wykonaną symulację zasadniczą, podczas której sprawdzana była odtwarzalność pozycjonowania pacjenta.

Następnym krokiem procedury SRS było ułożenie pacjenta na stole aparatu terapeutycznego, ponowne właściwe założenie maski stereotaktycznej i pudła lokalizacyjnego. Po wyrównaniu ustawienia stołu technicy zdejmowali pudło lokalizacyjne. Przeprowadzana była weryfikacja ułożenia pacjenta przy wykorzystaniu systemu *PortalVision* firmy *Varian*, polegająca na uzyskaniu obrazów w formie elektro-

Tab. 1. Charakterystyka grupy pacjentów leczonych radiocirurgią stereotaktyczną (SRS) w obszarze mózgu

Charakterystyka	Liczba pacjentów (%)
Liczba pacjentów	30 (100%)
Płeć	
Mężczyźni	12 (40%)
Kobiety	18 (60%)
Rodzaj leczonej zmiany	
Przerzuty raka piersi do mózgu	7 (23,3%)
Przerzuty raka płuca do mózgu	7 (23,3%)
Przerzuty raka oskrzela do mózgu	4 (13,3%)
Pierwotny nowotwór złośliwy mózgu	5 (16,7%)
Przerzuty raka nerki do mózgu	3 (10%)
Przerzuty raka jądra do mózgu	1 (3,3%)
Przerzuty czerniaka do mózgu	1 (3,3%)
Przerzuty raka odbytnicy do mózgu	1 (3,3%)
Przerzuty nieokreślonych nowotworów złośliwych	1 (3,3%)

nicznej (tzw. obrazów portalowych), utworzonych na podstawie odczytu detektora znajdującego się w jednej osi z głowicą aparatu terapeutycznego.

Dalszy etap postępowania odbywał się w sterowni akceleratora liniowego, gdzie zespół techników i lekarz prowadzący weryfikowali zdjęcia wykonane na aparacie terapeutycznym w pozycji AP i bocznej głowicy akceleratora liniowego, porównując je ze zdjęciami uzyskanymi podczas symulacji zasadniczej. Po zaakceptowaniu przez lekarza uzyskanych wyników weryfikacji ułożenia przechodzono do etapu realizacji planu leczenia.

W CO-I procedura SRS realizowana była na akceleratorze liniowym *Varian 2* z zastosowaniem wszystkich standardów i procedur medycznych obowiązujących w tej pracowni, przy wykorzystaniu elektromagnetycznej wiązki promieniowania jonizującego o energii nominalnej 6 MV.

Na każdym z wyżej wymienionych etapów analizowano przesunięcia chorego w 3 osiach wyznaczających położenie punktu izocentrum: X – *poprzecznej*, Y – *podłużnej*, Z – *pionowej*, jak również oceniano ewentualną rotację głowy w masce. Analizę pomiaru błędów ułożenia pacjenta w trakcie symulacji wstępnej i zasadniczej dokonano przy pomocy systemu *Simulation Acquisition ver. 8.6*. Rotację głowy chorego w masce stereotaktycznej analizowano w programie *RT Chart ver.10*. Porównano ponadto obrazy portalowe w programie *RT Chart ver. 10.0*, uzyskane przed rozpoczęciem seansu terapeutycznego na akceleratorze liniowym, ze zdjęciami rentgenowskimi 2D – wykonanymi w trakcie planowania leczenia na symulatorze.

Zbrane wyniki poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem programu *Microsoft Excel* i *Statistica ver.10*. Obliczono wartości średnie uzyskanych wyników oraz odchylenia standar-

dowe (*standard deviation* – SD) w poszczególnych osiach (X, Y, Z)

Podczas analizy różnic w średniej arytmetycznej przesunięć chorych i wartości odchylenia standardowego, wprowadzono kilka podziałów badanej grupy. Główny podział dotyczył etapu planowania i leczenia (symulacja wstępna, zasadnicza i weryfikacja ułożenia pacjentów na aparacie terapeutycznym). Następnie przeanalizowano uzyskane dane pod względem płci chorego, aby ocenić ewentualny wpływ różnic w budowie anatomicznej pomiędzy kobietami i mężczyznami na odtwarzalność ułożenia głowy w masce, a także typu maski stereotaktycznej (uwzględniono wyniki dla chorych pozycjonowanych przy pomocy maski stereotaktycznej z i bez gryzaka).

