

Odtwarzalność pozycji przy użyciu maski termoplastycznej do systemu BrainLab w napromienianiu zmian śródczaszkowych techniką hipofrakcjonowanej radioterapii stereotaktycznej

Klaudia Lewcio-Szczęśna¹, Dominika Hempel^{2,3}, Marek Z. Wojtukiewicz², Ewa Sierko^{2,3}

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

² Department of Oncology, Medical University of Białystok, Poland

³ Department of Radiotherapy, Comprehensive Cancer Center in Białystok, Poland

STRESZCZENIE

Zasadniczą kwestią w leczeniu zmian śródczaszkowych przy użyciu hipofrakcjonowanej radioterapii stereotaktycznej (ang. hypofractionated stereotactic radiotherapy, HSRT) jest dokładne unieruchomienie pacjenta. Celem badania była ocena dokładności układania pacjentów do napromieniania zmian śródczaszkowych metodą HSRT pod kontrolą radiograficzną przy użyciu dostępnych na rynku masek termoplastycznych do systemu BrainLab. W analizie retrospektywnej oceniono dane 32 chorych leczonych za pomocą HSRT w Zakładzie Radioterapii Instytutu Onkologii w Warszawie. Wszystkich chorych unieruchamiano stosując maski termoplastyczne BrainLab. Radiograficzne obrazy portalowe porównywano z cyfrowo rekonstruowanymi radiogramami DRR (Digital Reconstruction Radiographs) w celu oceny przesunięć w czasie symulacji oraz przed wybranymi frakcjami napromieniania. Analizie poddano przesunięcia w osiach X (bocznej), Y (podłużnej) oraz Z (pionowej), określających izocentrum, a także rotację. Obliczono wartości średnie i odchylenia standardowe. Wyniki oceniano względem wieku i płci pacjentów oraz rodzaju zastosowanej maski stereotaktycznej. Zmiany ułożenia mieściły się w granicach tolerancji (mniej niż 2 mm), zarówno przed leczeniem, jak i w trakcie HSRT. Największe średnie odchylenia odnotowano w osiach Y i Z oraz podczas wstępnych symulacji dla wszystkich pacjentów. Największe różnice w rotacji głowy obserwowano także w czasie wstępnych symulacji dla obu płci. Rotacja podczas realizacji leczenia zwiększała się wraz z wiekiem chorych. Większe błędy ułożenia we wszystkich osiach odnotowano dla pacjentów unieruchomionych przy użyciu masek bez ustnika. Pomimo występowania błędów ułożenia leczenie charakteryzowała bardzo duża dokładność. Parametry przesunięć nie przekraczały marginesu tolerancji określonego w Zakładzie Radioterapii. W dalszej standaryzacji procedur SRT należy redukować występowanie błędów ułożenia.

Słowa kluczowe: maska termoplastyczna do systemu BrainLab, hipofrakcjonowana radioterapia stereotaktyczna, guzy mózgu

Adres do korespondencji: Ewa Sierko
Department of Oncology, Medical University of Białystok
12 Ogrodowa St., 15-025 Białystok, Poland
Phone 48-85-6646734; e-mail ewa.sierko@iq.pl

Liczba słów: 2205 **Tabele:** 5 **Ryciny:** 0 **Piśmiennictwo:** 13

Received: 14.11.2016
Accepted: 12.12.2016
Published: 30.12.2016

WSTĘP

Na przestrzeni ostatniego dziesięciolecia znacznie wzrosło zastosowanie hipofrakcjonowanej radioterapii stereotaktycznej (ang. *hypofractionated stereotactic radiotherapy*, HSRT) w leczeniu pierwotnych oraz wtórnych zmian w mózgu [1]. W 1951 roku znamienity neurochirurg Lars Leksell, poprzez wdrożenie techniki radioterapii stereotaktycznej (ang. *stereotactic radiotherapy*, SRS), całkowicie zmienił sposób leczenia guzów mózgu [2]. Zaawansowane technologie oparte na unieruchomieniu chorych przy użyciu ram stereotaktycznych oraz zastosowaniu Co60 jako źródła napromieniania (nóż gamma) stały się alternatywą dla chirurgii. W roku 1984 Betti i Derechinsky zaprezentowali akcelerator liniowy do radioterapii stereotaktycznej. Kolejnym ważnym osiągnięciem było wprowadzenie przez Lutza nieinwazyjnych urządzeń służących do unieruchamiania głowy pacjentów na stole radioterapeutycznym, co dało początek erze frakcjonowanej radioterapii stereotaktycznej. Obecnie stosuje się również specjalnie dedykowane, zaawansowane systemy, jak Cyberknife czy aparat Tomotherapy [3].

