XVII KONGRES POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYKI MEDYCZNEJ

30.09 – 02.10.2022 W KRAKOWIE

KSIĄŻKA ABSTRAKTÓW

Spis treści

O wydarzeniu **1**

Organizatorzy **3**

Komitety **4**

Wykłady inauguracyjne **5**
Precyzyjny pomiar izocentrum mechanicznego elementów obrotowych przyspieszacza linowego . . . 6
Terapia protonowa i jonowa: Wskazania, korzyści, wyzwania . . . 7
Pierwszy obraz pozytonium mózgu człowieka . . . 8

Brachyterapia **9**
Wykorzystanie detektora ArcCHECK do weryfikacji systemów planowania leczenia w brachyterapii. . . . 10
Brachyterapia HDR wątroby . . . 11
Zobaczyć niewidoczne. Dawka na gałkę oczną podczas brachyterapii skóry głowy. . . . 12
Gradient temperatury guza i otaczających tkanek (dT) u pacjentów z rakiem podstawnokomórkowym leczonych brachyterapią HDR. . . . 13
Algorytmy optymalizacji odwrotnej w planowaniu brachyterapii nowotworów piersi . . . 14
Perspektywy rozwoju brachyterapii okulistycznej z wykorzystaniem druku 3D . . . 15
Free Hand- Remedium na 16

Diagnostyka obrazowa **17**
Nieparametryczny atlas MRI mózgowia dla populacji polskiej . . . 18
Porównanie dwóch systemów do mammografii cyfrowej za pomocą różnych ilościowych metod obliczeniowych . . . 19
Dawki w dwuenergetycznej mammografii cyfrowej a dawki w mammografii z pełnopolowym detektorem cyfrowym . . . 20
E-ROD - nowa wielkość służąca do oceny względnej wykrywalności obiektów w zastosowaniu do systemów mammografii cyfrowej . . . 21

Zastosowanie Tomografii Komputerowej w diagnostyce szpitalnej chorych na COVID-19 . . . 22
Pierwszorzędowe parametry teksturalne [18F]FDG PET/CT prognozujące przeżycie oraz klasyfikujące pacjentów z rakiem głowy i szyi . . . 23
Testy systemu automatycznej kontroli ekspozycji i jasności obrazu w aparatach z opcją fluoroskopii . . . 24
Narzędzia i bazy danych wykorzystywane w algorytmach uczenia maszynowego wspierające diagnostykę chorób płuc . . . 25
Ocena narażenia pacjentów i zgodności dawek z diagnostycznymi poziomami referencyjnymi w tomografii komputerowej . . . 26
Testy podstawowe kwartalne kratki przeciwrozproszeniowej w aparatach stosowanych we fluoroskopii i angiografii, w tym RTG z ramieniem C 27
Testy geometrii wiązki promieniowania rentgenowskiego w aparatach z ramieniem C: prostopadłość wiązki promieniowania X oraz odległość promienia centralnego od środka obrazu . . . 28

Inżynieria biomedyczna **29**
Zastosowanie systemu predykcji rytmu oddechowego pacjenta w lokalnych warunkach środowiska - badania wstępne. . . . 30

Kształcenie fizyków medycznych w Polsce **31**
Kształcenie i rozwój zawodowy fizyków medycznych w Polsce oraz pozostałych krajach unijnych, a rekomendacje EFOMP . . . 32
Zastosowanie fizyki w medycynie - wybór czy konieczność? . . . 33
Szkolenie zawodowe w dziedzinie fizyki medycznej – zmiany, ale jakie? . . 34
Kształcenie fizyków medycznych na AGH – ponad 30 lat doświadczeń . . . 35

Medycyna nuklearna i teranostyka **36**
Kalibracja gamma kamery na potrzeby dozymetrii wewnętrznej w terapii izotopowej Lu-177 . . . 37
Narażenie pacjentów i społeczeństwa wynikające z diagnostyki radioizotopowej w zakresie kardiologii (stan w Polsce w 2021 roku) . . . 38
Pomiar aktywności próbek zawierających mieszanki radionuklidów 177Lu i 90Y za pomocą licznika studzienkowego – kalibratora dawek . . . 39
Gamma kamera jako spektrometryczny miernik aktywności Lu-177 i Y-90 w próbkach zawierających mieszanki radionuklidów . . . 40
Indywidualna dozymetria pacjenta z przerzutami guza neuroendokrynnego do wątroby w terapii PRRT za pomocą 177Lu DOTATATE- pierwsze doświadczenia w pracy z programem QDose. . . . 41
Stabilność cech radiomicznych w badaniach 18F-FDG-PET pacjentów z nowotworami głowy i szyi przy zastosowaniu różnych protokołów obrazowania . . . 42
Dozymetria cząstek alfa w terapii borowo – neutronowej na podstawie pomiarów spektrometrycznych promieniowania gamma – stanowisko pomiarowe . . . 43

Badanie stabilności cech radiomicznych wyznaczanych w różnych przestrzeniach obrazu badań 18F-FDG-PET pacjentów z rakiem szyjki macicy . 44
Zastosowanie sieci neuronowych YOLO do identyfikacji ognisk nowotworowych w badaniu PET/CT z użyciem 18-F-FDG 45
Pozytonowa tomografia emisyjna PET – CT metabolizmu miedzi 64 – Cu u chorych z podejrzeniem lub rozpoznaniem choroby Wilsona 46
Projekt DuoNen - Zastosowanie terapii tandemowej LutaPol/ItraPol (177Lu/90Y-DOTATATE) jako skutecznego narzędzia w leczeniu nowotworów neuroendokrynnych_ opis przypadku 47
Dynamika naprawy uszkodzeń DNA w komórkach poddanych działaniu sekwencyjnych wiązek mieszanych promieniowania jonizującego 48
Kalibracja gammakamery na potrzeby dozymetrii wewnętrznej w tandemowej terapii radioizotopowej 177Lu/90Y-DOTATATE 49
Ocena przydatności metod półilościowych i wzorców wizualnych w różnicowaniu guzków tarczycy u chorych z niejednoznacznym wynikiem badania cytologicznego - doniesienie wstępne. 50
Rola indywidualnej dozymetrii narządowej u pacjentów zakwalifikowanych do terapii guzów neuroendokrynnych (NET) z wykorzystaniem Lu-177 oraz mieszanek Y-90 i Lu-177- doświadczenia własne 51
Emitery promieniowania krótko-zasięgowego w celowanej terapii radionuklidowej 52
Charakterystyka stanowisk do napromieniania neutronowego w badaniach biomedycznych 53
Diagnostyka zapalenia serca 54
Badanie F18-FDG PET-CT onkologicznej pacjentki w ciąży – uzasadnienie oraz optymalizacja pod kątem dawek otrzymywanych przez płód. . . . 55

Ochrona radiologiczna **56**
Wdrożenie testów kontroli jakości mierników DAP (dose-area-product) w ramach miesięcznych testów podstawowych w związku z nowelizacją prawa atomowego pod kątem analizy dawek pacjentów – dwa lata doświadczeń 57
Ochrona radiologiczna personelu w świetle wyników otrzymanych w Laboratorium Dozymetrii Indywidualnej i Środowiskowej IFJ PAN 58
Wyznaczenie rekombinacyjnego wskaźnika jakości promieniowania mieszanego wokół liniowego akceleratora medycznego podczas realizacji planów radioterapeutycznych. 59
Klasyfikacja odpadów promieniotwórczych powstałych w trakcie napromieniania wiązką protonową elementów cyklotronu stosowanego do produkcji radiofarmaceutyków 60
Sygnał zerowy szkła z wyświetlaczy telefonów komórkowych a możliwość odczytu dawki w sytuacji awaryjnej 61
Ochrona radiologiczna dla energetyki jądrowej – strategia badań i rozwoju . 62
Charakterystyka detektorów typu MCP-N standardowych i regenerowanych 63

Charakterystyka detektorów typu MCP-N standardowych i regenerowanych . . . 64
Ocena narażenia na promieniowanie jonizujące pracowników wykonujących procedury z zakresu medycyny nuklearnej w ujęciu optymalizacji ochrony radiologicznej personelu . . . 65
Zwiększenie świadomości personelu poprzez realizację kampanii „Radiologiczne badania obrazowe a ciąża” . . . 66
Analiza dawek i wyznaczenie poziomów referencyjnych oraz alertów dawek dla procedury weryfikacji, przy zastosowaniu aparatu z ramieniem C, położenia aplikatora walcowego podczas drugiej i trzeciej frakcji brachyterapii ginekologicznej – dwa lata doświadczeń. . . . 67

Promieniowanie niejonizujące **68**
Korelacja pomiędzy izotermami i izodozami u pacjentek po oszczędzającej operacji piersi w radioterapii . . . 69
ZASTOSOWANIE TERMOWIZJI W OCENIE EFEKTÓW TERMICZNYCH RADIOTERAPII U KOBIET PO MASTEKTOMII . . . 70
Właściwości antyoksydacyjne wybranych witamin – badania metodą EPR . 71
Wpływ komory normobarycznej na parametry fali pulsu wysokiej rozdzielczości sygnałowej (HSR-PW) . . . 72
Mikrokalorymetryczne badania efektu ekspozycji in vitro surowicy krwi ludzkiej na promieniowanie jonizujące . . . 73
Wpływ pola magnetycznego na endocytozę funkcjonalizowanych nanocząstek magnetytu w komórkach drożdży . . . 74
PERFUZJA REZONANSU MAGNETYCZNEGO W OCENIE PROCESU ROZROSTOWEGO W OBRĘBIE MÓZGOWIA . . . 75
Porównanie wpływu zabiegów kriostymulacji ogólnoustrojowej i sauny fińskiej na zmiany powysiłkowe w surowicy krwi sportowców . . . 76
WYKORZYSTANIE TERMOGRAFII W PODCZERWIENI DO ZDALNEGO POMIARU TEMPERATURY CIAŁA OSÓB WCHODZĄCYCH DO INSTYTUCJI PUBLICZNYCH – BADANIA PRZESIEWOWE W KIERUNKU GORĄCZKI . . . 77

Protonoterapia **78**
Wpływ stabilizatorów kręgosłupa na rozkład dawki i zasięg wiązki w radioterapii protonowej . . . 79
Weryfikacja i optymalizacja konwersji jednostek Hounsfielda na względną zdolność hamowania protonów w Centrum Cyklotronowym Bronowice . . . 80
Bezpieczne planowanie radioterapii protonowej u pacjentów ze stabilizatorami metalowymi . . . 81
Oś mózgowo rdzeniowa - radioterapia helikalna czy protonowa? . . . 82
Przystosowanie stanowiska do radioterapii protonowej wiązką skanująca do celów badawczo-rozwojowych . . . 83
Trójwymiarowa (3D) dozymetria na bazie optycznie stymulowanej luminescencji – w kierunku wysokorozdzielczej radioterapii protonowej . . . 84

Computational and experimental characterisation of mixed radiation fields in proton therapy . . . 85
Charakterystyka dozymetryczna dedykowanego dyskryminatora zasięgu wykorzystywanego w radioterapii protonowej osi mózgowo-rdzeniowej . . . 86
Stworzenie procedury szacowania ekspozycji radiacyjnej płodu w radioterapii protonowej wiązką skanującą przy napromienianiu nowotworów głowy i szyi pacjentki ciężarnej . . . 87
Zwiększenie konformalności radioterapii protonowej wiązką skanującą z użyciem dedykowanych kompensatorów 3D oraz dyskryminatorów zasięgu . . . 88
Wpływ wybranych parametrów konfiguracyjnych na dokładność obliczeń analitycznego algorytmu wiązki protonowej w systemie Varian Eclipse 16.1 . . . 89
Porównanie parametrów wybranych stanowisk radioterapii protonowej nowotworów oka . . . 90
Kliniczne modele radiobiologiczne stosowane w radioterapii jonami węgla (CIRT): Który model wybrać? Jakie są między nimi zależności? Jak planować leczenie biorąc pod uwagę rozkład RBE i LET u pacjenta? - Wstępne wyniki kliniczne . . . 91
Badanie rozpraszania światła na strukturach polimerowych w żelach dozymetrycznych z wykorzystaniem laserowej tomografii komputerowej . 92
Badanie rozpraszania światła na strukturach polimerowych w żelach dozymetrycznych z wykorzystaniem laserowej tomografii komputerowej . 93
Wpływ czynników materiałowych i mechanicznych na odpowiedź radiochromiczną dozymetrów polimerowo-żelowych . . . 94
Badanie czynników wpływających na dokładność pomiaru rozkładu przestrzennego dawki głębokiej od terapeutycznych wiązek protonów w polimerowo-żelowych fantomach dozymetrycznych. . . . 95

Radioterapia **96**
Wyniki działalności Pracowni Wtórnych Wzorców Dozymetrycznych (PWWD) w latach 2017-2021 . . . 97
VMAT TOTALNIE dobry na wszystko? . . . 98
Prototypowa metoda skrócenia czasu skanowania w transmisyjnej tomografii laserowej dla trójwymiarowej dozymetrii żelowej w radioterapii . . 99
Ilościowe metody porównywania izodoz przestrzennych rozkładów dawki zaplanowanej i zrealizowanej w kontroli jakości w radioterapii. . . . 100
Weryfikacja ułożenia pacjenta przy użyciu złotych markerów GoldAnchor® wszczepionych do wątroby w radiochirurgii CyberKnife . . . 101
Porównanie danych dozymetrycznych wiązki elektronowej HDTSe wytwarzanej przez przyspieszacze liniowe Clinac 23Ex i TrueBeam firmy Varian wykorzystywanej w terapii napromieniania całej skóry TSEI. . . . 102
Weryfikacja metodą obliczeniową dawki zaplanowanej w radioterapii neuralgii nerwu trójdzielnego przy użyciu aparatu CyberKnife . . . 104

Zastosowanie algorytmów uczenia maszynowego w weryfikacji dozymetrycznej pacjentów . . . 105
DIBHmotylFFF - czyli zastosowanie wiązek bezfiltrowych do napromieniania piersi lewej na wstrzymanym głębokim wdechu. . . . 106
AQURE - akcelerator do śródoperacyjnej radioterapii elektronami – założenia, techniczne innowacje i wyniki QA . . . 107
Gamma Knife Icon - nowe funkcje i możliwości . . . 108
Badania wybranych własności mechanicznych wydruków 3D pod kątem ich zastosowania w radioterapii . . . 109
Ocena wpływu dwóch metod specyfikowania dawki na rozkład dawki guzów płuca w radioterapii stereotaktycznej . . . 110
Ocena zastosowania ultrasonografu PINIT do kontroli wypełnienia pęcherza moczowego podczas radioterapii. . . . 111
Zastosowanie techniki VMAT w napromienianiu mózgowia z ochroną hipokampa . . . 112
Wstępne doświadczenia z użyciem systemy Vision RT w Świętokrzyskim Centrum Onkologii . . . 113
Zastosowanie metody DIBH w leczeniu lewostronnego raka piersi technikami 3D-CRT i VMAT. . . . 114
Rekonstrukcja dawki w radioterapii wiązkami zewnętrznymi przy użyciu matrycy detektorów półprzewodnikowych EPID. . . . 115
Długoczasowa stabilność współczynnika wzorcowania ND,w dla komór typu Farmer . . . 116
Wdrożenie półautomatycznej metody weryfikacji zgodności pola promieniowania z polem symulacji świetlnej akceleratorów liniowych . . . 117
Analiza śródfrakcyjnej ruchomości pacjentów leczonych techniką stereotaktyczną w obszarze klatki piersiowej w oparciu o obrazowanie powierzchniowe AlignRT . . . 118
Wieloośrodkowa walidacja modeli RapidPlan dla pacjentek z nowotworem ginekologicznym . . . 119
Realizacja pierwszej procedury radioterapii śródoperacyjnej (IORT) raka trzustki w Samodzielnym Publicznym Szpitalu Klinicznym nr 1 w Lublinie . . 120
Automatyczne konturowanie CTV oraz narządów krytycznych w mózgu w oparciu o obrazy tomografii komputerowej . . . 121
Grafitowa komora jonizacyjna jako jonometryczny wzorzec pierwotny dawki pochłoniętej w wodzie do dozymetrii terapeutycznych wiązek fotonów (badanie wstępne) . . . 122
WPŁYW PARAMETRÓW KOLIMATORA WIELOLISTKOWEGO MLC NA WERYFIKACJĘ DYNAMICZNYCH PLANÓW LECZENIA W RADIOTERAPII . . . 123
Weryfikacja dokładności obliczeń rozkładu dawki w systemie planowania leczenia wiązkami zewnętrznymi dla ekspanderów o wysokiej liczbie atomowej . . . 124
Development of composite TL and OSL materials for analyzation of dose and energy of photons beam for radiotherapeutic applications . . . 125
LATTICE - POWRÓT DO PRZESZŁOŚCI CZY SKOK W PRZYSZŁOŚĆ? . . . 126

Optymalizacja radioterapii wiązkami zewnętrznymi pacjentki w ciąży – podejście holistyczne i aspekty praktyczne 127
Akcelerator śródoperacyjny AQURE 128

Sesja naukowa Komisji ds. Medycyny Nuklearnej KFMRiDO PAN 129
WCZORAJ I JUTRO MEDYCYNY NUKLEARNEJ 130
Medycyna nuklearna w kardiologii polskiej - stan aktualny 131

Spotkanie Sekcji Brachyterapii 132
Zastosowanie implantów stałych w wybranych lokalizacjach – przegląd literaturowy 133

Spotkanie Sekcji Diagnostyki Obrazowej 134
Zastosowanie obrazowania rezonansu magnetycznego ważonego dyfuzją (DTI, DWI) do oceny udaru niedokrwiennego mózgu 135
Wewnętrzne diagnostyczne poziomy referencyjne w radiologii zabiegowej i tomografii komputerowej 136

Sponsorzy 137

Partnerzy 140

Szanowni Państwo,

Kongres Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej jest wydarzeniem, cyklicznie organizowanym przez Polskie Towarzystwo Fizyki Medycznej (PTFM) im. Cezarego Pawłowskiego we współpracy z najlepszymi krajowymi ośrodkami klinicznymi i naukowymi.

W bieżącym roku odbędzie się już po raz siedemnasty, tym razem decyzją Zarządu Głównego PTFM, w Krakowie na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH przy ścisłej współpracy z Instytutem Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego PAN, gdzie działa jedyne w Polsce centrum terapii protonowej (Centrum Cyklotronowe Bronowice).

Celem Kongresu będzie przedstawienie najnowszej wiedzy i dokonań oraz wymiana doświadczeń dotyczących rozwoju fizyki medycznej, a w szczególności nowych metod i technik diagnostycznych oraz terapeutycznych. Spotkanie będzie również okazją do zacieśnienia współpracy ośrodków naukowych i akademickich z przedstawicielami otoczenia społeczno-gospodarczego, jak również pozwoli studentom, doktorantom i uczestnikom specjalizacji z dziedziny fizyki medycznej na poszerzenie ich wiedzy w ww. zakresie.

Tematyka konferencji obejmować będzie zagadnienia z zakresu radioterapii (w tym terapii jonowej), obrazowania medycznego, medycyny nuklearnej, ochrony radiologicznej, teranostyki, biosygnałów i nanotechnologii.

Witamy w Krakowie!

dr. hab. Joanna Chwiej, prof. AGH
Przewodnicząca Komitetu Organizacyjnego Kongresu PTFM 2022
dr. hab. Renata Kopeć, prof. IFJ PAN
Przewodnicząca Komitetu Naukowego Kongresu PTFM 2022

Miasto Kraków

Kraków - ze względu na siłę demograficzną, ekonomiczną, społeczną i naukowo - kulturową - jest drugim miastem Polski. Posiada unikalne walory, na których opiera rozwój gospodarczy oraz wzrost jakości życia. Dysponuje wysokiej jakości kapitałem ludzkim, jest miastem świadomego wyboru miejsca zamieszkania, pracy, nauki, spędzania wolnego czasu dla ludzi wykształconych i kreatywnych. Priorytetem jest zrównoważony rozwój i możliwość sprostania konkretnym wyzwaniom przy umiejętnym wykorzystaniu własnych zasobów.

Ośrodek akademicki, z działającym od 650 lat Uniwersytetem na czele, jest trwale zespolony z miastem i w unikalny sposób buduje niepowtarzalny zasób wiedzy. Jest kluczem do konkurencyjności i innowacyjności nie tylko Krakowa, ale także całego regionu. Rozwijająca się intensywnie gospodarka oparta na wiedzy to zupełnie nowy proces w życiu gospodarczym Miasta, który włącza go w obieg nowoczesnej ekonomii świata.

Nadrzędnym celem jest, by Kraków był nie tylko miastem nowoczesnym, ale i dumnym z historycznego dziedzictwa. By był otwartą, bogatą, przyjazną i bezpieczną metropolią, tętniącą kulturą. Inteligentne zarządzanie i wzmacnianie sfery nowoczesnych usług oraz sektora badawczo-rozwojowego jest fundamentem rozwoju Krakowa – miasta, w którym stawia się na innowacyjność i efektywną współpracę nauki i biznesu.

Zapraszamy do odwiedzenia naszej strony internetowej i zapoznania się możliwościami, jakie oferuje magiczny Kraków – zakorzeniony w tradycji, uwrażliwiony na codzienność i otwarty na rozwój: https://business.krakow.pl.

Fot. Piotr Krochmal

Organizatorzy

AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica
w Krakowie

INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
IM. HENRYKA NIEWODNICZAŃSKIEGO
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

POLSKIE TOWARZYSTWO
PTFM
FIZYKI MEDYCZNEJ

Komitety

Komitet organizacyjny

Przewodnicząca: dr hab. Joanna Chwiej, prof. AGH
Sekretarz: dr inż. Marzena Rydygier (IFJ PAN)
dr Katarzyna Matusiak (WFiIS AGH)
dr Aleksandra Klimas (UŚ Katowice)
dr Anna Zawadzka (NIO-PIB Warszawa)
mgr inż. Marzena Rugieł (doktorant, KISD)
mgr Damian Kabat (NIO-PIB Kraków)
dr Kamil Kisielewicz (NIO-PIB Kraków)
mgr Kamil Kawoń (doktorant AGH)
mgr inż. Aleksandra Wilk (doktorant AGH)
mgr inż. Julia Łepkowska (doktorant AGH)
mgr Paulina Stasica (doktorant, IFJ PAN)

Komitet naukowy

Przewodnicząca: dr hab. Renata Kopeć, prof. IFJ PAN
prof. Janusz Braziewicz (UJK, Kielce)
dr hab. Armand Cholewka (UŚ, Katowice)
prof. Jacek Fijuth (UM, Łódź)
dr hab. Aleksandra Jung (AGH, Kraków)
prof. Paweł Kukołowicz (NIO-PIB, Warszawa)
prof. Roman Makarewicz (CM UMK, Bydgoszcz)
prof. Julian Malicki (UM, Poznań)
prof. Paweł Moskal (UJ, Kraków)
prof. Paweł Olko (IFJ PAN, Kraków)
prof. Tomasz Piotrowski (UM, Poznań)
dr Witold Skrzyński (NIO-PIB, Warszawa)
prof. Krzysztof Ślosarek (prezes PTFM, NIO-PIB Gliwice)
dr Janusz Winiecki (Bydgoszcz)

WYKŁADY INAUGURACYJNE

Precyzyjny pomiar izocentrum mechanicznego elementów obrotowych przyspieszacza linowego

Autorzy: Paweł Kukołowicz[1]; Mikołaj Tarchalski[2]; Dariusz Szałkowski[3]

[1] *Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie Państwowy Instytut Badawczy*

[2] *NaviRation, sp. z o.o.*

[3] *NaviRation sp z o.o.*

Kontakt: pawel.kukolowicz@pib-nio.pl

Bezpieczeństwo i skuteczność stereotaksji wymaga wysokiej precyzji geometrycznej napromieniania. Raport AAPM142 i polskie prawo zalecają, aby rozbieżność pomiędzy izocentrum promieniowania i mechanicznym nie przekraczała 1 mm. Zaprezentujemy mobilne system pomiarowy do precyzyjnego pomiaru położenia mechanicznego izocentrum.
System składa się z dwóch kamer, stacji roboczej oraz źródła światła. Kamery zamontowane na poziomej belce, pracują w układzie stereo. Konstrukcja znajduje się na mobilnej platformie wyposażonej w stację roboczą. System umożliwia wykonanie pomiaru dla ruchów obrotowych ramienia, kolimatora i stołu. Integralną częścią systemu jest target mocowany na elemencie ruchomym, którego środek wyznacza pozycję elementu obrotowego. Stacja robocza to komputer, UPS oraz elektronika sterująca. Obrazy są zbierane z częstotliwością 22 Hz. Oprogramowanie napisano w technologii .NET. W czasie jednego obrotu rejestrowanych jest 1200 współrzędnych targetu. Do zbioru punktów dopasowywany jest okrąg, którego środek wyznacza izocentrum. Działanie modelu zostało sprawdzone poprzez symulację zmiany położenia osi obrotu. Zwalidowano działanie systemu dzięki skonstruowanemu symulatorowi obrotu ramienia, kolimatora i stołu terapeutycznego. Symulatora umożliwia zmianę pozycji osi obrotu w trzech kierunkach co 0,01 mm. Uzyskane wyniki są prezentowane na wykresie 3D. Wykonaliśmy pomiary sfery izocentrum dla 5 przyspieszaczy.
Model obliczeniowy umożliwia wyznaczenie izocentrum z dokładnością 0,06 mm. Średnica sfer izocentrum dla akceleratorów zainstalowanych w NIO nie przekraczała 0,75 mm. Największy wpływ na wielkość sfery izocentrum miały zmiany położenia stołu terapeutycznego. Pomiar dla jednego przyspieszacza nie przekraczał 20 min.
Zaprojektowane urządzenie umożliwia na bardzo precyzyjne wyznaczenie aktualnego izocentrum dla dowolnego położenia ramienia, stołu i kolimatora przyspieszacza. Bardzo krótki czas pomiaru pozwala na wykonanie testu izocentrum przed każdą sesją stereotaktyczną.

Terapia protonowa i jonowa: Wskazania, korzyści, wyzwania

Autor: Maciej Pelak[1]

[1] *MedAustron Ion Therapy Center*

Kontakt: pele@people.pl

Terapia protonowa jest aktualnie jedną z najdynamiczniej rozwijających się dziedzin radioterapii. Ze względu na wysokie koszty budowy i utrzymania ośrodków oraz samego leczenia, jej dostępność nawet w państwach przeznaczających znaczne środki na ochronę zdrowia jest ograniczona. Ze względu na to, jak również strategii marketingowych samych ośrodków istotne jest, by profesjonaliści w ochronie zdrowia, tj.lekarze specjaliści, fizycy medyczni, nadzorujący ochronę zdrowia i płatnicy mieli świadomość tego, kto powinien być kierowany na protonoterapię, jakie odnosi z niej korzyści oraz jakie ma ograniczenia i wymagania, nie zawsze obecne w terapii fotonowej.
W pierwszej części niniejszej prezentacji omówione zostaną:
- najważniejsze podstawy fizyczne terapii protonowej
- wskazania wraz z podziałem na względne i bezwzględne oraz ich przykłady
- uwarunkowania ekonomiczne: koszty budowy, koszty terapii, modele w jakich systemy ochrony zdrowia w różnych krajach finansują leczenia protonami
- wyzwania dla fizyków medycznych i lekarzy, pracujących w ośrodkach protonoterapii.

Idea wykorzystania promieniowania o wysokim LET do przełamania oporności nowotworów o niezadowalających wynikach leczenia RT konwencjonalną była postrzegana jako „magic bullet" radioterapii. W warunkach badań klinicznych terapia ta była testowana już od lat 50., ale ze względu na trudności w rozwoju technologii dopiero od lat 90. ma ona szerokie zastosowanie. Dlaczego zatem ośrodków dysponujących wiązką jonów ciężkich jest prawie dziesięciokrotnie mniej niż centrów protonoterapii?
W drugiej części prezentacji omówiony zostanie zarys terapii jonami ciężkimi:
- uwarunkowania ekonomiczne
- trudności w definiowaniu wskazań i generowaniu dowodów naukowych
- najważniejsze różnice w klinicznym zastosowaniu terapii protonowej i jonowej
- szanse i miejsce dla technologii jonowej w systemach opieki onkologicznej

Pierwszy obraz pozytonium mózgu człowieka

Autor: Paweł Moskal[1]

[1] *Jagiellonian University*

W marcu tego roku wykonano pierwsze obrazy czasów życia atomów pozytonium w mózgu człowieka. Obrazy te zostały wykonano na Warszawskim Uniwersytecie Medycznym przez zespół badawczy J-PET za pomocą modularnego i przenośnego prototypu tomografu PET zbudowanego ze scyntylatorów plastikowych. Pomiary wykonano stosując podejście teranostyczne polegające na diagnozowaniu pacjenta z nowotworem mózgu za pomocą farmaceutyków znakowanych izotopem 68Ga i jednoczesnym leczeniu farmaceutykiem znakowanym izotopem 225Ac. Wykonane obrazy są zwieńczeniem kilkunastu lat rozwoju technologii J-PET i otwierają nowy, atrakcyjny z punktu widzenia fizyki medycznej, etap badań klinicznych.

Modularny i składany PET jest najnowszej generacji prototypem tomografu J-PET, który został wynaleziony, zaprojektowany i zbudowany na Uniwersytecie Jagiellońskim. J-PET jest urządzeniem pozwalającym na obrazowanie dwu i wielo-fotonowe. Jest to pierwszy tego typu tomograf na świecie. Obrazowanie pozytonium to również metoda wynaleziona na Uniwersytecie Jagiellońskim, która umożliwia wytwarzanie obrazów właściwości atomów pozytonium (atomów złożonych z elektronu z tkanki oraz pozytonu emitowanego przez znacznik izotopowy) powstających w wolnych przestrzeniach wewnątrzmolekularnych w ciele człowieka w trakcie tomografii PET.

Na wykładzie omówione zostaną: zasada działania tomografu J-PET i metoda obrazowania pozytonium. Przedstawione zostaną pierwsze obrazy PET wykonane tomografem J-PET oraz pierwsze obrazy pozytonium. Przedstawione będą także możliwości monitorowania zasięgu wiązki protonowej w trakcie leczenia nowotworów i wstępne wyniki uzyskane przy naświetlaniu fantomów terapeutyczną wiązką protonów w Centrum Cyklotronowym Bronowice. Omówione zostaną perspektywy budowy w Polsce tomografu J-PET na całe ciało człowieka i możliwości jego wykorzystania w Centrum Teranostyki Uniwersytetu Jagiellońskiego.

P.Moskal et al., Nature Reviews Physics 1 (2019) 527; Science Advances 7 (2021) eabh4394; Nature Communications 12 (2021) 5658.

BRACHYTERAPIA

Wykorzystanie detektora ArcCHECK do weryfikacji systemów planowania leczenia w brachyterapii

Autor: Adam Cichoński[1]

Współautorzy: Anna Wysocka-Rabin [1]; Piotr Sobotka [2]; Adam Kowalczyk [3]

[1] *Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Andrzeja Sołtana 7, 05-400 Otwock*

[2] *Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, Koszykowa 75, 00-662 Warszawa*

[3] *Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej – Curie Państwowy Instytut Badawczy, Roentgena 5, 02-781 Warszawa*

Kontakt: adam.cichonski@ncbj.gov.pl

Detektor ArcCHECK (Sun Nuclear Corporation, Melbourne, FL) jest urządzeniem zaprojektowanym na potrzeby radioterapii realizowanej metodami konwencjonalnej IMRT, jak również VMAT i tomoterapii. Konstrukcja detektora, w postaci cylindrycznej siatki 1386 diod półprzewodnikowych SunPoint okalających wewnętrzną, współosiową przestrzeń urządzenia, stwarza możliwość wykorzystania go do weryfikacji systemów planowania leczenia oraz wykonywania procedur kontroli i zapewnienia jakości w brachyterapii. Celem pracy jest określenie możliwości wykorzystania detektora ArcCHECK w tym zakresie.

Materiał i metody

Eksperymentalną część pracy wykonano z użyciem detektora ArcCHECK wraz z umieszczonym wewnątrz fantomem BrachyPlug. Fantom ma postać jednorodnego walca wykonanego z PMMA, dopasowanego do wewnętrznej przestrzeni detektora z wydrążonymi przez całą długość kanałami (o średnicy 2 mm). Kanały zgrupowane są w trzech układach, odpowiadających typowemu rozmieszczeniu źródeł w prostym planie leczenia, i pozwalają na umieszczenie źródeł promieniowania wewnątrz objętości fantomu. Układ złożony z fantomu umieszczonego w detektorze został napromieniony według uprzednio przygotowanego planu. Jako dane referencyjne do porównań z wynikami pomiaru wykonano symulację numeryczną układu eksperymentalnego metodą Monte Carlo. Porównywano znormalizowane do maksimum wartości nieskorygowanej liczby zliczeń z poszczególnych diod z wartościami obliczonymi, podlegającymi takiej samej normalizacji.

Wyniki i wnioski

Średnia różnica wartości zmierzonej i obliczonej dla odpowiednich par diod wynosi 1,07% z odchyleniem standardowym na poziomie 3,95%. Wykonano również płaskie mapy z zaznaczonymi wartościami dla pomiaru i symulacji, dla których przeprowadzono subtrakcję ukazującą powierzchniowy rozkład różnic wskazań. Wyniki sugerują możliwą przydatność detektora ArcCHECK w brachyterapii. W przygotowaniu jest nowy fantom pomiarowy umożliwiający wprowadzenie niejednorodności ośrodka w kolejnych eksperymentalnych napromienianiach.

Brachyterapia HDR wątroby

Autor: Łukasz Charkot[1]

[1] *Centrum Onkologii Ziemi Lubelskiej im. św. Jana z Dukli*

Kontakt: lcharkot@cozl.pl

Brachyterapia HDR wątroby to rodzaj brachyterapii wewnątrztkankowej. Przeprowadzenie całej procedury jest możliwe dzięki umieszczeniu w sali operacyjnej, pełniącej jednocześnie rolę bunkra do brachyterapii, tomografu komputerowego z opcją fluoroskopii. Terapii poddawane są zmiany zarówno pierwotne jak i wtórne z intencją zarówno paliatywną jak i radykalną. Metoda jest przeznaczona dla pacjentów z nowotworem pierwotnym wątroby, nieoperacyjnym po wyczerpaniu możliwości leczenia systemowego, lub z progresją po 1 lub 2 linii leczenia systemowego. Większość nowotworów wątroby to nowotwory wtórne, w ich przypadku mamy do czynienia z leczeniem paliatywnym. Istnieje jednak spora grupa pacjentów z nowotworem pierwotnym wątroby, którzy pomimo wyczerpania innych metod leczenia są w dobrym stanie ogólnym i wykazują silną motywację do leczenia. Również pacjenci z choroba oligometastatyczną rokują lepiej i procedura jest kierowana głównie do tych dwóch grup pacjentów. Metoda została wprowadzona do praktyki klinicznej w Zakładzie Brachyterapii COZL w Lublinie w 2014. W ciągu 6 lat zabieg wykonano u 285 pacjentów. Leczeniu poddano pacjentów w grupie wiekowej 19-86 lat, o stanie ogólnym WHO 0-3. Dopuszczalna liczba przerzutów mniej niż 8, średnica guza mniej niż 15cm, brak w bezpośrednim sąsiedztwie guza dużych naczyń. Leczenie za pomocą 1 lub 2 frakcji. Dawka frakcyjna 10-25Gy. Liczba aplikatorów 2-8. Dla grupy badanej średni czasu obserwacji po zabiegu 15 miesięcy. Przeżycie wolne od wznowy miejscowej LRFS: 6m-80%, 12m-71%, 24m-31%. Czas przeżycia wolnego od progresji choroby PFS wynosi: 6m-80%, 12m-65%, 24m-22%. Najważniejsze zalety metody to skuteczna kontrola miejscowa i niskie ryzyko powikłań. Wymaga jednak specjalistycznego sprzętu oraz doświadczonego personelu.

Zobaczyć niewidoczne. Dawka na gałkę oczną podczas brachyterapii skóry głowy.

Autorzy: Magdalena Peszyńska-Piorun[1]; Dariusz Niewiadomski[1]; Przemysław Janiak[2]; Sławomir Kozłowski[2]; Łukasz Albiniak[3]

[1] *WWCOiT im. M. Kopernika w Łodzi*

[2] *WWCOiT im. M.Kopernika w Łodzi*

[3] *Katedra Fizyki Jądrowej i Bezpieczeństwa Radiacyjnego, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Łódzki*

Cel: Celem badania jest udoskonalenie zastosowanej metody osłaniania gałki ocznej i sprawdzenie, czy dawka otrzymana z systemu planowania leczenia jest porównywalna z realną dawką na gałkę oczną otrzymywaną przez pacjenta podczas brachyterapii skóry głowy.
Materiał i metodyka: Pacjenci kierowani do brachyterapii z rozpoznaniem raka płaskonabłonkowego lub podstawnokomórkowego z owrzodzeniem skóry. Przygotowano plan leczenia w systemie BrachyVision firmy Varian z algorytmem obliczeniowym TG43. Podczas realizacji planu leczenia dołożono na gałkę oczną osłonę ołowianą o średniej grubości 0,4cm. Pod i na osłonę przymocowano detektory tld.
Wyniki: Średnia dawka odczytana z planu w danym punkcie 2,02±0,06Gy oraz 3,56±0,34Gy. Natomiast zmierzona tld: 2,22±0,41Gy oraz 5,45±1,57Gy. Średnia dawka zmierzona pod osłoną w pkt1: TPS:2,35±0,08Gy i 2,16±0,13Gy TLD:2,32±0,20Gy i 0,84±0,27Gy. Pkt2: TPS:2,08±0,07Gy; 2,37±0,15Gy TLD: 0,84±0,08Gy. Pkt3: TPS: 1,94±0,06Gy oraz 1,46±0,08Gy TLD: 1,22±0,15Gy; 0,5±0,12Gy.
Wnioski: Otrzymane wyniki mogą być traktowane jako metoda pomiarowa in-vivo. Dawki odczytane z systemu planowania leczenia są porównywalne z dawkami zmierzonymi na osłonie. Dawka zmierzona pod osłona ołowianą wskazuje, iż gałka oczna otrzymuje 2-3 krotnie niższą dawkę. Można orzec, iż i zastosowana osłona ołowiana spełnia swoją rolę. Jednakże nie jesteśmy w stanie określić dawki wtórnie wygenerowanych elektronów i dokładnej geometrii układu bolus-osłona. Zostaną wdrożone modyfikacje związane z wydrukiem na drukarce 3D bolusa oraz osłony na oko, której geometria zostanie uwzględniona w systemie planowania leczenia.

Gradient temperatury guza i otaczających tkanek (dT) u pacjentów z rakiem podstawnokomórkowym leczonych brachyterapią HDR.

Autorzy: Łukasz Kapek[1]; Agnieszka Cholewka[2]; Agnieszka Szurko[1]; Agata Stanek[3]; Marta Szlag[2]; Krzysztof Ślosarek [4]; Piotr Wojcieszek[5]; Armand Cholewka[1]

[1] *Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, Uniwersytet Śląski, 75 Pułku Piechoty 1A, 41-500 Chorzów, Polska*

[2] *Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie Państwowy Instytut Badawczy Oddział w Gliwicach, ul. Wybrzeże Armii Krajowej 15, 44-102 Gliwice; Zakład Planowania Radioterapii*

[3] *Katedra i Klinika Chorób Wewnętrznych, Angiologii i Medycyny Fizykalnej w Bytomiu, Śląski Uniwersytet Medyczny, ul. Batorego 15, 41-902 Bytom, Polska*

[4] *Narodowy Instytut Onkologii - Oddział w Gliwicach*

[5] *Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie Państwowy Instytut Badawczy Oddział w Gliwicach, ul. Wybrzeże Armii Krajowej 15, 44-102 Gliwice; Zakład Brachyterapii*

Kontakt: lukaszkapek@gmail.com

Cel: Jednym z najczęstszych typów złośliwych zmian skórnych jest rak podstawnokomórkowy (BCC). Często do leczenia jest wykorzystywana radioterapia (w szczególności brachyterapia) lub terapia fotodynamiczna (PDT). Chirurgia pozostaje złotym standardem leczenia pacjentów z rakiem skóry; jednak zainteresowanie radioterapią wzrasta. Badanie histopatologiczne jest główną i jedyną opcją diagnostyczną przed leczeniem, a także dla możliwej obserwacji w trakcie leczenia. Nie ma natomiast dobrych nieinwazyjnych metod obiektywizujących ewolucję napromieniowanego obszaru podczas leczenia.
Materiał i metody: Trzydziestu trzech pacjentów Marii Skłodowskiej-Curie Państwowy Instytut Onkologii Oddział w Gliwicach, zdiagnozowanych z rakiem podstawnokomórkowym, zostało poddanych obserwacji termowizyjnej przed i po leczeniu brachyterapią HDR. Wszystkie zmiany rozpoznano jako powierzchowne i potwierdzono badaniem histopatologicznym
Wyniki: Analiza danych ujawniła dwie grupy, które można wyróżnić spośród wszystkich pacjentów. Pierwsza grupa charakteryzowała się wyższą temperaturą zmiany niż temperatura otaczającej tkanki, a druga niższą temperaturą zmiany. Wydaje się, że zmiany temperatury obserwowane w wyznaczonych miejscach przed i po terapii mogą dostarczyć lekarzom dodatkowych informacji, które mogą być przydatne w planowaniu kolejnych kroków w procesie leczenia, zwłaszcza biorąc pod uwagę zmiany temperatury zmiany i otaczającej ją podczas terapii.
Słowa kluczowe: termowizja, rak podstawnokomórkowy, diagnostyka termowizyjna

Algorytmy optymalizacji odwrotnej w planowaniu brachyterapii nowotworów piersi.

