



Wirtualna symulacja – nowy element procesu planowania radioterapii

Virtual simulation – a new element of radiotherapy treatment planning process

Łukasz Dolla, Wojciech Osewski, Leszek Hawrylewicz, Sylwia Garbaciok, Krzysztof Ślosarek

Centrum Onkologii – Instytut MSC, Gliwice, Zakład Planowania Radioterapii i Brachyterapii,
ul. Wybrzeże Armii Krajowej 15, 44-101 Gliwice, tel. +48 32 278 86 66, e-mail: lukado@o2.pl

Wprowadzenie

Terapia zewnętrznymi wiązkami (teleradioterapia) oszczędzeniem tkanek zdrowych [1-3]. Planowa- oparta jest na precyzyjnym zdeponowaniu w cie- nie leczenia w radioterapii jest bardzo złożonym le pacjenta żądanej dawki terapeutycznej w ob- procesem wymagającym dużej dokładności. Jed- szarże guza nowotworowego z jednoczesnym nym z najważniejszych etapów tego procesu jest

170

Streszczenie

Procesy związane z przygotowaniem pacjenta do radioterapii są bardzo czasochłonne i wymagają zachowania precyzji ułożenia chorego na każdym etapie przygotowania i realizacji terapii. Jednym z etapów jest symulacja warunków napromieniania, procedura sprawdzenia geometrii zaplanowanych wiązek promieniowania w stosunku do położenia struktur anatomicznych pacjenta. Jest ona wykonywana na dedykowanych do tego urządzeniach zwanych symulatorami rentgenowskimi. Od połowy lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku coraz częściej symulacja warunków napromieniania realizowana jest w czasie wykonywania badania tomografii komputerowej, będącej podstawą planowania rozkładu dawki w radioterapii. W tym celu wykorzystuje się dedykowane tomografy komputerowe wyposażone w odpowiednie oprogramowanie i doposażone w dodatkowy system laserów. Nowa procedura nazwana została wirtualną symulacją. Zastosowanie jej w praktyce klinicznej znacznie skraca proces przygotowania pacjenta do leczenia oraz zwiększa precyzję związaną z weryfikacją warunków leczenia pacjenta.

Słowa kluczowe: radioterapia, planowanie leczenia, symulacja warunków napromieniania, tomograf komputerowy

Abstract

The processes associated with the preparation of the patient for radiotherapy are time consuming and require a precise alignment of patient position at every stage of the treatment preparation and its realization. One of the steps is to simulate the irradiation conditions. It is performed in order to check the set-up of the planned radiation beam relative to the position of patient anatomical structures. For this purpose dedicated devices, called X-ray simulators are used. Since the mid-nineties of the last century, more and more simulations of the irradiation conditions are performed during computed tomography, which is the basis for dose distribution planning in radiation therapy. For this purpose dedicated CT scanners, equipped with the appropriate software and upgraded with additional system of lasers, are used. This new procedure is called a virtual simulation. Its usage in clinical practice shortens the process of preparing the patient for treatment and increases the precision associated with the verification of the patient's treatment conditions.

Key words: radiotherapy, computed treatment planning, treatment planning parameters simulation, computed tomography

otrzymano / received:

07.07.2014

poprawiono / corrected:

31.07.2014

zaakceptowano / accepted:

06.08.2014



symulacja warunków napromieniania, podczas której sprawdza się wszystkie geometryczne parametry wiązek terapeutycznych użytych w trakcie planowania leczenia. Jest ona realizowana przy pomocy symulatora RTG, urządzenia diagnostycznego wyposażonego w lampę rentgenowską i detektor promieniowania. Odzworowuje on wiernie geometrię aparatu terapeutycznego. Klasyczny symulator RTG wprowadzony został do użycia już w latach sześćdziesiątych XX wieku i od tego czasu jest jednym z podstawowych urządzeń linii terapeutycznej w radioterapii [1-3]. Znacznym osiągnięciem stało się wprowadzenie w medycynie technik rentgenowskiej tomografii komputerowej. Na początku lat osiemdziesiątych XX wieku pojawiły się pierwsze komercyjne komputerowe systemy planowania leczenia wykorzystujące skany tomograficzne i tworzone na ich podstawie rekonstrukcje 3D ciała pacjenta. Pojawiła się także idea rekonstrukcji obrazów DRR (*Digital Reconstructed Radiograph*), czyli cyfrowo rekonstruowanych obrazów radiograficznych [3]. To wszystko przyczyniło się do powstania koncepcji Wirtualnego Symulatora. Pierwszy raz pomysł ten wysunął G.W. Sherouse wraz ze współpracownikami w 1987 roku [4-5]. W wirtualnym środowisku 3D ich autorskiego oprogramowania CAD (*Computer Aided Design*) powstała wirtualna maszyna wiernie odwzorowująca wszystkie parametry klasycznego symulatora. Za pomocą wirtualnego symulatora można było na podstawie wykonanej tomografii komputerowej zaplanować geometryczny układ pól leczenia. Tomografy komputerowe zostały uzupełnione o oprogramowanie, które pozwalało na obliczenie i prezentację układu wiązek, który jest lub może być realizowany przez aparat terapeutyczny. Pierwsze próby kliniczne wykorzystania pomysłu wirtualnej symulacji rozpoczęły się na początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku [7-11]. Od tego czasu metody przeprowadzania procesu wirtualnej symulacji zaczęły się intensywnie rozwijać. Ważnym aspektem umieszczenia procedury wirtualnej symulacji w kanonie procedur przygotowawczych do radioterapii stał się również rozwój obrazowych metod weryfikacji ułożenia pacjenta na stole terapeutycznym. Stosowano weryfikację obrazową za pomocą filmów radiograficznych dedykowanych dla energii megawoltowych stosowanych w radioterapii. Przełomem stało się wprowadzenie urządzenia EPID (*Electronic Portal Imaging Device*) pozwalającego na akwizycję obrazów megawoltowych i aparatów terapeutycznych wyposażonych w dodatkowy układ lampy rentgenowskiej i detektora pozwalających na wykonywanie dokładnych zdjęć kilowoltowych, a nawet prostych rekonstrukcji tomograficznych.

Metody wykonania wirtualnej symulacji

Systemy wirtualnej symulacji można podzielić bardzo ogólnie według dwóch stosowanych metod [11-12]:

- wirtualna symulacja „z przesunięciem”,
- wirtualna symulacja „bez przesunięcia”.

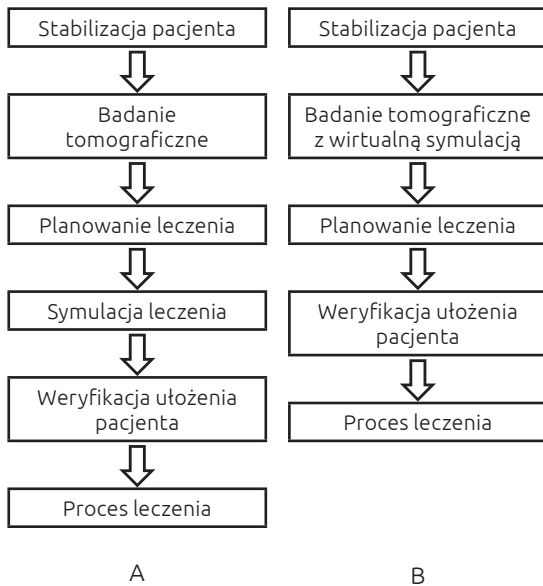
W pierwszym przypadku wirtualna symulacja wykonywana jest bez użycia dodatkowego układu laserów. Przed

wykonaniem badania tomograficznego na ciele pacjenta umieszczane są trzy znaczniki radiograficzne. Pozycjonuje się je z zastosowaniem układu laserów tomografu komputerowego i zaznacza orientacyjnie na powierzchni pacjenta, aby w przybliżeniu oznaczyć miejsce występowania guza nowotworowego. Następnie wykonuje się badanie tomograficzne, które przesyłane jest do systemu planowania leczenia TPS (*Treatment Planning System*). Przed zaplanowaniem układu pól leczenia punkt wyznaczony przez znaczniki radiograficzne oznacza się jako początek układu współrzędnych. Na podstawie wykonanych skanów tomograficznych wyznacza się kontury struktur anatomicznych pacjenta, szczególnie obszar guza nowotworowego. Na podstawie wyznaczonych obszarów planuje się układ pól leczenia i określa ich przesunięcie od wyznaczonego początku układu współrzędnych. Podczas pierwszego ułożenia pacjenta na stole terapeutycznym ustawiamy lasery aparatu na początek układu współrzędnych oznaczony w trakcie wykonywania badania tomograficznego na powierzchni ciała pacjenta. Bardzo ważna jest weryfikacja obrazowa tak zdefiniowanego układu wiązek. Można najpierw sprawdzić ułożenie pacjenta w punkcie początku układu współrzędnych (trzeba pamiętać, że oznaczony jest on na powierzchni pacjenta) poprzez wykonanie obrazów weryfikacyjnych, a następnie przesunąć pacjenta o wyznaczone wcześniej wartości przesunięcia. Inny sposób to ułożenie pacjenta do wyznaczonego początku układu współrzędnych, przesunięcie o znane wartości przesunięcia, a następnie wykonanie obrazowej weryfikacji ułożenia.

W przypadku wykonania wirtualnej symulacji „bez przesunięcia” wykorzystywany jest dodatkowy układ laserów oraz oprogramowanie wirtualnej symulacji posiadające część funkcji systemu planowania leczenia, które pozwalają na definiowanie parametrów geometrycznych układu pól leczenia (wiązek promieniowania). Tak jak w pierwszym przypadku, pacjent układany jest w pozycji terapeutycznej, a na powierzchni jego ciała umieszczane są znaczniki radiograficzne, przez co oznaczamy początek układu współrzędnych w pacjencie. Ważne jest, aby w tym przypadku oznaczyć również tę pozycję jako zerową pozycję stołu tomografu komputerowego (układ współrzędnych stołu terapeutycznego i diagnostycznego musi być identyczny). Po wykonaniu badania tomograficznego przesyłane są one do systemu wirtualnej symulacji. Pacjent pozostaje na stole, który ustawiany jest w pozycji zerowej (początkowej). Następnie lekarz na podstawie badania tomograficznego wyznacza kontur guza nowotworowego. W zdefiniowanym obszarze umieszcza się punkt referencyjny, który następnie przesyłany jest do systemu dodatkowych laserów. Następny etap polega na ustaleniu układu pól leczenia, które wraz ze skanami tomograficznymi również wysyłane są do systemu laserów. Ostatnią czynnością jest oznaczenie na pacjencie projekcji układu pól leczenia uzyskanej dzięki systemowi dodatkowych laserów. Już podczas ułożenia pacjenta na aparacie nie ma potrzeby przesuwania go o wyznaczone przesunięcie od początku układu współrzędnych, ponieważ zostało to wykonane wcześniej.



W obu przypadkach dzięki zastosowaniu wirtualnej symulacji cały proces przygotowania i leczenia w radioterapii staje się krótszy. Na rysunku 1 przedstawiono schemat procedur leczenia z zastosowaniem klasycznego symulatora (Rys. 1A) i schemat z zastosowaniem wirtualnej symulacji podczas wykonania badania tomograficznego (Rys. 1B) [11].



Rys. 1. Schemat procedur w procesie przygotowania chorego do radioterapii z zastosowaniem klasycznego symulatora (A) i symulacji wirtualnej (B)

Obecnie najczęściej stosowane są procedury wirtualnej symulacji „bez przesunięcia” z wykorzystaniem dodatkowego układu laserów.

Procedury związane z wirtualną symulacją

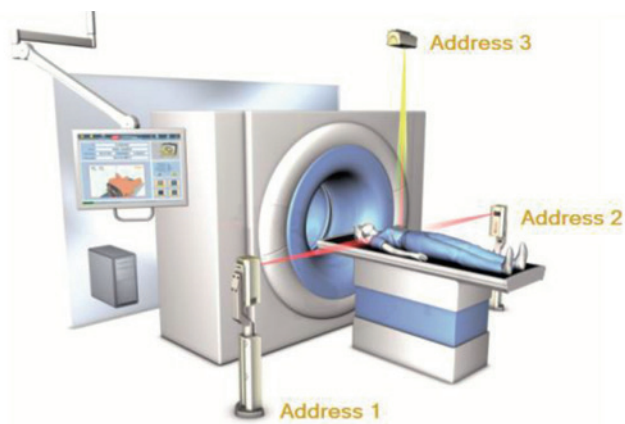
Proces wirtualnej symulacji wykonywany jest już podczas akwizycji skanów tomograficznych pacjenta. Dzięki rekonstrukcji 3D ciała pacjenta możliwe jest zdefiniowanie objętości guza nowotworowego i wstępne zaplanowanie geometrycznych parametrów planu leczenia oraz zaznaczenie ich na powierzchni pacjenta lub masce termoplastycznej.

Dla realizacji procesu wirtualnej symulacji stosuje się tomograf komputerowy z oprogramowaniem wirtualnej symulacji oraz dodatkowym systemem sprzętowym [3]:

- tomograf komputerowy dedykowany dla planowania leczenia w radioterapii, wyposażony w płaski stół z średnicą tuby (rekomendowana > 80 cm). Parametry te pozwalają na unieruchomienie pacjenta podczas wykonywania badania TK w pozycji terapeutycznej i uzyskanie obrazów w obszarze widzenia do 78 cm. Jednocześnie tomograf powinien bardzo szybko wykonywać rekonstrukcje 3D z jak największą gęstością skanów tomograficznych, tak aby obrazy DRR były jak najlepszej jakości;

- system laserów pozwalający na precyzyjne oznaczenie na powierzchni pacjenta parametrów geometrycznych planu leczenia zdefiniowanego dzięki wyznaczeniu struktur anatomicznych (obszar guza nowotworowego, obszary tkanek zdrowych) na podstawie rekonstrukcji 3D;
- oprogramowanie zawierające wszystkie dane dotyczące używanych aparatów terapeutycznych pozwalające na import skanów TK pacjenta, wyznaczenie konturów obszarów zainteresowania (obszar guza, obszar tkanek zdrowych), zdefiniowanie parametrów geometrycznych planu leczenia na podstawie wyznaczonych objętości zainteresowania, wyeksportowanie planu leczenia do systemu laserów i do systemu planowania leczenia.

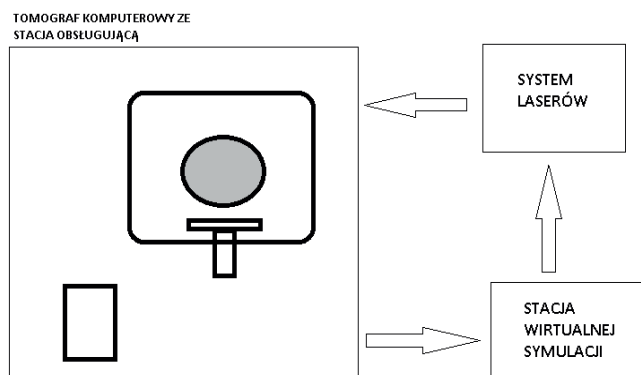
Na rysunku 2 przedstawiono układ poszczególnych komponentów wirtualnego symulatora w pomieszczeniach pracowni tomografu komputerowego [13].



Rys. 2. Pomieszczenie aparatu tomografii komputerowej wyposażone w komponenty wirtualnego symulatora. Dodatkowe zewnętrzne lasery są niezbędnym elementem wirtualnej symulacji.

Bardzo ważnym aspektem procesu wirtualnej symulacji jest również przepływ danych pomiędzy poszczególnymi elementami wirtualnego symulatora. Odbywa się to za pośrednictwem formatu DICOM-RT powszechnie stosowanego zarówno w obrazowaniu technikami tomograficznymi, jak i w systemach wykorzystywanych w radioterapii. Pierwszym krokiem transferu danych jest przesył informacji o początkowym położeniu laserów wirtualnego symulatora do stacji tomografu komputerowego. Po wykonaniu badania tomograficznego skany tomografii komputerowej wraz z zaznaczonym początkowym położeniem laserów wysyłane są do stacji wirtualnej symulacji. Następnie po ustaleniu wszystkich początkowych parametrów geometrycznych planu leczenia dane dotyczące pacjenta (skany tomograficzne, kontury i układ wiązek planu leczenia) przesyłane są do systemu laserów wirtualnego symulatora. Na rysunku 3 przedstawiono uproszczony schemat przepływu danych pomiędzy poszczególnymi komponentami wirtualnego symulatora.

W Centrum Onkologii – Instytucie im. M. Skłodowskiej-Curie w Gliwicach układ wirtualnego symulatora jest zgodny ze schematem (Rys 3). W jego skład wchodzi następujące komponenty:



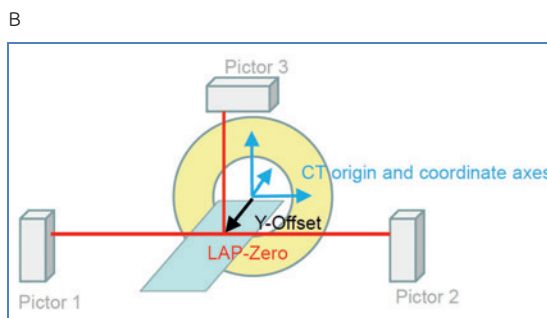
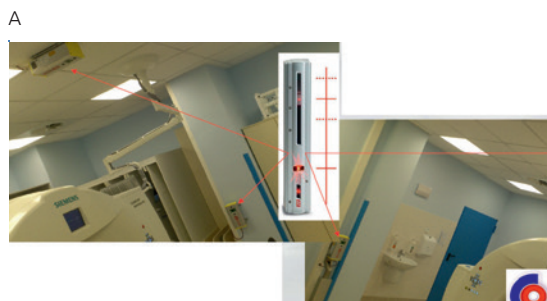
Rys. 3. Transfer danych pomiędzy elementami wirtualnego symulatora

- tomograf komputerowy Somatom Definition AS OPEN firmy Siemens,
- system laserów Argo_Navis_Carina_PICTOR3D firmy LAP Laser,
- stacja wirtualnej symulacji VSim firmy Siemens.

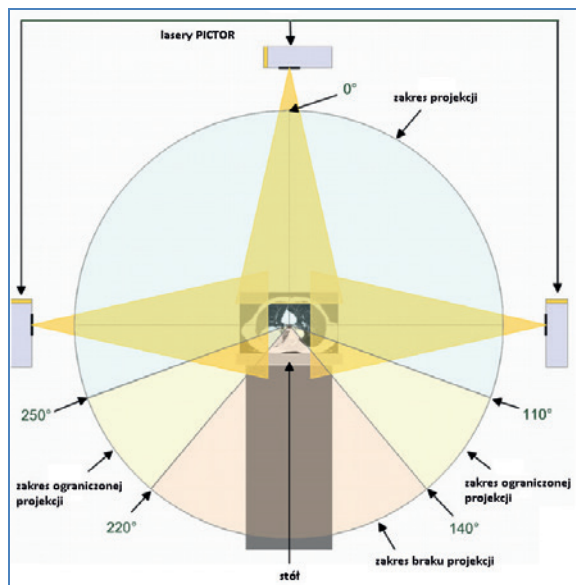
Pracownia tomografu komputerowego przeznaczonego do planowania leczenia w radioterapii wyposażona jest w 256-rzędowy tomograf komputerowy Somatom firmy Siemens z otworem gantry o średnicy 80 cm i płaskim blatem stołu. Pozwala to na ułożenie pacjenta w pozycji terapeutycznej wraz z całym systemem unieruchomienia i bardzo szybko uzyskanie izotropowych obrazów tomograficznych wykorzystywanych w planowaniu leczenia. W przypadku wirtualnej symulacji bardzo istotny jest jak najkrótszy czas wykonania badania, jak najdokładniejsza rekonstrukcja 3D pacjenta oraz bardzo dokładne rekonstrukcje obrazów DRR ogromnie użytecznych w późniejszym procesie wirtualnej symulacji. Istotnym elementem wirtualnego symulatora jest układ laserów pozwalający na projekcję na powierzchni pacjenta parametrów geometrycznych wiązek terapeutycznych, takich jak izocentrum, wymiary pola, ustawienie listków kolimatora wielolistkowego MLC. System laserów firmy LAP Laser wyposażony jest w trzy lasery naścienne PICTOR, serwer bazy danych Argo Navis obsługujący format DICOM RT, oprogramowanie CARINA-sim pozwalające użytkownikowi na symulację parametrów geometrycznych planu leczenia poprzez obsługę laserów.

Laser PICTOR wyposażony jest w dwie diody emitujące światło o długości fali 640 nm i 532 nm. Układ trzech laserów zainstalowany jest tak, aby skalibrowany był do izocentrum TK, wyznaczając w przestrzeni trójwymiarowej „punkt zerowy” wirtualnego symulatora (pozycja LAP ZERO) przesunięty o znaną wartość w osi y od izocentrum tomografu (Rys. 4).

Układ laserów PICTOR-3D po uwzględnieniu elementów tomografu, głównie stołu, daje zakres kątowy, w którym użytkownik ma możliwość projekcji wiązek planu leczenia na powierzchni ciała pacjenta. Symulacja pól terapeutycznych możliwa jest w zakresie kątów od 250 do 110 stopni zgodnie z obrotem wskazówek zegara. Producent podaje również dwa obszary ograniczonej projekcji, w których symulacja pól leczenia możliwa jest przy spełnieniu założeń wstępnych pozycjonowania pacjenta. Na rysunku 5 przedstawiono zdefiniowane wyżej obszary [13].



Rys. 4A Układ laserów PICTOR3D w pomieszczeniu tomografu komputerowego – dodatkowe wyposażenie TK, który jest wykorzystywany do wirtualnej symulacji;
4B Schemat korelacji trójwymiarowej przestrzeni tomografu komputerowego i wirtualnego symulatora.

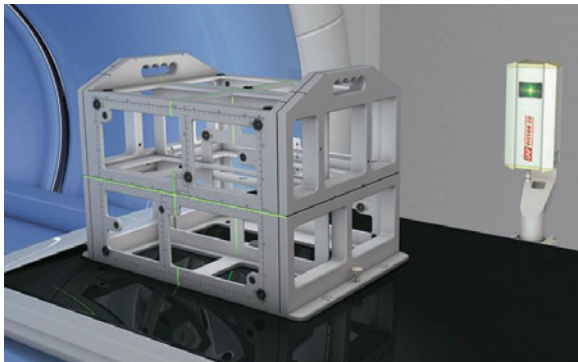


Rys. 5. Schemat zakresu projekcji laserów PICTOR-3D (jest on ważny, ponieważ umożliwia przeprowadzenie wirtualnej symulacji geometrycznych warunków napromieniania na aparacie terapeutycznym)

Ustawienie (trzech) laserów zewnętrznych w pomieszczeniu tomografu definiowane jest w trakcie instalacji TK, muszą być one skorelowane z układem laserów tomografu. Ponieważ pozycja laserów determinuje dokładność weryfikacji ułożenia pacjenta w trakcie wirtualnej symulacji, bardzo ważna jest procedura codziennej kalibracji sprawdzającej wzajemne położenie laserów PICTOR-3D. Kalibracja ta powinna być standardową procedurą wprowadzoną przez użytkownika do codziennej kontroli



jakości QC (*Quality Control*). Producent zaleca tzw. kalibrację użytkownika, w trakcie której najpierw sprawdzane są wzajemne położenia dwóch bocznych laserów poprzez skanowanie wiązką lasera dwóch punktów zdefiniowanych na przeciwnym laserze. W trakcie tego prostego testu pomiędzy laserami powinna być pusta przestrzeń. Następnym krokiem jest użycie dostarczonego przez producenta fantomu NORMA®. Test ten polega na umiejscowieniu fantomu w środku układu współrzędnych definiowanego przez punkt LAP-Zero (Rys. 6) [13].



Rys. 6. Fantom NORMA i procedura codziennej kalibracji laserów PICTOR-3D wymaga skorelowania układu laserów, tak aby proces wirtualnej symulacji odbywał się z najwyższą precyzją

Następnie uruchamiana jest procedura, w trakcie której wiązka każdego z laserów skanuje 12 pozycji na odpowiedniej ścianie fantomu. Każda z dwunastu pozycji skanowana jest trzykrotnie i powinna być odnaleziona przez wiązkę lasera przynajmniej raz. Na koniec uzyskuje się wyniki kalibracji dla każdego z laserów, są to wartości odchyłek kątowych i odległościowych w trójwymiarowej przestrzeni w odniesieniu do kalibracji podstawowej.

Wirtualna symulacja w dobie coraz częstszego stosowania technik dynamicznych IMRT (*Intensity Modulated Radiation Therapy*) i VMAT (*Volumetric Arc Therapy*) oraz IGRT (*Image Guided Radiation Therapy*) staje się podstawową procedurą w procesie planowania leczenia.

W procesie wirtualnej symulacji stosowanej w Instytucie w Gliwicach wyróżnia się następujące etapy:

- ułożenie pacjenta w pozycji terapeutycznej na stole tomografu komputerowego,
- ustawienie obszaru zainteresowania w obszarze izocentrum wirtualnego symulatora i zaznaczenie pozycji początku układu współrzędnych LAP-Zero,
- wykonanie badania tomograficznego obszaru zainteresowania,
- transfer obrazów tomograficznych z zaznaczonymi koordynatami pozycji LAP-Zero do stacji wirtualnej symulacji VSIM,
- zdefiniowanie konturów podstawowych struktur potrzebnych do wyznaczenia izocentrum i parametrów geometrycznych planu leczenia,

- zdefiniowanie punktów referencyjnych i przesłanie ich współrzędnych do systemu ruchomych laserów PICTOR-3D,
- w oparciu o wyznaczone struktury w etapie konturowania i z uwzględnieniem zaznaczonych punktów referencyjnych wyznaczenie geometrii planu leczenia,
- wystanie obrazów tomograficznych, konturów struktur, punktów referencyjnych i zdefiniowanego planu leczenia w formie plików DICOM-RT (CT Images, RT-Structure, RT-plan, RT-Image) do serwera bazy danych systemu laserów i systemu planowania leczenia,
- wizualizacja i zaznaczenie na powierzchni pacjenta parametrów układu pól leczenia (wyznaczonego izocentrum układu wiązek, granic zaplanowanych pól leczenia, obrysu zdefiniowanego kształtu kolimatora MLC).

Po ułożeniu pacjenta na stole tomografu bardzo ważne jest orientacyjne zaznaczenie, za pomocą laserów PICTOR, na powierzchni pacjenta środka miednicy i wyzerowanie w tej pozycji ustawienia stołu w osi długiej (Rys. 7).

Lekarz w module konturowania stacji VSIM wprowadza kontury potrzebne do wyznaczenia geometrii planu leczenia. Dla pewnych lokalizacji możliwe jest wprowadzenie konturów na podstawie predefiniowanych atlasów anatomicznych. Po zdefiniowaniu wszystkich konturów istotnych z punktu widzenia



Rys. 7. Zaznaczenie pozycji „zero” na skórze pacjenta przed rozpoczęciem wykonania badania tomograficznego stanowi podstawową procedurę wirtualnej symulacji. Jest to punkt odniesienia w dalszych etapach planowania leczenia w radioterapii.

planowania leczenia należy zdefiniować punkt referencyjny dla interesującej nas objętości leczonej. Najczęściej punkt ten umieszczany jest w środku geometrycznym zdefiniowanej do napromieniania objętości. Można również określić położenie punktu referencyjnego na podstawie dwóch fluoroskopowych rekonstrukcji radiograficznych wykonanych w płaszczyźnie czołowej i płaszczyźnie strzałkowej [14].

Ostatnim etapem wirtualnej symulacji jest zdefiniowanie planu leczenia dla wyznaczonych wcześniej konturów struktur anatomicznych i ustalonego punktu referencyjnego. Aby stworzyć plan leczenia w stacji VSIM, powinny być zdefiniowane dostępne w ośrodku aparaty terapeutyczne. Należy wybrać interesujący nas aparat terapeutyczny i wprowadzić pola leczenia wraz z punktem izocentrum, który jest umieszczony w środku geometrycznym napromienianej objętości. Oczywiście istnieje




możliwość dowolnego ustawienia położenia punktu referencyjnego, pól leczenia oraz zdefiniowanie jego wszystkich parametrów, takich jak wymiary wiązek promieniowania, kąt obrotu ramienia akceleratora, kolimatora i stołu, dopasowanie kształtu otwarcia MLC.

Ponieważ pacjent leży na stole tomografu w pozycji terapeutycznej, ważne jest, aby czynności wykonywane w oprogramowaniu stacji wirtualnej VSim trwały jak najkrócej. Po ostatecznym zdefiniowaniu geometrii planu leczenia wszystkie potrzebne informacje w postaci plików DICOM_RT (RT-Plan, RT-Structure, RT-Image) są wysyłane do systemu laserów wirtualnego symulatora w celu oznaczenia na powierzchni pacjenta parametrów geometrycznych planu leczenia.

Wszystkie dane użyte w trakcie wirtualnej symulacji przekazywane są do systemu planowania leczenia, gdzie na podstawie wyznaczonej geometrii wiązek leczenia zostanie dokładnie zaplanowany rozkład dawki dla pacjenta.

Podsumowanie

Wirtualna symulacja może być z powodzeniem stosowana we wszystkich przypadkach planowania leczenia dla technik dynamicznych, jeśli istnieje możliwość zdefiniowania z dużym prawdopodobieństwem położenia punktu referencyjnego w ciele pacjenta. Można ją jednak zastosować także dla prostych przypadków planowania w konformalnej radioterapii 3D-RT. Definiuje się wówczas nie tylko położenie punktu izocentrum w ciele pacjenta, ale również pozostałe parametry pól leczenia, takie jak ustawienie wymiarów pola, kątów obrotu głowicy, kolimatora i stołu, kształtu wielolistkowego kolimatora MLC, zdefiniowanie ilości pól leczenia. Należy jednak pamiętać o tym, by wykonywany plan leczenia nie był zbyt skomplikowany, tak aby czas realizacji procedury wirtualnej symulacji nie był zbyt długi, przez co mało komfortowy dla samego pacjenta. Może to skutkować niedostateczną precyzją odwzorowania wyznaczonych parametrów planu leczenia z powodu możliwej ruchomości pacjenta w pozycji terapeutycznej (szczególnie w bardziej wymagających przypadkach pacjentów paliatywnych). Proces wirtualnej symulacji zastosowany w schemacie procedur przygotowawczych do leczenia w radioterapii niesie za sobą wiele korzyści. Jest ona realizowana podczas wykonywania badania tomograficznego do planowania leczenia i zastępuje tradycyjną symulację na klasycznym symulatorze. Proces planowania leczenia jest krótszy i tym samym skraca się również czas oczekiwania pacjentów na rozpoczęcie procedur przygotowawczych do planowania leczenia lub też czas oczekiwania na rozpoczęcie leczenia na aparacie terapeutycznym. Dzięki wyeliminowaniu klasycznej symulacji można również uniknąć błędów w weryfikacji ułożenia pacjenta. Przy zastosowaniu przedstawionej procedury ważnym aspektem jest także czynnik ekonomiczny – w tym przypadku nie ma bowiem potrzeby zakupu symulatora klasycznego i przygotowania dla niego pomieszczenia, co zmniejsza koszty ponoszone przez ośrodek onkologiczny. 

Literatura

1. K. Ślosarek: *Podstawy planowania leczenia w Radioterapii*, Polskie Towarzystwo Onkologiczne, Oddział Śląski, 2007.
2. G. Pawlicki, T. Pałko, N. Golnik, B. Gwiazdowska, L. Królicki: *Fizyka Medyczna*, 9, Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit.
3. E.B. Podgorsak: *Radiation Oncology Physics: A Handbook For Teachers and Students*, International Atomic Energy Agency Vienna, 2005.
4. G.W. Sherouse, K. Novins, E.L. Chaney: *Computation of digitally reconstructed radiographs for use in radiotherapy treatment design*, *Int J Radiat Oncol Biol Phys.*, 18(3), 1990, 651-658.
5. G.W. Sherouse, C.E. Mosher, K.L. Novins, J.G. Rosenmann, E.L. Chaney: *Virtual simulation: concept and implementation*, [in:] I.A.D. Bruinvis, P.H. van der Giessen, H.J. van Kleffens, F.W. Witkamp (eds.): *Ninth International Conference on the Use of Computers in Radiation Therapy*, Amsterdam, The Netherlands: North Holland Publishing Co., 1987, 433-436.
6. G.W. Sherouse, E.L. Chaney: *The portable virtual simulator*, *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 21, 1991, 475-481.
7. Y. Nagata, T. Nishidai, M. Abe, M. Takahashi, K. Okajima, N. Yamaoka, H. Ishihara, Y. Kubo, H. Ohta, C. Kazusa: *CT Simulator: A new 3-D planning and simulating system for radiotherapy: Part 2. Clinical application*, *Int J Rad Oncol Biol Phys*, 18, 1990, 505-513.
8. T. Nishidai, Y. Nagata, M. Takahashi, M. Abe, N. Yamaoka, H. Ishihara, Y. Kubo, H. Ohta, C. Kazusa: *CT Simulator: A new 3-D planning and simulating system for radiotherapy: Part 1. Description of system*, *Int J Rad Oncol Biol Phys*, 18, 1990, 499-504.
9. C. Perez, J.A. Purdy, W. Harms, R. Gerber, J. Matthews, P.W. Grigsby, M.L. Graham, B. Emami, H.K. Lee, J.F. Michalski, S. Baker: *Design of a fully integrated three-dimensional computed tomography simulator and preliminary clinical evaluation*, *Int J Rad Oncol Biol Phys*, 30, 1994, 887-897.
10. J. Conway, M.H. Robinson: *CT virtual simulation*, *The British Journal of Radiology*, 75, 2002, 937-949.
11. G. Karangelis, N. Zamboglou: *EXOMIO: A 3D Simulator for External Beam Radiotherapy, Volume Graphics 2001 - Proceedings of the Joint IEEE TCVG and Eurographics Workshop in Stony Brook*, New York, USA, Springer-Verlag Wien New York, 2001, 351-362.
12. A.W. Tome, A.R. Steeves, P.B. Paliwal: *On the use of virtual simulation in radiotherapy of the intact breast*, *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 1(2), 2000, 58-67.
13. *Operation Manual, System for marking and virtual simulation ARGONAVIS CARINAsim for PICTOR 3D, LAP LASER.*
14. *VSim 2.7 Online Guide*, Siemens AG, 2010.