

Zmierzyć niewidzialne

czyli o dozymetrii słów kilka...



Kinga Polaczek-Grelik

Zakład Fizyki Medycznej, Instytut Fizyki im. A. Chełkowskiego, Uniwersytet Śląski w Katowicach

NU-MED Centrum Diagnostyki i Terapii Onkologicznej Katowice

...o dozymetrii słów kilka

- Zakresy tolerancji
- Popęłniane błędy
- Potencjalne konsekwencje



- Co jest przedmiotem dozymetrii?
- Czy dysponujemy odpowiednią wiedzą i wyobraźnią?
- Czy dysponujemy odpowiednimi narzędziami?
- Jakie informacje chcemy uzyskać?



Dozymetria – dział fizyki obejmujący zagadnienia pomiarów i obliczeń dawek promieniowania oraz innych parametrów promieniowania jonizującego, które mają istotny wpływ na skutki oddziaływania na materię, szczególnie na materię żywą.

Leksykon onkologii: Dozymetria w radioterapii – W. Łobodziec; Nowotwory Journal of Oncology (2006), 56(3): 351-358.

„-metria” a nie „-skopia”

- Energii nie można zobaczyć
 - Obserwujemy efekty depozycji energii w materii
 - Pomiar zaabsorbowanej energii
 - Wytworzenie mierzalnych efektów wtórnych
- DozyMERTIA
 - RadioMETRIA
 - Dział metrologii zajmujący się pomiarami wielkości charakteryzujących różnego rodzaju promieniowanie (jonizujące, świetlne, radiowe, akustyczne) oraz pomiarami wykorzystującymi to promieniowanie
 - Dział metrologii zajmujący się pomiarami wielkości różnego rodzaju promieniowania, wydajności źródeł i efektów tego promieniowania [Encyklopedia PWN]
 - SpektroMETRIA
 - Pomiar długości fali (energii) promieniowania elektromagnetycznego w widmach



Dozymetria – dział fizyki obejmujący zagadnienia pomiarów i obliczeń dawek promieniowania oraz innych parametrów promieniowania jonizującego, które mają istotny wpływ na skutki oddziaływania na materię, szczególnie na materię żywą.

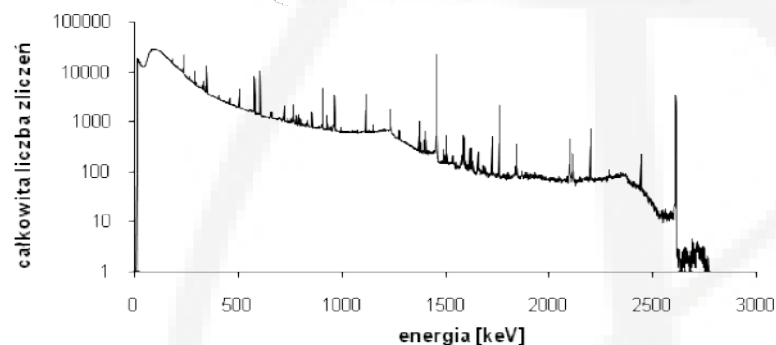
Leksykon onkologii: Dozymetria w radioterapii – W. Łobodziec; Nowotwory Journal of Oncology (2006), 56(3): 351-358.