W przeciwieństwie do SRS z użyciem jednej frakcji napromieniania, która nadal jest powszechnie stosowana u chorych ze zmianami śródczaszkowymi, HSRT jest z radiobiologicznego punktu widzenia korzystna dla wrażliwych struktur mózgowia. Ponadto nieinwazyjne ramy unieruchamiające głowę pacjentów, mające na celu zapewnienie optymalnego leczenia przez wiele dni lub tygodni, są wygodnym rozwiązaniem dla chorych niechętnych do poddawania się zabiegom inwazyjnym. Odpowiednia immobilizacja pacjenta, precyzyjna lokalizacja objętości leczonej oraz dokładne ponowne układanie pacjenta do leczenia to kwestie kluczowe w HSRT.

Obecnie zaleca się zastosowanie dostępnych na rynku indywidualnych masek stereotaktycznych z opcją ustnika, dzięki którym głowę można unieruchomić w sposób nieinwazyjny, a zarazem skuteczny. Maski mocuje się do stołu radioterapeutycznego zgodnie z parametrami systemu planowania leczenia. Dostarczanie wysokich dawek promieniowania do mózgu wymaga bardzo dobrych metod obrazowania oraz określania granic zmiany, a także obrysowania objętości tarczowej i krytycznych narządów narażonych (ang. *organs at risk* OaR). Kontrola obrazowa leczenia radioterapeutycznego jest nieodzownym elementem HSRT. Ta wieloetapowa technika wymaga ścisłej współpracy specjalistów tworzących wielodyscyplinarne zespoły, w skład których wchodzi lekarze onkolodzy, fizycy medyczni oraz radioterapeuci odpowiedzialni za unieruchomienie pacjentów i weryfikację ich ułożenia w czasie HSRT. Ponieważ zapewnienie jakości jest zasadniczym celem planowania i realizacji radioterapii, okresowa kontrola jakości unieruchomienia pacjentów jest konieczna na każdym oddziale radioterapii. Jest ona szczególnie ważna w przypadku tak zaawansowanych technik, jak HSRT [4, 5].

Celem badania była ocena danych jednego ośrodka dotyczących dokładności układania pacjentów ze zmianami śródczaszkowymi do HSRT oraz ich unieruchamiania za pomocą masek termoplastycznych do systemu BrainLab.

MATERIAŁ I METODA

W Zakładzie Radioterapii Instytutu Onkologii w Warszawie leczono za pomocą HSRT 32 chorych z pierwotnymi lub wtórnymi guzami mózgu. Wiek chorych na początku leczenia mieścił się w przedziale 22–79 lat (średnio 56

lat). Szczegółową charakterystykę pacjentów oraz zmian przedstawia tabela 1.

Ułożenie i unieruchomienie pacjentów

Pacjentów układano w pozycji leżącej na plecach na indywidualnie przygotowanych podpórkach pod głowę wspartych maską termoplastyczną do systemu BrainLab nakładaną wokół głowy. W celu precyzyjnego ponownego ułożenia chorych do leczenia stosowano inne indywidualnie dobierane akcesoria, jak ustnik (28/32 pacjentów, 87%), stabilizator kolan Kneefix lub Styrofoam. Ponieważ jedynie 4 pacjentów unieruchamiano z użyciem maski bez ustnika, z grupy, w której stosowano ustniki, losowo wybrano co piątego chorego celem porównania dokładności ułożenia pacjentów w zależności od rodzaju unieruchomienia (maska z lub bez ustnika).

