

Artykuły przeglądowe • Review articles

Procedury zapewnienia jakości radioterapii konformalnej i stereotaktycznej u chorych na nowotwory OUN

Jacek Fijuth¹, Lucyna Kępka², Wojciech Bulski³, Joanna Rostkowska³,
Małgorzata Kania³, Maria Kawczyńska³, Katarzyna Dyttus-Cebulok²

Postęp w zakresie technik obrazowania radiologicznego i komputerowych technik planowania leczenia pozwala na coraz bardziej precyzyjne, trójwymiarowe wyznaczanie obszaru do napromieniania i oszczędzanie prawidłowych struktur anatomicznych. Jest to szczególnie istotne w przypadku tkanek charakteryzujących się znacznym ryzykiem wywołania nasilonych zmian popromiennych, do jakich m.in. należy tkanka nerwowa. Z tego względu nowoczesne techniki radioterapii – konformalna i stereotaktyczna znajdują coraz szersze zastosowanie w przypadku guzów ośrodkowego układu nerwowego. Techniki te mogą być stosowane samodzielnie lub, w celu miejscowego podwyższenia dawki, w połączeniu ze standardową teleradioterapią. Autorzy, w oparciu o własne doświadczenie, przedstawiają zasady planowania i procedury zapewnienia jakości w realizacji powyższych technik radioterapii.

Quality assurance procedures in conformal and stereotactic radiotherapy of CNS tumours

The progress in techniques of diagnostic imaging and computerized treatment planning have allowed for more exact, three-dimensional contouring of PTV and have enhanced the sparing of normal anatomical structures. This is especially important in such regions as the central nervous system, where there exists a high risk of increased radiotherapy complications. For this reason such modern techniques of irradiation as conformal 3D-CRT and stereotactic radiotherapy are frequently used in case of tumors of central nervous system. These techniques can be used separately or, as a boost, in combination with standard external beam irradiation. The authors, basing upon their personal experience, present the outlines of treatment planning and QA procedures in conformal and stereotactic radiation therapy.

Słowa kluczowe: radioterapia stereotaktyczna, radiochirurgia

Key words: stereotactic radiotherapy, radiosurgery, conformal radiotherapy, CNS tumors

Radioterapia, stosowana samodzielnie lub w połączeniu z leczeniem chirurgicznym, jest zasadniczą metodą postępowania u chorych na nowotwory ośrodkowego układu nerwowego. Ograniczona tolerancja tkanki nerwowej na napromienianie uniemożliwia podanie, nawet na ograniczony obszar (np. płata mózgu), dawki całkowitej przekraczającej 60 Gy, bez znacznego wzrostu ryzyka powikłań popromiennych. Z tego względu, zwłaszcza w przypadku złośliwych nowotworów pochodzenia glejowego, skuteczność radioterapii jest niska. U chorych przeżywających dłuższy czas po leczeniu z zastosowaniem wysokiej dawki napromieniania na znaczną część mózgu, mogą pojawiać się objawy późnej reakcji popromiennej, istotnie pogarszające komfort życia. Jednym ze sposobów poprawienia

współczynnika terapeutycznego może być w tych przypadkach maksymalne i precyzyjne ograniczenie napromienianej objętości zdrowych tkanek poprzez zastosowanie technik konformalnych, których podstawą jest trójwymiarowe planowanie radioterapii. Szczególną formą konformalnej radioterapii, umożliwiającą względnie bezpieczne podanie wysokiej dawki promieniowania, jest stereotaktyczna radiochirurgia lub stereotaktyczna radioterapia frakcjonowana. Zastosowanie tych technik wymaga wprowadzenia i przestrzegania precyzyjnie zdefiniowanych procedur zapewnienia jakości. Poniżej przedstawiono, wypracowane na podstawie doświadczenia własnego oraz referencyjnych ośrodków europejskich, propozycje procedur zapewnienia jakości radioterapii konformalnej i stereotaktycznej u chorych na nowotwory ośrodkowego układu nerwowego [1].