DKP-50



DP-75

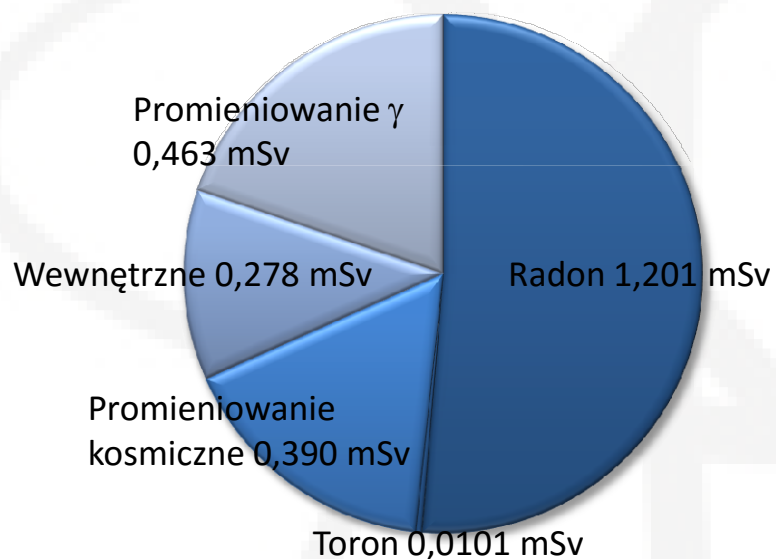


- DozyMERTIA
- RadioMETRIA
 - Dział metrologii zajmujący się pomiarami wielkości charakteryzujących różnego rodzaju promieniowanie (jonizujące, świetlne, radiowe, akustyczne) oraz pomiarami wykorzystującymi to promieniowanie
 - Dział metrologii zajmujący się pomiarami wielkości różnego rodzaju promieniowania, wydajności źródeł i efektów tego promieniowania [Encyklopedia PWN]
- SpektroMETRIA
 - Pomiar długości fali (energii) promieniowania elektromagnetycznego w widmach

Dozymetria – dział fizyki obejmujący zagadnienia pomiarów i obliczeń dawek promieniowania oraz innych parametrów promieniowania jonizującego, które mają istotny wpływ na skutki oddziaływania na materię, szczególnie na materię żywą.

Leksykon onkologii: Dozymetria w radioterapii – W. Łobodziec; Nowotwory Journal of Oncology (2006), 56(3): 351-358.

Promieniowanie naturalne



- Kilkadziesiąt keV – kilka MeV
- średnio 2,433 mSv/rok
[raport Prezesa PAA za 2015r.]

Promieniowanie antropogeniczne

- Źródła promieniowania jonizującego

Urządzenia wytwarzające promieniowanie



Izotopowe źródła promieniotwórcze



- Kilkadziesiąt keV – ok. 20 MeV
- ~0,1 mGy – ~80 Gy

Zakresy tolerancji

- ✓ CEL POMIARÓW
- ✓ AKCEPTOWALNY BŁĄD POMIAROWY
- ✓ PRECYZJA OKREŚLENIA DAWKI

Pomiary środowiskowe

Diagnostyka medyczna

Medycyna nuklearna

Radioterapia

Zakresy tolerancji

✓ CEL POMIARÓW

✓ AKCEPTOWALNY BŁĄD POMIAROWY

✓ PRECYZJA OKREŚLENIA DAWKI

Pomiary środowiskowe

- $H_p(10)$, $H_p(0,07)$, $H^*(10)$
- Monitorowanie zewnętrznych pól promieniowania – ocena narażenia a priori
 - Zapobieganie wystąpieniu efektów deterministycznych
- Kontrola indywidualna – a posteriori ocena otrzymanej dawki
 - Współczynniki ryzyka wystąpienia efektów stochastycznych / Sv [ICRP 103, 2007]

Diagnostyka medyczna

Medycyna nuklearna

	Nowotwory	Dziedziczne	Łącznie
Ogół	$5,5 \times 10^{-2}$	$0,2 \times 10^{-2}$	$5,7 \times 10^{-2}$
Dorośli	$4,1 \times 10^{-2}$	$0,1 \times 10^{-2}$	$4,2 \times 10^{-2}$

- Typowy limit detekcji: 0,03 – 0,1 mSv

Radioterapia



Zakresy tolerancji

✓ CEL POMIARÓW

✓ AKCEPTOWALNY BŁĄD POMIAROWY

✓ PRECYZJA OKREŚLENIA DAWKI

Pomiary środowiskowe

Diagnostyka medyczna

Medycyna nuklearna

Radioterapia

- Diagnostyczne poziomy referencyjne – zasada ALARA
- Wejściowa dawka powierzchniowa [Rozporządzenie MZ z dnia 12 list. 2015r.]
 - 100mGy/min (fluoroscopia, angiografia)
 - 2mGy/obraz (fluorografia), 0,2mG/obraz (kardiologia)
- CTDI (tomograficzny indeks dawki)
 - Stałość $\pm 20\%$
- Wydajność lampy rtg
 - 30 $\mu\text{Gy}/\text{mAs}$ na 1m (mammografia)
- Dawka gruczołowa
 - 1mGy dla 2cm PMMA
- DAP [$\mu\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$] [Radiation Protection No. 109, Komisja Europejska]

