

Radioterapia złożonych targetów powierzchniowych: wybór metody leczenia

Alexandra Stewart

Zmiany powierzchniowe są często złożonymi targetami dla radioterapii z powodu krzywizn powierzchni, niedużej głębokości zmian oraz – w niektórych przypadkach – znacznej bliskości organów krytycznych, takich jak oczy. Ten artykuł przedstawia krótki przegląd możliwych metod napromieniania, które mogą mieć praktyczne zastosowanie: powierzchniowe i ortowoltowe fotony, elektrony, fotony wysokiej energii, ciężkie jony i źródła zawierające pierwiastki promieniotwórcze do brachyterapii metodą niskiej mocy dawki (LDR) lub metodą wysokiej mocy dawki (HDR).

Radiotherapy of complex superficial targets: modality choices

Superficial lesions are often complex targets for radiotherapy because of the surface curvature, the shallow depth of the lesion, and in some instances, the close proximity of organs at risk such as the eyes. This article briefly reviews the spectrum of radiation modalities which can be of practical use: superficial and orthovoltage photons, electrons, megavoltage photons, heavy particles and radionuclide sources for high dose rate or low dose rate brachytherapy.

Słowa kluczowe: zmiany powierzchniowe, radioterapia, fotony, elektrony, cząstki ciężkie

Key words: superficial targets, radiotherapy, photons, electrons, heavy particles

Wstęp

Brachyterapia powierzchniowa za pomocą radu

Od momentu, kiedy Piotr Curie przytwierdził taśmą rad do swojego przedramienia w celu wywołania powierzchniowego owrzodzenia, można powiedzieć, rozpoczęły się badania efektu napromieniania targetów położonych powierzchniowo. Rad był pierwotnie wykorzystywany do leczenia zmian skórnych i powierzchniowych guzów za pomocą aplikatorów w formie kapsulek, pudełek lub tubelek. Te wczesne aplikatory miały stały kształt i nie dopasowywały się do powierzchni ciała pacjenta. W celu zapewnienia bardziej równomiernego rozkładu dawki mieszano sole radu z lakierem i malowano nimi płytki lub tkaniny. Rad umieszczano również w trwałe tubie szklanej, która była osadzona w materiałach odpowiednio przylegających do konturów okolicy leczonej zmiany. Od czasu odkrycia właściwości radu nastąpił znaczny postęp w zakresie leczenia zmian powierzchniowych. Zastosowanie teleterapii, wysokodawkowej (HDR) brachyterapii oraz dozymetrii komputerowej znacznie poprawiło moż-

liwości leczenia i wyznaczania obszaru będącego celem radioterapii.

Target powierzchniowy

Określenie „złożony target powierzchniowy” wywołuje na początku dwa pytania: (1) co tworzy jakiś target powierzchniowy? i (2) co czyni target powierzchniowy złożonym? Termin „target powierzchniowy” może dotyczyć każdej objętości, która znajduje się na lub blisko powierzchni ciała. W związku z tym jest to szeroko pojmowany obszar, do którego mógłby się zaliczać jako target obszar całkowitego lub częściowego napromieniania piersi lub niektórych odmian raka głowy i szyi. Jakkolwiek na potrzeby tej pracy target powierzchniowy będzie zdefiniowany jako znajdujący się na powierzchni skóry lub do 1-2 cm pod jej powierzchnią. Rak skóry to najczęściej występujący rak w populacji białych ludzi [1], w związku z tym jest to prawdopodobnie najczęstszy target powierzchniowy na świecie. W samych Stanach Zjednoczonych oszacowano, że jedna osoba na pięć w ciągu swojego życia zachoruje na raka skóry [2].

Złożony target powierzchniowy

Podanie definicji „złożoności” targetu powierzchniowego napotyka na znacznie większe trudności. Jakiś target złożony może być np. umiejscowiony w trudnej anatomi-

micznie okolicy nad znacznie zakrzywioną powierzchnią ciała, złożoność może też wynikać ze zmiennej grubości naświetlanego obszaru. O złożoności może decydować także bliskość organów krytycznych oraz potrzeba ominięcia lub osłonięcia tych struktur w celu zmniejszenia późnej toksyczności leczenia. Indywidualny przypadek pacjenta może stanowić o ostatecznym poziomie złożoności. Wielu pacjentów otrzymujących napromienianie powierzchniowe jest osłabionych i w podeszłym wieku, przy czym wielu jest napromienianych, gdyż, ze względu na choroby towarzyszące – nie kwalifikują się do resekcji chirurgicznej. Radioterapię u tych pacjentów mogą skomplikować takie czynniki takie jak niemożność położenia się na wznak, trudność w zachowaniu pozycji bez ruchu podczas zabiegu oraz brak możliwości codziennego stawiania się w szpitalu w trakcie długotrwałego, standardowo frakcjonowanego leczenia.