WYNIKI

Grupa kobiet

Wartości średnie przesunięć chorych i wartości SD dla osi Z w grupie kobiet cechowały się dużą zmiennością (tabela 2). Na etapie symulacji wstępnej przesunięcie chorych w pozycji bocznej głowicy symulatora wynosiło średnio 0,9 mm, z kolei podczas symulacji zasadniczej – 0,4 mm. Wartość SD (+/- 0,7) wskazywała na duże rozbieżności w uzyskiwanych wynikach (tabela 2).

Bezwzględna wartość średnia przesunięć chorych określona na aparacie terapeutycznym różniła się w stosunku do określonej w trakcie symulacji zasadniczej (1,2 mm vs 0,4 mm).

Na etapach symulacji leczenia w przypadku osi Y w ustawieniu 0° i 90° głowicy symulatora nie obserwowano dużej zmienności w przesunięciu chorych. Jednakże wartości SD wskazują, iż były znaczące różnice w ułożeniach poszczególnych chorych. Na aparacie terapeutycznym przesunięcie chorych w osi Y było większe w porównaniu do etapu symulacji.

Tab. 2. Wartości średnie i wartości odchylenia standardowego przesunięć w poszczególnych osiach i rotacji w grupie kobiet, na kolejnych etapach leczenia

PRZESUNIĘCIA W POSZCZEGÓLNYCH OSIACH								
ETAP LECZENIA	Y [mm] (0°)	Y [mm] (90°)	Z [mm] (0°)	Z [mm] (90°)	X [mm] (0°)	X [mm] (90°)	RTN [mm] (0°)	RTN [mm] (90°)
Symulacja wstępna	0	0,9 (+/-0,7)	0,4 (+/-0,5)	0,4 (+/-0,6)	0,4 (+/- 0,5)	0	0,6 (+/-0,5)	0,7 (+/-0,5)
Symulacja zasadnicza	0	0,4 (+/-0,7)	0,4 (+/-0,5)	0,3 (+/-0,5)	0,3 (+/-0,5)	0	0,6 (+/-0,5)	0,9 (+/-0,6)
Aparat terapeutyczny	0	1,2 (+/-0,8)	1,1 (+/-0,9)	1,0 (+/-0,8)	0,6 (+/-0,5)	0	0,2 (+/-0,4)	0,3 (+/-0,7)

Opis skrótów. Wymiary: Y – głębokość, Z – podłużny, X – poprzeczny, RTN – rotacja, mm – milimetry

Dla osi X różnice w przesunięciach chorych były najmniejsze. Ponownie, wartość SD (+/- 0,5) wskazywała na duże rozbieżności w ułożeniach chorych.

Reasumując stwierdzono wyższe wartości średniego przesunięcia pacjentek w każdej osi, tj. X, Y, Z, na etapie aparatu terapeutycznego w porównaniu do symulacji leczenia. Należy podkreślić, iż każde opisane powyżej przesunięcie chorych mieściło się w granicy tolerancji błędu ułożenia (2 mm) określonej dla SRS w Zakładzie Teleradioterapii CO-I w Warszawie.

Analizie poddano również rotację głowy pacjentek w masce stereotaktycznej. W grupie kobiet największe różnice w wartościach średnich dla rotacji głowy obserwowano na etapach symulacji leczenia, zarówno w ustawieniu 0° i 90° głowicy symulatora.

Grupa mężczyzn

Zaobserwowano znaczące różnice w wartościach średnich przesunięć chorych i wartościach SD w grupie mężczyzn w poszczególnych osiach – podobnie jak w populacji kobiet (tabela 3).

Podczas symulacji wstępnej ułożenie pacjentów w osi Y równe jest 1,0 mm, natomiast podczas symulacji zasadniczej przesunięcie chorych było dwukrotnie mniejsze w stosunku do symulacji wstępnej (tabela 3). Na aparacie terapeutycznym średnia wartość przesunięć chorych w osi Y wyniosła 0,8 mm (+/- 1,0). Wartość SD wskazywała na duże zmienności w wynikach.