Zakresy tolerancji

✓ CEL POMIARÓW

✓ AKCEPTOWALNY BŁĄD POMIAROWY

✓ PRECYZJA OKREŚLENIA DAWKI

Pomiary środowiskowe

- Dawka jako czynnik korelujący aktywność preparatu radiofarmaceutycznego z obserwowanymi skutkami leczenia / radiotoksycznością
- Fantomy obliczeniowe → fantomy wokselowe

Diagnostyka medyczna

Medycyna nuklearna

Radioterapia

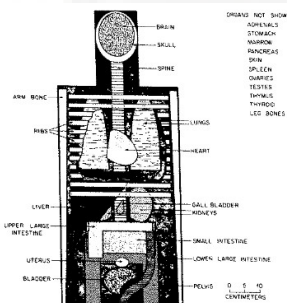


FIG. B-2. Anterior view of the principal organs in the head and trunk of the phantom.

MIRD Pamphlet No. 5,
Revised: Estimates of
specific absorption fractions
for photon sources
uniformly distributed in
various organs of a
heterogeneous phantom.
Society of Nuclear
Medicine, NY 1978.

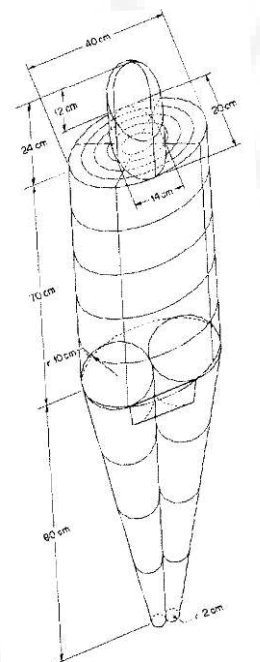
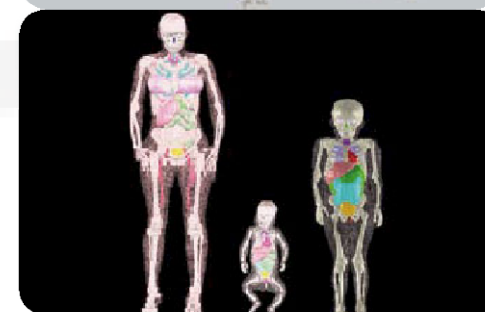
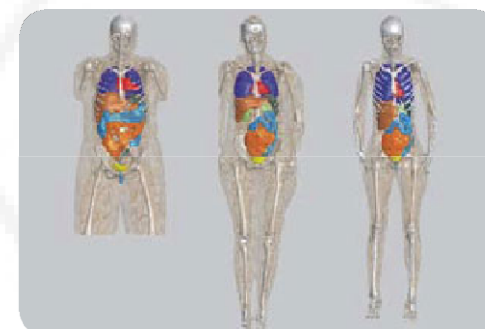


FIG. B-1. Exterior of the adult phantom.



AMSD Research Unit Medical Radiation
Physics and Diagnostics;
HelmholtzZentrum München