Przykłady sytuacji złożoności targetu dotyczą na przykład jąder (wymagających osłonięcia prącia i pachwiny), czerniaka naczyńówki, raka płaskonabłonkowego wewnętrznego kącika oka (wymagającego osłonięcia rogówki), pooperacyjnego mięsaka tkanek miękkich stopy i raka płaskonabłonkowego skóry wierzchołka głowy.

Wybór sposobu leczenia

Kiedy target powierzchniowy został już zdefiniowany i zapadła decyzja o radioterapii, następane pytanie dotyczy metody, jaka zostanie użyta. Czasami lekarze mogą mieć ograniczone możliwości postępowania z racji technologicznych rozwiązań radioterapii dostępnych w ich zakładach, jednak w celu wprowadzenia innowacji można wykorzystać standardowe możliwości leczenia w celu nowych zastosowań radioterapii. Najniezbędniejszym składnikiem radioterapii powierzchniowych zmian jest modelarnia, która może zaoferować szeroką gamę technik w celu unieruchomienia pacjenta i zapewnić napromienianie targetu z optymalną ochroną zagrożonych zdrowych tkanek.

Zmiany powierzchniowe a napromienianie ortowoltowe

Fakt, że powierzchniowe i ortowoltowe aparaty rentgenowskie były jedynie zwiastunami nowoczesnej teleterapii i w dużej mierze zostały zastąpione przez liniowe przyspieszacze, nie powinien wykluczać rozważania ich roli w naświetlaniu złożonych zmian powierzchniowych. Prawdą jest, że stosowanie powierzchniowej ortowoltowej radioterapii powszechnie wychodzi z użycia, jednak np. w Australii stosowanie tego typu leczenia zmalało tylko o 12%, podczas całego okresu pomiędzy rokiem 1994 a 1999 [3]. Przy tak wysokiej liczbie chorych z rakiem skóry wciąż oznacza to, że rocznie aż 1 osoba na 100 otrzymywała powierzchniową radioterapię ortowoltową [4].

Wiele oddziałów radioterapii onkologicznej, leczących w dużej mierze raka skóry, opowiedziało się

za zastąpieniem dotychczas używanych ortowoltowych urządzeń rentgenowskich unowocześnionymi aparatami. W ten sposób zachowane zostaną zalety sprzętu do naświetleń powierzchniowych, a jednocześnie zmniejszy się obciążenie pracą przyspieszaczy liniowych. Napromienianie ortowoltowe sprawia, że 100% dawki leczniczej podawane jest na powierzchnię skóry z gwałtownym spadkiem dawki w tkance podskórnej, dzięki czemu jest to idealny sposób dla bardzo powierzchniowych celów. Względna skuteczność biologiczna (*Relative Biological Effectiveness* – RBE), czyli efekt biologiczny na jednostkę zabsorbowanej dawki promieniowania, w przypadku ortowoltowego promieniowania rentgenowskiego, RBE ma wartość 2.0, w porównaniu do RBE równego 1 dla megawoltowego promieniowania X [5, 6].

Wstawienie cienkich osłon na oczy i dziąsła umożliwia ochronę zdrowych tkanek, co byłoby trudne przy wiązkach o większej przenikalności. Leczenie powierzchniowe może okazać się niezwykle skuteczne w przypadku małych, wklęsłych powierzchni, jak np. skrzydełko nosa lub wewnętrzny kącik oka. Ze względu na elastyczność sprzętu ortowoltowego mogą z niego korzystać pacjenci w każdej pozycji, na przykład pacjenci osłabieni mogą otrzymywać leczenie, leżąc pod kątem lub siedząc na krześle. Ortowoltowe techniki pozwalają również na objęcie napromienianiem bardzo małych zmian, w przeciwieństwie do 4 cm minimalnego pola przy stosowaniu elektronów. Niestety, może zdarzyć się również nałożenie dawek na siebie lub nieobjęcie obszaru dawką, a przy bardzo krzywej powierzchni – wstąpienie niedokładności na granicach pola.