Dla osi Z w trakcie symulacji wstępnej przesunięcie wyniosło średnio 0,8 mm, przy ustawieniu głowicy symulatora w pozycji 0°, a 0,6 mm – przy ustawieniu głowicy w pozycji 90°. Podczas symulacji zasadniczej przesunięcia głowy chorych malały do 0,2 mm – w pozycji

głowicy 0° i 0,3 mm – w pozycji 90°. Największe różnice przesunięcia chorych zaobserwowano na etapie pozycjonowania chorych na aparacie terapeutycznym. Szczególnie wyraźną rozbieżność w ułożeniu chorych wykazano w ustawieniu bocznym głowicy aparatu terapeutycznego w osi Y, gdzie średnie przesunięcie chorych wyniosło 1,7 mm. Wartości SD wskazywały na znaczne rozbieżności w wynikach.

Średnie wartości przesunięć chorych w osi X wyniosły: 0,3 mm i 0,2 mm - odpowiednio dla symulacji wstępnej i zasadniczej. Największe rozbieżności w przesunięciach pacjentów w osi X dotyczyły etapu pozycjonowania chorych na stole aparatu terapeutycznego – średnia wartość to 0,8 mm. Wartości SD wykazywały znaczne różnice w ułożeniach poszczególnych pacjentów.

Analizie poddano również rotację głowy chorego w masce stereotaktycznej. Podobnie jak w przypadku grupy kobiet, najwyższe wartości średnie dla rotacji głowy obserwowano na etapach symulacji leczenia, zarówno w ustawieniu AP i bocznym głowicy. Na etapie aparatu terapeutycznego obserwowana rotacja głowy była mniejsza w stosunku do wartości uzyskanych podczas pozycjonowania chorych w czasie symulacji wstępnej i zasadniczej, jednakże wartość ta była większa w porównaniu z grupą kobiet (tabela 3).

Maski stereotaktyczne

Zdecydowana większość pacjentów w trakcie planowania leczenia miała wykonaną maskę z gryzakiem, a jedynie 20% (5 osób) pozycjonowanych było z wykorzystaniem masek bez gryzaka. W celu porównania odtwarzalności ułożenia głowy pacjentów, z grupy chorych pozycjonowanych przy pomocy masek z gryzakiem losowo wybrano do badania 5 osób.

Tab. 3. Wartości średnie i wartości odchylenia standardowego przesunięć w poszczególnych osiach i rotacji w grupie mężczyzn, na kolejnych etapach leczenia.

ETAP LECZENIA	PRZESUNIĘCIA W POSZCZEGÓLNYCH OSIACH							
	Y [mm] (0°)	Y [mm] (90°)	Z [mm] (0°)	Z [mm] (90°)	X [mm] (0°)	X [mm] (90°)	RTN [mm] (0°)	RTN [mm] (90°)
Symulacja wstępna	0	1,0 (+/-0,8)	0,8 (+/-0,6)	0,6 (+/-0,7)	0,3 (+/-0,5)	0	0,8 (+/-0,4)	0,7 (+/-0,5)
Symulacja zasadnicza	0	0,5 (+/-0,8)	0,2 (+/-0,5)	0,3 (+/-0,5)	0,2 (+/-0,4)	0	0,8 (+/-0,6)	0,6 (+/-0,5)
Aparat terapeutyczny	0	0,8 (+/-1,0)	1,3 (+/-0,8)	1,7 (+/-0,4)	0,8 (+/-0,9)	0	0,5 (+/-0,4)	0,6 (+/-0,4)

Opis skrótów. Wymiary: Y – głębokość, Z – podłużny, X – poprzeczny, RTN – rotacja, mm – milimetry

Na każdym etapie leczenia zaobserwowano, iż w grupie, w której zastosowano maskę bez gryzaka średnie przesunięcia chorych były większe w każdej osi w stosunku do wartości uzyskanych w grupie pacjentów pozycjonowanych z wykorzystaniem masek z gryzakami. W przypadku oceny rotacji głowy w masce było odwrotnie: większe rozbieżności w ułożeniu głowy odnotowano u chorych unieruchamianych przy użyciu masek z gryzakami (tabela 4,5,6).

Na etapie pozycjonowania pacjentów na aparacie terapeutycznym, w grupie, w której zastosowano maski z gryzakiem, wartości przesunięć chorych w osiach X, Y, Z utrzymywały się na poziomie porównywalnym z etapami symulacji (tabela 7).