Zakresy tolerancji

- ✓ CEL POMIARÓW
- ✓ AKCEPTOWALNY BŁĄD POMIAROWY
- ✓ PRECYZJA OKREŚLENIA DAWKI

Radioterapia

- Kerma, dawka pochłonięta, dawka równoważna biologicznie
- „dose prescribed and dose delivered have to agree within +/-5% in the PTV to achieve a controlled cure rate without excessive complications to normal tissue” [IAEA TecDoc-896]
- Wiązki zewnętrzne: „accuracy of $\pm 5\%$ (...) as a tolerance of the deviation between the prescribed dose and the dose delivered to the target volume” [IAEA TRS 398; ICRU 24]
- „in critical situations $\pm 2\%$ may be required” [ICRU Report 24]
- TBI: 3% – 15% [J. Malicki, Strahlenther Onkol. 1999, 175(5): 208-12]
- Niepewności algorytmów obliczeniowych, np. EMC (Electron Monte Carlo) $\sim 5\%$
- 0.8% różnice pomiędzy komorami tego samego typu
- **Jakie potencjalne różnice w TCP i NTCP jesteśmy skłonni zaakceptować: γ_{50}**

Clinically observed normalized dose response gradients for malignant tissues

Site	γ_c	References
Nasopharynx		
T1/2	2.8	METZ et coll. (25)
T3	1.0	
Tongue		
T1	1.7	LEES (23)
T2	1.4	
Squamous cell carcinoma	3.5	PATTERSON (27)
Squamous cell carcinoma	5.9	HLINIAK et coll. (15)
Glottic carcinoma T2	4.6	HARWOOD (12)
Larynx		
T3	4.0	STEWART & JACKSON (33)
T3/4	8.0	MACIEJEWSKI et coll. (24)
T2/3	3.5	SHUKOVSKY (31)
Larynx	3.0	KIM et coll. (22)
Larynx	2.4	ARISTIZABAL & CALDWELL (1)
Glossopalatine sulcus	3.7	SHUKOVSKY et coll. (32)
Hodgkin's disease	0.4	KAPLAN (19)
Melanoma metastasis	4.0	TROTT et coll. (36)

A. Brahme – Dosimetric precision requirements in radiation therapy.

Acta Radiologica Oncology 23 (1984)

„Do badań nad promieniowaniem, wysyłanem przez ciało radioaktywne, nadawać się może jakakolwiek z jego własności (...). Tylko metoda elektryczna pozwala na ścisłe pomiary; obie pozostałe (radiograficzna i fluoroskopowa) dają jedynie rezultaty jakościowe.”

Badanie ciał radioaktywnych – M. Skłodowska-Curie; Odbitka z Chemika Polskiego, wydanie krytyczne w 125. rocznicę urodzin Uczonej z przedmową, komentarzami i posłowiem Józefa Hurwica, Warszawa 1992..

„(...) wszelkie więc pomiary promieniowania zapomocą jakiegokolwiek transformatora zależą od jego natury.”

... popełniane błędy...?



- Komora jonizacyjna
 - Współczynniki korekcyjne k_s , k_{pol}
 - Współczynnik kalibracyjny $N_{d,w}$

- Wydajność konwersji pochłoniętej energii na mierzony efekt
- Czułość metody
- Rozdzielczość metody
- Rodzaj zależności dawka – efekt
- Czasowa zdolność rozdzielcza

Jakość promieniowania!!!

- ✓ Używanego do wzorcowania
- ✓ Mierzonego

Ośrodek pomiarowy
(pochłaniający energię promieniowania)



„Do badań nad promieniowaniem, wysyłanem przez ciało radioaktywne, nadawać się może jakakolwiek z jego własności (...). Tylko metoda elektryczna pozwala na ścisłe pomiary; obie pozostałe (radiograficzna i fluoroskopowa) dają jedynie rezultaty jakościowe.”

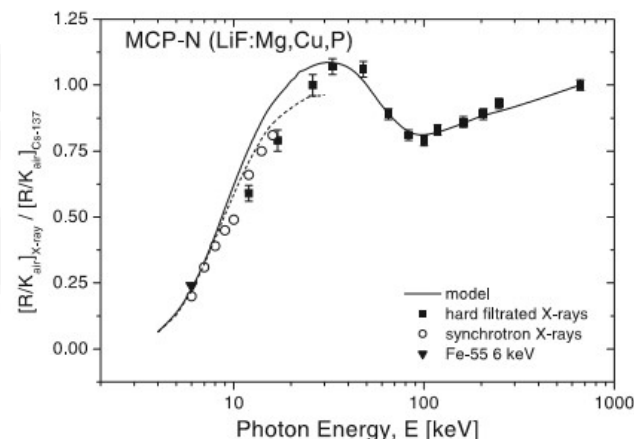
Badanie ciał radioaktywnych – M. Skłodowska-Curie; Odbitka z Chemika Polskiego, wydanie krytyczne w 125. rocznicę urodzin Uczonej z przedmową, komentarzami i posłowiem Józefa Hurwica, Warszawa 1992..