Elektrony

Zaletą leczenia zmian powierzchniowych elektronami jest to, że wybór odpowiedniej energii elektronów pozwala na leczenie wybranej powierzchni na odpowiedniej głębokości, z gwałtownym spadkiem dawki poza nią. Zależnie od grubości zmiany w polu napromieniania i wybranej energii elektronów może być wymagane użycie bolusa, który będzie modelował rozkład dawki w targecie. Dzięki elektronom można osiągnąć większą głębokość leczenia niż dzięki ortowoltowym technikom promieniowania X. Wymagane osłony dla elektronów są grubsze, niż przy technikach ortowoltowych, ale ciągle tolerowane przez pacjentów w większości lokalizacji na powierzchni ciała.

Szczególną ostrożność należy zachować w przypadku pól w pobliżu oczu, z powodu rozpraszania bocznego promieniowania. Podczas leczenia elektronami należy omijać zmiany, które zawierają bardzo skomplikowane przestrzenie powietrzne, takie jak zatoki. Trudności mogą również wystąpić, gdy zmiana ma nieregularną grubość, kiedy pole leczenia jest duże oraz gdy powierzchnia jest bardzo krzywa. Czasem trzeba połączyć oddzielne pola elektronowe, co może powodować występowanie znacznych gorących oraz zimnych punktów [7], chociaż można tego uniknąć, dokładnie obliczając odległość między nimi [8]. Leczenie elektronami z wielu pól wymaga dużo bardziej skomplikowanego wprowadzenia, umiej-

scowienia wiązek w związku z takimi czynnikami, jak mniej precyzyjne klinicznie unieruchomienie, wielość wiązek i położeń bolusów. Może to sprawić, że leczenie będzie mniej odtwarzalne ze względu na nakładanie się pól i mało precyzyjne ich ustawienie, powodując większe możliwości błędu.

Zastosowanie ruchomych wiązek elektronowych pozwoliło na dostarczenie jednolitej dawki w warunkach stworzonych przez krzywiznę ciała, poprzez eliminowanie nakładania się pól w okolicach krytycznych i minimalizowanie dawki do przylegających zdrowych struktur [8-10]. Wykorzystanie w radioterapii pacjentek po mastektomii, bez rekonstrukcji, jak i po rekonstrukcji piersi, ruchomych wiązek elektronów wykazało akceptowalną skuteczność w postaci odsetka miejscowej kontroli, czasu remisji choroby i całkowitego przeżycia w okresie pięciu lat [9-11]. Duża część (24%) pacjentek ze zrekonstruowaną piersią potrzebowała jednak chirurgicznej kontroli protezy piersi.

Ruchome wiązki elektronowe poruszające się po łuku mogą być wytwarzane z wykorzystaniem zmodyfikowanego stelaża konwencjonalnego przyspieszacza liniowego, z przerwą powietrzną szerokości 6-16 cm w celu umożliwienia ruchów portalu pomiędzy stelażem a pacjentem. Jednak planowanie i stosowanie techniki z wykorzystaniem ruchomych wiązek elektronów jest bardzo czasochłonne, poza tym aktualne techniki dozymetryczne mogą jedynie oszacowywać dawkę faktycznie dostarczoną. Wkrótce z pewnością nastąpi poprawa skomputeryzowanych technik dozymetrycznych dotyczących napromieniania elektronami, tak szybko jak techniki obliczeniowe Monte Carlo staną się szybsze i przez to komercyjnie łatwiej dostępne w systemach planowania leczenia.

Fotony wysokiej energii

Same fotony wysokiej energii są rzadko wykorzystywane w leczeniu targetów powierzchniowych. Wymagają użycia bolusów w celu zwiększenia dawki na powierzchnię skóry, a spadek dawki jest wolniejszy niż przy stosowaniu ortowoltowego promieniowania X lub elektronów na porównywalnych głębokościach. Łączenie pól fotonowych i elektronowych jest dosyć często stosowane przy naświetlaniu ściany klatki piersiowej po mastektomii [11]. Ta metoda pozwala zmniejszyć złożoność napromieniania zakrzywionego targetu, ze strukturami krytycznymi znajdującymi się blisko pod ścianą klatki piersiowej.