Autor: Magdalena Dymnicka[1]

[1] *MCO Affidea Poznań*

Ostatnie lata to dynamiczny rozwój brachyterapii jako metody radioterapii, na równi z teleterapią, wykorzystującej dostępne metody obrazowania i nowoczesne systemy planowania leczenia. Rozwój ten stawia przed fizykami medycznymi zajmującymi się brachyterapią wyzwania związane z pełnym wykorzystaniem możliwości współczesnych systemów planowania leczenia, a w szczególności algorytmów optymalizacji dawki. Właściwy wybór algorytmu, oparty na znajomości jego działania i specyfiki pracy, pozwala zarówno na uzyskanie konformalnych, zindywidualizowanych planów leczenia, jak i skrócenie czasu oczekiwania pacjenta między założeniem aplikatorów a rozpoczęciem napromieniania.
Celem pracy było omówienie i porównanie dwóch wybranych algorytmów planowania odwrotnego IPSA (Inverse Planning Simulated Annealing) i HIPO (Hybrid Inverse Planning & Optimization) stosowanych w brachyterapii HDR, pod kątem ich przydatności w planowaniu leczenia nowotworów piersi u pacjentek po oszczędzającym leczeniu chirurgicznym BCS.
Do oceny planów leczenia wybrano następujące wartości histogramów: D90, V100, V150, V200 w objętości tarczowej i w narządach krytycznych D1cc, D0,1cc oraz dodatkowo D0,2cc dla skóry oraz dawkę średnią dla płuca. Ze współczynników opisujących jednorodność i konformalności rozkładów dawek wybrano do oceny DNR, DHI, OI, CI oraz COIN. Analizę statystyczną przeprowadzono na podstawie testu test Wilcoxona dla zmiennych nieparametrycznych.
Otrzymane w pracy wyniki wskazały na przewagę algorytmu IPSA, szczególnie w zakresie niższych dawek dla narządów krytycznych. Jednak wszystkie analizowane parametry pokrycia i jednorodności dawki COIN, DNR, OI i CI osiągnęły wyższe wartości dla algorytmu HIPO. Decydujący wpływ na otrzymane wyniki miał bardziej jednorodny rozkład czasów postoju źródła generowany przez ten algorytm optymalizacyjny. Znajomość powyższych wyników może stać się cenną wskazówką przy wyborze metody optymalizacji planów leczenia.

Perspektywy rozwoju brachyterapii okulistycznej z wykorzystaniem druku 3D

Autor: Konrad Skórkiewicz[1]

Współautorzy: Dominik Medoń [1]; Agata Bogdał [1]; Piotr Szatkowski [2]; Rafał Twaróg [3]; Kinga Pielichowska [3]; Barbara Sobiecka [1]; Bożena Romanowska-Dixon [1]

[1] *Szpital Uniwersytecki w Krakowie*

[2] *Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie*

[3] *Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie*

Kontakt: konrad.skrk@gmail.com

Brachyterapia z aplikatorami zawierającymi ziarna jodu I-125 stosowana jest u pacjentów z guzami o grubości powyżej 5-6 mm. W dotychczas prowadzonej terapii nowotworów gałki ocznej, głównie czerniaków błony naczyniowej wykorzystywano model wkładki polimerowej, umożlwiającej stabilne ułożenie 14 ziaren izotopu I-125. Wykorzystanie druku 3D umożliwia stworzenie nowych, bardzo precyzyjnych i powtarzalnych wzorów wkładki polimerowej w celu uzyskania jednorodnego rozkładu dawki oraz ograniczenia napromieniania zdrowych obszarów oka. W pierwszym etapie należy zamodelować rozkład dawki w systemie planowania leczenia, a następnie odwzorować rozkład ziaren jodu we wkładce polimerowej. Zastosowanie druku 3D umożliwia rozwój brachyterapii oka z zastosowaniem aplikatorów ocznych z ziarnami izotopu jodu I-125. Samodzielny druk wkładek polimerowych w dużym stopniu uniezależnia Ośrodek Kliniczny od dostawców zewnętrznych i prowadzi do zindywidualizowanego procesu leczenia pacjentów, u których nie można, z różnych względów, zrealizować radioterapii protonowej jako alternatywnego sposobu leczenia. Zastosowanie druku 3D umożliwia również wykorzystanie w pełni bezpiecznej technologii wytwarzania wkładek z certyfikowanych materiałów do zastosowań medycznych.

Free Hand- Remedium na ....

Autor: Marcin Sawicki[1]

[1] *Zakład Brachyterapii, Szpital Specjalistyczny w Brzozowie Podkarpacki Ośrodek Onkologiczny im. Ks. B. Markiewicza*

Wstęp;
Standardowe planowanie leczenia w brachyterapii w głównej mierze bazuje na szablonach, które stworzone zostały w oparciu o wieloletnie doświadczenia zabiegowców. Głównym zadaniem szablonów jest standaryzacja metod aplikacji/planowania leczenia oraz zminimalizowanie szansy na wystąpienie nieprawidłowej aplikacji. Bazą planowania standardowego jest obrazowanie 2D. Zastosowanie obrazowania 3D pozwala na modyfikacje standardowych aplikacji i spersonalizowania aplikatorów oraz planów leczenia.

Materiał.
Przedstawione zostaną różne lokalizacje obszarów nowotworowych, leczonych przy użyciu standardowych form aplikacji oraz spersonalizowanych aplikacji dostosowanych do obszaru nowotworowego.

Rezultaty:
Omówione zostaną różnice w planach leczenia wynikające z zastosowania standardowych planów leczenia względem planów leczenia w których zastosowano indywidulane podejście.

Wnioski:
Planowanie leczenia w oparciu o nowoczesne techniki aplikacji pozwala na stworzenie bardziej konformalnego planu leczenia względem zastosowania standardowych technik leczenia bazujących na klasycznych metodach. Zastosowanie niestandardowych technik leczenia znacząco wydłuża czas potrzebny na przygotowanie aplikatora oraz planu leczenia. Wymaga również niekonwencjonalnego podejścia do przygotowania prawidłowego planu leczenia.

DIAGNOSTYKA OBRAZOWA

Nieparametryczny atlas MRI mózgowia dla populacji polskiej

Autor: Marek Kijonka[1]

Współautorzy: Damian Borys [2]; Łukasz Kapek [1]; Joanna Prażmowska [1]; Krzysztof Psiuk-Maksymowicz [2]; Aleksandra Woźnica [1]; Beata Niewiadomska [1]; Bożena Woźniak [1]; Adam Bekman [1]; Andrzej Orlef [1]; Maria Sokół [1]

[1] *Zakład Fizyki Medycznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie PIB Oddział w Gliwicach, Gliwice*

[2] *Katedra Inżynierii i Biologii Systemów, Politechnika Śląska, Gliwice*

Kontakt: marek.kijonka@io.gliwice.pl

Wstęp
Atlasy mózgowia stanowią ważne źródło informacji neuroanatomicznych, szczególnie użytecznych w aspekcie automatyzacji analizy obrazów. Ponadto, informacje zawarte w piśmiennictwie podkreślają, że poszczególne grupy powinny być analizowane przy użyciu wzorców obrazowych zbieżnych z analizowaną populacją. Większość atlasów projektowana jest w oparciu o statystyki parametryczne, jednak dane eksperymentalne w ustandaryzowanej przestrzeni położenia nie mają cech rozkładu normalnego. Podejścia nieparametryczne, choć potwierdzane empirycznie, pozostają nadal ewenementem w procesie tworzenia atlasów MRI.

Materiały i metody
Przedstawiamy proces tworzenia stereotaktycznych, nieparametrycznych atlasów MRI mózgowia wygenerowanych dla populacji 96 zdrowych, dorosłych ochotników w przedziale wiekowym od 20 do 66 roku życia (z uwzględnieniem płci i wieku). Atlasy zostały wygenerowane dla trzech głównych klas tkanek: istoty szarej, białej oraz płynu mózgowo-rdzeniowego. W celach porównawczych wygenerowano również parametryczne mapy probabilistyczne. Rozkłady populacyjne danych obrazowych zostały przeanalizowane przy użyciu testu Shapiro-Wilka, kurtozy oraz skośności.

Wyniki
Niezależnie od wieku i płci, w każdej z badanych struktur dane populacyjne nie miały rozkładów gaussowskich, lecz charakteryzowały się rozkładami skośnymi i leptokurtycznymi. Ponadto, porównanie parametrycznych oraz nieparametrycznych podejść do tworzenia atlasów wykazało, że niezależnie od badanej subpopulacji mapy probabilistyczne zawartości struktur tkankowych różnią się w sposób statystycznie istotny i mają różne cechy wolumetryczne. Porównano również wpływ zastosowania parametrycznych i nieparametrycznych atlasów w algorytmach segmentacyjnych opartych o wykorzystanie wzorca na grupie danych walidacyjnych uzyskując różne wyniki klasyfikacyjne.

Wnioski
Różnorodność populacyjna sprawia, że nie istnieje jeden uniwersalny atlas ludzkiego mózgowia. Z tego też względu konieczne jest tworzenie specyficznych, nieparametrycznych atlasów ludzkiego mózgowia z uwzględnieniem czynników takich jak wiek, płeć czy też różnorodność etniczna.

Porównanie dwóch systemów do mammografii cyfrowej za pomocą różnych ilościowych metod obliczeniowych

Autor: Anna Wysocka-Rabin[1]

Współautorzy: Magdalena Dobrzyńska [2]; Katarzyna Pasicz ; Witold Skrzyński [3]; Ewa Fabiszewska [4]

[1] *NCBJ*

[2] *Narodowe Centrum Badań Jądrowych*

[3] *Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie Państwowy Instytut Badawczy*

[4] *Narodowy Instytut Onkologii - Państwowy Instytut Badawczy im. Marii Skłodowskiej-Curie, Zakład Fizyki Medycznej, Warszawa, Polska*

Kontakt: anna.wysocka@ncbj.gov.pl

Systemy cyfrowe, w które wyposażone są urządzenia radiologiczne umożliwiają zastosowanie obiektywnych, obliczeniowych metod do porównań działania tych urządzeń. W niniejszej pracy użyte zostały różne metody ilościowe w celu porównania dwóch systemów mammograficznych:
• Mammomat Inspiration Siemens z detektorem z selenu amorficznego (rozmiar piksela 85 μm);
• Senographe Pristina GE ze scyntylatorem z jodku cezu i detektorem z krzemu amorficznego (rozmiar piksela 100 μm).
Porównanie systemów wykonano obliczając:
• effective Modulation Transfer Function (eMTF)
• effective Normalized Noise Power Spectrum (eNNPS)
• effective Detective Quantum Efficiency (eDQE)
Pomiary wykonano i obliczono powyższe wielkości dla fantomów z PMMA o trzech grubościach (20, 40 i 70 mm). Dla ekspozycji fantomów wyznaczono średnie dawki gruczołowe (AGD).
Dla urządzenia Mammomat szum utrzymywał się na stałym poziomie w analizowanym zakresie częstotliwości przestrzennych, a dla systemu Senographe był wyraźnie zmienny. Mammomat charakteryzował się wyższym eMTF, niezależnie od grubości fantomu. Różnice te nie przełożyły się bezpośrednio na eDQE, które opisuje ogólną wydajność systemu. W przypadku cieńszych fantomów dla Mammomat otrzymano większe eDQE, podczas gdy przy najgrubszym fantomie wyższe eDQE miał Senographe. Zestawiając te wyniki z wartościami AGD stwierdzono, że dla cieńszych fantomów dla systemu Senographe dawki są o 20% niższe niż dla Mammomat, jednak przy znaczącym spadku wydajności obrazowania oraz wzroście szumu. Odwrotnie było w przypadku fantomu 70 mm: dla Senographe uzyskano wyższą wydajność przy niższej o 13% dawce w stosunku do urządzenia Mammomat.
Analiza zaprezentowanych parametrów obliczeniowych pokazała znaczne różnice pomiędzy systemami w warunkach zbliżonych do klinicznych. Te informacje mogą być potencjalnie użyteczne do optymalizowania procesu obrazowania.

Dawki w dwuenergetycznej mammografii cyfrowej a dawki w mammografii z pełnopolowym detektorem cyfrowym

Autorzy: Ewa Fabiszewska[1]; Katarzyna Pasicz[1]; Witold Skrzyński[1]

[1] *Narodowy Instytut Onkologii - Państwowy Instytut Badawczy im. Marii Skłodowskiej-Curie, Zakład Fizyki Medycznej, Warszawa, Polska*

Wprowadzenie:
Mammografia spektralna (z ang. Contrast-enhanced mammography CESM) to metoda, która łączy mammografię cyfrową z podawaniem dożylnie środka kontrastującego. Głównym wskazaniem do wykonania tego badania są niejednoznaczne zmiany w mammografii 2D (FFDM) i USG. Celem tego badania było porównanie średniej dawki gruczołowej (AGD) otrzymanej przez kobiety podczas CESM przy użyciu projekcji wysoko- i niskoenergetycznych z AGD otrzymaną podczas FFDM.
Materiał i metody:
Porównanie dawek przeprowadzono dla mammografu Pristina Senographe firmy GE. W okresie od 2019 roku do 2021 roku zebrano dane dotyczące 31288 badań co stanowi 104487 ekspozycji (98185 ekspozycji stanowiły mammografie cyfrowe, 6302 eskpozycje wykonano w trybie CESM). Dane dotyczące AGD były pobierane z programu DoseWatch. Za kryterium oceny stopnia narażenia kobiet na promieniowanie X posłużyły akceptowalne wartości AGD przedstawione w „European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis Fourth edition" (2006).
Wyniki:
Zakres wartości AGD dla ekspozycji wykonanych w FFDM wyniósł od 0,24 mGy do 6,53 mGy. Natomiast dla ekspozycji wykonanych w CESM zakres wyniósł od 0,66 mGy do 5,59 mGy. Średnia wartość AGD dla CESM niskoenergetycznej wyniosła 1,41 mGy, a dla projekcji wysokoenergetycznej wyniosła 0,67 mGy. Wartość AGD z całego badania wykonanego w trybie CESM była o około 1.81 razy wyższa od średniej wartości AGD podczas badania w FFDM.

Wnioski:
Wartości AGD otrzymywane przez kobiety podczas badań CESM były wyższe niż podczas badań FFDM. Wynikało to głównie z dodatkowej ekspozycji w projekcji wysokoenergetycznej. Kierowanie kobiet na badanie CESM z pominięciem FFDM zmniejszyłoby dawkę otrzymywana przez kobiety podczas całego procesu diagnostyczki raka piersi.

E-ROD - nowa wielkość służąca do oceny względnej wykrywalności obiektów w zastosowaniu do systemów mammografii cyfrowej

Autor: Anna Wysocka-Rabin[1]

Współautorzy: Magdalena Dobrzyńska [2]; Katarzyna Pasicz ; Witold Skrzyński [3]; Ewa Fabiszewska [4]

[1] *NCBJ*

[2] *Narodowe Centrum Badań Jądrowych*

[3] *Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie Państwowy Instytut Badawczy*

[4] *Narodowy Instytut Onkologii - Państwowy Instytut Badawczy im. Marii Skłodowskiej-Curie, Zakład Fizyki Medycznej, Warszawa, Polska*

Kontakt: anna.wysocka@ncbj.gov.pl

Względna Wykrywalność Obiektów (Relative Object Detetctability - ROD) umożliwia obiektywne, ilościowe porównanie różnych systemów obrazowania wykorzystujących promieniowanie X. ROD jest zdefiniowany jako stosunek iloczynu całki po częstościach przestrzennych z transformaty Fourier'a funkcji obiektu i DQE jednego systemu, do takiego iloczynu obliczonego dla drugiego (porównywanego) systemu.
W przedstawianej pracy zaproponowano nową wielkość E-ROD do oceny względnej wykrywalności obiektów. E-ROD zawiera nie tylko cechy detektora systemu obrazowania , ale również rozproszenie i nieostrość ogniska oraz cechy samego obiektu (rozmiary i materiał). Na miejsce DQE wstawiono eNEQ, które jest funkcją effective Modulation Transfer Function (eMTF) i effective Normalized Noise Power Spectrum (eNNPS).
E-ROD został policzony dla dwóch różnych systemów mammografii cyfrowej (pracujących w warunkach klinicznych z ustawieniami parametrów wiązki promieniowania przy pomocy AEC):
• Mammomat Inspiration Siemens z detektorem z selenu amorficznego (rozmiar piksela 85 μm);
• Senographe Pristina GE ze scyntylatorem z jodku cezu i detektorem z krzemu amorficznego (rozmiar piksela 100 μm).
Pomiary wykonano i obliczono E-ROD dla fantomów z PMMA o trzech grubościach (20, 40 i 70 mm) z kratką i bez kratki przeciwrozproszeniowej. Dla ekspozycji fantomów wyznaczono też średnie dawki gruczołowe (AGD).
Uzyskane wyniki porównano z wynikami fantomu CDMAM .
E-ROD jest wielkością , która pozwala na ilościowe porównanie różnych systemów obrazowania, w których mogą się zmieniać zarówno detektory jak i wielkość ogniska, rozproszenie, cechy obiektu obrazowanego, techniki obrazowania i dawki . Uzyskane wyniki E-ROD mogą być użyte do optymalnego wyboru systemu obrazowania dla danego zadania, którego celem jest jak najlepsze zobrazowanie obiektu.

Zastosowanie Tomografii Komputerowej w diagnostyce szpitalnej chorych na COVID-19

Autorzy: Karolina Daniel-Domoradzka[1]; Hernryk Figiel[1]; Anna Klejny-Psuj[2]

[1] *Wyższa Szkoła Humanitas*

[2] *Zakład Diagnostyki Obrazowej i Radiologii Interwencyjnej, Samodzielny Publiczny Szpital Kliniczny nr 1 PUM im. prof. Tadeusza Sokołowskiego*

Kontakt: figiel@agh.edu.pl

Leczenie chorych na COVID-19 wymaga szybkiego określenia stopnia zaawansowania choroby. Umożliwia to obrazowanie techniką tomografii komputerowej. W związku z tym celem pracy była analiza możliwości zastosowania tomografii komputerowej (TK) do obrazowania płuc pacjentów zainfekowanych COVID-19. Badania oceniano w oknie płucnym umożliwiającym rozróżnienie na rejestrowanych obrazach typowych zmian obserwowanych w płucach chorych: matowa szyba, kostka brukowa, obraz siateczki i konsolidacje. Analizę występowania obserwowanych zmian przeprowadzono na podstawie badań TK 100 pacjentów przyjętych do leczenia COVID-19 rozpoznanego na podstawie standardowych testów. Badano częstość występowania charakterystycznych zmian i stopnia zajęcia płuc w zależności od płci i wieku pacjenta. Stwierdzono, że u ponad połowy zakażonych TK płuc wykazała stałość umiejscowienia zmian - głównie obwodowo w płatach górnych i dolnych, zarówno u kobiet jak i u mężczyzn, oraz, że w pierwszej kolejności dominowały zmiany typu „matowej szyby", potem „kostki brukowej", a później „konsolidacji". Zaobserwowano też, że u mężczyzn w każdym przedziale wiekowym przeważały zmiany typu „matowej szyby", natomiast powyżej 60. roku życia pojawiało się dodatkowo wiele zmian typu „kostki brukowej". U kobiet również przeważała „matowa szyba", natomiast najwięcej dodatkowych zmian pojawiało się u nich powyżej 70. roku życia.
Przeprowadzone badania potwierdziły wysoką przydatność TK w diagnozowaniu stopnia zaawansowania i ewolucji choroby u badanych pacjentów.

Pierwszorzędowe parametry teksturalne [18F]FDG PET/CT prognozujące przeżycie oraz klasyfikujące pacjentów z rakiem głowy i szyi

Autor: Agnieszka Boś-Liedke[1]

Współautorzy: Paulina Cegła [2]; Ewelina Kamińska [3]; Ewa Majchrzak [4]; Witold Cholewiński [2]; Anna Kubiak [5]; Michał Michalak [6]; Maciej Kozak [7]

[1] *Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Fizyki, Zakład Fizyki Biomedycznej*

[2] *Wielkopolskie Centrum Onkologii, Zakład Medycyny Nuklearnej*

[3] *Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, Centrum Innowacyjnej Technologii Farmaceutycznej*

[4] *Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, Klinika chirurgii głowy, szyi i onkologii laryngologicznej*

[5] *Wielkopolskie Centrum Onkologii, Wielkopolskie Biuro Rejestracji Nowotworów*

[6] *Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, Katedra i Zakład Informatyki i Statystyki*

[7] *Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Wydział Fizyki, Zakład Fizyki Biomedycznej*

Celem pracy była ocena pierwszorzędowych parametrów teksturalnych [18F]FDG PET/CT w odniesieniu do przeżycia pacjentów oraz ich zmienności pomiędzy grupami o różnym zaawansowaniu T u pacjentów z nowotworem złośliwym głowy i szyi (ang. head and neck squamous cell carcinoma, HNSCC).
Retrospektywną analizę przeprowadzono na grupie 83 pacjentów z HNSCC, u których przed rozpoczęciem leczenia wykonano badanie [18F]FDG PET/CT. Ocenione zostały zarówno parametry związane z obrazowaniem PET jak i CT. Związek wszystkich parametrów został określony w stosunku do przeżycia całkowitego (ang. overall survival, OS) oraz stadium zaawansowania T. Ze względu na T pacjenci zostali podzieleni na trzy subgrupy: 1 (T1/T2), 2 (T3/T4) i 3 (Tx, ang. cancer of unknown primary, CUP).
Metaboliczna objętość guza (ang. metabolic tumor volume, MTV), całkowita glikoliza (ang. total lesion glycolysis, TLG) oraz entropie związane z obrazem PET oraz CT (EPET and ECT) wykazały znaczące statystycznie ($p<0.001$) umiarkowane, negatywne korelacje z OS. Istotne statystycznie ($p<0.05$) różnice w parametrach PET i CT pomiędzy grupą 1 i 2 zostały wykazane w wartościach SUVpeak, MTV, TLG, ASP, EPET, VOImax , VOIpeak oraz ECT. Pomiędzy grupą 2 i 3 znaczące różnice w wartościach SUVmax, SUVmean, SUVpeak, MTV, TLG, ASP, EPET, VOImt, SKECT oraz ECT. Dodatkowo grupy 1 i 2, wykazały znaczące różnice w odniesieniu do grupy 3 w przeżyciu pacjentów.
MTV, TLG, EPET i ECT zostały wyselekcjonowane jako parametry prognostyczne w odniesieniu do przeżycia u pacjentów z HNSCC. Wiele pierwszorzędowych parametrów teksturalnych różniło się pomiędzy grupami T1/T2, T3/T4 oraz Tx, co czyni je potencjalnymi parametrami wspomagającymi klasyfikację HNSCC.

Testy systemu automatycznej kontroli ekspozycji i jasności obrazu w aparatach z opcją fluoroskopii

Autorzy: Agnieszka Kuchcinska[1]; Jaroslaw Plesniak[2]

[1] *Affidea Onkoterapia Międzynarodowe Centrum Onkoterapii w Koszalinie*

[2] *Affidea Miedzynarodowe Centrum Onkologii w Koszalinie, Polska*

Kontakt: agnieszka.kuchcinska@affidea.com

Wstęp
Aparaty RTG stosowane w pracowniach radiologii/ kardiologii zabiegowej, na salach operacyjnych, skonstruowane są w ten sposób by operator uzyskał optymalny obraz pacjenta, najlepiej bez jakiejkolwiek własnej ingerencji w parametry ekspozycji. Ręczny tryb pracy w większości aparatów tego typu musi zostać sztucznie wymuszony i jest stosowany do oceny fizycznych parametrów pracy aparatu takich jak wartość wysokiego napięcia, warstwa półchłonna. Testowanie systemów automatycznej kontroli ekspozycji i jasności obrazu dla aparatów stosowanych we fluoroskopii i angiografii, w tym aparatów z ramieniem C jest kluczowe. Celem niniejszej pracy było opracowanie, sprawdzenie, weryfikacja i wdrożenie testów AEC.
Materiały metody
Wykonano pomiary systemu AEC wykorzystując i rozbudowując układ pomiarowy stosowany do testów miesięcznych. Wykorzystano fantomy PMMA o grubości 15cm (standardowy pacjent) oraz o grubościach większych (20cm) i mniejszych (4cm i 8cm). Badano stabilność krótkoterminową (tj. w dniu wykonywania pomiarów – 5 eskpozycji) dla fantomu oraz długoterminową przyjmowanych przez system AEC wartości kV, mA, dawki w ustalonej stałej odległości od wzmacniacza obrazu oraz wartości ΔDAP=DAPstart-DAPstop: DAPstart odczytywane przed ekspozycją, DAPstop po ekspozycji. Pomiary wykonano dla dwóch trybów pracy aparatu tj. „małej wartości prądu lampy" oraz „zwiększonej wartości prądu lampy".
Wyniki
Zmierzone charakterystyki i parametry były powtarzalne i odtwarzalne w granicach kilkukilkunastu%, co stanowiło podstawę do określenia wartości odniesienia i walidacji metody pomiarowej.
Wnioski
Testy systemu AEC w aparatach do angiografii i fluoroskopii są możliwe do wykonania zatem powinny być wykonywane w celu zapewnienia i potwierdzenia prawidłowości ich pracy w warunkach klinicznych. Zaawansowane testy systemu AEC dla różnych trybów pracy mogą służyć jako podstawa do optymalizacji procedury

Narzędzia i bazy danych wykorzystywane w algorytmach uczenia maszynowego wspierające diagnostykę chorób płuc

Autor: Ilona Karpiel[1]

Współautor: Mirella Urzeniczok [1]

[1] *Łukasiewicz Research Network — Institute of Medical Technology and Equipment*

Kontakt: ilona.karpiel@itam.lukasiewicz.gov.pl

Pandemia COVID-19 spowodowała gwałtowny wzrost zainteresowania sztuczną inteligencją (AI) jako narzędziem wspierającym pracę lekarzy w trudnych warunkach i zapewniającym wczesne wykrywanie skutków choroby. Ostatnie badania wykazały już, że AI jest z powodzeniem stosowana w sektorze opieki zdrowotnej do różnych zastosowań, w tym do przewidywania, diagnozowania i leczenia.
Celem niniejszej pracy jest dokonanie przeglądu systematycznego, podsumowującego wyniki badań pacjentów z chorobą koronawirusową (COVID-19) oraz baz danych i narzędzi wykorzystywanych w algorytmach sztucznej inteligencji, wspomagających diagnostykę chorób płuc.
Wszechstronnie oceniono dostępne narzędzia wyszukiwawcze, zawierające publikacje naukowe, takie jak PubMed, Web of Science, ResearchGate i Google Scholar i przeszukano je pod kątem badań obserwacyjnych, z uwzględnieniem otwartych baz danych i narzędzi stosowanych w algorytmach sztucznej inteligencji. Niniejsza praca ma na celu zebranie prac z okresu 2019-2022 zawierających w swoich zasobach link lub opis bazy danych, z której można pobrać dane niezbędne do dalszego rozwoju algorytmów wspomagających diagnostykę układu oddechowego.
W obliczu rosnącego zainteresowania zastosowaniem AI i pojawiania się nowych rozwiązań, rośnie potrzeba usystematyzowania dostępnego dorobku. Pozwala to na określenie nowych kierunków rozwoju i obszarów badań. AI wykazuje rosnący potencjał w sektorze usług medycznych, ze względu na stale rosnącą liczbę pacjentów.

Ocena narażenia pacjentów i zgodności dawek z diagnostycznymi poziomami referencyjnymi w tomografii komputerowej

Autorzy: Witold Skrzyński[1]; Katarzyna Pasicz[1]; Ewa Fabiszewska[1]

[1] *Narodowy Instytut Onkologii - Państwowy Instytut Badawczy im. Marii Skłodowskiej-Curie, Zakład Fizyki Medycznej, Warszawa, Polska*

Wprowadzenie:
Celem pracy było określenie wielkości dawek dla diagnostycznych badań tomograficznych wykonywanych w NIO-PIB w Warszawie i porównanie ich z obowiązującymi w Polsce poziomami referencyjnymi.
Materiał i metody:
Przeanalizowano wartości DLP dla ok. 36 tysięcy badań wykonanych w 2021 z użyciem czterech tomografów komputerowych (2x Siemens Somatom Definition AS, 2x GE Revolution Evo). Dane pozyskane z systemu monitorowania dawek GE DoseWatch. Przyjęto, że obowiązujące poziomy referencyjne wyrażone poprzez DLP dotyczą jednej fazy badania tomograficznego.
Wyniki i dyskusja:
Zaobserwowano sporadyczne przekroczenia poziomów referencyjnych. Ponad połowę wykonywanych badań stanowią badania, dla których nie określono poziomów referencyjnych (głównie łączone badania kilku obszarów anatomicznych).
Najwyższe średnie wartości DLP zaobserwowano dla badań obejmujących swoim zakresem zarówno głowę, jak i tułów pacjenta. Należy pamiętać, że DLP dla głowy jest zdefiniowane dla fantomu o średnicy 16 cm, natomiast dla tułowia dla fantomu o średnicy 32 cm. Badania o nazwach „twarzoczaszka" lub „głowa i szyja" obejmowały swoim zakresem głowę, szyję, obręcz barkową i fragment klatki piersiowej, natomiast wartości DLP dotyczyły fantomu głowy. Całkowite DLP dla badań łączonych głowy, klatki piersiowej, jamy brzusznej i miednicy stanowiło sumę wartości zdefiniowanych na dwa różne sposoby.
Ocena dawek jest utrudniona przez równoległe funkcjonowanie kilku systemów nazewnictwa badań (protokoły badania, procedury szczegółowe, poziomy referencyjne).
Wnioski:
Zakres badań, dla których są określone poziomy referencyjne, nie odpowiada zakresowi badań wykonywanych w szpitalu onkologicznym. Analizowane dane mogą posłużyć do opracowania lokalnych poziomów referencyjnych. Dane o dawkach dla badań obejmujących zarówno obszar głowy, jak i obszar tułowia są trudne do interpretacji.

Testy podstawowe kwartalne kratki przeciwrozproszeniowej w aparatach stosowanych we fluoroskopii i angiografii, w tym RTG z ramieniem C

Autorzy: Agnieszka Kuchcinska[1]; Jaroslaw Plesniak[2]; Justyna Schulz[2]; Oskar Sobotka[2]; Przemyslaw Palczynski[2]; Łukasz Zubanski[2]

[1] *Affidea Onkoterapia Międzynarodowe Centrum Onkoterapii w Koszalinie*

[2] *Affidea Miedzynarodowe Centrum Onkologii w Koszalinie, Polska*

Kontakt: agnieszka.kuchcinska@affidea.com

Wstęp
Przepisy prawne dotyczące kontroli jakości urządzeń radiologicznych, zawarte w załączniku nr 6 do rozporządzenia ministra zdrowia w sprawie bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej, zawierają uwagę: „Urządzenia stosowane do badań fluorograficznych, fluoroskopowych i angiograficznych należy kontrolować tak, jak urządzenia stosowane do radiografii ogólnej, o ile pozwala na to ich konstrukcja". Dla radiografii ogólnej cyfrowej przedstawiony jest test nr 4.2 „Kratka przeciwrozproszeniowa": „Dla ekspozycji kratki stacjonarnej (...) na obrazie nie są widoczne znaczące artefakty.", częstotliwość co 3 miesiące. Celem pracy było sprawdzenie możliwości technicznych wykonania niniejszego testu i jego wdrożenie. Często test ten dla angiografów i/lub ramienia C jest niewykonywany, np. ze względu na istniejące rzekome problemy techniczne.
Materiały metody
Sprawdzono dokumentacje techniczne oraz możliwości wykonania testu kratki dla aparatów do fluoroskopii w tym RTG z ramieniem C.
Wyniki
Dostępne na rynku aparaty rtg z ramieniem C oraz angiografy wyposażone są w stacjonarną kratkę przeciwrozproszenioną, w przypadku niektórych aparatów może być usuwana np. do badań pediatrycznych. W klasycznych RTG, kratka pozostaje w stole lub statywie, obraz otrzymywany jest na detektorze (nie w każdym aparacie istnieje możliwość wyciągnięcia kratki), zatem układ pomiarowy i podejście oraz warunki techniczne są takie jak w aparatach do fluoroskopii. Artefakty świadczące o uszkodzeniu kratki są specyficzne i mogą zostać odróżnione od artefaktów innego pochodzenia. Dokumentacja techniczna producenta urządzeń odnosi się do zastosowanej kratki przeciwrozproszeniowej.
Wnioski
Wykonanie testu dla aparatów do fluoroskopii, w tym z ramieniem C, oraz aparatów do angiografii jest możliwe i powinno być wykonywane oraz zostało wdrożone celem spełnienia wymagań prawnych.

Testy geometrii wiązki promieniowania rentgenowskiego w aparatach z ramieniem C: prostopadłość wiązki promieniowania X oraz odległość promienia centralnego od środka obrazu

Autor: Agnieszka Kuchcinska[1]

[1] *Affidea Onkoterapia Międzynarodowe Centrum Onkoterapii w Koszalinie*

Wstęp
Testy kontroli jakości wymienione w załączniku nr 6 są obowiązkowe w celu klinicznej eksploatacji urządzeń radiologicznych, w tym aparatów z ramieniem C. Celem pracy jest sprawdzenie zasadności i możliwości pomiarów geometrii wiązki X w aparatach z ramieniem C gdyż często są one niewykonywane.
Materiały metody
Przeprowadzono pomiary przy wykorzystaniu fantomu firmy GAMMEX typ 162B i GAMMEX 161A colimator and beam alignment tool. Przeanalizowano obecne i historyczne zapisy załącznika nr 6 do rozporządzenia ministra zdrowia w sprawie bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej.
Wyniki
Specyfikacja techniczna fantomu wyraźnie odnosi się do wykonywania testów prostopadłości wiązki w torze obrazowania fluoroskopowego oraz określania odległości wiązki centralnej od środka obrazu. Testy zostały wykonane i parametry zostały ocenione. Oba są istotne i świadczą o prawidłowym ustawieniu lampy retngenowskiej w kołpaku, w przeciwnym razie występują zacienienia obrazu w postaci ciemnego półksiężyca, jak również dochodzi do zniekształceń obrazu.
Wnioski
Obecna wersja przepisów, która wprowadziła zapis o prostopadłości względem „krzyża świetlnego" może prowadzić do rezygnacji z wykonywania tego testu, w związku z czym zapisy rozporządzenia z roku 2011 „Prostopadłość osi wiązki (promienia centralnego) promieniowania rentgenowskiego, Dopuszczalne odchylenie od kąta prostego pomiędzy osią wiązki promieniowania rentgenowskiego a płaszczyzną rejestratora obrazu nie powinno przekraczać 1,5°" oraz „Zgodność osi wiązki (promienia centralnego) promieniowania rentgenowskie go ze środkiem rejestratora obrazu, Odległość pomiędzy osią wiązki promieniowania rentgenowskiego a środkiem rejestratora obrazu w odniesieniu do odległości ognisko — rejestrator obrazu nie powinna przekraczać 2%", wydają się właściwsze i uwzględniające specyfikę aparatów do fluoroskopii w tym RTG ramię C

INŻYNIERIA BIOMEDYCZNA

Zastosowanie systemu predykcji rytmu oddechowego pacjenta w lokalnych warunkach środowiska - badania wstępne.

Autorzy: Ilona Karpiel[1]; Olga Zięba[1]

[1] *Łukasiewicz Research Network — Institute of Medical Technology and Equipment*

Celem pracy jest prognozowanie i oszacowanie za pomocą modeli predykcyjnych częstości oddechu oraz wpływu czynników na przewidywaną częstość oddechową z wykorzystaniem języka skryptowego python. Ponadto zweryfikowano skuteczność uczenia modeli wraz z ich porównaniem, który jest najlepszy w predykcji zjawiska. Punktem odniesienia w celu przeprowadzenia analizy jest przedstawienie zagadnień teoretycznych dotyczących chorób dróg oddechowych, takich jak astma i przewlekła obturacyjna choroba płuc (POChP), z uwagi na ich rozpowszechnienie w populacji oraz znaczący wpływ na zdrowie społeczeństwa. Dla tych chorób, parametry środowiskowe, a szczególnie zanieczyszczenia powietrza są traktowane jako czynniki powodujące zaostrzenie chorób układu oddechowego oraz spadku jakości życia. W celu poszukiwania najlepszego modelu przeprowadzono analizę porównawczą pięciu algorytmów regresyjnych ML w metodzie uczenia nadzorowanego (regresji liniowej, regresji grzbietowej, regresji drzewa decyzyjnego, regresji lasu losowego, wzmocnienia gradientowego), które różnią się mechanizmem szkolenia. W wyniku przeprowadzonych analiz, jako najlepiej dopasowany model opisujący predykcję jest stochastyczny model wzmocnienia gradientowego (Gradient Boosting Regressor) z wynikiem współczynnika determinacji na zbiorze testowym równym 92% i najniższym współczynnikiem błędu RMSE równym 0.65. Dla przedziału ufności $\alpha = 0{,}05$ błąd prognozy może wahać się w przedziale od 1.04 do 3.49 odd./min. By lepiej wytłumaczyć model do tego celu wykorzystano interfejs XAI (wytłumaczalna sztuczna inteligencja) dostępny w języku python. Algorytm wskazał najbardziej istotne zmienne takie jak: Ciśnienie powietrza [hPa], wilgotność powietrza [%] oraz pył drobny, zawieszony w powietrzu - PM2.5[ug/m3]. Reasumując, wyniki wskazują, że algorytmy ML mogą¡ trafnie przewidywać i poszukiwać relacji w zbiorze.

KSZTAŁCENIE FIZYKÓW MEDYCZNYCH W POLSCE

Kształcenie i rozwój zawodowy fizyków medycznych w Polsce oraz pozostałych krajach unijnych, a rekomendacje EFOMP

Autorzy: Janusz Winiecki[1]; Krzysztof Ślosarek [2]; Tomasz Piotrowski[3]

[1] *Centrum Onkologii w Bydgoszczy, Collegium Medicum UMK w Toruniu*

[2] *Narodowy Instytut Onkologii - Oddział w Gliwicach*

[3] *Wielkopolskie Centrum Onkologii w Poznaniu*

Kontakt: janusz@co.bydgoszcz.pl

Stale rosnące poczucie odpowiedzialności za bezpieczeństwo pacjentów poddawanych różnym formom terapii przy użyciu promieniowania jonizującego powoduje, że na całym świecie, ale przede wszystkim w Europie, obserwuje się dynamiczny wzrost wymagań stawianych przed fizykami medycznymi. Europejska Federacja Towarzystw Fizyki Medycznej (EFOMP), stosując się do obowiązującej dyrektywy Rady Europy (2013/59/EURATOM), sformułowała wytyczne dotyczące statusu fizyka medycznego - roli oraz obowiązków. Rekomendacje EFOMP dotyczą wymaganego wykształcenia kandydatów na fizyków medycznych, uzyskiwania kolejnych szczebli awansu zawodowego oraz minimalnego poziomu za trudnienia na poszczególnych stanowiskach. Zapewnienie wysokich standardów w zakresie ochrony zdrowia ludzkiego jest, zdaniem autorów przywołanego dokumentu, w sposób oczywisty związane z kompetentnym wykorzystaniem dostępnej współcześnie wiedzy.
Od strony merytorycznej obowiązujący w Polsce system kształcenia zawsze cieszył się dobrą opinią środowiska europejskich fizyków medycznych . Choć polska specjalizacja była jedną z pierwszych w Europie, to wciąż nie spełnialiśmy wszystkich wymagań. W 2021r. zarząd główny PTFM podjął próbę uregulowania m. in. kwestii związanych z ustawicznym kształceniem fizyków po ukończeniu procesu specjalizacji oraz tzw. rejestru zasobów ludzkich. Finalnie, jesienią 2021 roku, EFOMP uznał polski system kształcenia fizyków medycznych za zgodny z obowiązującymi rekomendacjami.
W trakcie wystąpienia omówiony aktualny status fizyka medycznego w Polsce na tle pozostałych krajów unijnych. Wyjaśnione zostaną ponadto zasady premiowania członków PTFM za uczestnictwo w różnorakich formach aktywności naukowej oraz samokształceniu (kształcenie ustawiczne) prowadzące ostatecznie do uzyskania tytułu Eksperta PTFM.

Zastosowanie fizyki w medycynie - wybór czy konieczność?

Autor: Renata Kopeć[1]

[1] *IFJ*

Kontakt: renata.kopec@ifj.edu.pl

Związki pomiędzy fizyką a medycyną są udowodnione już od czasów starożytnych, znajdujemy m.in. szereg przykładów fizyków, którzy byli jednocześnie lekarzami. Ponadto angielska nazwa lekarza „physician" pochodzi od tzw. fizyka miejskiego, de facto lekarza miejskiego, który w starożytności odpowiedzialny był za higienę miasta.
Fizyka dała początek rozwojowi medycyny oraz tworzeniu się współczesnej techniki medycznej. Aktualny poziom oraz rozwój nowych technologii medycyna zawdzięcza więc nie tylko lekarzom, biologom i chemikom, ale w dużej mierze właśnie fizykom oraz inżynierom. Należy również zaznaczyć, iż inspiracje medyczne były częstym punktem wyjścia dla prac naukowych oraz konstrukcyjnych dla fizyków oraz inżynierów. Pozwoliło to na ogromny cenny społecznie rozwój: zarówno dla praktyki medycznej, jak również i nauki. Z kolei konieczność coraz większych specjalizacji doprowadziła do powstania nowej specjalności "fizyka medyczna".

Szkolenie zawodowe w dziedzinie fizyki medycznej – zmiany, ale jakie?