Jednakże wartości odchylenia SD wskazywały na duże rozbieżności w uzyskanych wynikach. Przy ocenie rotacji głowy pacjentów w masce

z gryzakiem obserwowano, iż wartości średnie rotacji głowy maleją z 0,8mm w ustawieniu głowicy w pozycji 0° i 90° na etapie symulacji wstępnej, do 0,7mm i 0,6mm w pozycji głowicy 0° i 90°, odpowiednio, na kolejnych etapach.

W grupie pacjentów unieruchamianych przy użyciu masek bez gryzaka, wykazano większe rozbieżności w wartościach średnich przesunięć chorych na poszczególnych etapach leczenia (tabela 8).

Największe wartości średnie przesunięć pacjentów obserwowano na etapie symulacji wstępnej we wszystkich osiach. Wyniki uzyskane na etapie symulacji zasadniczej i aparatu terapeutycznego były porównywalne. Wyjątek stanowiła wartość średnia przesunięcia chorych w osi Y w pozycji 0° głowicy, która wynosiła 0,8 mm na etapie symulacji zasadniczej i 0,5mm podczas pozycjonowania chorych na aparacie

Tab. 4. Wartości średnie i wartości odchylenia standardowego przesunięć w poszczególnych osiach i rotacji na etapie symulacji wstępnej, w zależności od typu maski użytej do pozycjonowania

PRZESUNIĘCIA W POSZCZEGÓLNYCH OSIACH								
TYP MASKI	Y [mm] (0°)	Y [mm] (90°)	Z [mm] (0°)	Z [mm] (90°)	X [mm] (0°)	X [mm] (90°)	RTN [mm] (0°)	RTN [mm] (90°)
Maska z gryzakiem	0	0,4 (+/-0,5)	0	0,2 (+/-0,4)	0,3 (+/-0,4)	0	0,8 (+/-0,4)	0,8 (+/-0,4)
Maska bez gryzakiem	0	0,9 (+/-0,7)	1,0 (+/-0,5)	0,4 (+/-0,5)	0,8 (+/-0,4)	0	0,6 (+/-0,5)	0,8 (+/-0,4)

Opis skrótów. Wymiary: Y – głębokość, Z – podłużny, X – poprzeczny, RTN – rotacja, mm – milimetry

Tab. 5. Wartości średnie i wartości odchylenia standardowego przesunięć w poszczególnych osiach i rotacji na etapie symulacji zasadniczej, w zależności od typu maski użytej do pozycjonowania

PRZESUNIĘCIA W POSZCZEGÓLNYCH OSIACH								
TYP MASKI	Y [mm] (0°)	Y [mm] (90°)	Z [mm] (0°)	Z [mm] (90°)	X [mm] (0°)	X [mm] (90°)	RTN [mm] (0°)	RTN [mm] (90°)
Maska z gryzakiem	0	0,4 (+/-0,5)	0,2 (+/-0,4)	0,2 (+/-0,4)	0,3 (+/-0,4)	0	0,7 (+/-0,4)	0,6 (+/-0,4)
Maska bez gryzakiem	0	0,8 (+/-0,7)	0,8 (+/-0,5)	0,4 (+/-0,5)	0,5 (+/-0,4)	0	0,6 (+/-0,5)	0,8 (+/-0,4)

Opis skrótów. Wymiary: Y – głębokość, Z – podłużny, X – poprzeczny, RTN – rotacja, mm – milimetry

Tab. 6. Wartości średnie i wartości odchylenia standardowego przesunięć w poszczególnych osiach i rotacji na etapie aparatu terapeutycznego, w zależności od typu maski użytej do pozycjonowania

PRZESUNIĘCIA W POSZCZEGÓLNYCH OSIACH								
TYP MASKI	Y [mm] (0°)	Y [mm] (90°)	Z [mm] (0°)	Z [mm] (90°)	X [mm] (0°)	X [mm] (90°)	RTN [mm] (0°)	RTN [mm] (90°)
Maska z gryzakiem	0	0,4 (+/-0,5)	0,2 (+/-0,4)	0,2 (+/-0,4)	0,2 (+/-0,4)	0	0,7 (+/-0,4)	0,6 (+/-0,4)
Maska bez gryzakiem	0	0,8 (+/-0,7)	0,5 (+/-0,5)	0,4 (+/-0,5)	0,4 (+/-0,4)	0	0,8 (+/-0,5)	0,9 (+/-0,4)