Radioterapia konformalna

Radioterapia konformalna jest coraz częściej stosowaną techniką leczenia chorych na pierwotne i przerzutowe

¹ Zakład Radioterapii Katedry Onkologii
Uniwersytet Medyczny w Łodzi

² Zakład Teleradioterapii

³ Zakład Fizyki Medycznej
Centrum Onkologii - Instytut
im. Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie

guzy mózgu. Ma ona zastosowanie zwłaszcza w przypadku pierwotnych guzów łagodnych i nowotworów o niskim stopniu złośliwości, o ograniczonym i łatwym do określenia zasięgu dostępnymi metodami obrazowania. W przypadku nowotworów złośliwych może być metodą miejscowego podwyższenia dawki po wstępnej konwencjonalnej teleradioterapii. Thornton i wsp. [2] wykazali, że wprowadzenie trójwymiarowego planowania leczenia pozwoliło zmniejszyć o około 50% objętość mózgu zawartą w izodozie 95%, w porównaniu z planowaniem konwencjonalnym. Lichter i wsp. [3] wykazali, że planowanie 3D umożliwiło podanie na ograniczoną objętość mózgu dawki 70 Gy, bez wzrostu ryzyka powikłań. Ograniczenie obszaru napromieniania wysoką dawką, przy zachowaniu ogólnych zasad planowania uwzględniającego zachowanie należnego marginesu bezpieczeństwa, nie spowodowało wzrostu odsetka nawrotów brzeżnych i błędów geograficznych [4, 5]. Stosowanie technik konformalnych zazwyczaj wymaga wprowadzenia 5-6 pól wlotowych, filtrów klinowych (mechanicznych lub dynamicznych), osłon indywidualnych lub mikrokolimatorów wielolistkowych. W opinii Marksa i wsp. [6] w guzach nadnamiotowych, przy planowaniu radioterapii korzystniej jest stosować wiązki niewspółpłaszczyznowe zamiast współpłaszczyznowych. Haken i wsp. [7] zwracają uwagę na fakt, że użycie do planowania 3D rezonansu magnetycznego powoduje zwiększenie PTV o około 0,5 cm w wymiarze poprzecznym w stosunku do planowania z zastosowaniem TK. Zależność ta powinna być brana pod uwagę przy porównaniu danych pochodzących z różnych ośrodków, a także przy wyznaczaniu obszaru do napromieniania i wielkości osłon indywidualnych. W przypadku nowotworów mózgu przyjęto, że podobnie jak dla nowotworów regionu głowy i szyi, dopuszczalne jest 2,0 mm odchylenie, wynikające z błędów systematycznych i przypadkowych w odtwarzaniu zaplanowanych pól leczenia [8]. Błąd jest sprawdzany i odnotowany dla każdego z 3 kierunków osobno.

Zakładając, że maska orfitowa kurczy się 1,5 mm \pm 0,3 mm po upływie jednego dnia od jej wykonania [8, 9], rekomendowane jest wykonywanie tomografii komputerowej najwcześniej jeden dzień po wykonaniu maski, aby uniknąć błędu systematycznego, związanego z innym przyleganiem maski w czasie planowania w stosunku do symulacji i leczenia.

Radioterapia konformalna powinna być realizowana przy pomocy wiązek promieniowania generowanych przez wysokiej klasy akceleratory liniowe.

Zalecenia dotyczące realizacji poszczególnych etapów procedury są następujące:

1. Unieruchomienie chorego: indywidualna maska standardowa lub „stereotaktyczna” (specjalna maska stosowana w radioterapii stereotaktycznej).
2. Obrazowanie: przekroje z tomografii komputerowej zbierane co 2 mm (pożądany tomograf spiralny); w przypadku użycia maski „stereotaktycznej” zastosowanie odpowiedniego urządzenia lokalizacyjnego.
3. Możliwość wykorzystania do planowania obrazów z rezonansu magnetycznego (nakładanie obrazów TK i RM – „matching”).