Autor: Paweł Kukołowicz[1]

[1] *Maria Sklodowska-Curie National Research Institute of Oncology*

Specjalizacja w dziedzinie fizyki medycznej została zapoczątkowana w roku 2005. Jest zupełnie oczywiste i naturalne, że tego typu szkolenie musi być dopasowywane do zmieniającej się rzeczywistość. Dość powiedzieć, że radioterapia, w której pracujący fizycy stanowili najliczniejszą grupę osób specjalizujących zmieniła się w sposób wręcz niewyobrażalny. W roku 2005 ważnym narzędziem radioterapii były aparaty do telegammaterapii Co60. Dzisiaj, poza kilkoma urządzeniami typu GammaKnife, nie ma żadnego kobaltu. Powszechnie stosowane dwuwymiarowe systemy planowania leczenia zostały zastąpione wyrafinowanymi systemami trójwymiarowymi. Pozytronowa tomografia komputerowa była w zasadzie niedostępna w roku 2005. Dzisiaj to podstawowe narzędzie diagnostyczne. Te i wiele innych zmian zostały uwzględnione w programie specjalizacji w kolejnych nowelizacjach, w roku 2011 i 2018. W roku 2018 doszło do innej, niezwykle istotnej zmiany. Ustawa Prawo Atomowe otworzyła ścieżkę szkolenia fizykom w dziedzinach rentgenodiagnostyki i radiologii zabiegowej oraz ścieżkę szkolenia w dziedzinie medycyny nuklearnej. Polskie Towarzystwo Fizyki Medycznej, zgodnie z rozwiązaniami europejskimi, umożliwia uzyskanie tytułu eksperta w dziedzinie fizyki medycznej. Moim zdaniem, przyjęte rozwiązania szkolenia zawodowego w Polsce mogły być wzorem dla innych krajów. Nic jednak nie trwa wiecznie. W moim wystąpieniu przedstawię moją opinię na temat rozwoju specjalizacji w dziedzinie fizyki medycznej,

Kształcenie fizyków medycznych na AGH – ponad 30 lat doświadczeń

Autor: Aleksandra Jung[1]

[1] *AGH University of Science and Technology*

Doświadczenia w zakresie kształcenia fizyków medycznych na Akademii Górniczo-Hutniczej sięgają roku 1990, kiedy rozpoczął edukację pierwszy rocznik kierunku Fizyka techniczna, specjalność Fizyka radiacyjna i dozymetria. Dwa lata później specjalność otrzymała nazwę Fizyka medyczna i dozymetria. W tym i kolejnych latach podpisywano liczne porozumienia o współpracy w zakresie wspólnego kształcenia studentów z jednostkami zewnętrznymi, medycznymi oraz naukowymi. W 2008 roku specjalność Fizyka medyczna i dozymetria stała się unikatowym kierunkiem Fizyka medyczna, pierwszym w Polsce.

Program studiów systematycznie ewoluuje i jest dostosowywany do potrzeb związanych z wymogami prawnymi, kształcenia dwustopniowego, czy potrzeb pracodawców. Istotna jest zgodność koncepcji kształcenia z bieżącymi potrzebami rynku pracy. Proces dydaktyczny ukierunkowany jest na zajęcia praktyczne prowadzone w specjalistycznych laboratoriach studenckich oraz naukowo-dydaktycznych, a także zewnętrznych jednostkach klinicznych i naukowo-badawczych. Obowiązkowym elementem studiów są praktyki zawodowe, często prowadzące do zatrudnienia absolwentów. W latach 2010-2015 był to kierunek zamawiany w ramach dwóch projektów POKL, dzięki czemu zwiększono konkurencyjność i znacząco doposażono laboratoria o nową aparaturę specjalistyczną.

Od 2010 roku działa aktywnie Studenckie Koło Naukowe Fizyków Medycznych KERMA, którego rozpoznawalną inicjatywą jest organizacja Ogólnopolskiej Konferencji Studentów „Fizyka dla Medyka", dostrzeżona także na arenie europejskiej.

Studenci Fizyki medycznej wielokrotnie otrzymywali nagrody za najlepsze prace magisterskie w konkursach Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej, Polskiego Towarzystwa Nukleonicznego, czy tzw. „Diamenty AGH". Licznie biorą udział w badaniach naukowych i współtworzą publikacje naukowe. I choć nie zawsze znajdują zatrudnienie bezpośrednio związane z wykształceniem, to niewątpliwie ich atutami na rynku pracy są solidność, umiejętność samodzielnego, twórczego myślenia i rozwiązywania problemów oraz zdolność do sprostania zmieniającym się wymaganiom.

MEDYCYNA NUKLEARNA I TERANOSTYKA

Kalibracja gamma kamery na potrzeby dozymetrii wewnętrznej w terapii izotopowej Lu-177

Autor: Patrycja Szubstarska[1]

Współautorzy: Anna Budzyńska [1]; Krzysztof Kacperski [2]; Agata Kubik [1]; Izabela Cieszykowska [3]; Mirosław Dziuk [1]

[1] *Wojskowy Instytut Medyczny, Zakład Medycyny Nuklearnej, Warszawa*

[2] *Wojskowy Instytut Medyczny, Zakład Medycyny Nuklearnej, Warszawa/Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Otwock – Świerk*

[3] *Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Zakład Fizyki i Techniki Akceleracji Cząstek (TJ1), Otwock – Świerk*

Cel:
Celem pracy było wyznaczenie czynnika kalibracyjnego SF (ang. System Calibration Factor) gamma kamery, niezbędnego do obliczeń dozymetrii wewnętrznej w terapii izotopowej Lu-177 oraz weryfikacja poprawności odtworzenia aktywności.

Materiały i metody:
Czynnik SF [Bq/cps] wyznaczono 2 metodami: z użyciem źródła quasi-punktowego (strzykawka z 3 ml roztworem radioizotopowym) oraz fantomu NEMA (puste sfery i nieaktywna kolumna płucna). Aktywność Lu-177 w strzykawce i fantomie wynosiła odpowiednio 141,3 MBq oraz 986,1 MBq.
Obrazowania wykonano gamma kamerą NM/CT 870DR z kolimatorami średnioenergetycznymi. Wykorzystano okno emisyjne 208 keV ± 10% oraz okna rozproszeniowe: 166,4 keV ± 12,49% oraz 249,6 keV ± 8,29%.
Rekonstrukcję danych przeprowadzono metodą OSEM. SF wyznaczono dla obrazów z korekcją atenuacji i rozpraszania (IRACSC) oraz dodatkowo z zastosowaniem modelowania kolimatora (Resolution Recovery, IRACSCRR).
Aby odtworzyć aktywność wykonano SPECT/CT fantomu wiaderkowego napełnionego 10 l wody, zawierającego gorące ognisko – fiolkę 10 ml o aktywności 9,8 MBq Lu-177. Dla wyznaczonych SF obliczono aktywność tego ogniska na podstawie liczby zliczeń w zrekonstruowanym obrazach IRACSC oraz IRACSCRR.

Wyniki:
Wartości SF [Bq/cps] wyznaczonego w oparciu o akwizycję źródła quasi-punktowego wynosiły 187078 (IRACSC), 184835 (IRACSCRR); o fantom NEMA 224110 (IRACSC), 184171 (IRACSCRR).
Różnice procentowe pomiędzy aktywnością rzeczywistą a odtworzoną wynosiły dla źródła quasi-punktowego 27,1% (IRACSC), 2,2% (IRACSCRR); dla fantomu NEMA 12,6% (IRACSC), 2,6% (IRACSCRR).

Wnioski:
Zastosowanie wszystkich korekcji na etapie rekonstrukcji jest niezbędne do zapewnienia ilościowego obrazowania. Wykazano dużą zgodność pomiędzy SF wyznaczonymi w oparciu o akwizycję źródła quasi-punktowego oraz fantomu NEMA, co przekłada się na bardzo dobre odtworzenie aktywności w fantomie z gorącym ogniskiem.

Narażenie pacjentów i społeczeństwa wynikające z diagnostyki radioizotopowej w zakresie kardiologii (stan w Polsce w 2021 roku)

Autorzy: Anna Teresinska[1]; Leszek Królicki[2]

[1] *Narodowy Instytut Kardiologii, Warszawa*

[2] *Warszawski Uniwersytet Medyczny*

Wprowadzenie:
W Polsce funkcjonują 44 zakłady wykonujące badania z zakresu kardiologii nuklearnej (BADkard): 31 prowadzące klasyczną diagnostykę nuklearną (MNklas), 7-MNklas i PET, 6-PET. Na ogólnopolską ankietę odpowiedziało 38 zakładów: 32/38(84%) wykonujących MNklas i 13/13(100%) wykonujących PET. Badania MNklas wykonano przy użyciu 33 urządzeń SPECT/CT (75%) i 11 gammakamer SPECT (25%).
Metoda – zastosowane aproksymacje:
- liczba badań PET stanowiła jedynie 0,9% wszystkich BADkard, stąd pominięto ich udział w niniejszym opracowaniu (liczba BADkard=liczba badań MNklas(SPECT))
- sprawozdaną liczbę badań aproksymowano do całkowitej liczby badań poprzez pomnożenie przez 100/84
- aktywności radiofarmaceutyków w badaniach SPECT przyjęto na poziomach referencyjnych (rozporządzenie MZ ws. warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej (Dz.U.2017r.poz.884))
- do 75% badań SPECT doliczono dawki od badań CT wykonywanych aparatami SPECT/CT, na poziomie 1mSv
- dawkę skuteczną [mSv] dla pacjenta (E), dla wszystkich pacjentów (Etot) i przypadającą na statystycznego mieszkańca (Estat) estymowano na podstawie nowych obliczeń ICRP/ICRU (Andersson, EJNMMI Physics 2014).
Wyniki (aproksymowane do 100% zakładów):
1. Wykonano 35593 badania SPECT:
-17073(48%) spoczynkowe badania perfuzji m.sercowego (E=5,62, Etot=96019mSv)
-17961(50,5%) obciążeniowych badań perfuzji m.sercowego (E=5,24, Etot=94116mSv)
-333(0,9%) badania amyloidozy serca (E=3,31, Etot=11016mSv)
-148(0,4%) badań zapaleń w klp (E=5,74, Etot=849mSv)
-79(0,2%) innych.
2. Wykonano 26695 badań CT (SPECT/CT) - Etot=26695mSv
3. Łącznie: E=3,3-5,7 mSv, Etot(SPECT+CT)=218780 mSv, Estat=0,0057 mSv/os.
Wnioski:
1. W Polsce scyntygrafię serca wykonuje się u ok.1/1000 mieszkańców rocznie.
2. Narażenie na promieniowanie od BADkard na statystycznego mieszkańca wynosi ok.6 mikrosivertów, co stanowi ok.0,4% całkowitego narażenia od diagnostyki medycznej (szacowanego na 1,5mSv rocznie).

Pomiar aktywności próbek zawierających mieszanki radionuklidów 177Lu i 90Y za pomocą licznika studzienkowego – kalibratora dawek

Autor: Krzysztof Kacperski[1]

Współautorzy: Anna Budzyńska [2]; Patrycja Szubstarska [2]; Agata Kubik [2]

[1] *Narodowe Centrum Badań Jądrowych; Wojskowy Instytut Medyczny*

[2] *Wojskowy Instytut Medyczny*

Kontakt: kkacperski@wim.mil.pl

Cel:
Mieszanki radionuklidów są stosowane zarówno w diagnostyce jak i terapii radioizotopowej. Przykładem jest terapia PRRT nowotworów neuroendokrynnych wykazujących ekspresję receptorów somatostatyny za pomocą 177Lu/90Y DOTATATE. Zachodzi wtedy potrzeba precyzyjnego pomiaru aktywności małych próbek zawierających mieszankę izotopów: radiofarmaceutyków podawanych pacjentowi, albo próbek płynów ustrojowych pobieranych do celów dozymetrycznych, np. krwi lub moczu. Celem pracy jest opracowanie prostej metody pomiaru aktywności próbek zawierających mieszankę radionuklidów 177Lu i 90Y o znanym stosunku aktywności za pomocą powszechnie używanego kalibratora dawek – licznika studzienkowego opartego na komorze jonizacyjnej.
Materiały i metody:
Podstawową wielkością mierzoną w komorze jonizacyjnej jest natężenie prądu generowanego pod wpływem ekspozycji na promieniowanie jonizujące. Jest ono w stosunkowo szerokim zakresie proporcjonalne do aktywności próbki izotopu umieszczonej w określonej geometrii względem miernika. Współczynnik proporcjonalności, zwany współczynnikiem kalibracji, jest charakterystyczny dla danego radionuklidu i umożliwia przeliczenie mierzonego prądu na aktywność próbki. Opierając się na tej zależności obliczono współczynnik kalibracji dla mieszanki izotopów o znanym stosunku aktywności, na podstawie znanych współczynników kalibracji każdego ze składników.
Za pomocą miernika studzienkowego Curiementor 4 zmierzono najpierw osobno aktywności próbek 177Lu i 90Y, a następnie próbek otrzymanych w wyniku wymieszania tych aktywności. Pomiary zmieszanych próbek powtórzono kilkukrotnie po upływie określonego czasu od zmieszania, uzyskując w ten sposób różne znane stosunki aktywności w zakresie 1,3 – 0,15.

Wyniki:
Błąd wyznaczenia aktywności każdego z izotopów w mieszance w stosunku do aktywności obliczonej na podstawie pomiaru osobnych próbek nie przekraczał 1,5%. Aktywność każdego radionuklidu można wyznaczyć niezależnie na podstawie wskazania miernika ustawionego na 177Lu i 90Y, co dodatkowo zwiększa wiarygodność pomiaru.

Gamma kamera jako spektrometryczny miernik aktywności Lu-177 i Y-90 w próbkach zawierających mieszanki radionuklidów

Autor: Krzysztof Kacperski[1]

Współautorzy: Patrycja Szubstarska [2]; Anna Budzyńska [2]; Agata Kubik [2]

[1] *Narodowe Centrum Badań Jądrowych; Wojskowy Instytut Medyczny*

[2] *Wojskowy Instytut Medyczny*

Cel:
W pracy przedstawiono sposób wykorzystania gamma kamery jako miernika spektrometrycznego umożliwiającego niezależny pomiar aktywności 177Lu i 90Y w małej próbce (np. strzykawce) zawierającej mieszankę tych radionuklidów w dowolnej, nieznanej proporcji. Pomiary takie są potrzebne np. dla próbek krwi do dozymetrii w terapii tandemowej PRRT za pomocą 177Lu/90Y DOTATATE.
Materiały i metody:
Do pomiaru wykorzystano statyczną gamma kamerę TH33 (Mediso) bez założonego kolimatora. Zdefiniowano sesję energetyczną zawierającą 4 okna: 113 keV ±10%, 208 keV ±10%, 345 keV ±33% i 530 keV ±32%. Dwa pierwsze z nich obejmują główne fotopiki 177Lu, natomiast w dwóch pozostałych rejestrowane są bezpośrednio wysokoenergetyczne elektrony promieniowania β 90Y. Umożliwia to do pewnego stopnia niezależną identyfikację każdego z izotopów. Wykonano pomiary kalibracyjne za pomocą źródeł zawierających czysty 177Lu i 90Y, w określonej geometrii i położeniu względem głowicy, dla różnych, malejących z czasem aktywności. Następnie wyznaczono parametry modelu pozwalającego obliczyć aktywności każdego z izotopów w mieszance na podstawie szybkości zliczeń rejestrowanych w każdym oknie. Metodę przetestowano na próbkach zawierających mieszanki 177Lu i 90Y o znanych proporcjach, zmieniających się zgodnie z prawem rozpadu każdego z radionuklidów.

Wyniki i wnioski:
Aktywności 177Lu w tej samej próbce obliczone na podstawie pomiarów w różnych położeniach i punktach czasowych (z uwzględnieniem rozpadu) były ze sobą zgodne z dokładnością < 2%, a w przypadku 90Y z dokładnością < 5%. Dokładność pomiaru pogarsza się, gdy aktywność w próbce maleje poniżej ok. 50 kBq. Wtedy istotna jest dokładna korekcja promieniowania tła. Metoda może być użyteczna w przypadku braku dedykowanego miernika spektrometrycznego.

Indywidualna dozymetria pacjenta z przerzutami guza neuroendokrynnego do wątroby w terapii PRRT za pomocą 177Lu DOTATATE- pierwsze doświadczenia w pracy z programem QDose.

Autor: Agata Kubik[1]

Współautorzy: Patrycja Szubstarska [1]; Anna Budzyńska [1]; Krzysztof Kacperski [2]; Maciej Kołodziej [3]; Mirosław Dziuk [4]

[1] *Wojskowy Instytut Medyczny, Zakład Medycyny Nuklearnej, Warszawa*

[2] *1) Wojskowy Instytut Medyczny, Zakład Medycyny Nuklearnej, Warszawa; 2) Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Zakład Fizyki i Techniki Akceleracji Cząstek (TJ1), Otwock – Świerk*

[3] *Wojskowy Instytut Medyczny, Klinika Endokrynologii i Terapii Izotopowej, Warszawa*

[4] *1Wojskowy Instytut Medyczny, Zakład Medycyny Nuklearnej, Warszawa*

Cel:
Celem pracy było wyznaczenie dawek promieniowania jonizującego, które otrzymały wybrane organy w trakcie terapii PRRT z wykorzystaniem 177Lu DOTATATE. Wyniki posłużyły do oceny ryzyka dla organów krytycznych (nerki oraz czerwony szpik kostny) oraz dawek dostarczonych do zmian w wątrobie.
Materiały i metody:
Pacjent poddany terapii z wykorzystaniem izotopu Lu-177 został czterokrotnie obrazowany metodą SPECT/CT według standardowego protokołu akwizycyjnego. Obrazowanie wykonano po 4 h, 24 h, 48 h oraz 192 h po zakończeniu podania radiofarmaceutyku. Od pacjenta pobrano próbki krwi (po 5 min, 15 min, 40 min, 4 h oraz 24 h), których aktywność została zmierzona dla celów wykonania dozymetrii szpiku kostnego.
Dane zrekonstruowano na stacji roboczej i zaimportowano do programu QDose. Wykonano korejestrację danych CT oraz obrazów nuklearnych. Przeprowadzono segmentację wybranych regionów zainteresowania (wątroba, nerki oraz ogniska gromadzenia izotopu w wątrobie). Na podstawie danych obrazowych oraz wprowadzonych aktywności krwi dopasowano dwuwykładnicze krzywe zmienności aktywności w zależności od czasu (ang. TAC-time-activity curve) i wyznaczono dawki otrzymane przez wysegmentowane obszary za pomocą modelu IDAC2.1 oraz z wykorzystaniem metody Voxel S.
Wyniki i wnioski:
Za pomocą metody Voxel S otrzymano średnie dawki dla nerki lewej- 3,4 Gy, nerki prawej- 3,2 Gy, pierwszego guza- 16,1 Gy, drugiego guza- 14,3 Gy oraz trzeciego guza- 13,6 Gy. Dawka dla czerwonego szpiku kostnego wyznaczona za pomocą modelu IDAC 2.1 wyniosła 100 mGy. Uwzględniając graniczne dawki dla nerek oraz szpiku (odpowiednio 23 Gy i 2 Gy) możliwe było zaplanowanie zwiększenia podawanej aktywności w kolejnym cyklu terapii.
Projekt finansowany przez Agencję Badań Medycznych, Polska, nr Projektu 2019/ABM/01/00077

Stabilność cech radiomicznych w badaniach 18F-FDG-PET pacjentów z nowotworami głowy i szyi przy zastosowaniu różnych protokołów obrazowania

Autorzy: Izabela Gorczewska[1]; Damian Borys[2]; Paweł Bzowski[1]; Andrea d'Amico[3]

[1] *Zakład Medycyny Nuklearnej i Endokrynologii Onkologicznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie, oddział w Gliwicach*

[2] *Silesian University of Technology*

[3] *Zakład Medycyny Nuklearnej i Endokrynologii Onkologicznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie, oddział w Gliwicach.*

Kontakt: izabela.gorczewska@io.gliwice.pl

Cel/wprowadzenie: Celem niniejszej pracy było porównanie cech radiomicznych pomiędzy dwoma różnymi protokołami obrazowania w badaniu 18F-FDG-PET głowy i szyi oraz przeprowadzenie analizy statystycznej w celu sprawdzenia czy protokół akwizycyjny, a tym samym parametry rekonstrukcji, zmieni w sposób istotny statystycznie wartości cech radiomicznych.

Materiały i metody: Analizę przeprowadzono na grupie 20 pacjentów z pierwotnymi guzami w okolicy głowy i szyi. Dla każdego z nich przeanalizowano dwie serie badania PET/CT: standardową dla całego ciała (rozdzielczość 256 x 256 pikseli) oraz wysokiej rozdzielczości w obszarze głowy i szyi (400 x 400 pikseli). Region zainteresowania (ROI) guza pierwotnego został wyznaczony ręcznie przez doświadczonego specjalistę z medycyny nuklearnej przy użyciu oprogramowania MIM (v7.0.1). Wykorzystując moduł Pythona pyRadiomics (v3.0.1) obliczono 100 cech radiomicznych dla obrazu oryginalnego w następujących grupach: kształt, cechy pierwszego rzędu i cechy teksturowe (GLCM, GLRLM, GLSZM, GLDM). Analizę danych przeprowadzono przy użyciu modułów Python numpy, scipy i pandas. Istotność statystyczną określano za pomocą testu kolejności par Wilcoxona. Wartość p mniejszą niż 0,05 uznawano za istotną.

Wyniki: Zidentyfikowano cechy radiomiczne, których wartości różniły się statystycznie przy zmianie protokołu akwizycyjnego i zmianie parametrów rekonstrukcji. Statystycznie różne okazały się być prawie wszystkie cechy kształtu oraz około połowa cech opartych o tekstury. Ustawienia rekonstrukcji nie miały natomiast wpływu na cechy statystyczne pierwszego rzędu, takie jak średnia SUV i maksimum SUV.

Wnioski: Można wyróżnić dwa podzbiory cech radiomicznych. Pierwszy z nich jest stabilny w odniesieniu do zmian w protokole obrazowania, natomiast drugi cechuje się pewnym stopniem zmienności, co ogranicza jego potencjał jako biomarkera obrazowego.

Dozymetria cząstek alfa w terapii borowo – neutronowej na podstawie pomiarów spektrometrycznych promieniowania gamma – stanowisko pomiarowe

Autor: Natalia Knake[1]

Współautorzy: Rafał Prokopowicz [1]; Justyna Cybowska [1]; Roch Kwiatkowski [1]; Antoni Zawadka [1]; Michał A. Gryziński [1]

[1] *National Centre for Nuclear Research*

Kontakt: natalia.knake@ncbj.gov.pl

Radioterapia z wykorzystaniem cząstek alfa staje się obiektem rosnącego zainteresowania. Cząstki alfa dostarczane są do tkanek w postaci radiofarmaceutyku lub związku boru jako źródła cząstek alfa w reakcji z neutronami. Wiąże się to z koniecznością monitorowania dawki w czasie terapii. Ze względu na mały zasięg rzędu μm w tkance, cząstki alfa mogą być rejestrowane tylko pośrednio (S.Poty i in., 2018). Metodą taką może być rejestracja fotonów γ towarzyszących emisji tych cząstek. Cząstki alfa powstają także w reakcji 10B(n,α)7Li, która jest podstawą terapii borowo-neutronowej (BNCT). W reakcji tej z prawdopodobieństwem 94% emitowane są fotony gamma o energii 478 keV (W.Sauerwein, R.Moss, 2009). Zaprezentowana zostanie metoda wyznaczania dawki zdeponowanej przez cząstki alfa z reakcji 10B(n,α)7Li w ośrodku tkankopodobnym zawierającym bor. Metoda polega na rejestracji w czasie rzeczywistym fotonów gamma powstających w tej samej reakcji. Pomiary wykonywane są w strumieniu neutronów emitowanych ze źródła Pu-Be. Wyniki pomiarów zostaną zweryfikowane na podstawie przeprowadzonych symulacji Monte Carlo. Pokazana zostanie koncepcja układu eksperymentalnego, w którym do rejestracji fotonów gamma o energii 478 keV wykorzystywany jest spektrometr promieniowania gamma CdZnTe oraz HPGe. Omówione zostaną główne wyzwania związane z uzyskaniem optymalnych warunków do pomiarów fotonów gamma o energii 478 keV oraz wstępne wyniki pomiarów spektrometrycznych. Przedstawiona zostanie również koncepcja użycia detektorów śladowych CR39 do pomiarów gęstości śladów cząstek alfa powstających w reakcji 10B(n,α)7Li oraz metoda obliczeniowa dawki zdeponowanej przez te cząstki w tkance. Zaprezentowane zostanie również stanowisko pomiarowe budowane w Reaktorze MARIA Narodowego Centrum Badań Jądrowych w Otwocku (N.Knake i in., Kraków, Polska, 2022, prezentacja ustna: https://im-neudos.jordan.pl/upload/Neudos/5.05.2022_IM2022_NEUDOS14_BOOK-OF-ABSTRACTS_FIN-(1).pdf).

Badanie stabilności cech radiomicznych wyznaczanych w różnych przestrzeniach obrazu badań 18F-FDG-PET pacjentów z rakiem szyjki macicy

Autorzy: Damian Borys[1]; Paulina Cegła[2]; Witold Cholewiński[2]; Izabela Gorczewska[3]; Ewa Burchardt[2]; Paweł Bzowski[3]; Andrea d'Amico[4]

[1] *Silesian University of Technology*

[2] *Zakład Medycyny Nuklearnej, Wielkopolskie Centrum Onkologii, Poznań*

[3] *Zakład Medycyny Nuklearnej i Endokrynologii Onkologicznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie, oddział w Gliwicach*

[4] *Zakład Medycyny Nuklearnej i Endokrynologii Onkologicznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie, oddział w Gliwicach.*

Cel/wprowadzenie: Celem niniejszej pracy było porównanie cech radiomicznych pomiędzy dwoma różnymi przestrzeniami obrazu (wysokiej rozdzielczości CT vs. niskiej rozdzielczości PET) w badaniu 18F-FDG-PET przy rozpoznanym raku szyjki macicy oraz przeprowadzenie analizy statystycznej w celu sprawdzenia, czy wykorzystywana przestrzeń obrazu zmieni wartości cech radiomicznych w sposób istotny statystycznie.

Materiały i metody: Analizę przeprowadzono na grupie 20 pacjentów z pierwotnie rozpoznanym i potwierdzonym histopatologicznie rakiem szyjki macicy. Dla każdego z nich przeanalizowano dwie przestrzenie obrazu. Pierwszą stanowił obraz regionu zainteresowania zapisany w przestrzeni CT oraz obraz PET interpolowany metodą najbliższego sąsiada do przestrzeni CT. Drugą przestrzeń stanowił obraz ROI interpolowany do przestrzeni oryginalnej PET oraz obraz w rozdzielczości oryginalnej PET. ROI guza pierwotnego został wyznaczony ręcznie przez doświadczonego specjalistę z medycyny nuklearnej przy użyciu oprogramowania MIM (v 7.1.8). Wykorzystując moduł pyRadiomics (v 3.0.1) obliczono 100 cech radiomicznych dla obrazu bez użycia dodatkowych filtrów, w grupach: kształt, cechy pierwszego rzędu i cechy teksturowe (GLCM, GLRLM, GLSZM, GLDM). Analizę danych przeprowadzono przy użyciu modułów Python numpy, scipy i pandas. Istotność statystyczną określano za pomocą testu kolejności par Wilcoxona. Wartość p mniejszą niż 0.05 uznawano za istotną.

Wyniki: Zidentyfikowano cechy radiomiczne, których wartości różniły się w sposób istotny statystycznie przy zmianie bazowej przestrzeni obrazu PET, dokonywanej poprzez interpolację obrazu do przestrzeni CT w porównaniu do wyników uzyskiwanych w przestrzeni oryginalnej.

Wnioski: Można wyróżnić dwa podzbiory cech radiomicznych. Pierwszy z nich jest stabilny w odniesieniu do przestrzeni obrazu PET, natomiast drugi cechuje się pewnym stopniem zmienności, co ogranicza jego potencjał jako biomarkera.

Zastosowanie sieci neuronowych YOLO do identyfikacji ognisk nowotworowych w badaniu PET/CT z użyciem 18-F-FDG

Autorzy: Paweł Bzowski[1]; Izabela Gorczewska[1]; Damian Borys[2]; Andrea d'Amico[3]

[1] *Zakład Medycyny Nuklearnej i Endokrynologii Onkologicznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie, oddział w Gliwicach*

[2] *Silesian University of Technology*

[3] *Zakład Medycyny Nuklearnej i Endokrynologii Onkologicznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie, oddział w Gliwicach.*

Kontakt: pawel.bzowski@io.gliwice.pl

Wstęp: Zastosowanie sztucznej inteligencji można coraz częściej zaobserwować w medycynie m.in. w wspomaganiu decyzji czy polepszaniu jakości obrazowania. Zastosowanie tych metod pozwala na szybszą i celniejszą diagnozę, co przenosi się na efektywną terapię, która pozwoli uratować życie i zdrowie chorego. Do niedawna wykorzystanie sztucznej inteligencji było wręcz niemożliwe, jednak rozwój technologii informatycznych oraz nowe i wydajne serwery obliczeniowe umożliwiły wykonywanie wielu obliczeń w tym samym czasie, co pozwoliło na uczenie programów do celów medycznych.
Cel: Celem niniejszej pracy było przygotowanie odpowiedniego algorytmu, a następnie, w oparciu o oprogramowanie YOLO, nauczenie sieci neuronowej, a w efekcie końcowym przeprowadzenie wysoce dokładnej identyfikacji zmian nowotworowych uwidocznionych na obrazach medycznych pozyskanych z badań PET/CT.
Materiały i Metody: W pracy wykorzystano obrazy pochodzące z badania PET/CT pacjentów z podejrzeniem choroby nowotworowej. Dane zostały podzielone na osoby zdrowe, które nie posiadały ognisk patologicznego wychwytu radioznacznika oraz pacjentów z trwającą chorobą nowotworową. Do nauczenia sieci neuronowej wykorzystano obrazy pacjentów zdrowych, a następnie za pomocą YOLO nauczono algorytm, aby wyznaczał w ciele pacjenta obszary fizjologicznego wychwytu radioznacznika (m.in. mózg, serce, drogi moczowe). Obraz pacjenta po wykryciu i usunięciu sygnału pochodzącego z fizjologicznego wychwytu radioznacznika pozwolił na uwidocznienie podejrzanych miejsc charakteryzujących się jego zwiększonym wychwytem, co mogło wskazywać na aktywny proces nowotworowy.
Wyniki: Pierwsze otrzymane wyniki pozwoliły zauważyć, że opracowany algorytm ma bardzo duży potencjał, a wraz z większą liczbą danych, zwiększa się jego dokładność. Osiągnięcie wiarygodnych wyników wymaga zebrania bardzo dużej bazy danych wejściowych oraz powtórzenia procesu uczenia sieci neuronowej, celem jej zastosowania w praktyce klinicznej.

Pozytonowa tomografia emisyjna PET – CT metabolizmu miedzi 64 – Cu u chorych z podejrzeniem lub rozpoznaniem choroby Wilsona

Autorzy: Marina Gerszewska[1]; Mirosław Dziuk[1]; Anna Członkowska[2]; Tomasz Litwin[2]; Agnieszka Antos[2]

[1] *Affidea PET-CT*

[2] *Instytut Psychiatrii i Neurologii*

Kontakt: marina.gerszewska@affidea.com, mdziuk@wim.mil.pl

Wstęp
Choroba Wilsona to uwarunkowane genetycznie zaburzenie metabolizmu miedzi w organizmie prowadzące do uszkodzenia m.in. wątroby, nerek, oczu oraz mózgu. Pojawiające się u większości chorych zaburzenia neurapsychiatryczne często prowadzą do nieprawidłowego rozpoznania. Choroba Wilsona wykryta za późno prowadzi do śmierci, natomiast prawidłowe rozpoznanie i wczesne leczenie farmakologiczne daje bardzo dobre rokowania cofając objawy choroby.
Cel badania
Badanie ma na celu określenie możliwości diagnozowania pacjentów z podejrzeniem zaburzeń metabolizmu miedzi w chorobie Wilsona za pomocą chlorku miedzi – 64 (II) CuCl2, jako znacznika pozytronowej tomografii emisyjnej PET – CT.
Materiały i metody
Czterem pacjentom (2 homozygotom, heterozygocie oraz pacjentowi z podejrzeniem choroby) podano dożylnie znacznik 64 – CuCl2 i wykonano skany PET za pomocą hybrydowego skanera PET – CT. Przeprowadzono analizę ilościową w celu określenia biodystrybucji radioaktywnej miedzi – 64. Obliczono stosunek SUVmax kątnicy oraz zstępnicy do wątroby uzyskując wiarygodne wyniki.
Wyniki
Wychwyt znacznika 64 – Cu u badanych pacjentów w znacznym stopniu odnotowano w wątrobie oraz w mniejszym stopniu w jelicie grubym. Nie stwierdzono obecności radioaktywnej miedzi – 64 w nerkach, rogówce oka ani mózgu. Stosunek wychwytu znacznika w jelicie grubym do wątrobowego może pomóc określić stopień zaburzeń metabolizmu miedzi.
Wnioski
Uzyskane obrazy oraz wyniki analizy ilościowej mogą wskazywać na możliwość wykorzystania obrazowania PET – CT z użyciem znacznika 64 – CuCl2 do nieinwazyjnej oceny metabolizmu miedzi, co może mieć znaczenie w diagnostyce choroby Wilsona.

Słowa kluczowe
pozytonowa tomografia emisyjna, choroba Wilsona, metabolizm miedzi, chlorek miedzi – 64 (II)

Projekt DuoNen - Zastosowanie terapii tandemowej LutaPol/ItraPol (177Lu/90Y-DOTATATE) jako skutecznego narzędzia w leczeniu nowotworów neuroendokrynnych_ opis przypadku

Autorzy: Agata Walecka-Mazur[1]; Aldona Kowalska[1]; Janusz Braziewicz[1]; Artur Szczodry[1]

[1] *Świętokrzyskie Centrum Onkologii*

Kontakt: walecka@wp.pl

Celem badania jest opracowanie algorytmu leczenia chorych na NEN z użyciem mieszanek izotopowych ItraPol i LutaPol (177Lu-DOTATATE i 90Y-DOTATATE).
Na podstawie badań obrazowych i farmakokinetyki oraz wyliczonych dawek pochłoniętych w guzie/-ach , nerkach i szpiku kostnym, w kolejnych cyklach proporcje 90Y do 177Lu będą indywidualnie dobierane.
Oczekiwanym efektem badania będzie opracowanie zindywidualizowanych algorytmów leczenia chorych na NEN z zastosowaniem PRRT lub tandem-PRRT, pozwalających uzyskać zwiększoną skuteczność i bezpieczeństwo leczenia w porównaniu do terapii standardowej.
W maju 2022 roku przeprowadzono pierwsze badanie w ramach projektu DuoNen w Świętokrzyskim Centrum Onkologii. Pacjentowi podano mieszankę 177Lu-DOTATATE i 90Y-DOTATATE w proporcji 2:1 (odpowiednio 3600 i 1800 MBq). Zgodnie z zatwierdzoną procedurą dozymetryczną, pacjentowi pobrano próbki krwi w odstępach czasowych: 0, 0:15, 0:40, 4:00 oraz 24:00 h po podaniu mieszanki radiofarmacutyków. Z próbek krwi została wyznaczona aktywność krwi obwodowej, która posłużyła do obliczeń dawki pochłoniętej przez szpik kostny.
Wykonano 4 badania SPECT/CT w punktach czasowych : 4, 24, 48 oraz 192 godziny po zakończeniu podawania radiofarmaceutyków.
Badania obrazowe oraz wyniki pomiarów próbek krwi pacjenta zaimportowano do programu dozymetrycznego QDose (ABX). Wykonano obliczenia dawki pochłoniętej dla guzów oraz narządów krytycznych dla izotopów 177Lu oraz 90Y.
Wyniki badań dozymetrycznych dla pierwszej podanej pacjentowi frakcji wskazują na znacząco wysoką dawkę pochłoniętą w nerkach. Dalsze postępowanie, dobór aktywności 90 Y dla kolejnych frakcji są w trakcie opracowywania.

Dynamika naprawy uszkodzeń DNA w komórkach poddanych działaniu sekwencyjnych wiązek mieszanych promieniowania jonizującego

Autorzy: Adrianna Tartas[1]; Lovisa Lundholm[2]; Harry Scherthan[3]; Andrzej Wojcik[2]; Beata Brzozowska[1]

[1] *Zakład Fizyki Biomedycznej, Instytut Fizyki Doświadczalnej, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski*

[2] *Instytut Wenner-Gren, Zakład Biologii Molekularnej, Uniwersytet w Sztokholmie, Szwecja*

[3] *Bundeswehr Institute of Radiobiology afiliowany przy Uniwersytecie w Ulm, Monachium, Niemcy*

Różne rodzaje promieniowania jonizującego oddziałują w różny sposób z genomem komórkowym. Gęsto oddziałujące cząstki z wysokim liniowym transferem energii (*ang.* linear energy transfer, LET) tworzą skoncentrowane dwuniciowe pęknięcia (*ang.* double strand breaks, DSB) wzdłuż torów cząstek. Rzadko jonizujące promieniowanie o niskim LET indukuje rozproszone i łatwiejsze do naprawy DSB. Interesujące jest, czy sekwencyjna kolejność promieniowania o wysokim i niskim LET wpływa na odpowiedź na uszkodzenie DNA i tworzenie ognisk naprawy DSB.

Aby zbadać reakcję na uszkodzenie DNA po napromieniowaniu o wysokim i niskim LET i wiązkach mieszanych, komórki U2OS z białkiem NBS1 znakowanym białkiem zielonej fluorescencji (*ang.* green fluorescence protein, GFP) zostały napromienione cząstkami alfa, promieniowaniem gamma i naprzemienną kombinacją obu rodzajów promieniowania podawanych sekwencyjnie. Ogniska NBS1 rejestrowano w żywych komórkach przy użyciu odwróconego mikroskopu fluorescencyjnego w ciągu 5 h po napromienianiu. Filmy poklatkowe zostały przeanalizowane pod kątem różnych parametrów i czasowej dynamiki występowania i zanikania ognisk NBS1.

Wyniki analizy są zgodne z przewidywaniami, że promieniowanie o wysokim LET powoduje mniej mikroskopijnych ognisk DSB na małym obszarze jądra komórkowego w porównaniu do promieniowania o niskim LET. W przypadku wiązek mieszanych kolejność stosowanych rodzajów promieniowania wykazywała znaczne różnice. Wyniki sugerują, że obecność naprawy uszkodzeń popromiennych o wysokim LET opóźnia uszkodzenia DSB wywołane niskim LET. Można również uznać, że promieniowanie o wysokim LET prowadzi do bardziej nadmiernych uszkodzeń chromatyny, które mogą obejmować uszkodzenia oksydacyjne. Wzrost wielkości ognisk może wskazywać na gromadzenie się uszkodzonych segmentów DNA, które są trudne do naprawy lub które są gromadzone w celu ułatwienia naprawy.

Kalibracja gammakamery na potrzeby dozymetrii wewnętrznej w tandemowej terapii radioizotopowej 177Lu/90Y-DOTATATE

Autor: Anna Budzyńska[1]

Współautorzy: Krzysztof Kacperski [2]; Patrycja Szubstarska [1]; Agata Kubik [1]; Izabela Cieszykowska [3]; Mirosław Dziuk [1]

[1] *1Wojskowy Instytut Medyczny, Zakład Medycyny Nuklearnej, Warszawa*

[2] *1Wojskowy Instytut Medyczny, Zakład Medycyny Nuklearnej, Warszawa; 2Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Zakład Fizyki i Techniki Akceleracji Cząstek (TJ1), Otwock – Świerk*

[3] *3Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Ośrodek Radioizotopów POLATOM, Otwock – Świerk*

Kontakt: abudzynska@wim.mil.pl

Cel:
Wyznaczenie czynnika kalibracyjnego SF gammakamery do obliczeń dozymetrycznych w spersonalizowanej terapii izotopowej pacjentów leczonych mieszankami 177Lu/90Y-DOTATATE.
Materiały i metody:
Fantom NEMA zawierający puste sfery i nieaktywną kolumnę płucną napełniono roztworami o aktywnościach: [177Lu]LuCl3 487,0 MBq oraz [90Y]YCl3 941,3 MBq. Przeprowadzono serię 12 obrazowań. Proporcje A(Lu-177)/A(Y-90) zmieniały się od ok. 0,5 do 15. Obrazowania wykonano za pomocą gammakamery NM/CT 870 DR z kolimatorami średnioenergetycznymi i wg. standardowego protokołu akwizycyjnego dla badań z 177Lu. Rekonstrukcję tomograficzną przeprowadzono metodą OSEM za pomocą oprogramowania Q.Volumetrix MI. Czynnik kalibracyjny wyznaczono na podstawie rekonstrukcji IRACSCRR oraz IRAC (AC-korekcja atenuacji na podstawie skanów CT, SC-korekcja rozproszeń fotonów metodą trzech okien TEW, RR-modelowanie kolimatora). Wyznaczony dla mieszanki radioizotopowej SF porównano z czynnikiem uzyskanym uprzednio dla fantomu NEMA, który zawierał wyłącznie 177Lu (A=986,1 MBq).
Wyniki:
Dla rekonstrukcji ilościowej IRACSCRR zaobserwowano wzrost czynnika SF (spadek zrekonstruowanej liczby zliczeń) o ~8% dla mieszanki izotopów w stosunku do obrazów otrzymanych dla samego 177Lu. Wraz ze spadkiem aktywności izotopów czynnik SF rósł, aż do wartości o ~15% większej od początkowej. Dla rekonstrukcji IRAC czynnik SF dla mieszanki był mniejszy niż dla czystego 177Lu.
Wnioski:
Dla rekonstrukcji ilościowej IRACSCRR domieszka 90Y, emitującego tylko stosunkowo słabe promieniowanie hamowania, powoduje spadek zrekonstruowanej liczby zliczeń w obrazie (wzrost SF). Jest to spowodowane korekcją rozproszeń wykonywaną metodą TEW i faktem, że 90Y wnosi stosunkowo największy wkład do wysokoenergetycznego okna rozproszeniowego. Potwierdzają to zachowanie czynnika SF dla rekonstrukcji IRAC oraz analiza liczby zliczeń w surowych projekcjach. Wartość SF, jaką należy zastosować, zależy od proporcji izotopów w danym badaniu.

Ocena przydatności metod półilościowych i wzorców wizualnych w różnicowaniu guzków tarczycy u chorych z niejednoznacznym wynikiem badania cytologicznego - doniesienie wstępne.

Autorzy: Agnieszka Żyłka; Anna Moczulska; Wioletta Chalewska[1]; Elżbieta Stachlewska-Nasfeter; Jacek Gałczyński; Marek Dedecjus; Małgorzata Benke; Paulina Cegła[1]; Piotr Góralski

[1] *NIO-PIB Warszawa*

Kontakt: wioletta.chalewska@pib-nio.pl

Cel: Celem pracy było wyodrębnienie grupy chorych z dużym prawdopodobieństwem złośliwości guzków tarczycy, poprzez zastosowanie metod półilościowych i wzorców wizualnych w badaniach radioizotopowych [99mTc] i [99mTc]Tc-MIBI.
Materiały i metody: Do badania włączono 173 chorych z guzkiem tarczycy ≥ 15mm zaklasyfikowanym w badaniu cytologicznym do kat.IV wg Bethesda. Spośród nich wyodrębniono grupę 47 pacjentów z pojedynczym guzkiem. Wszyscy chorzy zostali zakwalifikowani do leczenia operacyjnego w Oddziale Chirurgicznym Kliniki Endokrynologii Onkologicznej i Medycyny Nuklearnej Narodowego Instytutu Onkologii w Warszawie. U wszystkich pacjentów wykonano badanie radioizotopowe po podaniu 74 MBq [99mTc] i 350 MBq [99mTc]Tc-MIBI. Po uzyskaniu obrazów planarnych dokonano analizy wizualnej gromadzenia izotopu w ocenianym guzku oraz obliczono współczynnik retencji (RI - retention index) i współczynnik wypłukiwania (Wo ind - washout index). Uzyskane dane porównano z wynikami badań histopatologiczych.