Opis skrótów. Wymiary: Y – głębokość, Z – podłużny, X – poprzeczny, RTN – rotacja, mm – milimetry

terapeutycznym. Wartości średnie dla rotacji głowy w masce bez gryzaka na aparacie terapeutycznym (dla ustawienia 0° głowicy – 0,8 mm, 90° – 0,9 mm) były wyższe w stosunku do ocenianych podczas symulacji leczenia (pozycja głowicy symulatora 0° – 0,6 mm, 90° – 0,8 mm). Wartości SD wskazywały na rozbieżności w uzyskanych wynikach dla poszczególnych pacjentów.

DYSKUSJA

Zastosowanie precyzyjnego unieruchomienia pacjenta odgrywa zasadniczą rolę w procedurze SRS [7]. Pozwala bardzo dokładnie zaplanować obszar do napromieniania z zaoszczędzeniem zdrowych tkanek i podać określoną dawkę promieniowania w ściśle zdefiniowaną objętość tkanek [5]. Istnieje co najmniej kilka nieinwazyjnych systemów stabilizacji głowy pacjenta, wśród nich maska termoplastyczna firmy BrainLab [8,9,10]. Analiza częstości występowania i charakteru błędów ułożenia chorego w takiej masce jest bardzo ważnym elementem procedury kontroli jakości SRS.

W pracy rozpatrywano dwa rodzaje błędów ułożenia chorych podczas SRS: systematyczny, który wynika z zastosowanej metody pomiaru

lub innych przyczyn, które mogą zmieniać wynik jednostronnie oraz błąd przypadkowy – losowy, nie wynika z czynników systematycznych, powtarzalnych. W przypadku błędu systematycznego powtarzanie pomiaru powoduje zawyżanie, bądź zaniżanie wartości mierzonej. Natomiast wartości błędu przypadkowego nie można z góry przewidzieć w kolejnych pomiarach. Informację na temat skali występowania tego błędu można uzyskać po wykonaniu serii pomiarów i wyliczeniu wybranej miary zróżnicowania rozkładu, na przykład odchylenia standardowego. Występowanie tego rodzaju błędu powoduje, iż wyniki pomiarów zmieniają się w sposób losowy [11].

Błąd ułożenia pacjenta przeanalizowano na etapie symulacji leczenia (symulacja wstępna i zasadnicza) oraz na etapie realizacji SRS na aparacie terapeutycznym. W każdym przypadku ocena odtwarzalności ułożenia pacjentów była subiektywna i zależała od dokładności i precyzji technik biorących udział w planowaniu i realizacji leczenia. Oszacowany błąd to 0,2 mm (+/- 0,4) w osi X, 0,2 mm (+/- 0,4) w osi Y i 0,1 mm (+/- 0,3) w osi Z. Nie jest wykluczone, że zapewnienie wykonania całej procedury SRS mózgu (planowanie i leczenie) przez tych samych techników umożliwiłoby wy-

Tab. 7. Wartości średnie i wartości odchylenia standardowego przesunięć w poszczególnych osiach i rotacji w grupie pacjentów pozycjonowanych z użyciem maski z gryzakiem, na poszczególnych etapach leczenia

PRZESUNIĘCIA W POSZCZEGÓLNYCH OSIACH								
ETAP LECZENIA	Y [mm] (0°)	Y [mm] (90°)	Z [mm] (0°)	Z [mm] (90°)	X [mm] (0°)	X [mm] (90°)	RTN [mm] (0°)	RTN [mm] (90°)
Symulacja wstępna	0	0,4 (+/-0,5)	0	0,2 (+/-0,4)	0,3 (+/-0,4)	0	0,8 (+/-0,4)	0,8 (+/-0,4)
Symulacja zasadnicza	0	0,4 (+/-0,5)	0,2 (+/-0,4)	0,2 (+/-0,4)	0,3 (+/-0,4)	0	0,7 (+/-0,4)	0,6 (+/-0,4)
Aparat terapeutyczny	0	0,4 (+/-0,5)	0,2 (+/-0,4)	0,2 (+/-0,4)	0,2 (+/-0,4)	0	0,7 (+/-0,4)	0,6 (+/-0,4)

Opis skrótów. Wymiary: Y – głębokość, Z – podłużny, X – poprzeczny, RTN – rotacja, mm – milimetry