Radioterapia o zmiennym natężeniu (*intensity-modulated radiotherapy* – IMRT) wykorzystuje wielolistkowy kolimator (*multileaf collimator* – MLC), zmieniając oddzielnie intensywność w różnych miejscach wiązki; rezultatem tego jest niejednorodny rozkład dawki. Dzięki IMRT stało się możliwe osiągnięcie dobrego objęcia krzywego i nieregularnego powierzchniowego targetu przy zastosowaniu jedynie fotonów, bez obawy podania wysokiej dawki do tkanek leżących poniżej [8]. Podczas rozważania zastosowania IMRT ważne jest jednak, by pamiętać o możliwych konsekwencjach napromienio-

wania większych objętości tkanek niskimi dawkami, co jest szczególnie istotne w przypadku młodszych pacjentów [13].

Tomoterapia może przynieść te same efekty dla złożonych targetów powierzchniowych [14, 15], chociaż jedno z badań wykazało, że leczenie mieszaną wiązką fotonów i elektronów może powodować zmniejszenie dawki otrzymywanej przez otaczające target zdrowe tkanki [16].

W leczeniu złożonych zmian powierzchniowych IMRT jest często preferowaną opcją, ze względu na powszechną dostępność IMRT i umiejętności dotyczące planowania i napromieniania tą metodą. Są to powody, dla których IMRT jest coraz częściej stosowana. IMRT i tomoterapia wymagają dokładnej kontroli jakości, aby upewnić się, że tkanki otrzymują faktycznie dawkę policzoną przez systemy planowania.

Stosowanie dozymetrii termoluminescencyjnej (TLD) na powłoce akrylowej odlanej z formy powierzchni wymagającej leczenia, wykonanej z odpowiednika tkanki, może być pomocne dla celów dozymetrycznych. Umożliwia to kontrolę jakości przed leczeniem zmian powierzchniowych za pomocą techniki IMRT. Dostęp do tomoterapii jest aktualnie ograniczony brakiem sprzętu w większości zakładów radioterapii.

Jony ciężkie

Protony

Rozwój radioterapii z użyciem jonów ciężkich wynikał z potrzeby polepszenia wyników radioterapii w zakresie dokładności w wyznaczaniu i napromienianiu targetu i/lub zwiększonej skuteczności. Osobliwe cechy depozycji energii protonów (tzw. szczyt Bragga) sprawiają, że bardzo mała ilość energii jest oddawana poza objętość guza i w związku z tym można osiągnąć pierwsze założenie, celniejsze napromienianie targetu. RBE protonów wynosi 1.1, jednak największą zaletą stosowania protonów jest unikanie napromieniania zdrowych tkanek.

Zasadnicze wykorzystanie protonów dla zmian powierzchniowych dotyczy leczenia chorób oczodołów. W 2003 roku aż 30% ośrodków na świecie oferujących leczenie protonami stosowało je wyłącznie do protonowego leczenia oczodołów [18]. W przypadku czerniaka naczyniówki miejscowa kontrola choroby wynosi do 98% [18, 19]. Aż 84% pacjentów zachowało oko po leczeniu, jednak długotrwałe utrzymanie ostrości wzroku było zależne od rozmiaru i lokalizacji pierwotnej zmiany [20]. Mimo iż jest to najczęściej stosowana metoda leczenia jonami ciężkimi, wykorzystywanie radioterapii protonami jest stosunkowo rzadkie ze względu na brak sprzętu, chociaż w Japonii ostatnio poczyniono duże inwestycje w celu pozyskania nowych urządzeń protonowych.

Neutrony

Neutrony o niskiej energii mają wysokie RBE i niedużą głębokość rozprzestrzeniania się dawki, co sprawia, że

dobrze nadają się do poprawiania skuteczności radioterapii zmian powierzchniowych. Jednak wysokie RBE w okolicznych zdrowych tkankach powoduje poważne skutki uboczne podczas leczenia głębiej położonych zmian, co ogranicza możliwości ich wykorzystania [17].

Jony węgla

Terapia jonami węgla jest następnym obszarem leczenia jonami ciężkimi, który wymaga dalszych badań, jednak jej zastosowanie jest ograniczone do bardzo niewielkiej liczby ośrodków na świecie [17].

Brachyterapia

Aplikatory do powierzchniowej brachyterapii mogą być wykorzystywane do leczenia wielu powierzchniowych zmian, takich jak np. pierwotny nieczerniakowaty rak skóry [21], bliznowiec [22], mięsak Kaposiego [23], nawrót miejscowy raka piersi [24, 25] oraz blizny po rekonstrukcji piersi [7].