4. Zebranie i rekonstrukcja danych anatomicznych:
 - 4.1. Punkty referencyjne: zewnętrzne znaczniki umieszczane na masce lub pudle lokalizacyjnym.
 - 4.2. Narządy krytyczne: zaznaczone na kolejnych przekrojach.
 - 4.3. Niejednorodność tkanki: wprowadzana automatycznie z TK.
 - 4.4. Obszar GTV: zaznaczony na kolejnych przekrojach.
 - 4.5. Obszar CTV: konturowany zgodnie z przyjętym zakresem marginesu.
5. Dobór wiązek promieniowania:
 - 5.1. Trójwymiarowe (3D) oznaczenie obszaru CTV z marginesami dostosowanymi do typu i lokalizacji nowotworu.
 - 5.2. Typ promieniowania i modyfikatorów wiązki: fotony (i ew. elektrony), kompensatory tkankowe.
 - 5.3. Układ wiązek: w większości przypadków niewspółpłaszczyznowy.
 - 5.4. Izocentrum: technika jednego lub kilku izocentrow.
 - 5.5. Kształt wiązek wypracowany na podstawie: BEV (*beam's eye view*); ręczne lub automatyczne wyrysowanie kształtu osłon.
6. Obliczanie dawki i optymalizacja:
 - 6.1. Model obliczania rozkładu dawki: 3D z uwzględnieniem niejednorodności tkanek.
 - 6.2. Ocena planu leczenia: rozkład izodoz w arbitralnie wybranych przekrojach oraz histogramy dawka – objętość (DVH).
 - 6.3. Optymalizacja planu leczenia: metoda kolejnych przybliżeń.
7. Sprawdzenie poprawności i realizacja leczenia:
 - 7.1. Zalecana weryfikacja wybranego planu leczenia (układu wiązek) na symulatorze.
 - 7.2. Unieruchomienie: indywidualna maska standardowa lub „stereotaktyczna”.
 - 7.3. Metoda pozycjonowania: centratory laserowe (i ew. pole świetlne).
 - 7.4. Pozycjonowanie chorego: użycie punktów referencyjnych umieszczonych na masce lub pudle lokalizacyjnym.
 - 7.5. System obrazowania poprawności ułożenia: filmy lokalizacyjne i/lub elektroniczne obrazowanie wiązką terapeutyczną (EPID/wirtualna symulacja) i ew. radiogramy rekonstruowane cyfrowo.
 - 7.6. System zapisu i weryfikacji: pożądane włączenie do zintegrowanego systemu zarządzania radioterapią.
 - 7.7. Dozymetria *in vivo*: detektory termoluminescencyjne lub półprzewodnikowe.

Radioterapia stereotaktyczna

Radioterapia stereotaktyczna jest odmianą radioterapii konformalnej, która zakłada ściśle unieruchomienie chorego, określenie granic guza i planowanie w warunkach stereotaktycznych oraz precyzyjne (z dokładnością do 1 mm w radiochirurgii lub do 2 mm w stereotaktycznej

radioterapii frakcjonowanej) odtworzenie planu leczenia. Napromienianie stereotaktyczne może być stosowane jako zasadnicze leczenie radykalne, miejscowe podwyższenie dawki („*boost*”) po napromienianiu konwencjonalnym, leczenie paliatywne w przypadku nawrotów po radioterapii lub w przerzutach do ośrodkowego układu nerwowego. Napromienianie stereotaktyczne może być realizowane w dwóch formach: radiochirurgii (jedna frakcja, wysoka dawka) lub frakcjonowanej radioterapii stereotaktycznej (kilka, kilkanaście lub kilkadziesiąt frakcji).

Przy kwalifikacji chorych do radiochirurgii lub frakcjonowanej radioterapii stereotaktycznej należy uwzględnić następujące czynniki:

- typ histologiczny zmiany i związany z tym typ odpowiedzi na napromienianie,
- wielkość zmiany (średnica do 2,5-3 cm),
- kontrastowanie się zmiany w badaniach obrazowych (angiografia, TK, RM),
- lokalizacja zmiany (sąsiedztwo struktur krytycznych),
- kształt zmiany (najkorzystniejszy: regularny, zbliżony do kulistego),
- oczekiwany czas przeżycia,
- stan funkcjonalny napromienianych struktur, np. stopień zachowania słuchu w nerwiakach nerwu VIII.

W przypadkach wątpliwych należy brać pod uwagę inne czynniki, takie jak wiek, towarzyszące schorzenia, przebyta radioterapia.

Do najczęstszych wskazań dla radioterapii stereotaktycznej należą [10, 11]:

- zniekształcenia tętniczo-żyłne (*arterio-venous malformations* – AVM) – stanowią klasyczne wskazanie do radiochirurgii. Pożądanym efektem napromieniania jest uszkodzenie patologicznych naczyń w wyniku późnej reakcji popromiennej z następową obliteracją leczonej zmiany;
- nerwiaki nerwu VIII – preferowana jest frakcjonowana radioterapia stereotaktyczna; wybór metody leczenia (radiochirurgia, hipofrakcjonowana lub konwencjonalnie frakcjonowana radioterapia stereotaktyczna) zależy od wielkości guza, współistniejących zaburzeń funkcjonalnych ze strony nerwów czaszkowych oraz od wieku chorego;
- oponiaki – na podstawie wieloletnich doświadczeń przyjmuje się, że radiochirurgia jest zarezerwowana dla guzów o wymiarach poniżej 2 cm, położonych w oddaleniu od narządów krytycznych; preferowana jest frakcjonowana radioterapia stereotaktyczna;
- łagodne guzy okolicy siodła tureckiego i okolicy nadsiodłowej są wskazaniem do zastosowania frakcjonowanej radioterapii stereotaktycznej;
- wysoko zróżnicowane glejaki mogą być wskazaniem do frakcjonowanej radioterapii stereotaktycznej, hipofrakcjonowanej lub frakcjonowanej konwencjonalnie;

- inne łagodne nowotwory, takie jak naczyniaki płodowe, naczyniaki, nerwiakowłóknaki, zwojaki i inne mogą być wskazaniem do radiochirurgii, gdyż w większości przypadków nowotwory te charakteryzują się niską wartością parametru α/β i w związku z tym zastosowanie wyższych dawek frakcyjnych pozwala uzyskać korzystny efekt kliniczny; w przypadku zastosowania radiochirurgii guz powinien mieć możliwie małą średnicę i być oddalony od struktur krytycznych;
- przerzuty do mózgu – stanowią klasyczne i wielu ośrodkach najczęstsze wskazanie do stosowania radiochirurgii, zwłaszcza w przypadku pojedynczych zmian, nie kwalifikujących się do usunięcia chirurgicznego; radiochirurgia może być stosowana samodzielnie jako leczenie pierwotne lub po przebytej radioterapii oraz w skojarzeniu z napromienianiem całego mózgu;
- złośliwe glejaki mózgu – radiochirurgia może być stosowana w celu miejscowego podwyższenia dawki po konwencjonalnej radioterapii lub celem powtórnego napromienienia guza o ograniczonej objętości w przypadku nawrotu; zastosowanie wysokich dawek promieniowania, wymagane do sterylizacji guza, ogranicza wzrastające z dawką ryzyko martwicy popromiennej.

Kwalifikacja chorego do napromieniania stereotaktycznego powinna uwzględniać wszystkie ograniczenia metody i kilkuprocentowe ryzyko wywołania martwicy popromiennej. Konieczne jest zapewnienie opieki neurochirurgicznej w wypadku powstania powikłań.

Pierwszym etapem przygotowania chorego do napromieniania jest założenie ramy stereotaktycznej (w przypadku radiochirurgii) lub wykonanie maski „stereotaktycznej” (w przypadku radioterapii wielofrakcyjnej). Założenie ramy odbywa się bezpośrednio przed badaniem TK. Chorego można poddać analgezji z zastosowaniem środków przeciwbólowych i w razie potrzeby przeciwdrgawkowych. Punkty zamocowania ramy do czaszki znieczula się miejscowo lignokainą. Śruby mocuje się przy pomocy dynamometrycznego śrubokrętu, umożliwiającego regulację siły nacisku. Wskazane jest ograniczenie dawki sterydów bezpośrednio przed badaniem tomograficznym w celu uzyskania maksymalnego kontrastowania się zmiany nowotworowej. Po badaniu, a zwłaszcza przed napromienianiem w warunkach stereotaktycznych, konieczne jest podanie leków przeciwobrzękowych. Rama stereotaktyczna jest zdejmowana bezpośrednio po zakończeniu napromieniania. W przypadku radioterapii frakcjonowanej, przed rozpoczęciem leczenia, na symulatorze wykonywane są 2 weryfikacje odtwarzalności ułożenia pacjenta w masce „stereotaktycznej”, z zastosowaniem pudła lokalizacyjnego z wtopionymi znacznikami angiograficznymi (w formie prostokątów). Kontrole odbywają się w dniu wykonywania TK do planowania i przed rozpoczęciem leczenia (najlepiej w przeddzień). Wykonywane są dwa zdjęcia (boczne i AP) oraz weryfikacja w systemie Vision celem kontroli przemieszczeń w trzech podstawowych kierunkach. Jeśli w żadnym z badanych kierunków różnica nie przekracza 1,5 mm, przystępuje się do

leczenia. W przypadku większych różnic należy zweryfikować plan leczenia (nowa maska i nowe planowanie lub powiększenie marginesów). W przypadku chorych leczonych dłużej niż jeden tydzień należy dokonać ponownej weryfikacji odtwarzalności ułożenia pacjenta w masce w drugim tygodniu leczenia. W czasie 1-ej lub 2-ej frakcji wykonuje się dwa zdjęcia ortogonalne (AP i boczne) z zastosowaniem płytki z markerem osi wiązki (pole 6 cm x 6 cm), a następnie w systemie do planowania Brain-Scan dokonuje się porównania położenia izocentrum – markera w stosunku do położenia izocentrum w planie leczenia.