Tab. 8. Wartości średnie i wartości odchylenia standardowego przesunięć w poszczególnych osiach i rotacji w grupie pacjentów pozycjonowanych z użyciem maski bez gryzaka, na poszczególnych etapach leczenia

PRZESUNIĘCIA W POSZCZEGÓLNYCH OSIACH								
ETAP LECZENIA	Y [mm] (0°)	Y [mm] (90°)	Z [mm] (0°)	Z [mm] (90°)	X [mm] (0°)	X [mm] (90°)	RTN [mm] (0°)	RTN [mm] (90°)
Symulacja wstępna	0	0,9 (+/-0,7)	1,0 (+/-0,5)	0,4 (+/-0,5)	0,8 (+/-0,4)	0	0,6 (+/-0,5)	0,8 (+/-0,4)
Symulacja zasadnicza	0	0,8 (+/-0,7)	0,8 (+/-0,5)	0,4 (+/-0,5)	0,5 (+/-0,4)	0	0,6 (+/-0,5)	0,8 (+/-0,4)
Aparat terapeutyczny	0	0,8 (+/-0,7)	0,5 (+/-0,5)	0,4 (+/-0,5)	0,4 (+/-0,4)	0	0,8 (+/-0,5)	0,9 (+/-0,4)

Opis skrótów. Wymiary: Y – głębokość, Z – podłużny, X – poprzeczny, RTN – rotacja, mm – milimetry

eliminowanie błędów wynikających z różnic w nakładaniu obrazów na każdym z etapów oraz z odmiennej u każdego technika precyzji w pozycjonowaniu chorego.

Ewentualne błędy systematyczne wynikające z kurczenia się maski (ok. 1,5mm po dobie od wykonania) – zostały wykluczone już przed rozpoczęciem obecnego badania poprzez wykonywanie TK dla celów planowania leczenia następnego dnia po wizycie pacjenta w modelarni.

Retrospektywna analiza wykazała rozbieżności w ułożeniu chorych na każdym etapie leczenia. Każde z przesunięć mieściło się w granicy tolerancji błędu ułożenia (2 mm) określonej dla SRS w Zakładzie Teleradioterapii CO-I. Na podstawie otrzymanych danych (tabela 2 i 3) stwierdzono wyższe wartości średniego przesunięcia chorych w każdej osi, tj. X, Y, Z na stole przyspieszacza liniowego w porównaniu do symulacji leczenia. Wydaje się, że może być to powiązane z samym podejściem pacjentów do radioterapii i stresem związanym z właściwym etapem leczenia [12]. Nie zaobserwowano wpływu płci pacjenta na występowanie określonych błędów w ułożeniu głowy. Inne przyczyny odchyłań standardowych mogą wynikać z aspektów *stricte* technicznych, np. innym pozycjonowaniem głowy chorego w masce, niewłaściwym dopasowaniem uszu w tylnej części maski – stąd duże różnice w ułożeniu chorych obserwuje się w osi Z. Dlatego też kluczowym elementem wysokiej jakości SRS jest dopilnowanie przez personel obecny na etapie wykonywania maski, aby przylegała ona jak najściślej do głowy chorego, z uwzględnieniem jego komfortu. Wygoda chorego jest równie ważna jak aspekt techniczny, ponieważ warunkuje dobrą współpracę pacjenta z technikami [12], co przekłada się na lepsze wyniki odtwarzalności ułożenia głowy.

Zależność komfort pacjenta – wynik ułożenia dobrze obrazuje analiza uzyskanych wyników pod kątem rodzaju użytej maski: z gryzakiem lub bez niego. W przypadku oceny wartości rotacji głowy mniejsze rozbieżności w ułożeniu odnotowuje się u chorych, u których używano masek bez gryzaka (tabela 8). Zjawisko to może wynikać z faktu, iż pacjenci łatwiej układają głowę w masce, kiedy nie odczuwają dyskomfortu związanego z pozycjonowaniem gryzaka. Natomiast maska z gryzakiem może sprawiać trudność we właściwym jej pozycjonowaniu, stąd głowa jest bardziej zrotowana (tabela 7). Co ważne - wartości średnie przesunięcia w tej grupie malały z każdym kolejnym

etapem leczenia, co wskazuje na poprawne ustawienie gryzaka, jak również przyzwyczajenie chorego do prawidłowego jego umiejscowienia w jamie ustnej z biegiem czasu.