W przypadku mniejszych, bardziej płaskich zmian, do podawania brachyterapii HDR można stosować Lipskie aplikatory [26]. Aplikatory te sprawiają, że dawka podana na target powierzchniowy jest równomierna i uzyskuje się dobry odsetek kontroli miejscowej [21, 23]. Jednak są one mniej użyteczne w przypadku krzywej, nieregularnej powierzchni lub grubszych zmian. W tych wypadkach należy wykonać indywidualny aplikator (z akrylu lub termoplastycznego tworzywa) na podstawie odlewu powierzchni, którą chcemy napromienić. Prowadnice do brachyterapii typu igły plastikowe lub aplikatory oskrzelowe mogą być bezpośrednio zamocowane na aplikatorze lub użyte w odstępach, jak np. *Freiburg flap* (Nucletron aplikator w formie elastycznego płata o grubości 1 cm, z otworami na prowadnice w połowie grubości), aby zapewnić stałe położenie prowadnic. Ta technika aplikatora powierzchniowego wykazała bardziej równomierny rozkład dawki niż konwencjonalne techniki napromieniania elektronami [7]. Zmiany powierzchniowe znajdujące się nieco głębiej można również leczyć za pomocą śródkankowych implantów, które mogą dać dużo lepszą penetrację dawki i korzystniejszą dla powierzchni skóry.

Aplikatory indywidualne w formie odlewów do brachyterapii oraz implanty mogą być wykorzystywane do ręcznego ładowania izotopów o niskiej mocy dawki (*Low Dose Rate* – LDR), bądź też automatycznego ładowania w aparatach do afterloadingu typu HDR, lub aparatach do afterloadingu metodą pulsowej mocy dawki (*Pulsed Dose Rate* – PDR). Obie techniki oferują konformalny i jednorodny rozkład dawki w zakrzywionym i nieregularnym targacie.

Automatyczny afterloading daje korzyść w postaci optymalizacji dawki, która pozwala na zmiany głębokości leczenia w różnych punktach dla pojedynczej prowadnicy, zależnie od grubości zmiany.

Schematy frakcjonowania HDR znacznie się różnią od konwencjonalnego 1,8-2,0 Gy na frakcję do ciągłego przyspieszonego napromieniania. Zawsze należy wziąć

pod uwagę radiobiologię wybranego schematu frakcjonowania dawek, dostępne są ponadto równania służące do obliczania ekwiwalentu dawki [27]. Brachyterapia wciąż jednak jest umiejętnością specjalistyczną, wymagającą często dalszych szkoleń specjalistycznych i sprzętu, który nie zawsze bywa dostępny we wszystkich zakładach.

Wnioski

Podsumowując, powierzchniowe targety mogą być napromieniane na wiele sposobów. Każda technika w radioterapii ma swoje zalety i wady, co sprawia, że każdy pojedynczy target należy rozpatrywać indywidualnie, by optymalnie wykorzystać indywidualne cechy każdej metody.

Alexandra Stewart, MD, PhD
Royal Marsden Hospital
Department of Radiotherapy
Downs Road
Sutton
Surrey SM2 5PT
United Kingdom