Odtwarzalność pozycji pacjenta weryfikowano w czasie wstępnej symulacji co najmniej dwanaście godzin po wykonaniu maski. Zgodnie z protokołem obowiązującym w Zakładzie Radioterapii Instytutu Onkologii ułożenie pacjenta sprawdzano co najmniej dwukrotnie w czasie symulacji wstępnej. Mianowicie wykonano ortogonalne obrazy radiograficzne w projekcji 0° i 90° oraz porównano je w systemie *Simulation Acquisition* wersja 8.6. Następnie uzyskano obrazy tomograficzne mózgu pacjentów unieruchomionych w pozycji terapeutycznej z pudłem lokalizacyjnym umożliwiającym identyfikację obszaru napromieniania w badaniu obrazowym. Dane przesłano do systemu BrainSCAN, w którym dzięki fuzji obrazów MR, PET i TK możliwy jest precyzyjny wybór obszaru napromieniania. Układ współrzędnych umożliwia lokalizację obszaru leczenia w stosunku do ramy stereotaktycznej w osiach X, Y i Z.

Tab. 1. Charakterystyka pacjentów ze zmianami śródczaszkowymi leczonymi przy użyciu hipofrakcjonowanej radioterapii stereotaktycznej (HSRT). Spis skrótów: NSLC – niedrobnokomórkowy rak płuc; KPS – stan sprawności wg skali Karnofskiego

Charakterystyka	Liczba badanych (%)
Liczba wszystkich pacjentów	32 (100%)
Płeć	
Mężczyźni	12 (37,5%)
Kobiety	20 (62,5%)
KPS	
≥70	31
<70	1
Rodzaj napromienianego guza	
Przerzuty raka płuc	1 (3,1%)
Przerzuty raka piersi	2 (6,3%)
Przerzuty czerniaka	2 (6,3%)
Pierwotny guz mózgu	15 (46,9%)
Pierwotny guz opon mózgowych	7 (21,9%)
Pierwotny guz przysadki	2 (6,3%)
Inne	3 (9,3%)

Przed realizacją HSRT (tego samego dnia bądź w przeddzień) pacjenta ponownie układano do tak zwanej finalnej symulacji. Wykonano zdjęcia ortogonalne, które następnie porównano z obrazami uzyskanymi w symulacji wstępnej. Ilość korekt pozycji pacjenta w czasie tej procedury zależy od błędów ułożenia. Margines dla przesunięć pozycji głowy chorego, zatwierdzony w Zakładzie Radioterapii Instytutu Onkologii, wynosi 2 mm. Tak więc jeśli odchylenie nie przekraczało 2 mm, pacjenta unieruchamiano tylko raz. Gdy zaś wartości przekraczały tę granicę, procedurę unieruchomienia powtarzano.

Kontrola obrazowa – analiza błędów ułożenia

Radiogramy ortogonalne wykonywano przed wybranymi frakcjami HSRT i porównywano z odpowiadającymi im cyfrowo rekonstruowanymi radiogramami DRR uzyskanymi w finalnej symulacji w programie *RT Chart* wersja 10.0. Zdjęcia portalowe wykonywano przed pierwszymi 3 frakcjami leczenia, a następnie co 3 frakcje z wyjątkiem protokołu zakładającego w sumie w 5 frakcji HSRT (w tym przypadku obrazy uzyskiwano przed każdym seansem terapeutycznym). Przesunięcia ułożenia głowy mierzono w trzech kierunkach: X (bocznym), Y (podłużnym) i Z (pionowym), oraz analizowano w odniesieniu do szeregu zmiennych: płci, rodzaju maski (z lub bez ustnika) oraz fazy leczenia (wstępna, finalna symulacja oraz realizacja napromieniania). Do analizy błędów u-

żenia w czasie planowania i realizacji leczenia użyto programu *Simulation Acquisition* wersja 8.6. Obliczono wartości średnie przesunięć oraz odchylenia standardowe, które wykorzystano do przedstawienia wyników.

W leczeniu zastosowano wiązki fotonowe 6 MV generowane przez liniowy akcelerator Varian 2 (V2) z zainstalowanym dedykowanym do SRT mikroklimatem.

Rotacja głowy

Analizowano także rotację głowy pacjentów w masce stereotaktycznej. Niestety dokładna ocena w programie komputerowym dostępnym na sali do radioterapii nie jest możliwa. Jednak program *RT Chart* wersja 10.0 daje możliwość takiej oceny off-line. Technicy z zespołu jakości leczenia precyzyjnie mierzyli rotację głowy stosując manualną lub automatyczną analizę uzyskanych obrazów.

Obliczenia statystyczne

Dane analizowano statystycznie w programach Microsoft Excel oraz Statistica wersja 10. Ze względu na liczebność badanej grupy w celu weryfikacji hipotez zastosowano test chi kwadrat Pearsona, chi kwadrat NW (największej wiarygodności) oraz test rang Spearmana. Przyjęto poziom ufności 0,05. Hipotezę potwierdzono przy spełnieniu następującego warunku: $\text{Chi}2 < \text{Chi}2(005)$, gdzie wartość Chi2, uzyskana obliczając wartości testowe, była niższa niż wartość w tablicach rozkładu z poziomem uf-

Tab. 2. Porównanie przesunięć ułożenia głowy we wszystkich trzech osiach (X, Y, Z) oraz rotacji głowy między wstępną (a) i finalną (b) symulacją napromieniania guza mózgu z użyciem techniki hipofrakcjonowanej radioterapii stereotaktycznej względem płci. X – oś boczna, Y – oś podłużna, Z – oś pionowa, mm – milimetry

	Przesunięcia pozycji głowy [średnia, mm]							
	Kierunek, (gantry)						Rotacja, (gantry)	
	X (0°)	X (90°)	Y (0°)	Y (90°)	Z (0°)	Z (90°)	(0°)	(90°)
a. SYMULACJA WSTĘPNA								
Kobiety	0,8 (+/-0,7)	0	0	1,0 (+/-0,6)	1,3 (+/-0,6)	0,6 (+/-0,5)	1,2 (+/- 0,4)	1,0 (+/-0,7)
Mężczyźni	0,9 (+/-1,0)	0	0	0,8 (+/-0,7)	0,5 (+/-0,6)	1,0 (+/-0,9)	1,2 (+/-0,5)	0,5 (+/-0,7)
b. SYMULACJA FINALNA								
Kobiety	0,5 (+/-0,6)	0	0	0,8 (+/-0,9)	1,0 (+/-0,5)	1,0 (+/-0,9)	0,6 (+/-0,4)	1,0 (+/-0,7)
Mężczyźni	0,3 (+/-0,4)	0	0	0,6 (+/- 0,9)	0,3 (+/-0,5)	0,8 (+/-0,9)	0,8 (+/-1,1)	0,9 (+/-0,7)

ności 0,05 ($\text{Chi}2(0,05)$) dla obliczonej wartości stopni swobody (df) i jeśli poziom istotności (p) był większy bądź równy 0,05. W analizie korelacji zastosowano współczynnik korelacji rang Spearmana, czyli nieparametryczny test zależności statystycznej między zmiennymi losowymi.

Projekt badania został zatwierdzony przez lokalną Komisję Bioetyczną Uniwersytetu Medycznego w Białymstoku.

WYNIKI

Przesunięcia we wstępnej i finalnej symulacji

Immobilizacja w systemie BrainLab umożliwiła wysoką odtwarzalność pozycji we wstępnej i finalnej symulacji. Przesunięcia pozycji głowy

pacjentów we wszystkich trzech kierunkach (X, Y, Z) nie przekraczały marginesu 2 mm i mieściły się w granicach tolerancji. Przesunięcia we wstępnej symulacji były nieco większe niż w finalnej. Średnie wartości rozbieżności w procedurach przed rozpoczęciem leczenia przedstawia tabela 2.

Liczba korekt pozycji różniła się w symulacji wstępnej i finalnej. Jednak w czasie symulacji finalnej większość pacjentów (20/32) układowano tylko raz.

Biorąc pod uwagę rodzaj maski (z lub bez ustnika) stosowanej w celu unieruchomienia pacjentów przesunięcia głowy były większe w maskach bez ustnika, zarówno w czasie wstępnej, jak i finalnej symulacji, ale wartości przesunięć nie przekraczały 2 mm (Tab. 3).

Tab. 3. Porównanie przesunięć ułożenia głowy we wszystkich trzech osiach (X, Y, Z) oraz rotacji głowy między wstępną (a) i finalną (b) symulacją napromieniania guza mózgu z użyciem techniki hipofrakcjonowanej radioterapii stereotaktycznej względem rodzaju maski (z ustnikiem lub bez) dla 4 pacjentów unieruchomionych z użyciem maski bez ustnika i 4 losowo wybranych, u których zastosowano maskę z ustnikiem. X – oś boczna, Y – oś podłużna, Z – oś pionowa, mm – milimetry

	Przesunięcia pozycji głowy [średnia, mm]							
	Kierunek, (gantry)						Rotacja, (gantry)	
	X (0°)	X (90°)	Y (0°)	Y (90°)	Z (0°)	Z (90°)	(0°)	(90°)
a. SYMULACJA WSTĘPNA								
Maska z ustnikiem	1,5 (+/-1,0)	0	0	1,0 (+/-0,8)	1,0 (+/-0,5)	1,2 (+/-1,0)	1,3 (+/-0,5)	0,8 (+/-1,0)
Maska bez ustnika	0,8 (+/-1,0)	0	0	1,3 (+/-0,5)	1,3 (+/-0,6)	1,0 (+/-0,5)	1,2 (+/-0,4)	1,0 (+/-0,5)
b. SYMULACJA FINALNA								
Maska z ustnikiem	1,2 (+/-0,8)	0	0	1,0 (+/- 0,8)	0,9 (+/-0,5)	1,0 (+/-0,8)	0,9 (+/-0,5)	0,5 (+/-0,3)
Maska bez ustnika	0,8 (+/-1,0)	0	0	1,2 (+/-0,5)	1,0 (+/-0,6)	1,0 (+/-0,5)	1,0 (+/-0,5)	1,0 (+/-0,6)

Tab. 4. Porównanie przesunięć ułożenia głowy we wszystkich trzech osiach (X, Y, Z) oraz rotacji głowy przed wybraną frakcją w czasie napromieniania guza mózgu z użyciem techniki hipofrakcjonowanej radioterapii stereotaktycznej względem płci. X – oś boczna, Y – oś podłużna, Z – oś pionowa, mm – milimetry

	Przesunięcia pozycji głowy [średnia, mm]							
	Kierunek, (gantry)						Rotacja, (gantry)	
	X (0°)	X (90°)	Y (0°)	Y (90°)	Z (0°)	Z (90°)	(0°)	(90°)
Kobiety	1,2 (+/-0,4)	0	0	1,0 (+/-0,8)	1,0 (+/-0,5)	0,8 (+/-0,4)	0,6 (+/-0,5)	0,3 (+/-0,5)
Mężczyźni	0,9 (+/-0,8)	0	0	1,3 (+/-0,8)	1,0 (+/-0,4)	0,9 (+/-0,5)	0,5 (+/-0,6)	0,4 (+/-0,5)

Rotacja głowy i liczba korekt w czasie symulacji nie różniły ze względu na płeć ($p > 0,05$).

Przesunięcia w czasie hipofrakcjonowanej radioterapii stereotaktycznej

Błędy ułożenia w czasie HSRT mieściły się w granicach tolerancji dla wszystkich pacjentów (Tab. 4.). Przesunięcia we wszystkich trzech kierunkach (X, Y, Z) nie przekraczały marginesu 2 mm. Największe odchylenia obserwowano w kierunkach Y i Z (Tab. 4.).

Podobnie jak w procedurach przed rozpoczęciem leczenia wartości przesunięć mierzone bezpośrednio przed radioterapią były większe w grupie pacjentów stosujących maski bez ustnika w porównaniu z chorymi, którzy używali masek z ustnikiem, ale nie przekraczały one marginesu 2 mm (Tab. 5.).

Rotacja głowy przed wybraną frakcją HSRT nie różniła się między grupą kobiet i mężczyzn ($p > 0,05$). W przeciwieństwie do płci wiek wpływał na dokładność układania pacjentów w sposób istotny statystycznie ($p < 0,05$): rotacja zwiększała się wraz z wiekiem.

Planowany czas leczenia

Oceniono także czas przeprowadzania procedur w ramach planowania leczenia oraz czas od finalnej symulacji do właściwego napromieniania. U większości chorych okres czasu między wstępną a finalną symulacją nie przekraczał 7 dni. Jednak połowa pacjentów (16/32) na rozpoczęcie leczenia czekała dłużej niż 7 dni od zakończenia symulacji finalnej.

DYSKUSJA

Dokładne układanie pacjentów do napromieniania techniką HSRT jest kwestią zasadniczą

w zapewnieniu jakości dawkowania, co z kolei jest kluczowe dla kontroli choroby i redukcji toksyczności [6,7]. Na rynku dostępnych jest wiele nieinwazyjnych, opartych o użycie masek systemów unieruchamiania dedykowanych do HSRT [8]. Jednak wadą tego typu systemów jest przemieszczanie urządzenia oraz możliwość wystąpienia rozbieżności w trakcie planowania i realizacji radioterapii. W niniejszym badaniu w sposób retrospektywny oceniono dokładność układania pacjentów do HSRT przy unieruchamianiu za pomocą maski termoplastycznej do systemu BrainLab. Analizie poddano przesunięcia w osiach X (bocznej), Y (podłużnej) oraz Z (pionowej) określających położenie izocentrum, a także rotację w procedurach przeprowadzanych przed leczeniem i w jego trakcie.

W pierwszej kolejności oceniono przesunięcia w trakcie wstępnej i finalnej symulacji. Wartości przesunięć we wszystkich kierunkach mieściły się w granicach tolerancji, co wskazuje, że oceniany system zapewnia wysoką jakość odtwarzalności pozycji pacjenta. Jak oczekiwano, największe rozbieżności pojawiły się w czasie wstępnej symulacji, co tłumaczyć można wyższym poziomem stresu odczuwanym przez pacjentów rozpoczynających planowanie leczenia. Ponadto możliwe, iż pacjenci nie otrzymali dostatecznych informacji odnośnie do unieruchomienia przed wstępną symulacją, bądź ich edukacja w tym zakresie była zbyt krótka.

Należy zaznaczyć zależność wartości rotacji od wieku chorych. Większe błędy obserwowano u pacjentów starszych. Oznacza to, iż takim pacjentom należy poświęcić szczególną uwagę w trakcie instruowania. Co więcej należy również podkreślić wagę wsparcia emocjonalnego pacjentów oraz przekazywania szczegółowych informacji dotyczących konieczności precyzyj-

Tab. 5. Porównanie przesunięć ułożenia głowy we wszystkich trzech osiach (X, Y, Z) oraz rotacji głowy przed wybraną frakcją w czasie napromieniania guza mózgu z użyciem techniki hipofrakcjonowanej radioterapii stereotaktycznej względem rodzaju maski (z ustnikiem lub bez) dla 4 pacjentów unieruchomionych z użyciem maski bez ustnika i 4 losowo wybranych, u których zastosowano maskę z ustnikiem. X – oś boczna, Y – oś podłużna, Z – oś pionowa, mm – milimetry

	Przesunięcia pozycji głowy [średnia, mm]							
	Kierunek, (gantry)						Rotacja, (gantry)	
	X (0°)	X (90°)	Y (0°)	Y (90°)	Z (0°)	Z (90°)	(0°)	(90°)
Maska z ustnikiem	1,0 (+/-0,5)	0	0	1,0 (+/-0,8)	0,7 (+/-0,5)	1,0 (+/-0,8)	0,5 (+/-1,0)	0,5 (+/-0,6)
Maska bez ustnika	0,3 (+/-0,5)	0	0	1,0 (+/-0,8)	1,0 (+/-0,6)	1,0 (+/-0,6)	0,8 (+/-0,5)	0,8 (+/-0,5)

nego ułożenia przed rozpoczęciem symulacji. Należy powiedzieć choremu, aby zgłaszał każde uczucie dyskomfortu związane z pozycją głowy, maski lub ustnika. W instruowaniu pacjentów odnośnie do ważnych aspektów unieruchomienia pomóc mogą specjalne modele lub fantomy. Wielokrotne zmienianie ułożenia w czasie wstępnej symulacji oraz weryfikacja odtwarzalności pozycji w czasie finalnej symulacji mogą pomóc wyeliminować błędy randomowe w czasie HSRT. Dlatego też dwu- lub nawet trzykrotna korekta pozycji w czasie wstępnej symulacji jest całkowicie uzasadniona.