„(...) wszelkie więc pomiary promieniowania zapomocą jakiegokolwiek transformatora zależą od jego natury.”

... popełniane błędy...?



- Wydajność konwersji pochłoniętej energii na mierzony efekt
- Czułość metody
- Rozdzielczość metody
- Rodzaj zależności dawka – efekt
- Czasowa zdolność rozdzielcza



Horowitz, Olko
(2004)
Radiat.Prot.
Dosim. 109(4)

„Do badań nad promieniowaniem, wysyłanem przez ciało radioaktywne, nadawać się może jakakolwiek z jego własności (...). Tylko metoda elektryczna pozwala na ścisłe pomiary; obie pozostałe (radiograficzna i fluoroskopowa) dają jedynie rezultaty jakościowe.”

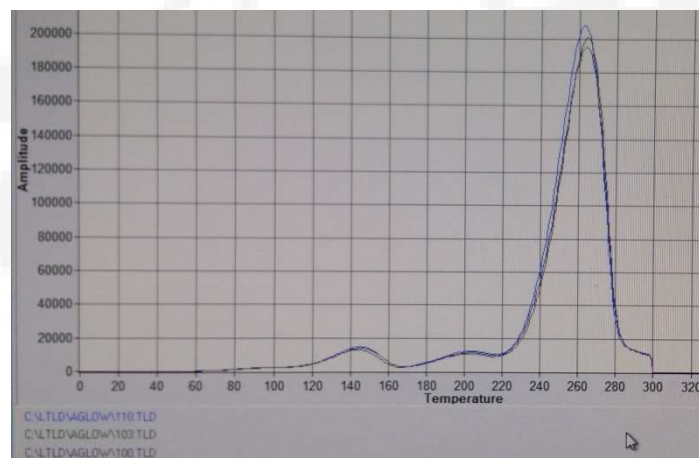
Badanie ciał radioaktywnych– M. Skłodowska-Curie; Odbitka z Chemika Polskiego, wydanie krytyczne w 125. rocznicę urodzin Uczonej z przedmową, komentarzami i posłowiem Józefa Hurwica, Warszawa 1992..

„(...) wszelkie więc pomiary promieniowania zapomocą jakiegokolwiek transformatora zależęć będą od jego natury.”

... popełniane błędy...?



- Wydajność konwersji pochłoniętej energii na mierzony efekt
- Czułość metody
- Rozdzielczość metody
- Rodzaj zależności dawka – efekt
- Czasowa zdolność rozdzielcza



„Do badań nad promieniowaniem, wysyłanem przez ciało radioaktywne, nadawać się może jakakolwiek z jego własności (...). Tylko metoda elektryczna pozwala na ścisłe pomiary; obie pozostałe (radiograficzna i fluoroskopowa) dają jedynie rezultaty jakościowe.”

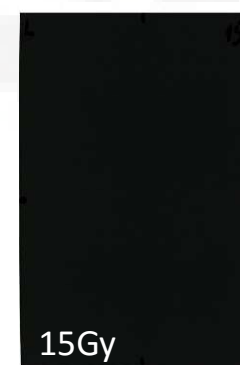
Badanie ciał radioaktywnych – M. Skłodowska-Curie; Odbitka z Chemika Polskiego, wydanie krytyczne w 125. rocznicę urodzin Uczonej z przedmową, komentarzami i posłowiem Józefa Hurwica, Warszawa 1992..

„(...) wszelkie więc pomiary promieniowania zapomocą jakiegokolwiek transformatora zależą od jego natury.”