Piśmiennictwo

1. Tuohimaa P, Pukkalab E, Scéloc G i wsp. Does solar exposure, as indicated by the non-melanoma skin cancers, protect from solid cancers: vitamin D as a possible explanation. *Eur J Cancer* 2007; in press.
2. Leffell DJ, Carucci JA. Management of skin cancer. In: Devita VT, Hellman S, Rosenberg SA, eds. *Cancer; Principles and Practice of Oncology*. Wyd. 6. Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins, 1976.
3. Wigg DR, Morgan GW. Radiation oncology in Australia: workforce, workloads and equipment 1986-1999. *Australas Radiol* 2001; 45:146-69.
4. Australian Bureau of Statistics. *Population Projections, Australia, 1999 to 2101*. 2000.
5. Amols HL, Lagueur B, Cagna D. Radiobiological effectiveness (RBE) of megavoltage X-ray and electron beams in radiotherapy. *Radiat Res* 1986; 105: 58-67.
6. Borek C, Hall EJ, Zaider M. X-rays may be twice as potent as gamma-rays for malignant transformation at low doses. *Nature* 1983; 301: 156-8.
7. Stewart AJ, O'Farrell DA, Bellon JR i wsp. CT computer optimized high dose rate brachytherapy with surface applicator technique for scar boost radiation following breast reconstruction surgery. *Brachytherapy* 2005; 4: 224-9.
8. Bedford JL, Childs PJ, Hansen VN i wsp. Treatment of extensive scalp lesions with segmental intensity-modulated photon therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2005; 62: 1549-58.
9. Gaffney DK, Leavitt DD, Tsodikov A i wsp. Electron arc irradiation of the post-mastectomy chest wall with CT treatment planning: 20-year experience. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2001; 51: 994-1001.
10. Hazard L, Miercort C, Gaffney D i wsp. Local-regional radiation therapy after breast reconstruction: what is the appropriate target volume? A case-control study of patients treated with electron arc radiotherapy and review of the literature. *Amer J Clin Oncol* 2004; 27: 555-64.
11. Hehr T, Classen J, Huth M i wsp. Post-mastectomy radiotherapy of the chest wall. Comparison of electron-rotation technique and common tangential photon fields. *Strahlenther Onkol* 2004; 180: 629-36.
12. Jankowska PJ, Kong C, Burke K i wsp. A systematic study of posterior cervical lymph node irradiation with electrons: conventional versus customized planning. *Radiother Oncol* 2007; in press.
13. Hall EJ, Wu CS. Radiation-induced second cancers: the impact of 3D-CRT and IMRT. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2003; 56: 83-8.
14. Khuntia D, Jaradat H, Orton N i wsp. Helical tomotherapy as a means of administering total or partial scalp irradiation: in regard to Bedford i wsp. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2005; 64: 1288-9.

15. Orton N, Jaradat H, Welsh J i wsp. Total scalp irradiation using helical tomotherapy. *Med Dosim* 2005; 30: 162-8.
16. Locke J, Low DA, Grigireit T i wsp. Potential of tomotherapy for total scalp treatment. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2002; 52: 553-9.
17. Amaldi U, Kraft G. European developments in radiotherapy with beams of large radiobiological effectiveness. *J Radiat Res* 2007; 48: A27-A41.
18. Suit H, Goldberg S, Niemierko A i wsp. Proton beams to replace photon beams in radical dose treatments. *Acta Oncol* 2003; 42: 800-8.
19. Damato B, Leucouona K. Conservation of eyes with choroidal melanoma by a multimodality approach to treatment: an audit of 1632 patients. *Ophthalmology* 2004; 111: 977-83.
20. Gragoudas E, Li W, Goitein M i wsp. Evidence-based estimates of outcome in patients irradiated for ocular melanoma. *Arch Ophthalmol* 2002; 120: 1665-71.
21. Guix B, Finestres F, Tello JI i wsp. Treatment of skin carcinomas of the face by high dose rate brachytherapy and custom made surface molds. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2000; 47: 95-102.
22. Fraunholtz IB, Gerstenhauer A, Bottcher HD. Results of postoperative (90)Sr radiotherapy of keloids in view of patient's subjective assessment. *Strahlenther Onkol* 2005; 181: 724-9.
23. Evans MDC, Yassa M, Podgorsak EB i wsp. Surface applicators for high dose rate brachytherapy in AIDS-related Kaposi's sarcoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1997; 39: 769-74.
24. Delanian S, Housset M, Brunel P i wsp. ¹⁹²Iridium plesiocurietherapy using silicone elastomer plates for extensive locally recurrent breast cancer following chest wall irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1992; 22: 1099-104.
25. Harms W, Krempien R, Hensley F i wsp. Results of chest wall re-irradiation using pulsed dose rate (PDR) brachytherapy molds for breast cancer local recurrences. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2001; 49: 205-10.
26. Perez-Calatayud J, Granero D, Ballester F i wsp. A dosimetric study of Leipzig applicators. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2005; 62: 579-84.
27. Nag S, Gupta N. A simple method of obtaining equivalent doses for use in HDR brachytherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2000; 46: 507-13.
28. Mellenberg DE, Schoepel SL. Total scalp treatment of mycosis fungoides: The 4 x 4 technique. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1993; 27: 953-8.
29. Sagar SM, Pujara CM. Radical treatment of angiosarcoma of the scalp using megavoltage electron beam therapy. *Br J Radiol* 1992; 65: 787-91.
30. Liebmann A, Pohlmann S, Heinicke F i wsp. Helmet mold-based surface brachytherapy for homogeneous scalp treatment: a case report. *Strahlenther Onkol* 2007; 183: 211-4.

Otrzymano: 20 czerwca 2007 r.

Przyjęto do druku: 21 października 2007 r.