Procedura radioterapii stereotaktycznej realizowana jest najczęściej przy pomocy akceleratora liniowego z wykorzystaniem wiązki wysokoenergetycznego promieniowania X o energii nominalnej 6 MV. W tej technice leczenia, wiązka promieniowania ograniczana jest za pomocą kolimatorów kołowych o średnicy przekroju od kilku do 35 mm lub mikrokolimatorów wielolistkowych.

System zapewnienia jakości, dotyczący zagadnień fizycznych i dozymetrycznych, stosowany w Centrum Onkologii-Instytucie w Warszawie składa się z kilku elementów [12-14]. Dzieli się one na dwie grupy: pomiary i procedury wykonywane jednorazowo (punkt I) oraz procedury wykonywane każdorazowo przed zabiegiem radioterapii stereotaktycznej (punkty II i III):

I. Przygotowanie danych dozymetrycznych do systemu planowania leczenia (TPS) [15, 16]

System planowania leczenia Brain-Scan wymaga przygotowania następujących danych dozymetrycznych dla każdego ze stosowanych kolimatorów kołowych:

- krzywe TMR (*Tissue Maximum Ratio*),
- profile,
- wydajności: NOF, SOF (*nominal output factor, scatter output factor*).

Ze względu na konieczność mierzenia dawek dla pól promieniowania o bardzo małych wymiarach do pomiarów zastosowano diodę diamentową (szerokość detektora 0,3 mm) oraz komorę jonizacyjną o objętości czynnej 0,015 cm³ (obydwa detektory firmy PTW-Freiburg).

II. Kontrola akceleratora przed napromienianiem pacjenta

W Centrum Onkologii w Warszawie, leczenie metodą radiochirurgii stereotaktycznej odbywa się raz w tygodniu. W celu zapewnienia dużej dokładności leczenia, bezpośrednio przed napromienianiem pacjentów przeprowadzana jest kontrola parametrów mechanicznych akceleratora oraz kontrola wydajności wiązki promieniowania. Realizacja procedury kontroli trwa ok. 2 godziny. W sytuacji, gdy pacjenci leczeni są metodą frakcjonowanej radioterapii stereotaktycznej, akcelerator kontrolowany jest raz w tygodniu [15, 16, 17]. Opis procedury zawarty jest w Aneksie I.

III. Planowanie leczenia w systemie Brain-Scan

Planowanie leczenia jest oparte na serii obrazów TK i RM, na których radioterapeuta zaznacza obszar guza (*Planning Target Volume – PTV*), gałki oczne, nerwy wzrokowe oraz pień mózgu. Planujący leczenie dobiera położenie izocentrum (lub izocentrow), średnice kolimatorów, liczbę łuków i zakres kątowy każdego łuku. Dodatkowym elementem jest dobór wielkości dawki od każdego z łuków. Podstawą oceny uzyskanych planów leczenia jest analiza histogramów DVH. Dla zapewnienia jakości przeprowadzanego napromieniania przyjmuje się poniższe kryteria dla oceny i akceptacji otrzymanego rozkładu dawki.

Wymagane jest określenie:

- maksymalnej dawki w Gy w obrębie PTV (D_{max}),
- przepisanej dawki w Gy (*Prescribed Dose – PD*),
- stosunku PD/D_{max} ,
- objętości objętej izodozą dawki przepisanej (*Prescribed Isodose Volume – PIV*),
- objętości guza w mm³ (PTV),
- stosunku PIV/PTV .

