

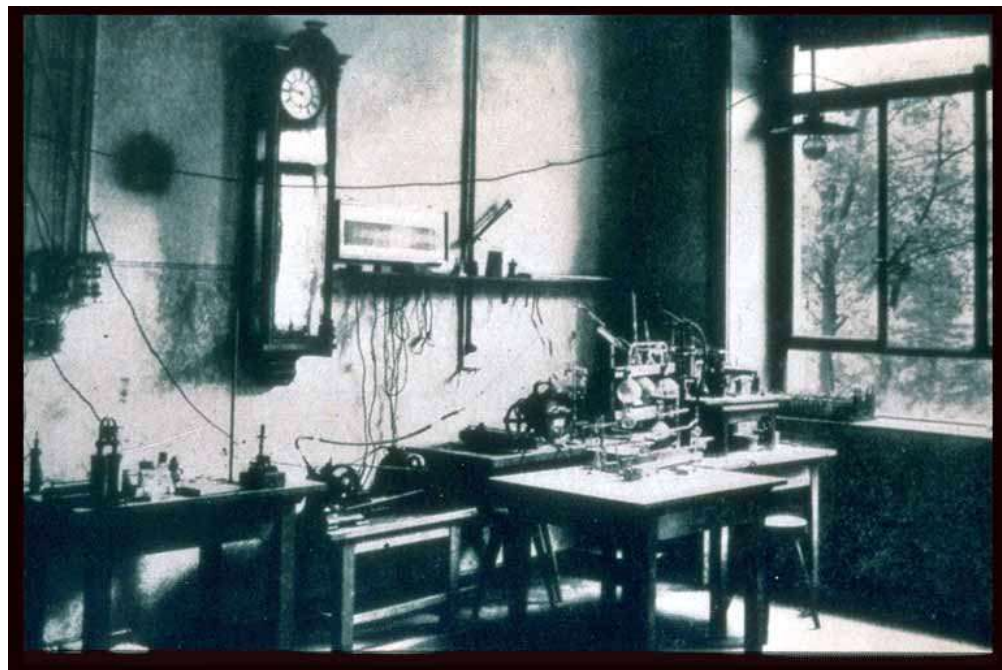
Uwaga: Ten materiał przeznaczony jest dla studentów do nauki przed egzaminem, natomiast nie powinien być wykorzystywany do pisania anonimowych **donosów** do prasy, jak to ostatnio miało miejsce.

RTG

Mimo ogromnego rozwoju różnych technik obrazowania tradycyjna rentgenografia jest wciąż ważna i potrzebna



Metoda badań rentgenowskich opiera się na odkryciach Wilhelm C. Röntgena



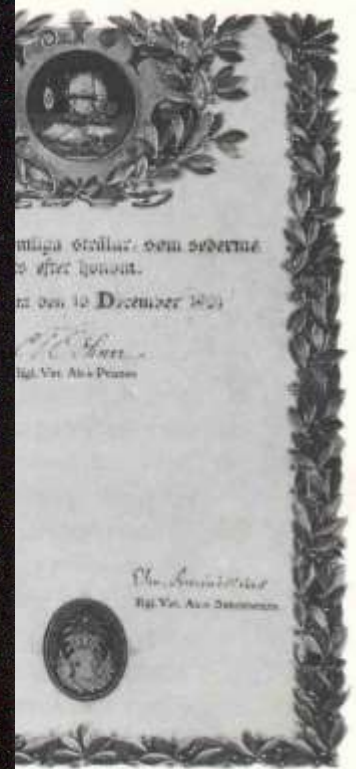
Pracownia, w której dokonano historycznego odkrycia

A zaczęło się to ponad sto lat temu

Obecnie takie
zdjęcie
wyglądałoby trochę
inaczej...

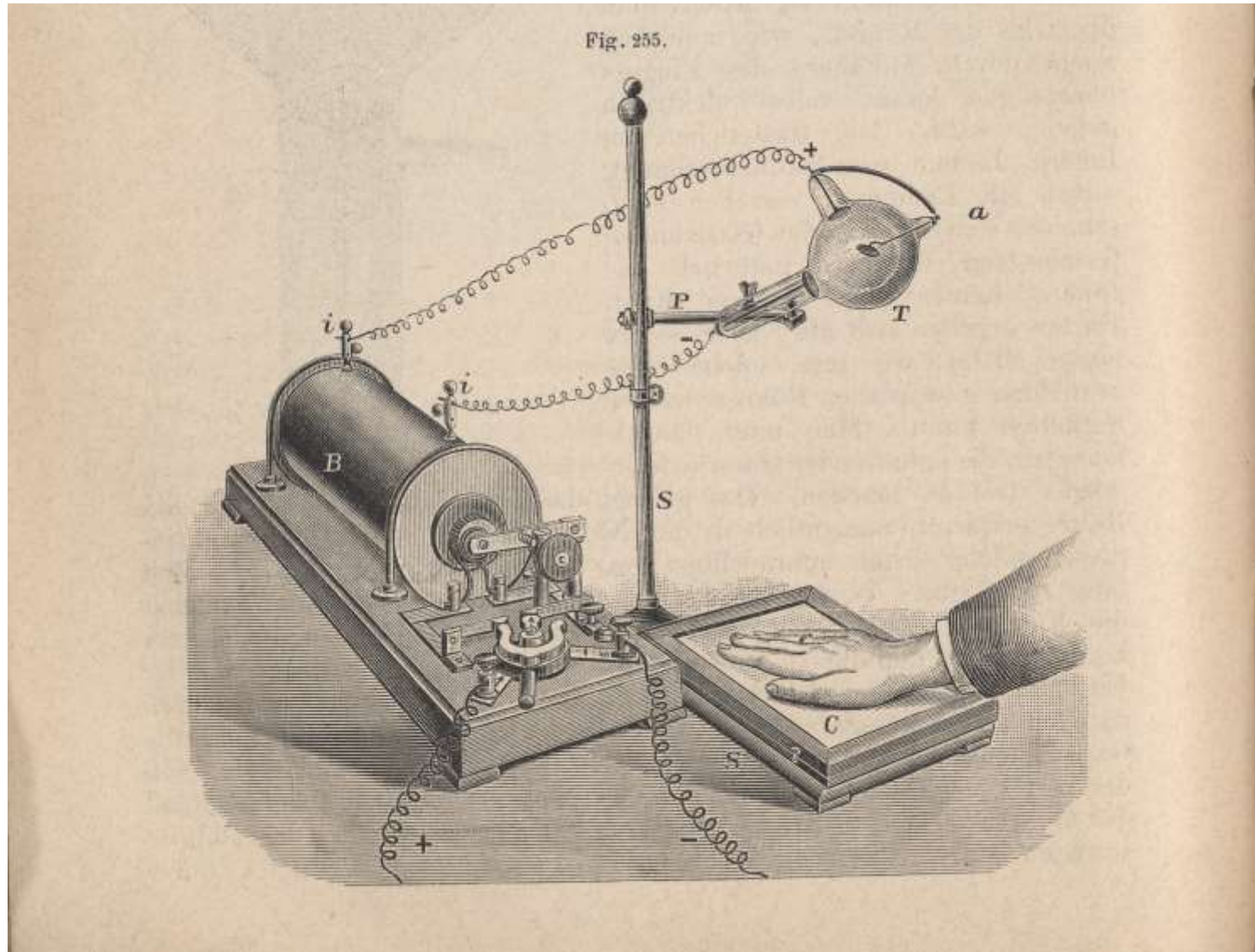


Pierwsze zdjęcie
rentgenowskie
(dłoń żony badacza)

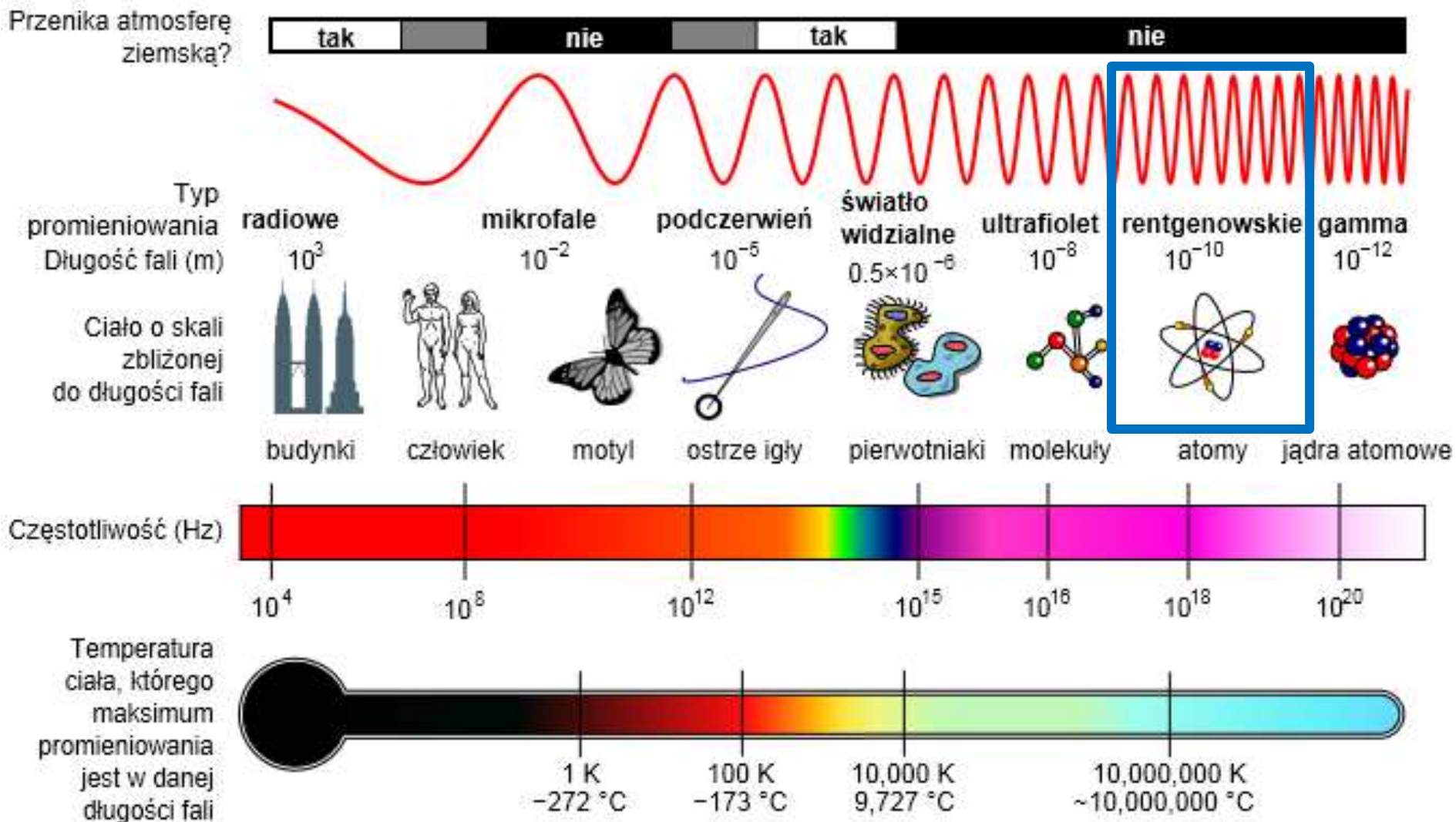


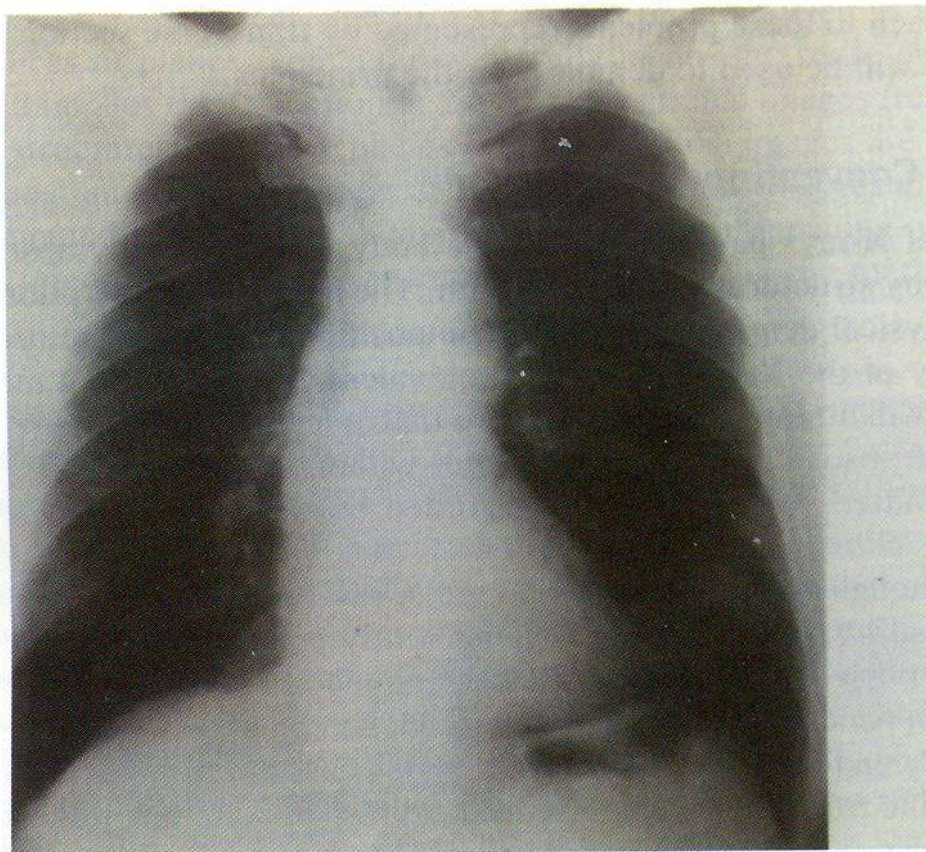
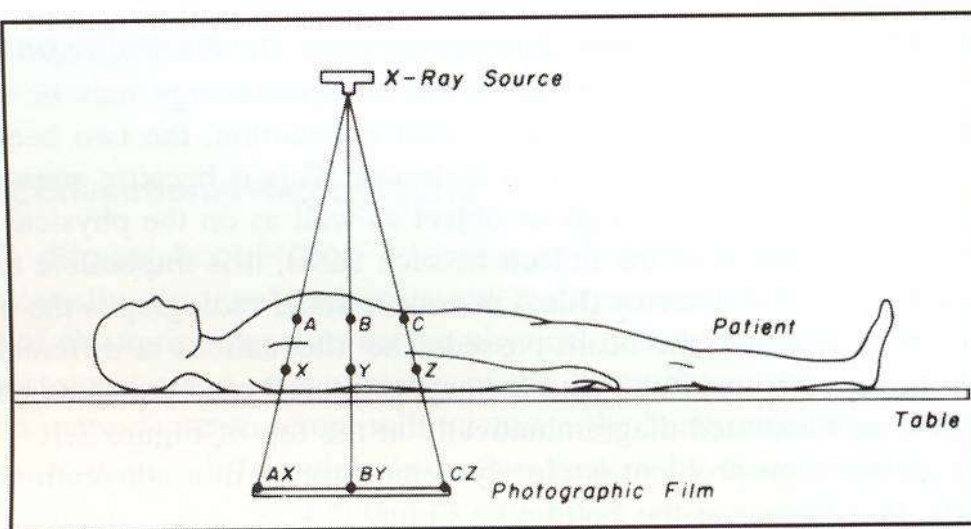
agrody Nobla
1

Pierwszy produkowany seryjnie aparat Roentgena



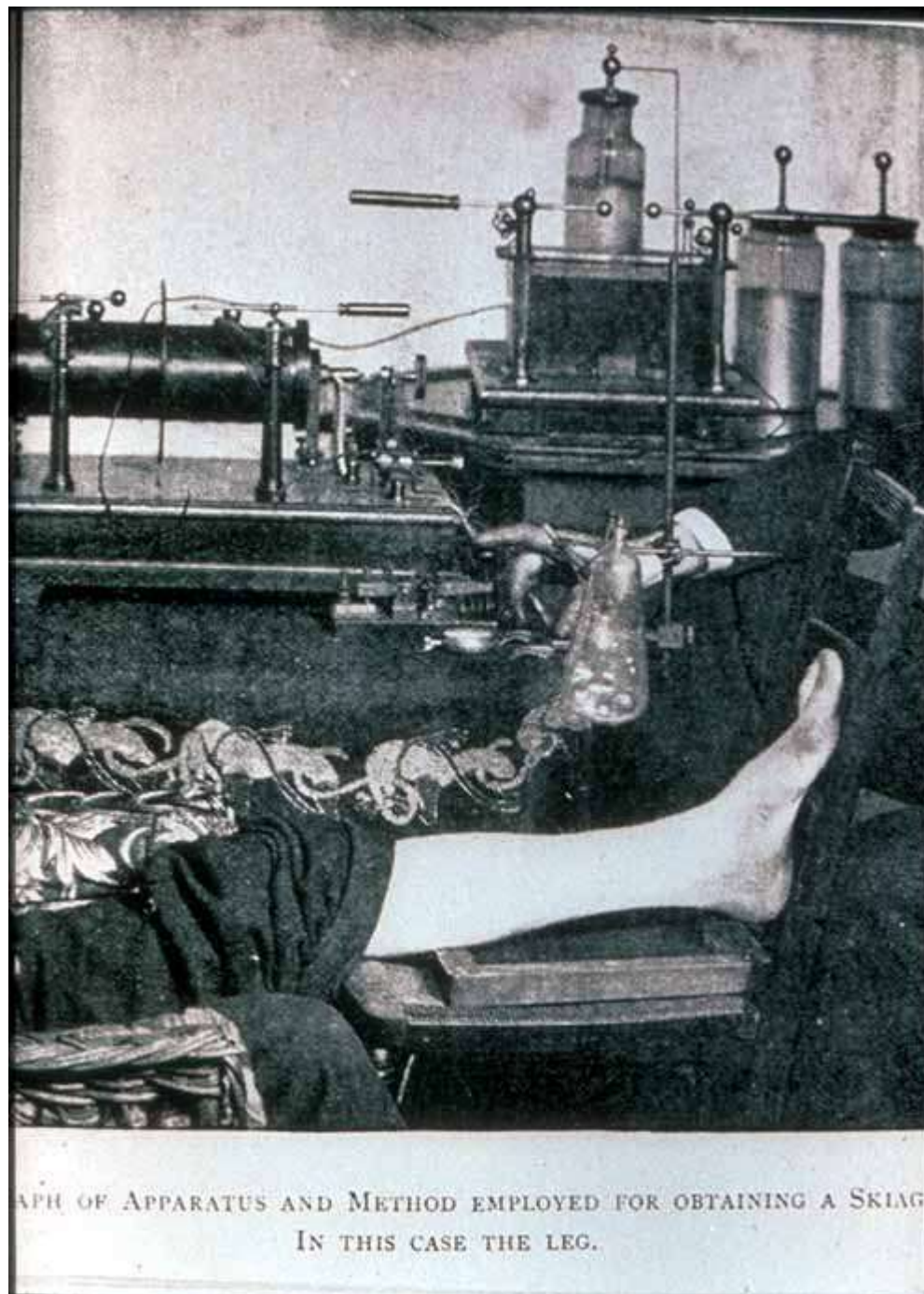
Lokalizacja promieniowania rentgenowskiego wśród innych typów promieniowania





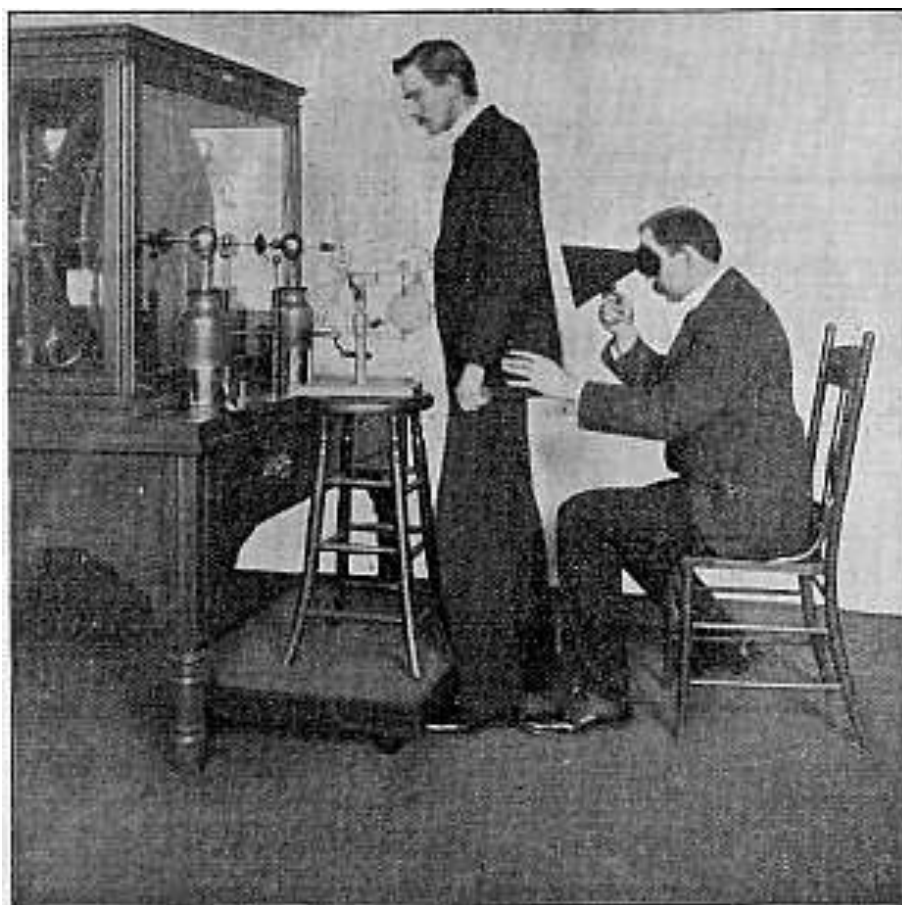
Zasada
klasycznego
badania
rentgenowskiego

Tak
wyglądały
pierwsze
pracownie
radiologiczne
(początek XX
wieku)



GRAPH OF APPARATUS AND METHOD EMPLOYED FOR OBTAINING A SKIAGR
IN THIS CASE THE LEG.

Dawna metoda badania rentgenowskiego: lampa rentgenowska oraz aparatura dostarczająca wysokiego napięcia jest umieszczona przed pacjentem (stojącym), zaś lekarz (siedzący) na trzymanym przy oczach ekranie ogląda obraz promieniowania rentgenowskiego, które przeszło przez ciało pacjenta.



Potem było trochę lepiej, ale zdrowie radiologa było nadal zagrożone (fotografia z 1940 roku)

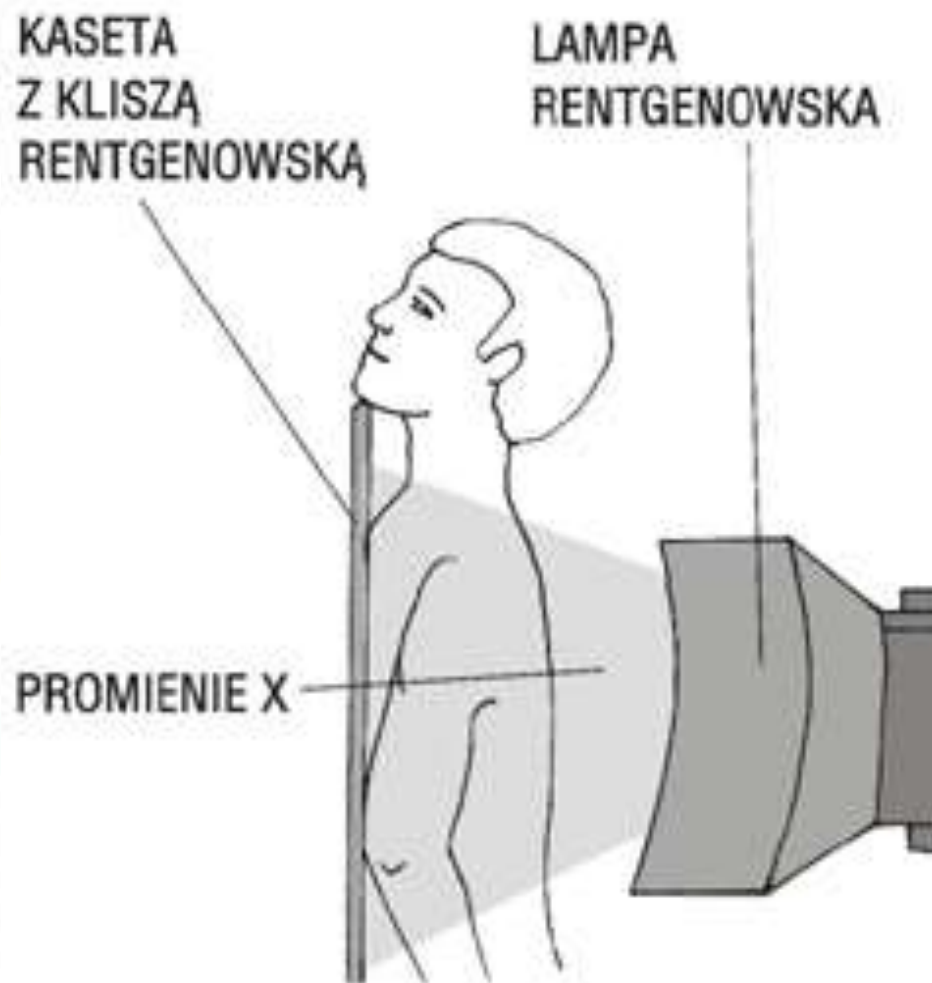
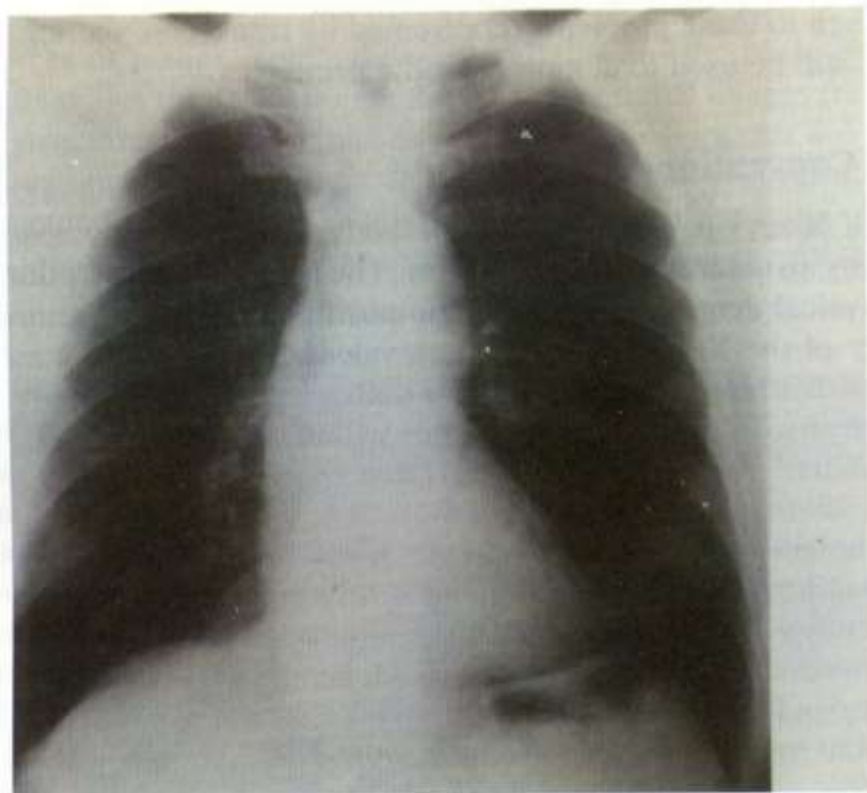


Typowa aparatura rentgenowska dziś precyzyjna i bezpieczna



Do badań opartych na promieniowaniu X zaliczamy: mammografię (~ 17 keV), rentgen kości (~ 60 keV), tomografię komputerowa (~ 15 do $120-160$ keV). Jakość obrazu zależy tu od rozmiaru obiektu, wartości energii i rozdzielczości detektora

Standardowe zdjęcie rentgenowskie



Jest korzystne, jeśli pacjent podczas obrazowania nie porusza się, dlatego preferuje się badania w pozycji leżącej





Bywa też
aparatura
rentgenowska
przystosowana
do badań w innej
pozycji

Co możemy zobaczyć dzięki promieniom X?



Proszę usiąść, panie Kermit. To, co mam zamiar powiedzieć, może być dla pana szokiem.



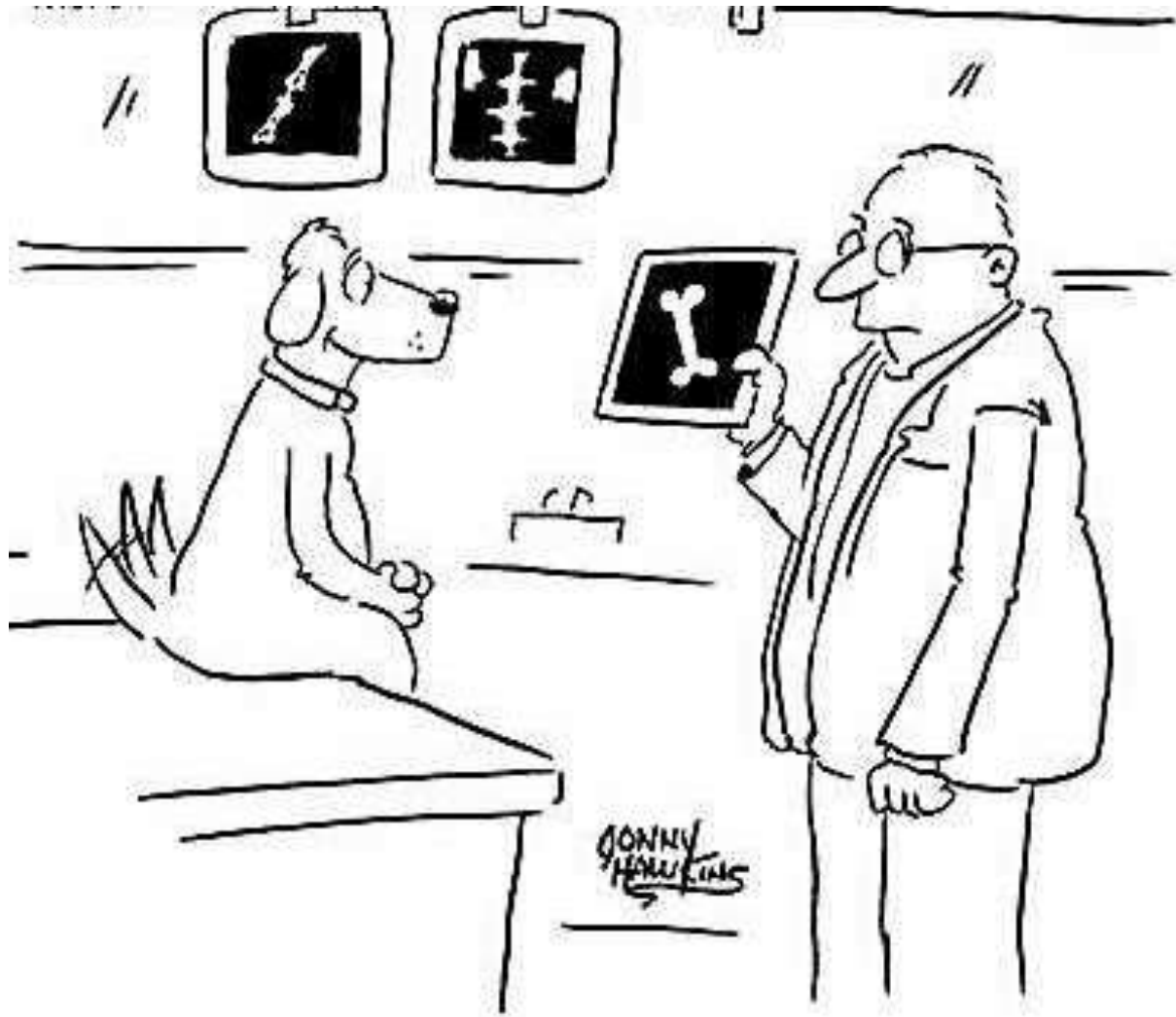
Co lekarz może zobaczyć dzięki promieniom X?



Na zdjęciu takim dobrze się
prezentują elementy kostne



Dlatego badania rentgenowskie są
niezastąpione przy pokazywaniu kości



Jeszcze mocniej uwidaczniają się ciała obce
plomby w zębach albo tkwiące w ciele pociski



Kilka przykładowych obrazów



STAW KOLANOWY

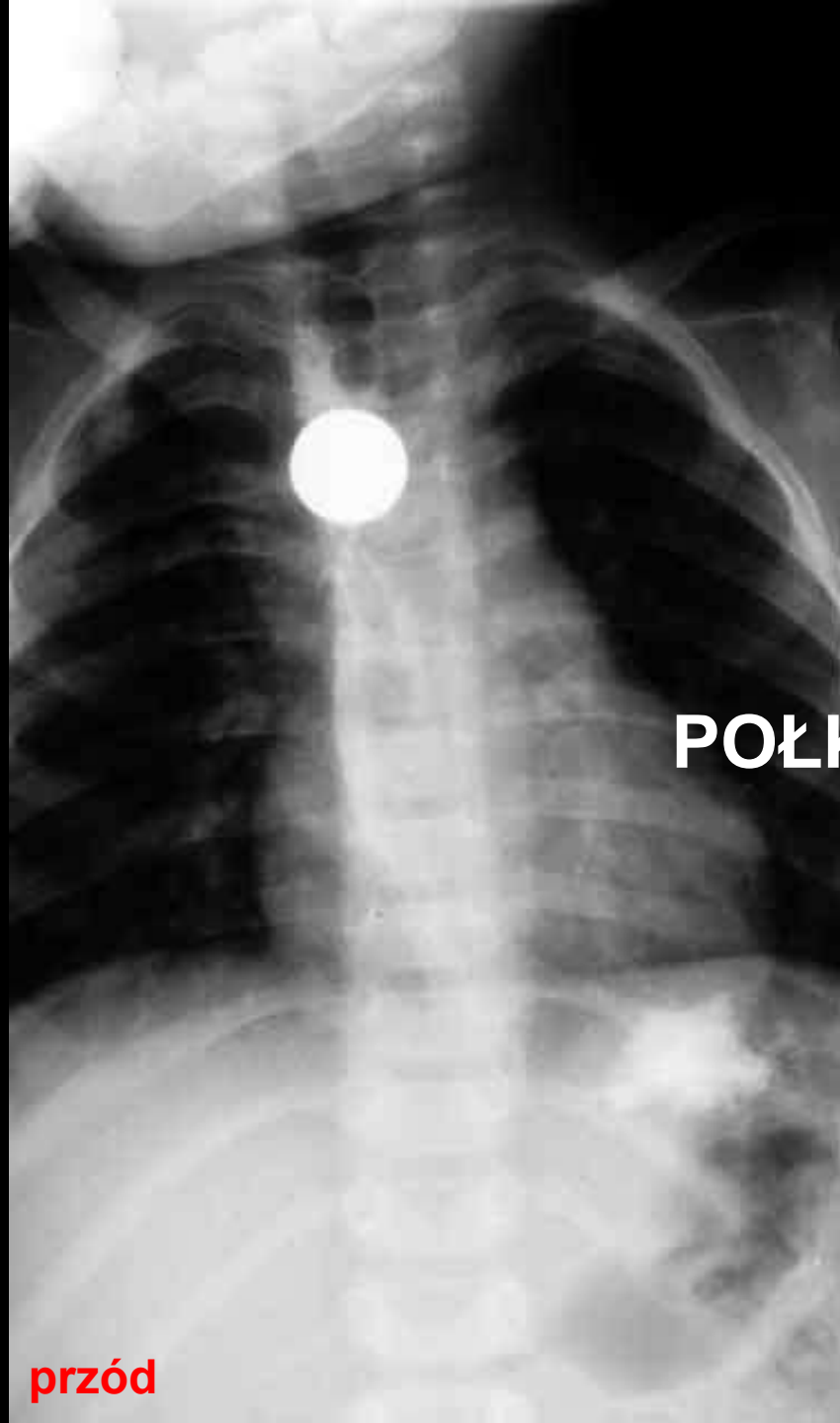
ZŁAMANIE KOŚCI (UDOWEJ)



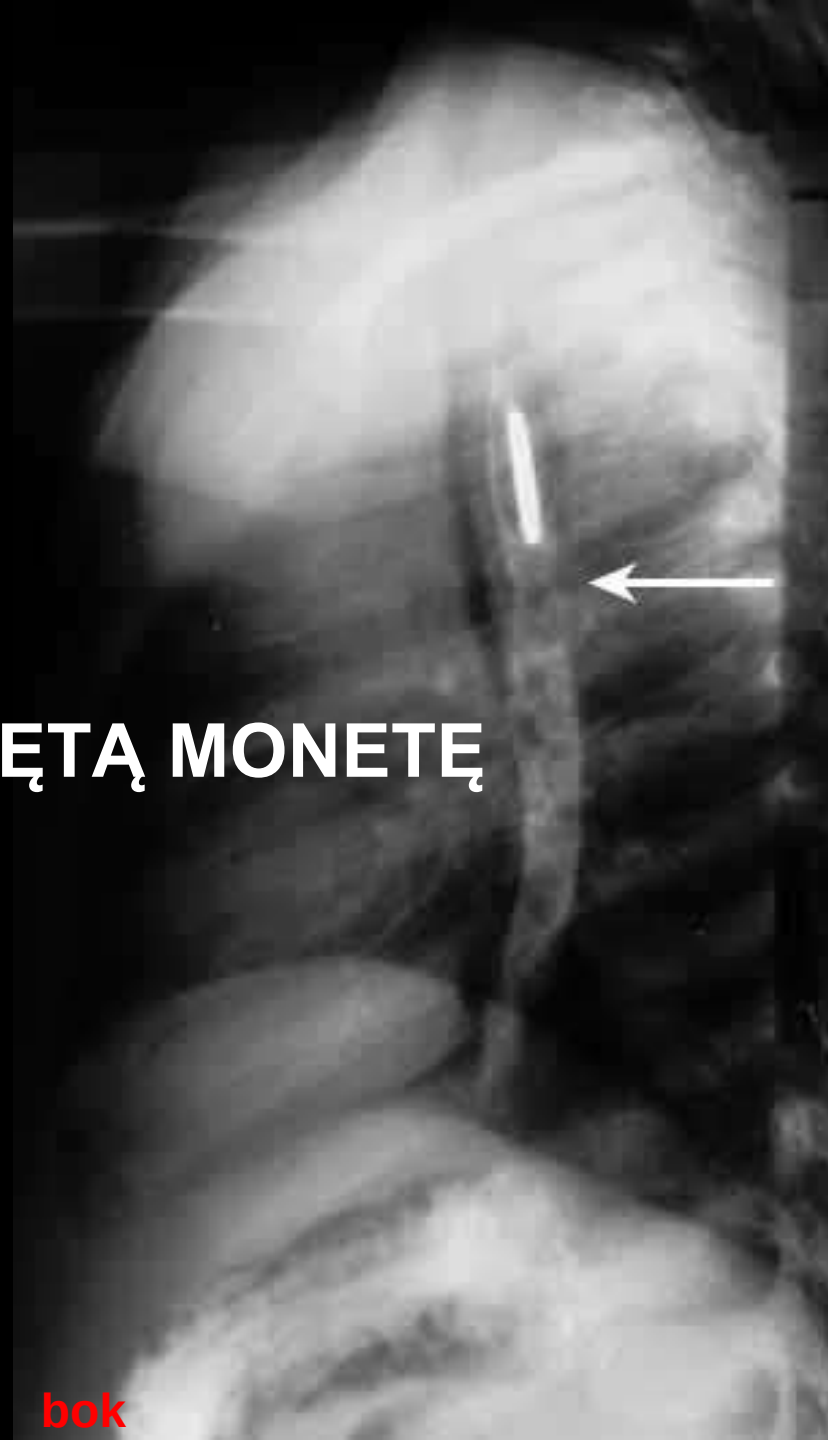


**CIEŃ GUZA
(na tle płuca)**





przód

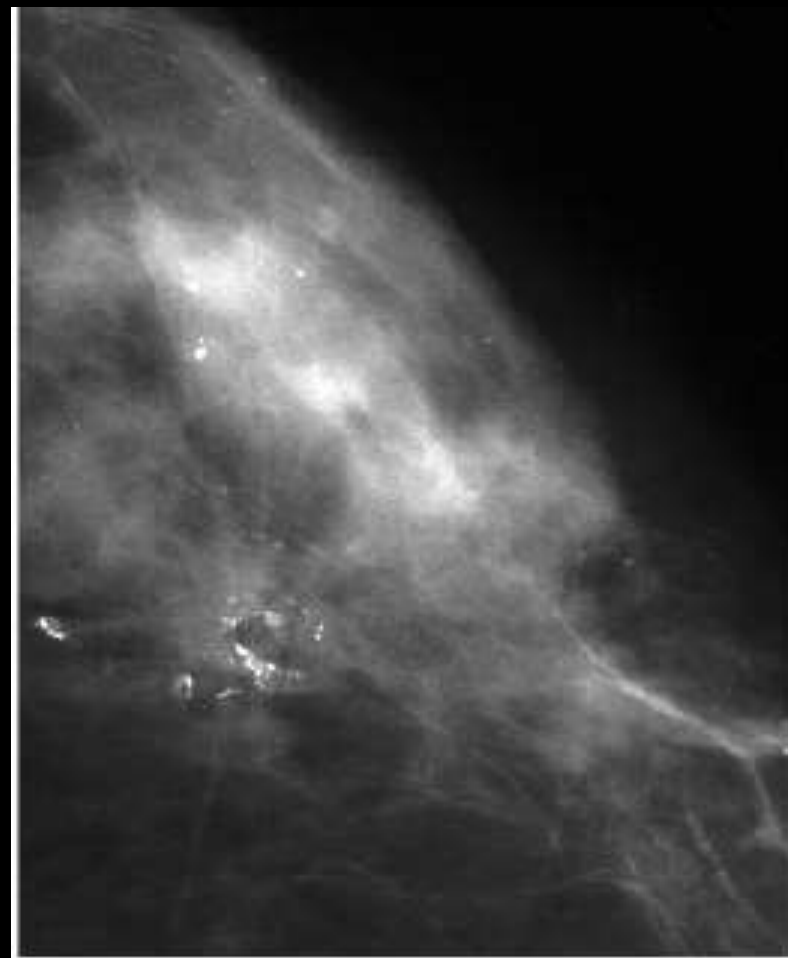


bok

POŁKNIĘTĄ MONETĘ



ZAWIĄZKI ZĘBÓW STAŁYCH



NOWOTWÓR PIERSI W MAMMOGRAFII

Rentgen ujawnia wewnętrzną strukturę nie tylko części ciała!





Tkanki miękkie na
zwykłym zdjęciu
rentgenowskim
wychodzą słabo

Co widać dzięki promieniom X?

- Wszystko, co pochłania promieniowanie INACZEJ niż otoczenie!
- Na przykład:
 - Kości
 - Guzy płuc
 - Sylwetka serca

Czego nie widać?

- Tego, co pochłania promieniowanie TAK SAMO jak otoczenie!
- Na przykład:
 - Żyły i tętnice
 - Przełyk, żołądek, wątroba, jelita
 - Nerki i pęcherz moczowy

Którędy przebiegają żyły i tętnice ???



***Gdzie znajduje się
przełyk, żołądek,
wątroba, jelito ???***



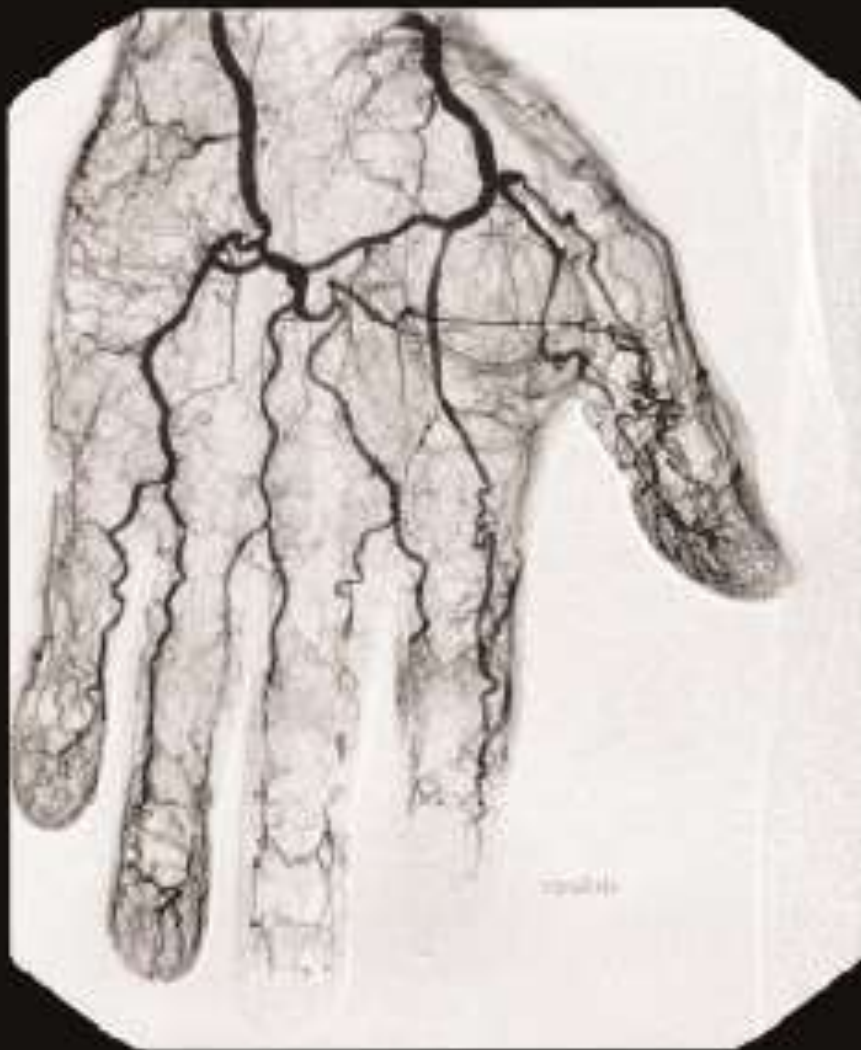
Jak zobaczyć „to czego nie widać”?

- Do niewidocznego narządu „wlać” odpowiednią substancję chemiczną
- Odpowiednią?
 - Pochłaniającą promieniowanie X
 - Nietoksyczną
- Taka substancja nazywa się **KONTRAST**

Dokąd i któreśmy możemy
podawać kontrast?



**DO NACZYŃ
KRWIONOŚNYCH
(czyli do żył i tętnic)**



**DO NACZYŃ
KRWIONOŚNYCH
(czyli do żył i tętnic)**

**CYFROWA
ANGIOGRAFIA
SUBTRAKCYJNA**



DO PRZEŁYKU
(czyli doustnie)

Contrast Barium Enema



AscC=Ascending Colon
TransC=Transverse Colon
DescC=Descending Colon
Scrm=Sacrum

HepFlx=Hepatic Flexure
SplFlx=Splenic Flexure
SgmC=Sigmoid Colon

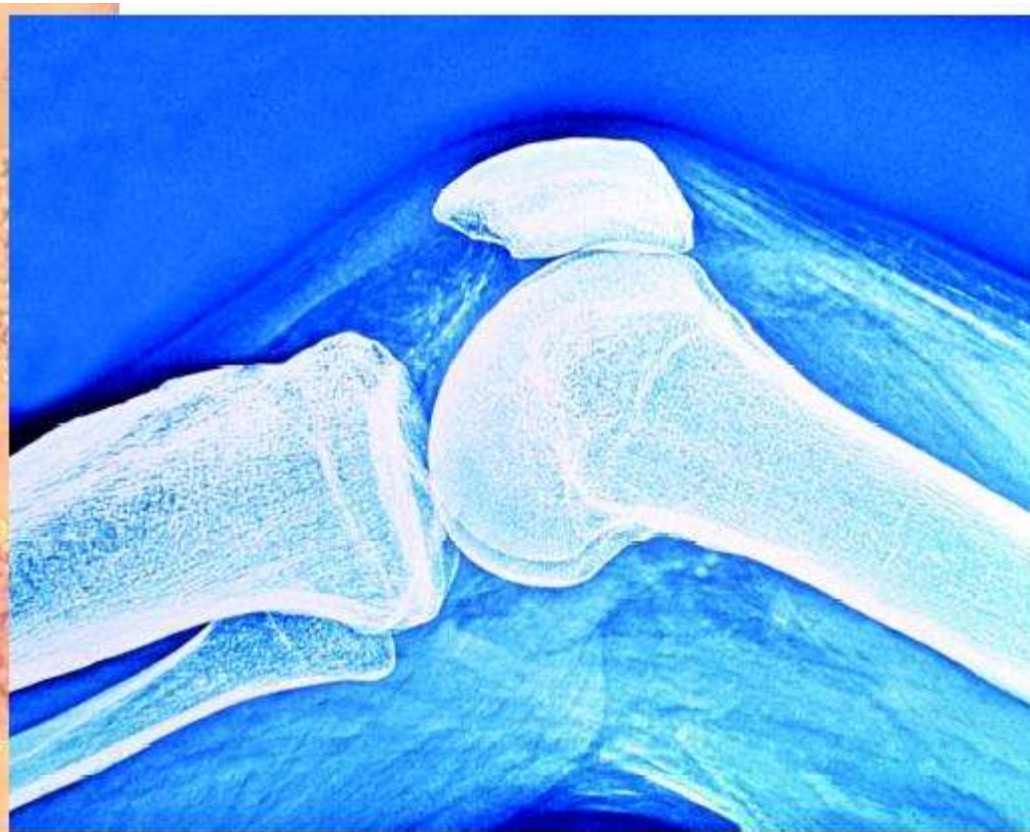
DOODBYTNICZO

Czym są kontrasty?

- Zawiesina BaSO_4 – kontrast doustny lub doodbytniczy
- Związki zawierające jod – kontrasty dożylnie, dotętnnicze oraz do dróg moczowych



Typowa aparatura i przykładowe obrazy



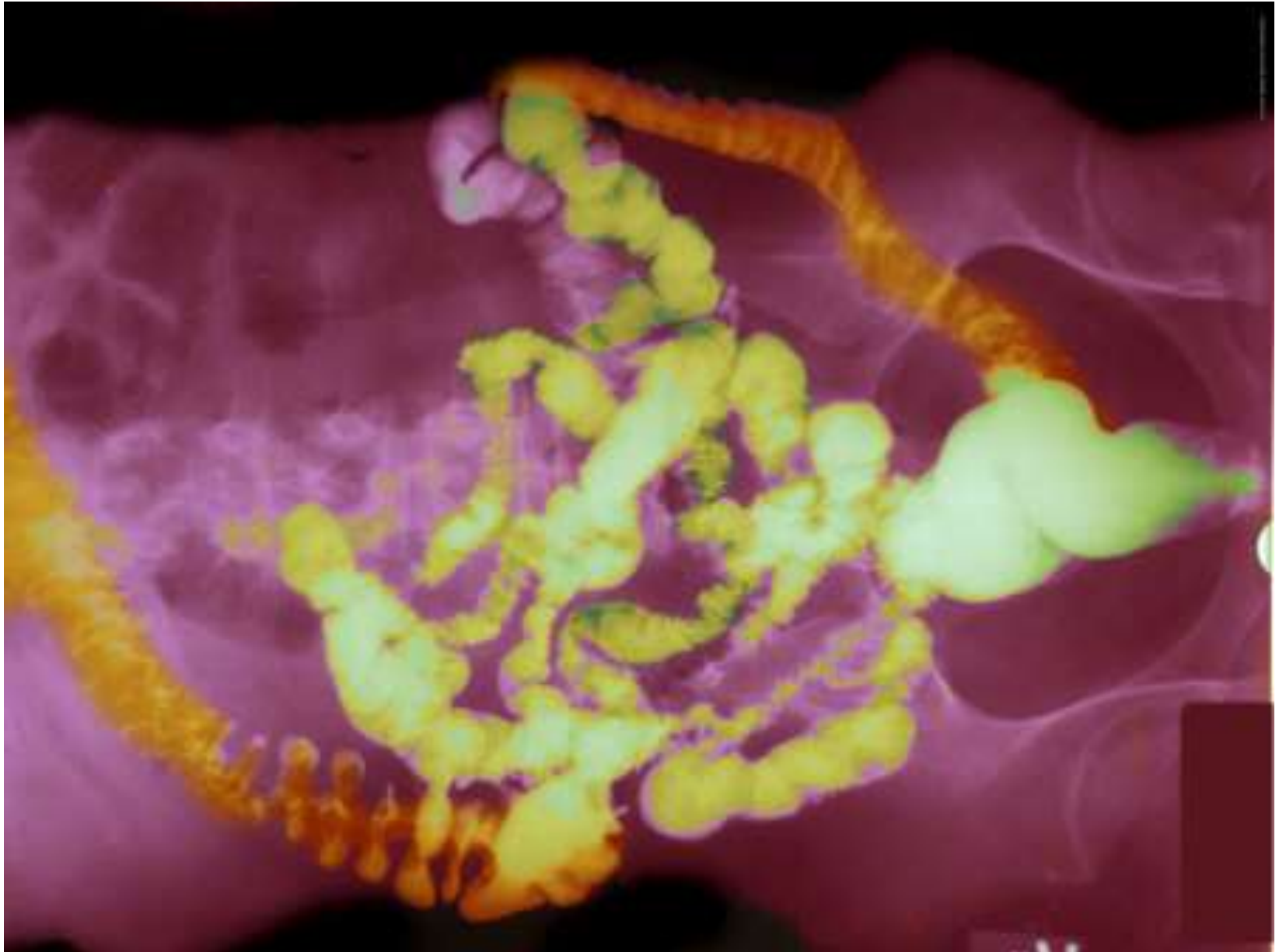
W niektórych przypadkach dla uzyskania odpowiednich informacji o morfologii lub strukturze narządu podaje się pacjentowi środek kontrastujący.



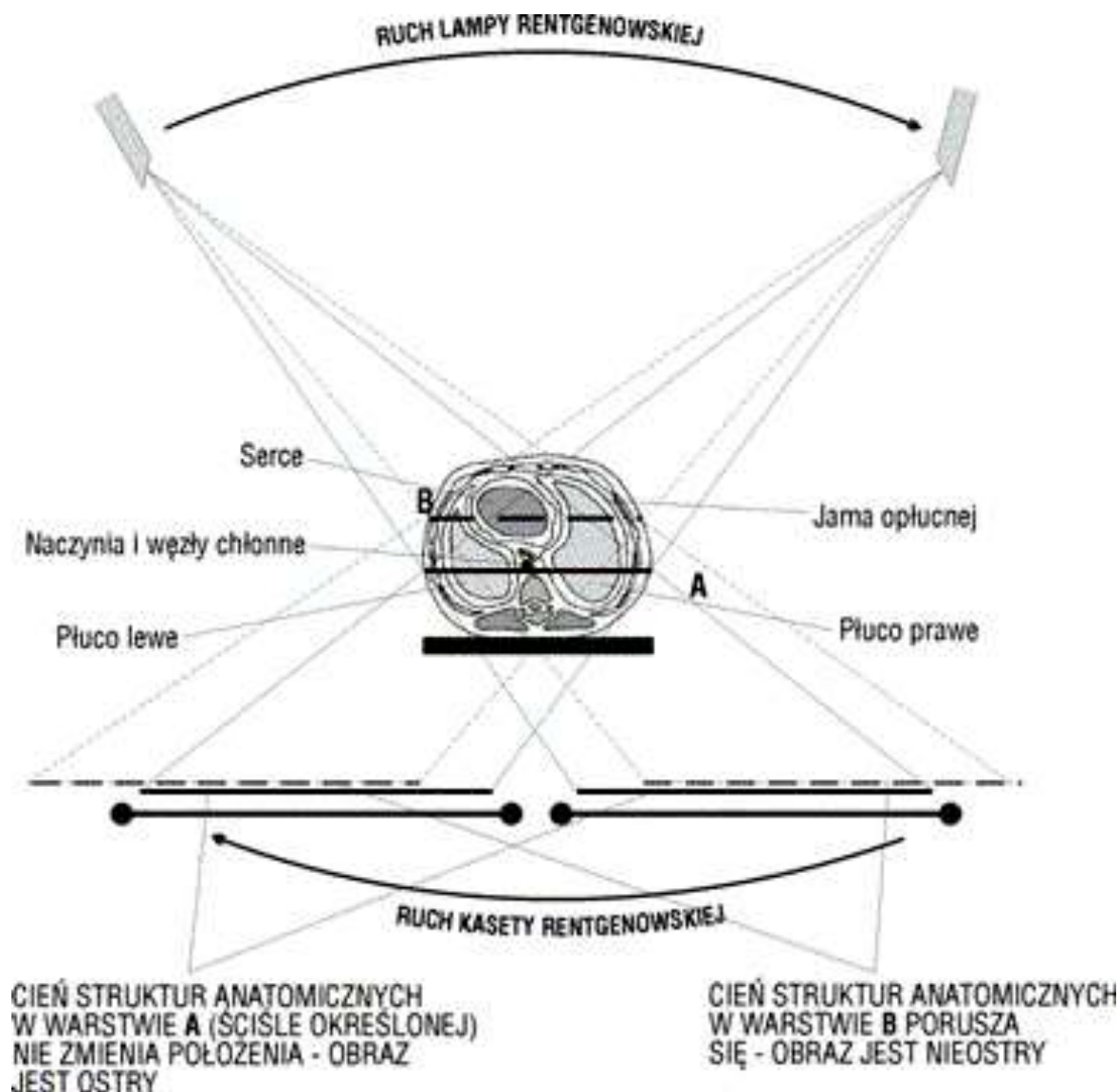
Wypełnianie jam ciała środkiem kontrastującym (barytem)
przed wykonaniem zdjęcia rentgenowskiego



Zdjęcie rentgenowskie przewodu pokarmowego
wypełnionego środkiem kontrastującym.



Warstwowe zdjęcia rentgenowskie





Ciąg dalszy
o obrazowaniu RTG

Warto pamiętać, że proces obrazowania medycznego jest zawsze częścią większego systemu

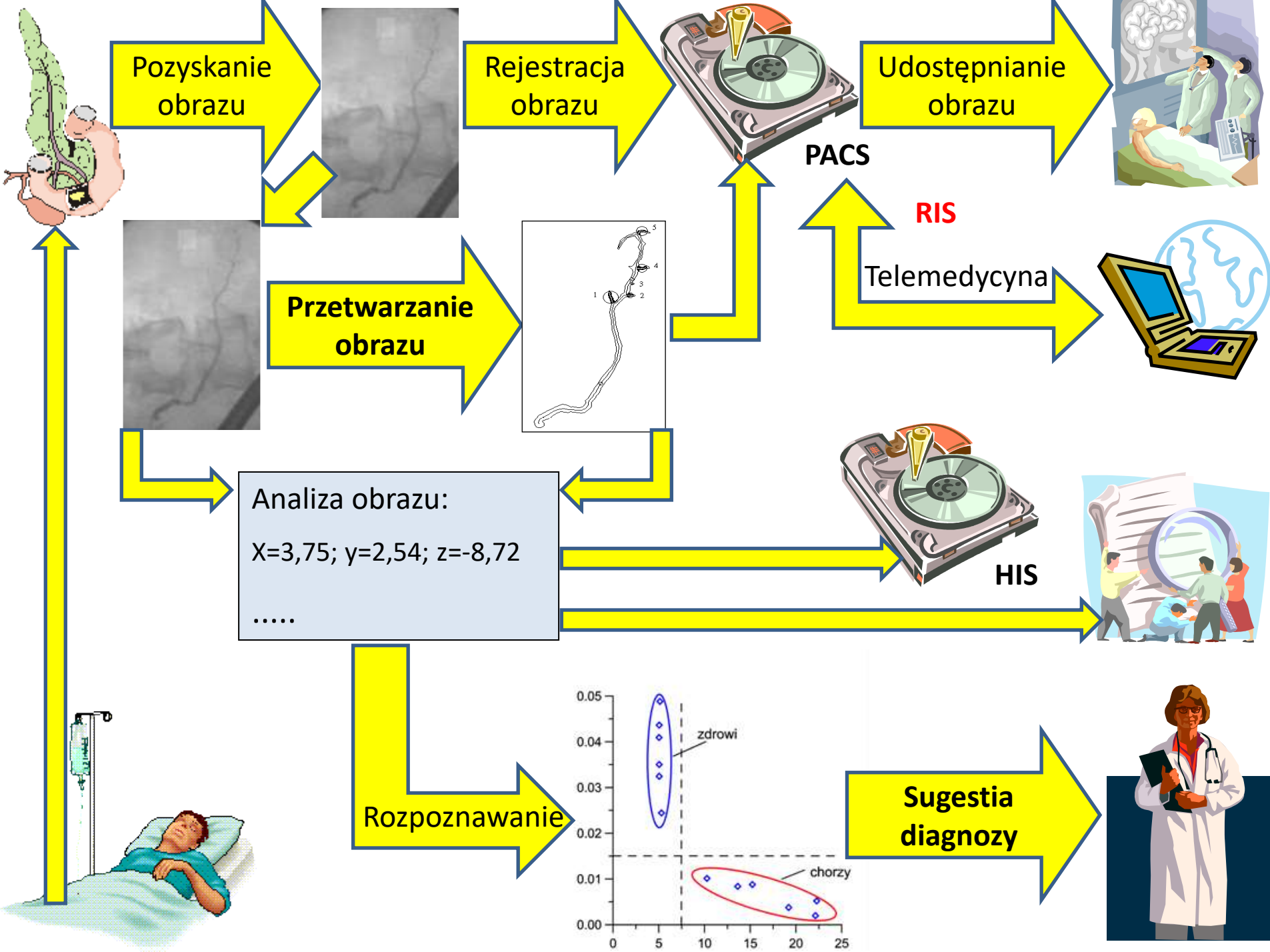
Od momentu rozpowszechnienia się medycznej aparatury obrazowej (w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku) dostarczającej obrazów w postaci cyfrowej (w szczególności skanerów CT i MRI), w związku z oczywistymi korzyściami wynikającymi z przechowywania danych na nośnikach cyfrowych, nastąpił trwający do tej pory szybki rozwój systemów **PACS** (ang. *Picture Archiving and Communications System*).

Są to systemy umożliwiające archiwizację, transmisję i dostęp do obrazów medycznych – nowoczesny odpowiednik tradycyjnego archiwum przechowującego klisze z obrazami.

Posiadają także zestaw typowych funkcji przetwarzania obrazu.

Obecnie coraz częściej są one zintegrowane z systemami **RIS** (ang. *Radiological Information System*) stanowiącymi radiologiczną część szpitalnego systemu informatycznego **HIS** (ang. *Hospital Information System*) przechowującymi dane pacjenta i raporty radiologiczne w postaci tekstowej.

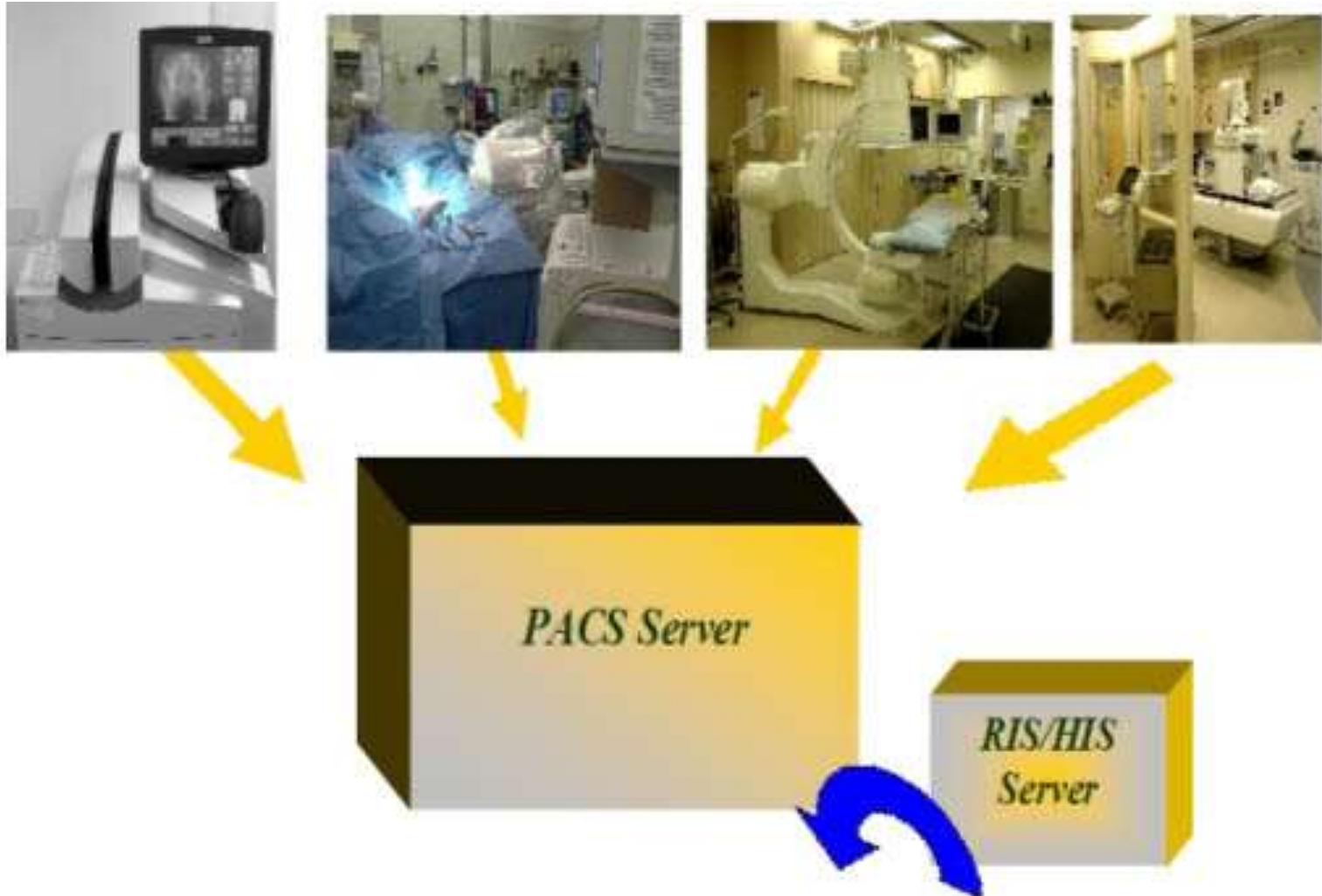
Możliwy jest więc natychmiastowy dostęp do kompletnej informacji na temat pacjenta w dowolnym miejscu i czasie, także poprzez przenośne urządzenia bezprzewodowe.



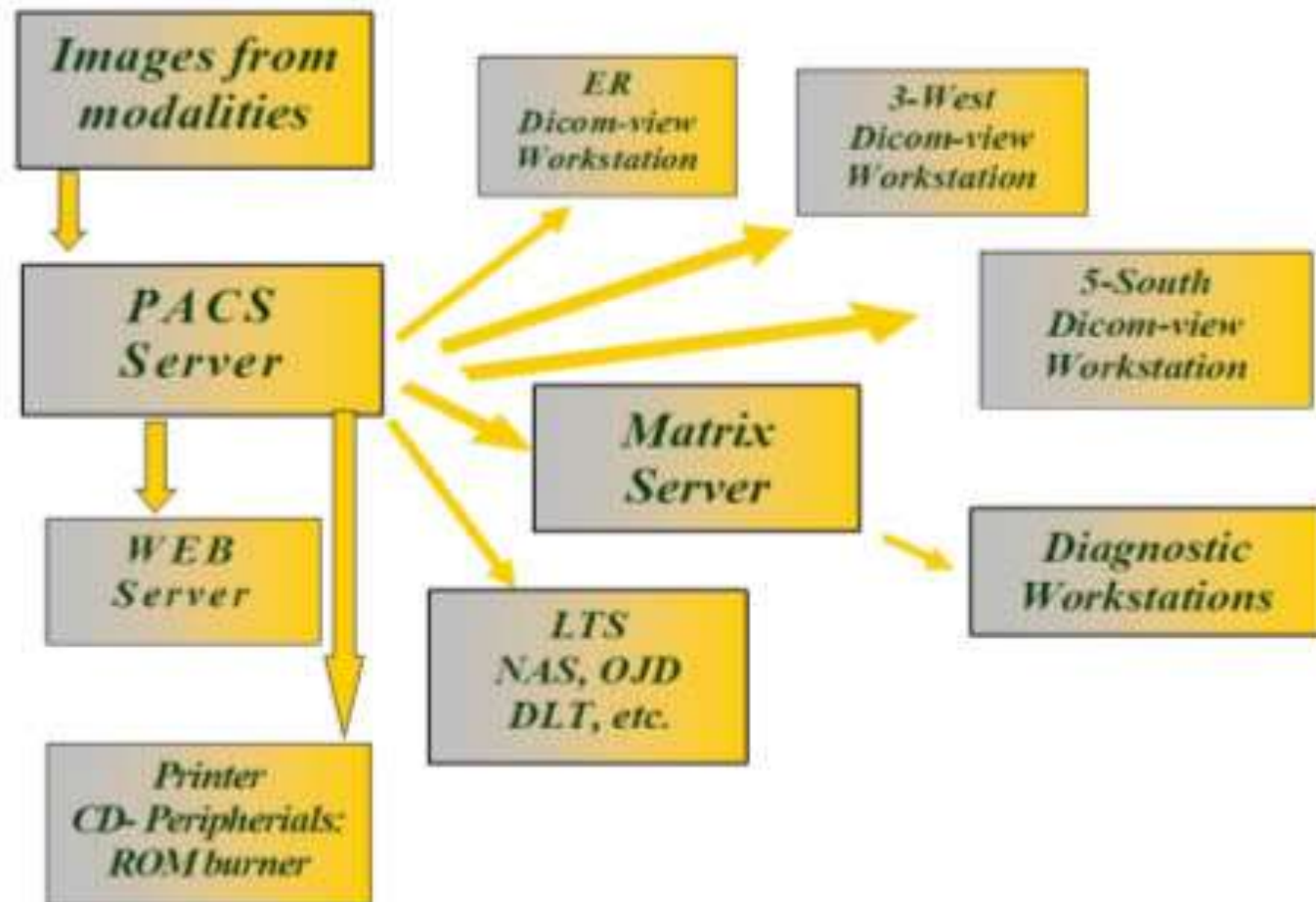
System PACS jako wydzielona struktura informacyjna dostosowana do obiegu informacji obrazowych o dużej objętości



System PACS zintegrowany z systemem szpitalnym

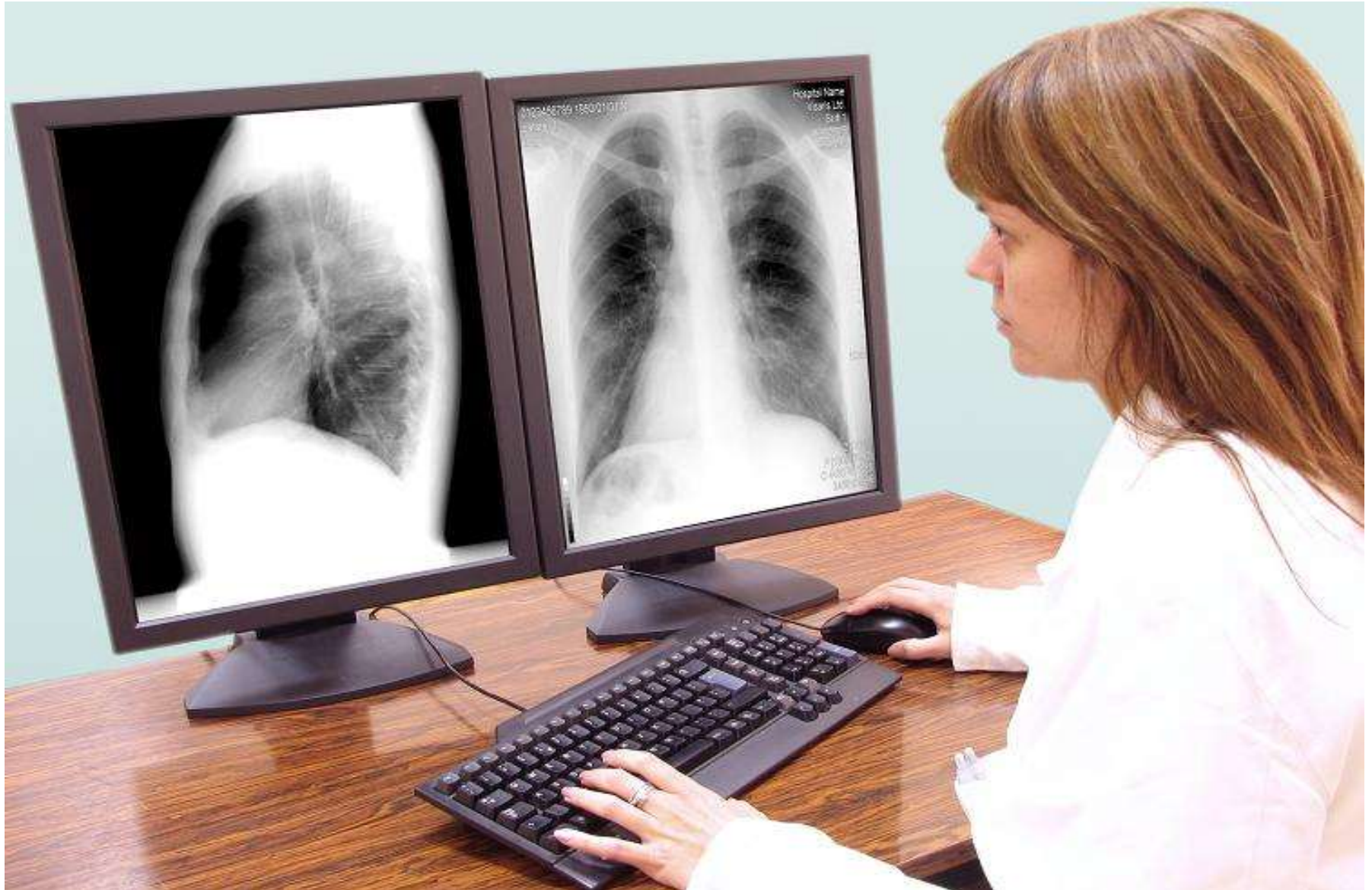


Serwer PACS może też udostępniać medyczne dane obrazowe równocześnie do wielu stacji roboczych, do drukarek wykonujących dokumentację, do stanowisk diagnostycznych oraz rozpowszechniać je na zewnątrz poprzez sieć



Dzięki temu obrazy medyczne
docierają wszędzie, gdzie mogą
być potrzebne

Do specjalnych stacji diagnostycznych





Do
gabinetów
lekarskich

Do sali operacyjnej



Wykorzystane przy łóżku pacjenta



Do podręcznych mobilnych terminali lekarskich





Do
pielęgniarek
prowadzących
na bieżąco
obsługę
pacjentów

Wszystkie dane
trafiają do
szpitalnej
bazy
danych



***Standardy przechowywania
i transmisji cyfrowych
obrazów medycznych***

Najbardziej rozpowszechniony
jest **DICOM**, *Digital Imaging and
Communications in Medicine*
(Obrazowanie Cyfrowe
i Wymiana Obrazów
w Medycynie)

Jest to norma opracowana
przez ACR/NEMA (American
College of Radiology / National
Electrical Manufacturers
Association) dla potrzeb
ujednolicenia wymiany
i interpretacji
danych medycznych
związanych z obrazami
diagnostycznymi w medycynie.

Dane w formacie DICOM mają
dużą objętość, wymagają
specjalnego oprogramowania
i sprzętu komputerowego a
także łączy o wysokiej
przepustowości, za to pozwalają
zachować wysoką jakość
obrazu.

DICOM jest bardzo
rozbudowanym standardem,
ponieważ musi sprawdzać się
we wszystkich gałęziach
medycyny. Dlatego też jest
rozwijany przez 30 różnych grup
roboczych (WG - ang.
workgroup), odpowiadających
za różne dziedziny.

Przykładowe grupy robocze DICOM

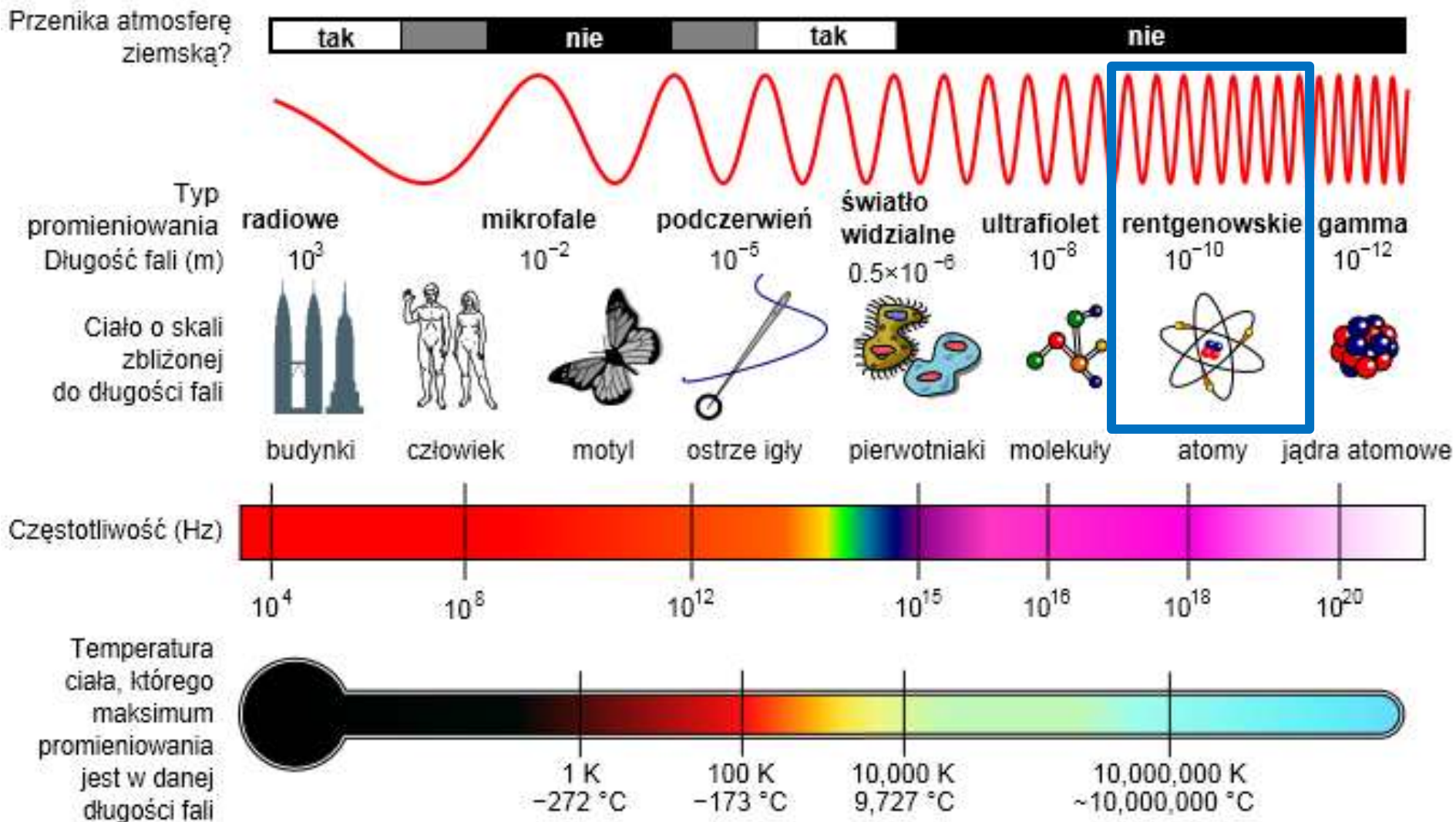
- WG-01 Informacje o sercu i naczyniach krwionośnych
- WG-02 Projekcja radiografii i angiografii
- WG-03 Medycyna nuklearna
- WG-09 Okulistyka
- WG-12 Ultrasonografia
- WG-15 Mammografia i CAD
- WG-16 Rezonans magnetyczny
- WG-21 Tomografia komputerowa

Teraz kilka szczegółów
na temat aparatury
rentgenowskiej
i obrazowania rentgenowskiego

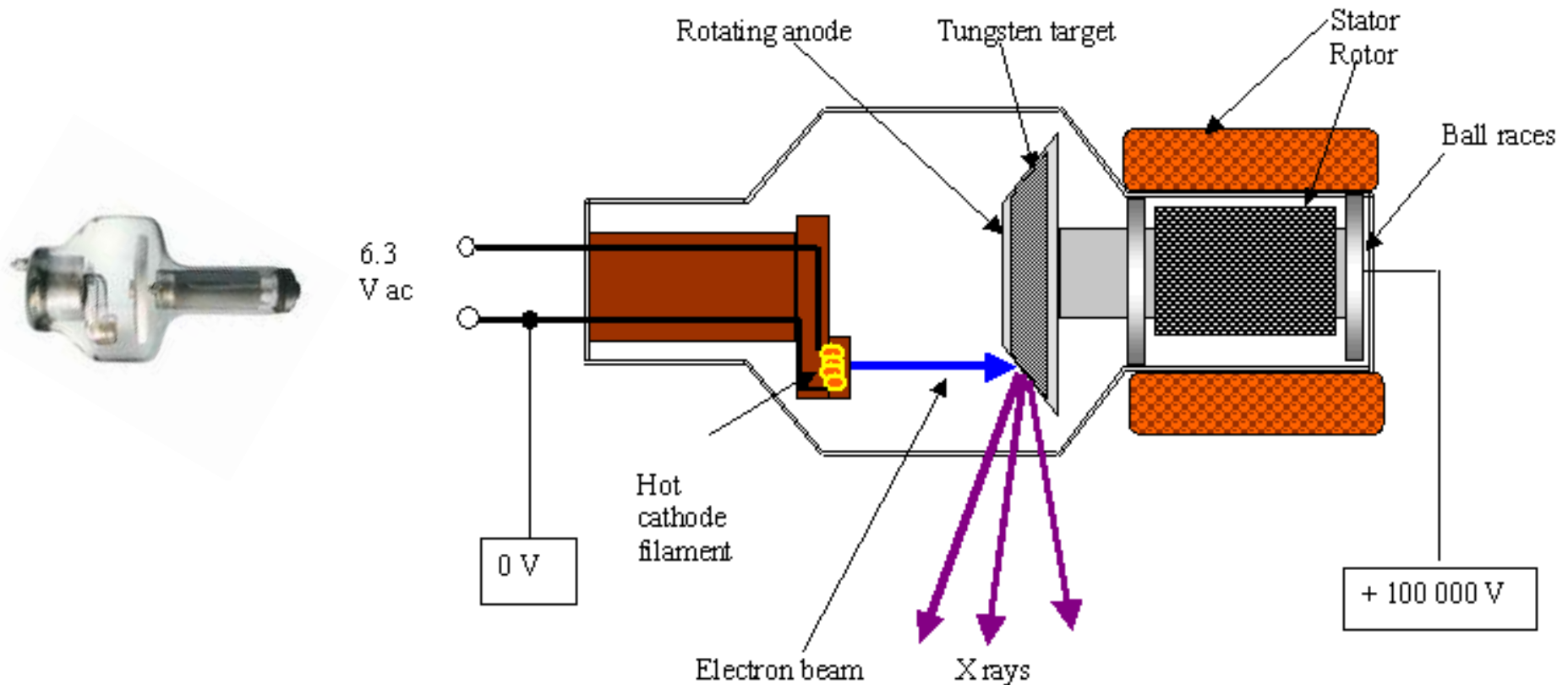
Światło widzialne uzyskujemy
dzięki świeceniu obiektów
o wysokiej temperaturze



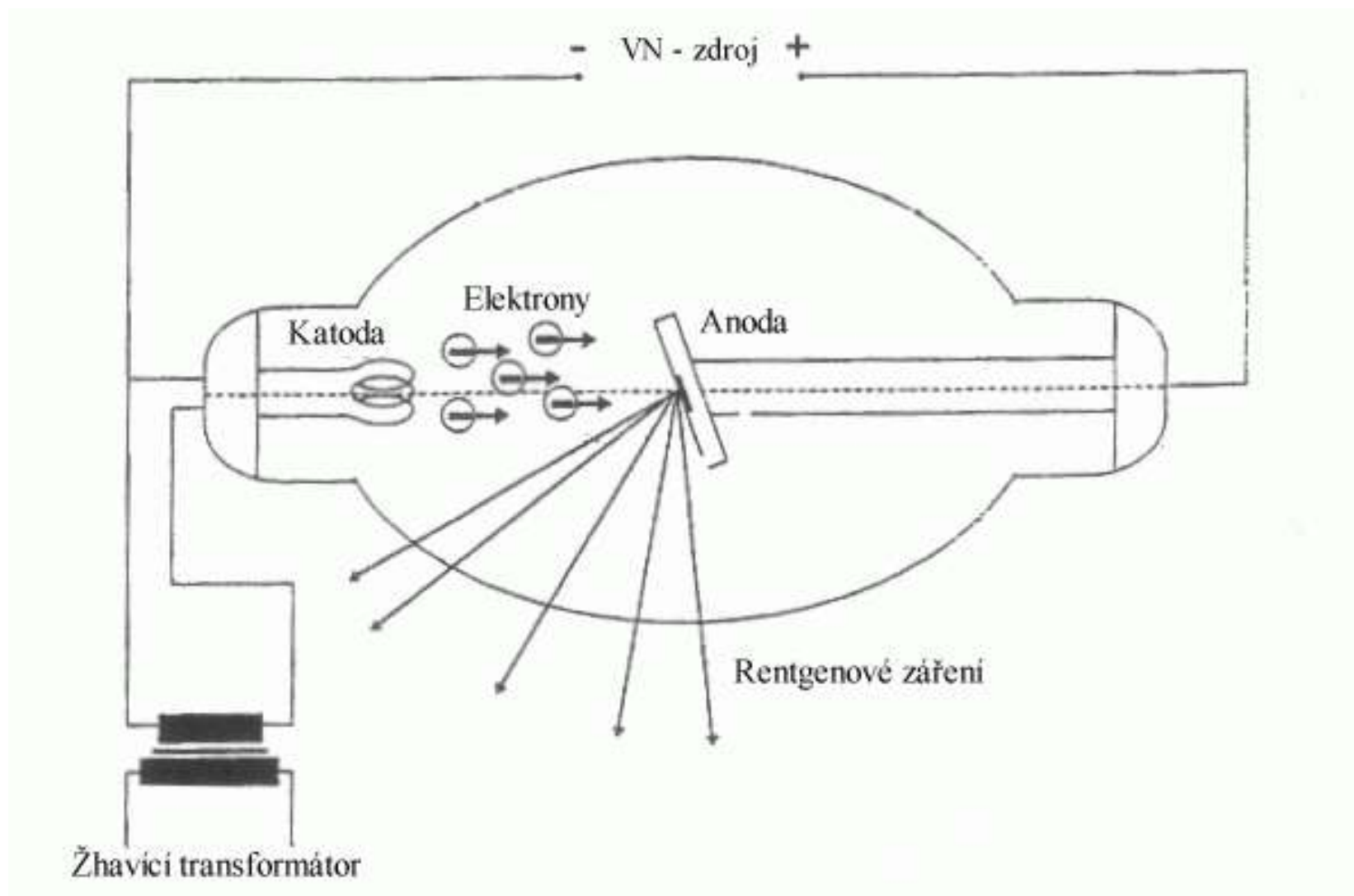
Promieniowania rentgenowskiego tak się wytworzyć nie da!



Promieniowanie rentgenowskie wytwarzane jest w specjalnej lampie



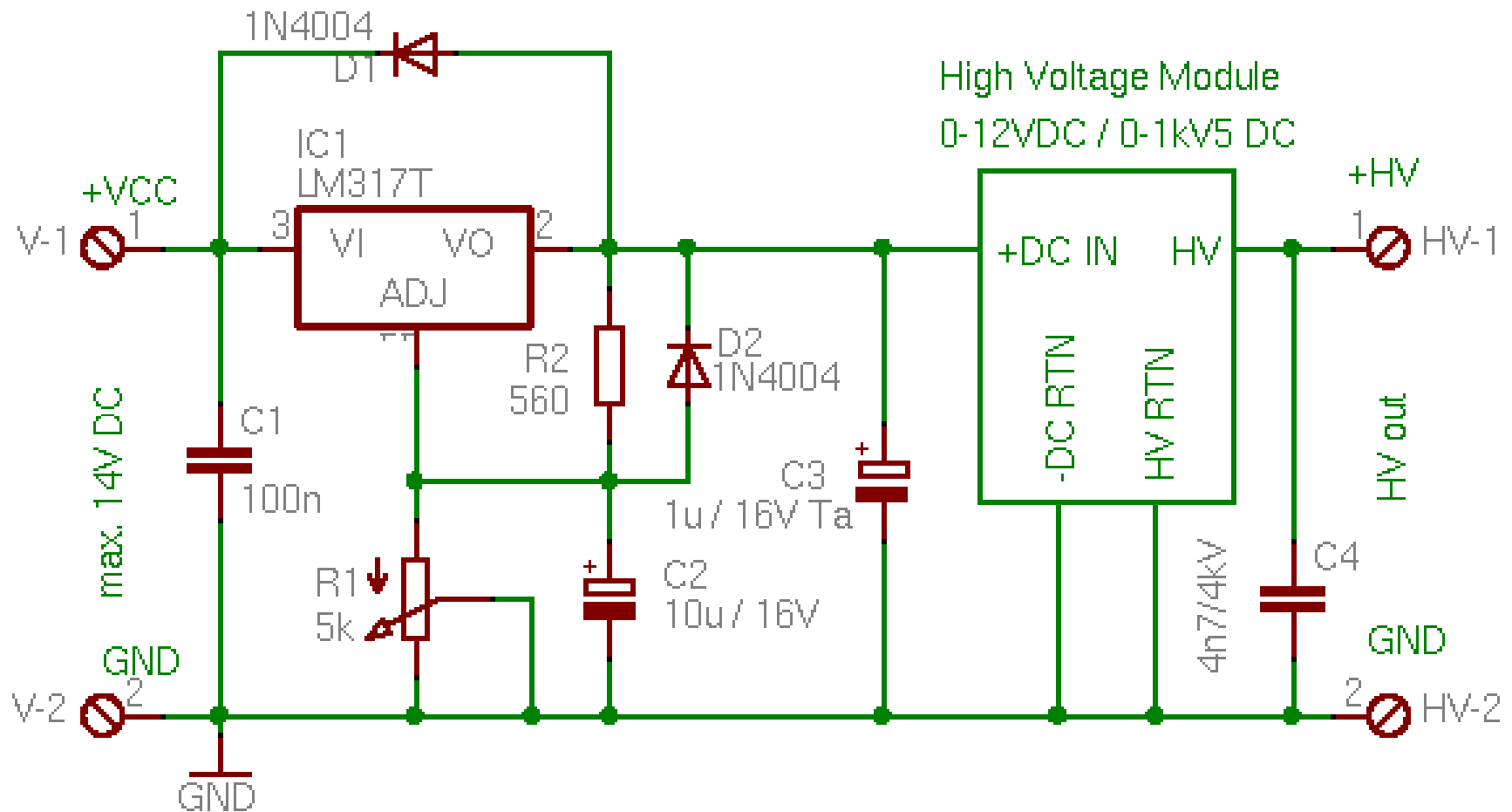
Zasada działania lampy rentgenowskiej

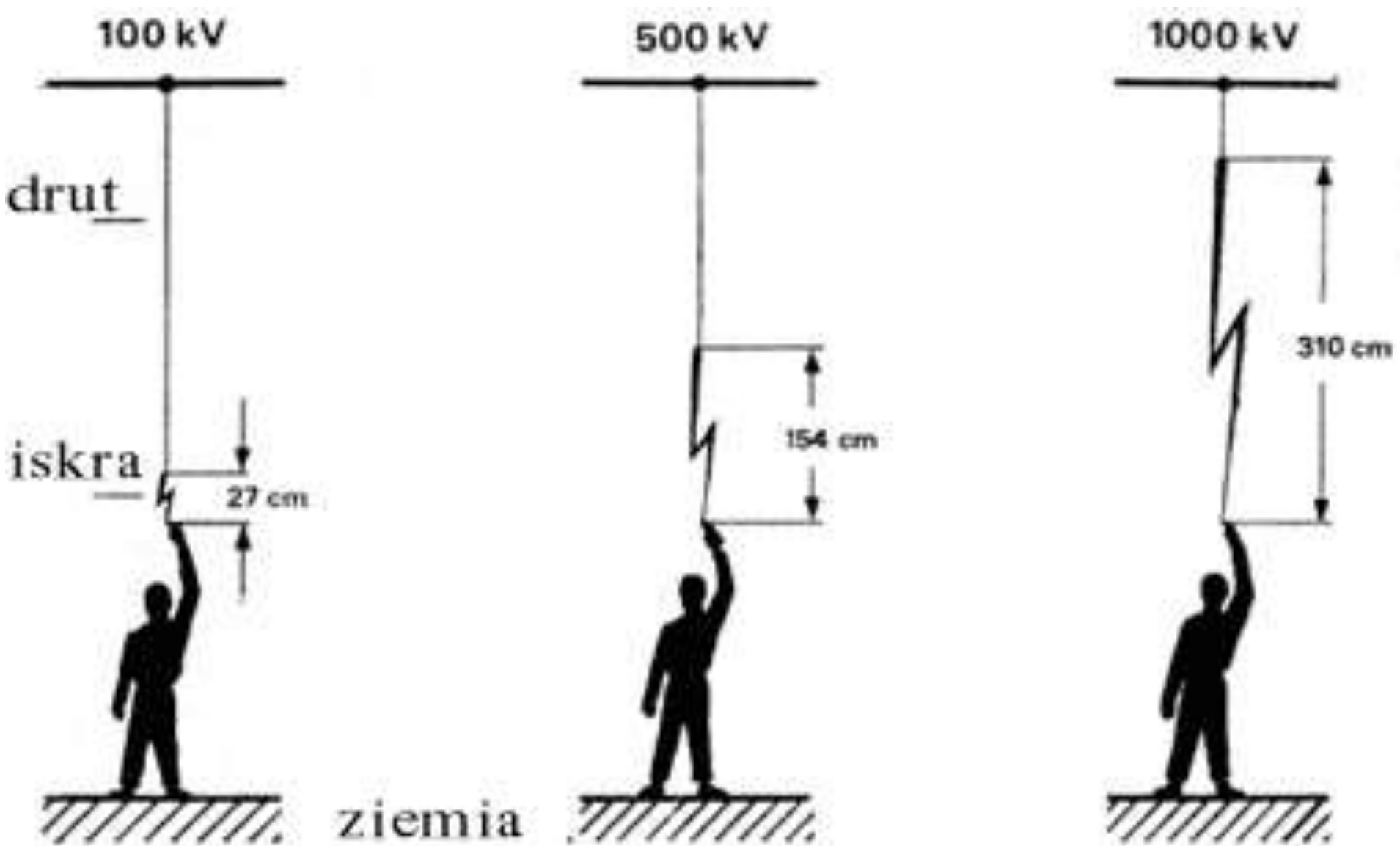


Wygląd typowej lampy rentgenowskiej



Wysokonapięciowy zasilacz

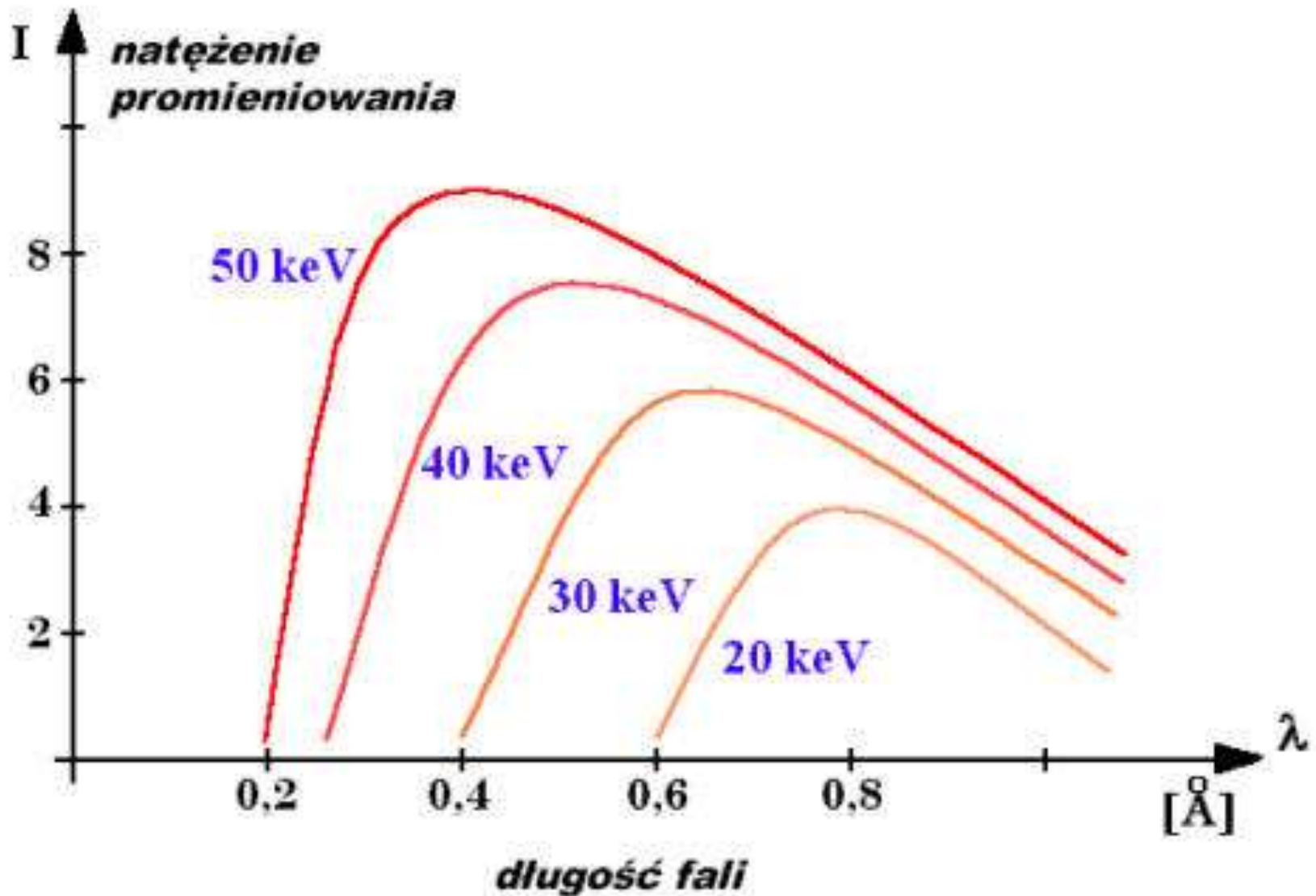




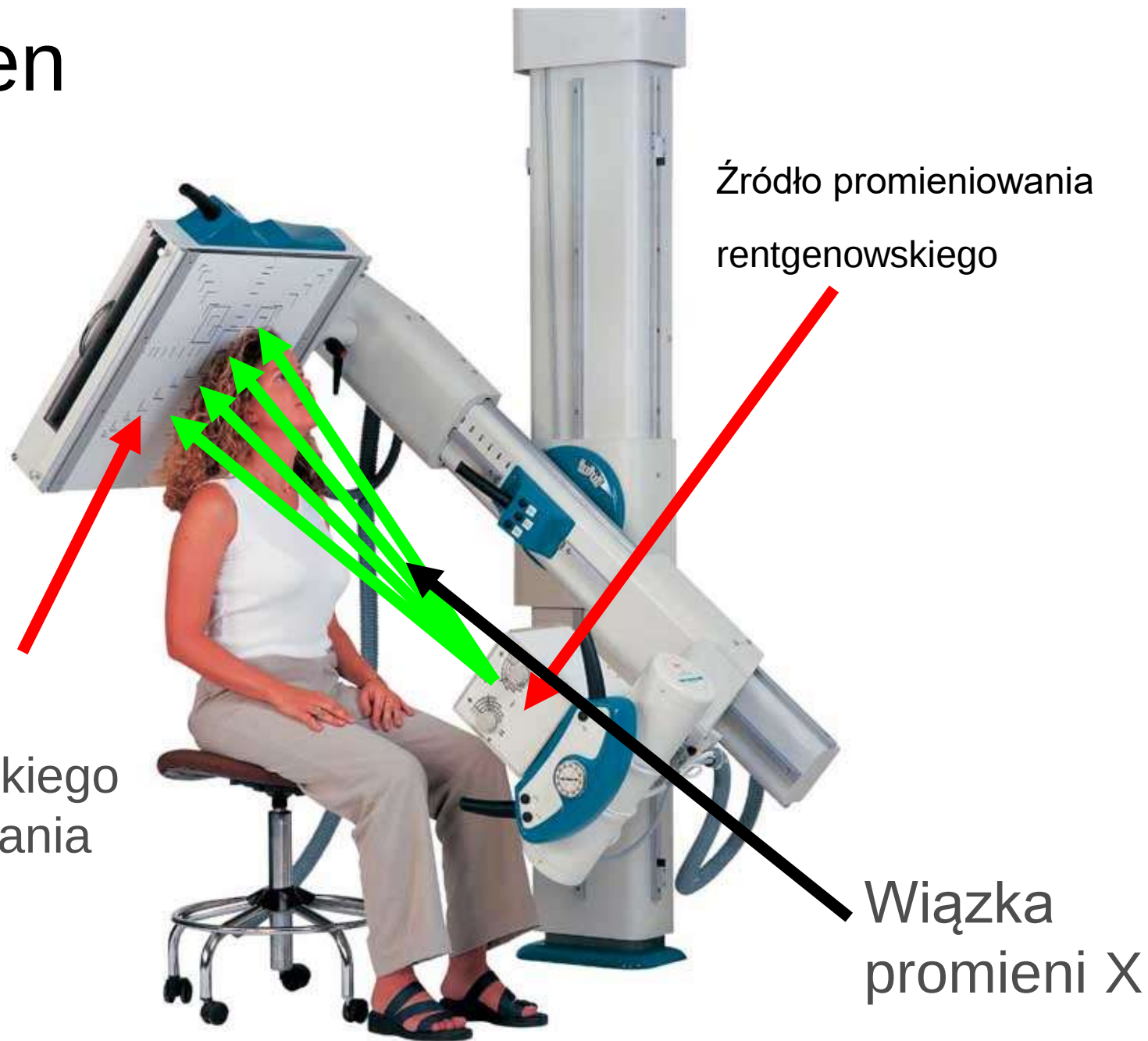
Wysokonapięciowy zasilacz



Rozkład energii promieniowania rentgenowskiego w zależności od długości fali dla różnych wartości energii elektronów czyli dla różnych wartości napięcia zasilającego lampę rentgenowską



Rentgen



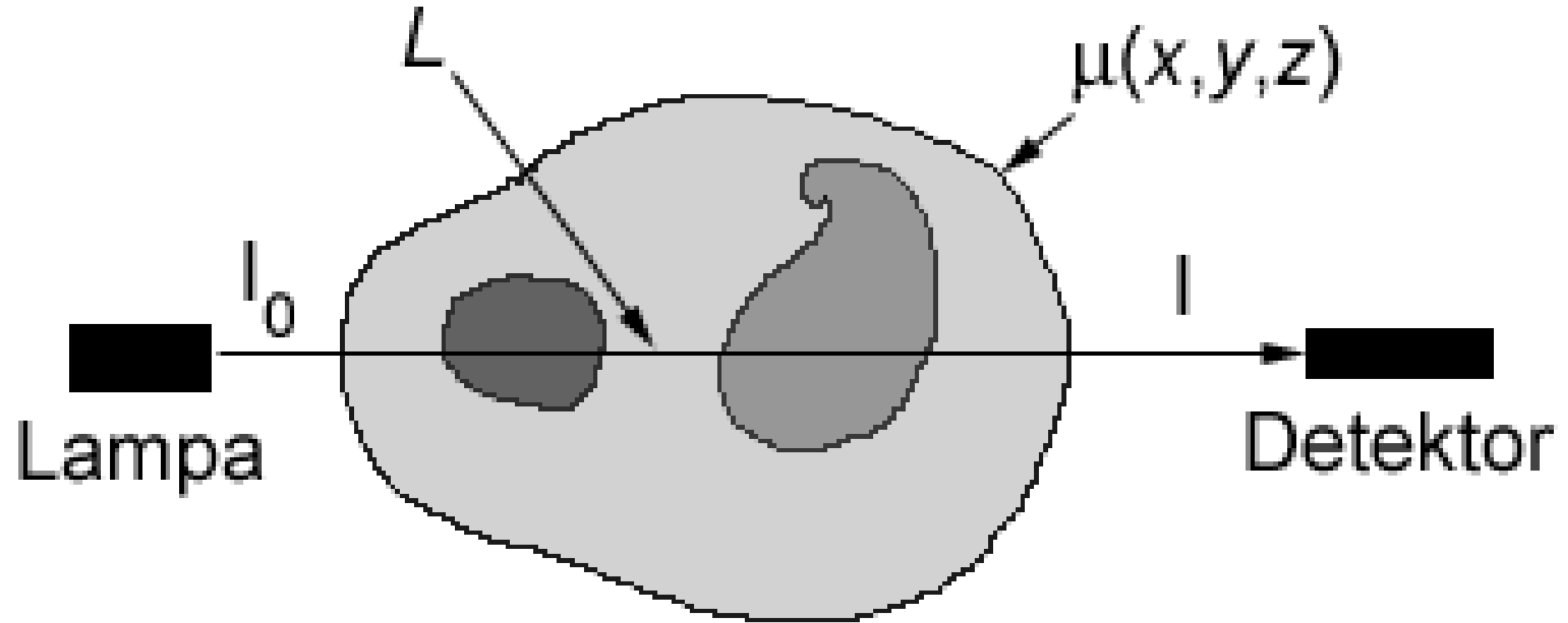
Ważna uwaga organizacyjna:

Jego Magnificencja Rektor AGH
prof. Tadeusz Słomka wezwał
mnie dzisiaj na naradę, która
ma się odbyć o godzinie 9:00.

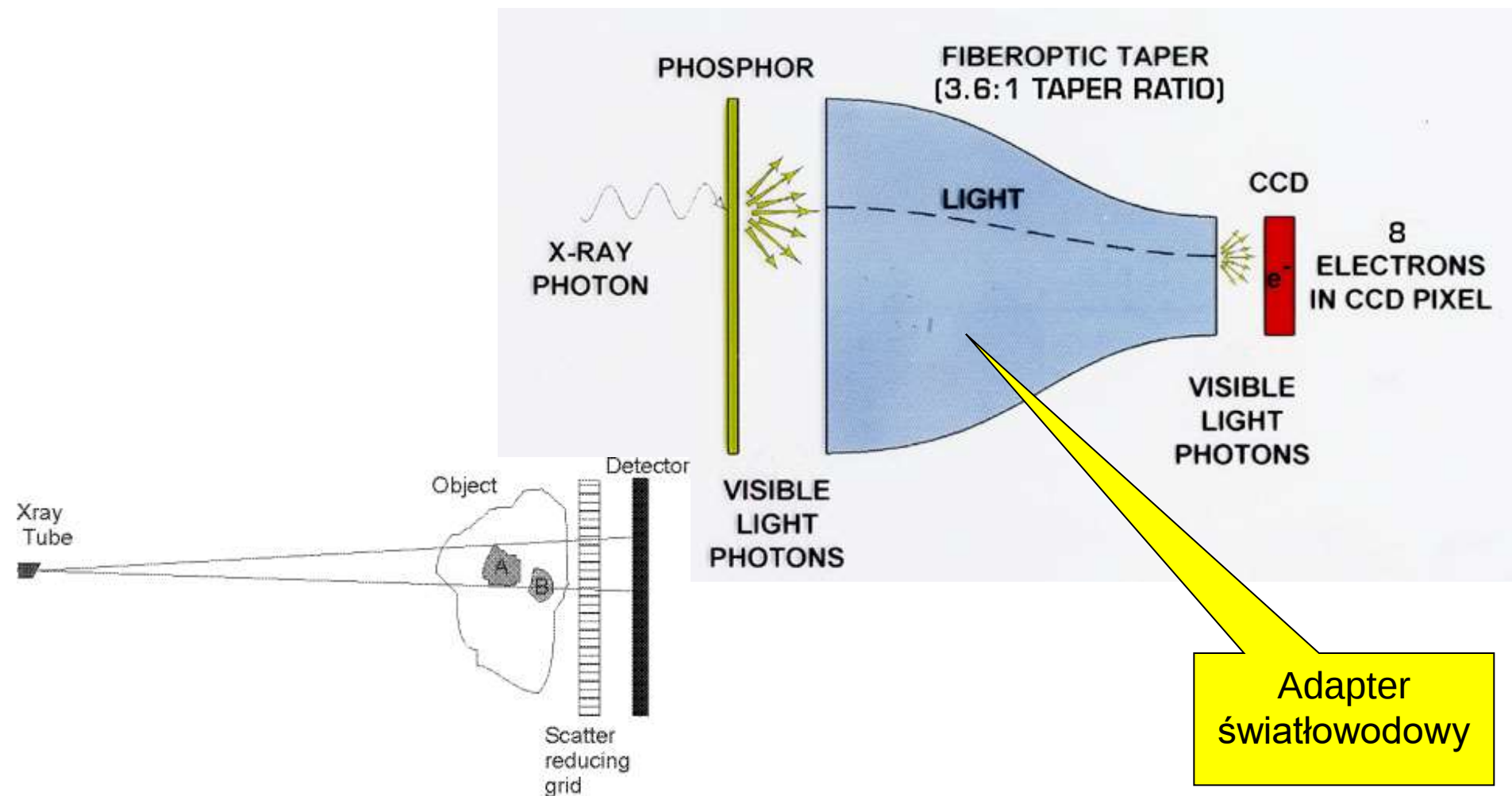
Ponieważ o tej godzinie mam
być w A0 – wykład zakończę
o 8:40. Przepraszam!

Doskonalenie techniki RTG

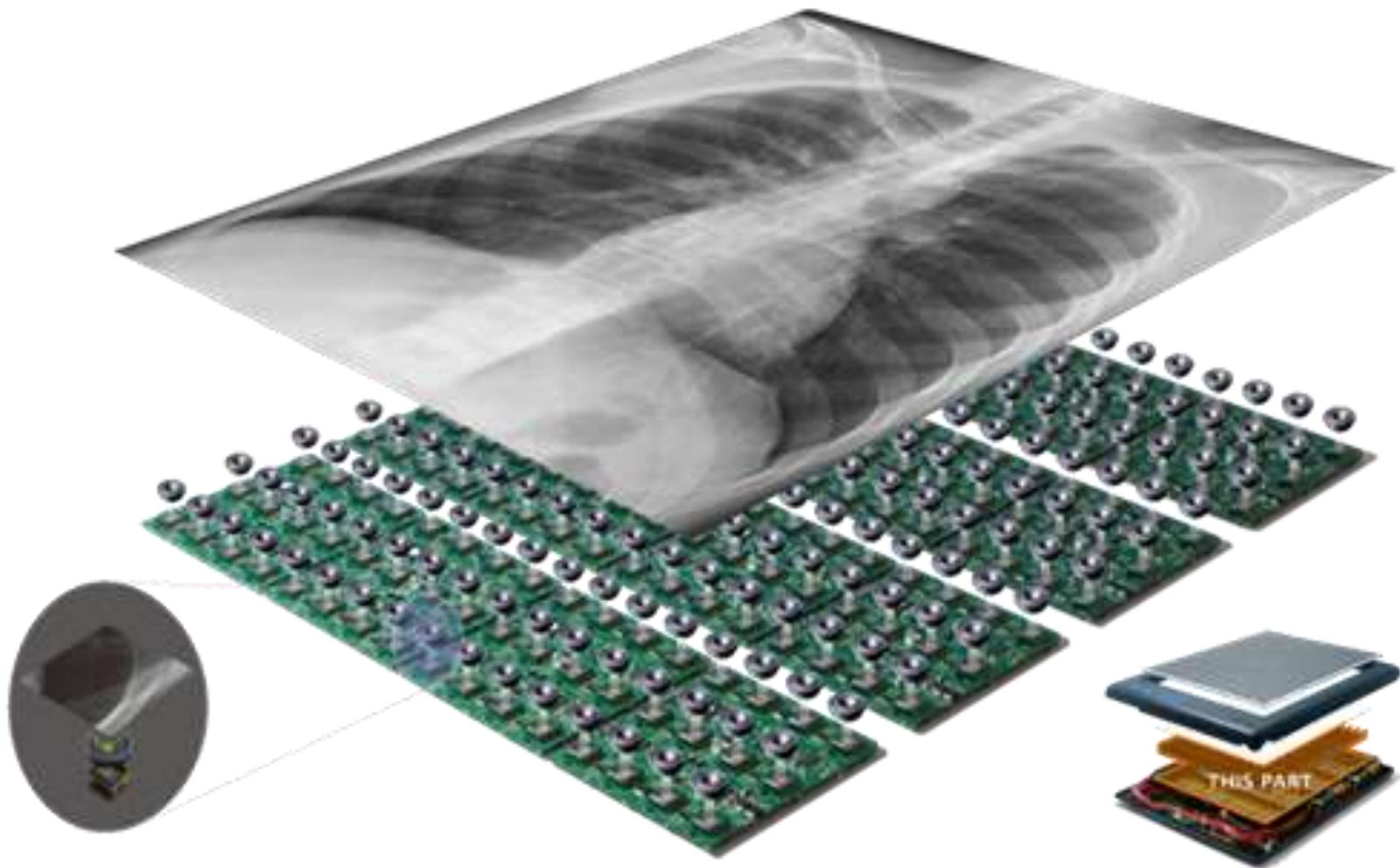
Wiązka promieniowania X przechodząca przez badany obiekt, charakteryzujący się zmiennym współczynnikiem absorpcji



Dawniej zdjęcia rentgenowskie utrwalano głównie na kliszach, obecnie w użyciu są matryce CCD



Sensory CCD używane do rejestracji obrazu RTG



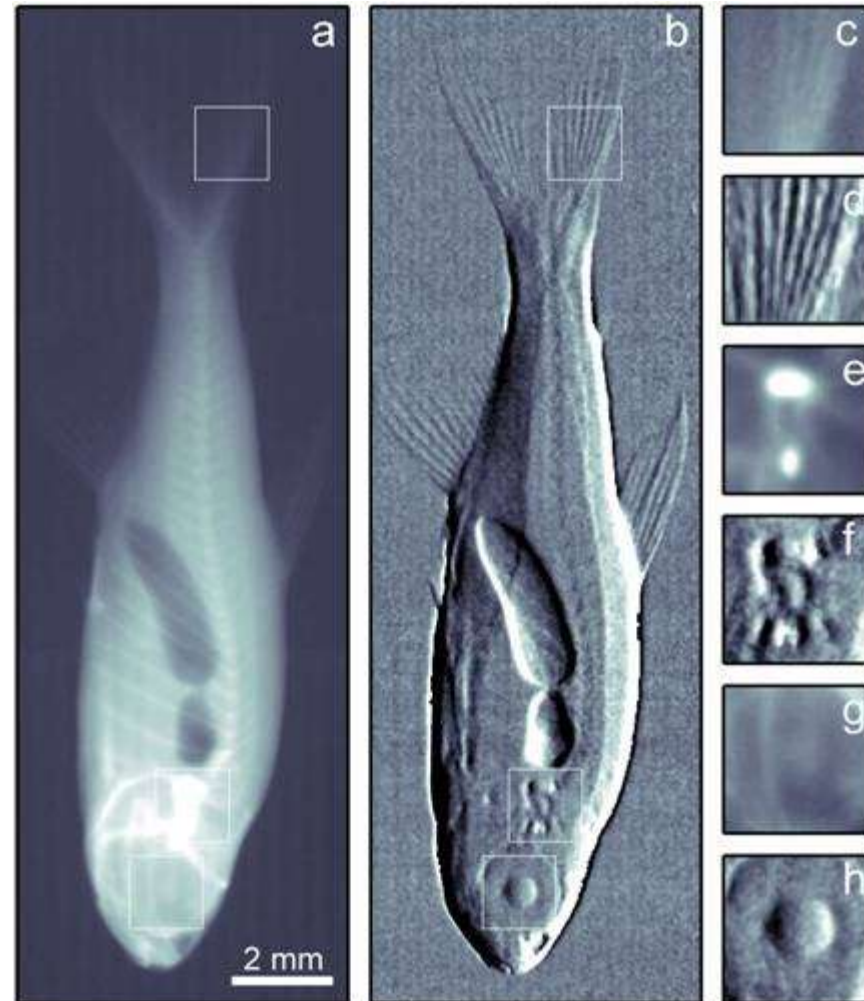
Widok kasety przetworników CCD



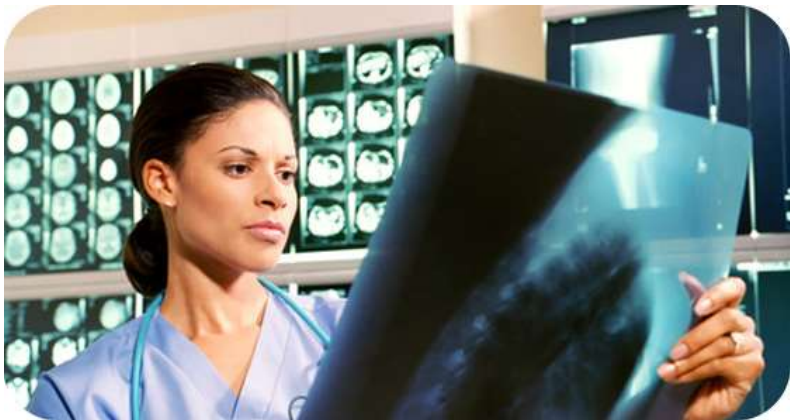
Porównanie obrazu rentgenowskiego uzyskanego przy użyciu kliszy (po lewej stronie) i detektora CCD (po prawej).



Efekt cyfrowego polepszania jakości obrazu rentgenowskiego



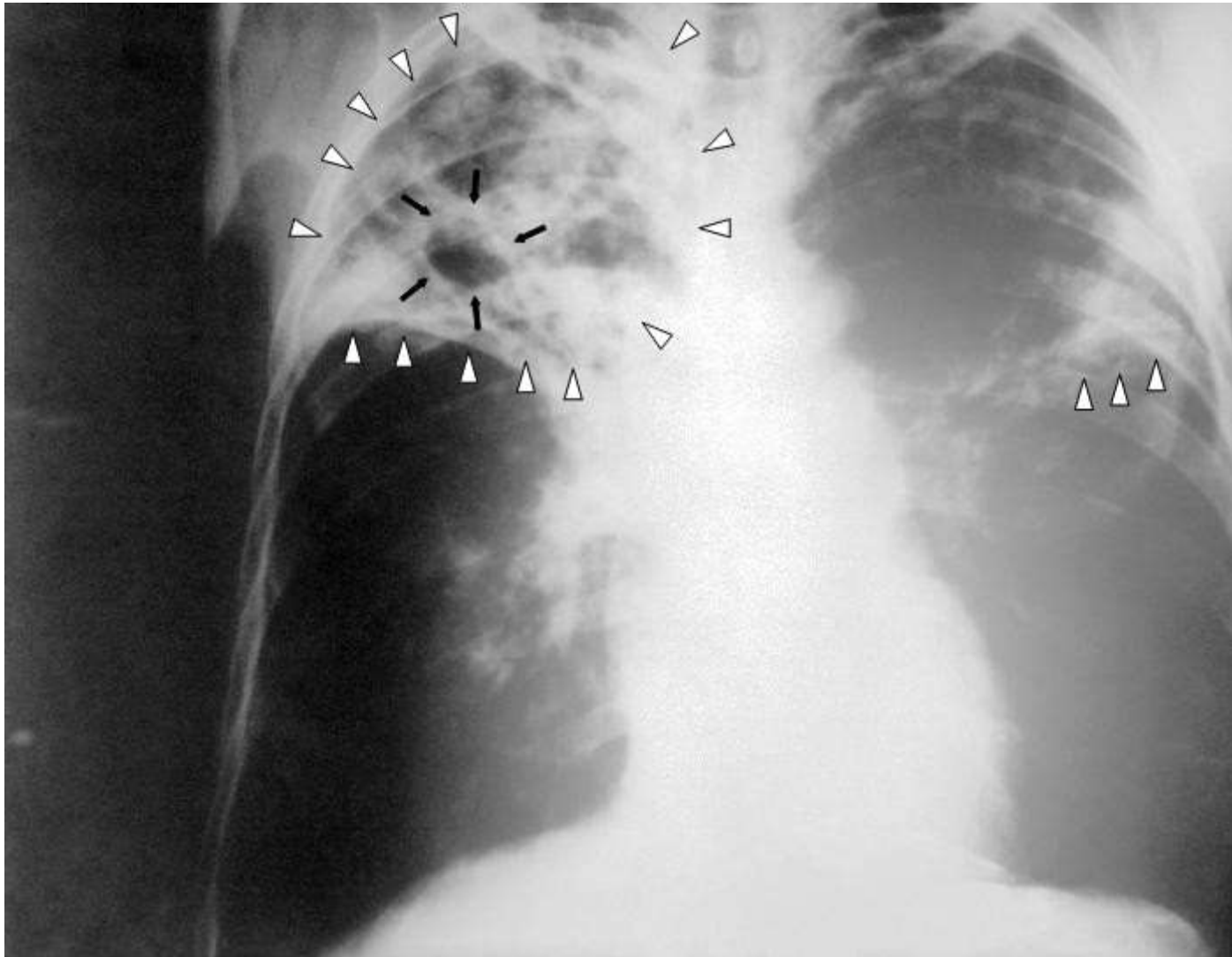
Zamiast tradycyjnego oglądania klisz rentgenowskich stosuje się komputerowe stanowiska diagnostyczne



Komputer wspomaga tu ocenę i interpretację rentgenowskiego zdjęcia,



Rentgenowski obraz płuc człowieka chorego na gruźlicę. Strzałki pokazują obszary w płucach pacjent zajęte przez chorobę.



Kilka słów o fizyce pozyskiwania obrazów rentgenowskich

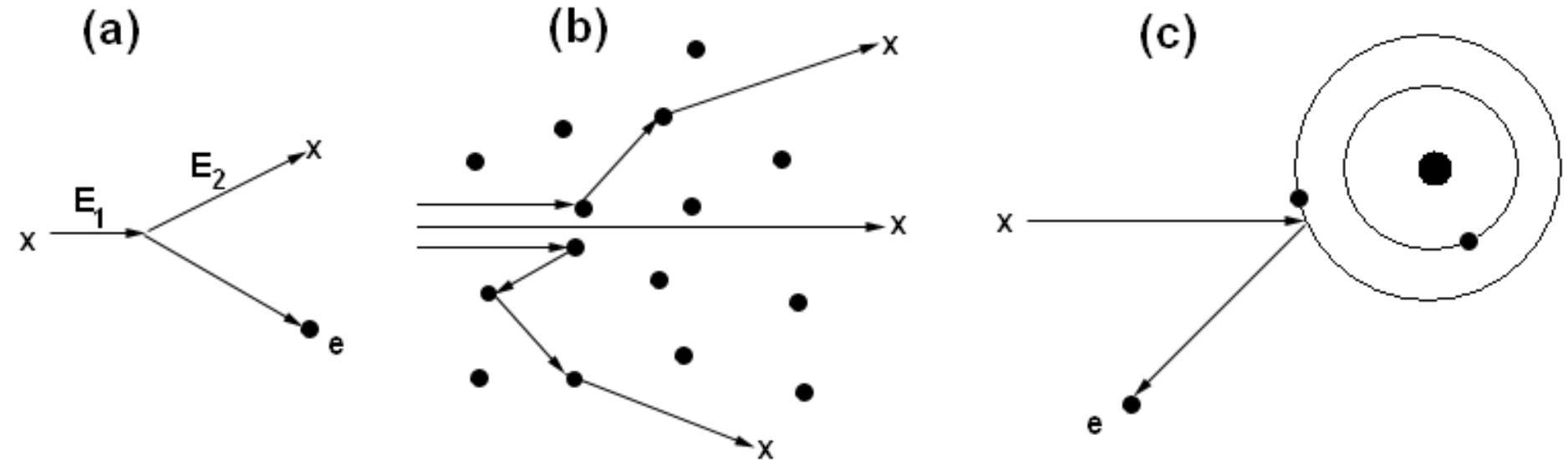
Osłabienie natężenie promieniowania X jest rezultatem zachodzenia trzech, opisanych poniżej, niezależnych od siebie zjawisk

Efekt Comptona – polega on na pochłonięciu przez elektron leżący na torze wiązki części energii fotonu wchodzącego w skład wiązki i zmianę kierunku lotu tego fotonu. W jego wyniku foton zmienia kierunek ruchu, a jego energia maleje.

Rozpraszanie Rayleigha – to elastyczne (tj. bez strat energii) rozpraszanie fotonów na atomach nie pochłaniających energii. W odróżnieniu od efektu Comptona fotony wiązki nie tracą energii, a jedynie zmieniają kierunek.

Zjawisko fotoelektryczne – polega na wybiciu elektronu walencyjnego przez foton wiązki. Foton zostaje zaabsorbowany przez atom.

Mechanizmy pochłaniania energii promieniowania X w tkankach



- (a) Efekt Comptona - zmiana kierunku lotu i utrata energii przez foton promieniowania X ($E_1 > E_2$) w zderzeniu z elektronem.
- (b) Rozpraszanie Rayleigha (elastyczne) - zmiana kierunku lotu w zderzeniach sprężystych z atomami.
- (c) Zjawisko fotoelektryczne - absorpcja fotonu przez atom i emisja wybitego elektronu

W przypadku, gdy promieniowanie X przechodzi przez ciało niejednorodne, wówczas efekt pochłaniania opisuje równanie, które przyjmuje postać

$$I = I_0 \exp\left[-\int_L \mu(x, y, z) dl\right]$$

gdzie $\mu(x, y, z)$ jest zmieniającym się „od punktu do punktu” współczynnikiem absorpcji, a całkowanie odbywa się wzdłuż toru wiązki L w prześwietlanym ośrodku.

Wyznaczone doświadczalnie wartości μ odnosi się do współczynnika absorpcji wody μ_w za pomocą następującego przeliczenia:

$$CT = \left[\frac{\mu - \mu_w}{\mu_w} \right] \times a,$$

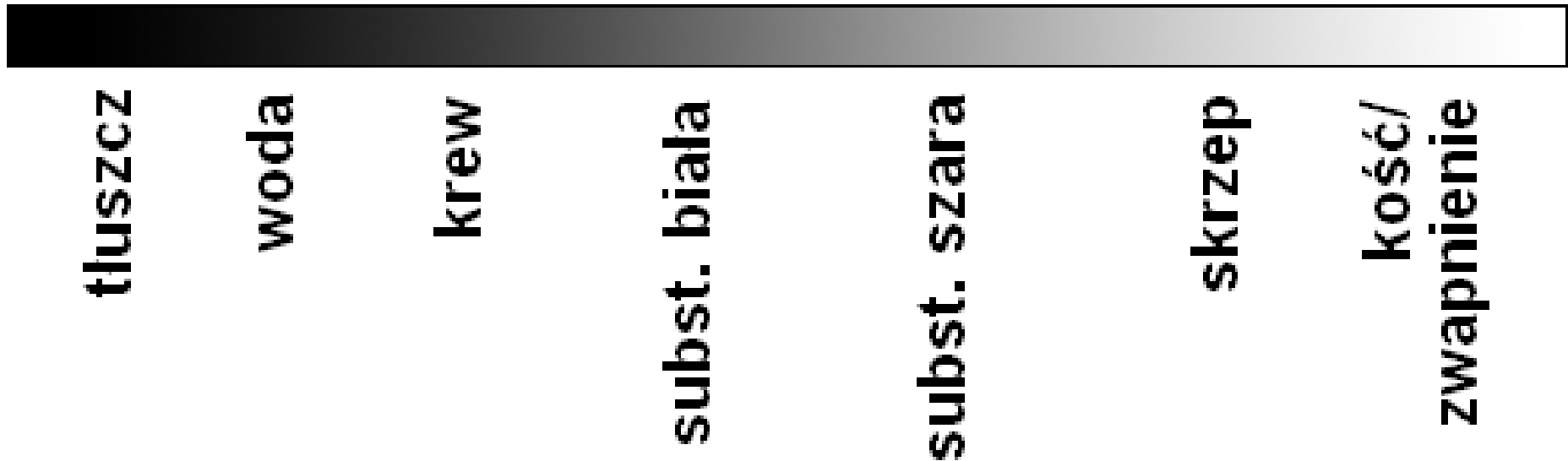
gdzie a jest aparaturowym współczynnikiem kontrastu, który zależy od producenta aparatu; typowo $a=1000$.

Skala CT nosi nazwę skali Hounsfielda.

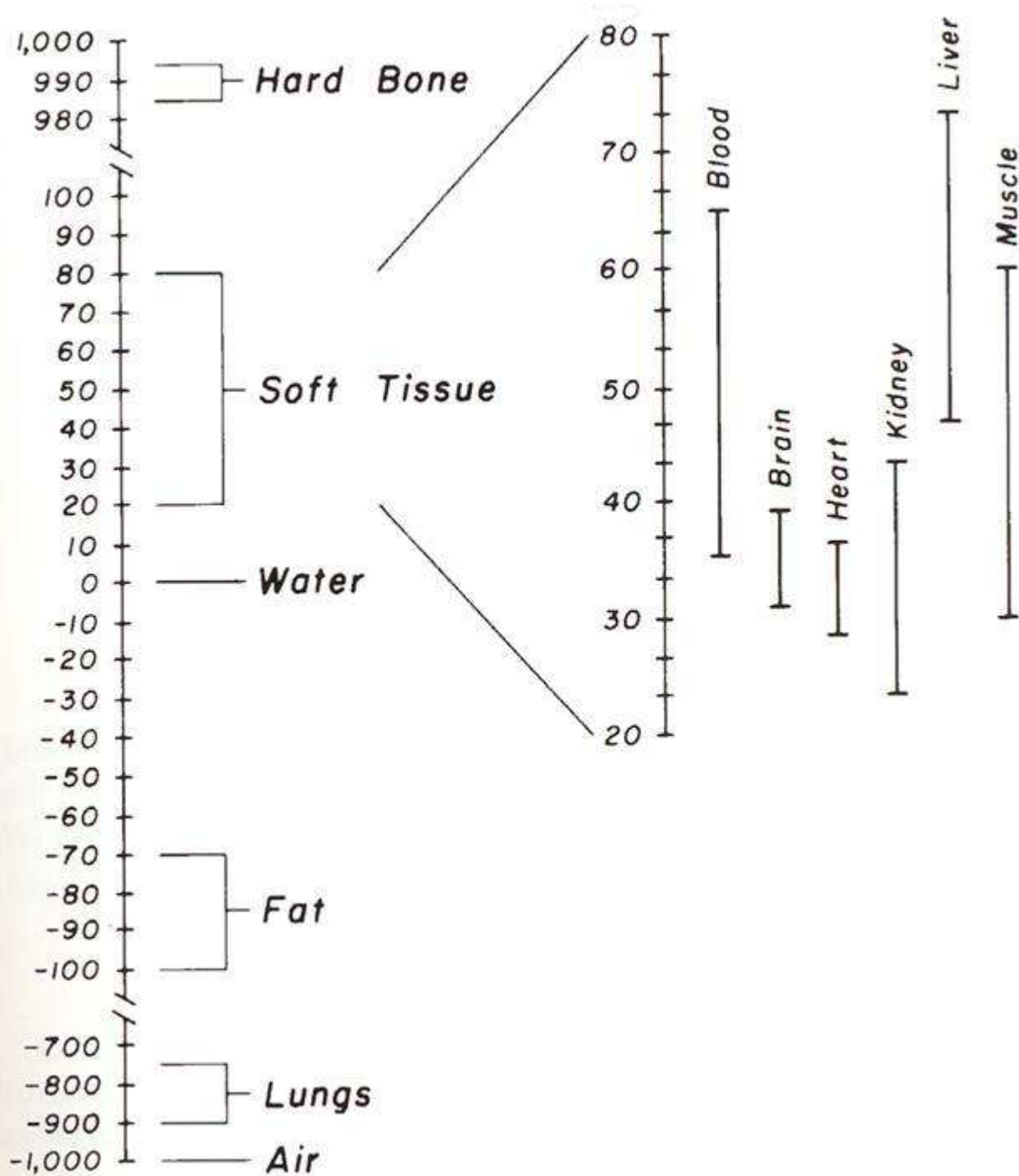
Tab. 1. Przykładowe, przybliżone gęstości substancji
w jednostkach Hounsfielda

Tkanka	HU
powietrze	-1000
tłuszcz	-50
woda	0
płyn mózgowo-rdzeniowy	<+4, +10>
biała istota	<+22, +36>
szara istota	<+32, +46>
tkanki miękkie (np. mięśnie)	+40
krw	<+50, +90>
kości	<+800, +1000>

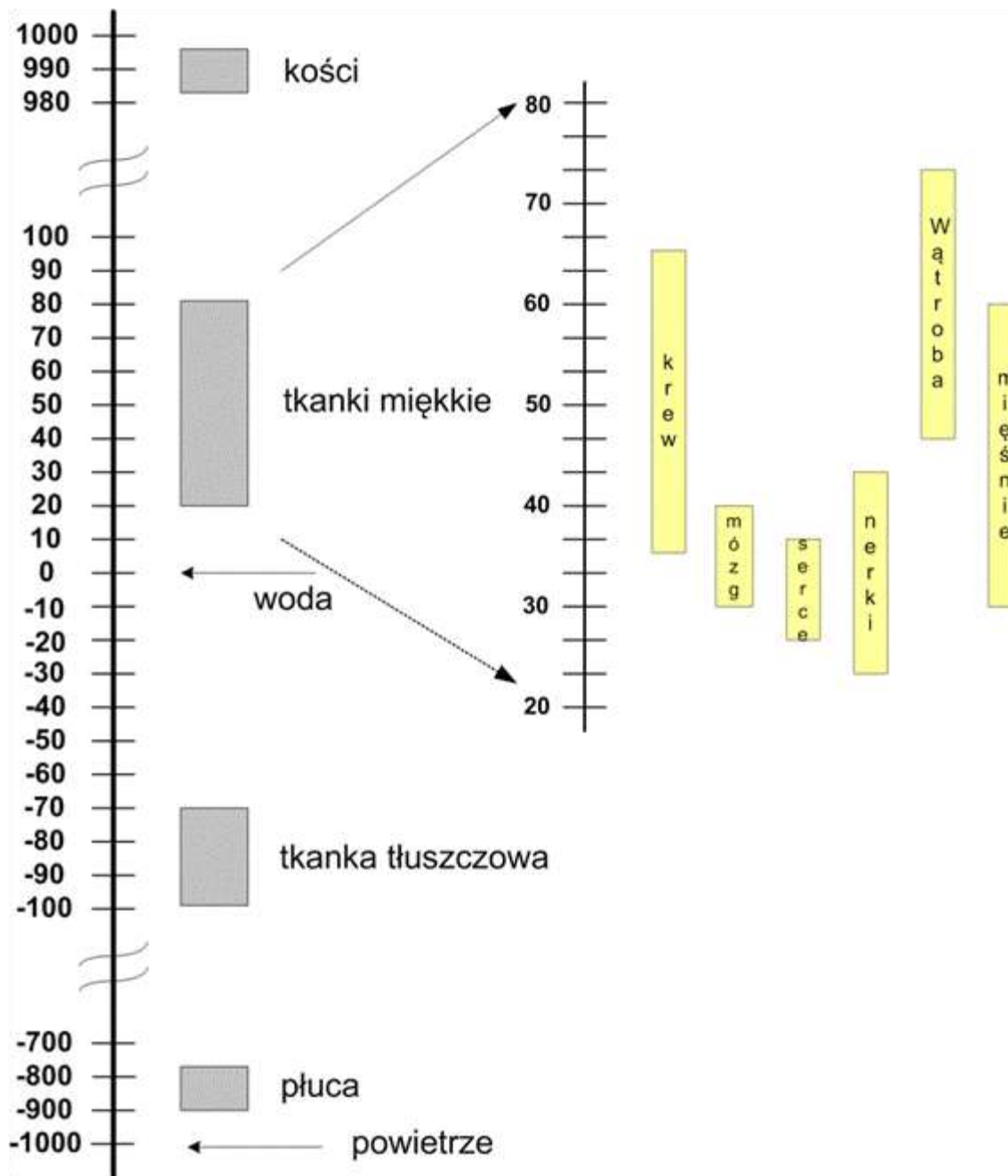
Porównanie położenia wybranych tkanek na skali Hounsfielda



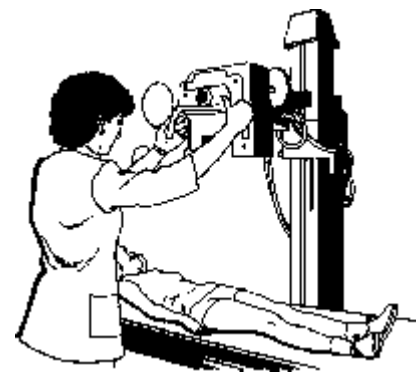
Wartości CT dla ciała ludzkiego zawierają się w przedziale -1000 HU do 4000 HU (dla $a=1000$; HU – jednostka Hounsfielda), przy czym dla zawierających powietrze płuc są one najmniejsze natomiast dla kości największe.



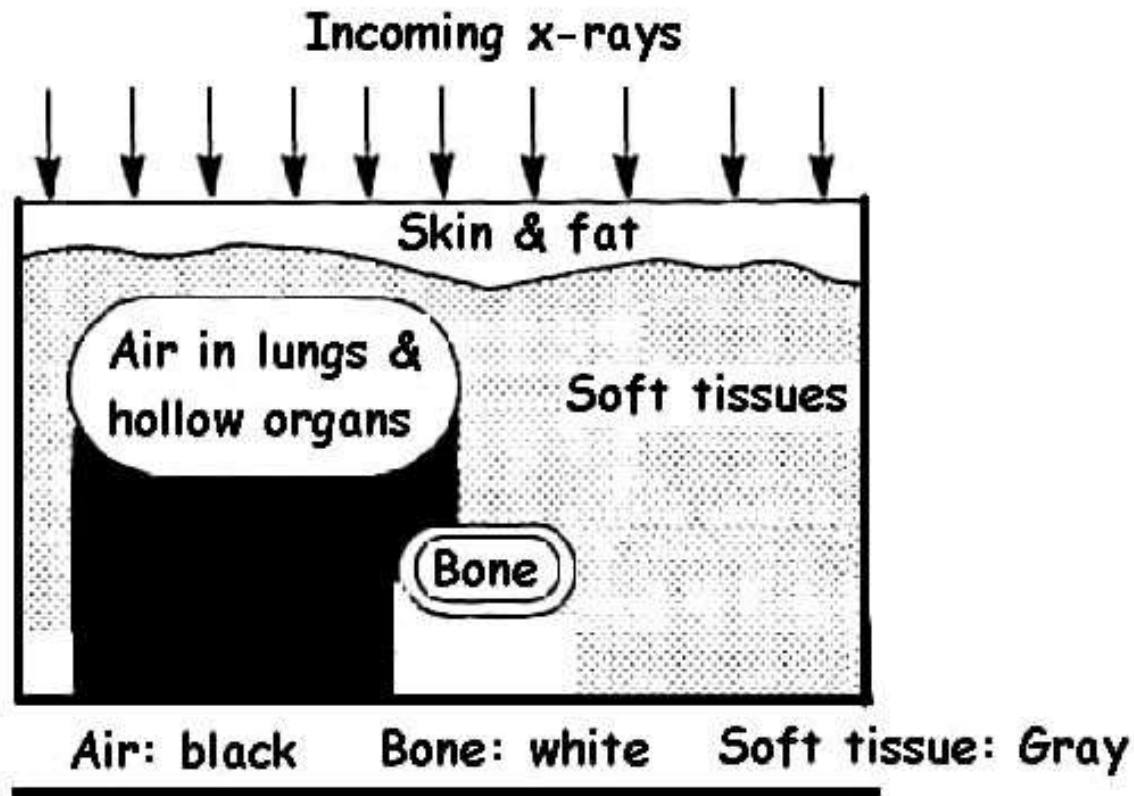
Dokładniejsza
prezentacja
skali
Hounsfielda



Po polsku



Tworzenie obrazu rentgenowskiego polega na przenikaniu promieni X przez ciało pacjenta.



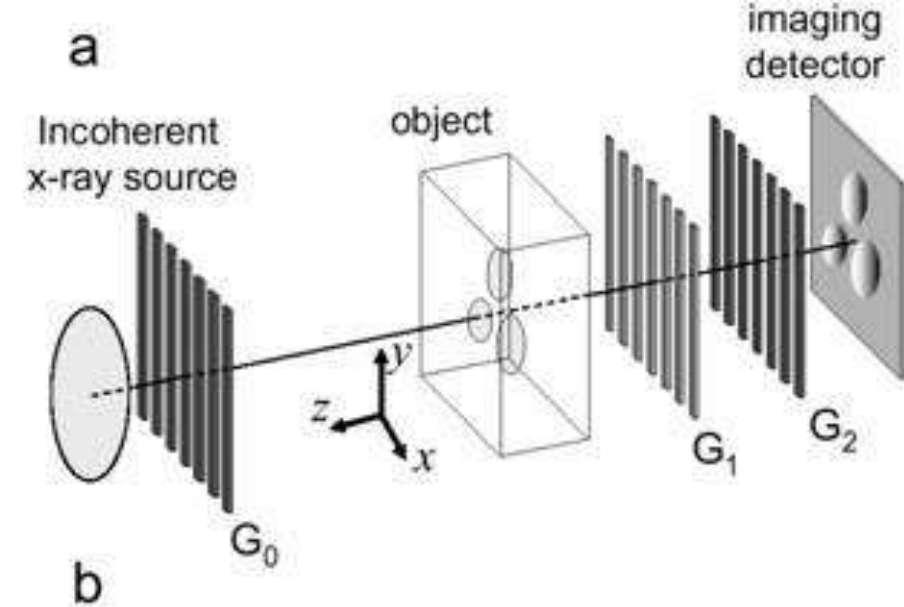
Rejestrowane jest natężenie promieniowania po drugiej stronie.

Tam, gdzie promieniowanie przechodzi łatwo (jamy powietrzne) pojawiają się na kliszy lub na przetworniku CCD w negatywie ciemne plamy.

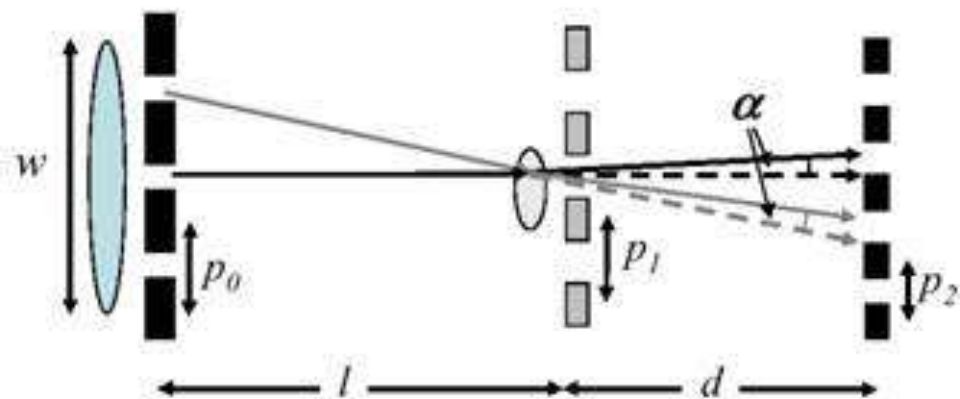
Tam, gdzie promieniowanie jest zatrzymywane (kości) pojawiają się jasne obszary.

W diagnostyce RTG promieniowanie po przejściu przez ciało pacjenta pada na kliszę rentgenowską, umieszczoną w specjalnej kasecie lub detektor cyfrowy.

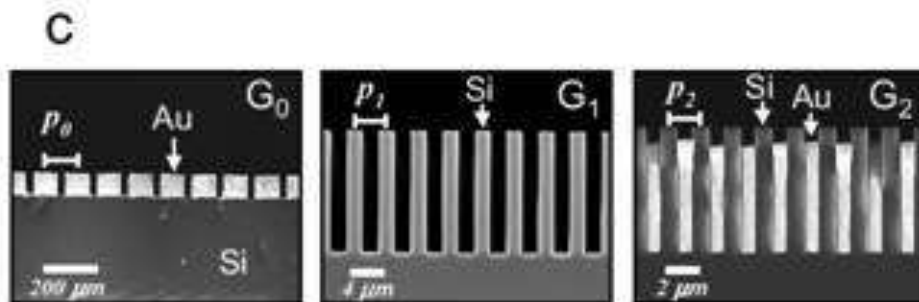
Obiekt badany musi znajdować się blisko modułu rejestrującego, aby zapobiec niekorzystnym zniekształceniom obrazu. Obraz RTG jest sumą nakładających się na siebie cieni, dlatego obiekt naświetla się w dwóch perspektywach, najczęściej prostopadłych do siebie.



W aparaturze rentgenowskiej nie da się stosować układów optycznych.



Zamiast nich stosowane są kolimatory.



Aby dokonać prezentacji otrzymanego obrazu na ekranie komputera lub zapamiętać go w postaci 8-bitowego obrazka, transformuje się skalę Hounsfielda na zbiór $(0,1,...,255)$.

Transformacja ta polega na wyjęciu okna $[W_1, W_2]$ z pełnej skali Hounsfielda, a następnie przeskalowaniu go do 256 odcieni szarości.

Decyzja o tym, jakie przyjąć wartości progów W_1, W_2 zależy od badającego, gdyż ich wybór determinuje, które fragmenty poddawanego badaniu ciała zostaną wychwycone.

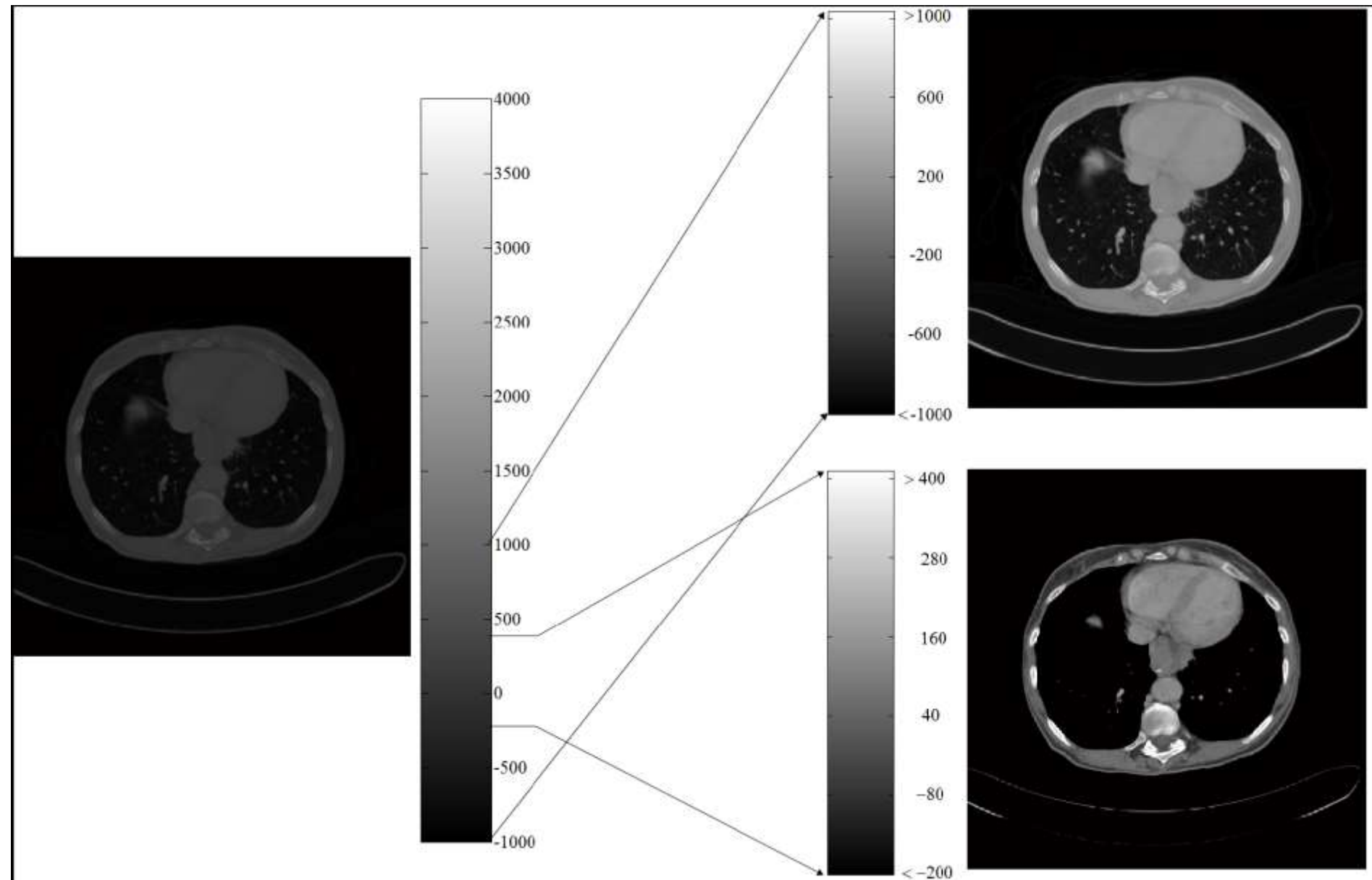
Przyjęło się określać W_1, W_2 za pomocą wielkości L i W ,
 L – pozycji środka przedziału i W – szerokości „okna”:

$$L = \frac{W_1 + W_2}{2}, W = W_2 - W_1.$$

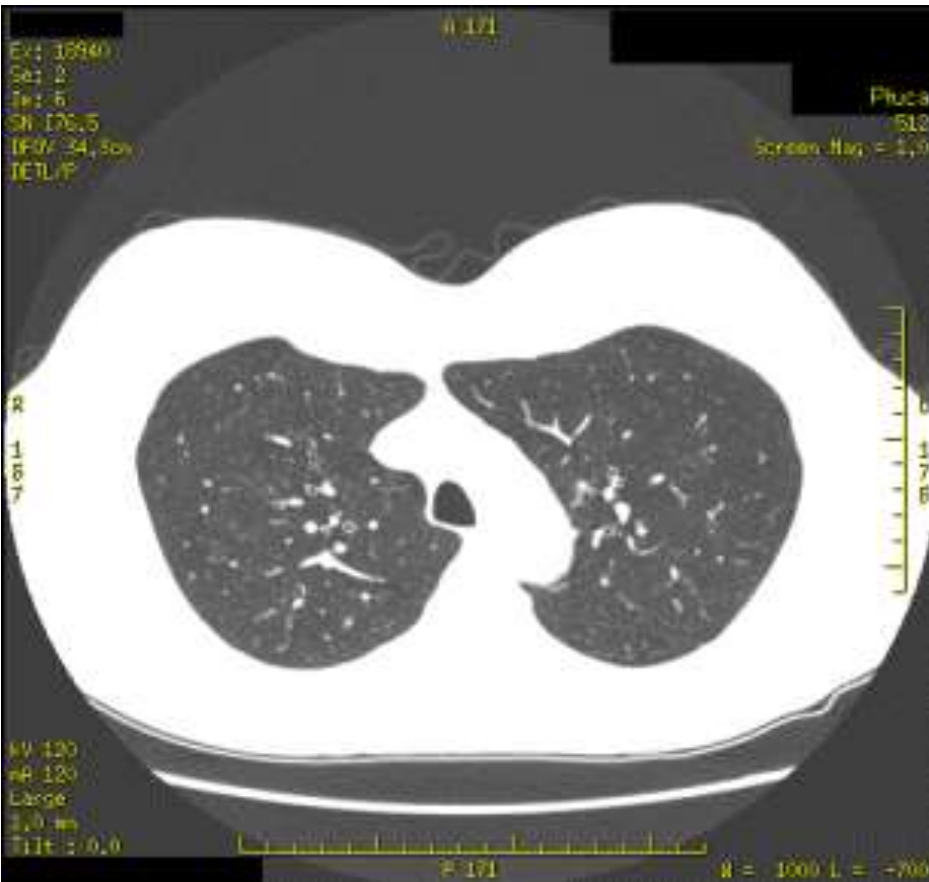
Przykładowe wartości L i W stosowane w badaniach to:

szerokość okna $W=300-600$ HU dla tkanek miękkich i $800-1600$ HU dla płuc, oraz centrum „okna” $L=0-30$ HU lub $30-60$ HU dla tkanek miękkich i $-500-700$ HU dla płuc.

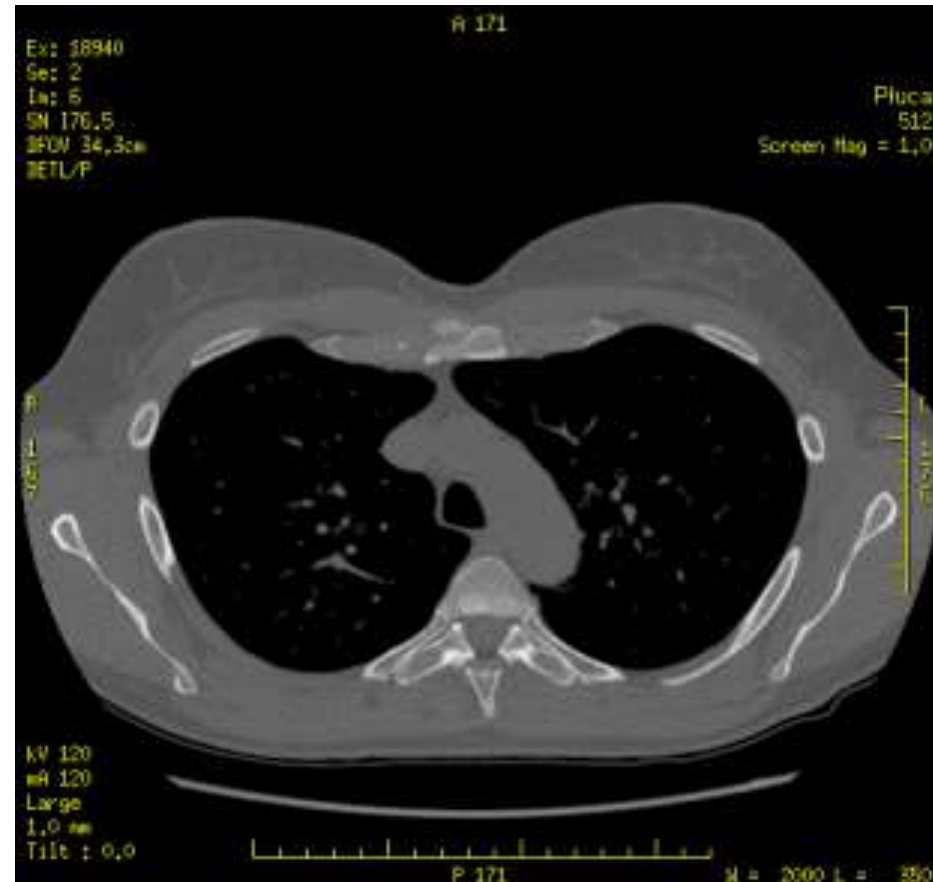
Wizualizacja tego samego przekroju w zależności od dobranych parametrów okna



Obrazowanie wybranego przekroju dla różnych wartości L i W

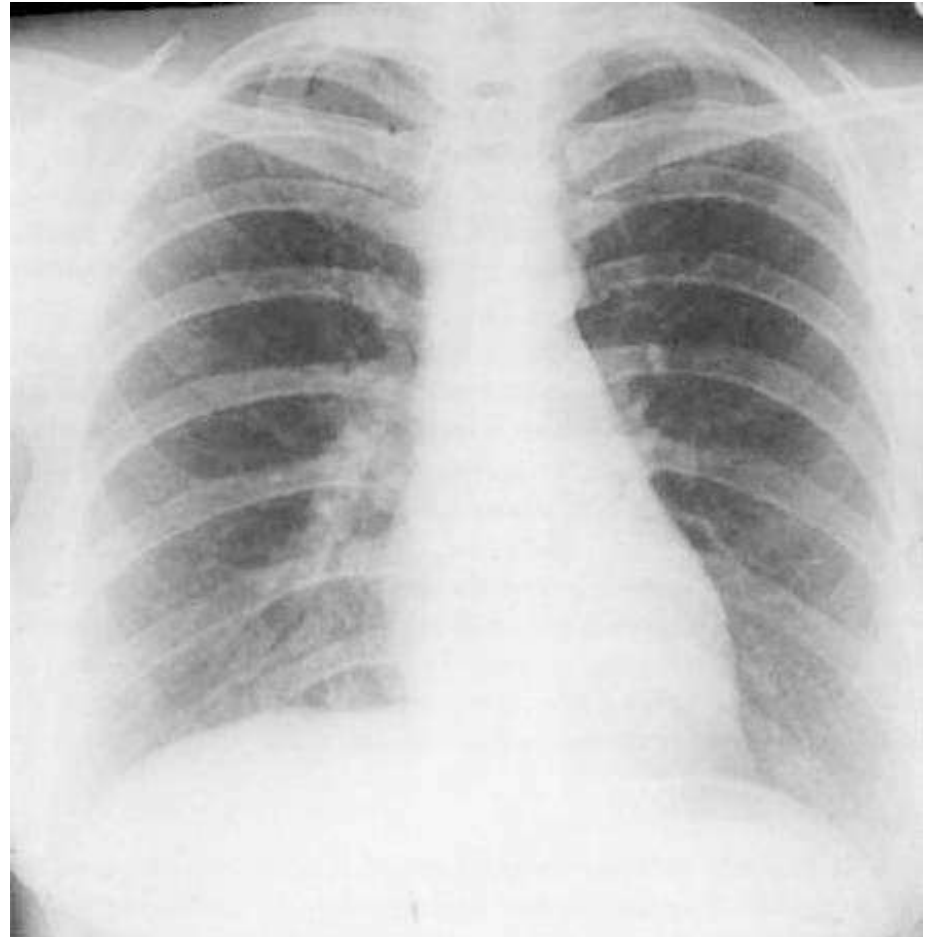


L=-700 HU, W=1000 HU

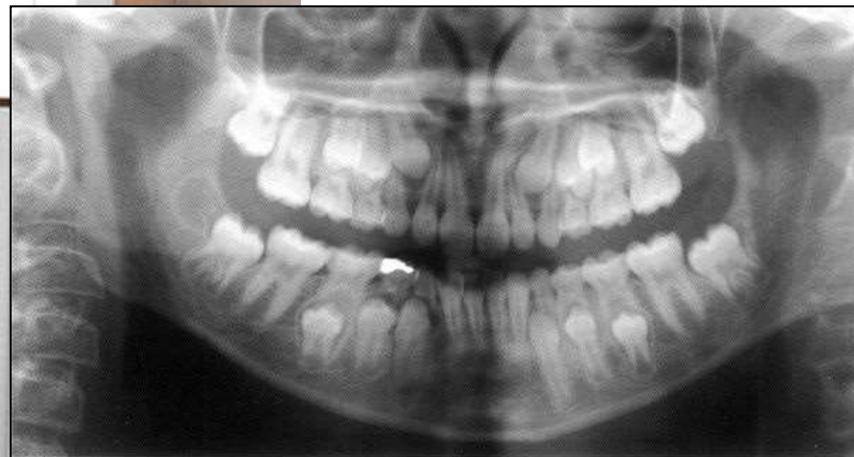
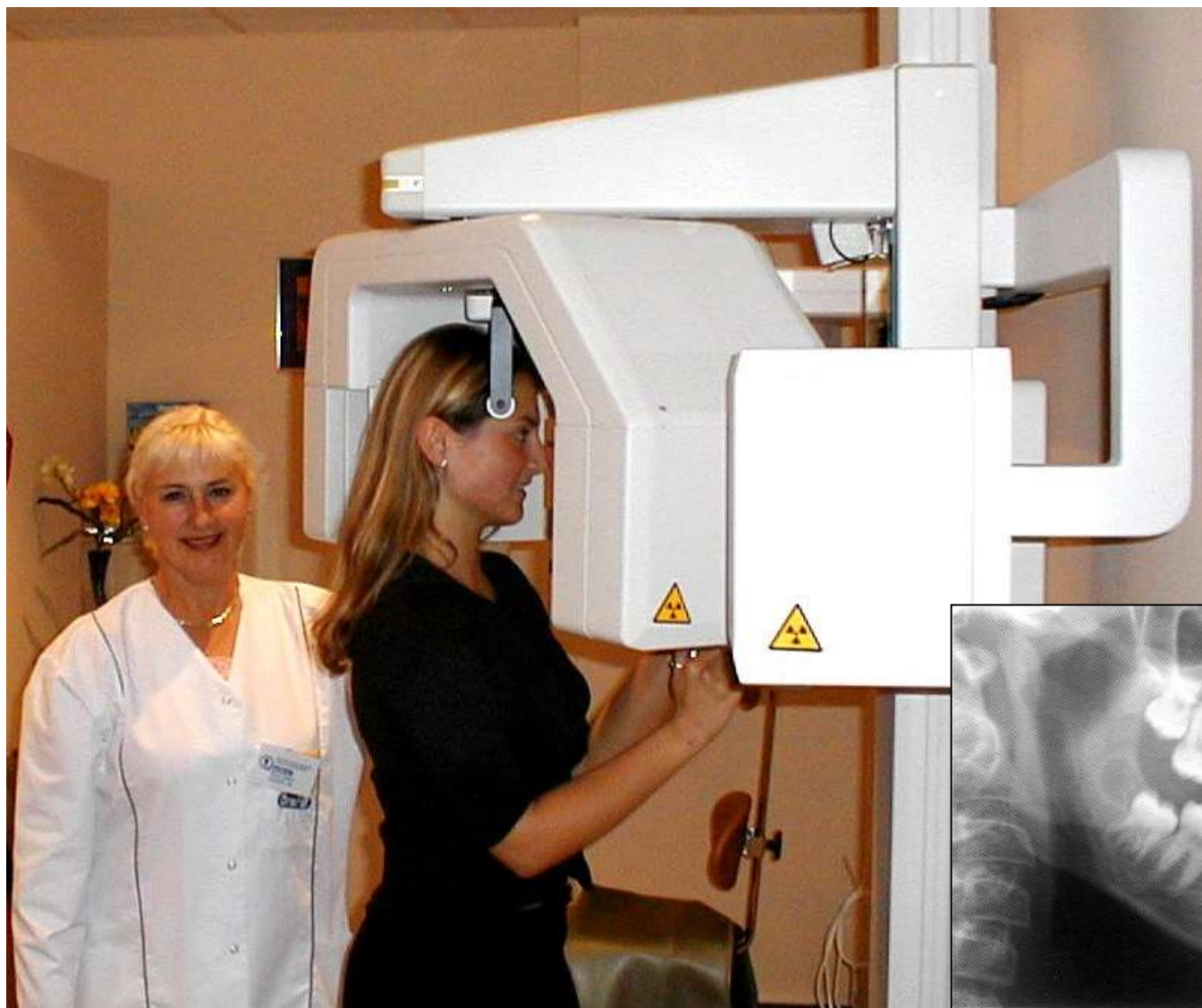


L=350 HU, W=2000 HU

Najpopularniejsza jest aparatura rentgenowska do badań przesiewowych serca i płuc



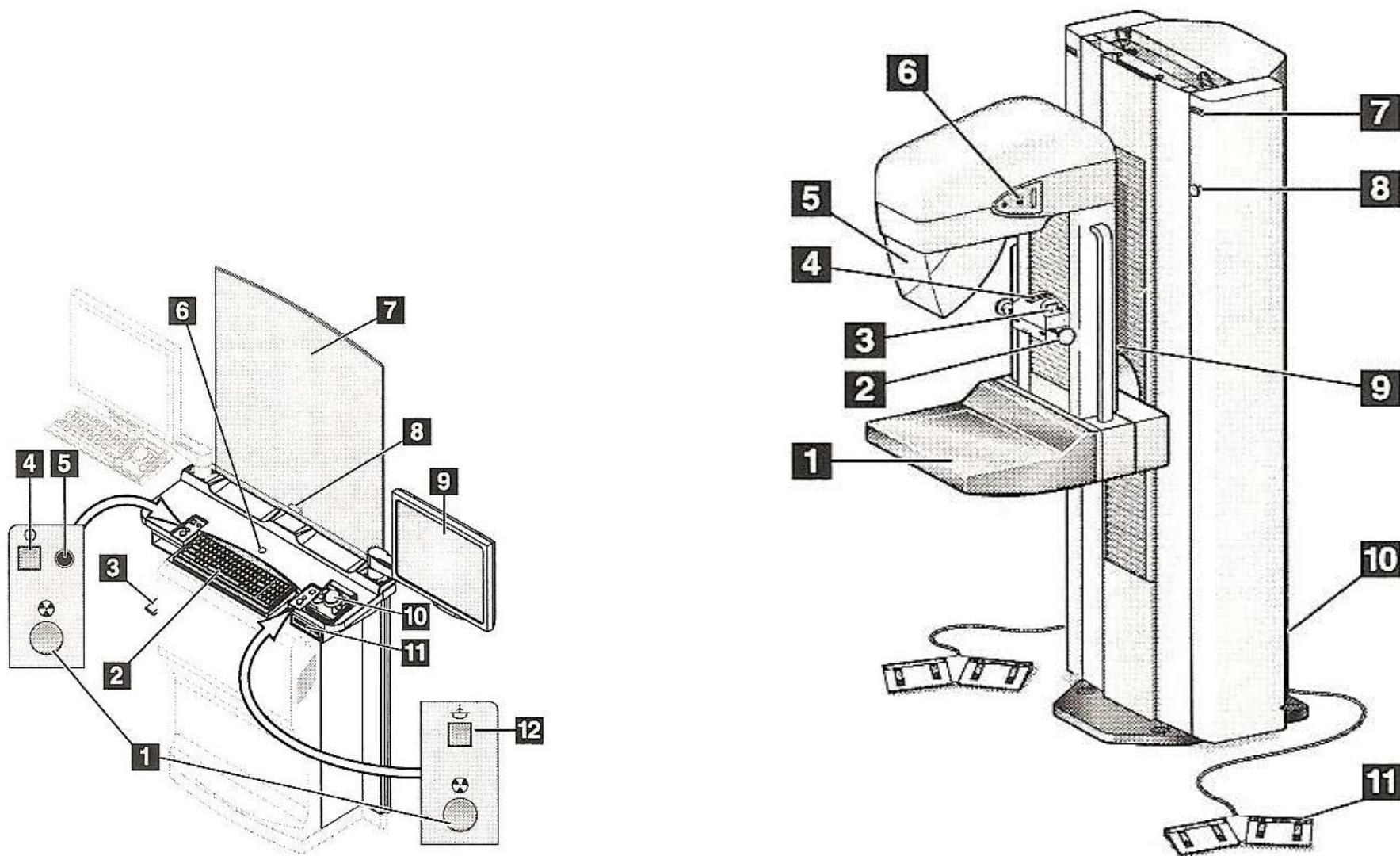
W użyciu są aparaty ogólnego przeznaczenia (prześwietlające dowolne części ciała) oraz urządzenia specjalizowane (na przykład stomatologiczne)



Specjalistycznym rodzajem rentgenografii
jest m.in. mammografia

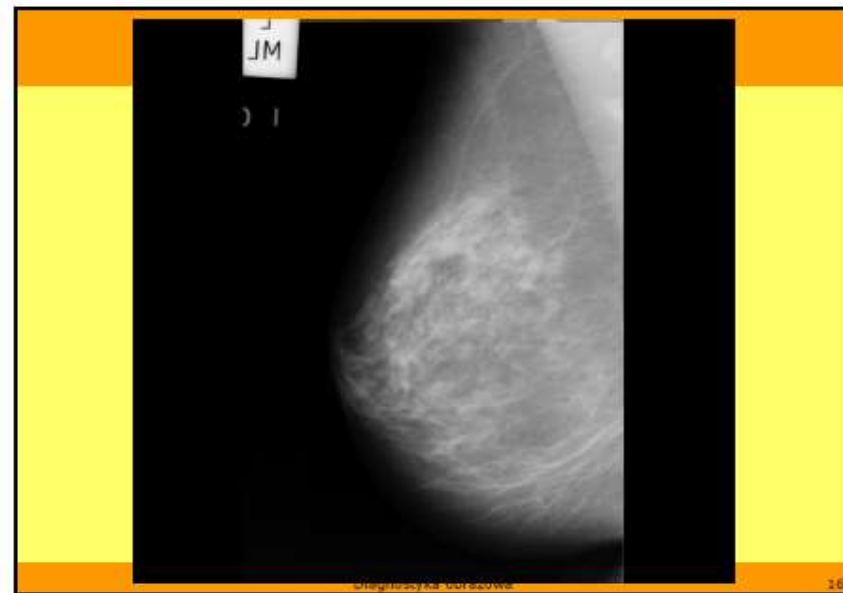
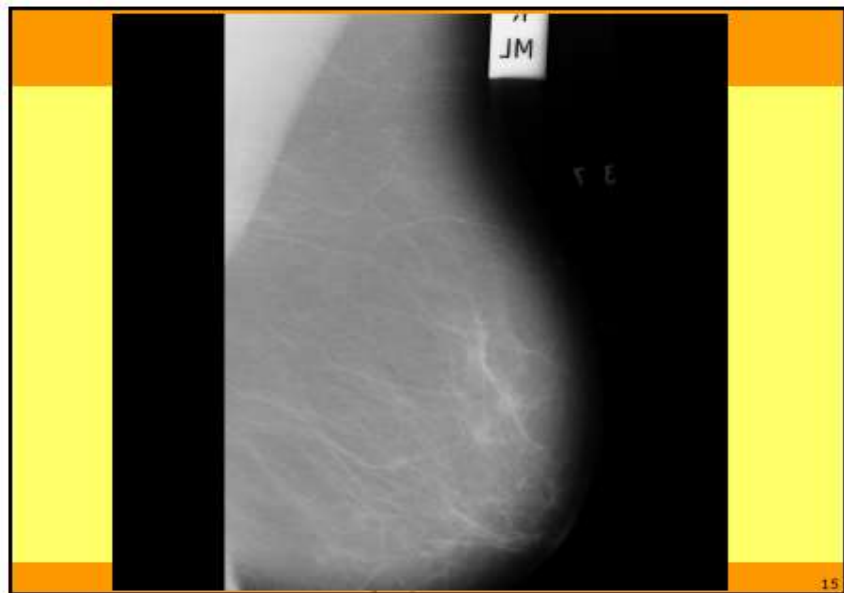


Elementy składowe mammografu





Przykładowe obrazy mammograficzne



Cyfrowe zdjęcie
mammograficzne

Segmentacja gruczołu sutkowego

Przetwarzanie wstępne

Wykrywanie ewentualnych
patologii

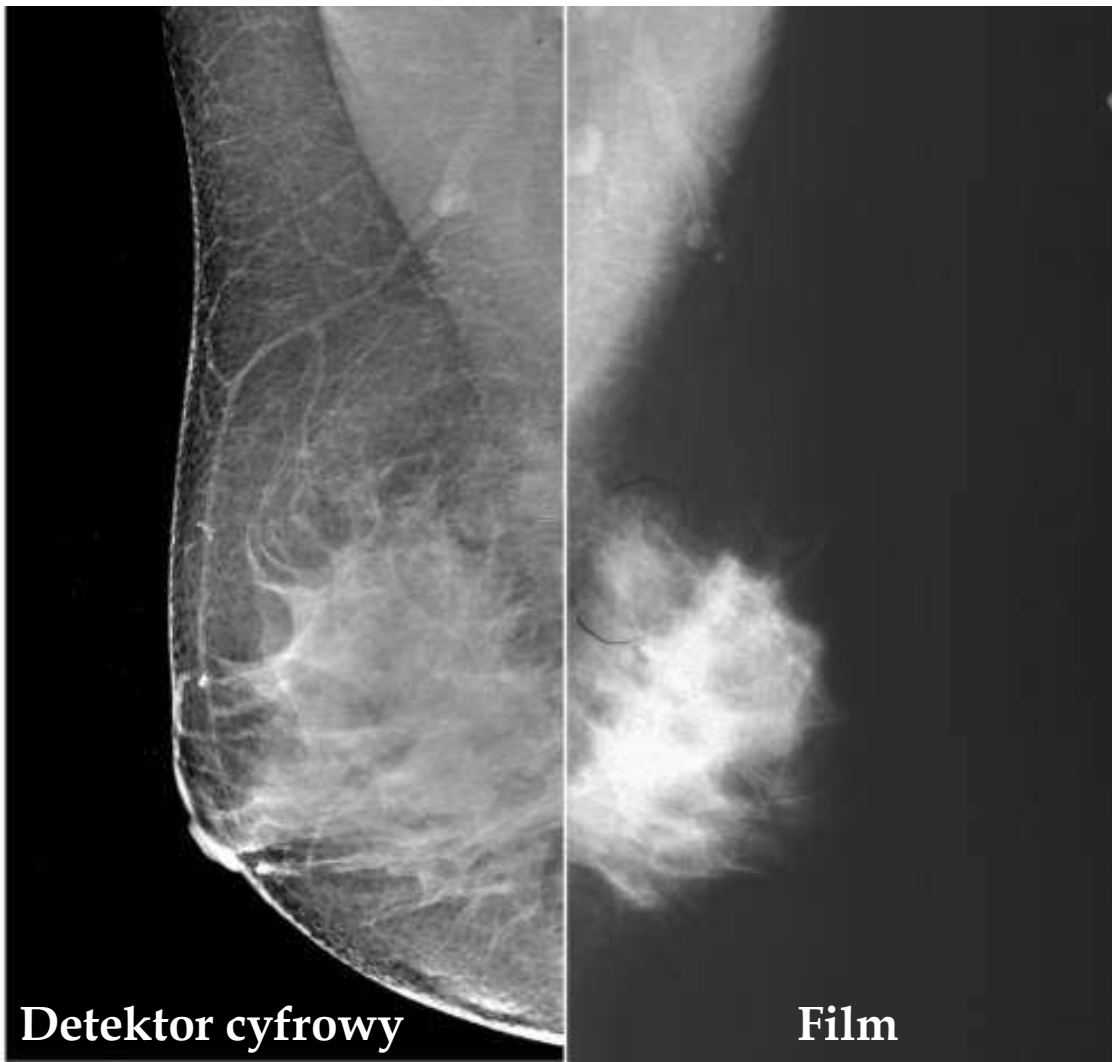
Ekstrakcja cech

Klasyfikacja

Wynik analizy

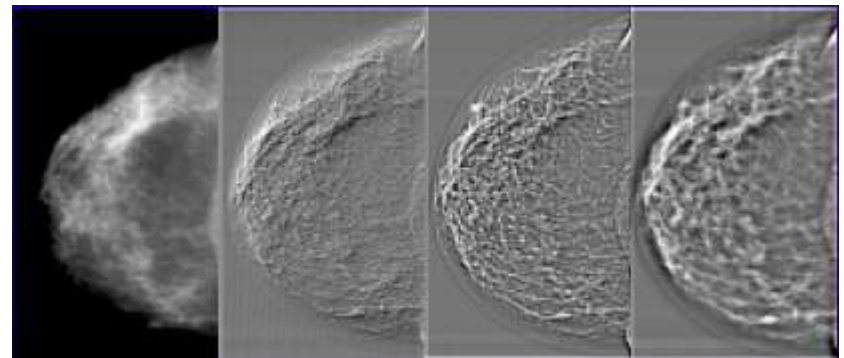
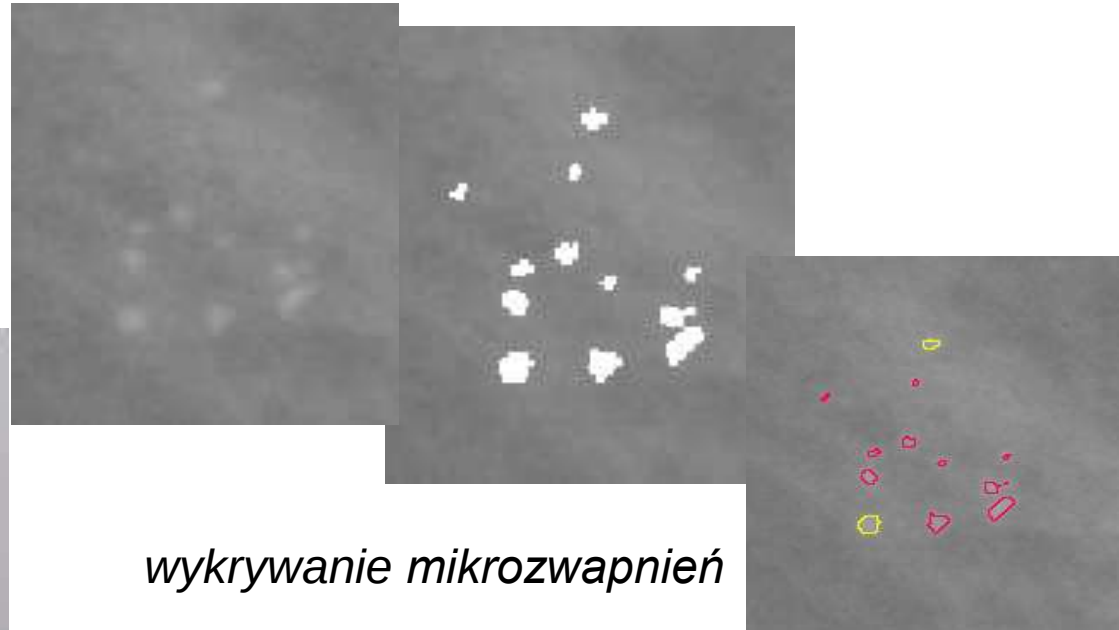
Komputerowe wspomaganie analizy mammogramów

Zalety cyfrowych technik obrazowania w mammografii

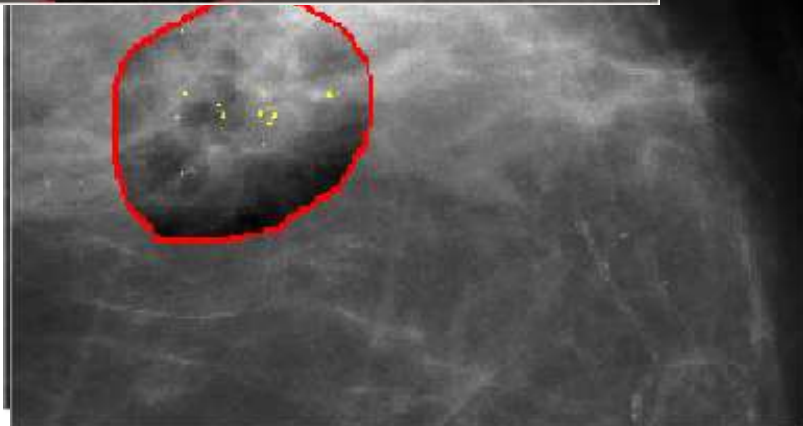
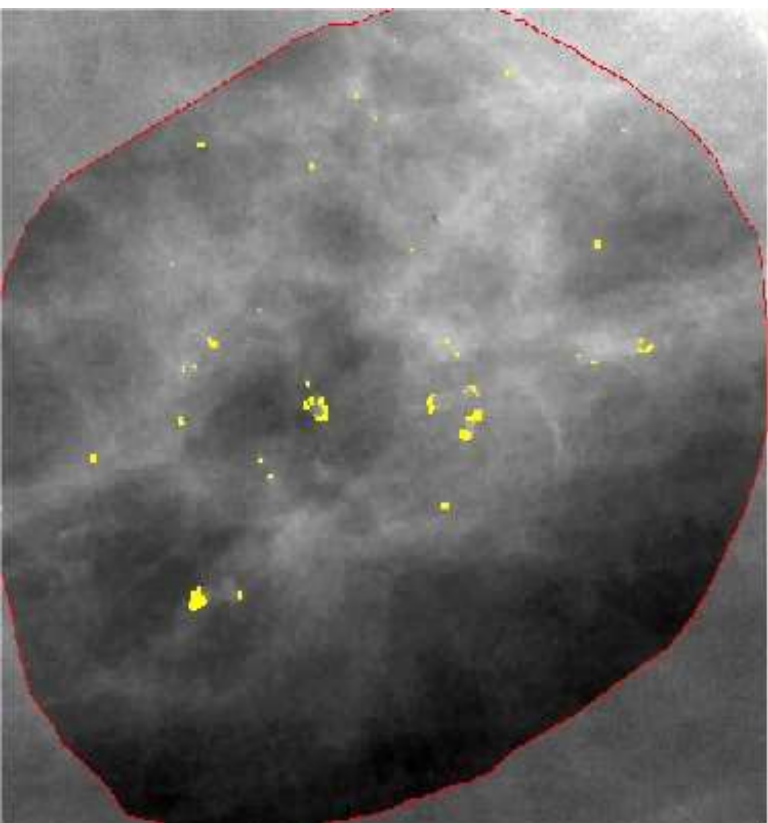


- Wcześniejsza detekcja raka (u kobiet poniżej 50)
- Mniej błędów w diagnozie
- Mniejsza dawka (od 20% do 80%)
- Znacząco krótszy czas badań (sekund vs kilkanaście minut)
- Zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych
- Nowe metody obrazowania – mammogramy 3D

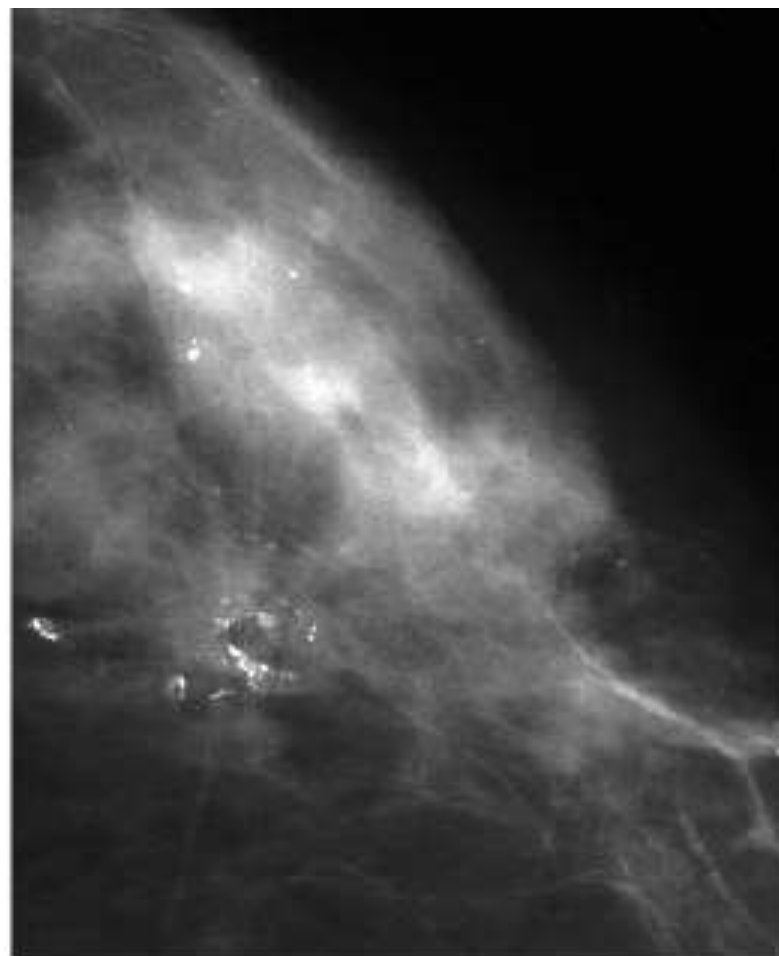
Jednak dopiero wspomaganie diagnozy z pomocą **sztucznej inteligencji** stanowi prawdziwy przełom w mammografii



Ważna i bardzo potrzebna jest sztuczna
inteligencja wykrywania zmian nowotworowych



Badanie z roku 1996, diagnoza: brak zmian



Badanie tej samej pacjentki z roku 1998,
stwierdzona obecność nowotworu

Obecnie najbardziej znanymi systemami CAD używanymi w mammografii są:

Image Checker

SecondLook

MammoReader

Mammex MammoCad

Ostatnio obserwuje się zwiększone zainteresowanie mammografią ze strony studentów inżynierii biomedycznej



Angiografia (rentgenografia naczyniowa)
Służy do oceny układu naczyniowego
z wykorzystaniem promieniowania
rentgenowskiego i środków
kontrastowych.

Wyróżnia się:

Angiografię klasyczną, która obejmuje:

arteriografię – badanie tętnic,

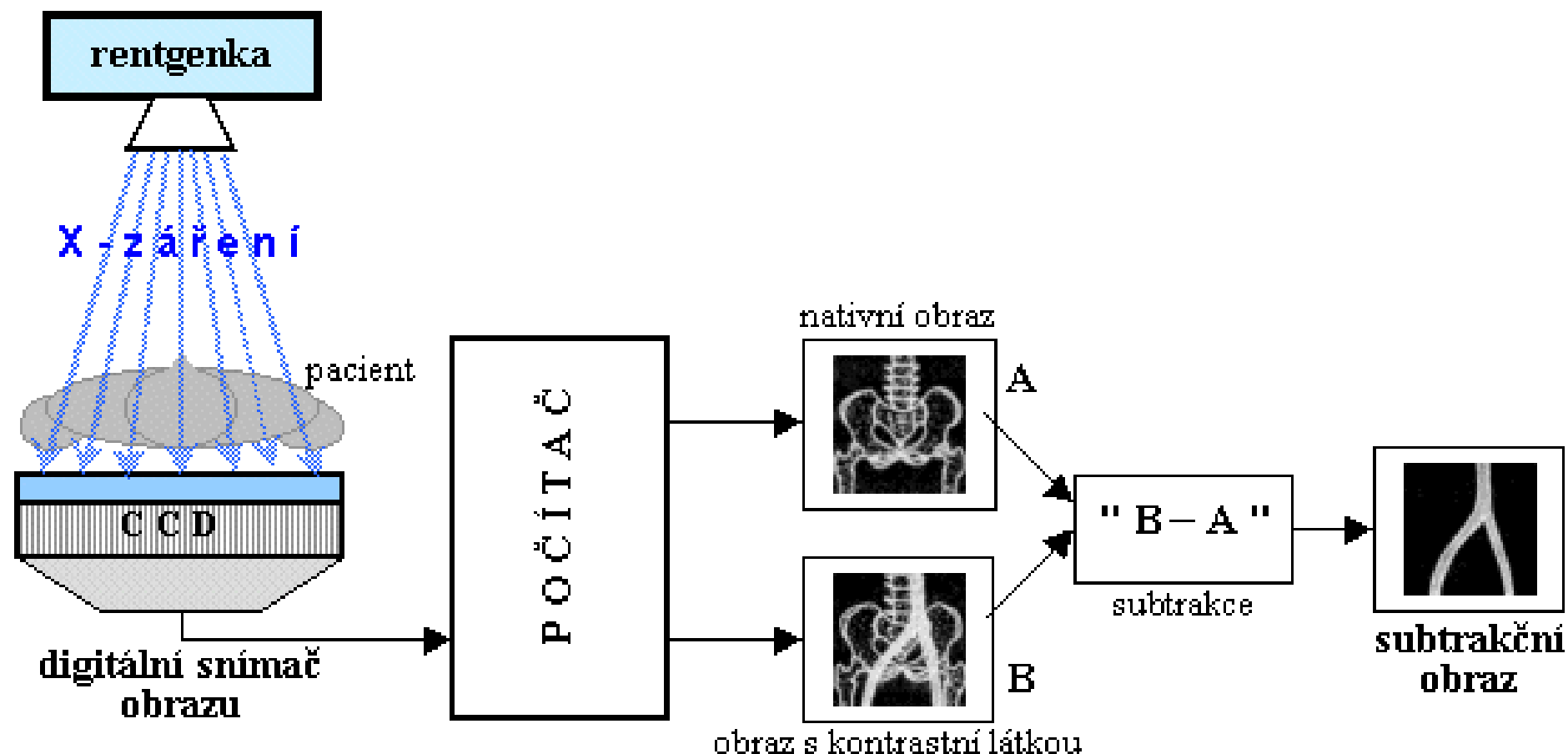
flebografię – badanie żył,

fistulografię - badanie przetok dializacyjnych.

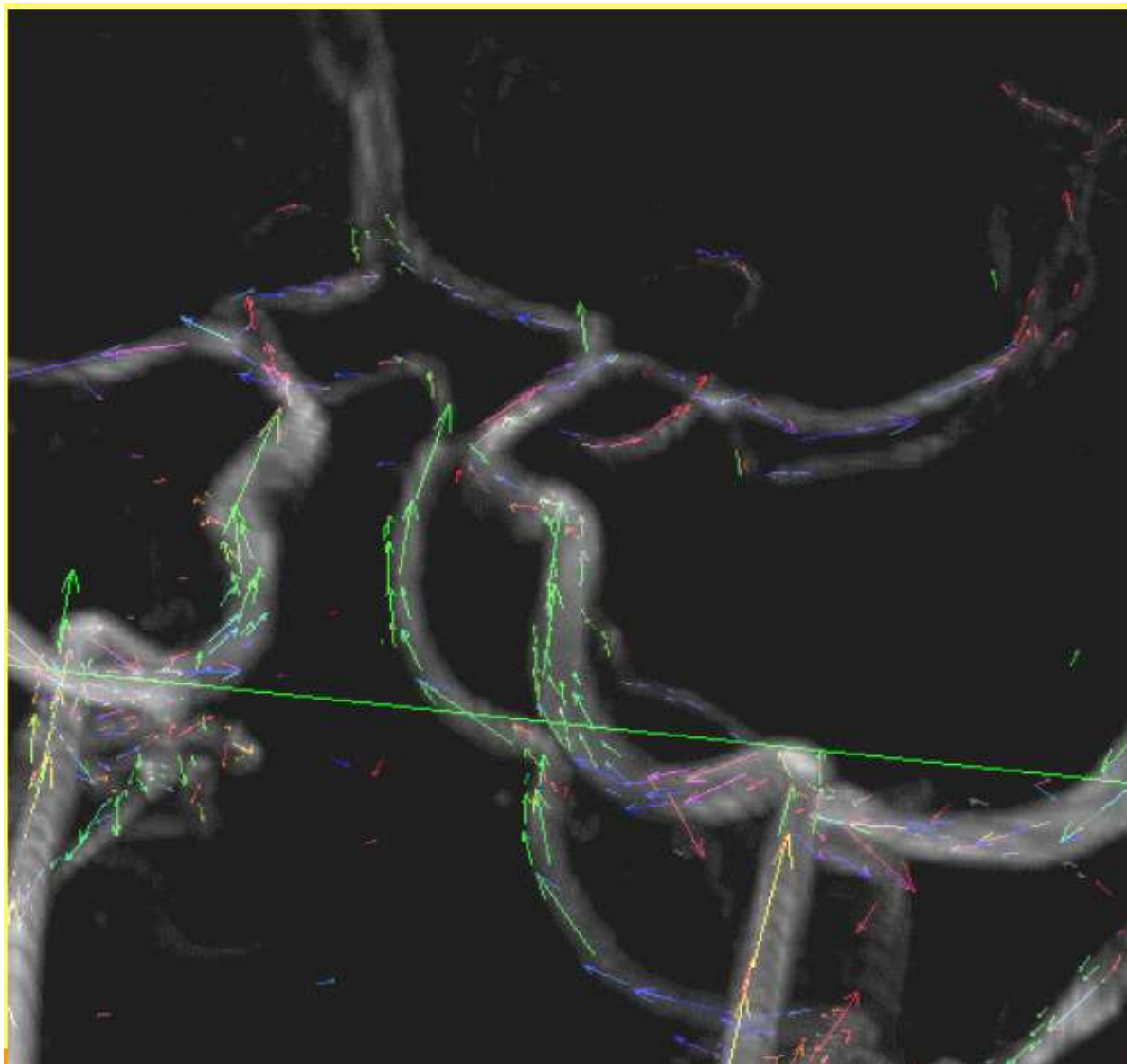
Cyfrową angiografię subtrakcyjną (DSA) –
umożliwiającą prezentację układu naczyniowego
poprzez eliminację tła, która pozwala na użycie
mniejszej ilości środka kontrastującego.

Angio-TK oparta jest na tak zwanej spiralnej tomografii
komputerowej.

Zasada angiografie substrakcyjnej



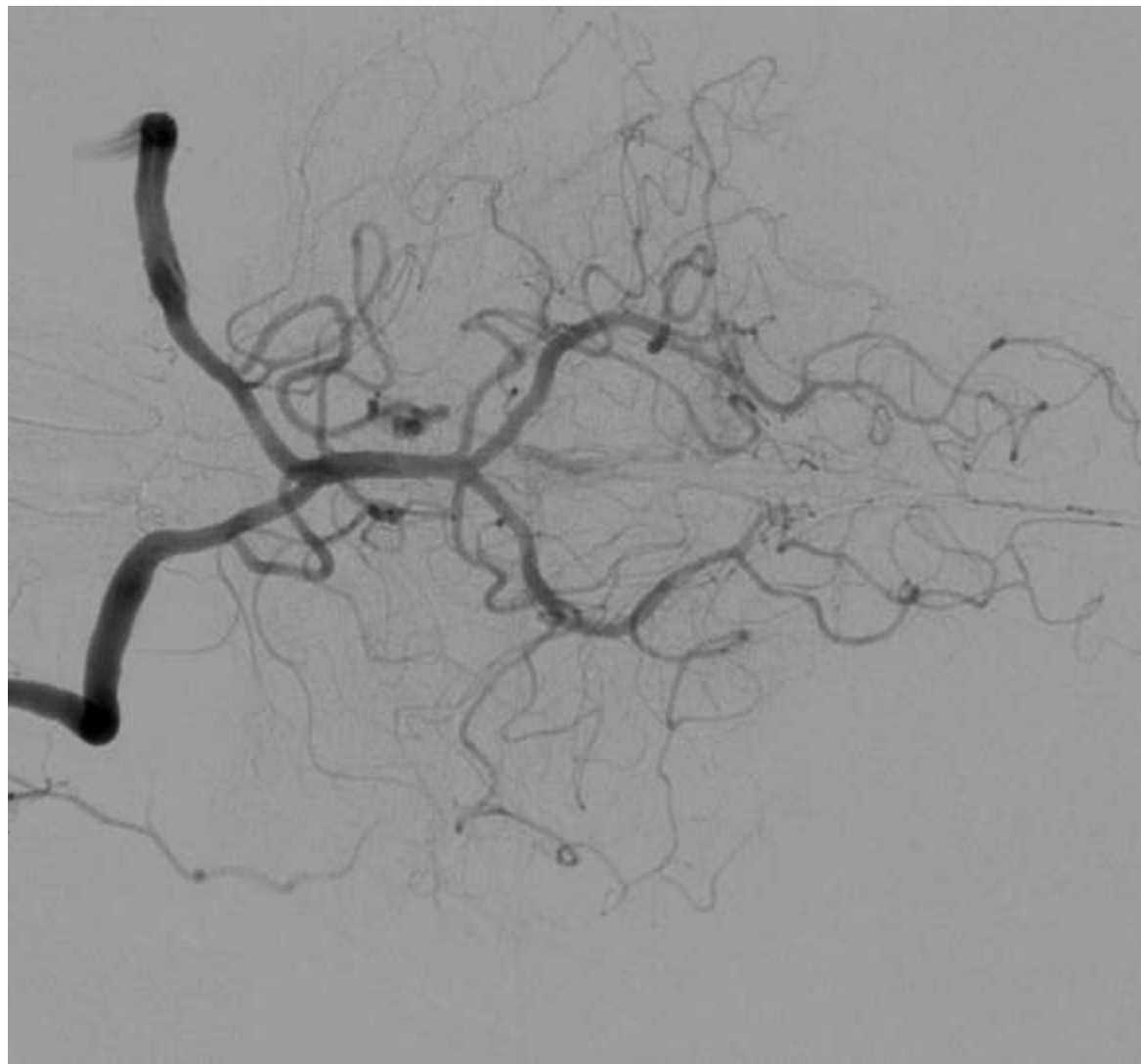
Przykład obrazu angiograficznego



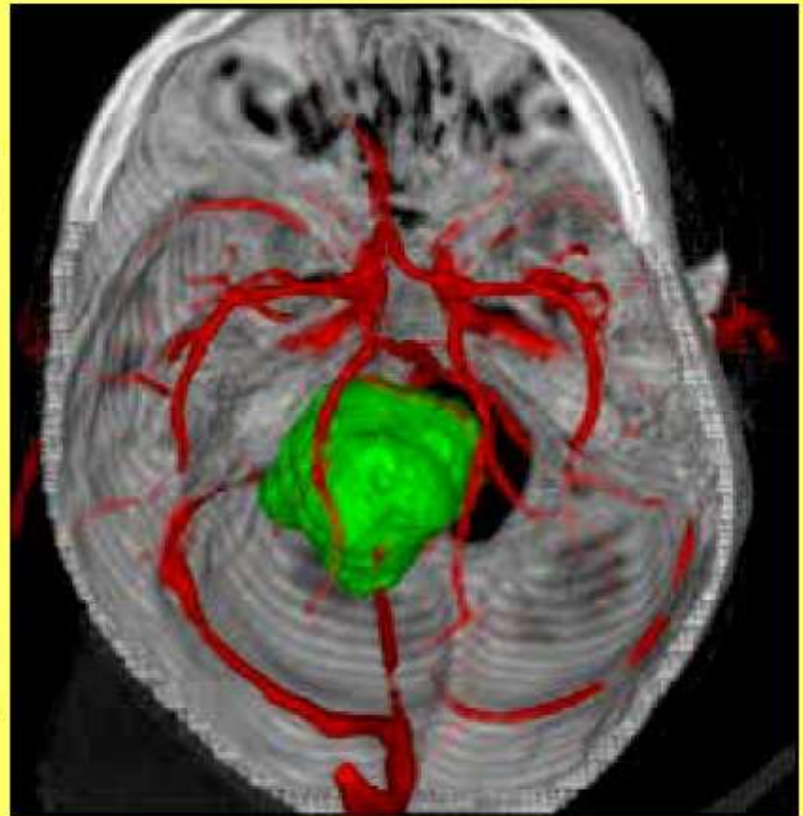
Obrazy z angiografii subtrakcyjnej



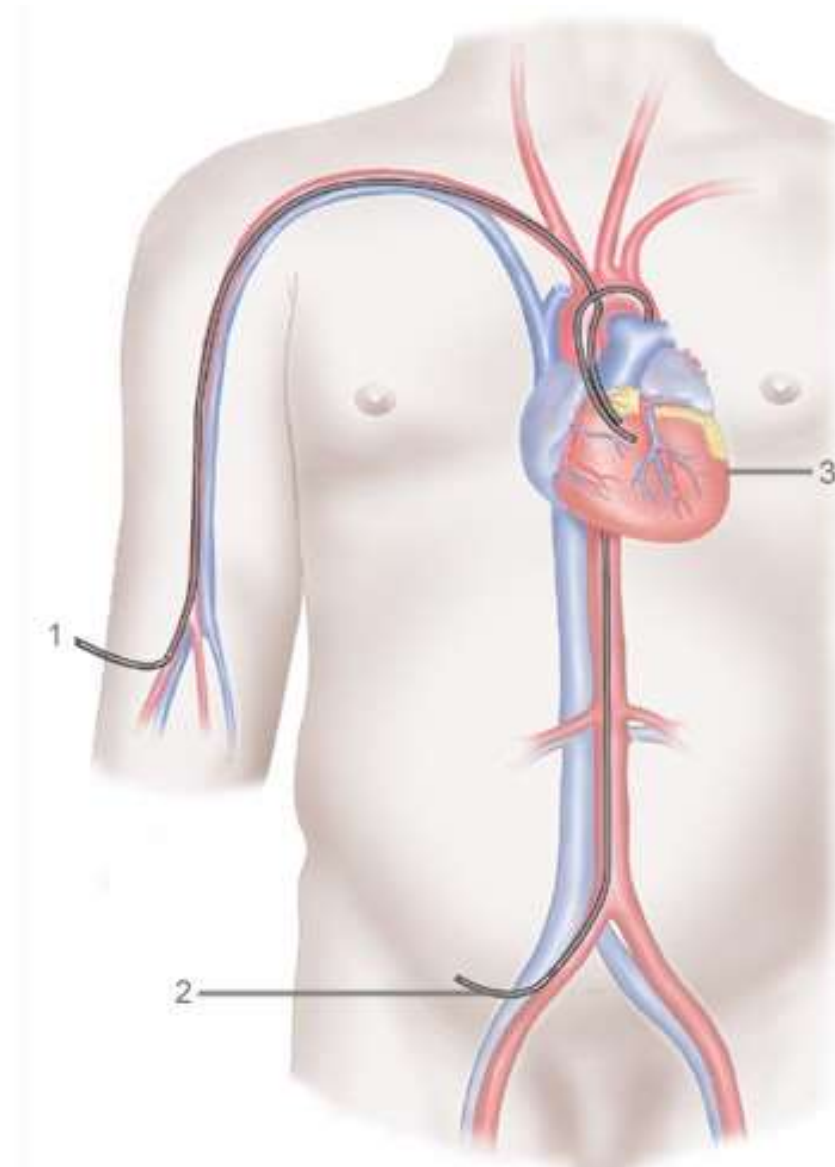
Obraz rentgenowski uzyskany metodą angiografii subtrakcyjnej.
Pokazano lewą tętnicę kręgową, która normalnie byłaby prawie niewidoczna, bo bardzo silnie uwidaczniane na zwykłych zdjęciach struktury kostne kręgosłupa i czaszki całkowicie by ją ukrywały.



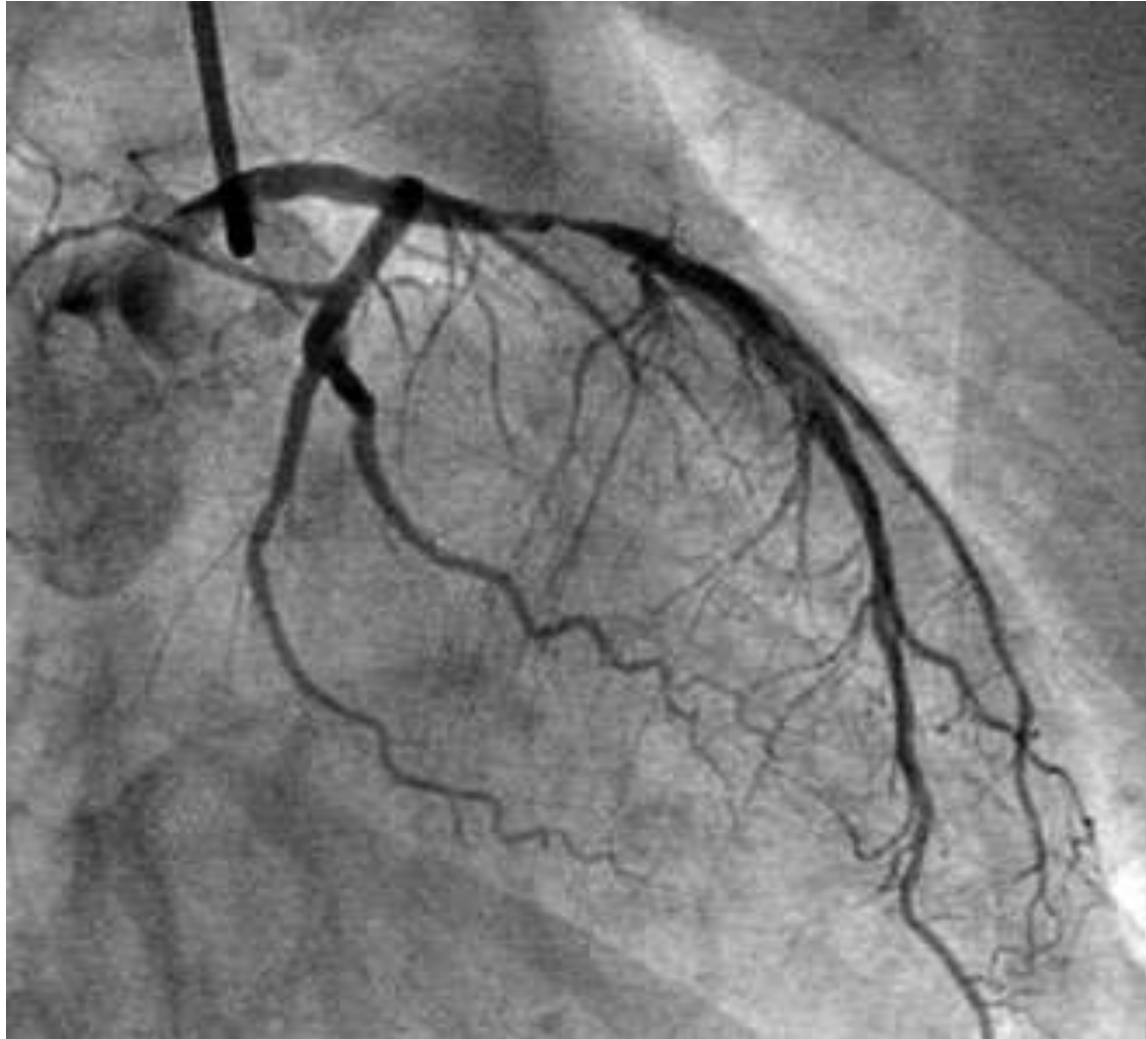
Wizualizacja naczyń krwionośnych mózgu



Sposób wprowadzania kontrastu do tętnic wieńcowych serca za pomocą cewnika.

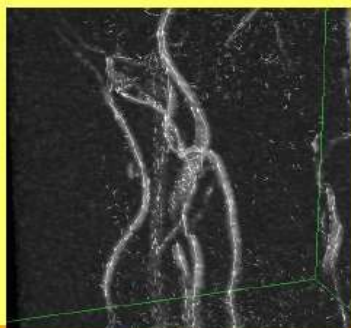


Przykładowy obraz angiograficzny - koronarografia



Ponieważ w angiografii obraz istnieje w formie numerycznej, można go oglądać z różnych punktów widzenia

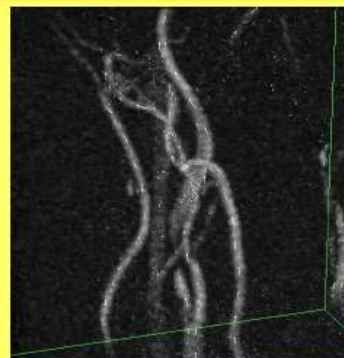
Przykład: angiografia



Diagnostyka obrazowa

19

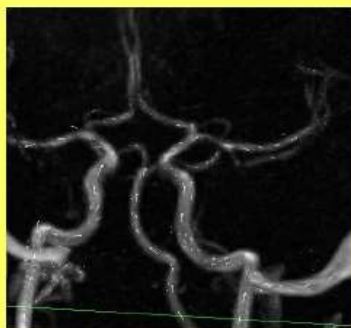
Wizualizacja dynamiczna



Diagnostyka obrazowa

20

Wizualizacja dynamiczna



Diagnostyka obrazowa

21

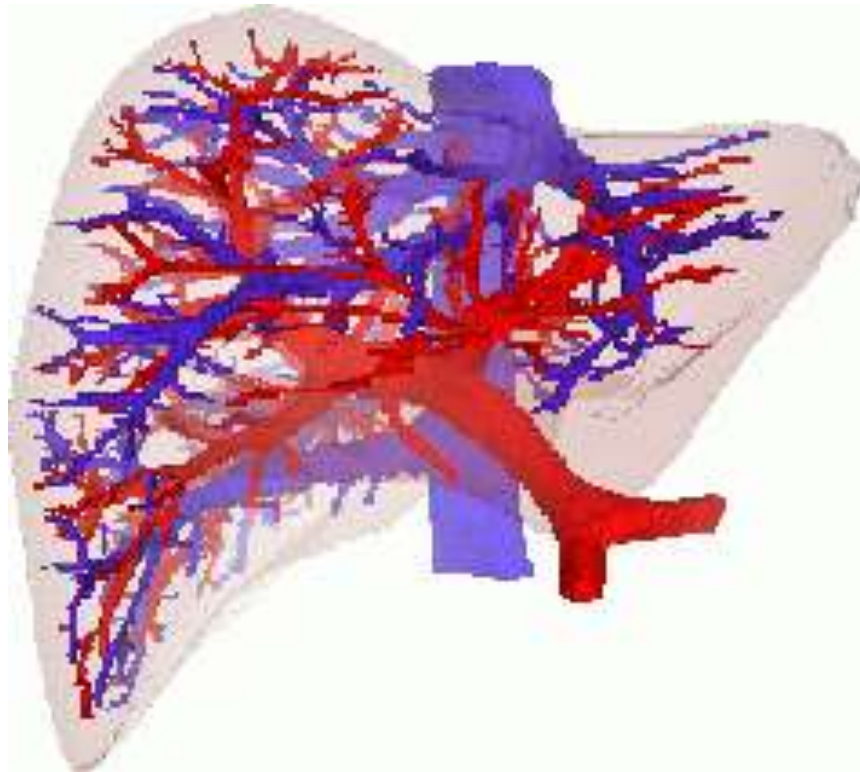
Typowy aparat



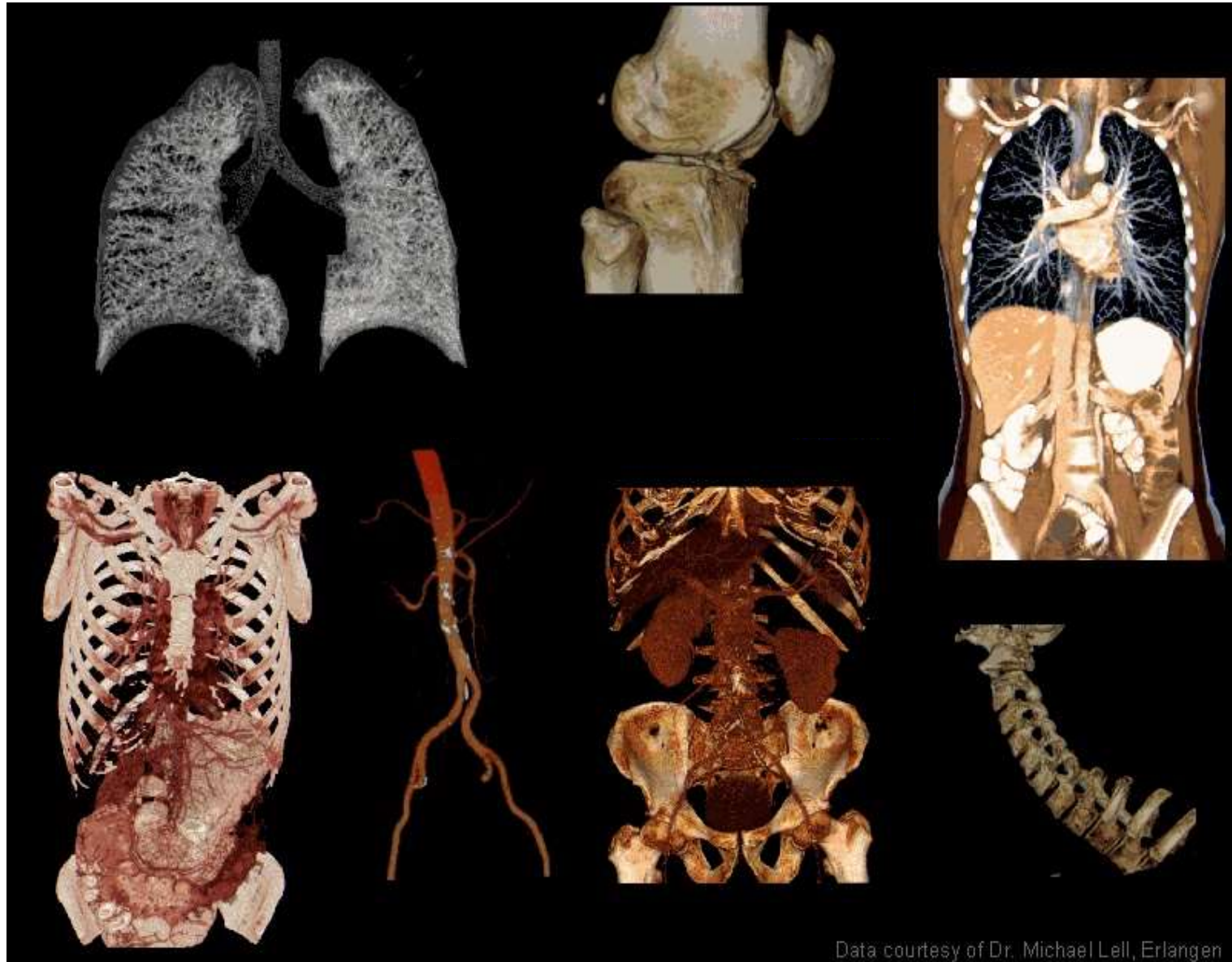
Diagnostyka obrazowa

22

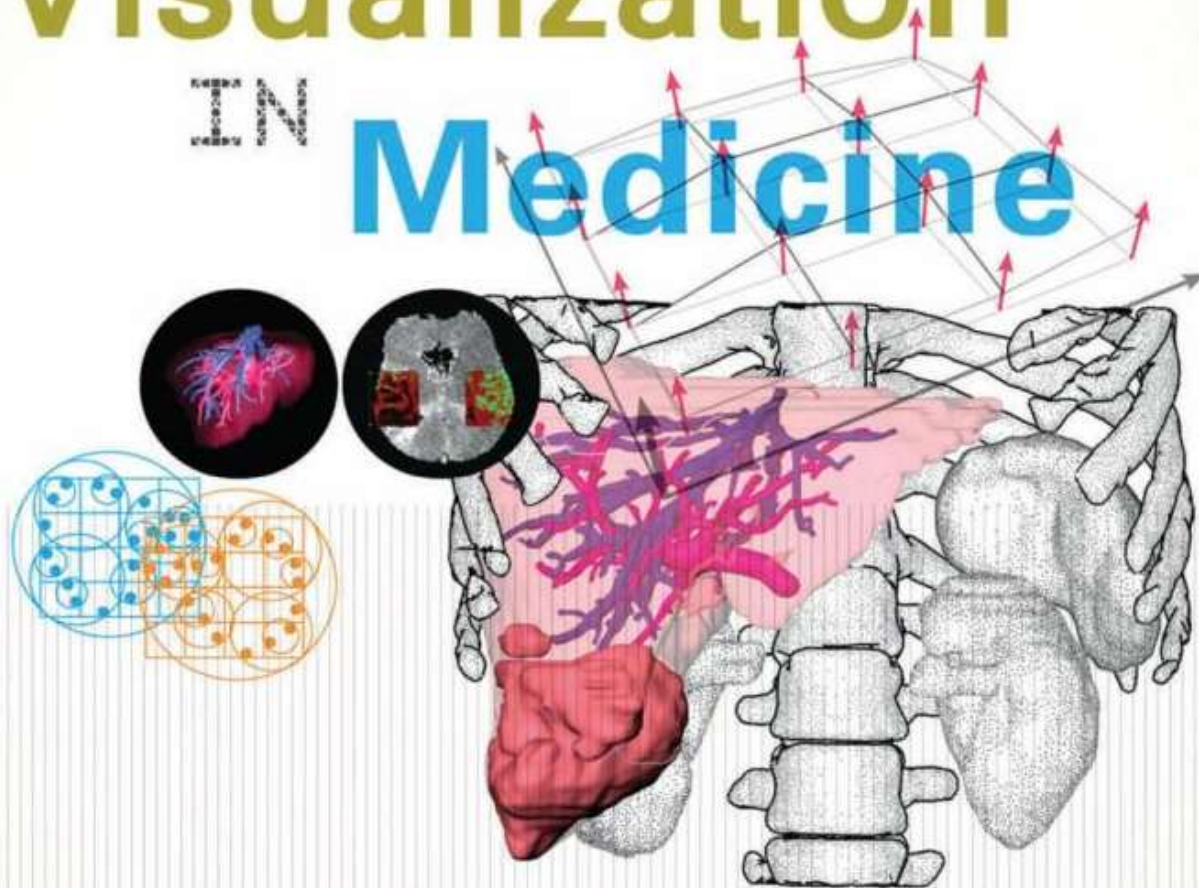
Wydobyty metodą angiografii subtrakcyjnej obraz naczyń może być dodatkowo retuszowany za pomocą metod grafiki komputerowej



Naczynia krwionośne i inne interesujące twory ujawnia się często na rentgenogramach drogą cyfrowej **generacji** obrazu z wykorzystaniem elementów pobieranych z wejściowego zobrazowania



Visualization IN Medicine

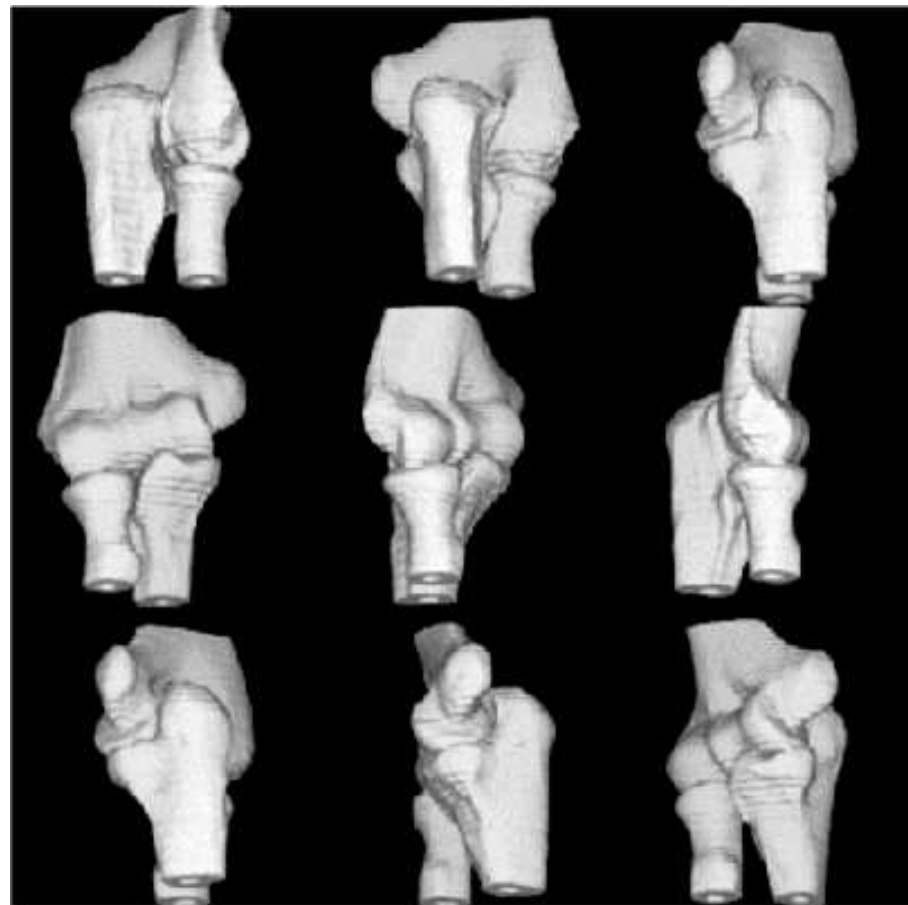
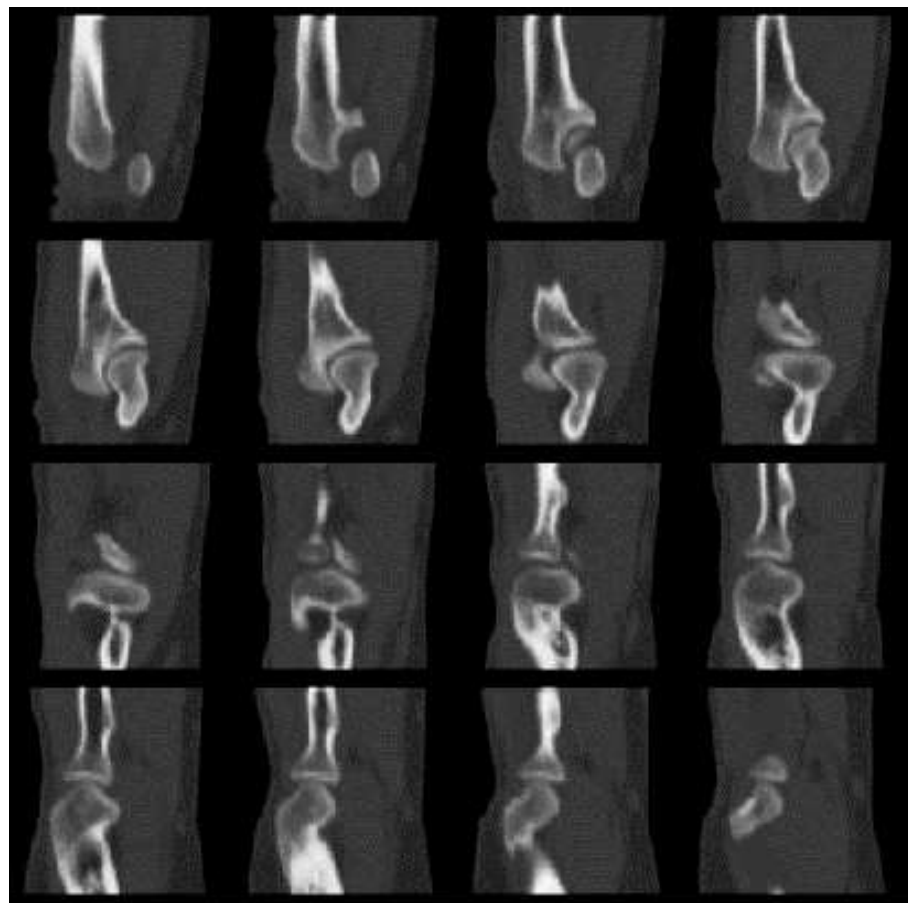


Przykładowy
podręcznik

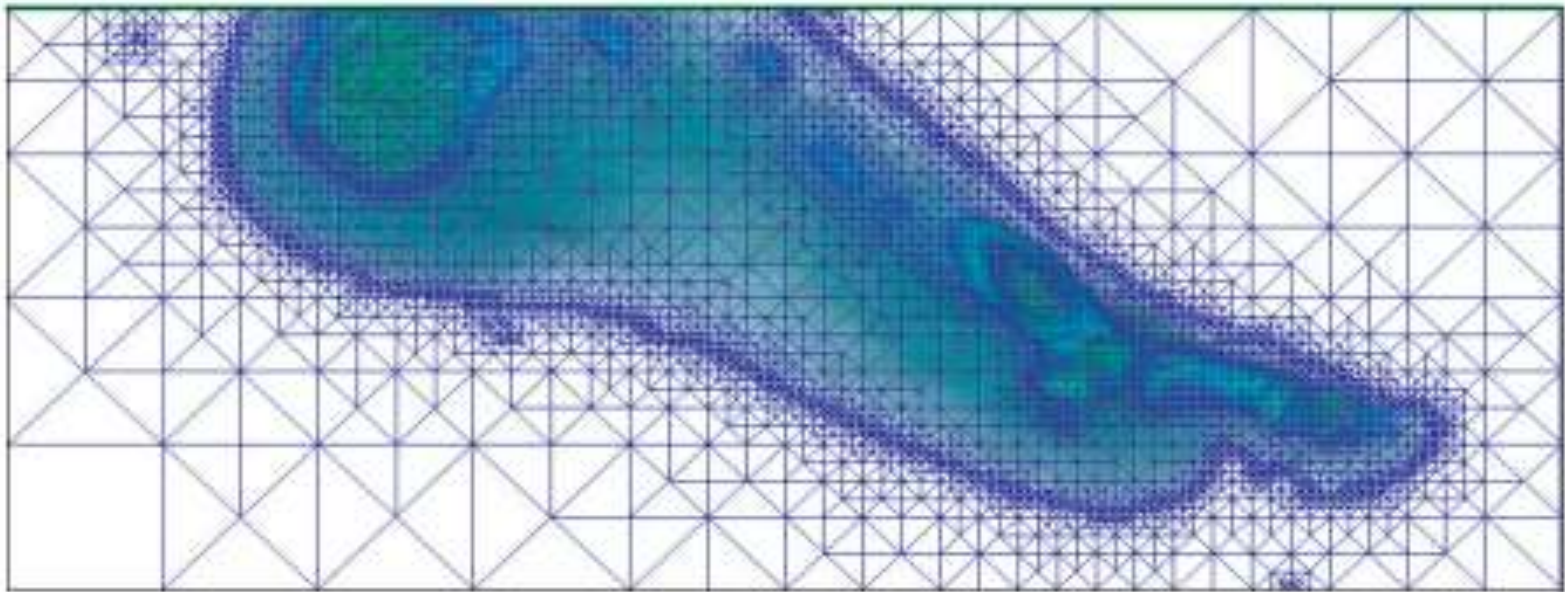
THEORY, ALGORITHMS, AND APPLICATIONS

The Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics

Jest to swoiste połączenie komputerowej
analizy obrazu i grafiki komputerowej



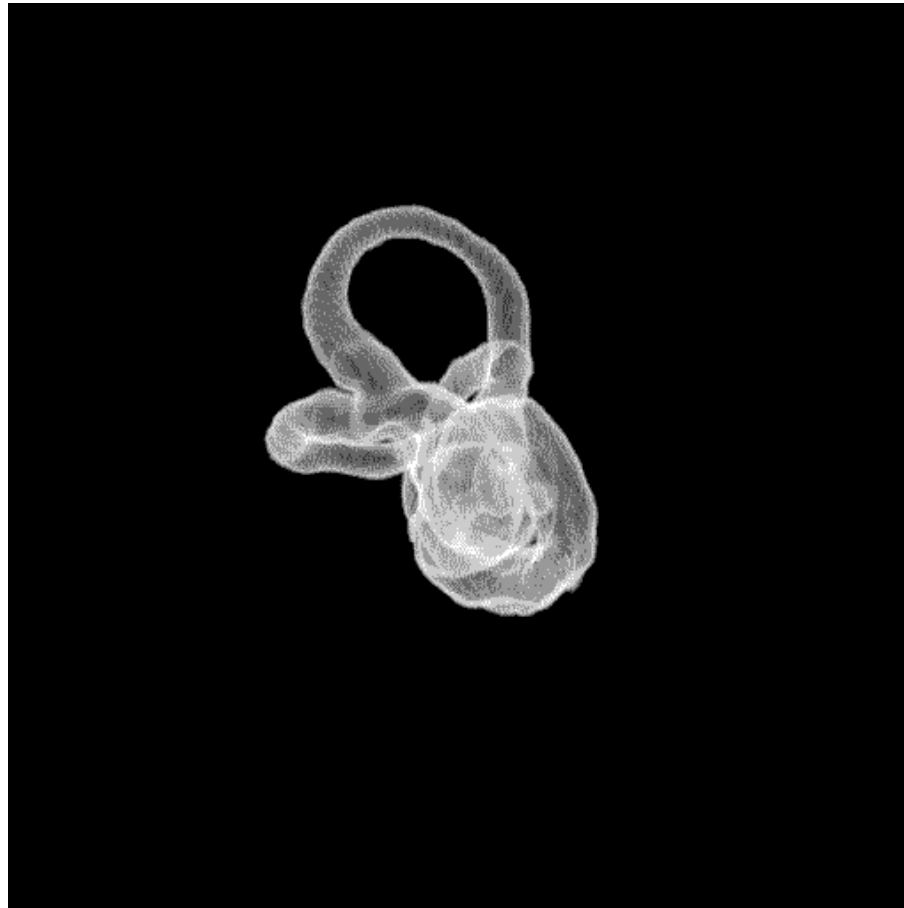
Przy renderingu obrazów RTG stosuje się siatkę o zmiennej gęstości, zależnie od stopnia ważności poszczególnych fragmentów obrazu



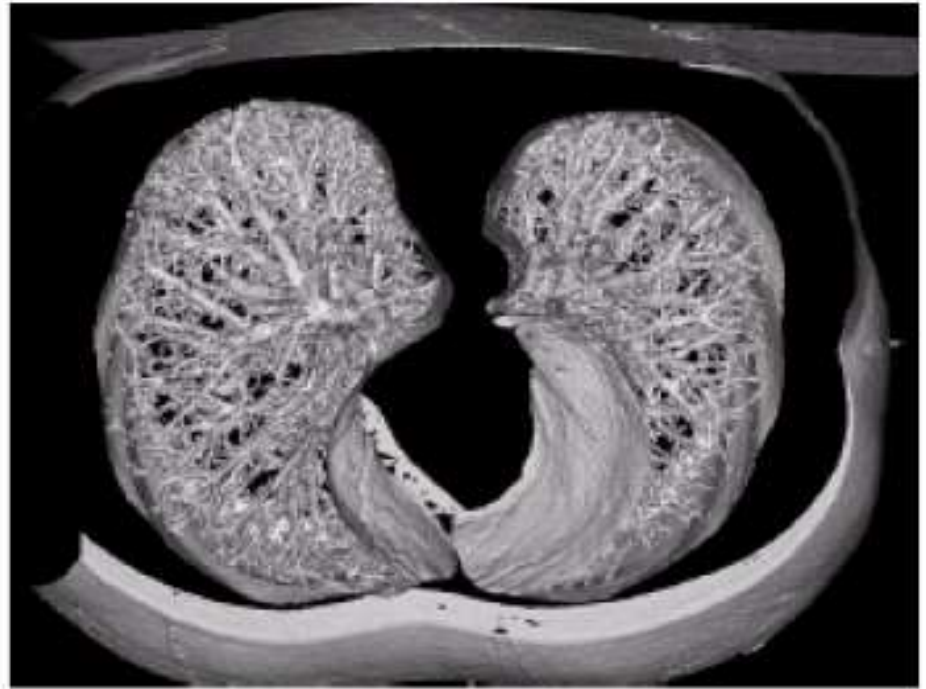
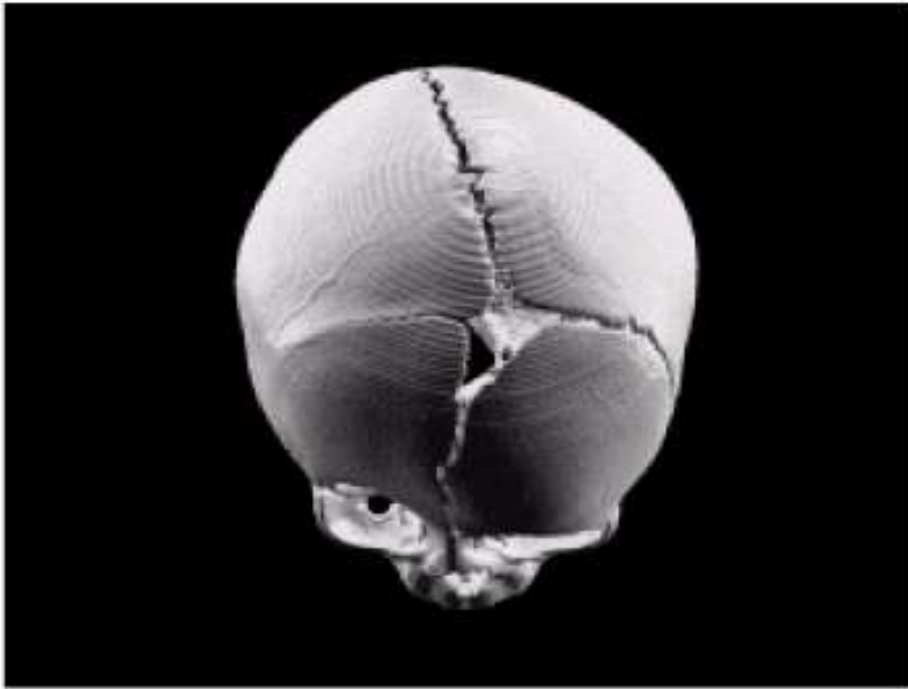
Po lewej obraz rentgenowski w formie zarejestrowanej przez aparat RTG, po prawej wyniki renderingu tego obrazu metodą „świecących cząsteczek” (*illuminant particle model*)

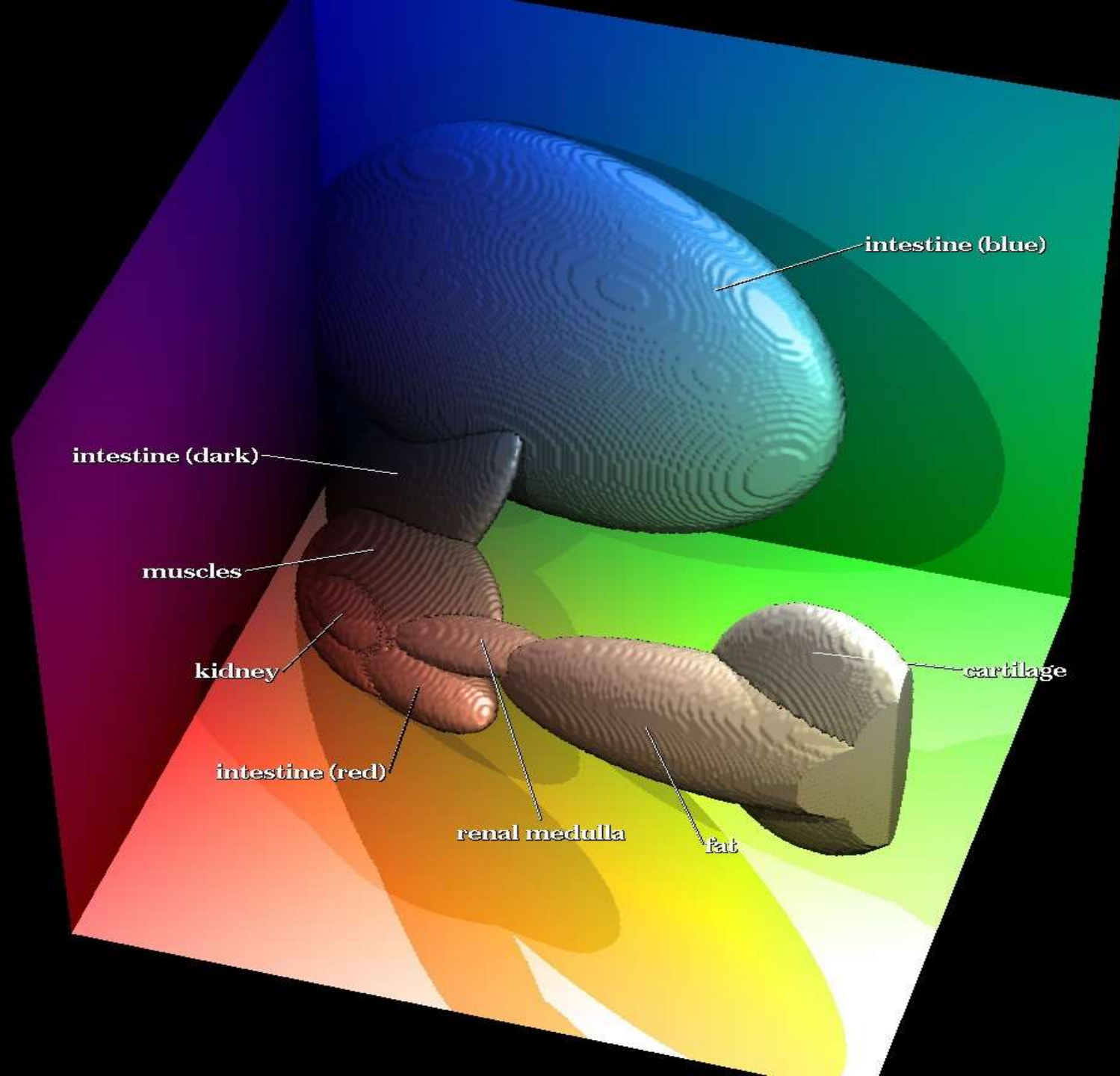


Tą drogą można między innymi rekonstruować obrazy przestrzenne bardzo subtelnych struktur (tu narząd przedsionkowo – ślimakowy)



Kolejne przykłady





intestine (blue)

intestine (dark)

muscles

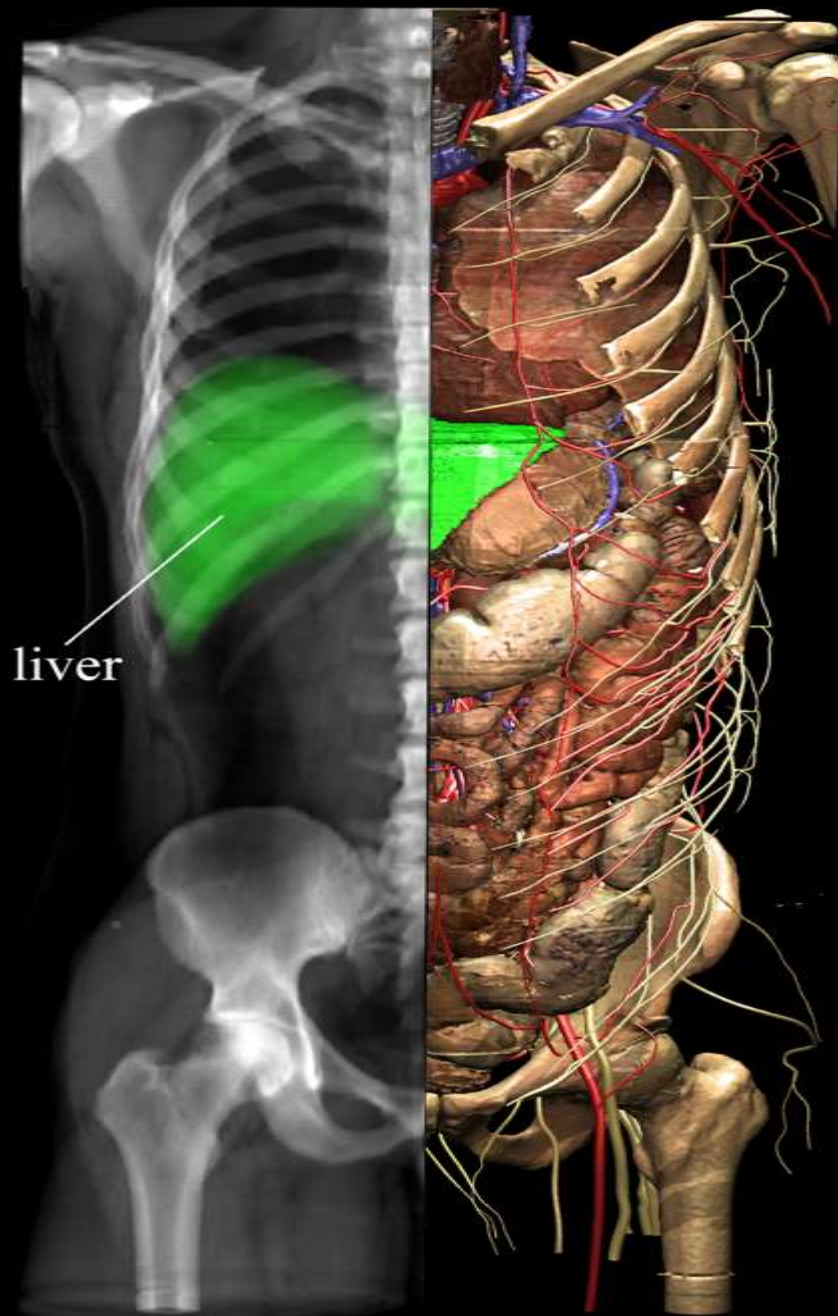
kidney

intestine (red)

renal medulla

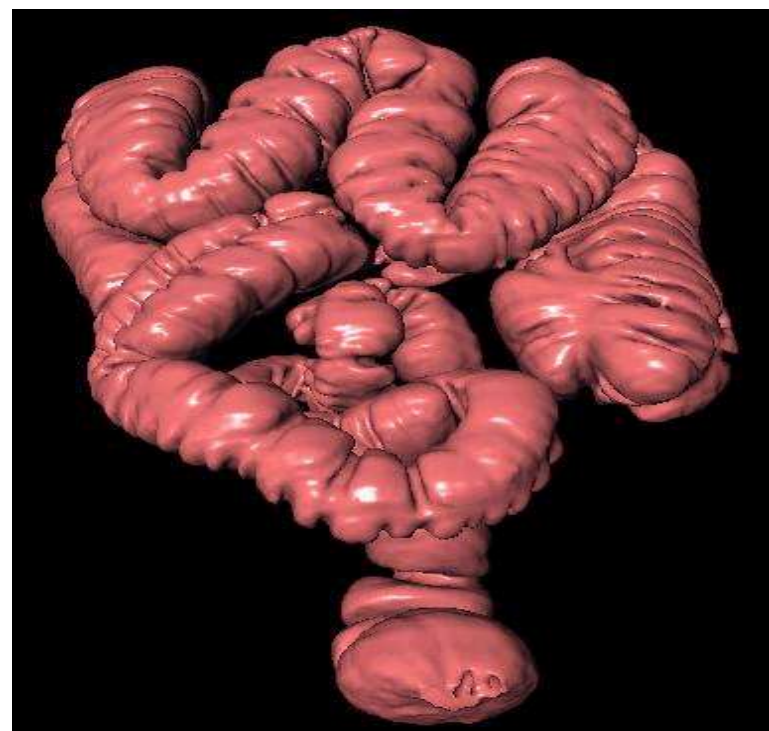
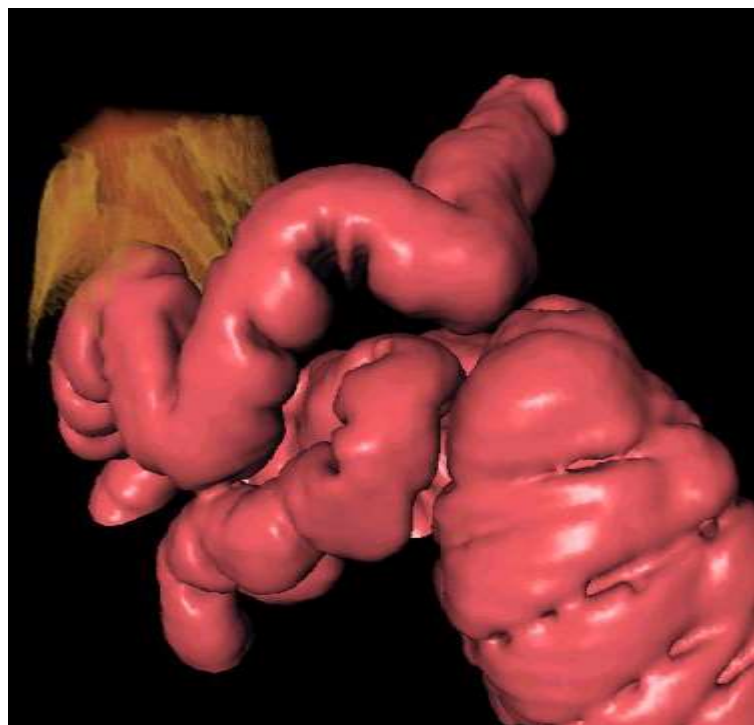
fat

cartilage

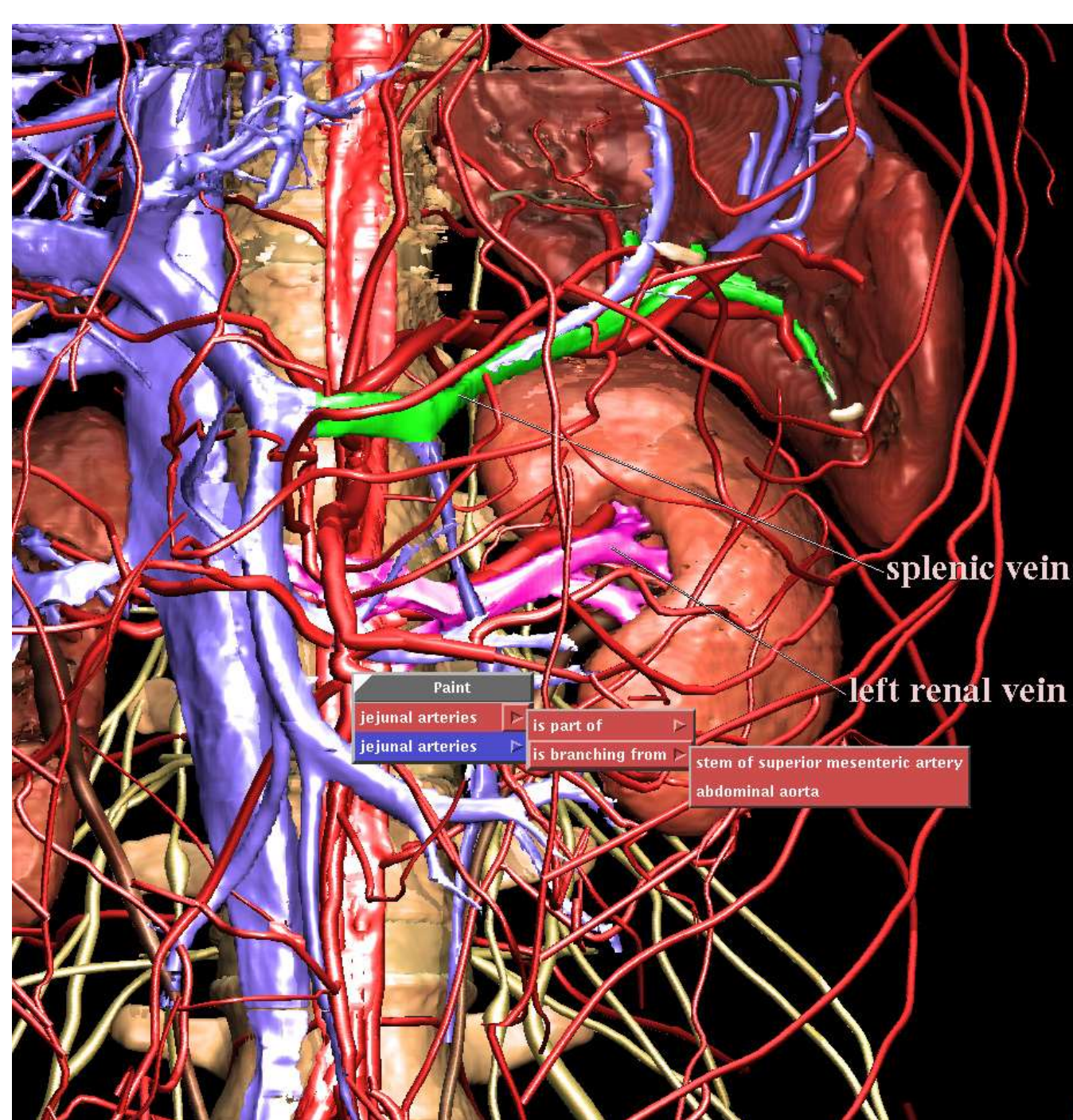


W efekcie
ekspresja obrazu
jest znacznie
większa
i dostrzegalność
jego szczegółów
również

Obrazy uzyskiwane tą drogą cechuje duża realistycznością



Widok końcowych części cewy jelitowej: okrężnicy, esicy oraz odbytnicy



Szczególnie
cenna jest
przy tym
możliwość
wizualizacji
naczyń
krwionośnych

Planowanie dostępu operacyjnego z użyciem modeli 3D (stereowizja)

