



Bezpieczeństwo radiologiczne w pracowni hemodynamiki

Michał Tylkowski
Maciej Kośmider

Pracownia Hemodynamiki
Zakładu Kardiologii Inwazyjnej
Uniwersyteckiego Szpitala Klinicznego nr 3
91-425 Łódź ul. Sterlinga 1/3

Przyczyny powstania niniejszego opracowania:

1. Wzrastająca liczba pacjentów poddawanych procedurom kardiologii interwencyjnej
2. Wzrastająca liczba lekarzy wykonujących koronarografie i zabiegi PCI (niedostatek informacji dotyczących zagadnienia w systemie kształcenia kardiologa)
3. Brak informacji dotyczących zagadnienia w języku polskim (brak kompendium zwięźle opracowującego temat)
4. Wprowadzenie ścisłych norm prawnych obowiązujących od 01.2007 (związanych z wstąpieniem Polski do Unii Europejskiej)

Informacje ogólne:

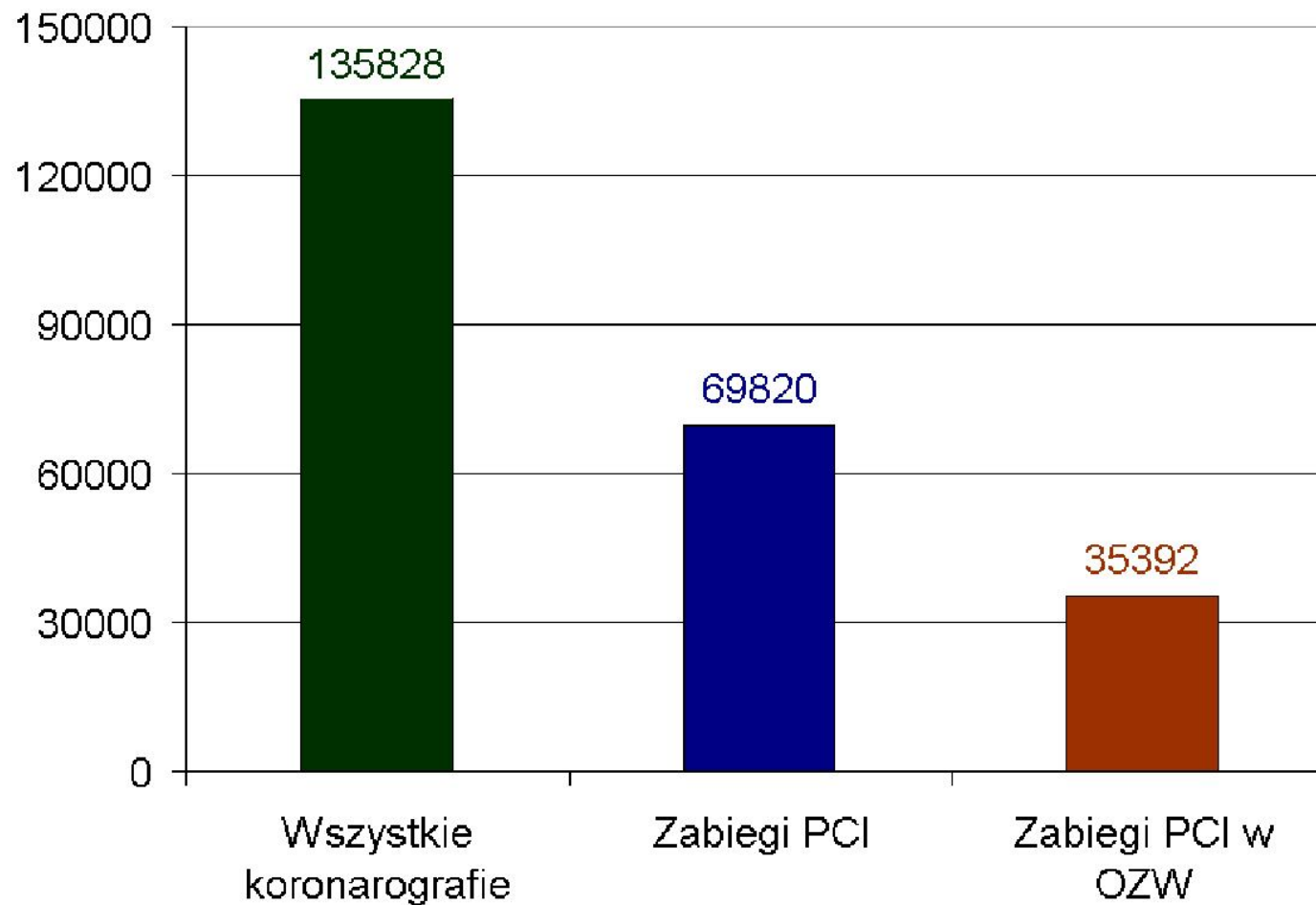
1. Wykonywanie procedur medycznych z użyciem promieniowania RTG wiąże się z obowiązkiem moralnym operatora do używania najniższej możliwej dawki
2. Zmniejszenie dawki dla pacjenta to zmniejszenie dawki dla operatora i pozostałych członków zespołu
3. Za **procedury** odpowiada dyrektor ośrodka (a w jego imieniu kierownik pracowni),
za **sprzęt** odpowiada inspektor ochrony radiologicznej
4. Unijne normy prawne przewidują współpracę fizyka medycznego z ośrodkami wykorzystującymi RTG w medycynie. Problem – brak wykształconych kadr