Wyniki: Wszyscy pacjenci z pojedynczym guzkiem tarczycy zostali poddani operacji radykalnej tyreoidektomii. Dokonano porównania wyników otrzymanych wzorców wizualnych oraz metod półilościowych przyjmując za standard odniesienia wynik badania histopatologicznego. W grupie 47 pacjentów pooperacyjne badania histopatologiczne wykazały 18 raków i 29 gruczolaków. Na podstawie wstępnej analizy wykazano, że współczynnik retencji (RI - retention index) jest przydatny do wykrywania raków w 83% (15/18), a współczynnik wypłukiwania (Wo ind - washout index) dla gruczolaków 86% (25/29).
Wnioski: Metody radioizotopowe mogą stać się przydatnym narzędziem w diagnostyce guzków tarczycy z niejednoznacznym wynikiem cytologicznym. W dalszym toku badania, po uzyskaniu wszystkich wyników pooperacyjengo badania histopatologicznego, oceniona zostanie czułość i swoistość oraz PPV i NPV badanych parametrów.

Rola indywidualnej dozymetrii narządowej u pacjentów zakwalifikowanych do terapii guzów neuroendokrynnych (NET) z wykorzystaniem Lu-177 oraz mieszanek Y-90 i Lu-177- doświadczenia własne

Autorzy: Agata Sackiewicz ; Paulina Cegła[2]; Wioletta Chalewska[2]; Joanna Długosińska; Marek Dedecjus

[1] *NIO-PIB Warszawa*

[2] *Narodowy Instytut Onkologii - Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie*

Celem terapii radioizotopowej z analogami somatostatyny jest kierunkowe dostarczenie i trwałe związanie się kompleksu radioizotopu i syntetycznego analogu z receptorem na powierzchni komórki nowotworowej.
Leczenie powinno być zindywidualizowane w stosunku do każdego pacjenta, ponieważ nie każdy chory jest w stanie przyjąć cały cykl leczenia, ze względu na potencjalne uszkodzenie nerek oraz szpiku, co potwierdzono w badaniu rejestracyjnym leku.
Cel badania stanowiło uzyskanie dawek pochłoniętych dla odpowiednich narządów krytycznych oraz zmian metastatycznych wraz z uwzględnieniem obliczania czynnika kalibracyjnego na podstawie badań fantomowych u pacjentów poddanych terapii guzów NET z wykorzystaniem Lu-177 oraz mieszanek Y-90 i Lu-177. Uwzględniono także procedury podawania radiofarmaceutyków i pomiarów próbek krwi. Pomiary wykonano przy użyciu dedykowanego oprogramowania.
Na podstawie przeprowadzonej analizy uzyskano wyniki dla narządów krytycznych oraz zmian przerzutowych u pacjentów poddanych terapii guzów NET. Jednocześnie, uzyskane dane zostały wykorzystane do zaplanowania kolejnych dawek terapeutycznych.

Emitery promieniowania krótko-zasięgowego w celowanej terapii radionuklidowej

Autor: Aleksander Bilewicz[1]

[1] *Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa*

Istnieje ogromne zapotrzebowanie na radiofarmaceutyki wykazujące efekt terapeutyczny w stosunku do małych i rozsianych zmian nowotworowych (przerzuty, wczesne stadia nowotworów), które byłyby uzupełnieniem dla istniejących już radiofarmaceutyków na bazie wysoko i średnioenergetycznych emiterów β− (90Y, 188Re, 177Lu). Warunki te mogą spełniać radiofarmaceutyki oparte na emiterach cząstek ⍼⍼oraz niskoenergetycznego promieniowania elektronowego: elektronów konwersji i elektronów Augera. Zaletą emiterów α jest duża wartość liniowego przekazu energii (Linear Energy Transfer) LETα ≈ 100 keV/μm, oznacza to, że cząstki α wytracają swoją energię w tkance w zasięgu 40-100 μm, co odpowiada kilku warstwom komórek. Wykazują, zatem dużą efektywność w niszczeniu małych zmian o średnicy kilku komórek i w mniejszym stopniu oddziałują na zdrowe komórki z otoczenia nowotworu. Duża wartość LETα powoduje, że cząstki α mają zdolność do indukowania pęknięć podwójnie niciowych w DNA. Aktualnie bierze się pod uwagę następujące radionuklidy – emitery promieniowania ⍼: 212Bi, 213Bi, 211At, 223Ra, 224Ra, 225Ac oraz 149Tb. Alternatywą mogą być emitery elektronów konwersji oraz elektronów Augera, które podobnie jak cząstki α mają bardzo krótki zasięg deponując na swojej drodze bardzo dużą dawkę energii, powodując podwójnie niciowe pęknięcia DNA. Te właściwości pozwalają projektować leki przeznaczone do leczenia nawet pojedynczych komórek: nowotwory krwi, mikroprzerzuty. Charakterystyka elektronów Augera stawia jednak przed naukowcami wiele ograniczeń, t.j. wymóg syntezy leku w postaci cząsteczki wnikającej do wnętrza komórki i transportowanej do jądra komórkowego, blisko DNA komórki. Na wykładzie zostaną omówione prace nad otrzymywaniem radiofarmaceutyków znakowanych emiterami promieniowania α oraz elektronów Augera, prowadzone i planowane w Pracowni Chemii Radiofarmaceutycznej Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie.

Charakterystyka stanowisk do napromieniania neutronowego w badaniach biomedycznych

Autor: Karolina Wójciuk[1]

Współautorzy: Emilia Balcer [2]; Michał Dorosz [2]; Natalia Knake [2]; Michał Kuć [1]; Łukasz Murawski [3]; Katarzyna Tymińska [1]; Rafał Prokopowicz [2]

[1] *Zakład Metrologii Radiologicznej i Fizyki Biomedycznej, Narodowe Centrum Badań Jądrowych*

[2] *Zakład Badań Reaktorowych, Narodowe Centrum Badań Jądrowych*

[3] *Zakład Technik Reaktorowych, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Narodowe Centrum Badań Jądrowych*

Narodowe Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) jest mocno zaangażowane w rozwój technologii jądrowych i promowanie praktycznych zastosowań fizyki medycznej. Produktami komercjalizacji są radiofarmaceutyki oraz akceleratory cząstek. Od kilku lat NCBJ wprowadza stanowiska do napromieniania neutronowego próbek biologicznych. Reaktor badawczy dysponuje czterema stanowiskami do tego typu napromieniania o różnej specyfikacji: kanał hydrauliczny, źródło rozruchowe reaktora, basen reaktora i kanał H2 (kanał wyprowadzający wiązkę neutronów).
W Reaktorze Badawczym MARIA możliwe jest prowadzenie napromieniania z wykorzystaniem kanałów pocztowych. Umożliwiają one prowadzenie badań w szerokim zakresie strumieni neutronów. Zakres możliwych do osiągnięcia dawek neutronów: 1-10Gy.
Aktualnie w reaktorze MARIA istnieje 26 kanałów wśród nich znajdują się 4 kanały hydrauliczne z możliwością dostarczenia oraz ekstrakcji próbki w dowolnym momencie podczas pracy reaktora. Wykorzystanie konkretnej stacji poczty hydraulicznej jest zależne od celu i pożądanych parametrów. Poczta hydrauliczna (PH4) jest najbardziej odpowiednia do prowadzenia badań biomedycznych.
Podczas napromieniania próbek przy użyciu źródła izotopowego 239Pu-Be emitowane są neutrony prędkie. Źródło to pozwala uzyskać niskie dawki.
W celu optymalnego wykorzystania neutronów NCBJ buduje stanowisko do napromieniania neutronowego przy kanale poziomym H2. Przygotowywana infrastruktura posłuży do prowadzenia prac badawczych i rozwojowych dzięki zapewnieniu odpowiednich parametrów wiązki. Stanowisko w swoich założeniach przewiduje prowadzenie badań z szerokiego zakresu dziedzin.
Na stanowiskach o odpowiednich parametrach prowadzone są badania radiobiologiczne i dozymetrii biologicznej. Stanowiska te umożliwią przeprowadzanie badań biologicznych i chemicznych do terapii bimodalnych (np. BNCT).
Dozymetrię promieniowania mieszanego realizujemy z wykorzystaniem dozymetrii pasywnej oraz metod rekombinacyjnych.
W badaniach wykorzystujemy również obliczenia wykonane przy użyciu kodów do modelowania numerycznego (MCNP, PHITS, FLUKA, Geant4).

Diagnostyka zapalenia serca

Autor: Magdalena Kostkiewicz

Infekcyjne zapalenie wsierdzia jest zagrażającym życiu schorzeniem, którego rozpoznanie w codziennej praktyce klinicznej często pozostaje dużym wyzwaniem, a od szybkiego postawienia właściwego rozpoznania zależy rokowanie chorego. Rozpoznanie infekcyjnego zapalenia wsierdzia wymaga połączenia danych z obrazu klinicznego, badań mikrobiologicznych oraz wyników badań obrazowych, takich jak badanie echokardiograficzne i badanie radioizotopowe SPECT i PET. Badanie SPECT polega na stwierdzeniu obecności leukocytów znakowanych in vitro radioizotopem (99mTc-HMPAO-WBC) w sercu, oraz w pozasercowych miejscach infekcji jako konsekwencji zarówno zatoru septycznego, jak i pierwotnych procesów infekcyjnych. Główną wartością tego badania jest jego wysoka czułość i specyficzność oraz wykrywanie obwodowych zmian zatorowych (86% i 97%), szczególnie w przypadku obecności wspomagających pracę serca, wszczepionych urządzeń (m innymi stymulatory, sztuczne zastawki). Pozytonowa tomografia emisyjna z zastosowaniem fluorodeoksyglukozy (18F-FDG PET) zapewnia obrazy o wyższej rozdzielczości i czułości. Wychwyt radiofarmaceutyku w PET opiera się na wysokiej ekspresji transporterów glukozy, które aktywnie wprowadzają znacznik do komórek zapalnych. Jeśli badanie PET lub SPECT jest połączone z CT serca (PET/CT,SPECT/CT), wyniki badania czynnościowego wynikające z rozkładu i intensywności wychwytu znacznika są połączone z obrazem anatomiczny opisanym w TK serca, co znacznie podwyższa wartość obu badań.

Badanie F18-FDG PET-CT onkologicznej pacjentki w ciąży – uzasadnienie oraz optymalizacja pod kątem dawek otrzymywanych przez płód.

Autorzy: Agnieszka Kuchcinska[1]; Dorota Kiprian[2]; Wojciech Bulski[2]

[1] *Narodowy Instytut Onkologii Państwowy Instytut Badawczy im. Marii Curie-Skłodowskiej w Warszawie*

[2] *Narodowy Instytut Onkologii - Państwowy Instytut Badawczy im. Marii Curie-Skłodowskiej w Warszawie*

Kontakt: agnieszka.kuchcinska@pib-nio.pl

Wstęp
Badanie PET-CT jest wymagane przy diagnostyce, prowadzeniu terapii oraz follow up pacjentów onkologicznych, w tym w szczególności w przypadku chłoniaków Hdgkina ale również mięsaka Ewinga. W przypadku chłoniaków Hodgkina badanie PET-CT przed chemioterapią pozwala na znaczne ograniczenie obszaru napromieniania – tylko do obszaru pierwotnie zajętego, co bezpośrednio ma wpływ na dawki w tzw. organach krytycznych, co w przypadku tego dobrze rokującego nowotworu ma ogromne znaczenie w kontekście m.in. późnych skutków popromiennych. W przypadku Mięsaka Ewinga ocena skuteczności leczenia jest kluczowa w celu ustalenia ewentualnej kontynuacji i rodzaju terapii.
Materiały metody
Oszacowano dawki dla płodu w przypadku badania F18-FDG PET-CT, dla zoptymalizowanej procedury (potencjalna pacjentka z chłoniakiem Hodgkina) oraz wyznaczono dawkę dla płodu dla przeprowadzonego badani F18-FDG PET-CT (pacjentka, o wysokim BMI, ocena skuteczności po leczeniu mięsaka Ewinga). Obliczenia wykonano dla tomografu Philips Gemini TF oraz zoptymalizowanej, ze względu na opcję TOF (time-of-flight) aktywności F18 wynoszącej 3,7MBq/kg.
Wyniki
Oszacowano dawkę 76mGy dla pacjentki z wysokim BMI (PET-CT wykonane dla 140kV), oraz na poziomie około 25mGy (optymalizowana procedura 120kV). Teoretyczne dodatkowe ryzyko wystąpienia nowotworu dziecięcego dla zoptymalizowanej procedury, mając na uwadze model LNT, wynosi 0,15% natomiast ryzyko całkowite 0,45% (założenie ICRP 0,3% ryzyka naturalnego).
Wnioski
Estymowane wartości dawki dla płodu przy badaniu F18-FDG PET-CT są poniżej 100mGy określonej przez ICRP jako bezpiecznej. Planowana procedura PET-CT może być dodatkowo optymalizowana. Korzyści z wykonania procedury, zarówno dla płodu jak i matki, przewyższają potencjalne ryzyko, co stanowi podstawę dla lekarza klinicysty i pacjentki do rozmów na temat możliwości wykonania badania PET-CT w uzasadnionych przypadkach

OCHRONA RADIOLOGICZNA

Wdrożenie testów kontroli jakości mierników DAP (dose-area-product) w ramach miesięcznych testów podstawowych w związku z nowelizacją prawa atomowego pod kątem analizy dawek pacjentów – dwa lata doświadczeń

Autorzy: Agnieszka Kuchcinska[1]; Jaroslaw Plesniak[2]

[1] *Affidea Onkoterapia Międzynarodowe Centrum Onkoterapii w Koszalinie*

[2] *Affidea Miedzynarodowe Centrum Onkologii w Koszalinie, Polska*

Kontakt: agnieszka.kuchcinska@affidea.com

Wstęp
Nowelizacja prawa atomowego wdrażającego dyrektywę 2013/59/EURATOM wymaga analizy dawek otrzymywanych przez pacjentów w oparciu o tzw. Poziomy referencyjne, które dla aparatów RTG mogą być określone poprzez wartość DAP (dose-area-product) odczytywaną z aparatu rentgenowskiego. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia §9 ust.22 kontrolę fizycznych parametrów urządzeń radiologicznych i urządzeń pomocniczych innych niż określone w za łączniku nr 6 do rozporządzenia przeprowadza się w zakresie oraz z częstotliwością wynikającą z pkt 3) zwalidowanych metod badawczych. Celem niniejszej pracy było opracowanie i walidacja metody kontroli jakości mierników DAP.
Materiały metody
Projektowanie testów miesięcznych DAP, dla aparatu RTG z ramieniem C, rozpoczęto w listopadzie 2019 roku. Procedura została zatwierdzona i zwalidowana po przerwie wywołanej pandemią covid-19. Testy miesięczne DAP wykonywane są rutynowo od 07.2020. Testy wykonywane są jednocześnie z parametrem „powtarzalność ekspozycji" poprzez rejestrowanie wartości ΔDAP=DAPstop-DAPstart gdzie DAPstop jest po ekspozycji natomiast DAPstart przed ekspozycją.
Wyniki
Wyznaczono wartości referencyjne ΔDAP1=585cGy*cm²* *oraz ΔDAP2=66,5cGy*cm² odpowiednio dla 70kV 1.5mA oraz 110kV 5mA. W przeciągu 24 miesięcy (07.2020-06.2022) różnica we wskazaniach ΔDAP w stosunku do wartości odniesienia wachała się w granicach od -3,77% do +2,86% (od -7,08% do +4,29%) z medianą modułu różnicy wynoszącą 0,96% (2,27%) oraz średnią modułu różnicy 1,28% (2,68%) dla ΔDAP1=585cGy*cm²* *(ΔDAP2=66,5cGy*cm²) odpowiednio.
Wnioski
Maksymalna zmierzona różnica stanowiła 1/3 przedziału tolerancji wynoszącego ±20%, co dowodzi, ze zaproponowana metoda jest właściwa w celu wykrywania usterek mierników DAP. Przedstawiona metoda rutynowej kontroli stabilności wskazań miernika DAP jest łatwa do implementacji i powinna być stosowana w celu zagwarantowania, że raportowane dawki związane z ekspozycją pacjentów są wiarygodne.

Ochrona radiologiczna personelu w świetle wyników otrzymanych w Laboratorium Dozymetrii Indywidualnej i Środowiskowej IFJ PAN

Autorzy: Anna Sas-Bieniarz[1]; Ewelina Pyszka[1]; Izabela Milcewicz-Mika[1]

[1] *Instytut Fizyki Jądrowej PAN Kraków*

Kontakt: ewelina.pyszka@ifj.edu.pl

Powszechność stosowania promieniowania jonizującego w medycynie, głównie w celach diagnostyki oraz leczenia pacjenta, wiąże się z prowadzeniem ciągłego monitoringu narażenia zawodowego personelu uczestniczącego w procedurach medycznych ze względu na szkodliwość promieniowania dla zdrowia człowieka.
W Laboratorium Dozymetrii Indywidualnej i Środowiskowej IFJ PAN prowadzone są pomiary dawek promieniowania jonizującego dla osób narażonych zawodowo przy pomocy nowoczesnych dawkomierzy TLD. LADIS wykonuje pomiary indywidualnego równoważnika dawki na całe ciało Hp(10), indywidualnego równoważnika dawki na dłonie Hp(0,07) oraz soczewki oczu Hp(3). Rocznie laboratorium wykonuje pomiary dla ponad 11 000 instytucji z całego kraju.
W przypadku dozymetrii całego ciała wykorzystywane są dawkomierze typu DI-02 pozwalające wyznaczyć indywidualny równoważnik dawki Hp(10) na głębokości d=10 mm, dawkomierze typu
PI-01 używane do wyznaczania indywidualnego równoważnika dawki na powierzchnię skóry Hp(0,07) d=0,07mm oraz dawkomierze typu OD-12 mierzące indywidualny równoważnik dawki na soczewkę oka Hp(3) d=3mm. Laboratorium LADIS stosuje w tym celu termoluminescencyjne detektory (TL) typu MTS-N (LiF: Mg, Ti) oraz MCP-N (LiF:Mg,Cu,P)
W pracy przedstawione zostaną wyniki pomiarów indywidualnego równoważnika dawki na całe ciało Hp(10), dłonie Hp(0,07) i soczewkę oka Hp(3) przeprowadzone przez laboratorium LADIS
w latach 2014-2020 w wybranych placówkach medycznych. Pomiary dla których zostaną przedstawione dane dokonywane były w systemie kwartalnym.
Rzetelna kontrola dawek pracowników pozwala nadzorować poziom narażenia zawodowego,
a tym samym prawidłowość stosowania procedur dotyczących ochrony radiologicznej personelu. Zdarzają się jednak sporadyczne przekroczenia dopuszczalnych limitów dawek – co potwierdza zasadność stosowania kontroli dozymetrycznej.

Wyznaczenie rekombinacyjnego wskaźnika jakości promieniowania mieszanego wokół liniowego akceleratora medycznego podczas realizacji planów radioterapeutycznych.

Autorzy: Piotr Tulik[1]; Monika Tulik[2]; Maciej Maciak[1]

[1] *Politechnika Warszawska, Wydział Mechatroniki, Instytut Metrologii i Inżynierii Biomedycznej*

[2] *Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie - Państwowy Instytut Badawczy Oddział w Krakowie*

Kontakt: piotr.tulik@pw.edu.pl

Pojęcie jakości promieniowania jest ściśle związane z efektami oddziaływania promieniowania jonizującego w tkance, a tym samym ze względną skutecznością biologiczną. Współczynnik jakości można zmierzyć eksperymentalnie za pomocą metod i detektorów rekombinacyjnych. W dotychczasowych pracach wykazano, że rekombinacyjny wskaźnik jakości promieniowania (Q₄) dobrze odwzorowuje funkcję Q(L), zdefiniowaną w kolejnych Raportach ICRP.
Specyficzne cechy detektorów rekombinacyjnych pozwalają na ich wykorzystanie w dozymetrii pól promieniowania mieszanego, m.in. generowanych przez wysokoenergetyczne wiązki impulsowe (np. podczas realizacji procedur radioterapeutycznych). Szczegółowa charakterystyka pól promieniowania (m.in. poprzez eksperymentalne wyznaczenie współczynnika jakości) w przypadku tych procedur ma znaczenie z punktu widzenia ochrony radiologicznej pacjenta, personelu medycznego oraz w niektórych przypadkach także osób z ogółu ludności.
Celem pracy było wyznaczenie wartości Q₄ podczas realizacji procedur radioterapeutycznych w otoczeniu medycznego akceleratora liniowego.
Pomiary przeprowadzono w Narodowym Instytucie Onkologii – Państwowym Instytucie Badawczym Oddział w Krakowie przy użyciu akceleratora Clinac 2300 C/D (Varian) podczas realizacji planów radioterapeutycznych dla przypadku nowotworu prostaty.
W ramach realizacji prac eksperymentalnych przygotowano siedem planów radioterapeutycznych w trzech różnych technikach (3D-CRT, IMRT, VMAT) dla wiązek fotonowych o efektywnych potencjałach przyspieszających: 6 MV i 18 MV. Pomiary wykonano z użyciem antropomorficznego fantomu RANDO oraz komory rekombinacyjnej typu REM-2. Detektor znajdował się na stole terapeutycznym w odległości 100 cm od osi wiązki na wysokości izocentrum.
W ramach dyskusji wyników zostaną przedstawione i omówione wyznaczone wartości Q₄ (również (Q₄)_n dla fotoneutronów) w kontekście wpływu wyboru techniki napromieniania oraz efektywnych potencjałów przyśpieszających wiązek fotonowych na generowane pole promieniowania mieszanego, w szczególności na współczynnik jakości.

Klasyfikacja odpadów promieniotwórczych powstałych w trakcie napromieniania wiązką protonową elementów cyklotronu stosowanego do produkcji radiofarmaceutyków

Autorzy: Teresa Jakubowska[1]; Michał Biegała[2]; Magdalena Długosz-Lisiecka[3]; Anna Stępińska[4]

[1] *Wojewódzkie Wielospecjalistyczne Centrum Onkologii i Traumatologii im. M. Kopernika w Łodzi, Zakład Fizyki Medycznej; Politechnika Łódzka,, Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej; Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Zakład Medycznych Technik Obrazowania*

[2] *1. Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Wydział Lekarski, Zakład Medycznych Technik Obrazowania; 2.Wojewódzkie Wielospecjalistyczne Centrum Onkologii i Traumatologii im. M. Kopernika w Łodzi, Zakład Fizyki Medycznej*

[3] *Politechnika Łódzka, Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej*

[4] *Wojewódzkie Wielospecjalistyczne Centrum Onkologii i Traumatologii im. M. Kopernika w Łodzi, Zakład Fizyki Medycznej*

Wstęp
Celem tej pracy jest przedstawienie metody kwalifikacji odpadów promieniotwórczych powstałych w pracowni cyklotronowej wykorzystywanej do produkcji radiofarmaceutyków.
Metodyka
W pracy przedstawiono metodę kwalifikacji następujących elementów cyklotronu: 9 folii ze stopu Havar'a stanowiących okienka wejściowe targetów do wytwarzania F-18 i C-11, miedzianej siatki wspierającej folie w celu zwiększenia wytrzymałości okienka na wysokie ciśnienia wewnątrz targetu.
Pierwszym etapem klasyfikacji było przebadanie spektrometrem promieniowania gamma (detektor HGE, firmy Canberra) podzespołów wymienionych w czasie prac serwisowych w celu identyfikacji izotopowej. Na podstawie otrzymanych widm spektrometrycznych określono aktywność poszczególnych izotopów w badanych próbkach a także ich stężenie promieniotwórcze.
Wyniki
Zidentyfikowano następujące izotopy: Mn-54, Co-56 i Co-60 aktywowane w okienkach Havar'a, Cd-109 aktywowany w srebrnym korpusie targetu oraz Zn-65 aktywowany w miedzianej siatce podtrzymującej okienko targetu. Maksymalna aktywność Mn-54 wynosiła 319 Bq, Co-56 – 259 Bq zaś Co-60 – 4 Bq.
Izotop Zn-65 wykryty jako zanieczyszczenie na folii Havara powstaje w procesie aktywacji miedzi w siatce w reakcji Cu nat (p,*) 65 Zn. Pomiar spektrometrem germanowym siatki miedzianej był niemożliwy ze względu na jej bardzo dużą aktywność co powodowało blokowanie sondy oraz ryzyko jej uszkodzenia. Aktywność izotopu Zn-65 w siatce miedzianej wyliczona teoretycznie na moment zakończenia napromieniania wynosiła 587,5 kBq, a po trzech latach przechowywania wynosiła 257963 Bq.
Wnioski
Okienka targetów zostały zakwalifikowane jako średnio i niskoaktywne odpady krótkożyciowe które ze względu na obecność Co-60 nie są odpadami przejściowymi. Siatka miedziana została zakwalifikowana jako odpad krótkożyciowy średnioaktywny i również nie jest to odpad przejściowy.

Sygnał zerowy szkła z wyświetlaczy telefonów komórkowych a możliwość odczytu dawki w sytuacji awaryjnej

Autorzy: Julia Łepkowska[1]; Aleksandra Jung[1]

[1] *Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH, Katedra Fizyki Medycznej i Biofizyki, Kraków*

Kontakt: jullep@agh.edu.pl

Problemem spotykanym podczas analizy próbek szkła pochodzących z wyświetlaczy telefonów dotykowych w dozymetrii retrospektywnej jest obecność wysokiego sygnału zerowego (ang. initial signal), czyli pewnego naturalnego, początkowego sygnału termoluminescencji. Celem przeprowadzonych badań była symulacja sytuacji awaryjnej i ocena możliwości uzyskania informacji o dawce pochłoniętej w przypadku napromieniowania szkła z telefonu iPhone 6 bez uprzedniego usunięcia sygnału zerowego.

Z bocznej części wyświetlacza telefonu iPhone 6 pobrano 48 próbek. Odczyty prowadzono w trybie READER (odczyt trójstopniowy: 50℃/3 s, 400℃/10 s i 400℃/10 s) i w trybie ANALYSER (prędkość wygrzewania: 2℃/s; maksymalna temperatura wygrzewania: 400℃). Sygnał zerowy odczytano dla połowy przygotowanych szkieł. Następnie wszystkie próbki naświetlano w zakresie dawek od kilkudziesięciu do kilkuset mGy.

Oceniając uzyskane wyniki, porównano różnicę pomiędzy medianą sygnału pochodzącego od szkieł naświetlonych bez uprzedniego usunięcia sygnału zerowego (S0+SD) a medianą sygnału zerowego (S0) z medianą sygnału pochodzącego wyłącznie od dawki (SD). Im wyższa dawka, tym różnica między medianami (S0+SD) a (S0) była bardziej zbliżona do mediany (SD). W trybie READER zaobserwowano kilkakrotnie większe niepewności pomiarów niż w trybie ANALYSER. W ciągłym trybie wygrzewania możliwe było wykrycie dawki powyżej 180 mGy bez uprzedniego usunięcia sygnału zerowego.

Pomimo że odczyty są obarczone dużym rozrzutem w poszczególnych grupach, to wyniki wskazują na możliwość oszacowania dawki pochłoniętej bez uprzedniego odczytu sygnału zerowego dla szkła z telefonu iPhone 6.

Ochrona radiologiczna dla energetyki jądrowej – strategia badań i rozwoju

Autorzy: Kukołowicz Paweł[1]; Paweł Olko[2]

[1] *Narodowy Instytut Onkologii*

[2] *Instytut Fizyki Jadrowej PAN*

Program Polskiej Energetyki Jądrowej przewiduje uruchomienie sześciu reaktorów energetycznych o mocy do 1500 GW. Mimo, że technologia elektrowni jądrowej (EJ) zostanie zakupiona za granicą, budowie takiej winny towarzyszyć działania, które umożliwią niezależną kontrolę projektu na każdym jego etapie, szczególnie w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej (OR). Szczególnie potrzebne jest rozbudowanie kompetencji polskich ośrodków badawczych.
Badania naukowe w Polsce w obszarze OR są prowadzone w dość ograniczonym zakresie, co wyraża się np. niewielkim odsetkiem polskich zespołów w projektach programu EURATOM czy Horyzont 2020. Potrzebna jest szersza obecność polskich badaczy w europejskich platformach badawczych ochrony radiologicznej (MELODI, EURADOS, EURAMED, NERIS, ALLIANCE, SHARE). 1 czerwca 2022 roku rozpoczął się projekt PIANOFORTE, którego celem jest generowanie w latach 2023-2025 kilkunastu dedykowanych projektów z zakresu OR. Ważna jest konsolidacja i wspieranie środowiska OR w Polsce tak, aby jak najwięcej polskich zespołów mogło uczestniczyć w tych projektach. Sam program studiów magisterskich nie jest w stanie zapewnić wysokiej klasy specjalistów, rozpoznawalnych na arenie międzynarodowej. Potrzebny jest wieloletni, dedykowany ogólnopolski program szkoły doktorskiej z atrakcyjnymi stypendiami a następnie stypendiami postdoktorskimi. Polskie instytuty i uczelnie są wyposażone w nowoczesny sprzęt, jednak ze względu na szczupłość zasobów ludzkich i aparaturowych nie są w stanie samodzielnie prowadzić pomiarów wielkoskalowych. Wymaga to konsolidacji na poziomie ogólnopolskim. Główną rolę w przygotowaniu bazy naukowej powinny tu odegrać dedykowane konsorcja oraz towarzystwa naukowe. Uznane międzynarodowo kompetencje polskich zespołów zwiększą również zaufanie społeczne do procesu budowy i użytkowania EJ. Nauka powinna stać się ważnym składnikiem Programu Polskiej Energetyki Jądrowej.

Charakterystyka detektorów typu MCP-N standardowych i regenerowanych

Autorzy: Patrycja Gordon[1]; Aleksandra Jung[2]

[1] *NIO-PIB Kraków*

[2] *AGH University of Science and Technology*

Kontakt: patrycja.m.gordon@gmail.com

Celem pracy było porównanie własności standardowych (SD) i regenerowanych (RD) detektorów termoluminescencyjnych typu MCP–N w zakresie dawek 1 mGy-2Gy. Porównano homogeniczność, czułość, powtarzalność odczytów i indywidualnego współczynnika czułości (IRF), liniowość charakterystyki dawkowej oraz zanik sygnału w czasie dla 17 SD i 18 RD. Odczyty przeprowadzono w standardowych warunkach, stosując dwa tryby grzania: trójstopniowy Reader (150℃/10s, 245℃/15s i 245℃/10s) oraz ciągły Analyzer (2℃/s, do 245℃). Detektory każdorazowo były anilowane przed ekspozycją (240℃/10 minut) i przed odczytem (100℃/10 minut).
Homogeniczność detektorów SD była poniżej 13%, a RD poniżej 17%. RD cechowała niższa czułość w porównaniu do SD (17% w trybie Reader i 13% w trybie Analyzer). W obu przypadkach czułość zmniejszała się z każdym kolejnym cyklem pomiarowym. RD cechowała lepsza powtarzalność odczytów w trybie Reader, a SD w trybie Analyzer. W zależności od liczby serii i dawki promieniowania jonizującego, powtarzalność odczytów była w zakresie 89-99%, a dla IRF na poziomie 99%. Różnice te wynikają ze spadku czułości obu typów detektorów, która to wielkość nie ma wpływu na wyznaczenie IRF dla każdej serii osobno. SD i RD charakteryzowała liniowa odpowiedź na dawkę, ze średnio niższym o 24% współczynnikiem nachylenia prostej dla RD. Zanik sygnału w stosunku do wartości referencyjnych nie różnił się istotnie dla SD i RD, w trybie Analyzer był na poziomie kilku procent. Wytwarzanie RD może stanowić alternatywny sposób produkcji, pozwalający na oszczędną gospodarkę zasobami surowcowymi. Mniejsza czułość RD nie wpływa na końcowy rezultat pomiaru, ponieważ wyniki są powtarzalne, konieczne jest tylko stosowanie odrębnej kalibracji niż dla SD.

Charakterystyka detektorów typu MCP-N standardowych i regenerowanych

Autorzy: Patrycja Gordon[1]; Katarzyna Matusiak[2]; Barbara Obryk[3]; Mariusz Kłosowski[3]; Aleksandra Jung[2]

[1] *Centrum Onkologii – Instytut im. Marii Skłodowskiej-Curie, Kraków; Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH, Katedra Fizyki Medycznej i Biofizyki, Kraków*

[2] *Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH, Katedra Fizyki Medycznej i Biofizyki, Kraków*

[3] *Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego PAN, Kraków*

Celem pracy było porównanie własności standardowych (SD) i regenerowanych (RD) detektorów termoluminescencyjnych typu MCP–N w zakresie dawek 1 mGy-2Gy.

Porównano homogeniczność, czułość, powtarzalność odczytów i indywidualnego współczynnika czułości (IRF), liniowość charakterystyki dawkowej oraz zanik sygnału w czasie dla 17 SD i 18 RD. Odczyty przeprowadzono w standardowych warunkach, stosując dwa tryby grzania: trójstopniowy Reader (150℃/10s, 245℃/15s i 245℃/10s) oraz ciągły Analyzer (2℃/s, do 245℃). Detektory każdorazowo były anilowane przed ekspozycją (240℃/10 minut) i przed odczytem (100℃/10 minut).

Homogeniczność detektorów SD była poniżej 13%, a RD poniżej 17%. RD cechowała niższa czułość w porównaniu do SD (17% w trybie Reader i 13% w trybie Analyzer). W obu przypadkach czułość zmniejszała się z każdym kolejnym cyklem pomiarowym. RD cechowała lepsza powtarzalność odczytów w trybie Reader, a SD w trybie Analyzer. W zależności od liczby serii i dawki promieniowania jonizującego, powtarzalność odczytów była w zakresie 89-99%, a dla IRF na poziomie 99%. Różnice te wynikają ze spadku czułości obu typów detektorów, która to wielkość nie ma wpływu na wyznaczenie IRF dla każdej serii osobno. SD i RD charakteryzowała liniowa odpowiedź na dawkę, ze średnio niższym o 24% współczynnikiem nachylenia prostej dla RD. Zanik sygnału w stosunku do wartości referencyjnych nie różnił się istotnie dla SD i RD, w trybie Analyzer był na poziomie kilku procent.

Wytwarzanie RD może stanowić alternatywny sposób produkcji, pozwalający na oszczędną gospodarkę zasobami surowcowymi. Mniejsza czułość RD nie wpływa na końcowy rezultat pomiaru, ponieważ wyniki są powtarzalne, konieczne jest tylko stosowanie odrębnej kalibracji niż dla SD.

Ocena narażenia na promieniowanie jonizujące pracowników wykonujących procedury z zakresu medycyny nuklearnej w ujęciu optymalizacji ochrony radiologicznej personelu

Autor: Małgorzata Wrzesień[1]

[1] *Uniwersytet Łódzki, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej*

Kontakt: malgorzata.wrzesien@fis.uni.lodz.pl

Medycyna nuklearna zajmuje się zastosowaniem otwartych źródeł promieniowania w formie związków znakowanych izotopami promieniotwórczymi, zwanych radiofarmaceutykami w celach diagnostyki i terapii medycznej. Definicja medycyny nuklearnej wskazuje na pracę bezpośrednio z otwartymi źródłami promieniowania, co w konsekwencji może powodować ekspozycję pracowników na promieniowanie jonizujące, a źródło narażenia personelu w zakładach medycyny nuklearnej stanowi promieniowanie emitowane przez stosowane izotopy.

Czynnikami powodującymi ryzyko napromieniowania personelu jest proces znakowania. W ogólnym przypadku znakowaniem związków chemicznych w celu uzyskania radiofarmaceutyków zajmują się pracownicy zakładów medycyny nuklearnej. Rosnąca z roku na rok liczba pacjentów poddawanych badaniom diagnostycznym, szeroki wachlarz radionuklidów stosowanych w zakładach medycyny nuklearnej oraz niejednokrotnie wysokie aktywności stosowanych radionuklidów do tego zmiany legislacyjne obejmujące redukcję dawki granicznej na soczewkę oka, powodują wzrost zainteresowania zagadnieniami ochrony radiologicznej pracowników realizujących procedury z użyciem radionuklidów w medycynie nuklearnej.

Referat poświęcony będzie ocenie narażenia personelu dokonanej na drodze pomiarów dozymetrycznych obejmujących m.in. ręce, soczewki oczu oraz tarczycę. Pomiary służące realizacji celu badań, zostały przeprowadzone na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat uwzględniając personel zakładów medycyny nuklearnej, palcówek diagnostycznych dysponujących skanerem PET/CT oraz placówek produkujących radiofarmaceutyki uzyskane w skutek znakowania radionuklidami krótkożyciowymi w szczególności radionuklidem 18F. W przypadku narażenia personelu placówek produkujących radiofarmaceutyk fluorodeoksyglukozę (18F-FDG) uwzględniono m.in. system pracy placówki, strukturę zatrudnienia czy identyfikację procedur realizowanych w placówce w tym wskazanie najbardziej radiologicznie obciążającej pracownika procedury. W badaniach uwzględnione zostały radionuklidy najczęściej stosowane w medycynie nuklearnej, zarówno w sferze diagnostyki jak i terapii (99mTc, 18F, 131I), ale również i te które dopiero w ostatnich latach budzą zainteresowanie diagnostów, jak 68Ga.

Zwiększenie świadomości personelu poprzez realizację kampanii „Radiologiczne badania obrazowe a ciąża"

Autorzy: Agnieszka Kuchcinska[1]; Alessandro Roncacci[2]; Chryssa Paraskevopoulou[2]; Jaroslaw Plesniak[3]; Lidia Spocinska[4]; Nasia Papachristodoulou[5]

[1] *Affidea Onkoterapia Międzynarodowe Centrum Onkoterapii w Koszalinie*

[2] *Affidea BV*

[3] *Affidea Miedzynarodowe Centrum Onkologii w Koszalinie, Polska*

[4] *Affidea Polska*

[5] *Affidea Hungary*

Kontakt: agnieszka.kuchcinska@affidea.com

Wstęp
Wykonywanie badań radiologicznych kobietom w ciąży budzi wiele wątpliwości zarówno wśród personelu medycznego, administracyjnego (odpowiedzialnego za rejestrację badań) jak również wśród samych pacjentów i ich rodzin. Istniejące w tym zakresie wymogi prawne i wytyczne międzynarodowe, często bywają źle interpretowane co może doprowadzić do braku wykonania procedur medycznych ważnych z punktu widzenia zdrowia pacjentki. Celem niniejszej pracy było usystematyzowanie wiedzy w niniejszym zakresie a następnie sprawdzenie poziomu świadomości personelu.
Materiały i metody
Przygotowano materiały edukacyjne: prezentację PPTX zawierającą informacje dotyczące aspektów prawnych, klinicznych oraz praktycznych tj. estymowane dawki dla płodu od poszczególnych procedur radiologicznych, jak również wskazano metody optymalizacji procedur. Dodatkowo przygotowano plakat informacyjny dla pacjentów udostępniony na korytarzu przy pracowni TK w widocznym, który stanowił uzupełnienie i uszczegółowienie plakatu przygotowanego przez IAEA dotychczas dostępnych w pracowni. Materiały zostały rozdystrybuowane personelowi oraz Ekspert Fizyki Medycznej i Ochrony Radiologicznej dostępny był na miejscu celem konsultacji. Po dwóch tygodniach wykonano badanie ankietowe, test zawierający 5 pytań merytorycznych, sprawdzające poziom świadomości personelu.
Wyniki
Zidentyfikowano w sumie 38 osób personelu w tym 8 administracyjnego (m.in. rejestratorki, psycholog), oraz 30 pracujących w narażeniu na promieniowanie jonizujące: 7 fizyków, 10 techników (w tym jedna nowozatrudniona w terminie późniejszym), 4 pielęgniarki, 9 lekarzy. Oceniono kampanię edukacyjną poprzez % personelu zapoznanego z materiałami oraz % personelu poprawnie odpowiadającego na pytania zawarte w ankiecie, oba wskaźniki wynosiły 96,7% (29 osób na 30).
Wnioski
Kampania edukacyjna została bardzo pozytywnie przyjęta i oceniona przez personel jak również przyczyniła się znacznego wzrostu świadomości personelu i usystematyzowania podejścia do pacjentki w ciąży.

Analiza dawek i wyznaczenie poziomów referencyjnych oraz alertów dawek dla procedury weryfikacji, przy zastosowaniu aparatu z ramieniem C, położenia aplikatora walcowego podczas drugiej i trzeciej frakcji brachyterapii ginekologicznej – dwa lata doświadczeń.