... popełniane błędy...?



- Wydajność konwersji pochłoniętej energii na mierzony efekt
- Czułość metody
- Rozdzielczość metody
- Rodzaj zależności dawka – efekt
- Czasowa zdolność rozdzielcza



„Do badań nad promieniowaniem, wysyłanem przez ciało radioaktywne, nadawać się może jakakolwiek z jego własności (...). Tylko metoda elektryczna pozwala na ścisłe pomiary; obie pozostałe (radiograficzna i fluoroskopowa) dają jedynie rezultaty jakościowe.”

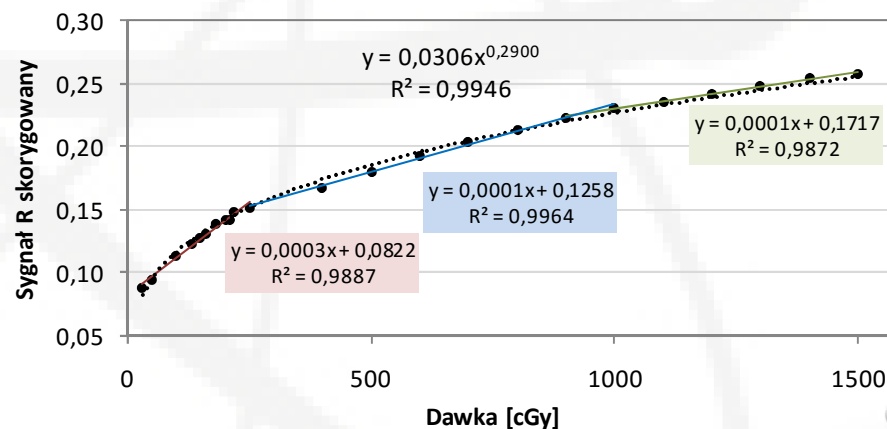
Badanie ciał radioaktywnych– M. Skłodowska-Curie; Odbitka z Chemika Polskiego, wydanie krytyczne w 125. rocznicę urodzin Uczonej z przedmową, komentarzami i posłowiem Józefa Hurwica, Warszawa 1992..

„(...) wszelkie więc pomiary promieniowania zapomocą jakiegokolwiek transformatora zależą od jego natury.”

... popełniane błędy...?



- Wydajność konwersji pochłoniętej energii na mierzony efekt
- Czułość metody
- Rozdzielczość metody
- Rodzaj zależności dawka – efekt
- Czasowa zdolność rozdzielcza



„Do badań nad promieniowaniem, wysyłanem przez ciało radioaktywne, nadawać się może jakakolwiek z jego własności (...). Tylko metoda elektryczna pozwala na ścisłe pomiary; obie pozostałe (radiograficzna i fluoroskopowa) dają jedynie rezultaty jakościowe.”

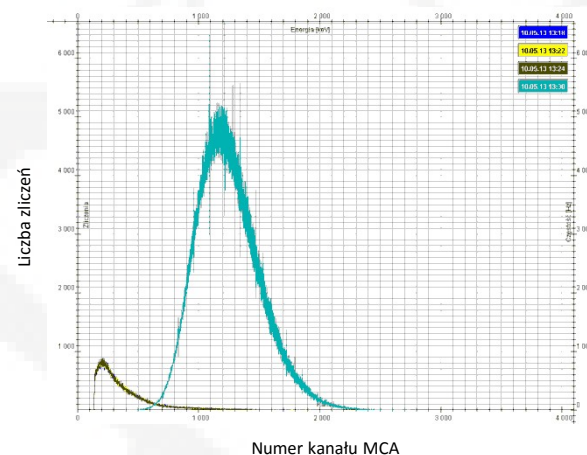
Badanie ciał radioaktywnych– M. Skłodowska-Curie; Odbitka z Chemika Polskiego, wydanie krytyczne w 125. rocznicę urodzin Uczonej z przedmową, komentarzami i posłowiem Józefa Hurwica, Warszawa 1992..