W grupie chorych w maskach bez gryzaka, na etapie symulacji wstępnej, jak i zasadniczej, średnie przesunięcia pacjentów były większe w każdej osi. Przyczyną tych różnic może być fakt, iż pacjenci pozycjonowani przy użyciu masek bez gryzaka mogą mieć większą możliwość ruchu w kierunku dogłowym lub w kierunku nóg, co może ujawnić się w postaci różnic w układaniu głowy w osi Z.

Podobne wyniki do powyższej analizy otrzymał Masi i wsp. [13], który w swoim badaniu wykazał mniejsze przesunięcia w ułożeniu w grupie chorych w maskach z gryzakami w porównaniu do grupy w maskach bez tego elementu pozycjonującego.

W każdej powyższej grupie, we wszystkich trzech osiach, obserwowano wysokie wartości SD, wskazujące na rozbieżności w ułożeniu poszczególnych chorych. Wyjaśnieniem tego może być fakt, iż we wszystkich grupach pacjentów bywały przypadki chorych z dużymi przesunięciami w każdej osi oraz w zakresie rotacji głowy od początku planowania leczenia.

Reasumując – wykazano, że przesunięcia w ułożeniu głowy uzyskane podczas pozycjonowania chorych z wykorzystaniem maski nieinwazyjnej są na tyle małe, że metoda ta może być rutynowo stosowana w praktyce klinicznej, również w Zakładzie Radioterapii CO-I w Warszawie, w celu poprawy komfortu pacjentów podczas SRS. Zbliżone wyniki uzyskała Lewcio-Szczęśna [14] w badaniu dotyczącym odtwarzalności ułożenia chorego w masce BrainLab podczas wielofrakcyjnej radioterapii stereotaktycznej zmian w OUN. Ramakrishna wraz z zespołem [15] przeprowadził analizę, w której porównywał odtwarzalność ułożenia pacjentów unieruchamianych z wykorzystaniem ramy stereotaktycznej oraz maski termoplastycznej. Uzyskane przez niego wyniki wykazały większe wartości przesunięć w ułożeniach chorych przy wykorzystaniu masek termoplastycznych. Wartości te mieściły się w normach wyznaczonych dla techniki stereotaktycznej, co stanowiło podstawę do stosowania tej nieinwazyjnej metody w codziennej praktyce. Dincoglan i wsp. [16] przeprowadzili analizę odtwarzalności ułożeń pacjentów leczonych SRS z powodu zmian przerzutowych w OUN, których głowy unieruchamiano przy użyciu masek termoplastycznych w celu zwiększenia komfortu chorych w trakcie terapii. Wyniki analizy potwierdziły, iż prze-

sunięcia w pozycjonowaniu pacjentów z wykorzystaniem masek stereotaktycznych mieszczą się zakresie tolerancji wyznaczonym dla SRS, przy czym metoda ta jest znacznie bardziej komfortowa dla chorych w porównaniu do metod inwazyjnych. Zbliżone wyniki uzyskał Shields i wsp. [17], badając efektywność SRS jako nieinwazyjnej metody leczenia neuralgii nerwu trójdzielnego. W swojej pracy podkreśla on dużą precyzję techniki z wykorzystaniem masek termoplastycznych oraz komfort pacjentów, których głowy unieruchamiano w ten sposób. Jednak podobnie jak Zhan i wsp. [18] kładzie nacisk na konieczność użycia systemów sterowania obrazem w przypadku stabilizacji chorego przy pomocy nieinwazyjnej maski termoplastycznej.

WNIOSKI

Podsumowując, jakkolwiek nieinwazyjne pozycjonowanie cechuje się dużą precyzją, to nadal istnieją niewielkie rozbieżności co do powtarzalności ułożenia głowy chorych podczas planowania i realizacji SRS.

Pomimo występowania rozbieżności w pozycjonowaniu pacjentów, w każdym przypadku przeprowadzona SRS była leczeniem o najwyższej jakości. Wypracowanie ujednoczonych standardów dla procedur SRS pozwoliłoby w przyszłości uniknąć rozbieżności podczas pozycjonowania chorych w trakcie poszczególnych etapów leczenia. Leczenie z wykorzystaniem technik stereotaktycznych powinno być wykonywane przez zespół wykwalifikowanych i doświadczonych techników, co stanowiłoby gwarancję jakości SRS.