Autorzy: Agnieszka Kuchcinska[1]; Jaroslaw Plesniak[2]

[1] *Affidea Onkoterapia Międzynarodowe Centrum Onkoterapii w Koszalinie*

[2] *Affidea Miedzynarodowe Centrum Onkologii w Koszalinie, Polska*

Kontakt: agnieszka.kuchcinska@affidea.com

Wstęp
Nowelizacja prawa atomowego zawiera zapisy w Art. 33b. „Osoby poddawane ekspozycji medycznej podlegają ochronie radiologicznej, która obejmuje w szczególności uzasadnienie ekspozycji medycznej, o którym mowa w art. 33c, i optymalizację, o której mowa w art. 33d." . Jednocześnie art. 56(1) wdrażanej dyrektywy 2013/59/EURATOM stanowi, że Państwa członkowskie zapewniają utrzymywanie wszystkich dawek wynikających z narażenia medycznego do celów radiodiagnostyki i radiologii zabiegowej, planowania, prowadzenia i weryfikacji na jak najniższym, racjonalnie osiągalnym poziomie, umożliwiającym uzyskanie wymaganej informacji medycznej.
W trakcie brachyterapii ginekologicznej z aplikatorem walcowym, prawidłowa pozycja podczas drugiej i trzeciej frakcji jest sprawdzana przy obrazowaniu RTG z ramieniem C. Celem pracy było ustanowienie lokalnych poziomów referencyjnych (LDRL) oraz tzw. alertów dawki dla tego typu procedury.
Materiały metody
Zebrano do analizy wszystkie wartości DAP w latach 2020, 2021 (80, 81 procedur), które porównywano z wartościami odniesienia wyznaczonymi w 2019 (12 procedur).
Wyniki
Analiza statystyczna dawek 2020(2021) wykazała: wartość maksymalna 73,93cGy*cm²(52.23 cGy*cm²); 75percentyl 15,51cGy*cm²(11,18cGy*cm²); odchylenie standardowe 11,57cGy*cm²(8,42cGy*cm²); wartość średnia 12,27cGy*cm²(8,59cGy*cm²), mediana 9,26cGy*cm²(6,06cGy*cm²), średnia i mediana nie przekroczyły 14,42cGy*cm² (75percentyl rozkładu 2019). LDRL wynosi 15,51cGy*cm² (75percentyl wszystkich danych z 2020), ustalono alert dawki 1000cGy*cm² (ponad 10-krotność wartości maksymalnej, 100 krotność mediany).
Wnioski
Analiza dawek otrzymywanych przez pacjentki podczas weryfikacji położenia aplikatora walcowego przy kolejnych frakcjach brachyterapii ginekologicznej jest możliwa do wykonania przy zastosowaniu podobnych metodach oceny jak dla innych procedur radiologii interwencyjnej. Poziom mierzonych dawek jest wielokrotnie niższy niż otrzymywanych we frakcji ginekologicznej, jednakże zarządzanie dawkami od obrazowania dla celów prowadzenia i weryfikacji terapii jest istotne z punktu widzenia legislacyjnego oraz zasady ALARA.

PROMIENIOWANIE NIEJONIZUJĄCE

Korelacja pomiędzy izotermami i izodozami u pacjentek po oszczędzającej operacji piersi w radioterapii

Autorzy: Dominika Plaza[1]; Agnieszka Baic[2]; Barbara Lange[3]; Agata Stanek[4]; Łukasz Michalecki[5]; Krzysztof Ślosarek [6]; Armand Cholewka[7]

[1] *Radiotherapy Planning Department, Maria Skłodowska—Curie National Research Institute of Oncology Gliwice Branch, Wybrzeze Armii Krajowej Street 15, 44-102 Gliwice, Poland*

[2] *Katowickie Centrum Onkologii*

[3] *III Klinika Radioterapii i Chemioterapii, Narodowy Instytut Onkologii im. M. Skłodowskiej-Curie Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Gliwicach,*

[4] *Katedra i Klinika Chorób Wewnętrznych, Angiologii i Medycyny Fizykalnej w Bytomiu, Śląski Uniwersytet Medyczny,*

[5] *Zakład Radioterapii, Uniwersyteckie Centrum Kliniczne Śląskiego Uniwersytetu Medycznego im. prof. Kornela Gibińskiego w Katowicach*

[6] *Narodowy Instytut Onkologii - Oddział w Gliwicach*

[7] *Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, Uniwersytet Śląski, 75 Pułku Piechoty 1A, 41-500 Chorzów, Polska*

Kontakt: dominikaplaza1@gmail.com

Cel pracy
Celem pracy była ocena przydatności metody termografii w podczerwieni w ocenie reakcji termicznej organizmu podczas radioterapii. Badania wykazały, jak rozkład temperatury zmienia się wraz z dawką promieniowania stosowanego w każdym tygodniu leczenia

Metodyka
W badaniu wzięło udział 54 pacjentów. Grupę kontrolną stanowiły pacjentki zdrowe, wśród których sprawdzono różnicę średnich temperatur między piersiami. Grupę badaną stanowili pacjenci po zabiegach oszczędzających zakwalifikowanych do radioterapii. Pomiary były wykonywane i analizowane dla każdego pacjenta podczas każdego tygodnia leczenia. Obszar targetu (wyznaczony przez lekarza) oraz izodozy 30 Gy, 20 Gy i 10 Gy (wygenerowane z planu leczenia) były przenoszone na termogramy, a następnie analizowane. Ten sposób definiowania obserwowanych obszarów jest najdokładniejszy i indywidualnie dostosowany do każdego leczonego pacjenta.

Wyniki
Analiza wykazała wzrost temperatury w monitorowanych obszarach, przy czym znamiennie statystycznie najwyższą średnią wartość temperatury osiągnięto w trzecim tygodniu leczenia.

Wnioski
Uzyskane w trakcie badań wyniki potwierdzają przydatność metody termografii w podczerwieni w ocenie odpowiedzi termicznej pacjenta na dawkę otrzymaną w radioterapii. Obserwacje mogą być wykorzystane do oceny reakcji skórnej na promieniowanie oraz obiektywnej ocenie i kwalifikacji odczynu popromiennego, wymagają jednak przeprowadzenia dalszych badań.

Słowa kluczowe: termowizja; radioterapia; izodozy; izotermy

ZASTOSOWANIE TERMOWIZJI W OCENIE EFEKTÓW TERMICZNYCH RADIOTERAPII U KOBIET PO MASTEKTOMII

Autorzy: Agnieszka Baic[1]; Dominika Plaza[2]; Barbara Lange[3]; Agata Stanek[4]; Łukasz Michalecki[5]; Krzysztof Ślosarek [6]; Armand Cholewka[7]

[1] *Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych Uniwersytetu Śląskiego*

[2] *Radiotherapy Planning Department, Maria Skłodowska—Curie National Research Institute of Oncology Gliwice Branch, Wybrzeze Armii Krajowej Street 15, 44-102 Gliwice, Poland*

[3] *III Klinika Radioterapii i Chemioterapii, Narodowy Instytut Onkologii im. M. Skłodowskiej-Curie Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Gliwicach,*

[4] *Katedra i Klinika Chorób Wewnętrznych, Angiologii i Medycyny Fizykalnej w Bytomiu, Śląski Uniwersytet Medyczny,*

[5] *Zakład Radioterapii, Uniwersyteckie Centrum Kliniczne Śląskiego Uniwersytetu Medycznego im. prof. Kornela Gibińskiego w Katowicach*

[6] *Narodowy Instytut Onkologii - Oddział w Gliwicach*

[7] *Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, Uniwersytet Śląski,*

Kontakt: agnieszkabaic@onet.pl

Głównym celem prowadzonych badań było wykorzystanie termowizji do analizy czasowych zmian temperatury klatki piersiowej u pacjentek, które wcześniej poddane były radioterapii oraz próba pokazania przydatności metody obrazowania termicznego w ocenie temperaturowych efektów radioterapii raka piersi. W pierwszym etapie pomiary za pomocą kamery termowizyjnej przeprowadzono na grupie 12 ochotniczek. Pierwsza grupa składała się z 6 zdrowych kobiet, bez historii onkologicznych, natomiast drugą grupę stanowiły pacjentki ze zdiagnozowanym nowotworem piersi po mastektomii, zakwalifikowane do radioterapii. Badania termograficzne wykonano przed leczeniem, dwa miesiące i sześć miesięcy po zakończeniu terapii. Następnie rozszerzono czas obserwacji pacjentek po radioterapii i zwiększono grupę badawczą do 24 kobiet. Grupa pacjentek składała się z 12 ochotniczek, które przeszły mastektomię piersi i zostały zakwalifikowane do radioterapii. Drugą grupę stanowiło 12 zdrowych kobiet. Badania przeprowadzono przed rozpoczęciem leczenia oraz dwa miesiące, sześć miesięcy, dziewięć miesięcy i rok po zakończeniu radioterapii. W pracy przeprowadzono analizę ilościową i jakościową uzyskanych obrazów termicznych. Oceniano przede wszystkim różnice temperatur pomiędzy zdrową piersią, a poddaną leczeniu. Badania wykazały, że średnie wartości temperatury obszarów badanych (obszar piersi leczonej oraz symetryczny obszar nieleczony) zmieniały się w zależności od czasu, jaki upłynął od zakończenia leczenia. Ponadto, najwyższy wzrost zanotowano 6 miesięcy po radioterapii. Dla grupy zdrowych pacjentek nie zaobserwowano istotnych różnic w średnich temperaturach pomiędzy piersiami.

Zastosowanie termowizji może okazać się skutecznym narzędziem do oceny zmian map temperaturowych w funkcji czasu co potwierdziły przeprowadzone w ramach projektu badania.

Właściwości antyoksydacyjne wybranych witamin – badania metodą EPR

Autorzy: Zuzanna Didjurgeit[1]; Adrianna Kędziora[1]; Bernadeta Dobosz[1]

[1] *Zakład Fizyki Medycznej i Radiospektroskopii, Wydział Fizyki UAM w Poznaniu*

Kontakt: zuzdid@st.amu.edu.pl, adrked2@st.amu.edu.pl

Wolne rodniki związane są ze stanami zapalnymi i są przyczyną wielu schorzeń. Odpowiadają m.in. za uszkodzenie naczyń krwionośnych, co prowadzi do miażdżycy, a także za przedwczesne procesy starzenia się. Wolne rodniki mogą doprowadzić również do powstania nowotworów skóry.

Istnieje szereg substancji znanych ze swoich właściwości antyoksydacyjnych, do których zaliczane są witaminy. Za najskuteczniejszą w niwelowaniu rodników uważana jest witamina C. Można również znaleźć informacje o pozytywnym wpływie witaminy D czy B3 (niacyny).

Jedyną bezpośrednią metodą umożliwiającą badanie wolnych rodników jest elektronowy rezonans paramagnetyczny (EPR). Stosując tę metodę oraz wzorcowe wolne rodniki można sprawdzić właściwości antyoksydacyjne i skuteczność neutralizowania tych rodników przez różne związki.

Celem pracy jest sprawdzenie właściwości antyoksydacyjnych witamin B3, C i D za pomocą metody EPR. Badania wykonano za pomocą spektrometru EPR firmy Bruker, pracującego w paśmie X (częstotliwość 9 GHz) z wykorzystaniem wzorcowego rodnika, stosowanego powszechnie w badaniach próbek aktywnych biologicznie. Badania pokazały, która z witamin jest najskuteczniejszym związkiem neutralizujących wolne rodniki.

Wpływ komory normobarycznej na parametry fali pulsu wysokiej rozdzielczości sygnałowej (HSR-PW)

Autorzy: Martyna Derkowska[1]; Zuzanna Didjurgeit[1]; Aleksandra Dudkiewicz[1]; Adrianna Kędziora[1]; Beata Kucharska[1]; Iga Sienkiewicz[1]; Grażyna Mrozińska[2]; Bernadeta Dobosz[1]; Ryszard Krzymieniewski[1]

[1] *Zakład Fizyki Medycznej i Radiospektroskopii, Wydział Fizyki UAM w Poznaniu*

[2] *Instytut Zdrowia SOFRA, Mielno-Unieście*

Kontakt: marder4@st.amu.edu.pl, beakuc1@st.amu.edu.pl, igasie1@st.amu.edu.pl, ola_dudkiewicz@wp.pl

Tlenoterapia jest jedną z metod leczenia. Zalecana jest między innymi w przypadku stanów zapalnych i chorób związanych z układem krążenia. Jest również rekomendowana osobom po przebyciu COVID.
Tlenoterapię przeprowadza się w komorze normobarycznej, którą charakteryzuje podwyższone ciśnienie (~1500 hPa) w stosunku do ciśnienia atmosferycznego. Dodatkowo odpowiednia zawartość tlenu, dwutlenku węgla oraz wodoru cząsteczkowego mają zapewnić lepsze przyswajanie tlenu przez komórki i tym samym większe dotlenienie organizmu.
Urządzeniem, które umożliwia badanie wysycenia krwi tlenem jest pulsoksymetr. Metoda opracowana przez prof. dr hab. Ryszarda Krzyminiewskiego, pulsoksymetria wysokiej rozdzielczości sygnałowej (HSR-PW), umożliwia dodatkowo dokładne przeanalizowanie fali pulsu, która daje informacje o stanie układu krążenia.
Celem badań jest sprawdzenie wpływu pobytu w komorze normobarycznej na falę pulsu wysokiej rozdzielczości sygnałowej. W badaniach wzięło dotychczas udział 30 osób. U każdej z nich wykonano badanie kontrolne przed wejściem do komory oraz dwa badania podczas pobytu w komorze. Dokonano analizy zmiany wysycenia krwi tlenem oraz parametrów HSR-PW. Stwierdzono pozytywny wpływ komory normobarycznej na układ krążenia.

Mikrokalorymetryczne badania efektu ekspozycji in vitro surowicy krwi ludzkiej na promieniowanie jonizujące

Autor: Agnieszka Kiełboń[1]

Współautorzy: Anna Michnik [1]; Kinga Polaczek-Grelik [2]; Ewa Sadowska-Krępa [3]

[1] *Uniwersytet Śląski w Katowicach, Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych*

[2] *Centrum Kliniczne im. prof. K. Gibińskiego Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach*

[3] *Akademia Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach, Katedra Nauk Fizjologiczno - Medycznych*

Kontakt: agnieszka.kielbon@us.edu.pl

Za pomocą skaningowej kalorymetrii różnicowej (DSC) oberwano, bezpośrednie i ujawniające się w czasie, efekty wpływu promieniowania jonizującego na roztwory surowicy krwi ludzkiej. Badane roztwory surowicy zostały poddawane ekspozycji in vitro na promieniowanie rentgenowskie (zakres dawek od 5 Gy do 120 Gy) lub neutronowe (zakres dawek od 5 Gy do 13 Gy).
Próbki surowicy pozyskano z krwi pobranej od zdrowych, młodych ochotników. Pomiary wykonano w zakresie temperatur 20 – 100 °C, z szybkością ogrzewania 1 °C/min. Dawka promieniowania X dostarczona została za pomocą akceleratora liniowego wiązką o nominalnym potencjale przyspieszającym 6 MV i średniej energii 1.5 MeV, a moc wiązki wynosiła 450 JM/min. Radioizotop Californ-252 został użyty jako źródło neutronów o średniej energii 2,35 MeV. Kontrolna grupa próbek zawsze przebywała w takich samych warunkach jak grupa próbek napromienionych (poza samą ekspozycją).
Wyniki badań DSC wskazały wyraźną tendencję do szybszego starzenia się napromienionych roztworów surowicy w odniesieniu do roztworów kontrolnych, niezależnie od typu promieniowania jonizującego oraz zastosowanego rozpuszczalnika. Użycie wyższych dawek promieniowania zwiększało intensywność efektów uchwyconych techniką kalorymetryczną.
Przeprowadzone badania sugerują, że ekspozycja na promieniowanie jonizujące wpływa bezpośrednio i pośrednio na konformację białek zawartych w roztworach surowicy krwi ludzkiej. Napromienienie roztworów surowicy zastosowanymi dawkami może wzmagać procesy prowadzące do modyfikacji struktury białek, np. w wyniku nasilenia stresu oksydacyjnego, utleniania białek, co wtórnie zwiększa ich podatność na glikację.
W kontekście rozwoju radioterapii personalizowanej, uzyskane wyniki mogą wnieść wkład do wyjaśnienia mechanizmów stojących za skutecznością radioterapii, zarówno pod względem wyboru dawki frakcyjnej, jak i typu zastosowanego promieniowania jonizującego.

Wpływ pola magnetycznego na endocytozę funkcjonalizowanych nanocząstek magnetytu w komórkach drożdży

Autorzy: Eliza Gunia ; Klaudia Kotarska; Bernadeta Dobosz; Ryszard Krzyminiewski

Współautorzy: Grzegorz Schroeder ; Joanna Kurczewska

Kontakt: klakot3@st.amu.edu.pl

Elektronowy rezonans paramagnetyczny (EPR), jako metoda spektroskopowa, polega na badaniu wzajemnych oddziaływań między promieniowaniem elektromagnetycznym a materią. Metoda ta służy do badania wolnych rodników. Ponadto wykorzystanie EPR umożliwia również zweryfikowanie struktury badanej substancji wraz z dynamiką układu. W badaniach wykorzystujących technikę elektronowego rezonansu paramagnetycznego często używane są nanocząstki magnetyczne. Są one zbudowane z magnetycznego rdzenia, pokrytego zazwyczaj polimerem, który zapewnia stabilność i biokompatybilność nanocząstek, oraz mogą być funkcjonalizowane różnymi substancjami, w tym lekami. Proces wprowadzania nanocząstek do komórek, może być kontrolowany za pomocą metody EPR oraz modyfikowany za pomocą pola magnetycznego.
W badaniu został przedstawiony wpływ pola magnetycznego na tempo wnikania nanocząstek magnetycznych do komórek drożdży. W doświadczeniu użyte zostały nanocząstki Fe3O4-Si-epoxy oraz Fe3O4-TEOS funkcjonalizowane znacznikiem spinowym TEMPO. Przygotowany roztwór z komórkami drożdży oraz nanocząstkami Fe3O4-TEOS został umieszczony w stałym polu magnetycznym na magnesie neodymowym, natomiast roztwór z nanocząstakmi Fe3O4-Si-epoxy został poddany działaniu rotującego pola magnetycznego. W stałych odstępach czasowych rejestrowany był sygnał widma elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR) spektrometrem na pasmo X (9,4 GHz) w próbce kontrolnej bez pola magnetycznego oraz w próbce umieszczonej w polu. Za pomocą mikroskopu optycznego sprawdzony został także wpływ nanocząstek na tempo namnażania komórek. Badane były roztwory z komórkami drożdży bez nanocząstek oraz w ich obecności. Zaobserwowano, że obecność pola magnetycznego wpływa na wydłużenie czasu wnikania nanocząstek, funkcjonalizowanych za pomocą TEMPO, do wnętrza komórki. Ponadto obecność rdzenia magnetycznego powoduje zmniejszenie populacji komórek drożdży.

PERFUZJA REZONANSU MAGNETYCZNEGO W OCENIE PROCESU ROZROSTOWEGO W OBRĘBIE MÓZGOWIA

Autor: Dorota Lasyk[1]

[1] *Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, Uniwersytet Śląski*

WSTĘP:
Wielu procesom rozrostowym w obrębie mózgowia towarzyszą zaburzenia w prawidłowym przebiegu perfuzji (mikrokrążeniu krwi). Obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego pozwala rejestrować jej przebieg w badanej tkance. Najczęściej stosowanymi technikami PWI-MRI są: DSC-MRI oraz ASL-MRI.

METODYKA:
Celem pracy było porównanie obu najczęściej stosowanych technik PWI-MRI, wraz z oceną perfuzji ASL-MRI pod kątem alternatywy dla techniki DSC-MRI, w grupie pacjentów objętych procesami rozrostowymi mózgowia, wzmacniającymi się po podaniu środka kontrastującego. Analizie poddano 40 pacjentów (25 kobiet, 15 mężczyzn) w wieku od 25 do 75 lat, ze zobrazowanymi zmianami rozrostowymi OUN, wzmacniającymi się po kontraście. Wszystkim chorym, oprócz standardowych sekwencji morfologicznych, wykonano perfuzję DSC-MRI i ASL-MRI na 3T aparacie firmy Siemens. Dokonano pomiaru fizycznych parametrów technik PWI w obszarze zmiany oraz jej referencji (symetrycznie położony region istoty białej zdrowej tkanki mózgowej). Obliczono stosunek perfuzji guza do jej referencji, uzyskując tym samym znormalizowane współczynniki perfuzji (nTBV, nTBF, nPWASL).

WYNIKI:
Wystąpiła dodatnia korelacja pomiędzy wartościami nTBV i nPWASL, ze współczynnikiem korelacji Pearsona równym 0,74 i współczynnikiem determinacji R2= 0,553. Wystąpiła również dodatnia korelacja pomiędzy wartościami nTBF i nPWASL, ze współczynnikiem korelacji Pearsona równym 0,76 i współczynnikiem determinacji R2= 0,573.

WNIOSKI:
Perfuzja ASL może być stosowana jako alternatywa dla perfuzji DSC (w przypadku braku możliwości jej wykonania). Jednakże, perfuzja ASL zmian zlokalizowanych w pobliżu podstawy czaszki charakteryzuje się nikim nPWASL, dlatego do tego typu zmian nie jest zalecana.

SŁOWA KLUCZOWE: perfuzja mózgu, rezonans magnetyczny, diagnostyka obrazowa, mózgowie, nowotwory mózgu.

Porównanie wpływu zabiegów kriostymulacji ogólnoustrojowej i sauny fińskiej na zmiany powysiłkowe w surowicy krwi sportowców

Autor: Klaudia Duch[1]

Współautorzy: Anna Michnik [1]; Ewa Sadowska-Krępa [2]; Ilona Pokora [3]

[1] *Uniwersytet Śląski w Katowicach, Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych*

[2] *Akademia Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach, Katedra Nauk Fizjologiczno-Medycznych*

[3] *Akademia Wychowania Fizycznego w Katowicach im. Jerzego Kukuczki w Katowicach, Katedra Nauk Fizjologiczno-Medycznych*

Kontakt: klaudia.duch@us.edu.pl

Od kilkunastu lat pojawiają się doniesienia dotyczące możliwości zastosowania metody różnicowej kalorymetrii skaningowej (DSC) w różnych obszarach diagnostyki medycznej i medycyny sportowej w oparciu o profile termicznych zmian pojemności cieplnej osocza/surowicy krwi. W tej pracy, poprzez śledzenie przebiegu procesu termicznej denaturacji białek zawartych w surowicy krwi podjęto próbę oceny efektów stosowania przez sportowców zabiegów termicznych jako wspomagania treningu sportowego.
Próbki surowicy uzyskano z krwi 10 sportowców (3 kobiet i 7 mężczyzn) trenujących biegi narciarskie. Krew została pobrana w sesjach ćwiczeniowych przed zabiegami oraz po serii 10 zabiegów kriostymulacji ogólnoustrojowej (WBC) lub sauny fińskiej w czterech etapach: podczas spoczynku, po wysiłku oraz po 1h i 24h odpoczynku.
Badania przeprowadzono metodą DSC za pomocą mikrokalorymetru VP-DSC (MicroCal Co, Northampton, MA). Pomiary DSC wodnych roztworów surowicy wykonano w zakresie temperatur od 20° do 100℃ z szybkością grzania 1℃/min, przy ciśnieniu około 1.8 atm.
Metoda DSC pozwoliła zaobserwować wpływ serii zabiegów kriostymulacji oraz sauny na powysiłkowe zmiany zarejestrowane w profilach termicznej denaturacji białek surowicy krwi sportowców. Zabiegi WBC spowodowały zmniejszenie reakcji na ćwiczenia fizyczne i przyspieszyły regenerację po wysiłku u większości uczestników badania. Zabiegi sauny fińskiej wywołały przeciwny efekt, czyli spowodowały wyraźnie silniejszą reakcję na wysiłek. W przypadku zabiegów sauny fińskiej, podczas procesu regeneracji po ćwiczeniach zaobserwowano dość duże zróżnicowanie wyników DSC pozwalających na monitorowanie cofania się zmian powysiłkowych.

WYKORZYSTANIE TERMOGRAFII W PODCZERWIENI DO ZDALNEGO POMIARU TEMPERATURY CIAŁA OSÓB WCHODZĄCYCH DO INSTYTUCJI PUBLICZNYCH – BADANIA PRZESIEWOWE W KIERUNKU GORĄCZKI

Autorzy: Izabela Gorczewska[1]; AGNIESZKA SZURKO[2]; Agnieszka Kiełboń[3]; Agata Stanek[4]; Armand Cholewka[5]

[1] *Zakład Medycyny Nuklearnej i Endokrynologii Onkologicznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie, oddział w Gliwicach*

[2] *Uniwersytet Śląski w Katowicach*

[3] *Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych*

[4] *Katedra i Klinika Chorób Wewnętrznych, Angiologii i Medycyny Fizykalnej w Bytomiu, Śląski Uniwersytet Medyczny, ul. Batorego 15, 41-902 Bytom, Polska*

[5] *Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, Uniwersytet Śląski, 75 Pułku Piechoty 1A, 41-500 Chorzów, Polska*

Kontakt: izabela.gorczewska@io.gliwice.pl

Pandemia spowodowana wirusem SARS Cov-2 pokazała, że niekiedy użycie termometru kontaktowego w celu weryfikacji podwyższonej temperatury ciała osoby z podejrzeniem zakażenia, niesie ryzyko rozprzestrzeniania się chorób. Doskonałym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie obrazowania termicznego, jako metody diagnostycznej w obrazowaniu gorączki. Celem przeprowadzonych badań jest opracowanie algorytmu do wykonywania pomiarów termowizyjnych i wypracowania standardów badań przesiewowych w kierunku występowania gorączki, w różnych warunkach atmosferycznych, u osób wchodzących do budynków różnych instytucji.

Badania przeprowadzono w instytucjach publicznych. Każda badana osoba miała robione dwa zdjęcia termiczne twarzy - w projekcji AP i bocznej. Za pomocą kamery termowizyjnej T1020 FLIR o rozdzielczości 1024 x 768 pikseli, dokonywano pomiarów temperatury średniej z obszaru powierzchni czoła, maksymalnej czoła, kącików oczu, wnętrza jamy ustnej i przewodu słuchowego zewnętrznego. Natomiast za pomocą klasycznych termometrów, mierzono temperaturę w dole pachowym i uchu.

Otrzymane wstępne wyniki pokazały bardzo silne i dodatnie korelacje między temperaturą w uchu mierzoną termometrem dousznym, a maksymalną i średnią na czole, a nawet minimalną temperaturą czoła. Korelacje te oscylują wokół r=0,6, jednak najwyższą wartość współczynnika Pearsona otrzymano dla temperatury średniej czoła, mierzonej za pomocą kamery termowizyjnej.

Ponadto, wysokie korelacje otrzymano także między temperaturą w uchu, mierzoną termometrem dousznym, a maksymalną w kącikach oczu oraz maksymalną temperaturą w ustach oraz w uchu mierzoną kamerą termowizyjną. Wartości te wyniosły odpowiednio: r=0,54, r=0,27, r=0,65.

Podsumowując, zdalny pomiar temperatury ciała, wykonany kamerą termowizyjną przy uwzględnieniu odpowiednich wartości współczynników i algorytmów, może stanowić przydatne kryterium w ocenie temperatury głębokiej organizmu.

PROTONOTERAPIA

Wpływ stabilizatorów kręgosłupa na rozkład dawki i zasięg wiązki w radioterapii protonowej

Autorzy: Magdalena Garbacz[1]; Kamil Kisielewicz[2]

Współautorzy: Gabriela Foltyńska [1]; Jan Gajewski [1]; Eleonora Góra [2]; Tomasz Kajdrowicz [1]; Dawid Krzempek [1]; Marzena Rydygier [1]; Tomasz Skóra [2]; Renata Kopeć [1]

[1] *Institute of Nuclear Physics Polish Academy of Sciences in Krakow*

[2] *The Maria Sklodowska – Curie National Research Institute of Oncology in Krakow*

Kontakt: magdalena.garbacz@ifj.edu.pl

Radioterapia protonowa może być korzystniejsza w porównaniu ze standardową radioterapią fotonową pod względem rozkładu dawki w pacjencie. Wiązka protonowa może precyzyjnie dostarczyć dawkę w obszar zmiany nowotworowej, jednak należy wziąć pod uwagę niepewność zasięgu wiązki protonowej. Na niepewność zasięgu mają wpływ m.in. niepewności przygotowania krzywej kalibracji i korekcje stosowane podczas rekonstrukcji obrazu, zwłaszcza w przypadku pacjentów z implantami lub stabilizatorami. Powstałe artefakty i duże zmiany gęstości ośrodka mogą wpływać na zasięg wiązki protonowej oraz poprawność obliczenia dawki dostarczonej do pacjenta.
Wśród pacjentów z nowotworami podstawy czaszki oraz okolic miednicy pojawiają się przypadki, gdzie wewnątrz lub w bliskim sąsiedztwie planowanego obszaru tarczowego (PTV) znajdują się stabilizatory kręgosłupa o dużej gęstości. Wymaga to użycia rekonstrukcji z redukcją artefaktów i nadpisywania wartości HU w miejscu artefaktów, co zmienia wartości HU na obrazie CT, a to przekłada się na wartości dawki obliczone w systemie do planowania leczenia.
Podczas prezentacji zostaną przedstawione wyniki obliczeń dawki z systemu do planowania leczenia Eclipse 16.1 oraz z kodu Monte Carlo FRED, który został zweryfikowany eksperymentalnie w Centrum Cyklotronowym Bronowice. Wstępne wyniki symulacji MC pokazują, że obecność stabilizatorów w obszarze PTV oraz ich wielkość powoduje zmiany wartości dawki w tym obszarze (spadek o 5-10% przy obliczeniach typu “dose-to-medium”) oraz zmniejszenie zasięgu wiązki o ok. 2 mm, co w konsekwencji może prowadzić do obniżenia pokrycia PTV dawką terapeutyczną. Planowane jest zbadanie, czy potencjalna obecność obszarów o niższej dawce niż planowana z obliczeń MC może być skorelowana ze skutecznością terapii wiązką protonową, bazując na danych z kontroli pacjentów po radioterapii protonowej.

Weryfikacja i optymalizacja konwersji jednostek Hounsfielda na względną zdolność hamowania protonów w Centrum Cyklotronowym Bronowice

Autor: Gabriela Foltyńska[1]

Współautorzy: Karolina Sobkowicz [1]; Magdalena Garbacz [1]; Tomasz Mikołajski [1]; Tomasz Kajdrowicz [1]; Renata Kopeć [1]

[1] *Centrum Cyklotronowe Bronowice, Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie*

Kontakt: gabriela.foltynska@ifj.edu.pl

Jednym z kluczowych elementów obliczeniowych w komputerowym planowaniu radioterapii protonowej jest konwersja informacji zawartej na obrazach z tomografii komputerowej (wyrażonej w jednostkach Hounsfielda), na względną zdolność hamowania protonów. Jest to niezbędne do obliczania rozkładów dawek terapeutycznych w systemie planowania leczenia (TPS). Najpowszechniejszym sposobem wykonywania tej konwersji jest tzw. kalibracja stechiometryczna, dla której stosuje się heurystyczną wartość niepewności zasięgu wiązki protonowej na poziomie 3,5%. Tą niepewność należy uwzględnić w procesie planowania leczenia przykładowo poprzez zastosowanie odpowiednich marginesów dodawanych do klinicznych objętości tarczowych (CTV).

Dla tomografu komputerowego Siemens Somatom Definition AS Open, zainstalowanego w Centrum Cyklotronowym Bronowice (CCB) stosowana jest obecnie jedna krzywa konwersji dla wszystkich leczonych lokalizacji. Została ona poddana weryfikacji w pomiarach porównawczych przeprowadzonych w ramach grupy European Particle Therapy Network [1]. Wnioski z pomiarów pokazują, że dla CCB maksymalne różnice zasięgu dla przykładowych, uproszczonych modeli antropomorficznych (np. guz mózgu = 80% tkanki miękkiej i 20% kości) uzyskane w TPS nie przekraczają 1% względem wyznaczonej eksperymentalnie wartości odniesienia. Jednocześnie wyniki sugerują lepsze wyniki dla pomiarów, gdzie stosuje się podział krzywych konwersji na różne lokalizacje.

W niniejszej pracy zostaną przeanalizowane możliwości wprowadzenia nowych krzywych dla poszczególnych grup pacjentów w oparciu o zoptymalizowane protokoły skanowania i rekonstrukcji obrazów. Pokazane zostaną możliwe różnice dozymetryczne (zmiany w zasięgu wiązki, różnice w rozkładach dawki) dla fantomów antropomorficznych w oparciu o różne protokoły skanowania i krzywe konwersji.

[1] N. Peters et al., Experimental assessment of inter-centre variation in stopping-power and range prediction in particle therapy (2021) https://doi.org/10.1016/j.radonc.2021.07.019

Bezpieczne planowanie radioterapii protonowej u pacjentów ze stabilizatorami metalowymi

Autor: Kamil Kisielewicz[1]

Współautorzy: Eleonora Góra [1]; Tomasz Skóra [1]; Renata Kopeć [2]; Magdalena Garbacz [2]; Marzena Rydygier [3]; Bartosz Kiełtyka [4]

[1] *The Maria Sklodowska – Curie National Research Institute of Oncology in Krakow*

[2] *Centrum Cyklotronowe Bronowice, Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie*

[3] *Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie, Centrum Cyklotronowe Bronowice*

[4] *University Hospital in Kraków, Jakubowskiego 2, 30-688 Kraków*

Kontakt: z5kisiel@cyfronet.pl

Wstęp

Wraz z rozpoczęciem funkcjonowania radioterapii protonowej w Krakowie, jedną z głównych lokalizacji poddawanych tu leczeniu są nowotwory podstawy czaszki. Ze względu na konieczność podania dużej dawki promieniowania jonizującego (70-74Gy RBE) i bezpośrednie sąsiedztwo newralgicznych struktur krytycznych, takich jak pień mózgu, skrzyżowanie nerwów wzrokowych, nerwy wzrokowe, zastosowanie wiązki protonowej stwarza większe możliwości eskalacji dawki do objętości tarczowej w stosunku do radioterapii fotonowej. Problemem przy planowaniu takiego leczenia jest obecność u około 40% pacjentów metalowych stabilizatorów, które zwiększają niepewność depozycji zaplanowanej dawki.

Materiał i metody

Akwizycje warstw CT potrzebnych do planowania leczenia wykonano na aparacie Siemens Somatom Definition AS przy wykorzystaniu zoptymalizowanego iteracyjnego algorytmu redukcji artefaktów pochodzących od metalu - iMAR. Następnie sporządzono krzywą kalibracyjną dedykowaną dla systemu planowania leczenia Varian Eclipse (HU vs. RSP). Dla każdego pacjenta ze stabilizatorem wykonano dodatkowo rekonstrukcję tomografii komputerowej w rozszerzonej skali HU, aby przenieść na warstwy do planowania leczenia konieczne informacje o gęstości implantu. Plany leczenia bazowały także na indywidualnie definiowanych strukturach - tzw. target per field (objętość do napromienienia realizowana z danego pola terapeutycznego – wiązki) w celu omijania fragmentarycznego obszarów artefaktów zrekonstruowanych w sposób nieakceptowalny. Wykonano także optymalizację geometrii wiązek w stosunku do elementu metalowego i narządów krytycznych.

Wyniki i wnioski

Przedstawiony sposób postępowania pozwolił na bezpieczne przeprowadzenie radioterapii z użyciem skanującej wiązki protonowej u ponad 50 pacjentów ze stabilizatorami, co dodatkowo zostało potwierdzone symulacjami Monte Carlo narzędziem FRED (Fast paRticle thErapy Dose evaluator).

Oś mózgowo rdzeniowa - radioterapia helikalna czy protonowa?

Autor: Kamil Kisielewicz[1]

Współautorzy: Eleonora Góra [1]; Anna Pędracka [2]; Łukasz Brandt [2]; Lidia Mazur [1]; Tomasz Skóra [1]; Karolina Sobkowicz [3]; Dawid Krzępek [4]; Bartosz Kiełtyka [2]; Renata Kopeć [3]

[1] *The Maria Sklodowska – Curie National Research Institute of Oncology in Krakow*

[2] *University Hospital in Kraków, Jakubowskiego 2, 30-688 Kraków*

[3] *Centrum Cyklotronowe Bronowice, Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie*

[4] *Institute of Nuclear Physics PAN, Cyclotron Centre Bronowice, Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków*

Kontakt: z5kisiel@cyfronet.pl

Wstęp
W radioterapii coraz częściej pojawiają się pacjenci wymagający leczenia osi mózgowo-rdzeniowej. Najczęściej stosowanymi technikami w radioterapii wiązką zewnętrzną są techniki dynamiczne, wykorzystujące typowy akcelerator medyczny. Alternatywnymi metodami leczenia są: napromienianie wiązką protonów oraz tomoterapia.

Materiał i metody
Celem pracy jest porównanie rozkładów dawek w planach leczenia napromieniania osi mózgowo-rdzeniowej. Do przygotowania planów radioterapii wykorzystano technikę helikalną dla fotonów (w systemie TPS Precision Accuray) oraz skanującą wiązkę protonową w technice IMPT – Intensity Modulated Proton Therapy (w systemie TPS Eclipse firmy Varian).
W badaniu porównano plany dla sześciu pacjentów. Do ich przygotowania wykorzystano te same skany tomograficzne, obrysy narządów krytycznych i obszarów tarczowych. Plany leczenia porównano
w oprogramowaniu RayStation - RaySearch Laboratories.
Analizie poddano rozkłady dawek w obszarach tarczowych i narządach. Zbadano również obszary
o dużym gradiencie dawki, które reprezentują odporność planów leczenia na niepewność związaną
z ułożeniem pacjenta i ruchomością narządów wewnętrznych. Radioterapia protonowa wymaga połączenia pól, dlatego miejsca łączenia zostały szczegółowo przeanalizowane. Porównano również czas trwania leczenia.

Wyniki i wnioski
Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że rozkłady dawek uzyskiwane w planach protonowych są znacznie korzystniejsze dla pacjenta z punktu widzenia ochrony narządów krytycznych i redukcji tzw. dawki integralnej, co jest szczególnie istotne dla pacjentów pediatrycznych – zminimalizowane ryzyko indukcji nowotworów wtórnych. Z drugiej strony plany leczenia przygotowane dla techniki helikalnej charakteryzują się większą jednorodnością rozkładu dawki
w obszarach, gdzie w technikach protonowych zachodzi potrzeba połączenia pól (mniejsza wrażliwość na błędy wynikające z ułożenia pacjenta). Dla obu technik uzyskano zbliżone czasy napromieniania.

Przystosowanie stanowiska do radioterapii protonowej wiązką skanująca do celów badawczo-rozwojowych

Autor: Wiktor Komenda[1]

Współautorzy: Dawid Krzempek [2]; Marta Bałamut [1]; Katarzyna Czerska [3]; Hubert Jabłoński [1]; Łukasz Raczyński [4]; Renata Kopeć ; Konrad Białecki ; Konrad Guguła [5]; Natalia Mojżeszek [1]; Marzena Rydygier [6]

[1] *Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie, PL-31342 Kraków, Poland*

[2] *IFJ*

[3] *IFJ PAN*

[4] *Instytut Fizyki Jądrowej H. Niewodniczańskiego PAN*

[5] *Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk*

[6] *Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie, Centrum Cyklotronowe Bronowice*

Kontakt: wiktor.komenda@ifj.edu.pl

Radioterapia protonowa jest metodą, która w obecnych latach rozwija się bardzo szybko, a stanowiska umożliwiające jej prowadzenie mają obok możliwości terapeutycznych spory potencjał naukowo badawczy. Istnieje duże zapotrzebowanie na prowadzenie badań z zakresu nowoczesnych metod dostarczenia wiązki oraz rozwoju detektorów protonów czy cząstek wtórnych. Badania z zakresu radiobiologii wymagają napromieniania materiałów biologicznych - od komórek, aż po materiał zwierzęcy. Z drugiej strony sama wiązka protonowa z zakresu energii stosowanych klinicznie może zostać wykorzystana do testowania modułów elektronicznych pod kątem wytrzymałości na promieniowanie kosmiczne (m. in. tzw. SEE (ang. Single Event Effects)) bądź zastosowania ich jako komponentów akceleratorów cząstek lub detektorów promieniowania.
Każde z powyższych zastosowań narzuca wiele różnych ograniczeń i wymagań – m.in. w zakresie dostarczanej energii, rozmiarów pola promieniowania, mocy dawki (prądu wiązki), struktury czasowej wiązki. Z drugiej strony stanowiska, działając w konfiguracji klinicznej, pozwalają na jedynie niewielką, pośrednią ingerencje w niektóre z wymienionych parametrów.
W niniejszej prezentacji omówione zostaną wyżej wymienione problemy, wraz ze sposobem, w jaki rozwiązano je w Centrum Cyklotronowym Bronowice. Szczegółowo opisana zostanie struktura czasowa dostarczenia wiązki, a także jej wpływ na wymienione uprzednio parametry. Przedstawiony zostanie także układ pomiarowy umożliwiający redukcję prądu wiązki do poziomu poniżej 10^9 p/cm2/s dla energii wiązki protonowej z zakresu 20-200 MeV.

Trójwymiarowa (3D) dozymetria na bazie optycznie stymulowanej luminescencji – w kierunku wysokorozdzielczej radioterapii protonowej

Autor: Michał Sądel[1]

[1] *IFJ PAN*

Kontakt: michal.sadel@ifj.edu.pl

W nowoczesnych technikach radioterapii, takich jak terapia protonowa, niezbędne dawki są dostarczane do leczonej objętości guza za pomocą złożonych planów leczenia o wysokiej rozdzielczości. Dlatego istnieje ciągła potrzeba zapewnienia precyzyjnej i dokładnej dozymetrii z wykorzystaniem technik umożliwiających przestrzenna weryfikację dawki. Jedno z nowych i obiecujących podejść do dozymetrii trój-wymiarowej (3D), oparte jest na technice optycznie stymulowanej luminescencji (OSL). Prototypowe detektory wykonane w formie płaskich i elastycznych folii silikonowych, z osadzonym materiałem OSL w postaci proszku (LiMgPO4, LMP) oraz samodzielnie opracowanym układem do obrazowania optycznego, składającym się z oświetlającego źródła światła i wysokiej czułości kamery CCD, umożliwiają odwzorowanie rzeczywistego rozkładu dawki 3D.
Nowo opracowana formuła dozymetru umożliwia dostarczanie elastycznych i wodoodpornych folii, które mogą być stosowane nawet w silnym polu magnetycznym. Technologia została przetestowana podczas weryfikacji przestrzennego 3D rozkładu dawki gałki ocznej w Pracowni Radioterapii Oka IFJ PAN, przygotowanego przez system do planowania leczenia, przy użyciu dedykowanego nieregularnego kolimatora pacjenta oraz modulowanej wiązki protonów 60 MeV. W prezentacji zostanie przybliżona koncepcja wykorzystania technologii do bezpośredniej weryfikacji rozkładu głębokościowego protonów z użyciem fantomu gałki ocznej, w formie stosu folii silikonowych. Zrekonstruowany obraz 3D rozkładu dawki, porównano z klinicznym planem leczenia protonowego, przygotowanym dla tych samych parametrów wiązki protonowej przy użyciu systemu do planowania leczenia. Zaprezentowano również aspekty fizyczne odpowiedzi materiału detektora na protony tzw. efekty wydajnościowe (ang. quenching effect) związane m.in. z gęstością jonizacji protonów.
Możliwość rejestracji dostarczonego przestrzennego rozkładu dawki promieniowania protonowego w szybkim i łatwym odczycie (opartym na zjawiskach OSL), czyni nowy system jednym z najnowocześniejszych narzędzi w dziedzinie dozymetrii.