Kolejnym ważnym aspektem nieinwazyjnego systemu BrainLab jest odtwarzalność podczas realizacji HSRT. Co interesujące, błędy ułożenia pacjentów we wszystkich osiach obserwowane bezpośrednio przed napromienianiem nie przekraczały marginesu tolerancji i wynosiły mniej niż 2 mm bez względu na płeć i wiek chorych oraz liczbę korekt pozycji na symulatorze. Jak oczekiwano, mniejsze błędy ułożenia obserwowano u pacjentów unieruchamianych za pomocą maski z opcją ustnika, co stanowi kolejny dowód na to, że całą procedurę układania pacjenta charakteryzuje wysoka precyzja. Należy przeprowadzić większe badania, aby potwierdzić, że maski bez ustnika mogą być w sposób bezpieczny stosowane w codziennej praktyce w pewnych grupach chorych. Powyższe wyniki są spójne z wynikami poprzednich badań oceniających unieruchomienie w HSRT z zastosowaniem masek. Boda-Heggemann i wsp. [9] wykazali wysoką odtwarzalność pozycji przy zastosowaniu zarówno sztywnych systemów, jak i termoplastycznych masek. W innym badaniu Ruschin i wsp. [10] potwierdzili wysoką precyzję unieruchamiania głowy pacjentów za pomocą ramy z próżniowo modelowanym ustnikiem. Podobne do naszych wyniki uzyskali Masi i wsp. [11]. Autorzy zaobserwowali mniejsze błędy ułożenia w grupie chorych unieruchamianych za pomocą masek z ustnikiem w porównaniu do chorych stosujących maski bez ustnika. Warto również wspomnieć, że pozycjonowanie bez zastosowania ram jest również stosowane w radiochirurgii pod kontrolą obrazową, co dodatkowo potwierdza ideę nieinwazyjnego unieruchamiania. Ostatnie badania wykazały, że przy zastosowaniu masek przesunięcia nie przekraczają marginesu dopuszczalnego dla SRS, a nieinwazyjne metody mogą być stosowane rutynowo w praktyce klinicznej w celu poprawy komfortu pacjentów w czasie napromieniania [12,13].

Choć ogólne znakomite wyniki dotyczące dokładności układania pacjentów do HSRT z użyciem technik nieinwazyjnych potwierdzają zarówno nasze badanie, jak i literatura, nadal istnieją pewne niewiadome dotyczące odtwarzalności pozycji pacjenta [8,11]. W dodatku do aspektów opisanych powyżej w ocenie błędów ułożenia należy wziąć pod uwagę zmienność między oceniaczami specjalistami (*interobserver variability*). Na podstawie niniejszego badania niemożliwa jest ocena, czy zmienność ta mogła przyczynić się do powstania opisanych, nieistotnych błędów, ale być może, w pewnym stopniu, mogła ona wpłynąć na wyniki. Zarówno precyzyjność odtwarzalności pozycji na symulatorze i na stole radioterapeutycznym oraz obrazowa weryfikacja ułożenia zależą od jakości pracy radioterapeutów. Dlatego też seanse HSRT powinni zawsze przeprowadzać wysoce wykwalifikowani specjaliści. Być może stworzenie specjalnie wyszkolonych zespołów radioterapeutów mogłoby wyeliminować błędy wynikające np. z różnic w ocenie obrazów. Niemniej jednak Masi i wsp. [8] stwierdzili znikomą zależność od oceniaczego. Z drugiej strony istnieje prawdopodobieństwo, że odkształcenie maski wynikające z jej użytkowania prowadzi do zmian ułożenia obserwowanych w czasie leczenia (wartości mniejsze niż 2 mm).