- | | |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Spych M, Fijuth J, Klonowicz M i wsp.: Techniki stereotaktyczne w radioterapii guzów ośrodkowego układu nerwowego. <i>Onkol Prakt Klin</i> 2007;3:135 – 139. 2. Larsson B: Radiobiological Fundamentals Radiosurgery; in Steiner L (ed): Radiosurgery: Baseline and Trends. New York, Raven Press, 1992, s. 3-15. 3. Leksell L: The stereotactic method and radiosurgery of the brain. <i>Acta Chir Scand</i> 1951;102:316-319. 4. Betti O O, Derechinski V E: Hyperselective encephalic irradiation with linear accelerator. <i>Acta Neurochir Supp</i> 1984; 33: 385-390 5. Adamska K, Smół S, Majewski T i wsp.: Radioterapia stereotaktyczna guzów mózgu. <i>Neuroskop</i> 2005;7:60-66. 6. Narożny W: Radiochirurgia stereotaktyczna jako przyszłościowa metoda leczenia guzów kąta mostowo-mózdkowego. <i>Otolaryngologia</i> 2009;8(2):53-60. 7. Walter C, Rahn A, Wertz H i wsp.: Repositioning accuracy of two different mask systems-3D revisited: comparison using true 3D/3D matching with cone-beam CT. <i>Int J Radiat Oncol Biol Phys</i> 2009;66:1568-75. 8. Minniti G, Scaringi C, Clarke E i wsp.: Frameless linac-based stereotactic radiosurgery (SRS) for brain metastases: analysis of patient repositioning using a mask fixation system and clinical outcomes. <i>Radiat Oncol</i> 2011;6:158. 9. Tryggstad E, Christian M, Ford E: Inter- and Intrafraction Patient Positioning Uncertainties for Intracranial Radiotherapy: A Study of Four Frameless, Thermoplastic Mask-Based Immobilization Strategies Using Daily Cone-Beam CT. <i>Int J Radiat Oncol Biol Phys</i> 2011;80(1):281-290. 10. Rubinstein A E, Ingram W S, Anderson B M i wsp.: Cost-effective immobilization for whole brain radiation therapy. <i>J Appl Clin Med Phys</i> 2017;18(3):1-7. | <ol style="list-style-type: none"> 11. Bielski A, Ciuryło R: Podstawy metod opracowania pomiarów. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2001;16-21. 12. Poznachowska M, Klonowska A, Borkowska A: Psychologiczne aspekty leczenia radioterapią. Znaczenie komunikacji pomiędzy technikiem radioterapii a pacjentem w redukcji lęku związanego z leczeniem. <i>Med Paliat Prakt</i> 2014;8,3:108-114. 13. Masi L, Casamassima F, Polli C i wsp.: Cone beam CT image guidance for intracranial stereotactic treatments: comparison with a frame guided set-up. <i>Int J Radiat Oncol Biol Phys</i> 2008;71:926-33. 14. Lewcio-Szczęśna K, Hempel D, Sierko E i wsp.: Repositioning accuracy of BrainLab thermoplastic mask system for intracranial hypofractionated stereotactic radiotherapy. <i>Onkologia i Radioterapia</i> 2016;4(38):27-33. 15. Ramakrishna N, Rosca F, Friesen S i wsp.: A clinical comparison of patient setup and intra-fraction motion using frame-based radiosurgery versus a frameless image-guided radiosurgery system for intracranial lesions. <i>Radiother Oncol</i> 2010;95:109-15. 16. Dincoglan F, Beyzadeoglu M, Sager O i wsp.: Image-guided positioning in intracranial non-invasive stereotactic radiosurgery for the treatment of brain metastases. <i>Tumori</i> 2012;98:630-5. 17. Shields L B E, Shanks T S, Shearer A J i wsp.: Frameless image-guided radiosurgery for trigeminal neuralgia. <i>Surg Neurol Int</i> 2017;8:87. 18. Zhan M, Zhang Q, Gan H i wsp.: Setup uncertainties in linear accelerator based stereotactic radiosurgery and a derivation of the corresponding setup margin for treatment planning. <i>Phys Med</i> 2016;32(2):379-385. |
|---|---|