Computational and experimental characterisation of mixed radiation fields in proton therapy

Autor: Jan Gajewski[1]

Współautorzy: Paulina Stasica [1]; Antoni Rucinski [2]; Marzena Rydygier ; Dawid Krzempek [3]; Magdalena Garbacz [4]

[1] *Institute of Nuclear Physics PAN, Krakow, Poland*

[2] *Institute of Nuclear Physics PAN*

[3] *Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie, PL-31342 Kraków, Poland*

[4] *Institute of Nuclear Physics Polish Academy of Sciences*

Kontakt: jan.gajewski@ifj.edu.pl

Proton radiotherapy is recognized as an effective treatment method of tumors, which allows for increased sparing of normal tissues compared to conventional radiotherapy. Further improvement of clinical proton radiotherapy can be obtained with development of advanced treatment planning and dosimetry methods. The uncertainties in the biological modeling of the radiation effectiveness pose the major limitation of this treatment modality, which increases the risk of complications caused by proton irradiations, such as the development of secondary tumors or necrosis. Therefore, one of the main challenges in proton radiotherapy is to improve the current strategies of treatment planning by accounting for radiation quality described by means of the particle stopping power (Linear Energy Transfer - LET). Nowadays, LET is not considered in the clinical routine of treatment planning and dosimetry even if its engagement would fully allow to exploit the clinical advantages of proton radiotherapy.

Within the seminar, an overview of the computational and experimental methods for proton therapy treatment planning and dosimetry, clinically used at CCB and in other proton facilities will be presented. Moreover, it will be shown how to introduce radiation quality information in proton treatment. This part includes the development of (i) dosimetrical methods based on TimePix semiconductor pixel detectors developed in the framework of the CERN Medipix collaboration and (ii) computational methods based on fast GPU-accelerated Monte Carlo codes. The inclusion of radiation quality in the treatment planning and dosimetry has the potential to improve the precision of patient treatment in proton therapy.

Charakterystyka dozymetryczna dedykowanego dyskryminatora zasięgu wykorzystywanego w radioterapii protonowej osi mózgowo-rdzeniowej

Autor: Marzena Rydygier[1]

Współautorzy: Katarzyna Czerska [1]; Hubert Jabłoński [1]; Paweł Rogalski [1]; Marta Bałamut [1]; Gabriela Foltyńska [1]; Magdalena Garbacz [1]; Urszula Sowa [1]; Kamil Kisielewicz [2]; Dawid Krzempek [1]; Renata Kopeć [1]

[1] *Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie, PL-31342 Kraków, Polska*

[2] *Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział w Krakowie*

Kontakt: marzena.rydygier@ifj.edu.pl

W celu prawidłowego napromienienia płytko zlokalizowanych nowotworów w protonoterapii stosowane są dyskryminatory zasięgu (*ang. Range Shifter, RS*), pozwalające na zmniejszenie zasięgu wiązki w ciele pacjenta. Zaprojektowany w IFJ dyskryminator, dedykowany napromienianiu osi mózgowo-rdzeniowej, mocowany do stołu terapeutycznego, umożliwia zarówno osiągnięcie lepszego rozkładu dawki w obrębie nowotworu, jak i pozwala na zmniejszenie lateralnego rozproszenia wiązki dzięki zminimalizowaniu odległości między dyskryminatorem a pacjentem. W niniejszym opracowaniu przedstawiono charakterystykę dozymetryczną dyskryminatora oraz jego wpływ na rozkład dawki.
Dedykowany RS to blok PMMA o wymiarach 2,8x24x130cm3 i grubości ekwiwalentu wody 3,4cm, odpowiednio zamodelowany w systemie planowania leczenia (*ang. Treatment Planning System, TPS*). Charakterystyka dozymetryczna obejmowała pomiary rozkładów dawki z wykorzystaniem dwóch detektorów o różnej rozdzielczości przestrzennej i różnej charakterystyce odpowiedzi. Analiza wyników obejmowała porównanie rozkładów dawki uzyskanych na stanowisku za pomocą detektora, z umieszczonym dedykowanym RS w torze wiązki z rozkładami otrzymanymi w TPS z odpowiednio zamodelowanym RS. Analiza porównawcza pozwoliła na oszacowanie wpływu RS na rozkład dawki i jakościową ocenę dokładności odwzorowania dodatkowej struktury przez TPS.
Analiza wyników z wykorzystaniem detektora MatriXX, standardowo wykorzystywanym w weryfikacji dozymetrycznej planów terapeutycznych, wykazała niezgodności rozkładów dawki w porównaniu do TPS ze względu na niską rozdzielczość detektora, szczególnie w obszarach dużego gradientu dawki. Efekt ten został zweryfikowany poprzez porównanie rozkładów dawki TPS z rozkładami względnymi zmierzonymi detektorem LynX, charakteryzującego się wyższą rozdzielczością przestrzenną (0,5mm). Przeprowadzona procedura standardowej weryfikacji dozymetrycznej planów osi mózgowo-rdzeniowej w dwóch geometriach pozwala stwierdzić, że odwzorowanie dedykowanego RS w TPS jest poprawne i nie wpływa na wyniki weryfikacji dozymetrycznej planu terapeutycznego.

Stworzenie procedury szacowania ekspozycji radiacyjnej płodu w radioterapii protonowej wiązką skanującą przy napromienianiu nowotworów głowy i szyi pacjentki ciężarnej

Autorzy: Dawid Krzempek[1]; Marzena Rydygier[2]

Współautorzy: Marta Bałamut [2]; Katarzyna Czerska [2]; Marijke De Saint-Hubert [3]; Hubert Jabłoński [2]; Wiktor Komenda [2]; Natalia Mojżeszek [2]; Tomasz Nowak [2]; Paweł Rogalski [2]; Anna Spaleniak [2]; Renata Kopeć [2]

[1] *Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie, PL-31342 Kraków, Poland*

[2] *Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie, PL-31342 Kraków, Poland*

[3] *Belgium Nuclear Research Center, Mol BE-2400, Belgium*

Kontakt: dawid.krzempek@ifj.edu.pl

Badania wykazały, że radioterapia protonowa wiązką skanującą pozwala ograniczyć narażenie płodu w porównaniu z terapią fotonową [1]. Ze względu jednak na dużą radiowrażliwość płodu radioterapia pacjentek ciężarnych wymaga podjęcia działań mających na celu minimalizację dawki w obszarze lokalizacji płodu – także w przypadku radioterapii protonowej. Dostępne komercyjnie Systemy Planowania Leczenia nie mogą być jednak traktowane, jako wiarygodne narzędzie umożliwiające szacowanie ekspozycji płodu.
Niniejsza praca miała na celu stworzenie procedury szacowania narażenia płodu w radioterapii protonowej nowotworów głowy i szyi wiązka skanującą na promieniowania fotonowe oraz wtórne neutrony – zarówno przed rozpoczęciem radioterapii, jak i w trakcie jej trwania (dozymetria in-vivo).
Do tego celu stworzono układ pomiarowy symulujący geometrię pacjentki ciężarnej (25-ty tydzień ciąży) [2], poprzez wykorzystanie fantomu antropomorficznego Alderson Rando oraz fantomu płytowego RW3. Wykorzystując detektor WENDI-2, detektory bąbelkowe (BD-PND) oraz sondę FHT-192, oszacowano narażenie płodu dla czterech jednopolowych planów o różnej geometrii, dostarczających dawkę do tej samej objętości tarczowej (22,3 cm3) zlokalizowanej w mózgu. Celem prezentacji wyników jako ekwiwalent dawki H, wykonano symulacje Monte Carlo (MNCP 6.2) widm neutronowych. Podjęto także próbę szacowania wpływu geometrii i lokalizacji detektorów neutronowych na wyniki pomiarów.
Wykazano, że najbardziej optymalne z punktu widzenia narażenia płodu jest napromienianie polami bocznymi, bez stosowania dyskryminatora zasięgu. Jednocześnie napromienianie polami wzdłuż osi długiej pacjenta oraz z zastosowaniem dyskryminatora zasięgu skutkuje znacznym zwiększeniem ekspozycji płodu. W każdym przypadku jednak, dostarczenie dawki terapeutycznej (54 GyRBE) było możliwe przy narażeniu płodu poniżej 5 mSv. Udowodniono także, że odpowiednie zlokalizowanie detektora BD-PND pozwala wykorzystać go do szacowania dawki in-vivo.

Zwiększenie konformalności radioterapii protonowej wiązką skanującą z użyciem dedykowanych kompensatorów 3D oraz dyskryminatorów zasięgu

Autorzy: Tomasz Kajdrowicz[1]; Magdalena Garbacz[1]; Dominika Kędzierska-Pardel[1]; Katarzyna Krzempek[1]; Leszek Malinowski[1]; Tomasz Nowak[1]; Karolina Sobkowicz[1]; Urszula Sowa[1]; Robert Stokłosa; Michał Świeczewski[1]; Tomasz Horwacik[1]

[1] *Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie, PL-31342 Kraków, Poland*

Kontakt: tomasz.kajdrowicz@ifj.edu.pl

Cel

Nowoczesne centra radioterapii protonowej są najczęściej wyposażone w cyklotron i gantry z głowicą skanującą. Charakterystyka ołówkowej wiązki protonowej w izocentrum jest pochodną jej energii. Rozmiar pojedynczej wiązki rośnie wraz ze spadkiem energii. Minimalny zasięg w wodzie na wyjściu z głowicy waha się w granicach od 30 do 70 mm, w zależności od instalacji. Napromienianie płytko położonych zmian nowotworowych wymaga użycia dyskryminatorów zasięgu, powiększających rozmiar poprzeczny wiązki, ograniczając konformalność planów terapeutycznych.

Stosując dedykowane kompensatory wykonane w technice druku 3D oraz dyskryminatory zasięgu zintegrowane ze stołem terapeutycznym chcemy ograniczyć negatywny wpływ rozproszenia wiązki na konformalność planów protonowych, zachowując pokrycie objętości tarczowej na niezmienionym poziomie.

Materiały, metody, wyniki

Do badań wykorzystujemy protonową wiązkę skanującą na stanowiskach gantry w Centrum Cyklotronowym Bronowice IFJ PAN w Krakowie. Źródłem protonów jest cyklotron C-230. Energia protonów opuszczających sekcję selektora energii mieści się w przedziale od 70 do 226,1 MeV.

Porównujemy charakterystyki poprzeczne ołówkowej wiązki protonowej z użyciem różnych rodzajów dyskryminatorów zasięgu tj. statyczne i ruchome dyskryminatory zasięgu, dyskryminatory zintegrowane

ze stołem terapeutycznym oraz dedykowane kompensatory wykonane techniką druku 3D. Analizujemy rozmiar wiązki, konformalność pól terapeutycznych, niepewności zasięgu oraz złożoność planów terapeutycznych. Porównujemy czasochłonność i stopień skomplikowania procesu przygotowania oraz realizacji planów terapeutycznych z użyciem poszczególnych typów modyfikatorów zasięgu.

Podsumowanie

Zastosowanie dedykowanych kompensatorów 3D jak i dyskryminatorów zasięgu zintegrowanych

ze stołem terapeutycznym pozwala ograniczyć poprzeczne rozproszenie ołówkowej wiązki skanującej przyczyniając się do poprawy konformalności planów terapeutycznych dla płytko położonych zmian nowotworowych. Z drugiej strony wymaga dodatkowego nakładu pracy w trakcie przygotowania jak i realizacji procesu napromieniania.

Wpływ wybranych parametrów konfiguracyjnych na dokładność obliczeń analitycznego algorytmu wiązki protonowej w systemie Varian Eclipse 16.1

Autor: Marta Bałamut[1]

Współautorzy: Dawid Krzempek [1]; Hubert Jabłoński [1]; Natalia Mojżeszek [1]; Wiktor Komenda [1]; Katarzyna Czerska [1]; Marzena Rydygier [1]; Renata Kopeć [1]

[1] *Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie, PL-31342 Kraków, Polska*

Kontakt: marta.balamut@ifj.edu.pl

Przygotowanie Systemu Planowania Leczenia do pracy klinicznej wymaga skonfigurowania modelu obliczeniowego dla wszystkich stosowanych aparatów terapeutycznych. W przypadku wiązek protonowych bardzo istotny zestaw danych stanowią rozkłady integralnych dawek głębokich (ang. Integral Depth Dose, IDD), które reprezentują całkowitą energię deponowaną przez wiązkę ołówkową w wodzie w funkcji głębokości.
Dedykowane do pomiaru IDD płasko-równoległe komory jonizacyjne Bragg Peak Chamber (PTW, r = 4cm) i Stingray (IBA Dosimetry, r = 6cm) nie obejmują całego przekroju rozproszonej wiązki. Wpływ tego efektu na dane pomiarowe może zostać skorygowany poprzez wykorzystanie metod Monte Carlo, umożliwiających wykonanie symulacji rozkładów dawki głębokiej dla hipotetycznej komory o większym promieniu, np. 20cm.
Stworzenie dodatkowego modelu wiązki w jednym z dostępnych kodów Monte Carlo jest procesem czasochłonnym, stąd w Centrum Cyklotronowym Bronowice IFJ PAN zaproponowano metodę wykorzystania do tego celu algorytmu obliczeniowego Acuros, stanowiącego integralną część Systemu Planowania Leczenia Varian Eclipse 16.1.
Ponadto zastosowano nowatorską metodę normalizacji dawkowej IDD wykorzystując inne głębokości referencyjne niż standardowo przyjęte 2cm.
W niniejszej pracy porównano zmierzone za pomocą dwuwymiarowej matrycy komór jonizacyjnych MatriXX PT rozkłady dawki z rozkładami obliczonymi przy użyciu modeli wiązki stworzonych z uwzględnieniem wyżej wymienionych rozwiązań, a także modeli skonfigurowanych w sposób standardowy.
Analizie poddano plany napromieniania nowotworów ujętych we wskazaniach do radioterapii protonowej w 2019 roku, m.in. nowotwory okolicy przykręgosłupowej, nowotwory okolic głowy
i szyi, nowotwory wymagające napromieniania osi mózgowo-rdzeniowej.
Wyniki wskazują, iż dobór metody wyznaczania oraz normalizacji rozkładów głębokościowych ma istotny wpływ na zgodność mierzonych rozkładów dawki z obliczeniami Systemu Planowania Leczenia.

Porównanie parametrów wybranych stanowisk radioterapii protonowej nowotworów oka

Autorzy: Tomasz Horwacik[1]; Tomasz Kajdrowicz[2]; Leszek Malinowski[1]; Tomasz Nowak[3]; Marta Korcyl[4]; Jan Swakoń[5]

[1] *1Centrum Cyklotronowe Bronowice, Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie*

[2] *Centrum Cyklotronowe Bronowice, Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie*

[3] *Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie, PL-31342 Kraków, Poland*

[4] *Centrum Cyklotronowe Bronowice, Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk*

[5] *Zakład Badań Radiacyjnych i Radioterapii Protonowej, Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk*

Kontakt: tomasz.horwacik@ifj.edu.pl

Cel

Liczba ośrodków radioterapii protonowej systematycznie rośnie. Nowe, wielostanowiskowe instalacje wykorzystują cyklotrony przyspieszające protony do energii powyżej 200 MeV, współpracujące ze stanowiskami typu gantry ze skanującą wiązką ołówkową. Obecnie na rynku brak jest akceleratorów przyspieszających wiązki protonowe do energii niezbędnych dla radioterapii nowotworów oka tj. 60 - 70 MeV. Dlatego nowo uruchamiane ośrodki instalują dedykowane stanowiska radioterapii protonowej nowotworów oka wykorzystując wiązkę wstępnie degradowaną do energii kilkudziesięciu MeV, oraz technikę pasywnego formowania wiązki. Celem pracy było porównanie parametrów nowo budowanych stanowisk ze stanowiskami już istniejącymi. W porównaniu wzięło udział 6 ośrodków.

Materiały, metody, wyniki

Stanowisko radioterapii protonowej oka w IFJ PAN wykorzystuje wiązkę z cyklotronu C-230, wstępnie degradowaną do energii 70 MeV. Wiązka doprowadzona do pomieszczenia terapii jest formowana przy pomocy szeregu zainstalowanych tam elementów. Diagnostyka wiązki prowadzona jest przy pomocy zestawu urządzeń i detektorów zarówno komercyjnych, jak i zbudowanych w IFJ PAN. Parametry stanowiska w IFJ PAN porównano z parametrami stanowisk z innych ośrodków bazując na przeprowadzonych testach akceptacyjnych i eksploatacyjnych stanowiska. Porównywano parametry rozkładów przestrzennych i głębokościowych dawki.

Podsumowanie

Dedykowane stanowiska radioterapii protonowej oka pozwalają na formowanie wiązek terapeutycznych o submilimetrowej precyzji, umożliwiających napromienianie nowotworów wewnątrzgałkowych przy maksymalnej ochronie struktur krytycznych gałki ocznej. Przyjęte w różnych ośrodkach podobne założenia i rozwiązania konstrukcyjne pokazują, że parametry terapeutyczne niezbędne w radioterapii protonowej oka można osiągnąć przy pomocy wiązek o energii początkowej powyżej 200 MeV jak i przy pomocy wiązek protonowych z akceleratorów o niższej energii. Parametry stanowiska radioterapii protonowej oka w IFJ PAN są porównywalne z parametrami pozostałych prezentowanych stanowisk.

Kliniczne modele radiobiologiczne stosowane w radioterapii jonami węgla (CIRT): Który model wybrać? Jakie są między nimi zależności? Jak planować leczenie biorąc pod uwagę rozkład RBE i LET u pacjenta? - Wstępne wyniki kliniczne

Autor: Joanna Góra[1]

Współautorzy: Sarah Grosshagauer [2]; Mansure Schafasand [3]; Markus Stock [1]; Antonio Carlino [1]; Piero Fossati [1]

[1] *Centrum Terapii Jonowej MedAustron, Austria*

[2] *Uniwersytet Techniczny w Wiedniu, Austria*

[3] *Centrum Terapii Jonowej MedAustron, Austria; Uniwersytet Medyczny w Wiedniu, Austria*

Kontakt: joanna.gora@medaustron.at

Planowanie leczenia radioterapią jonami węgla opiera się na obliczeniu dawki biologicznej(RBE). Dowody kliniczne dotyczące CIRT zebrane w Japonii, oszacowano za pomocą mikrodozymetrycznego modelu kinetycznego(MKM), natomiast ośrodki europejskie stosują model efektu lokalnego(LEM). MedAustron zaadaptował japońskie schematy leczenia, ale optymizacja dawki opiera się na LEM, co wymagało dostosowania dawek tolerowanych dla OAR. Chociaż oba modele szacują dystrybucję RBE w tkance, translacja między nimi jest niejednoznaczna, a na ich związek wpływa wiele czynników.

Celem tego projektu była analiza dawek stosowanych w MedAustron, dla obu modeli RBE, oraz ocena wczesnych rezultatów klinicznych. Dodatkowo przedstawione zostały różne aspekty teoretyczne i praktyczne wpływające na ich relacje.

31 pacjentów leczonych planami optimizowanymi w LEM, przeliczono przy użyciu MKM. Wyodrębniono D1cm^3,D5cm^3,D0.1cm^3,D0.7cm^3,D10%,D20% dla odpowiednich OAR. Dopasowano krzywe dla tych wartości, co dało liniowo-kwadratowe modele translacji. Następnie oceniono toksyczność kliniczną.

Obecnie stosowane dawki tolerancyjne(LEM) były zgodne z zalecanymi limitami dla MKM (w przedziale -3,2-1,1Gy(RBE)), z wyjątkiem kilku przypadków, w których dane nie odpowiadały oczekiwanym trendom LEMvsMKM - dla nich wykryto toksyczność (bezobjawową). Przedstawione wyniki zainicjowały szczegółową analizę zależności między modelami,gdyż zgodność dawek LEM nie gwarantowała automatycznie spełnienia limitów dawek dla MKM.

Zrozumienie relacji między modelami pozwala połączyć doświadczenie europejskie z japońskim w CIRT. Niniejsze badanie podkreślą znaczenie wyboru optymalnych strategii planowania (liczba/kierunek wiązek,pozycja pików Bragga,gradienty dawek i wiele innych), zwłaszcza gdy rozważa się eskalację dawek tolerowanych do OAR.

Nasza zaktualizowana praktyka kliniczna zapewnia, że ograniczenia OAR muszą być spełnione dla obu modeli. Według naszej wiedzy, po raz pierwszy w procesie podejmowania decyzji klinicznych w CIRT,wiele modeli RBE jest ocenianych jednocześnie.

Badanie rozpraszania światła na strukturach polimerowych w żelach dozymetrycznych z wykorzystaniem laserowej tomografii komputerowej

Autorzy: Marta Marszewska[1]; Jakub Czubek[1]

Współautorzy: Marek Maryański [1]; Jakub Młodawski [1]; Pamela Pakuła [1]

[1] *Politechnika Gdańska*

Kontakt: jakub.czubek@pg.edu.pl, marmars1@pg.edu.pl

Dozymetria polimerowo-żelowa jest jedną z niewielu metod, która pozwala na obrazowanie rozkładu dawki oraz LET promieniowania jonizującego w przestrzeni trójwymiarowej z milimetrową rozdzielczością [1].
Badaniu poddano fantomy, w których w wyniku napromienienia powstają nano- i mikrostruktury polimerów różniące się wielkością i kształtem, w zależności od dawki, LET, rodzaju promieniowania, a być może też od mocy dawki. Teoria Mie-Debye'a pozwala na rozróżnianie kształtu i wielkości cząstek, jeżeli są one porównywalne z długością fali światła na nie padającego. Rozpraszanie światła w dozymetrach polimerowo-żelowych zbadano za pomocą laserowej tomografii komputerowej, w której mierzony współczynnik ekstynkcji światła w żelu jest funkcją dawki pochłoniętej oraz maksymalnego kąta rozpraszania światła, a także długości fali oraz współczynnika załamania światła w żelu. Pomiary wykonano na stanowiskach do badania statycznego rozpraszania światła, z wykorzystaniem przystawki do prototypowego laserowego tomografu, umożliwiającej jednowymiarowe skanowanie wzdłuż szklanych probówek cylindrycznych (w tej pracy: długość 20 cm, średnica zewnętrzna 1 cm).
Wyniki badań pokazują, że stosując odpowiednie modyfikacje w laserowym tomografie komputerowym można wzmocnić sygnał odpowiedzi dla dużych struktur polimerowych, które powstają w obszarach o wysokim LET.

Badania finansowane z grantów: Narodowa Agencja Wymiany Akademickiej Polskie Powroty 2019 oraz IDUB: ARGENTUM, TECHNETIUM, AURUM.

Literatura:
[1] M. J. Maryanski, et al. (2021). LET signature in laser CT of polymer gel dosimeters exposed to PBS proton therapy fields; potential enhancement of proton-therapy QA. 59 th ANNUAL CONFERENCE OF THE PARTICLE THERAPY CO - OPERATIVE GROUP Online Meeting, Prague, 4- 7 June 2021.

Badanie rozpraszania światła na strukturach polimerowych w żelach dozymetrycznych z wykorzystaniem laserowej tomografii komputerowej

Autorzy: Jakub Czubek[1]; Marta Marszewska[1]

Współautorzy: Marek Maryański [1]; Jakub Młodawski [1]; Pamela Pakuła [1]

[1] *Politechnika Gdańska*

Kontakt: marmars1@pg.edu.pl, jakub.czubek@pg.edu.pl

Dozymetria polimerowo-żelowa jest jedną z niewielu metod, która pozwala na obrazowanie rozkładu dawki oraz LET promieniowania jonizującego w przestrzeni trójwymiarowej z milimetrową rozdzielczością [1].
Badaniu poddano fantomy, w których w wyniku napromienienia powstają nano- i mikrostruktury polimerów różniące się wielkością i kształtem, w zależności od dawki, LET, rodzaju promieniowania, a być może też od mocy dawki. Teoria Mie-Debye'a pozwala na rozróżnianie kształtu i wielkości cząstek, jeżeli są one porównywalne z długością fali światła na nie padającego. Rozpraszanie światła w dozymetrach polimerowo-żelowych zbadano za pomocą laserowej tomografii komputerowej, w której mierzony współczynnik ekstynkcji światła w żelu jest funkcją dawki pochłoniętej oraz maksymalnego kąta rozpraszania światła, a także długości fali oraz współczynnika załamania światła w żelu. Pomiary wykonano na stanowiskach do badania statycznego rozpraszania światła, z wykorzystaniem przystawki do prototypowego laserowego tomografu, umożliwiającej jednowymiarowe skanowanie wzdłuż szklanych probówek cylindrycznych (w tej pracy: długość 20 cm, średnica zewnętrzna 1 cm).
Wyniki badań pokazują, że stosując odpowiednie modyfikacje w laserowym tomografie komputerowym można wzmocnić sygnał odpowiedzi dla dużych struktur polimerowych, które powstają w obszarach o wysokim LET.

Badania finansowane z grantów: Narodowa Agencja Wymiany Akademickiej Polskie Powroty 2019 oraz IDUB: ARGENTUM, TECHNETIUM, AURUM.

Literatura:
[1] M. J. Maryanski, et al. (2021). LET signature in laser CT of polymer gel dosimeters exposed to PBS proton therapy fields; potential enhancement of proton-therapy QA. 59 th ANNUAL CONFERENCE OF THE PARTICLE THERAPY CO - OPERATIVE GROUP Online Meeting, Prague, 4- 7 June 2021.

Wpływ czynników materiałowych i mechanicznych na odpowiedź radiochromiczną dozymetrów polimerowo-żelowych

Autorzy: Dominika Buszowiecka[1]; Dorota Rygielska[1]; Maja Sugier[1]; Michalina Ziółkowska[1]

[1] *Politechnika Gdańska ul. Gabriela Narutowicza 11/12 80-233 Gdańsk Polska*

W żelach dozymetrycznych obserwowana jest barwna odpowiedź na działanie promieniowania jonizującego zależna od zachodzenia reakcji polimeryzacji, na której przebieg i stabilność ma wpływ wiele czynników. Dozymetry żelowe umożliwiają rejestrację rozkładu dawki w trzech wymiarach z wysoką rozdzielczością przestrzenną. Ich zaletą jest wysoka równoważność tkankowa. Perspektywą badań jest udoskonalenie obecnie stosowanych systemów weryfikacji planów leczenia.

Celem pracy jest zbadanie wpływu temperatury, ciśnienia, zawartości tlenu oraz wybranych chemicznych modyfikacji żelatyny (stanowiącej bazową substancję żelującą).

Znaczenie temperatury zbadano pod kątem wpływu na polimeryzację oraz na mierzony współczynnik ekstynkcji optycznej [1, 2]. Temperaturę kontrolowano metodą wygrzewania w inkubatorze.

Wpływ ciśnienia analizowano pod kątem zmienności ciśnienia hydrostatycznego wynikającego z rozmiaru fantomu oraz wahań ciśnienia atmosferycznego, które mogą mieć wpływ na odpowiedź radiochromiczną (kontrolowaną zmienną niezależną było ciśnienie hydrostatyczne).

Tlen jest jednym z najsilniejszych inhibitorów polimeryzacji wolnorodnikowej. Analizowano źródła możliwych artefaktów spowodowanych niejednorodnością stężenia rozpuszczonego tlenu atmosferycznego, będącego istotnym czynnikiem powtarzalności odpowiedzi radiochromicznej dozymetru.

Celem chemicznych modyfikacji żelatyny było poszukiwanie formulacji żelu, która nie interferuje destruktywnie z przebiegiem odpowiedzi radiochromicznej, ale zapewnia wysoką stabilność w wystarczająco szerokim zakresie temperatur.

Finansowane przez Ministra Edukacji i Nauki ze środków z budżetu państwa w ramach programu „Studenckie koła naukowe tworzą innowacje", IDUB Plutonium, IDUB Technetium.

1. M.J. Maryanski et al. 1997. Effects of crosslinking and temperature on the dose response of a BANG polymer gel dosimeter. Phys.Med.Biol. 42, pp.303-311
2. M.J. Maryanski et al. 1994. Magnetic resonance imaging of radiation dose distributions using a polymer gel dosimeter. Phys.Med.Biol. 39, pp.1437-1455.

Badanie czynników wpływających na dokładność pomiaru rozkładu przestrzennego dawki głębokiej od terapeutycznych wiązek protonów w polimerowo-żelowych fantomach dozymetrycznych.

Autorzy: Marek Maryański[1]; Sylwia Szczepańska[2]

[1] *Politechnika Gdańska*

[2] *Politechnika Gdańska*

Trójwymiarowy rozkład dawki w fantomie dozymetrycznym może zostać wyznaczony poprzez rekonstrukcję rozkładu 3D współczynnika ekstynkcji optycznej przy pomocy komputerowej tomografii laserowej (LCT). W zależności od rodzaju żelu dozymetrycznego oraz konfiguracji tomografu współczynnik ekstynkcji może reprezentować dawkę pochłoniętą, a przy uwzględnieniu rozpraszania światła na nanostrukturach polimeru, również LET [1].

Celem niniejszej pracy jest zbadanie dokładności rozkładu liniowego (1D) dawki oraz LET w napromienionych dozymetrach polimerowo-żelowych w zależności od ustawienia próbki, apertury detektora oraz poszczególnych elementów LCT.

W pracy badano dozymetry polimerowo-żelowe umieszczone w długich próbówkach poddanych działaniu wiązek promieniowania o zmiennej dawce oraz LET. Dozymetry skanowane były wiązką lasera w kierunku równoległym do osi wzdłużnej probówki, ustawionej w płaszczyźnie prostopadłej do osi obrotu próbki w skanie tomograficznym (3D). Po przejściu przez badaną próbkę, wiązka lasera pada na soczewkę, następnie na przesłonę i detektor. Do rekonstrukcji gęstości optycznej wykorzystana została filtrowana projekcja wsteczna, zaimplementowana w środowisku matlab.

Wybór apertury wpływa na rejestrowane przez detektor natężenie światła rozproszonego pod małymi kątami („do przodu"). Konieczne jest ustalenie kilku optymalnych szerokości apertury w celu wydobycia jak największej ilości informacji podczas jednego skanu – zbyt szeroka może być źródłem artefaktów w rekonstrukcji tomograficznej, a zbyt wąska źródłem błędów w wyznaczaniu współczynnika ekstyncji. Analizowane zostały również metody unikania takich zagrożeń jak: zanieczyszczenia w płynie refrakcyjnym, nieregularność lub zanieczyszczenie soczewek, brak powtarzalności ustawienia probówki etc.

Badanie finansowane z grantu IDUB Radium.

[1] M. Maryański, High-Definition 3D Dosimetry for end-to-end patient-specific treatment delivery verification, Ch.10 w: Recent Advancements and Applications in Dosimetry, Nova Science Publishers (2018)

RADIOTERAPIA

Wyniki działalności Pracowni Wtórnych Wzorców Dozymetrycznych (PWWD) w latach 2017-2021

Autorzy: Ślusarczyk-Kacprzyk Wioletta [1]; Grabska Iwona[1]; Szymański Marcin[1]; Bulski Wojciech[1]; Kukołowicz Paweł[1]

[1] *Zakład Fizyki Medycznej, Narodowy Instytut Onkologii im. M. Skłodowskiej-Curie Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie*

W pracy przedstawiamy wyniki działalności PWWD będącej częścią Zakładu Fizyki Medycznej Narodowego Instytutu Onkologii im. M. Skłodowskiej-Curie Państwowego Instytutu Badawczego w Warszawie oferuje usługę wzorcowania zestawów dozymetrycznych. Od 2014 roku PWWD posiada akredytację PCA na zgodność z normą PN-EN ISO/IEC 17025 w zakresie wzorcowania dawkomierzy terapeutycznych w wiązkach Co-60 oraz Ir-192.

Pracownia jako wzorce wykorzystuje elektrometry Keithley 6517A z komorą NE 2571, Fluke 35040 z komorą TW30013 oraz Supermax 90018 z komorą typu TW30013 lub komorą TW33004.

Od 2014 roku PWWD posiada również akredytację PCA na zgodność z ww. normą w zakresie pomiaru dawki w wodzie metodą TLD. Pozwala to na coroczne zorganizowanie audytu dozymetrycznego dla ośrodków radioterapii w Polsce. Na potrzeby audytu jako detektor wykorzystywano proszek LiF typu MT-N wyprodukowany przez IFJ PAN w Krakowie. Do odczytu detektorów wykorzystywano czytnik PCL 3 firmy Fimel.

PWWD oferuje swoim klientom różne rodzaje audytów: w warunkach referencyjnych (pole 10 cm x 10 cm, w osi wiązki, głębokość położenia kapsułki z proszkiem 5 lub 10 cm) lub niereferencyjnych.
Wśród warunków niereferencyjnych najczęściej wybierane są „pola formowane przez MLC" oraz "pola niesymetryczne na osi i poza osią wiązki".

W ciągu ostatnich 5 lat wykonano wzorcowania ponad 700 zestawów dozymetrycznych, w tym około 350 komór jonizacyjnych typu Farmer i 84 komór studzienkowych. Wykonano audyt TLD dla ponad 675 wiązek (608 wiązek promieniowania X, 67 wiązek elektronów), w tym 117 wiązek niereferencyjnych.

PWWD przeprowadza również pilotażowe audyty np. fantomem z polistyrenu zawierającym zdefiniowane objętości PTV oraz OAR czy audyt end-to-end fantomem SHANE.

VMAT TOTALNIE dobry na wszystko?

Autorzy: Magdalena Peszyńska-Piorun; Piotr Mężeński; Dominika Figat-Biegała; Przemysław Janiak

Kontakt: peszynska.piorun@gmail.com

Wstęp: Pacjenci, u których stosuje się napromienianie całego ciała (TBI) są dużym wyzwaniem w ośrodkach, które nie dysponują Tomoterapią, ani nie wdrożyły techniki wielkopolowej. Alternatywą jest użycie techniki VMAT.

Materiał i Metody:

Do dnia dzisiejszego, dla dwóch pacjentów, Wykonano badanie tomografii komputerowej w ułożeniu Head First oraz Feet First. Do stabilizacji pozycji terapeutycznej użyto maski termoplastycznej na głowę i kolana oraz materac próżniowy w obszarze klatki piersiowej i miednicy. Plan leczenia wykonano w systemie planowania leczenia Eclipse 15.6, zastosowano energię 6MV, 11 izocentrów. Przepisana dawka całkowita to 12Gy/2Gy, dwa razy dzienni w odstępie 6h.

Do oceny planów leczenia zastosowano kryterium D98, D50 i D2 dla PTV, dawkę średnią dla nerek i dawkę średnią, V10 i D2 dla płuc. W celu zweryfikowania poprawności realizacji techniki wykorzystano matrycę EPID. Uzyskane rozkłady fluencji dla poszczególnych pól terapeutycznych połączono przy wykorzystaniu własnego oprogramowania napisanego w środowisku programistycznym Python, uwzględniając odpowiednie odległości pomiędzy izocentrami. Zgodność pomiędzy obliczonym i zmierzonym pełnym rozkładem fluencji przeprowadzono przy wykorzystaniu analizy gamma (3%, 2mm).

Rezultaty: W obydwu przypadkach spełniono kryterium dla PTV D98>95%. Dawka średnia dla nerek: 6,8Gy i 8,0Gy. Dawka średnia sumy płuc- 8,2Gy oraz 9,8Gy. V10 sumy płuc poniżej 50%. Zredukowano również dawkę dla mózgu, oczu, soczewek, jelit, wątroby, pęcherza moczowego oraz żuchwy.

Wnioski: Technika VMAT jest bardzo dobrą alternatywą dla ośrodków niedysponujacych Tomoterapią. Minusem VMAT jest długi czas przygotowania planu i stosunkowo długi jego czas realizacji na aparacie. Daje jednak możliwoś uzyskania konformalnego rozkładu dawki przy jednoczesnym obniżeniu dawki na narządy krytyczne.

Prototypowa metoda skrócenia czasu skanowania w transmisyjnej tomografii laserowej dla trójwymiarowej dozymetrii żelowej w radioterapii

Autorzy: Julia Leszczyńska[1]; Marek Maryański[1]

[1] *Politechnika Gdańska*

Trójwymiarowa tomografia laserowa jest najdokładniejszą dotychczas metodą odczytu informacji o rozkładzie przestrzennym dawki głębokiej promieniowania jonizującego zakodowanej chemicznie w napromieniowanych tkankopodobnych fantomach polimerowo-żelowych. Informacja ta jest niezbędna do weryfikacji planów leczenia w radioterapii. Aktualnie metoda ta jest bardzo czasochłonna.

Celem pracy jest analiza czynników wpływających na czas skanu w optycznej tomografii laserowej żeli dozymetrycznych, a także przetestowanie prototypowej metody skrócenia czasu skanowania.

Zaproponowana metoda polega na zastąpieniu silnika krokowego, odpowiadającego za oscylację wiązki lasera w tomografie, znacznie szybciej działającym układem rezonansowym. Ponadto zwiększeniu ulega moc wiązki skanującego lasera oraz szybkość akwizycji danych na przetworniku analogowo-cyfrowym. Całość kontrolowana jest przez program stworzony w środowisku Matlab. Skanowi poddano szklaną kulę wypełnioną polimerowym żelem dozymetrycznym.

Badania pokazują, że możliwe jest uzyskanie czasu skanu krótszego niż 5 minut, co w porównaniu z obecnym czasem 40 minut byłoby dużym osiągnięciem.

Badanie finansowane z grantu IDUB Radium.

Bibliografia:

[1] Maryanski, MJ, 2018. High-Definition 3D Dosimetry for End-to-End Patient-Specific Treatment Delivery Verification. Monograph chapter No. 10, in: "Recent Advancements and Applications in Dosimetry". Ed. Maria F. Chan. Nova Science Publishers, ISBN: 978-1-53613-759-0 (hardcover)

[2] Al Kafi MA, et al., 2021. Performance of a new commercial high-definition 3D patient specific quality assurance system for CyberKnife robotic radiotherapy and radiosurgery. Radiation Measurements Volume 143, April 2021, 106568 ELSEVIER

Ilościowe metody porównywania izodoz przestrzennych rozkładów dawki zaplanowanej i zrealizowanej w kontroli jakości w radioterapii.

Autorzy: Mateusz Baran; Zbisław Tabor[1]; Damian Kabat; Monika Tulik; Kinga Jeleń; Krztsztof Rzecki; Bohdan Forostianyi Konrad Bałabuszek; Robert Koziarski; Michael Waligórski

[1] *AGH University of Science and Technology*

Analiza gamma i specyficzne dla pacjenta miary jakości oparte na DVH, powszechnie stosowane w planowaniu radioterapii, nie są w stanie jednocześnie dostarczyć szczegółowych lokalizacji i wielkości rozbieżności między izodozami planowanych i dostarczonych przestrzennych rozkładów dawek. Wykorzystując miary statystyczne stosowane m.in. w ocenie jakości klasyfikacji, zgodność między planowaną i dostarczoną izodozą można ocenić dla dowolnej izodozy.
Opracowano metodę szacowania i raportowania różnic pomiędzy izodozami przestrzennych trójwymiarowych planowanych (referencyjnych) i dostarczanych (ocenianych) rozkładów dawek w funkcji poziomu dawki i lokalizacji przestrzennej. Na dowolnym poziomie izodozy całkowita objętość obszaru objętego izodozą referencyjną i ocenianą jest rozkładana na cztery podregiony: prawdziwie dodatnie – podregiony w obrębie izodoz referencyjnych i ocenianych, prawdziwie ujemne – poza obiema izodozami, fałszywie dodatnie – w ocenianej izodozie, ale nie w izodozie referencyjnej, a wyniki fałszywie ujemne – wewnątrz izodozy referencyjnej, ale nie w izodozie ocenianej. Na podstawie takiej dekompozycji obliczane są różne wskaźniki w celu ilościowego określenia rozbieżności między planowanymi i dostarczonymi izodozami. Trójwymiarowa projekcja i wizualizacja przestrzennego rozkładu tych rozbieżności ułatwia zastosowanie opracowanej metody w praktyce klinicznej.
Opracowaną metodą poddano analizie kilkadziesiąt planów klinicznych radioterapii fotonowej. W niektórych planach przy pewnych poziomach izodozy stwierdzono błędy w podawaniu dawki w anatomicznie istotnych lokalizacjach. Błędy te nie zostały w inny sposób uwidocznione – ani przez analizę gamma, ani przez pomiary QA oparte na DVH. Specjalnie opracowane narzędzie do wizualizacji przestrzennego rozkładu takich błędów na tle anatomicznych cech pacjenta pomaga w proponowanej analizie planów terapii.

Weryfikacja ułożenia pacjenta przy użyciu złotych markerów GoldAnchor® wszczepionych do wątroby w radiochirurgii CyberKnife

Autor: Krzysztof Szczepanik[1]

Współautorzy: Ewa Telka [1]; Bożena Jochymek [1]; Aleksandra Grządziel [2]; Łukasz Kapek [3]; Joanna Prażmowska [3]; Marek Kijonka [3]; Maria Sokół [3]

[1] *Zakład Radioterapii, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie PIB Oddział w Gliwicach, Gliwice*

[2] *Zakład Planowania Radioterapii, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie PIB Oddział w Gliwicach, Gliwice*

[3] *Zakład Fizyki Medycznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie PIB Oddział w Gliwicach, Gliwice*

Kontakt: krzysztof.szczepanik@io.gliwice.pl

Wstęp
Położenie markerów GoldAnchor widocznych na obrazie stanowi punkt odniesienia dla lokalizacji i korekcji ułożenia chorego podczas napromieniania. Celem pracy było określenie wartości migracji stosowanych znaczników śródtkankowych, implantowanych do wątroby oraz ocena ich widoczności w obrazie TK, MRI oraz systemie weryfikacyjnym planowania i realizacji radioterapii.

Materiały i metody
Analiza obejmowała 66 chorych leczonych przy użyciu aparatu CyberKnife VSI w Zakładzie Radioterapii NIO-PIB oddział Gliwice. U każdego chorego wszczepiono przezskórnie do wątroby od 2 do 5 znaczników. Wartość migracji oraz zmiana geometrii układu wszczepionych markerów określona została na podstawie porównania odległości pomiędzy punktami centralnymi implantowanych znaczników z użyciem zdjęć weryfikacyjnych.

Wyniki
Wartość średnia zmiany odległości pomiędzy znacznikami wraz z odchyleniem standardowym wyniosła 0.53 mm, SD 0.86 mm. Wartość maksymalna zmiany odległości pomiędzy znacznikami wyniosła 2.5 mm. Nie zaobserwowano żadnego przypadku migracji znacznika poza obszar wątroby. U 50% chorych, pomimo wszczepienia co najmniej 3 znaczników, system wykrywał tylko 2, a w grupie 16% chorych system wykrywał tylko jeden znacznik na zdjęciach weryfikacyjnych. U wszystkich chorych, gdzie niemożliwa była weryfikacja z wykorzystaniem 3 znaczników, implantowane markery miały postać rozwiniętą lub występowały w obu postaciach: rozwiniętej i prawidłowej zwiniętej. W przypadku chorych, u których wszystkie znaczniki miały postać zwiniętą, system prawidłowo wykrywał co najmniej 3 znaczniki. We wszystkich przypadkach znaczniki (niezależnie od postaci) były widoczne w obrazach TK i MRI na etapie planowania leczenia.

Wnioski
Zastosowany znacznik śródtkankowy GoldAnchor w postaci zwiniętej nie migruje w miąższu wątroby w trakcie całego procesu radioterapii. Kształt wszczepionych znaczników determinuje zdolność ich wykrywania przez system weryfikacyjny CyberKnife.

Porównanie danych dozymetrycznych wiązki elektronowej HDTSe wytwarzanej przez przyspieszacze liniowe Clinac 23Ex i TrueBeam firmy Varian wykorzystywanej w terapii napromieniania całej skóry TSEI.

Autorzy: Bożena Woźniak[1]; Adam Bekman[1]

Współautorzy: Beata Niewiadomska [1]; Marek Kijonka [1]; Małgorzata Ganowicz [2]; Joanna Prażmowska [1]; Aleksandra Woźnica [1]; Jacek Wendykier [3]; Aneta Wajda [1]; Łukasz Kapek [1]; Maria Sokół [1]; Andrzej Orlef [1]

[1] *Zakład Fizyki Medycznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie PIB Oddział w Gliwicach, Gliwice*

[2] *Zakład Fizyki Medycznej, Radomskie Centrum Onkologii, Radom*

[3] *Zakład Planowania Radioterapii, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie PIB Oddział w Gliwicach, Gliwice*

Kontakt: bozena.wozniak@io.gliwice.pl, adam.bekman@io.gliwice.pl

Wprowadzenie
Napromienianie całej skóry wiązkami elektronowymi *TSEI* (*Total Skin Electron Irradiation*) jest jednym ze sposobów leczenia pierwotnych chłoniaków skóry z komórek T, głównie ziarniniaka grzybiastego. Metoda ta wykorzystuje zmodyfikowaną wiązkę elektronową o niskiej energii i wysokiej mocy dawki *HDTSe* (High Dose Rate Total Skin electron), która penetruje powierzchniowe warstwy skóry.

Cel
Rozwój akceleratorów firmy *Varian* spowodował zastępowanie linii *Clinac* przez *TrueBeam*. Celem pracy było zebranie i porównanie danych dozymetrycznych wiązki elektronowej o nominalnej energii 6MeV dla wymienionych przyspieszaczy w tych samych warunkach geometrycznych.

Materiały i metody
Realizacja procedury opiera się na technice *Stanforda* (metoda sześciu pól dualnych) i wymaga niestandardowych pomiarów dozymetrycznych (duża odległość SSD, brak aplikatora, pole 36x36cm2).
Badania obejmowały: pomiary profili X i Y dla pojedynczej wiązki (kąt gantry 90st), określenie optymalnego kąta gantry dla złożenia dwóch pól w celu osiągnięcia jednorodnej dawki, pomiar procentowej dawki głębokiej, wyznaczenie jakości wiązki R50, pomiar wydajności w warunkach referencyjnych dla procedury TSEI oraz obliczenie czasu napromieniania.
Pomiary wykonano w fantomie antropomorficznym oraz PMMA z zastosowaniem komory typu Roos i filmów *Gafchromic EBT3* zgodnie z raportami *IAEA TRS-398* oraz *AAPM no 23*.

Wyniki
Odpowiednio dla *Clinac* 23Ex i *TrueBeam* otrzymano następujące wyniki (warunki referencyjne *TSEI*): odchylenie od osi horyzontalnej kąta gantry ±18st i ±17st, R50 0.95g/cm2 i 1.02g/cm2, moc dawki dla dmax 0.125cGy/JM (*HDTSe* 888JM/min) oraz 0.049cGy/JM (*HDTSe* 2500JM/min).

Wnioski
Niezbędne parametry oraz wydajność wiązki *HDTSe* w warunkach *TSEI* potrzebne do obliczenia czasu napromieniania różnią się dla aparatów *Clinac* i *TrueBeam*. Otrzymanie optymalnych rozkładów dawek wymaga wykonania re-commissioningu przyspieszacza *TrueBeam*.

Weryfikacja metodą obliczeniową dawki zaplanowanej w radioterapii neuralgii nerwu trójdzielnego przy użyciu aparatu CyberKnife

Autor: Joanna Prażmowska[1]

Współautorzy: Aleksandra Woźnica [1]; Łukasz Kapek [1]; Marek Kijonka [1]; Jacek Wendykier [2]; Beata Niewiadomska [1]; Bożena Woźniak [1]; Adam Bekman [1]; Andrzej Orlef [1]; Maria Sokół [1]

[1] *Zakład Fizyki Medycznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie PIB Oddział w Gliwicach, Gliwice*

[2] *Zakład Planowania Radioterapii, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie PIB Oddział w Gliwicach, Gliwice*

Kontakt: joanna.prazmowska@io.gliwice.pl

Zgodnie z obowiązującymi przepisami wartość dawki w planie leczenia pacjenta powinna zostać zweryfikowana przez niezależne obliczenia lub pomiar. Niewielkie wymiary objętości tarczowej w radioterapii nerwu trójdzielnego powodują, że uzyskiwane wyniki pomiarów często są niemiarodajne. Niniejsza praca prezentuje autorską metodę szybkich i niezależnych obliczeń dawki bezwzględnej.

Materiały i metody
Analizie poddano 11 planów radioterapii nerwu trójdzielnego przy użyciu aparatu CyberKnife VSI (Accuray), w których planowana objętość tarczowa wynosiła od 8.7 do 20.7 mm3 (mediana 16.1 mm3).
Dawki wyznaczone przez system planowania MULTIPLAN (Accuray) porównano z rezultatami autorskiej metody BeamAutomat, opracowanej przez fizyków Zakładu Fizyki Medycznej NIO-PIB w Gliwicach oraz komercyjnego oprogramowania RadCalc wersja 7.1.4.1 (Lifeline Software).
Dawka w punkcie została obliczona na podstawie przekształconego formalizmu do wyznaczenia liczby jednostek monitorowych, zgodnego z raportem AAPM TG 114. Większość parametrów niezbędnych do obliczenia dawki wyznaczono poprzez interpolację liniową między punktami pomiarowymi. Wartości TMR dla wymiaru pola napromieniania mniejszego niż 5 mm zostały zamodelowane przy użyciu estymacji wielomianem 6 rzędu metodą najmniejszych kwadratów, wykorzystując dane pomiarowe 12 kolimatorów stałych.

Wyniki
Porównanie z systemem planowania 1177 pól napromieniania wykazało różnicę dawek w przedziale ±1.0% dla 93.5% wiązek w przypadku BeamAutomat oraz 87.3% dla obliczeń w RadCalc. Dla poszczególnych planów różnica między dawką zaplanowaną a obliczoną wynosiła średnio 0.07% dla BeamAutomat i 0.27% dla programu RadCalc.

Wnioski
Metoda obliczeniowa zastosowana w autorskim projekcie BeamAutomat wykazała większą zgodność z systemem planowania niż oprogramowanie komercyjne. Zaproponowana metoda pozwala zweryfikować dawkę obliczoną i tym samym może stanowić jeden ze sposobów spełnienia wymogów prawa pozwalających napromieniać nerw trójdzielny.

Zastosowanie algorytmów uczenia maszynowego w weryfikacji dozymetrycznej pacjentów

Autor: Karolina Milewska[1]

Współautorzy: Józef Ginter [1]; Paweł Kukołowicz [2]; Bartłomiej Sadowski [2]

[1] *Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski*

[2] *Zakład Fizyki Medycznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie*

Kontakt: milewska_k@wp.pl

OPIS: W ostatnich latach coraz większą popularność zyskuje zastosowanie algorytmów uczenia maszynowego w medycynie. Ciekawym aspektem jest zastosowanie algorytmów w weryfikacji dozymetrycznej pacjentów.
CEL: Celem tego projektu jest wykorzystanie uczenia maszynowego do przewidywania parametru gamma dla kryteriów 2 % / 2 mm w dla pacjentów leczonych techniką VMAT.
METODA: Pierwszym etapem tego projektu było pozyskanie danych. Wykorzystano plany terapeutyczne oraz weryfikacje dozymetryczne z dozymetrii Portalowej (weryfikacja EPID) pacjentów onkologicznych leczonych w Narodowym Instytucie Onkologii, Państwowym Instytucie Badawczym im. Marii Skłodowskiej Curie w Warszawie, gdzie używane są akceleratory liniowe TrueBeam, firmy Varian (Palo Alto, USA). Do tego celu został stworzony skrypt w języku AutoHotKey. Z programu Portal Dosimetry pozyskano pliki dicom z planów leczenia: RT Plan, RT Image (predicted oraz measured) oraz wyniki z analizy gamma index w postaci pliku txt. Dane pochodziły z całego roku 2020, co dało ok. 1600 planów terapeutycznych. Wszystkie pliki zostały zanonimizowane. Drugim etapem projektu, było stworzenie bazy danych. Z plików zostały wydobyte wybrane parametry dla każdego planu leczenia (dawka frakcyjna, kąt kolimatora, pole szczęk, MCS – modulation complexity score), które następnie zostały użyte w modelach uczenia maszynowego jako dane wejściowe. Jako danych wyjściowych użyto parametru gamma index 2% / 2 mm. Trzecim etapem było wytrenowanie i przetestowanie różnych algorytmów uczenia maszynowego na tak przygotowanych parametrach, z użyciem biblioteki Scikit-Learn. Wykorzystano modele regresji liniowej i logistycznej, drzew decyzyjnych, losowego lasu
oraz algorytmy wzmacniające (AdaBoost, XGBoost).
WYNIKI: Zaprezentowane zostaną wyniki weryfikacji dozymetrycznej uzyskane za pomocą algorytmów uczenia maszynowego. Pierwsze rezultaty okazują się być bardzo obiecujące.

DIBHmotylFFF - czyli zastosowanie wiązek bezfiltrowych do napromieniania piersi lewej na wstrzymanym głębokim wdechu.

Autor: Aneta Kawa-Iwanicka[1]

[1] *NU-MED Katowice*

Celem prezentacji jest przedstawienie opracowanej i wdrożonej do realizacji metody sprawnego napromieniania pacjentek z zastosowaniem kombinacji wiązki bezstożkowej (6MVFFF) na głębokim wstrzymanym wdechu (DIBH) z wykorzystaniem układu naprzeciwległych skróconych łuków dynamicznych (VMAT) w układzie skrzydeł motyla. Opisywana technika dotyczy przygotowania planu oraz jego realizacji na akceleratorach firmy Elekta z kolimatorem MLC Agility (5mm), jednakże może zostać z powodzeniem zaimplementowana z zastosowaniem innych odpowiedników sprzętu. Technika „motylkowa" znajduje zastosowanie głównie w radioterapii węzłów chłonnych śródpiersia. Zmodyfikowana wersja tej geometrii z powodzeniem została przyjęta do rutynowego zastosowania w naszym ośrodku – dotychczas skorzystało z niej około 100 pacjentek zakwalifikowanych do napromieniania samej piersi po leczeniu oszczędzającym (PTV42,5Gy) jak i piersi z węzłami nadobojcza (PTV45Gy).
Porównano rozwiązanie zaproponowanej techniki ze stosowanym do tej pory układem jednego łuku obejmującego całą pierś zarówno na wstrzymanym wdechu, jak i na oddechu swobodnym (FB).
Opracowana technika DIBHmotylFFF pozwala na szybkie napromienienie piersi lewej ze względu na kątowo krótkie naprzeciwległe łuki tangencjalne (około 350 MU/łuk) oraz emisję wiązki bezstożkowej (max 1400 MU/min), co w przypadku wstrzymanego oddechu jest istotnym elementem tego rodzaju terapii. Dobór parametrów optymalizacji w planie techniką motylkową pozwala na ograniczenie w znacznym stopniu obszaru niskich dawek w zdrowych tkankach pacjenta (V5%), obniżenie średniej dawki na serce i zdrową pierś poniżej D<3 Gy oraz na ograniczenie dawki 18Gy w tkance płucnej po stronie leczonej, przy jednoczesnym zachowaniu akceptowalnego pokrycia targetu dawką przypisaną dla PTV. Łączy więc benefity klasycznych pól tangencjalnych i techniki VMAT. Realizacja radioterapii odbywa się z zastosowaniem monitoringu online powierzchni ciała pacjenta (firmy VisionRT).

AQURE - akcelerator do śródoperacyjnej radioterapii elektronami – założenia, techniczne innowacje i wyniki QA

Autor: Agnieszka Misiarz[1]

[1] *Narodowe Centrum Badań Jądrowych*

Cel
Tylko kilka rodzajów akceleratorów jest dedykowanych IOERT. Kolejny został zbudowany przez Narodowe Centrum Badań Jądrowych we współpracy z Wielkopolskim Centrum Onkologii i HITEC.
Celem projektu było stworzenie urządzenia mobilnego o szerokim zakresie ruchów i energii, odpowiedniej dokładności i powtarzalności podawania dawki.
Metody
Autorzy przeanalizowali rekomendacje, publikacje oraz wieloletnie doświadczenia własne dotyczące klinicznego wykorzystania procedur IOERT do stworzenia głównych założeń urządzenia. Dokumentacja produkcyjna (konstrukcja, technologia i oprogramowanie) została opracowana i zoptymalizowana w celu maksymalizacji ergonomii i użyteczności urządzenia. Wybrane rozwiązania zostały przetestowane metodą Monte Carlo (Geant4). Pomiary dozymetryczne i kalibrację wykonano detektorem microSilicon PTW – krzywe głębokościowe; Advanced Marcusa PTW- dawka absolutna; cylindryczna komora jonizacyjna PTW 30 cm3 – kerma.
Wyniki
Nowy akcelerator generuje wiązki elektronów o energiach w zakresie 4-12MeV (R80 – 14-38±2mm) z maksymalną mocą dawki 10Gy/min przy SSD 60cm i aplikatorach okrągłych (średnice: 50 – 100mm; końce proste i cięte pod kątem). Konstrukcja folii rozpraszających została zoptymalizowana za pomocą symulacji Monte Carlo, aby zminimalizować zanieczyszczenie wiązek elektronów fotonami. Został również zoptymalizowany i zasymulowany systemu formowania wiązki tak, aby było możliwe zastosowanie aplikatorów przeźroczystych, które spełniają wymagania normy IEC dla promieniowania rozproszonego.
Wnioski
Rezultatem wspólnego projektu NCBJ WCO i HITEC jest w pełni mobilny akcelerator spełniający wszystkie normy IEC z użytecznymi wiązkami dopuszczalnymi terapeutycznie, a co za tym idzie umożliwia certyfikację na zgodność z dyrektywą unijną dla wyrobu medycznego (znak zgodności CE).

Gamma Knife Icon - nowe funkcje i możliwości

Autor: Mariusz Gruda[1]

[1] *Centrum Gamma Knife Warszawa*

Cel:
W styczniu 2022r. Centrum Gamma Knife w Warszawie przeszło aktualizację do nowej wersji aparatu Gamma Knife Icon. Celem pracy jest przedstawienie nowych funkcji i możliwości aparatu GK Icon na podstawie materiałów i doświadczeń z innych ośrodków oraz omówienie wyzwań w zarządzaniu przepływem pracy w stosunku do tradycyjnego aparatu GK.

Metody:
W stosunku do swojego poprzednika (GK Perfexion) – GK Icon został wyposażony w narzędzia do kontroli jakości leczenia: Cone-beam computed tomography (CBCT) oraz High Definition Motion Management (HDMM). Dodatkowo posiada możliwość unieruchomienia pacjenta przy pomocy maski termoplastycznej lub nowej wersji ramy stereotaktycznej (Vantage). Trzypunktowa maska daje możliwość leczenia frakcjonowanego z dużo większym komfortem dla pacjenta. Natomiast rama Vantage jest lżejsza i bardziej wszechstronna w stosunku do ramy typu G. Tomografia komputerowa wiązki stożkowej jest skalibrowana do systemu pozycjonowania pacjenta Leksell, co daje możliwość leczenia na postawie stereotaktycznego CBCT (bez użycia ramy). Dodatkowo CBCT może być wykorzystywane do weryfikacji dokładności pozycjonowania pacjenta w każdej frakcji napromieniania. Na podstawie badania CBCT istnieje możliwość przeliczenia rozkładu dawki dla aktualnej pozycji pacjenta oraz możliwość automatycznej adaptacji planu w przypadku napromieniania w masce. System HDMM, składający się z dwóch kamer na podczerwień i zestawu znaczników, służy do śledzenia ewentualnych ruchów pacjenta podczas leczenia. Ponadto system do planowania GammaPlan został wyposażony w narzędzie optymalizacji dawki Lightning, które umożliwia automatyczne tworzenie planów.

Wnioski:
GK Icon otwiera nowe możliwości dla SRS/SBRT mózgu, ale także stawia pewne wyzwania. Przepływ pracy dla GK Icon jest znacznie bardziej skomplikowany, co wymaga przygotowania merytorycznego, więcej zasobów klinicznych i dodatkowych testów QA.

Badania wybranych własności mechanicznych wydruków 3D pod kątem ich zastosowania w radioterapii

Autorzy: Justyna Prochal[1]; Magdalena Mucha[2]; Andrzej Chmiel[2]; Sebastian Wroński[1]; Jacek Tarasiuk[1]; Katarzyna Matusiak[1]

[1] *Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Al. Mickiewicza 30,30-059 Kraków*

[2] *Uniwersytecki Szpital Dziecięcy, Zakład Radioterapii Dzieci i Dorosłych, ul. Wielicka 265, 30-663 Kraków*

Kontakt: katarzyna.matusiak@fis.agh.edu.pl

Głównym celem radioterapii jest dostarczenie do objętości tarczowej guza takiej dawki, która pozwoli na uzyskanie optymalnego efektu leczniczego. W przypadku zmian nowotworowych położonych płytko pod skórą, efekt narastania zdeponowanej dawki wraz z głębokością sprawia, że do obszaru tarczowego może nie zostać dostarczona zaplanowana jej ilość. W takich przypadkach, w celu uzyskania jednorodnego rozkładu dawki pod powierzchnią skóry, najczęściej stosowane są bolusy wykonane z materiałów żelowych. Niestety zdarza, że nie przylegają one idealnie do ciała generując pojawienie się przerw powietrznych, a w efekcie zaburzenie oczekiwanego rozkładu dawki. Rozwiązaniem mogą być bolusy projektowane indywidualnie dla każdego pacjenta, a następnie drukowane na drukarce 3D. Celem niniejszej pracy było zbadanie wpływu promieniowania jonizującego na własności mechaniczne wydruków 3D pod kątem ich trwałości, a co za tym idzie możliwości zastosowania w radioterapii. Próbki pomiarowe zostały wydrukowane z filamentu PET-G, który cechuje się dobrymi parametrami wytrzymałościowymi. Na podstawie wcześniejszych badań wybrano 70% wypełnienie wydruku. Naświetlanie wykonywano raz dziennie dawką 2 Gy, wiązką fotonów przy użyciu akceleratora firmy Elekta. Próbki zostały podzielone na 4 grupy: grupa kontrolna, która nie była naświetlana oraz 3 grupy, które otrzymały łączną dawkę: 20 Gy, 40 Gy oraz 70 Gy. W celu sprawdzenia właściwości mechanicznych wykonano 3 testy: próbę rozciągania, zgniatania oraz zginania. Na podstawie otrzymanych danych sporządzono wykresy zależności odkształcenia nominalnego od naprężenia nominalnego. Wykazano, że promieniowanie jonizujące wpływa na własności wytrzymałościowe oraz plastyczne badanego materiału. Zależność ta, choć niejednoznaczna dla małych dawek, staje się wyraźna dla dużych. Dodatkowo wykazano również duży wpływ orientacji drukowania na późniejszą wytrzymałość wydruku.

Ocena wpływu dwóch metod specyfikowania dawki na rozkład dawki guzów płuca w radioterapii stereotaktycznej

Autorzy: Agnieszka Skrobała[1]; Justyna Kosmowska[2]; Marta Kruszyna-Mochalska[3]

[1] *Katedra i Zakład Elektroradiologii, Uniwersytet Medyczny w Poznaniu; Zakład Fizyki Medycznej, Wielkopolskie Centrum Onkologii*

[2] *Zakład Fizyki Medycznej, Wielkopolskie Centrum Onkologii*

[3] *Katedra i Zakład Elektroradiologii, Uniwersytet Medyczny w Poznaniu; Zakład Fizyki Medycznej, Wielkopolskie Centrum Onkologii*

Kontakt: agnieszka.skrobala@wco.pl

Celem pracy była ocena wpływu dwóch metod specyfikowania dawki na rozkład dawki guzów płuca lewego leczonych radioterapią stereotaktyczną.
Przeanalizowano 10 planów (3 pół-łuków VMAT 6XFFF). Pacjenci zostali zaplanowani przy użyciu dwóch metod specyfikowania dawki zadanej, 50Gy/5fr, pierwsza metoda; dawka była zadawana na izodozę 80% (plan 80%), druga na izodozę 100% (plan 100%) obejmującą PTV; normalizowano dawkę: 98% dawki zadanej otrzymanej 98% PTV.
Oba plany porównano stosując parametry oceny dawki oraz liczba jednostek monitora (MU). Weryfikacje dozymetryczną wykonano wykorzystując EPID i fantom Octavius 4D z matrycą SRS 1600, metodą gamma zgodność ≥95%, z kryteriami w podejściu globalnym (G) i lokalnym (L) z progiem 10%. Dawka punktowa została zweryfikowana w fantomie QUASAR i komory Pinpoint.
Zaobserwowano istotną różnicę zarówno w parametrach Dmax i D2% PTV na korzyść (plan 80%) ($p<0,01$). W (planie 80%) osiągnięto niższe wartości dla ściany klatki piersiowej Dmean: 7,07Gy vs. 8,65Gy, płuca 3,15Gy vs. 3,19Gy, lewe płuco 5,61Gy vs. 5,77Gy i Dmax rdzeń kręgowy 10,05GY vs. 16,84Gy. Średnia MU (plan 80%) wynosił 3644MU i 3305MU (plan 100%). Wyniki zgodności ≥95% uzyskano dla przyjętych kryteriów oceny metodą gamma dla obu planów. Średnia różnica pomiędzy dawkami punktowymi i obliczonymi wynosiła – 0,7Gy (plan 80%) i -0,48Gy (plan 100%).
Dawki dla narządów krytycznych były porównywalne dla obu metod specyfikowania dawki. Jednak w (planie 80%) zwiększono dawkę wewnątrz PTV, jednocześnie zmniejszając dawki dla tkanek otaczających. Parametry jakościowe planu były wyższe lub nieco wyższe (plan 80%). Wynik weryfikacji dozymetrycznej w (plan 80%) i (plan 100%) był zgodne z założonymi kryteriami niezależnie od metod dozymetrycznej.

Ocena zastosowania ultrasonografu PINIT do kontroli wypełnienia pęcherza moczowego podczas radioterapii.

Autor: Maria Poncyljusz[1]

Współautor: Maria Piziorska [1]

[1] *Centrum Radioterapii CSK MSWiA w Warszawie*

Cel:
Powszechnie stosowaną metodą pozwalającą na weryfikację objętości pęcherza moczowego podczas radioterapii jest tomografia komputerowa wiązką stożkową (CBCT). Metoda ta wiąże się z poddaniem pacjenta działaniu promieniowania jonizującego. Narzędziem, które umożliwia wielokrotne i bezpieczne przeprowadzenie pomiaru objętości pęcherza jest ultrasonograf PINIT (USG).
Celem badania było sprawdzenie zgodności pomiarów wykonanych za pomocą USG z wartościami wyznaczonymi na podstawie CBCT.
Materiały i metody:
W pracy zaplanowano wykonanie 100 pomiarów wielkości pęcherza moczowego (badanie jest kontynuowane, termin zakończenia 31.08.2022r).
Grupę chorych stanowią pacjenci napromieniani w obszarze miednicy. Przy użyciu USG przeprowadzane jest skanowanie pęcherza w dwóch prostopadłych przekrojach, po czym automatycznie obliczana jest jego objętość (tryb AUTO). Bezpośrednio po badaniu USG wykonywane jest CBCT. Wartości uzyskane z USG porównywane są z wartościami otrzymanymi na podstawie CBCT.
Wyniki:
Początkowa analiza objęła 24 badania. Objętości pęcherza zmierzone przy użyciu USG zmieniały się od 107cm3 do 447cm3. Po porównaniu tych wartości z wyznaczonymi na podstawie CBCT, stwierdzono, że w 15 na 24 przypadkach różnice w objętości pęcherza nie przekraczały maksymalnego błędu pomiarowego podanego przez producenta (+/- 15%).
Wnioski:
Wstępne analizy wykazały, że USG pozwala na szacunkową ocenę wypełnienia pęcherza. Możliwość wielokrotnego wykonania USG eliminuje konieczność powtarzania CBCT u pacjentów, u których występuje problem z wypełnieniem pęcherza moczowego.
Jako przyczyny odnotowanych rozbieżności zasugerowano:
• trudności w wykonaniu USG u chorych z przepukliną brzuszną, otyłością, zrostami pooperacyjnymi
• występowanie w USG hipoechogenicznych struktur
• występowanie artefaktów w CBCT
Ponieważ algorytm stosowany w trybie AUTO może być niewystarczający w opisanych przypadkach, zaplanowano zastosowanie trybu ręcznego podczas kolejnych pomiarów USG.

Zastosowanie techniki VMAT w napromienianiu mózgowia z ochroną hipokampa

Autor: Łukasz Szczurek[1]

[1] *Affidea Międzynarodowe Centrum Onkologii w Poznaniu*

Wstęp. W ostatnich latach coraz bardziej popularne stają się techniki napromieniania chorych na nowotwory mózgowia umożliwiające ochronę hipokampa. Wpływa to znacząco na poprawę jakości życia pacjentów po napromienianiu w aspekcie funkcji poznawczych, za które ten narząd jest odpowiedzialny.
Materiał i metoda. Analizie poddano 10 pacjentów z przerzutami w mózgu, u których napromieniowano całe mózgowie w technice hiperfrakcjonacji (30Gy/10fr). Dla każdego pacjenta wykonano trzy punktową maskę termoplastyczną w celu zapewnienia odtwarzalności położenia w trakcie leczenia. Dokładne zlokalizowanie hipokampa oraz innych narządów krytycznych było możliwe dzięki wykonaniu dodatkowego badania z wykorzystaniem rezonansu magnetycznego. Plany leczenia wykonano w systemie planowania leczenia Monaco z użyciem fotonów o nominalnym potencjale przyśpieszającym 6MV oraz algorytmu obliczeniowego Monte Carlo. Zastosowano technikę VMAT zawierającą 6 podwójnych łuków ze skręconym kolimatorem. Do analizy planów leczenia wykorzystano zalecenia dozymetryczne opisane w badaniu klinicznym NRGG-CC01. Obszar mózgowia zdefiniowano jako PTV, gdzie dopuszczalna dawka maksymalna Dmax wynosiła ≤37.5Gy, D98% wynosiła powyżej 25Gy, natomiast V30Gy dotyczyła objętości ≥ 95%. W obszarze hipokampa kryterium akceptacji planu wynosiło kolejno; Dmax ≤16Gy, oraz Dśr ≤9Gy. Dla skrzyżowania nerwów wzrokowych oraz samych nerwów dopuszczalna dawka maksymalna wyniosła ≤30Gy.
Wyniki. Odpowiednio zdefiniowane funkcje celu podczas optymalizacji w systemie planowania leczenia umożliwiły uzyskanie zalecanych poziomów dawek zarówno w obszarze PTV jak i w narządach krytycznych.
Wnioski. Zastosowanie napromieniania całego mózgowia u chorych z przerzutami zmniejsza ryzyko progresji choroby, przyczyniając się do poprawy jakości życia. Obecnie dostępne techniki napromieniania typu VMAT pozwalają na leczenie całego obszaru mózgu z jednoczesną ochroną hipokampa w celu zachowania prawidłowych procesów umysłowych pacjenta.

Wstępne doświadczenia z użyciem systemy Vision RT w Świętokrzyskim Centrum Onkologii

Autorzy: Paweł Wołowiec[1]; Krzysztof Buliński[2]; Joanna Stemplowska[2]; Andrzej Dąbrowski[3]; Anna Semaniak[3]; Anna Pawłowska[3]

[1] *Świętokrzyskie Centrum Onkologii SPZOZ / Główny Urząd Miar*

[2] *Świętokrzyskie Centrum Onkologii SPZOZ*

[3] *Świętokrzyskie Centrum Onkologii*

W Świętokrzyskim Centrum Onkologii są zainstalowane cztery liniowe akclereatory medyczne Versa HD firmy Elekta and one tomotherapy machine: Radixact by Accuray.
Do planowania leczenia wykorzystujemy czterech różne systemy planowania leczenia: Pinnacle (Philips), Monaco (Elekta), Precision (Accuray) and RayStation (RaySearch).
Dwa z czterech akceleratorów, które zostały zainstalowane w 2021 roku są wyposażone w system Align RT firmy Vision RT.
Radioterapia sterowana powierzchniowo (SGRT) firmy VisionRT, to technika napromieniania w radioterapii kierowanej obrazem pacjenta. Align RT to trójwymiarowy (3D) system obrazowania powierzchni, który umożliwia monitorowanie pozycji pacjenta w trybie 3D przed i w trakcie radioterapii. Wykorzystując opatentowane kamery stereo 3D, AlignRT Advance śledzi powierzchnię skóry pacjenta w czasie rzeczywistym i porównuje ją z pozycją referencyjną z dokładnością poniżej jednego milimetra. W rezultacie promieniowanie jest dostarczane tylko wtedy, gdy pacjent jest odpowiednio ułożony, co zwiększa bezpieczeństwo pacjenta.
W Świętokrzyskim Centrum Onkologii od września 2021 napromieniono 111 pacjentek z nowotworem lewej piersi techniką DIBH. Pacjentki w przeważającej ilości były leczone techniką VMAT. Przeprowadzono badanie na grupie 35 pacjentek porównując objętość płuca lewego na wstrzymanym i swobodnych oddechu. Dla 10 pacjentek wykonano plany alternatywne na swobodnym oddechu.
Średnia różnica w objętości dla płuca lewego między DIBH a FREE – 1232 cm3
Maksymalna różnica: 1692 cm3
Minimalna różnica: 202 cm3
Różnica w objętości płuca lewego poniżej 500 cm3 powoduje obniżenie dawki średniej w sercu ok. 0,3 -0,6 Gy (ok 10%) natomiast powyżej 1000 cm3 – obniżenie dawki o ok. 1,8 Gy (ok 45%).

Zastosowanie metody DIBH w leczeniu lewostronnego raka piersi technikami 3D-CRT i VMAT.

Autorzy: Iga Racka[1]; Janusz Winiecki[2]; Karolina Majewska[1]

[1] *Zakład Fizyki Medycznej, Centrum Onkologii im. Franciszka Łukaszczyka w Bydgoszczy*

[2] *1. Zakład Fizyki Medycznej, Centrum Onkologii im. Franciszka Łukaszczyka w Bydgoszczy, 2. Katedra i Klinika Onkologii i Brachyterapii, Collegium Medicum im. Ludwika Rydygiera w Bydgoszczy, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu*

Cel pracy: Celem pierwszorzędowym było porównanie dwóch technik napromieniania pacjentek poddanych radioterapii z powodu lewostronnego raka piersi:3D-CRT i VMAT pod kątem rozkładu dawki w obszarze tarczowym i narządach krytycznych.Celem drugorzędowym była ocena przewidywanego ryzyka powstawania wtórnych nowotworów popromiennych.

Materiały i metody: Dla 25 pacjentek,którym wykonano CT w trybie głębokiego wdechu (Deep-Inspiartion-Breath-Hold,DIBH) przygotowano trzy plany leczenia:jeden z zastosowaniem techniki konformalnej (3D-CRT) i dwa w technice obrotowej z modulacją intensywności mocy dawki (VMAT).Na podstawie analizy histogramów porównano rozkłady dawek w obrębie obszaru tarczowego (PTV) i w narządach krytycznych:serce,lewa przednia tętnica wieńcowa zstępująca (LAD),płuco prawe,płuco lewe i druga pierś.Prawdopodobieństwo powikłań popromiennych (NTCP) oraz narządowe dawki równoważne (Organ Equivalent Dose,OED) obliczono przy użyciu histogramów różniczkowych.Bezwzględne dodatkowe ryzyko wystąpienia nowotworów wtórnych (Excess Absolute Risk,EAR) oszacowano przy użyciu pełnego mechanistycznego modelu dawka-odpowiedź Schneidera.

Wyniki: Dla wszystkich planów zostało spełnione kryterium dla PTV:V95%≥95%(p=0.028).Rozkład dawki w obszarze tarczowym oraz współczynniki konformalności i jednorodności rozkładu dawki uzyskano lepsze dla planów VMAT(p<0.001).Technika VMAT istotnie podwyższyła dawkę średnią i parametr V5Gy we wszystkich analizowanych narządach ryzyka,ale zredukowała dawkę maksymalną w LAD o 15Gy(p=0.023).W przypadku płuca lewego, płuca prawego i drugiej piersi metoda 3D-CRT osiągnęła najniższe wartości EAR,wynosiły one odpowiednio:28.38 na 10^4osobolat,2.55 na 10^4osobolat i 4.48 na 10^4osobolat i w porównaniu z VMAT obniżyła je odpowiednio o:30%,84% i 81%(p<0.001).Dla wszystkich OAR obie techniki zapewniły pomijalnie niskie wartości NTCP.

Wnioski: Wykazano że,VMAT zapewnia lepszą ochronę narządów ryzyka w obszarze wysokich dawek.Problem stanowią niskie dawki,gdyż obejmują one większą objętość tkanek zdrowych. Większa objętość zdrowych tkanek wystawionych na działanie dawek promieniowania <5Gy może zwiększać ryzyko powstawania wtórnych nowotworów popromiennych.

Rekonstrukcja dawki w radioterapii wiązkami zewnętrznymi przy użyciu matrycy detektorów półprzewodnikowych EPID.

Autorzy: Paweł Trafara[1]; Janusz Winiecki[2]; Sławomir Nowakowski[3]; Roman Makarewicz[4]

[1] *Zakład Fizyki Medycznej Centrum Onkologii w Bydgoszczy, – Wydział Lekarski, Collegium Medicum im. Ludwika Rydygiera w Bydgoszczy, UMK w Toruniu.*

[2] *Zakład Fizyki Medycznej Centrum Onkologii w Bydgoszczy, Wydział Lekarski, Collegium Medicum im. Ludwika Rydygiera w Bydgoszczy, UMK w Toruniu.*

[3] *Zakład Fizyki Medycznej Centrum Onkologii w Bydgoszczy*

[4] *Oddział Kliniczny Brachyterapii Centrum Onkologii w Bydgoszczy, Katedra Onkologii i Brachyterapii, Collegium Medicum im. Ludwika Rydygiera w Bydgoszczy, UMK w Toruniu*

Wprowadzenie:
Ocena jakości radioterapii w chwili obecnej polega przede wszystkim na analizie dwuwymiarowych map fluencji zarejestrowanych na aparacie terapeutycznym w trybie pretreatment i ocenie ich zbieżności z fluencjami oczekiwanymi wyznaczonymi przez system planowania leczenia. Daje to jedynie częściowe wyobrażenie o jakości realizacji zamierzonego rozkładu dawki.

Cel:
Stworzenie narzędzia umożliwiającego ocenę zgodności rozkładu dawki oczekiwanego z rzeczywistym w przestrzeni 3D.

Materiały i Metody:

W pracy posłużono się systemem komputerowym Eclipse firmy Varian Medical Systems oraz systemem Portal Dosimetry. Pomiaru map fluencji dokonano za pomocą detektora EPID (Electronic Portal Imaging Device) aS 1200. Zarejestrowane przy pomocy detektora EPID odchylenia pomiędzy oczekiwaną a rzeczywistą fluencją wykorzystano do odtworzenia rozkładu dawki w ciele pacjenta. Czynność wykonywana jest dla każdej z wiązek terapeutycznych z osobna. Następnie wyniki obliczeń dla poszczególnych wiązek są sumowane z uwzględnieniem geometrii wiązek (kąt głowicy, oraz kąt kolimatora).

Wyniki:
W toku prac stworzono w środowisku Matlab firmy MathWorks system komputerowy pozwalający zaimportować zebrany przy pomocy detektora EPID tzw. „acquired image" i porównać go z obrazem oczekiwanym - „predicted image". Przenosząc stwierdzone rozbieżności pomiędzy predicted- a acquired image na plan leczenia uzyskuje się rzeczywisty realizowany rozkład dawki.

Wniosek:
Uzyskane w ten sposób mapy odchyleń w dawce są przydatnym narzędziem służącym do oceny jakości radioterapii.

Długoczasowa stabilność współczynnika wzorcowania ND,w dla komór typu Farmer

Autorzy: Marcin Szymański[1]; Wioletta Ślusarczyk-Kacprzyk[1]; Iwona Grabska[1]; Paweł Kukołowicz[1]

[1] *Zakład Fizyki Medycznej, Narodowy Instytut Onkologii im. M. Skłodowskiej-Curie Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie*

Nowoczesne, wyspecjalizowane techniki leczenia pacjentów wykorzystujące promieniowanie jonizujące wymagają zapewnienia maksymalnej dokładności dostarczenia zaplanowanej dawki do konkretnej objętości. Pewność wykonywanych pomiarów dawki zapewnia wysoce wykwalifikowany personel, wprowadzenie oraz przestrzeganie odpowiednich procedur i instrukcji. Niezbędne jest również utrzymane w należytym stanie urządzeń pomiarowych.

Nawet najlepszy, najbardziej stabilny zestaw (elektrometr z komorą jonizacyjną) może ulec uszkodzeniu, przez co wiarygodność wykonywanych pomiarów może zostać zakwestionowana. Stąd potrzeba regularnego wzorcowania zestawu dozymetrycznego w niezależnym laboratorium. Usługę taką oferuje Pracownia Wtórnych Wzorców Dozymetrycznych (PWWD), wchodząca w skład Zakładu Fizyki Medycznej Narodowego Instytutu Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowego Instytutu Badawczego.

Dozymetria promieniowania jonizującego polega na wyznaczeniu dawki promieniowania w warunkach referencyjnych lub warunkach ustalonych w konkretnym ośrodku, w odniesieniu do referencyjnych. Na podstawie tych pomiarów kontrolowana jest kalibracja aparatów terapeutycznych. Kalibracja ta polega na powiązaniu jednostki dawki: grej (Gy) z jednostkami, w jakich wyskalowane są akceleratory. Sposób określenia dawki w wodzie w warunkach referencyjnych został opisany w międzynarodowym kodeksie postępowania wydanym przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej, oznaczonym jako raport techniczny numer 398. Wzorcowanie polega na wyznaczeniu współczynnika ND,w poprzez porównanie wskazań dawkomierza wzorcowanego z wartościami dawki zmierzonymi przy użyciu dawkomierza wzorcowego. Oba pomiary wykonywane są w takich samych warunkach geometrycznych, z uwzględnieniem wpływu ciśnienia i temperatury.

Korzystając z doświadczenia i wyników pracy PWWD, przeprowadzono analizę długoczasowej stabilności wyznaczanych w wyżej wymienionym laboratorium współczynników wzorcowania dawki pochłoniętej w wodzie dla komór jonizacyjnych typu Farmer jako powszechnie stosowanego typu komór do dozymetrii absolutnej wiązek fotonowych.

Wdrożenie półautomatycznej metody weryfikacji zgodności pola promieniowania z polem symulacji świetlnej akceleratorów liniowych

Autorzy: Patrycja Borowska[1]; Katarzyna Paciorkowska[1]

Współautorzy: Marta Paluszyńska [2]; Urszula Sobocka-Kurdyk [1]; Hubert Szweda ; Krzysztof Matuszewski [1]; Maksymilian Wosicki [1]; Bartosz Pawałowski [1]

[1] *Wielkopolskie Centrum Onkologii*

[2] *Wielkopolskie Centrun Onkologii*

Założenie i cel pracy
Celem pracy było sprawdzenie, czy tradycyjna ocena zgodności pola promieniowania z polem symulacji świetlnej zakładająca wykorzystanie filmów radiochromowych może być zastąpiona metodą opartą na obrazowaniu fantomu V3 Calibration Phantom (Aquilab, Lille, France) z wykorzystaniem kasety portalowej.
Materiał i metody
Jednym z ważniejszych testów kontroli jakości pracy akceleratora medycznego jest ocena zgodności pola wysokoenergetycznego promieniowania X z polem świetlnym w odległości izocentrycznej. Zgodnie z obowiązującymi przepisami prawa, powinna być ona przeprowadzana przynajmniej raz na cztery miesiące, a odległość pomiędzy odpowiednimi bokami pola promieniowania i pola świetlnego nie powinna być większa niż 2 mm. Porównano czułość metody filmowej i fantomowej podczas rutynowej kontroli jakości akceleratorów liniowych. Oceniono ponadto działanie metody fantomowej w warunkach błędów kontrolowanych: pole promieniowania względem pola świetlnego przesunięto o 1, 2 i 3 mm w kierunkach x, y oraz xy, a także zrotowano o 0,5°, 1° i 2° poprzez zmianę położenia szczęk kolimatora.
Wyniki
Różnica między krawędziami pola promieniowania a pola świetlnego: dla metody fantomowej: x1=(0,44⊠0,05) mm, x2=(-0,17⊠0,04) mm, y1=(0,14⊠0,06) mm,
y2 =(-0,96⊠0,10) mm, w metodzie filmowej: x1=x2=y1=0 mm, y2=-1 mm.
Wszystkie wprowadzone błędy kontrolowane zostały wykryte w metodzie fantomowej.
Wnioski
Pomiar fantomowy charakteryzuje się większą dokładnością pomiarową i czułością na niewielkie niezgodności pól, a automatyczna analiza pozyskanych obrazów pozwala zwiększyć szybkość i precyzję procesu kontroli jakości oraz wyeliminować błędy obserwatora.
Oceniana metoda półautomatyczna kontroli zgodności pola promieniowania z polem symulacji świetlnej z powodzeniem może zastąpić metodę filmową i sprawić, że proces kontroli jakości medycznych akceleratorów liniowych stanie się zobiektywizowany i bardziej wydajny.