Na koniec oceniono także czas procedur w ramach planowania leczenia oraz czas od zakończenia symulacji finalnej do właściwego napromieniania. W przypadku HSRT jak najszybsze rozpoczęcie leczenia jest istotne w celu uniknięcia działań niepożądanych leków sterydowych, zmian anatomicznych pacjentów i/lub pogorszenia ich stanu zdrowia. Niniejsze badanie wykazało, że wielu chorych musiało długo czekać na rozpoczęcie HSRT. Okres czasu od wstępnej do finalnej symulacji przekraczał 7 dni w prawie połowie przypadków. Podobnie okres czasu od symulacji do rozpoczęcia leczenia również przekraczał 7 dni w 50% przypadków. Co więcej 5/32 chorych musiało czekać na leczenie dłużej niż 14 dni. W celu redukcji całkowitego czasu planowania leczenia w Zakładzie Radioterapii należy stworzyć szczegółowy plan pracy dla każdej procedury.

WNIOSKI

Podsumowując, nieinwazyjne metody układania pacjentów do HSRT są zalecane ze względu na ich potwierdzoną skuteczność i większy komfort dla pacjenta. Jednak nadal nie można wyeliminować ryzyka błędów ułożenia. Biorąc

pod uwagę złożoność procesu planowania i realizacji leczenia stereotaktycznego współpraca między personelem medycznym a pacjentem jest kwestią istotną w zapewnieniu dokładności procedury. Aby zmniejszyć wartości przesunięć należy ustalić zasady zapewnienia jakości w procedurach HSRT oraz instruowania lekarzy, fizyków medycznych i radioterapeutów. Wdro-

żenie szczegółowo opisanych procedur mogłoby poprawić jakość leczenia.

Podziękowania

Autorzy składają podziękowania Pani Profesor Lucynie Kępcze za zaakceptowanie realizacji badania. Żaden z autorów nie zgłasza konfliktu interesów.

PIŚMIENNICTWO

1. Kwon AK, Dibiase SJ, Wang B i wsp.: Hypofractionated stereotactic radiotherapy for the treatment of brain metastases. *Cancer* 2009; 115: 890-8.
2. Leksell L. The stereotactic method and radiosurgery of the brain. *Acta. Chir Scand* 1951; 102: 316-319.
3. Andrews DW, Bednarz G, Evans JJ i wsp.: A review of 3 current radiosurgery systems. *Surgical Neurology* 2006; 66: 559-600.
4. Halasz LM, Rockhill JK i wsp.: Stereotactic radiosurgery and stereotactic radiotherapy for brain metastases. *Surgical Neurology* 2013; 4: 185.
5. Lippitz B, Lindquist Ch, Paddick i. wsp.: Stereotactic radiosurgery in the treatment of brain metastases: The current evidence. *Canc. Treatm.* 2014; 40: 48-59.
6. Kang KM, KangChai GY, Jeong BK i wsp.: Estimation of optimal margin for intrafraction movements during frameless brain radiosurgery. *Med. Phys* 2013; 40: 051716-1-9.
7. Yamamoto M, Serizawa T, Shuto T. Stereotactic radiosurgery for patients with multiple brain metastases: a multi-institutional prospective observational study. *The Lanc. Oncol.* 2014; 15: 387-395.
8. Engelsman M, Rosenthal SJ, Michaud SL. i wsp.: Schneider RJ, Bradley SG. Intra- and interfractional patient motion for a variety of immobilization devices. *Med. Phys.* 2005; 32: 3468-74.
9. 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. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2009; 66: 1568-75.
10. Ruschin M, Nayebi N, Carlsson P i wsp.: Performance of a novel repositioning head frame for gamma knife perfexion and image-guided linac-based intracranial stereotactic radiotherapy. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys* 2010; 78: 306-13.
11. Masi L, Casamassima F, Polli C i wsp.: Cone beam CT image guidance for intracranial stereotactic treatments: comparison with a frame guided set-up. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2008; 71: 926-33.
12. 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. *Radiother. Oncol.* 2010; 95: 109-15.
13. Dincoglan F, Beyzadeoglu M, Sager O i wsp.: Image-guided positioning in intracranial non-invasive stereotactic radiosurgery for the treatment of brain metastasi. *Tumori* 2012; 98: 630-5.