Średnia roczna dawka promieniowania tła dla terytorium Polski: ok. 2,6 mSv



Postęp w diagnostyce medycznej (m.in. TK, koro+PCI) przyczynia się do zwiększania odsetka przypadającego dla medycyny

Ilość zabiegów w Polsce w 2006 roku:



Koro: 3,5 na 1000 osób

PCI: 1,2 na 1000 osób

PCI w OZW: 0,9 na 1000 osób

Wg Zarządu Sekcji Interwencji Sercowo-Naczyniowych PTK

Podstawy - Jednostki (1)

Podstawową jednostką charakteryzującą promieniowanie jest dawka pochłonięta: mierzona w **grejach**

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

1 Gy to bardzo duża dawka pochłonięta; kilka grejów to dawka śmiertelna dla człowieka. Podczas koronarografii i PCI pacjent otrzymuje kilka – kilkanaście miligrejów

Pomiar dawki pochłoniętej nie jest rutynowo wykonywany, uwzględnia zarówno wiązkę pierwotną jak i promieniowanie rozproszone – wymaga umieszczenia czujników wewnątrz ciała

Istnieje także współczynnik jakości (szkodliwości) promieniowania.

Po jego uwzględnieniu (dla prom. X = 1) uzyskujemy dawkę skuteczną (mierzoną w **siwertach**)

Można posługiwać się skrótem myślowym dla promieniowania X:

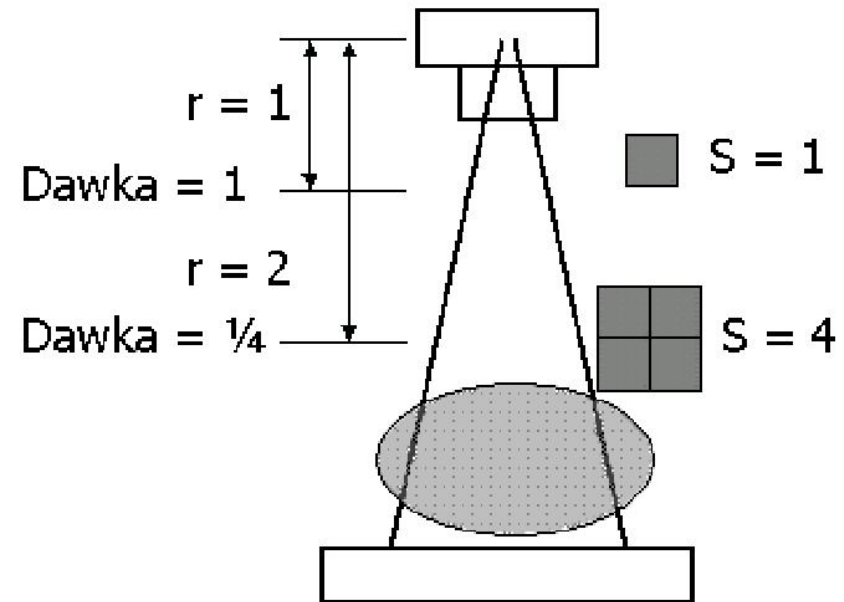
$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ Sv}$$

Podstawy - Jednostki (2)

DAP, dose area product (jednostka: Gy x m²)

Iloczyn dawki i powierzchni

- Technicznie: dawka x powierzchnia przez którą przechodzi promieniowanie
- Wartość niezależna od odległości od źródła promieniowania
- Uzyskiwana w sposób obiektywny (mierzona przez komorę jonizacyjną w obudowie lampy). Niektóre systemy wyliczają DAP z parametrów ekspozycji
- Zgodnie z normami prawnymi wszystkie aparaty RTG wykorzystywane w medycynie od 01.2007 muszą podawać dawkę promieniowania. Dla pracowni hemodynamiki DAP jest jednym z najlepszych parametrów



Dawka maleje z kwadratem odległości

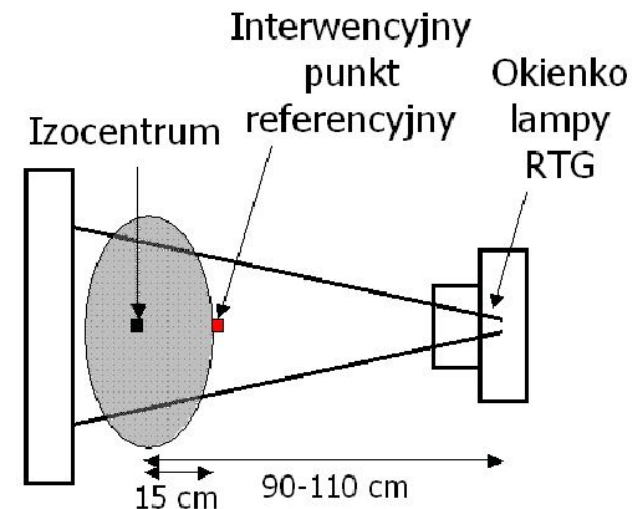
Iloczyn dawka x powierzchnia (DAP) pozostaje stały

Przelicznik jednostek: cGy x cm² = μGy x m²

Podstawy - Jednostki (3)

W celu oceny narażenia na deterministyczne skutki niepożądane promieniowania niektóre systemy obliczają dawkę ekspozycyjną na skórę pacjenta (jednostka: grej)

- Zakładamy, że serce pacjenta znajduje się w izocentrum
- Obliczenie dokonywane jest ze zmierzonego DAP i założenia, że skóra pleców znajduje się w odległości 15-20 cm w kierunku lampy od izocentrum (zmienna dla różnych angiografów)
- Duży błąd wyliczeń (30 - 50%) wynikający z owalnego przekroju poprzecznego pacjenta (rysunek)
- Obliczenie dawki ma charakter orientacyjny i służy jedynie wykrywaniu pacjentów narażonych na niepożądane działanie promieniowania jonizującego



Podstawy – Szkodliwość promieniowania X (1)

Zasadniczy podział na: efekty stochastyczne i niestochastyczne (deterministyczne)

Efekty stochastyczne to nowotwory i skutki genetyczne

- ❖ Niezależne od dostarczonej dawki, pojawiają się na zasadzie przypadku. Występują po 5-20 latach po napromienieniu
- ❖ Wraz ze wzrostem dawki prawdopodobieństwo wystąpienia efektu wzrasta; nie można wskazać progu dawki, poniżej którego efekt nie wystąpi
- ❖ Natura i stopień nasilenia efektu stochastycznego wynika wyłącznie z rodzaju uszkodzenia materiału genetycznego komórki i jej funkcji w organizmie
- ❖ Dla zabiegów kardiologii inwazyjnej najbardziej narażonym organem są płuca

Podstawy – Szkodliwość promieniowania X (2)

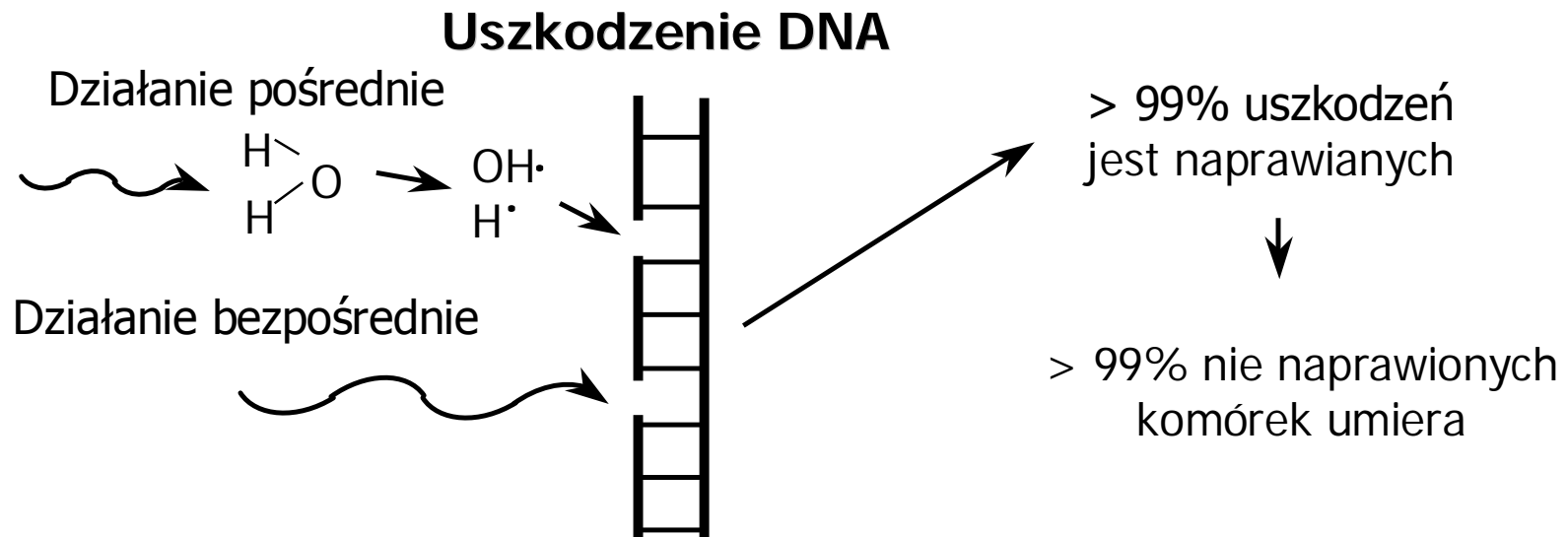
Efekty stochastyczne:

- ❖ Dokładne określenie ryzyka wystąpienia efektu nie jest możliwe (dysponujemy obserwacjami populacji po atakach nuklearnych, gdzie populacja otrzymała dużo większe dawki)
- ❖ Prawdopodobieństwo rozwoju nowotworu szacowane jest na 1 na 2500 osób które otrzymały dawkę skuteczną 10 mSv (otrzymywaną przy typowej procedurze: koro+PCI)
- ❖ Jest ono znacznie mniejsze u osób po 50 r.ż. (które mają krótszy oczekiwany czas przeżycia)
- ❖ Problem sumowania dawek z różnych procedur

Podstawy – Szkodliwość promieniowania X (3)

Efekty niestochastyczne – deterministyczne:

- ❖ Zmiany w tkankach lub narządach wynikające ze śmiertelnego uszkodzenia pewnej ilości komórek
- ❖ Istnieje ściśle określony próg dawki, poniżej którego efekt działania nie wystąpi
- ❖ Stopień nasilenia jest wprost proporcjonalny do liczby zabitych komórek



Podstawy – Szkodliwość promieniowania X (4)

Efekty niestochastyczne – deterministyczne:

- ❖ W kardiologii interwencyjnej narządem krytycznym jest skóra pleców pacjenta
- ❖ Jeśli pacjent otrzymał na skórę dawkę sumaryczną wyrażoną w grejach przekraczającą 3 Gy, powinien być poddawany badaniom kontrolnym co najmniej raz w tygodniu w okresie 21 dni po zabiegu
- ❖ Jeśli pacjent otrzymał na skórę dawkę sumaryczną przekraczającą 1 Gy, dokumentacja wyników badań i informacja o dawce jest przekazywana lekarzowi prowadzącemu i powinna zostać odnotowana w dokumentacji

Podstawy – Szkodliwość promieniowania X (5)

Efekty niestochastyczne – deterministyczne:

❖ Od napromienienia do wystąpienia działania szkodliwego mija zwykle kilka tygodni (pacjent jest już w domu)

Efekt	Próg dawki (Gy)	Czas fluoroskopii (przy dawce 0,02Gy/min)	Czas od napromienienia do wystąpienia efektu
Przemijający rumień skórny	2	1,7h	godziny
Czasowa utrata włosów	3	2,5h	3 tygodnie
Trwała utrata włosów	7	5,8h	> 3 tygodnie
Atrofia skóry	11	9,2h	> 2 tygodnie
Teleangiektazje	12	10,0h	>52 tygodnie
Martwica skóry	18	15h	>10 tygodni

Dawki ekspozycyjne na skórę podczas zabiegów kardiologii interwencyjnej:

- fluoroskopia:

standardowo ~ 15-50 mGy/min

„high dose” ~ 50-150 mGy/min

} 15 ramek /sek.

- akwizycja:

standardowo ~ 5-15 mGy/s

↘ (300-900 mGy/min)

Akwizycja używa **10 – 30x większej** dawki
promieniowania niż fluoroskopia

Górny limit dawki podczas fluoroskopii: 200mGy/min

Przy akwizycji nie ma limitu dawki

Cel koronarografii:

Uzyskanie obrazów tętnic wieńcowych **zadowalającej** jakości, wystarczającej do postawienia diagnozy

Nie jest celem uzyskanie obrazu **najlepszej** jakości

Systemy radiografii cyfrowej (z flat panelem) niosą dodatkową pułapkę: dzięki obróbce komputerowej zwiększanie dawki nie grozi prześwietleniem obrazu

Kluczowym jest zrozumienie, że redukcja dawki nie jest celem samym w sobie, istotny jest cel badania

Koronarografia **zawsze** wiąże się z napromienieniem pacjenta

Należy dążyć do uzyskiwania obrazów **zadowalającej** jakości przy użyciu **jak najmniejszej dawki**

Uwaga: zbyt mała dawka może dać obraz złej jakości
Powtórki są niepotrzebnym narażaniem na promieniowanie

Czynniki wpływające na dawkę:

- Rozmiary pacjenta
- Typ procedury
- Typ angiografu i parametry pracy
- Optymalna eksploatacja angiografu
- Czas ekspozycji (w tym ilość akwizycji)

Możliwości operatora:

nie ma wpływu

nie ma wpływu

w zasadzie nie ma wpływu

jest wpływ

jest wpływ

Koncepcje ochrony radiologicznej:

- Staranna kwalifikacja do badania
- Informacja o napromienieniu w dokumentacji medycznej
- Redukcja dawek
- Stosowanie osłon

Ochrona pacjenta

Ochrona personelu

Podstawową zasadą jest ALARA

(ang. As low as reasonably achievable)

czyli: tylko tyle ile niezbędnie konieczne

Sposoby ograniczania dawki (1):

- Operator musi być wypoczęty, jego doświadczenie ma zasadniczy wpływ na redukcję dawki
- Nowsze systemy są bezpieczniejsze od starszych
- Angiografy z cyfrowym detektorem obrazu mogą pracować przy mniejszych ustawieniach dawek niż aparaty z wzmacniaczem konwencjonalnym (bardzo ważna kwestia ustawień, przy nieprawidłowych dawka większa)
- Redukcja ilości ramek obrazu na sekundę (30 / 25 \Rightarrow 15 / 12,5)
- Unikanie geometrycznego powiększenia obrazu (względnie większa dawka podczas powiększenia przy wzmacniaczach tradycyjnych w porównaniu z cyfrowymi)

Sposoby ograniczania dawki (2):

- ❖ Zmniejszanie czasu fluoroskopii
 - optymalne pozycjonowanie, sprawność manualna
 - wstępne ustawianie bez podglądu
 - używanie wirtualnych przesłon i kolimatora
- ❖ Zmniejszanie ilości ramek akwizycji i ilości akwizycji
 - rutynowo 4 projekcje na lewą tętnicę wieńcową (LTW), a 2 na prawą tętnicę wieńcową (PTW). Dodatkowe projekcje tylko, jeśli konieczne
 - u osób młodych istnieje możliwość dalszej redukcji ilości projekcji (2-3 na LTW i 1 na PTW), o ile nie ma żadnych wątpliwości co do ocenianych odcinków tętnic wieńcowych
 - skracanie czasu akwizycji do 2-3 sekund (niemożliwe, jeśli trzeba uwidocznić krążenie oboczne)

Sposoby ograniczania dawki (3):

- ❖ Systematyczna praca w trybie niskiej dawki (low-dose) zarówno podczas fluoroskopii jak i akwizycji – możliwa podczas 99% zabiegów
- ❖ Kolimacja do obszaru zainteresowania
- ❖ Używanie opcji nagrywania fluoroskopii (store fluoro) – np. w celu dokumentacji zabiegu angioplastyki
- ❖ Ograniczanie stosowania projekcji LAO / cranial (projekcji, w których prześwietlany jest kręgosłup)
- ❖ Należy unikać „spidera” przy pracy na tętnicy okalającej, alternatywną jest projekcja LAO 0 CAUD 20
- ❖ Zasada: pacjent najdalej od lampy jak to możliwe, wzmacniacz najbliżej pacjenta jak to możliwe

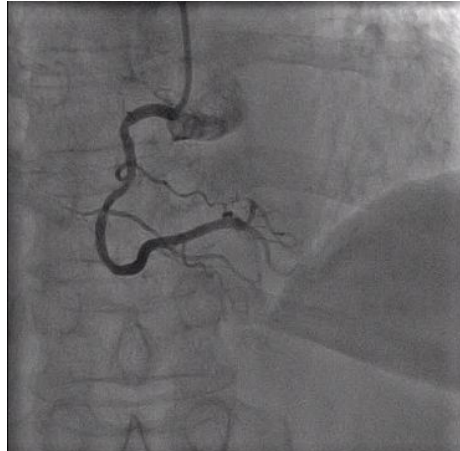
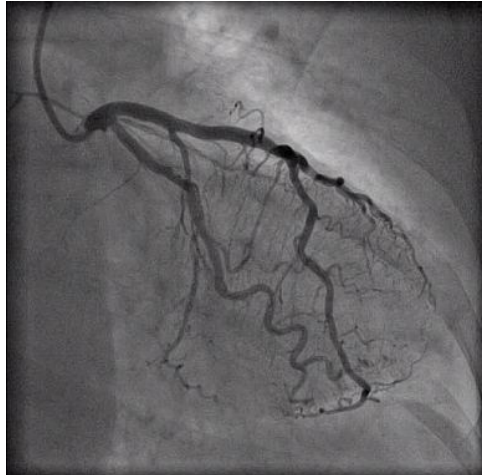
Kolimacja redukuje dawkę:

Angiografia LTW

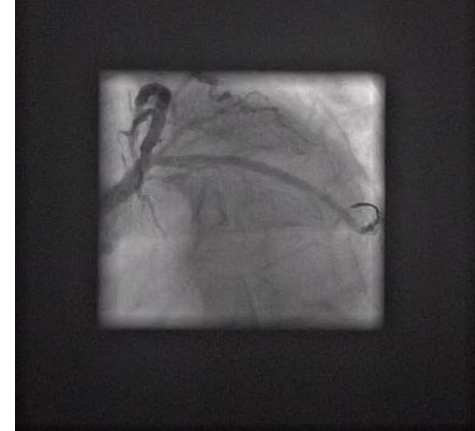
Angiografia PTW

PCI

Źle



Dobrze



Dawki względne przy różnych kątowych ustawieniach ramienia C:

Kąty ramienia C	Dawka dla pacjenta	Dawka dla operatora
LAO 0 CRAN 0	1,0	1,0
LAO 0 CAUD 20	1,15	1,3
LAO 0 CRAN 30	1,46	2,5
LAO 30 CRAN 0	1,46	2,5
LAO 90 CRAN 0 („profil”)	2,15	6,3
LAO 50 CAUD 20 („spider”)	3,77	9,1

Dawka bezwzględna dla pacjenta jest powyżej 1000 razy większa niż operatora (który otrzymuje tylko promieniowanie rozproszone i jest chroniony przez odpowiednie osłony)

Wartości referencyjne dawek używanych w celu optymalizacji pracy:

- ❖ 75% zabiegów powinno być ukończone przy wartościach mniejszych niż podane:

Oceniany parametr	Koro	PCI
Czas fluoroskopii (min)	6	16
DAP (cGy x cm ²)	5700	9400
Liczba ramek akwizycji	1270	1355

Źle – duża odległość
pacjenta od wzmacniacza



Dobrze



Stosowanie osłon przed promieniowaniem



Źle – osłona nie chroni operatora

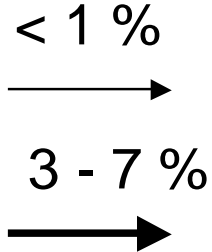
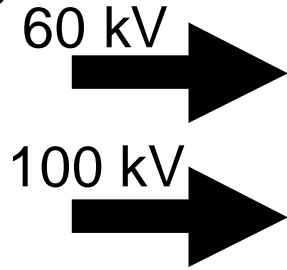


Dobrze

Pochłanianie promieniowania przez osłony o różnej grubości

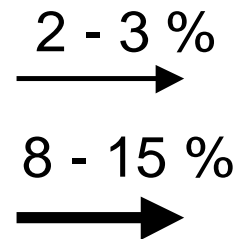
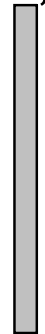
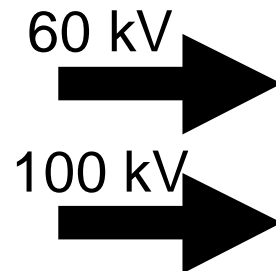
równoważnik 0,5mm ołowiu

Maksymalne napięcie na lampie

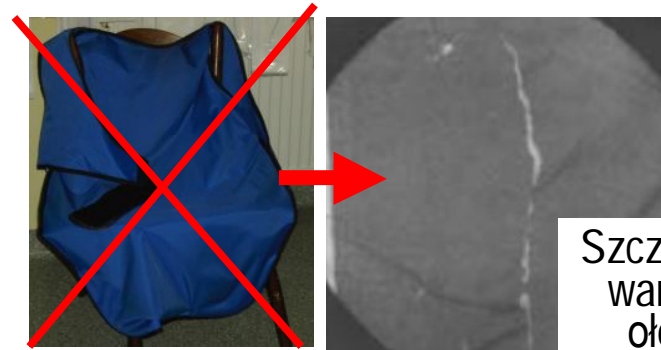


% ilości fotonów przenikających osłonę

równoważnik 0,25mm ołowiu



Należy dbać o fartuchy, niestaranne przechowywanie może powodować uszkodzenia



Szczelina w warstwie ołowiu

Operator: osłona o ekwiwalencji minimum 0,5mm ołowiu, pozostały personel: minimum 0,25mm

Monitorowanie dawek indywidualnych personelu pracowni hemodynamiki:

Pracowników kategorii A (narażonych na roczną dawkę skuteczną powyżej 6mSv) obowiązuje noszenie **dwóch** dozymetrów:



1 – w miejscu ciała zwróconym w kierunku lampy RTG: ramię, na zewnątrz kołnierza chroniącego tarczycę itp.

2 – za osłoną ołowianą

Roczna dawka pochłonięta nie powinna przekroczyć 20 mSv, w ciągu kolejnych 5 lat nie może ona przekroczyć 100mSv

Dawki z kolejnych lat są gromadzone w rejestrze. Jest to jedyna dokumentacja napromienienia zawodowego w przypadku ewentualnego rozważania wpływu środowiska pracy na zdrowie

Porównanie stosowanych dawek promieniowania podczas różnych procedur medycznych (w mSv)

Badanie	Dawka efektywna (mSv)	Ekwiwalent ilości zdjęć klp.
Zdjęcie RTG:		
Klp. (PA)	0,02	-
Głowy	0,07	3,5
Kręgosłupa szyjnego	0,3	15
Kręgosłupa piersiowego	1,4	70
Kręgosłupa lędźwiowego	1,8	90
Brzucha	0,53	26,5
Miednicy	0,83	41,5
Mammogram	0,13	6,5
CT		
Głowy	2	100
Brzucha	10	500
Klp.	20-40	1000-2000
PET - CT	25	1250

Scyntygrafia perfuzyjna (SPECT): > 8 mSv

Calcium score (MDCT): 1,5 - 2 mSv

Angio-CT – 20-50 mSv

Koro + PCI: do 20 mSv

Mniej niż angio-CT !!!

Pacjent może mieć wykonane wszystkie powyższe badania w przeciągu krótkiego czasu – brak przepływu informacji odnośnie dawek promieniowania

Roczna dawka promieniowana naturalnego (tła) dla każdego człowieka w Polsce wynosi około 2,6 mSv

WNIOSKI:

1. Znajomość sposobów redukcji dawek jest kluczem do ich ograniczania
2. Nowoczesne angiokardiografy umożliwiają znaczne ograniczenie dawek promieniowania stosowanych w kardiologii inwazyjnej – zarówno przez dobór parametrów pracy jak i w wyniku doświadczenia operatorów w obsłudze aparatu
3. Zwiększona dostępność do diagnostyki i terapii z udziałem promieni RTG, zgodnie z wymogami unijnymi, wymaga prowadzenia dokumentacji dawek otrzymywanych przez pacjenta podczas kolejnych procedur



Normy prawne



Dyrektywa Rady 96/29/Euratom z dnia 13 maja 1996 roku

Dyrektywa Rady 97/43/Euratom z dnia 30 czerwca 1997 r.

Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. **Prawo atomowe**.
(Tekst jednolity: Dz. U. z 2004 r. Nr 161, poz. 1689)

ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ZDROWIA z dnia 25 sierpnia 2005 r. w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej (Dz. U. Nr 194, poz. 1625)

ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ZDROWIA z dnia 2 lutego 2007 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących formy i treści wzorcowych i roboczych medycznych procedur radiologicznych (Dz. U. z dnia 14 lutego 2007 r.)



Źródła informacji:



European Commission:
europa.eu.int/comm/environment/radprot

International Atomic Energy Agency:
www.iaea.org

International Commission on Radiological Protection:
www.icrp.org

United Nations Scientific Committee on the Effects of
Atomic Radiation:
www.unscear.org

World Health Organization:
www.who.int

Piśmiennictwo:

1. Hirshfeld JW Jr, Balter S, Brinker JA i wsp. ACCF/AHA/HRS/SCAI clinical competence statement on physician knowledge to optimize patient safety and image quality in fluoroscopically guided invasive cardiovascular procedures. A report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association/American College of Physicians Task Force on Clinical Competence and Training. JACC 2004;44:2259-82
2. Neofotistou V, Vano E, Padovani R i wsp. Preliminary reference levels in interventional cardiology. Eur Radiol. 2003;13:2259-63
3. Vano E, Goicolea J, Galvan C i wsp. Skin radiation injuries in patients following repeated coronary angioplasty procedures. Br J Radiol. 2001;74:1023-31
4. Trianni A, Bernardi G, Padovani R. Are new technologies always reducing patient doses in cardiac procedures? Radiat Prot Dosimetry. 2005;117:97-101
5. Kuon E, Dahm JB, Empen K i wsp. Identification of less-irradiating tube angulations in invasive cardiology. JACC 2004;44:1420-8