Jednorodność dawki (*dose uniformity factor*), określana jako stosunek D_{min}/D_{max} w objętości guza (PTV) nie powinna wynosić mniej niż 0,8, a należy dążyć do wielkości 0,9. W większości przypadków udaje się to osiągnąć przy odpowiednim doborze wyżej wymienionych parametrów. Jednorodność dawki w objętości targetu określa także stosunek D_{max}/PD . Miarą zgodności dawki w napromienianej objętości w odniesieniu do planowanej objętości jest stosunek PIV/PTV . Obszary promienioczułe (*Organs At Risk – OAR*) powinny otrzymywać dawkę jak najmniejszą. Jeżeli naciek nowotworowy znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie, lub też obejmuje OAR, należy dążyć do tego, by objętość OAR napromieniona wysoką dawką była jak najmniejsza. Indeks konformalności zdefiniowany jest jako stosunek objętości zawartej w obrębie izodozy odpowiadającej połowie dawki przepisanej (izodoza 40%) do objętości pełnej dawki (izodoza 80%) [18, 19].

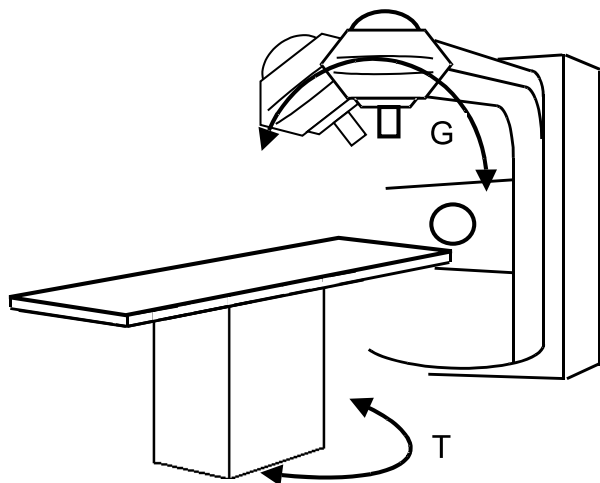
Leczenie z zastosowaniem technik stereotaktycznych powinno być prowadzone przez zespół doświadczonych specjalistów z zakresu radioterapii, neurochirurgii i fizyki medycznej. Technicy radioterapii zatrudnieni przy jego realizacji powinni mieć najwyższe kwalifikacje zawodowe.

Aneks I.

Procedura kontroli akceleratora wykonywana przed rozpoczęciem leczenia pacjentów metodą radioterapii stereotaktycznej

1. Wyznaczenie położenia izocentrum mechanicznego.
2. Sprawdzenie i ewentualna korekcja ustawienia centratorów bocznych oraz strzałkowego. Linie centratorów powinny przechodzić przez izocentrum mechaniczne.

3. Przeprowadzenie testu Winstona-Lutza:
Metalową kulkę o średnicy 5 mm umieścić w izocentrum mechanicznym akceleratora. Założyć kolimator kołowy o średnicy 7,5 mm. Wykonać osiem zdjęć kulki w różnych wzajemnych ustawieniach ramienia (G) i kolumny stołu terapeutycznego (T).
Kąty G i T są zestawione w poniższej tabeli i zaznaczone schematycznie na Ryc. 1.



Ryc. 1. Schematyczne oznaczenie ustawienia kątów ramienia G i stołu T dla przeprowadzenia testu Winstona-Lutza. Zalecane wartości kątów podane są w Tabeli I

Figure 1. Winston-Lutz test. Schematic display of gantry and couch angles for carrying out the test. Recommended angle values are given in Table I

nr	położenie stołu (T)	położenie ramienia (G)
1	0°	0°
2	0°	90°
3	0°	180°
4	0°	270°
5	90°	0°
6	270°	0°
7	90°	180°
8	270°	180°

Po wywołaniu filmu sprawdzić, czy w każdym położeniu środek obrazu kulki pokrywa się ze środkiem pola promieniowania. Tolerancja wynosi 1 mm.

4. Kontrola wydajności wiązki promieniowania X – 6 MV i wyznaczenie aktualnej wartości współczynnika kalibracyjnego K_{kal} [MU/cGy]. W CO-I w Warszawie kontrola odbywa się w warunkach: fantom z PMMA, SSD = 100 cm, d = 10 cm, pole 10 cm x 10 cm, 200 MU, 300 MU/min.
5. Sprawdzenie liczby jednostek monitorowych (MU), obliczonej przez system planowania BrainScan (podanej w protokole leczenia), dla każdego z łuków, metodą ręcznego obliczenia zgodnie ze wzorem:
Liczba jednostek monitorowych [MU] = $D * K_{kal} / (NOF * SOF * TMR)$

gdzie: D – dawka [cGy]

K_{kal} = 1 – współczynnik kalibracyjny wiązki promieniowania [MU/cGy]

NOF – Nominal Output Factor

SOF – Scatter Output Factor

TMR – Tissue Maximum Ratio

6. Modyfikacja liczby jednostek monitorowych, podanych w protokole leczenia zgodnie z aktualną wartością K_{kal} [MU/cGy].

Prof. nadzw. dr hab. med. Jacek Fijuth
Zakład Radioterapii Katedry Onkologii
Uniwersytet Medyczny
ul. Paderewskiego 4, 93-509 Łódź
e-mail: jacekf@rth.coi.waw.pl

Piśmiennictwo

- Warrington AP, Laing RW, Brada M. Quality assurance in fractionated stereotactic radiotherapy, *Radiother Oncol* 1994; 30: 239-46.
- Thornton AF Jr, Hegarty TJ, Ten Haken RK et al. Three-dimensional treatment planning of astrocytomas: A dosimetry study of cerebral irradiation. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1991; 20: 1309-15.
- Lichter AS, Sandler HM, Roberson JM et al. Clinical experience with 3-dimensional treatment planning, *Semin Radiat Oncol* 1992; 2: 257-66.
- Pu AT, Sandler HM, Radany EH et al. Low grade gliomas: Preliminary analysis of failure patterns among patients treated using 3D conformal external beam irradiation. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1995; 31: 461-6.
- Hess CF, Schaaf JC, Kortmann RD et al. Malignant glioma: Patterns of failure following individually tailored limited volume irradiation, *Radiother Oncol* 1994; 30: 146-9.
- Marks LB, Sherouse GW, Das S et al. Conformal radiation therapy with fixed shaped coplanar or noncoplanar radiation beam bouquets: A possible alternative to radiosurgery. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1995; 33: 1209-19.
- Ten Haken RK, Thornton AF, Sandler H.M et al. A quantitative assessment of the addition of MRI to CT-based, 3D treatment planning of brain tumors. *Radiother Oncol* 1992; 25: 121-33.
- Hurkmans CW, Remeijer P, Lebesque JV et al. Set-up verification using portal imaging; review of current clinical practice. *Radiother Oncol* 2001; 58: 105-20.
- Tsai JS, Engler MJ, Ling MN et al. A non-invasive immobilization system and related quality assurance for dynamic intensity modulated radiation therapy of intracranial and head and neck disease. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1999; 43: 455-67.
- Fijuth J, Kęпка L. Radioterapia stereotaktyczna guzów ośrodkowego układu nerwowego. *Nowotwory* 1999; 49: 566-72.
- Shaw E, Scott Ch, Souhami L et al. Single dose radiosurgical treatment of recurrent previously irradiated primary brain tumors and brain metastases: Final report of RTOG Protocol 90-05, *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 2000; 47: 291-8.
- Rostkowska J, Kania M, Bulski W et al. Physical and dosimetric aspects of quality assurance in stereotactic radiotherapy. *Reports of Practical Oncology and Radiotherapy* 2001; 6: no 1.
- Kortmann RD, Becker G, Perelmouter J et al. Geometric accuracy of field alignment in fractionated stereotactic conformal radiotherapy of brain tumors. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1999; 43: 921-6.
- Phillips MH, Frankel KA, Lyman JT et al. Comparison of different radiation geometries in stereotactic radiosurgery, *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1990; 18: 211-20.
- Wysocka A, Rostkowska J, Kania M et al. Dosimetric characteristics of circular 6 MV X-ray beams for stereotactic radiotherapy with a linear accelerator. *Acta Physica Polonica B* 2000; 31: 87-7.
- Rostkowska J, Kania M, Wysocka A et al. Dosimetry for 6-MV X-ray beams in stereotactic radiosurgery. *Radiotherapy Oncology* 2000; 56, suppl. 1: 198.
- Winston KR, Lutz W. Linear accelerator as a neurosurgical tool for stereotactic radiosurgery. *Neurosurgery* 1988; 22: 454-64.

18. Schell MC, Smith V, Larson DA et al. Evaluation of radiosurgery techniques with cumulative dose volume histograms in linac-based stereotactic external beam irradiation. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1991; 20: 1325-30.
19. Sohn JW, Dalzell JG, Suh JH et al. Dose-volume histogram analysis of techniques for irradiating pituitary adenomas. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 199; 32: 831-7.

Otrzymano: 14 stycznia 2004 r.

Przyjęto do druku: 16 czerwca 2004 r.