„(...) wszelkie więc pomiary promieniowania zapomocą jakiegokolwiek transformatora zależą od jego natury.”

... popełniane błędy...?



- Wydajność konwersji pochłoniętej energii na mierzony efekt
- Czułość metody
- Rozdzielczość metody
- Rodzaj zależności dawka – efekt
- Czasowa zdolność rozdzielcza

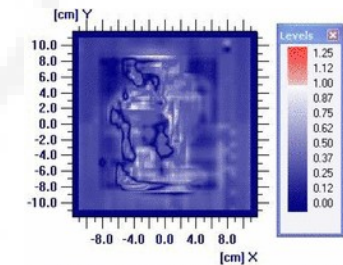
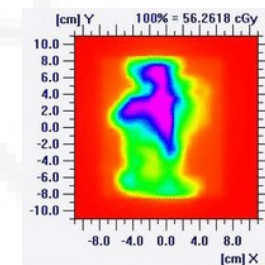
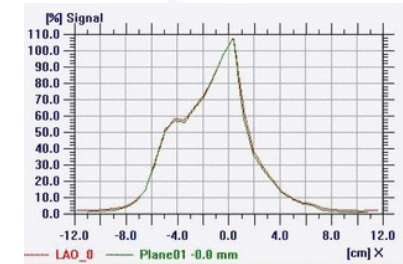
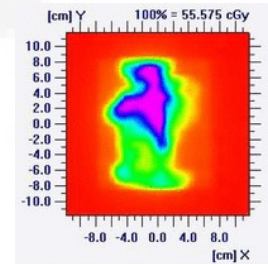
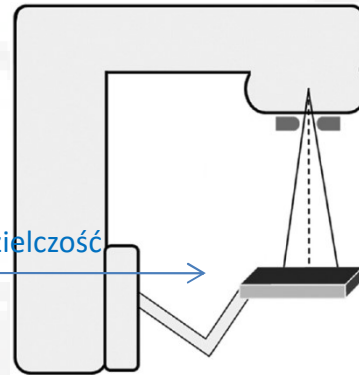


Potencjalne konsekwencje

- Mierzona wielkość
 - Fluencja energii
 - Ładunek → dawka

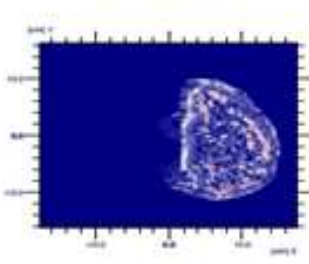
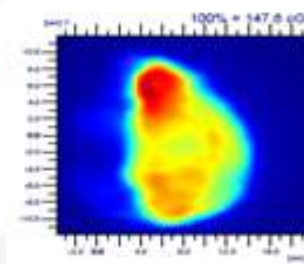
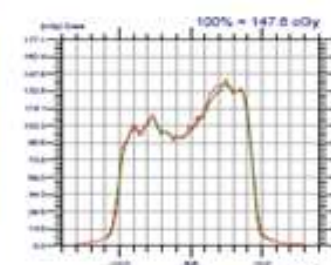
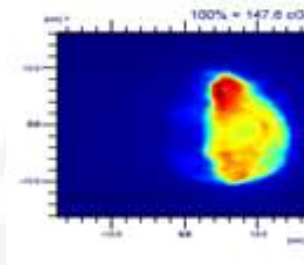
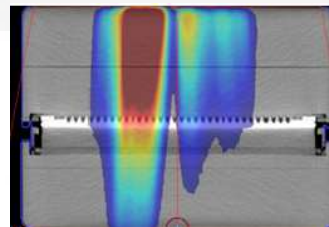
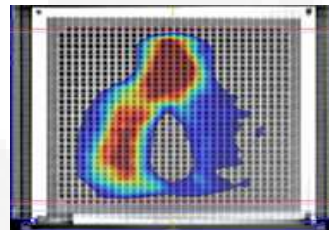
Znakomita rozdzielczość

Informacja o dawce



Sharma et al. Journal of Appl Clinical Med. Phys 11(4), 2010.