Analiza śródfrakcyjnej ruchomości pacjentów leczonych techniką stereotaktyczną w obszarze klatki piersiowej w oparciu o obrazowanie powierzchniowe AlignRT

Autorzy: Anna Zawadzka[1]; Krzysztof Domański[2]; Kai Deng[2]; Ewa Kurys[3]; Monika Myślińska[2]

[1] *Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie - Państwowy Instytut Badawczy*

[2] *Zakład Fizyki Medycznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie - Państwowy Instytut Badawczy*

[3] *Zakład Radioterapii, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie - Państwowy Instytut Badawczy*

Kontakt: anna.zawadzka.fizyk@pib-nio.pl

Cel Retrospektywna analiza śródfrakcyjnej ruchomości pacjentów w oparciu o obrazowanie powierzchniowe AlignRT (VisionRT), sprawdzenie czy oczekiwana w napromienianiu stereotaktycznym (SBRT) ruchomość poniżej 3 mm i 3° jest realizowana.
Materiały i metody Wybrano grupę kolejnych 15 pacjentów leczonych techniką SBRT w obszarze klatki piersiowej (3 frakcje, dawka frakcyjna od 12 Gy do 18 Gy). Plany realizowano na aparacie EDGE (Varian), techniką łukową, 2 – 4 polami o energii nominalnej 6MV (wiązka bezfiltrowa). Pacjentów codziennie pozycjonowano w oparciu o obrazowanie wiązką stożkową a następnie ustalano powierzchnię referencyjną dla danej frakcji i śledzoną podczas napromieniania. W sumie przeanalizowano 45 frakcji. Dla całej grupy pacjentów wyznaczono średni czas napromieniania, średnie wartości i odchylenie standardowe (σ) odchyleń odczytów amplitudy i poszczególnych kierunków od powierzchni referencyjnej (MAG, VRT, LONG, LAT, rotacji) w każdej frakcji. Zbadano procent odczytów poza 3 mm i 3°. Do analizy wykorzystano napisany w ośrodku program (Python, v3.8).
Wyniki Średni czas napromieniania wynosił 3:59 min [2:20 – 7:41 min]. Średnia amplituda wynosiła 2,00 ± 0,91 mm (31% odczytów poza σ). Dla pozostałych kierunków VRT, LONG, LAT wartości wyniosły odpowiednio: -0.27 ± 0.84 mm (42%), 0.35 ± 1.20 mm (33%) i -0.03 ± 0.63 (36%). Dla rotacji -0.03° ± 0.42°. Średnio 3.9%, 4.2% i 1.6% odczytów było powyżej 3 mm dla VRT, LONG i LAT. Tylko dla 3 pacjentów odczyty rotacji przekroczyły 2°.
Wnioski Oczekiwana w SBRT śródfrakcyjna ruchomość poniżej 3 mm i 3° jest możliwa do osiągnięcia dla większości pacjentów. Wydaje się, że jest możliwe zmniejszenie progów reagowania dla kierunku LAT i rotacji.

Wieloośrodkowa walidacja modeli RapidPlan dla pacjentek z nowotworem ginekologicznym

Autorzy: Anna Zawadzka[1]; Barbara Bekman[2]; Joanna Kamińska[3]; Michał Półtorak[4]; Adam Ryczkowski[5]; Tomasz Siudziński[6]; Dorota Kopeć[1]

[1] *Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie - Państwowy Instytut Badawczy*

[2] *Narodowy Instytut Onkologii im. M. Skłodowskiej-Curie w Gliwicach*

[3] *Uniwersyteckie Centrum Kliniczne*

[4] *Siedleckie Centrum Onkologii*

[5] *Wielkopolskie Centrum Onkologii*

[6] *Dolnośląskie Centrum Onkologii, Pulmonologii i Hematologii*

Kontakt: anna.zawadzka.fizyk@pib-nio.pl

Celem badania było sprawdzenie, na przykładzie pacjentek z nowotworami ginekologicznymi, uniwersalności stosowanych w radioterapii modeli planowania leczenia opartych na wiedzy RapidPlan (Varian). W tym celu dla grupy 60 pacjentek przygotowano, a następnie porównano plany leczenia wygenerowane z użyciem 6 modeli RapidPlan, stworzonych w 6 ośrodkach radioterapii w Polsce. Każdy ośrodek wytrenował i zwalidował model w oparciu o własną grupę pacjentek. Do badania wybrał 10 losowych tomografii innych pacjentek niż te użyte w modelu. Każda pacjentka miała wyznaczone zgodnie z wewnętrznymi protokołami swojego ośrodka: CTV, PTV, odbytnice, pęcherz, głowy kości udowej lewej i prawej oraz jelita. Każdy ośrodek wykonał po 60 planów leczenia zgodnie ze swoimi procedurami. Użyto systemu planowania leczenia Eclipse (algorytm AAA - 4 ośrodki, Acuros XB - 2 ośrodki). Zastosowano technikę VMAT, wiązki promieniowania fotonowego X6MV, aparat TrueBeam (Varian) z MLC120. W oparciu o predykcje modelu wykonywano jedną optymalizację, bez ingerencji osoby planującej. Oceniono różnice w konturowaniu narządów krytycznych i obszarów napromieniania w poszczególnych ośrodkach. Dla każdej pacjentki zebrano i porównano dane z 6 planów leczenia. Dla obszarów CTV i PTV analizowano: D98, D95, D2, Dmax, V95% oraz indeks homogenności, indeks konformalności i gradient. Dla narządów krytycznych porównano statystyki: odbytnica - V10, V20, V30, V40, V50, D0.03cm3, pęcherz - V20, V45, V50, D0.03cm3, jelita - V45, głowa kości udowej L i P - V35, Dmax (zalecenia GEC ESTRO, QUANTEC i badanie Cella). Do oceny czy uzyskane wyniki są istotne statystycznie użyto nieparametryczny test Friedmana. Przeanalizowano przyczyny różnic w wynikach uzyskanych przez 6 modeli. Rezultaty zostaną zaprezentowane na Kongresie.

Realizacja pierwszej procedury radioterapii śródoperacyjnej (IORT) raka trzustki w Samodzielnym Publicznym Szpitalu Klinicznym nr 1 w Lublinie

Autor: Marta Wachowicz[1]

[1] *fizyk medyczny*

Kontakt: wachowicz.marta@interia.pl

Wstęp: Nowotwór trzustki jest jednym z nowotworów o bardzo złym rokowaniu. To siódma najczęstsza przyczyna zgonów z powodu raka na świecie. We wczesnym okresie choroba przebiega często bezobjawowo z tego powodu u większości chorych jest rozpoznawana późno, gdy nie ma już możliwości zastosowania jedynej skutecznej metody leczenia, jaką jest resekcja trzustki. Szansą na zwiększenie przeżywalności pacjentów jest radioterapia śródoperacyjna, polegająca na precyzyjnym dostarczaniu dużej dawki promieniowania jonizującego do guza lub loży po guzie podczas zabiegu chirurgicznego.
Cel: Celem pracy jest przedstawienie realizowanej w Samodzielnym Publicznym Szpitalu Klinicznym nr1 w Lublinie pierwszej procedury radioterapii śródoperacyjnej raka trzustki.
Metoda: W omawianym przypadku radioterapia śródoperacyjna stanowiła element leczenia skojarzonego (chemioterapii i radiochemioterapii). W IORT zastosowano wysoką pojedynczą dawkę promieniowania 15Gy podawaną podczas zabiegu chirurgicznego na operacyjnie odsłoniętą lożę po guzie. W tym celu wykorzystano promieniowanie jonizujące o energii 6MeV generowane w mobilnym akceleratorze Mobetron. Zastosowano prosty aplikator elektronowy o średnicy 6cm. Wstępny plan leczenia (tzw. wirtualną symulację 2D) przygotowano przed operacją wykorzystując system planowania leczenia Radiance. W trakcie operacji, po resekcji trzustki niezależnym systemem kalkulacyjnym obliczono wartość jednostek monitorowych uwzględniając zleconą dawkę, energię promieniowania i grubość tkanki jaka powinna być objęta izodozą 90% .
Wyniki: Zalecenia ESTRO sugerują, że IORT zastosowana jako element skojarzonego leczenia sprzyja poprawie kontroli miejscowej w leczeniu guza pierwotnego raka trzustki. Zwiększenie prawdopodobieństwa miejscowego wyleczenia uzyskujemy poprzez optymalne zdefiniowanie objętości napromienianej i eskalację dawek. Bezpośrednia wizualizacja miejsca napromieniania oraz możliwość odsunięcia zdrowych tkanek od aplikatora pozwala na maksymalizację dawki w obszarze zainteresowania przy jednoczesnej minimalizacji toksyczności leczenia.

Automatyczne konturowanie CTV oraz narządów krytycznych w mózgu w oparciu o obrazy tomografii komputerowej

Autorzy: Martyna Śpiewak[1]; Anna Zawadzka[1]; Michał Paciorkiewicz[1]; Katarzyna Dyttus-Cebulok[2]

[1] *Zakład Fizyki Medycznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie - Państwowy Instytut Badawczy*

[2] *Zakład Radioterapii, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie - Państwowy Instytut Badawczy*

Kontakt: martyna.spiewak@pib-nio.pl

Cel: Stworzenie i walidacja modelu automatycznego konturowania CTV oraz narządów krytycznych (w tym hipokampa) w obszarze mózgu dla obrazów TK.
Materiały i metody: Dla grupy 30 pacjentów z glejakiem mózgu wyznaczono manualnie w TK w oparciu o obrazy NMR narządy krytyczne: hipokamp-NMR, ucho wewnętrzne L i P, nerw wzrokowy L i P skrzyżowanie, pień mózgu, gałki oczne oraz CTV (cały mózgu z kością). W oparciu o zestaw konturów 20 pacjentów uczących, w systemie RayStation v.9B zbudowano model autosegmentacji. Dla 10 kolejnych pacjentów walidujących wyznaczono automatyczne kontury. Oceniono ich zgodność z manualnymi. Oceniano: objętość, współczynnik podobieństwa (DSC). Dla hipokampa-auto wyznaczono minimalny margines PRV, dla którego automatycznie wrysowana struktura z marginesem pokrywa się w całości ze strukturą hipokamp-NMR. W tym celu wyznaczono objętość hipokampa-NMR poza marginesem i współczynnik nakładania (OI) dla marginesów 1-4 mm. Zmierzono czas autokonturowania.
Wyniki: Dla CTV, hipokampa L, oczu, pnia mózgu i ucha wewnętrznego L różnice w objętościach były istotne statystycznie (test Wilcoxona, p = 0.05). Dla CTV, oczu i pnia mózgu uzyskano bardzo dobre wyniki (mediana DSC [0.79-0.98]). Nieznacznie gorsze DCS uzyskano dla uszu wewnętrznych i nerwów wzrokowych [0.46-0.61]. Największe rozbieżności uzyskano dla skrzyżowania, hipokampa L i P, gdzie mediany DSC wynosiły odpowiednio 0.37, 0.39, 0.44. Dodawanie PRV zwiększało OI. PRV wyznaczono na 4 mm. Średni czas autokonturowania wynosił 5.49 +/- 0.24 min.
Wnioski: Stworzony model umożliwia automatyczne wyznaczenie w oparciu o TK CTV oraz większości narządów krytycznych. Objęcie hipokampa wymaga marginesu co najmniej 4 mm. Otrzymane wyniki umożliwią automatyzację planowania napromieniania całego mózgu z oszczędzeniem hipokampa.

Grafitowa komora jonizacyjna jako jonometryczny wzorzec pierwotny dawki pochłoniętej w wodzie do dozymetrii terapeutycznych wiązek fotonów (badanie wstępne)

Autorzy: Paweł Wołowiec[1]; Adrian Knyziak[2]; Magdalena Szymko[2]; Joanna Stemplowska[3]; Krzysztof Buliński[3]

[1] *Świętokrzyskie Centrum Onkologii SPZOZ / Główny Urząd Miar*

[2] *Główny Urząd Miar*

[3] *Świętokrzyskie Centrum Onkologii SPZOZ*

Kontakt: pawel.wolowiec@onkol.kielce.pl

Celem badania jest scharakteryzowanie i weryfikacja eksperymentalnej cylindrycznej grafitowej komory jonizacyjnej (GUM-Dw3) do realizacji jonometrycznego wzorca pierwotnego dawki pochłoniętej w wodzie dla wiązek fotonów o energii 6 i 10 MV.

Pomiary dawki pochłoniętej w wodzie wykonywano zgodnie z obowiązującymi standardami. W tym celu komorę jonizacyjną umieszczono w wodoszczelnej osłonce z PMMA wewnątrz fantomu z PMMA o wymiarach 30x30x30 cm3 wypełnionego wodą destylowaną. Do napromieniania użyto medycznego akceleratora liniowego Versa HD firmy Elekta. Pomiary wykonywano w układzie poziomym, kąt ramienia akceleratora ustawiono na 90°. Komorę umieszczano na głębokości radiologicznej równej 10 g/cm2 w wodzie, w punkcie referencyjnym w odległości 100 cm od źródła promieniowania.

Do odtworzenia jednostki dawki pochłoniętej w wodzie metodą jonometryczną (na podstawie pomiaru prądu jonizacji) konieczne jest wyznaczenie odpowiednich współczynników. Do tego celu zastosowano symulacje Monte Carlo. Wiązki fotonów wytwarzane w przyspieszaczu modelowano przy użyciu kodu FLUKA. Wyznaczono również wszystkie niezbędne eksperymentalne współczynniki korekcyjne uwzględniające warunki środowiskowe (temperatura, ciśnienie) oraz polaryzację napięcia pracy komory i rekombinację jonów.

Do weryfikacji pomiaru dawki pochłoniętej w wodzie przy użyciu komory GUM-Dw3 zastosowano komercyjnie dostępną komorę jonizacyjną typu Farmer (30013, PTW-Freiburg), wzorcowaną w Laboratorium Wtórnych Wzorców Dozymetrycznych. Zaobserwowano różnice -0,06% (6 MV) i 0,20% (10 MV) między pomiarami dawki komorą eksperymentalną (niepewność <0,6%, k=2) a wartościami odniesienia mierzonymi komercyjną komorą jonizacyjną (niepewność 2,9%, k=2).

Wyniki porównania pokazują, że prezentowana komora może być zastosowana jako wzorzec pierwotny wykorzystywany do wzorcowania przyrządów dozymetrycznych w polach promieniowania fotonowego medycznych akceleratorów liniowych. Ponadto uzyskane wyniki pokazują możliwość wykorzystania tego typu komór do dozymetrii terapeutycznych wiązek fotonowych.

WPŁYW PARAMETRÓW KOLIMATORA WIELOLISTKOWEGO MLC NA WERYFIKACJĘ DYNAMICZNYCH PLANÓW LECZENIA W RADIOTERAPII

Autor: Błażej Baic[1]

[1] *Katowickie Centrum Onkologii*

W pracy przedstawiono wpływ parametrów pracy kolimatora wielolistkowego MLC Agility akceleratora medycznego Elekta Versa HD na weryfikację dynamicznych planów leczenia w radioterapii. Wpływ ten sprawdzono pod kątem klinicznym wykonując pomiary weryfikacyjne przez 30 dni, w dwóch porach dnia (rano i wieczorem) oraz pod kątem mechanicznym przeprowadzając testy listków MLC. Plany leczenia zostały wykonane w technice VMAT przy użyciu systemu planowania leczenia MONACO dla trzech lokalizacji: klatki piersiowej, głowy/szyi oraz miednicy. Testy kontroli jakości listków MLC wykonano dla technik IMRT SMLC oraz IMRT DMLC, statycznie dla kąta gantry 0° oraz dynamicznie z pełnym obrotem gantry akceleratora liniowego. Przeprowadzono także pomiary wpływu offsetu MLC na uzyskane wartości dawek w wybranych testach MLC oraz planach leczenia dla wszystkich obszarów.
Uzyskano informację o wpływie pory dnia na wynik weryfikacji dynamicznego planu leczenia VMAT. Jak pokazały badania, różnice wynikające z pracy listków MLC mogą mieć istotny wpływ na dawkę pochłoniętą w pacjencie podczas realizacji leczenia na akceleratorze liniowym. Następnie, potwierdzono wpływ różnych wartości przesunięcia (offsetu) liści kolimatora na testy MLC oraz na wyniki weryfikacji. Wykorzystując uzyskane pomiary zaproponowano wprowadzenie okresowych testów kontroli jakości listków kolimatora MLC.

Weryfikacja dokładności obliczeń rozkładu dawki w systemie planowania leczenia wiązkami zewnętrznymi dla ekspanderów o wysokiej liczbie atomowej

Autorzy: Aleksandra Bochyńska[1]; Anna Zawadzka[1]; Agnieszka Walewska[1]

[1] *Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie Państwowy Instytut Badawczy*

Kontakt: aleksandra.bochynska@pib-nio.pl

Cel Celem badania była weryfikacja dokładności obliczeń systemu planowania leczenia w obecności ekspanderów tkankowych piersi zawierających zastawki wykonane z materiałów o wysokiej liczbie atomowej.

Materiały i metody Z parafiny wykonano cztery fantomy piersi. Fantom referencyjny (F_Ref) oraz trzy fantomy z ekspanderami - firmy Nagor z zastawką wbudowaną (F_Nagor) oraz dwoma typami zastawek firmy Mentor (wbudowaną F_Mentor_I oraz dystalną F_Mentor_D). Fantomy okryto 5 mm bolusem termoplastycznym. Dla każdego fantomu w systemie Eclipse (v 15.6, Varian Medical Systems) przygotowano osiem planów leczenia.Obliczenia wykonano dla krzywej konwersji wydłużonej do materiałów o wysokim Z (do 10 000 HU). Plany 3D-CRT i VMAT wykonano dla wiązek X6, X6FFF i X15 oraz algorytmu obliczeniowego AAA. Dla wiązki X6FFF dodano obliczenia algorytmu Acuros XB. Na każdym fantomie zaznaczono 10/11 punktów pomiarowych, w których umieszczono fragmenty filmów Gafchromic EBT3. Porównano dawki zmierzone i obliczone.

Wyniki Dla 95% punktów rozmieszczonych na fantomie F_Ref różnica nie przekroczyła 5%. Dla fantomów z ekspanderami zauważalna jest zależność pomiędzy rodzajem zastawki a procentem wyników o zgodności poniżej 5% (76% punktów fantom F_Nagor, 88% F_Mentor_I oraz 93% F_Mentor_D). W wynikach uzyskanych dla algorytmu obliczeniowego AXB występowało więcej punktów odstających
w porównaniu z algorytmem AAA, niezależnie od techniki napromieniania. Zbiorcze wyniki nie pokazały jednak znaczących różnic pomiędzy algorytmami. Średnia różnica wyniosła: -0.3% (X6), 1.6% (X15) i 0.6% (X6FFF) w przypadku algorytmu AAA oraz -0.1% (X6FFF) dla AXB. Największe różnice (>8%) odnotowano w przypadku zastawek wbudowanych.

Wnioski Różnice pomiędzy obliczeniami i pomiarami zależą od rodzaju ekspandera. Znaczącego wpływu nie ma natomiast technika napromieniania oraz algorytm obliczeniowy.

Development of composite TL and OSL materials for analyzation of dose and energy of photons beam for radiotherapeutic applications

Autorzy: Janusz Winiecki[1]; Yuriy Zorenko[2]; Paulina Michalska; Witkiewicz Witkiewicz-Lukaszek

[1] *Centrum Onkologii w Bydgoszczy*

[2] *Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz*

Kontakt: zorenko@ukw.edu.pl

Thermostimulated (TSL) and optically stimulated (OSL) luminescent dosimetry are a versatile tools for the assessment of ionizing radiation dose.
For control of photon beam dose distributions in radiotherapy, we used the non-conventional TSL detectors with 10*10*0.5mm size prepared from the Czochralski grown crystals of Ce3+ doped garnets with different density ρ and effective atomic number Zeff: "light" Y3Al5O12:Ce (YAG:Ce); ρ=4.5g/cm3; Zeff=35, and "heavy" Lu3Al5O12:Ce (LuAG:Ce);ρ= 6.7g/cm3; Zeff=61 and Gd3Al3Ga3O12 (GAGG:Ce), ρ=6.6 g/cm3; Zeff= 54. The detectors were irradiated with 6MV and 15MV X Rays using linear accelerator Clinac 2300C/D from Varian Medical Systems at Oncology Center in Bydgoszcz.
We have found that YAG:Ce crystals is suitable TSL material for application with 6MV photon beams due to high intensity TSL response at typical therapeutic dose of 2 Gy and good position of main TSL peak at 290K[2]. However, for at the registration of X rays with the high energy (15 MV), much heavy LuAG:Ce and GAGG:Ce TSL detectors can be applied. Furthermore, the creation of multilayered composite TSL detectors based on the YAG:Ce film and LuAG:Ce/or GAGG:Ce crystals were considered using LPE growth method [3].
Another approach in the development of the composite detectors is connected with efficient OSL properties of GAGG:Ce[4] and YAG:Ce crystals [5]. The creation of YAG:Ce/GAGG:Ce composite OSL detectors can be even more prospective than their TSL counterparts. Similarly to composite scintillators [6], the registration of the signal coming from film and crystal parts of composite detector can be realized using differences in their OSL decay kinetic.

LATTICE - POWRÓT DO PRZESZŁOŚCI CZY SKOK W PRZYSZŁOŚĆ?

Autor: Magdalena Peszyńska-Piorun[1]

Współautor: Wojciech Kapuściński [1]

[1] *Wojewódzkie Wielospecjalizacyjne Centrum Onkologii i Traumatologii im. M.Kopernika*

Kontakt: me.peszynska@kopernik.lodz.pl

Cel: Radioterapia frakcjonowana przestrzennie(SFRT) wykazała korzyści kliniczne u pacjentów z przerzutowym i/lub nieresekcyjnym rakiem. Względy techniczne leczenia i pobliskich zagrożonych narządów mogą ograniczyć zastosowanie SBRT w dużych guzach lub w niekorzystnych lokalizacjach. SFRT stanowi znaczące odejście od kanonicznego myślenia w radioterapii onkologicznej, mimo że pierwsze wzmianki sięgają początku XX wieku. Technika ta umożliwia napromienianie wysokimi dawkami odrębnych, subwoluminowych obszarów wewnątrz guza, przy jednoczesnym ograniczeniu pozostałej części targetu do bezpieczniejszej, niższej dawki. LATTICE to nowoczesne podejście do SFRT, dostarczone wraz z terapią łukową, które może pozwolić na bezpieczną, wysokiej jakości SBRT w przypadku dużych guzów.
Materiał i metoda: W WWCOiT w Łodzi w 2021roku przygotowano cztery plany terapeutyczne wykonane metodą LATTICE. Dwóch pacjentów napromieniono wykorzystując powyższą technikę. Pierwsza pacjentka lat 52, napromieniana zmiana guzowa obszaru kości krzyżowej. Na obszar całej zmiany podano dawkę 25Gy z eskalacją w lattice vertices do 50Gy w 5 frakcjach. Drugi pacjent, lat 60, wykonano plan radioterapeutyczny na obszar zmiany guzowatej ściany klatki piersiowej do dawki 25Gy na obszar całej zmiany z eskalacją lattice vertices do 50Gy w 5 frakcjach.
Wyniki: Obydwa plany leczenia spełniały kryteria planów stereotaktycznych, z jednoczesnym uwzględnieniem dawek w narządach krytycznych. Plany zostały pomyślnie zweryfikowane dozymetrycznie matrycą EPID. Pacjenci po zakończeniu radioterapii pod obserwacją lekarską.
Wnioski: U jednego pacjenta stwierdzono stabilizację z tendencją do regresji zmiany. Kolejni pacjenci są w trakcie lub są przygotowywani. Radioterapia LATTICE z zastosowaniem Rapid Arc wydaje się bezpiecznym i skutecznym sposobem leczenia dużych guzów. Obecna praktyka kliniczna LATTICE nadal w dużej mierze opiera się na zasadach heurystycznych.

Optymalizacja radioterapii wiązkami zewnętrznymi pacjentki w ciąży – podejście holistyczne i aspekty praktyczne

Autorzy: Agnieszka Kuchcinska[1]; Dorota Kiprian[2]; Wojciech Bulski[2]

[1] *Narodowy Instytut Onkologii Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie*

[2] *Narodowy Instytut Onkologii - Państwowy Instytut Badawczy im. Marii Curie-Skłodowskiej w Warszawie*

Kontakt: agnieszka.kuchcinska@pib-nio.pl

Wstęp
Radioterapia pacjentki w ciąży jest procedurą ratującą życie zarówno matki jak i dziecka. W przypadku decyzji pacjentki o zachowaniu ciąży przy jednoczesnej konieczności leczenia, którego elementem w danym oknie terapeutycznym jest radioterapia, należy podjąć działania mające na celu optymalizację przeprowadzonej procedury. Przykładami nowotworów dla której podejmowane jest napromienianie to chłoniaki Hodgkina (Obszar tarczowy znajdujący się w obrębie klatki piersiowej w odległości zapewniającej bezpieczeństwo procedury) czy np. wznowa złośliwego mięsaka Synoviale w obszarze uda, kolana i podudzia.
Materiały i metody
Zaprojektowano autorski układ pomiarowy służący do pomiaru i porównania promieniowania rozproszonego akceleratorów liniowych w warunkach referencyjnych wiązek oraz wykonanych planów leczenia, w przypadku lokalizacji obszaru tarczowego klatki piersiowej. Wykonano autorski układ pomiarowy do pomiaru i oszacowania dawki dla płodu przy terapii w lokalizacji uda, w tym w przypadku symulacji odsuwania płodu od krawędzi pola poprzez wypełnieni pęcherza moczowego.
Wyniki
Wykonano serie pomiarowe w celu porównania akceleratorów, porównania planów leczenia w tym dla wiązek nie-koplanarnych, określenia i nadzoru stabilności promieniowania rozproszonego podczas sesji terapeutycznej. Zaproponowano modyfikację pomiarów in vivo oraz planów leczenia np. poprzez zmniejszenie obszarów napromieniania, czy nie stosowanie układu wiązek nie-koplanarnych w których głowica akceleratora zbliża się fizycznie do brzucha pacjentki. Zmodyfikowano dotychczas stosowaną osłonę.
Wnioski
Optymalizacja procedury radioterapii pacjentki w ciąży jest możliwa do wykonania i powinna być zrobiona, np. poprzez wybranie akceleratora o niższym poziomie promieniowania rozproszonego w przypadku tego samego planu leczenia czy poprzez wybór najlepszego planu leczenia w oparciu o dawki dla narządów krytycznych matki, ale również dawki dla płodu. Osłony powinny być rozpatrywane indywidualnie.

Akcelerator śródoperacyjny AQURE

Autor: Aleksandra Lenartowicz[1]

[1] *Narodowe Centrum Badań Jądrowych*

Kontakt: aleksandralenartowicz96@gmail.com

Napromienianie loży pooperacyjnej podczas wykonywanych w salach operacyjnych zabiegów chirurgicznych, czyli terapia śródoperacyjna (IORT – ang. Intraoperative radiotherapy) indukuje szereg wymagań technologicznych, aby generowana przez akcelerator wiązka elektronów była stabilna i powtarzalna oraz spełniała szereg wymagań normatywnych dotyczących jakości wiązki, przy jednoczesnym niskim poziomie promieniowania ubocznego.
Akcelerator śródoperacyjny AQURE został zaprojektowany i wyprodukowany przez Narodowe Centrum Badań Jądrowych we współpracy z Wielkopolskim Centrum Onkologii w ramach projektu „**Stworzenie w Wielkopolskim Centrum Onkologii w Poznaniu im. M. Curie-Skłodowskiej możliwości realizacji procedury napromieniania śródoperacyjnego przy użyciu innowacyjnego akceleratora elektronów**". To pierwszy, polski akcelerator IORT, który spełnia wszystkie powyższe wymagania. AQURE to urządzenie mobilne o niewielkich rozmiarach i wadze, gdzie głowica terapeutyczna została zainstalowana na ramieniu robota o wysokiej ruchliwości pozwalającej na prawie dowolny kierunek napromieniania, natomiast cały robot umieszczony jest na mobilnej platformie umożliwiającej przemieszczanie akceleratora w obrębie bloku operacyjnego.
Aby spełnić wszelkie wymagania normatywne do klinicznego stosowania akceleratora AQURE zbadano parametry jakości wiązek (m.in. symetria, płaskość) oraz poziom promieniowania ubocznego i rozproszonego. Zmiany układu formującego wiązkę znacząco wpływały zarówno na jakość jak i promieniowanie uboczne poza ogranicznikami pola promieniowania jakim są aplikatory o średnicach od 4 do 10 cm.
Przedstawiane wyniki badań jakości wiązek potwierdzają, że akcelerator AQURE dysponuje wysokiej jakości wiązkami elektronów o energiach od 4 do 12 MeV o mocach dawki 5 i 10 Gy/mim. Dodatkowo zmierzony poziom promieniowania ubocznego i rozproszonego dzięki czemu urządzenie może pracować bez dodatkowych osłon w każdej sali operacyjnej.

SESJA NAUKOWA KOMISJI DS. MEDYCYNY NUKLEARNEJ KFMRiDO PAN

WCZORAJ I JUTRO MEDYCYNY NUKLEARNEJ

Autor: Janusz Braziewicz[1]

[1] *Zakład Medycyny Nuklearnej z Ośrodkiem PET, ŚCO, Kielce Zakład Fizyki Medycznej i Biofizyki, Instytut Fizyki, UJK, Kielce*

W trakcie wystąpienia wspomniane zostaną główne odkrycia z różnych dziedzin nauki tworzące podstawy tego, co od jakiegoś czasu nazywamy medycyną nuklearną, czyli droga od tzw. medycyny intuicyjnej do bardzo precyzyjnej i wybiórczej techniki diagnostycznej i terapeutycznej

Do kamieni milowych tej dyscypliny zaliczone zostały: odkrycie promieniotwórczości naturalnej i sztucznej, odkrycie Roentgena, akcent polski w tym obszarze, transformata Radona i efekt Warburga, pierwsze wykorzystanie sztucznie wytworzonego izotopu do leczenia pacjenta chorego na białaczkę, odkrycie metastabilnego izotopu 99mTc i wdrożenie techniki generatorowej, czy wdrożenie podstawowych technik diagnostycznych medycyny nuklearnej.

Jutro medycyny nuklearnej omawiane jest w świetle wdrażanych technik z dziedziny nanotechnologii, sztucznej inteligencji oraz teranostyki.

Medycyna nuklearna w kardiologii polskiej - stan aktualny

Autor: Anna Teresinska[1]

[1] *National Institute of Cardiology*

W 2021 roku, w 79 funkcjonujących w Polsce zakładach medycyny nuklearnej (49 zakładów prowadzących konwencjonalną medycynę nuklearną KMN, 11 zakładów prowadzących jedynie diagnostykę PET i 19 zakładów prowadzących KMN oraz PET) wykonano ponad 33 tys. badań kardiologicznych, z czego badania PET/CT stanowiły <1%. Polska kardiologia nuklearna w praktyce klinicznej opiera się na badaniach konwencjonalnych, wykonywanych technikami SPECT/CT (33 urządzenia), SPECT (6) oraz kamerami kardiocentrycznymi CZT (5). Ok. 98% tych badań stanowi scyntygrafia perfuzyjna mięśnia sercowego; udział diagnostyki amyloidozy serca wynosi <1%, pozostałe badania serca łącznie stanowią ok. 1%. Kardiologiczne badania PET/CT wykonywane były głównie przy wykorzystaniu [18F]FDG i służyły głównie diagnostyce zapaleń w obszarze klatki piersiowej, a w dalszej kolejności ocenie żywotności mięśnia sercowego. Praktycznie jedynym radioizotopem stosowanym w diagnostyce kardiologicznej KMN jest 99mTc. Wiodące badania - scyntygrafia perfuzyjna w spoczynku oraz scyntygrafia perfuzyjna w obciążeniu - generują odpowiednio dawki skuteczne dla standardowego pacjenta na poziomie 5,62 i 5,24 mSv; dawki z badań CT w badaniach hybrydowych SPECT/CT są na poziomie 1 mSv. Narażenie na promieniowanie od radioizotopowych badań kardiologicznych w Polsce na statystycznego mieszkańca wynosi ok. 6 mikrosivertów. W prezentacji zostaną też omówione aktualne obszary klinicznego wykorzystania diagnostyki radioizotopowej serca przez kardiologów - zgodnie z wytycznymi Europejskiego Towarzystwa Kardiologicznego z ostatnich 4 lat, ze szczególnym uwzględnieniem ostatnich 12 miesięcy: przewlekłe zespoły wieńcowe, rewaskularyzacja mięśnia sercowego, amyloidoza serca. Zostaną przedstawione też obszary unikatowych możliwości technik nuklearnych, wykorzystywanych m.in. w zakresie oceny autonomicznego systemu nerwowego serca - zgodnie z ostatnimi opracowaniami Europejskiego Towarzystwa Medycyny Nuklearnej.

SPOTKANIE SEKCJI BRACHYTERAPII

Zastosowanie implantów stałych w wybranych lokalizacjach – przegląd literaturowy

Autor: Magdalena Rozwód[1]

Współautorzy: A. Szymbor [1]; Magdalena Dymnicka [2]

[1] *MCO Poznań Affidea, Zakład fizyki medycznej*

[2] *MCO Affidea Poznań*

W Polsce brachyterapia ultra-LDR głównie kojarzona jest z leczeniem raka gruczołu krokowego. Celem prezentacji jest przedstawienie przeglądu literatury, w której opisane jest stosowanie tej techniki do napromieniania zmian zlokalizowanych w innych obszarach anatomicznych. Przegląd jest oparty głównie o artykuły pochodzące z czasopisma Journal of Contemporary Brachytherapy, bazy publikacji Pubmed oraz portalu Sciencedirect. Autorzy publikacji nie ograniczają się do opisu brachyterapii u-LDR z zastosowaniem jodu 125 lecz przedstawiają przypadki, w których wykorzystywano inne izotopy. Literatura wykorzystana do opracowania przeglądu pochodzi z lat 1996-2022.

SPOTKANIE SEKCJI DIAGNOSTYKI OBRAZOWEJ

Zastosowanie obrazowania rezonansu magnetycznego ważonego dyfuzją (DTI, DWI) do oceny udaru niedokrwiennego mózgu

Autor: Joanna Kidoń[1]

Współautor: Anetta Lasek - Bal [2]

[1] *1) III Katedra Kardiologii, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach 2) Dział Fizyki Medycznej, Górnośląskie Centrum Medyczne im. prof. Leszka Gieca Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach*

[2] *3) Katedra i Klinika Neurologii, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach 4) Oddział Neurologii, Górnośląskie Centrum Medyczne im. prof. Leszka Gieca Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach*

Wstęp: Najważniejszą koncepcją, pozwalającą zrozumieć ostry udar i istotę jego leczenia, jest stwierdzenie „czas to mózg". Z każdą minutą nieleczonego udaru niedokrwiennego związanego z okluzją dużych naczyń umiera blisko dwa miliony neuronów. Wczesna i dokładna identyfikacja tkanki nerwowej możliwej do uratowania może wpłynąć na identyfikację pacjentów, którzy nadal mogą odnieść korzyści z późnej rekanalizacji lub leczenia neuroprotekcyjnego.
Cel: Ocena parametrów dyfuzji cząsteczek wody w udarze niedokrwiennym mózgu, ocena wzajemnej korelacji tych parametrów sekwencji DWI,DTI.
Materiał i metody: Analizie poddano 124 pacjentów, kierowanych z SOR, Oddziału Neurologii i innych oddziałów Górnośląskiego Centrum Medycznego. Do szczegółowej analizy włączono 46 pacjentów, ocenie poddano 67 zmian widocznych w sekwencjach dMRI. Analiza obejmowała ocenę sygnału dyfuzji sekwencji dMRI (DWI, wartości średniej izotropii, śladu dyfuzji), pozornych współczynników dyfuzji obu sekwencji, współczynnika anizotropii frakcyjnej (FA), miar asymetrii parametrów dyfuzji. Parametry oceniano dla całej grupy oraz z podziałem na struktury mózgu.
Wyniki: W obszarze niedokrwienia średnie wartości: ADC(DWI)=7,20[10-4mm2s-1], AvDC(DTI)=7,33[10-4mm2s-1], FA=0,28. Sygnał w obrazowaniu DTI wykazał kilkuprocentowy wzrost względem sygnału DWI dla całej grupy badanej. W kilku przypadkach zaobserwowano wyższe wartości FA w obszarze niedokrwienia względem kontrlateralnego obszaru (zdrowego), obecność ogniska udarowego tylko w sekwencji DTI.
Wnioski: Istnieją zależności pomiędzy parametrami dyfuzji ocenianej w obu sekwencjach, łączna analiza poprawia wartość diagnostyczną metod obrazowania. Sekwencja DTI wykazuje wzrost kontrastu obrazu w porównaniu z sekwencją DWI (istotne w ocenie ognisk udaru o małych rozmiarach). Wspólna analiza miar asymetrii FA oraz ADC może być przydatna w ocenie fazy udaru niedokrwiennego mózgu.

Słowa kluczowe: udar niedokrwienny, obrazowanie MR ważone dyfuzją

Wewnętrzne diagnostyczne poziomy referencyjne w radiologii zabiegowej i tomografii komputerowej

Autor: Wiktoria Piłat[1]

Współautor: Joanna Kidoń [2]

[1] *Śląski Uniwersytet Medyczny*

[2] *III Katedra Kardiologii, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach / Dział Fizyki Medycznej, Górnośląskie Centrum Medyczne im. prof. Leszka Gieca Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach*

Wstęp: Diagnostyczne poziomy referencyjne (DRL) stanowią formę poziomu badawczego stosowaną do optymalizacji ochrony radiologicznej pacjenta w procedurach diagnostycznych i interwencyjnych. Ilość i różnorodność procedur diagnostycznych, zabiegowych z wykorzystaniem promieniowania jonizującego stale rośnie, co implikuje stałą potrzebę analizy, oceny, weryfikacji DRL. W piśmiennictwie naukowym, w aktach prawnych istnieje niedobór opublikowanych diagnostycznych poziomów referencyjnych.
Cel: Wyznaczenie lokalnych DRL w procedurach tomografii komputerowej i radiologii zabiegowej.
Materiał i metody: Grupa badawcza-932 pacjentów poddawanych tomografii komputerowej (głowy/klatki piersiowej/jamy brzusznej/mięśnia sercowego), procedurom radiologii zabiegowej (ablacja/trombektomia mechaniczna/arteriografia tętnic mózgowych/przezskórna angioplastyka balonowa kończyny dolnej/stentowanie tętnic szyjnych/wszczepienie stentgraftu do jamy brzusznej) w Górnośląskim Centrum Medycznym w Katowicach, w okresie lipiec-sierpień 2021 oraz styczeń-maj 2022 roku. Badania przeprowadzono przy użyciu tomografu komputerowego Somatom Force (Siemens), tomografu komputerowego Optima 540 (GE), robota naczyniowego Artis Zeego (Siemens), Artis Zee Ceiling (Siemens). Wartość DRL określono jako 75 percentyl rozkładu zmienności parametrów dozymetrycznych.
Wyniki: CT serca (wyniki ogólne):1108mGy*cm; CT serca(70+/-5kg):1151mGy*cm; CT głowy badanie podstawowe: 973,2mGy*cm; CT głowy bez/z kontrastem: 2105,8mGy*cm; CT klatki piersiowej badanie podstawowe: 181mGy*cm; CT klatki piersiowej HRCT: 280,3mGy*cm; CT klatki piersiowej bez i z kontrastem:1200mGy*cm; CT jamy brzusznej badanie podstawowe:892 mGy*cm; CT jamy brzusznej bez/z kontrastem: 2554,2mGy*cm; ablacja:2356,0μGym2; trombektomia tętnic mózgowych+arteriografia:8431,0μGym2; PTA kończyny dolnej:1433,5μGym2; stentowanie tętnic szyjnych:1379,2μGym2; wszczepienie stentgraftu do jamy brzusznej:28824,5 μGym2.Wnioski*: Wyznaczone DRL dla większości procedur tomografii komputerowej przyjmują niższe wartości względem odpowiadającym im wartościom zamieszczonym w RMZ z dnia 3 kwietnia 2017 roku. Procedury radiologii zabiegowej, nie zostały ujęte w rozporządzeniu, tym samym wyznaczone dla nich diagnostyczne poziomy referencyjne mogą stanowić wartości odniesienia.

Złoty sponsor

TMS

ACCURAY®
Authorized Distributor

RaySearch Laboratories

Elekta

varian
A Siemens Healthineers Company

SIEMENS Healthineers

Srebrny sponsor

CH consult

SWISS Network of Excellence

MVISION

- AI for Precision Radiotherapy -

ASTRA Concept Sp. z o.o.

Brązowy sponsor

DIAGNOMATIC
www.diagnomatic.com

visionrt

Health Technologies Sp. z o.o.

CONSULTRONIX®

MEDSERVICE®

Canberra Packard

radpro

medical RADIOPHARMA

stanley

navigation™
Trafiamy w punkt pod każdym kątem

Partnerzy

Kraków

FIZYK INŻYNIER MEDYCZNY

Studenckie Koło Naukowe Fizyków Medycznych Kerma