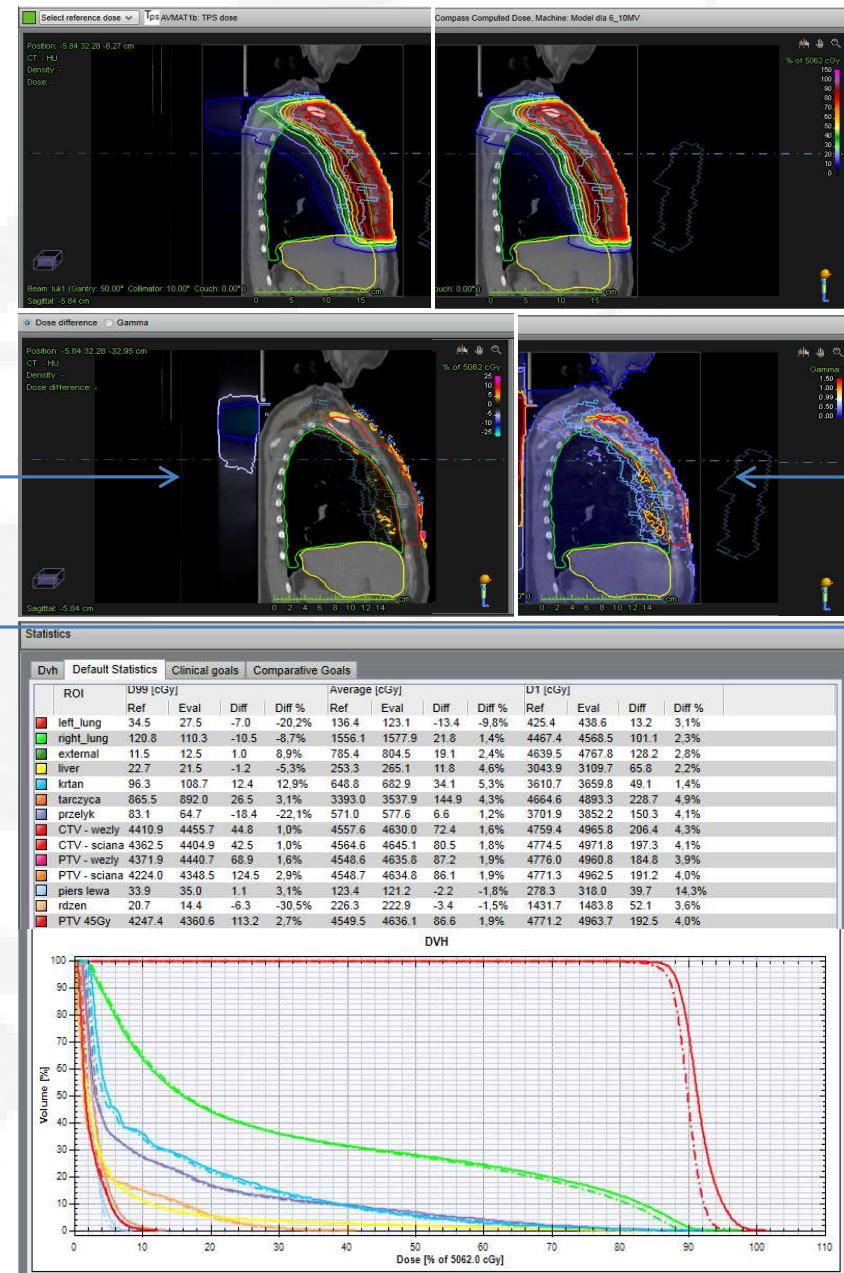
- Wskaźniki dopasowania dwóch rozkładów 2D, 3D
 - DTA
 - %D
 - Indeks Γ



Materiały własne NU-MED CDiTO Katowice

Potencjalne konsekwencje

- Mierzona wielkość
 - Fluencja energii
 - Ładunek → dawka
- Wskaźniki dopasowania dwóch rozkładów 2D, 3D
 - DTA
 - %D
 - Indeks Γ



Podsumowanie





DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ ...