



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

Michał Strzelecki

Instytut Elektroniki

Obrazowanie medyczne

Wprowadzenie

Inżynieria biomedyczna, VI sem., EMiT, 2024



Obrazowanie w diagnostyce medycznej

- Czym się zajmuje diagnostyka medyczna?
- Co to jest obraz?
- Historia obrazowania medycznego
- Metody i urządzenia obrazujące
 - rentgenografia
 - ultrasonografia
 - tomografia CT
 - tomografia MRI
 - urządzenia medycyny nuklearnej
 - endoskopia
- Przykłady metod przetwarzania obrazów stosowanych w diagnostyce
- Znaczenie jakości obrazu medycznego





Efekty kształcenia

- prezentacje
- pisemne zaliczenie

Po zaliczeniu przedmiotu student powinien:

1. umieć wyjaśnić podstawowe zjawiska fizyczne występujące w wybranych metodach obrazowania medycznego,
2. znać zasady działania oraz zastosowania kliniczne wybranych metod obrazowania medycznego,
3. rozumieć zalety i wady różnych technik obrazowania oraz być świadomym zagrożeń dla pacjenta wynikających ze stosowania tych technik,
4. rozwiązać prosty problem inżynierski z zakresu wyświetlania, przetwarzania i analizy obrazów biomedycznych.

- dr Jakub Jurek





Literatura

- Notatki z wykładów (pliki .pdf files)
- R. Tadeusiewicz, J. Śmietański, Pozyskiwanie obrazów medycznych oraz ich przetwarzanie, analiza, automatyczne rozpoznawanie i diagnostyczna interpretacja, Wydawnictwo Studenckiego Towarzystwa Naukowego, Kraków 2011
- W. R. Hendee, E.R. Ritenour, Medical Imaging Physics, Wiley-Liss, 2002 (EN)
- C. Guy, D. ffytche, An Introduction to The Principles of Medical Imaging, Imperial College Press, 2008 (EN)
- niezmiernie liczba stron internetowych, wykładów, materiałów w serwisie Youtube poświęconych obrazowaniu medycznemu

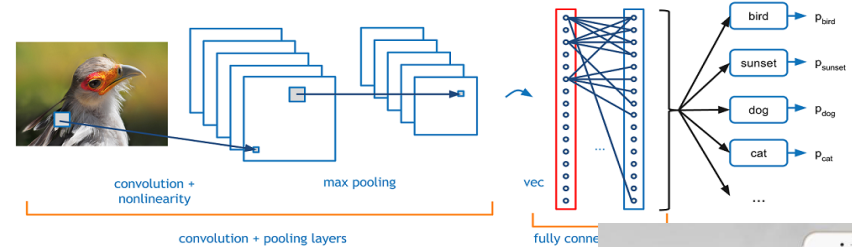
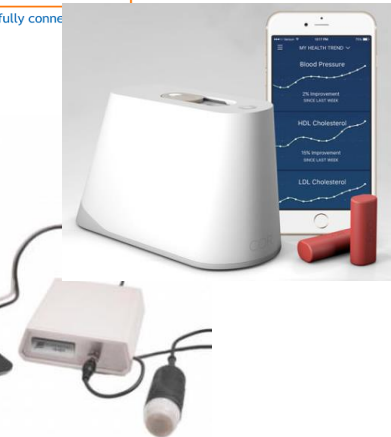
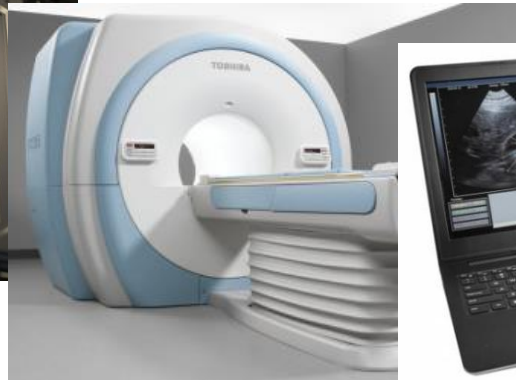
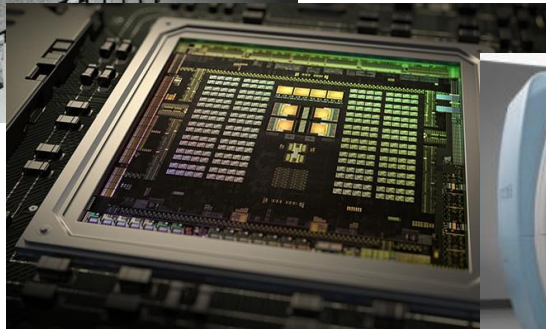
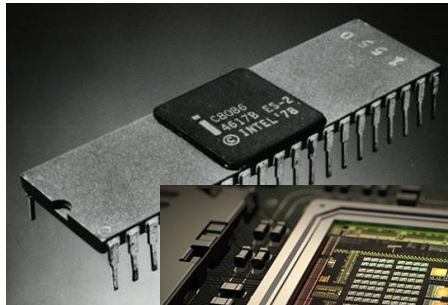


Rewolucja w diagnostyce medycznej

Obrazowanie medyczne, Inżynieria biomedyczna



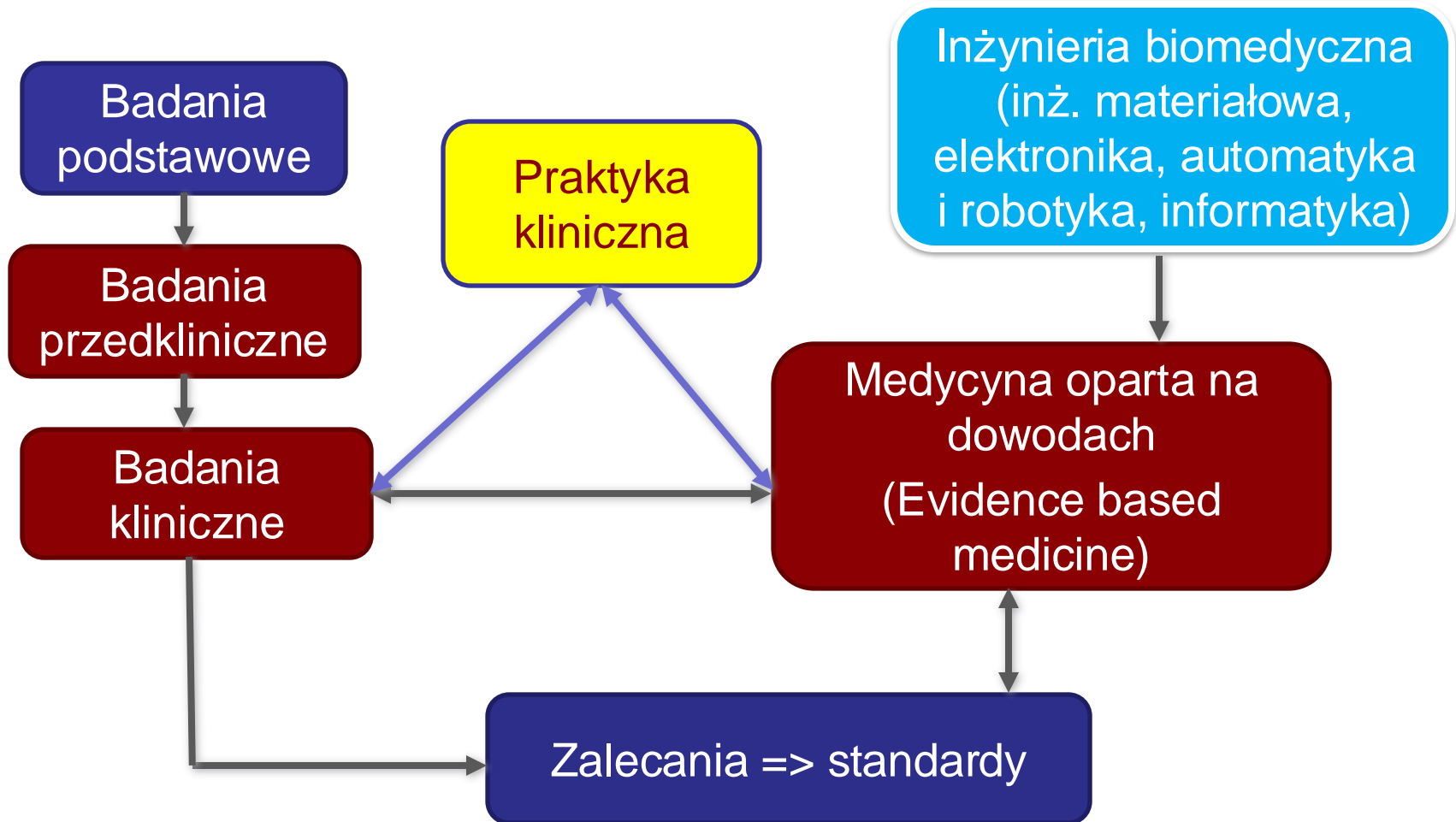
- Postęp w mikroelektronice (układy scalone, mikroprocesory) i informatyce (algorytmy analizy danych)
- Rozwój technologii przetwarzania sygnałów biomedycznych oraz zobrazowania tkanek
- Przejście od medycyny jakościowej do ilościowej
- „evidence based medicine” (medycyna oparta na faktach)
- Rozwój systemów telemedycznych





POWAB

praktyka medyczna oparta na wiarygodnych publikacjach





Przykładowe platformy telemedyczne dostępne w Polsce



Urządzenia Comarch Healthcare w Centrum Kardiologii Monzino

Comarch PMA (Personal Medical Assistant)

Elektrokardiograf telemedyczny rejestrujący krzywe EKG i ruchy oddechowe pacjenta, monitorujący czynność serca przez całą dobę.

Opaska telemedyczna SiDLY Care 2

SiDLY Care 2 posiada deklarację zgodności CE.

Lista funkcji:

- Detektor upadków
- Przycisk SOS
- Pomiar pulsu
- Lokalizacja GPS
- Asystent głosowy
- Dwustronna komunikacja głosowa
- Krokomierz



Wstępne badania (np. ciśnienia krwi, masy ciała) i ankieta samopoczucia pacjenta

Zezwolenie na rozpoczęcie telerehabilitacji

Badanie EKG

Ćwicz

Odpoczywaj

EKG

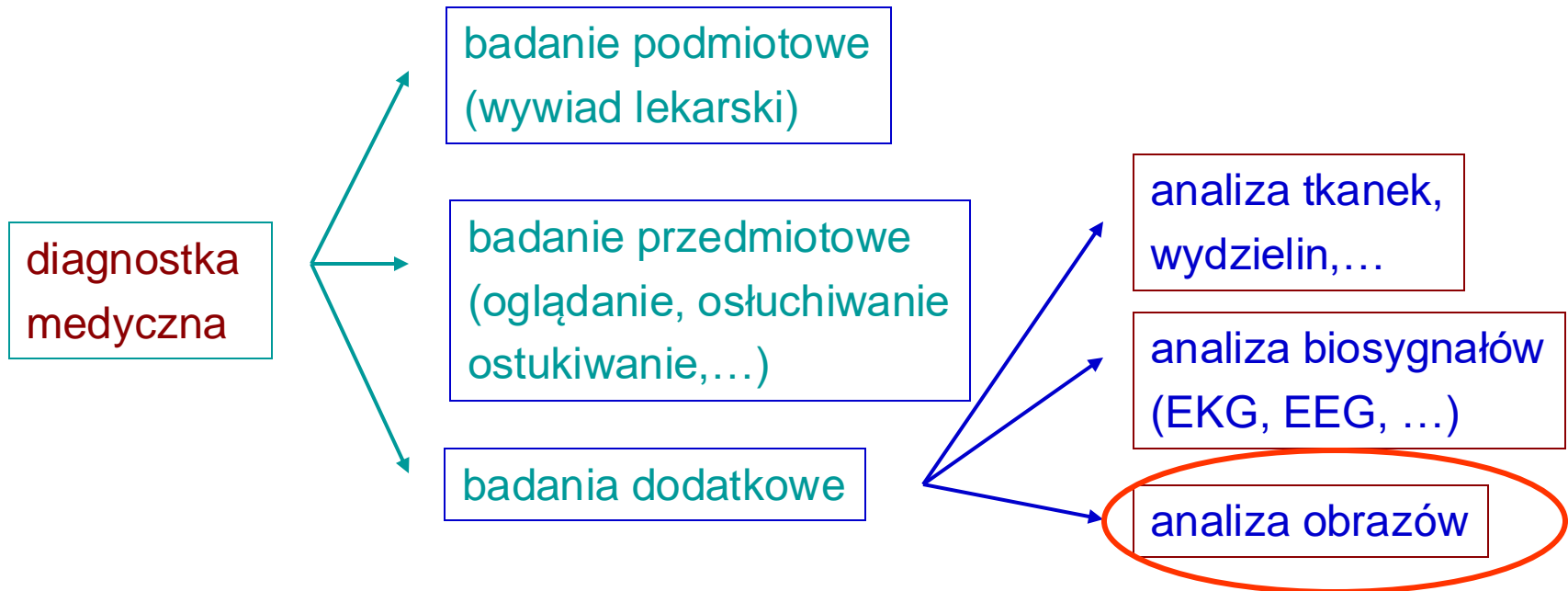
Cała procedura odbywa się pod kontrolą Centrum Monitoringu





Diagnostyka medyczna

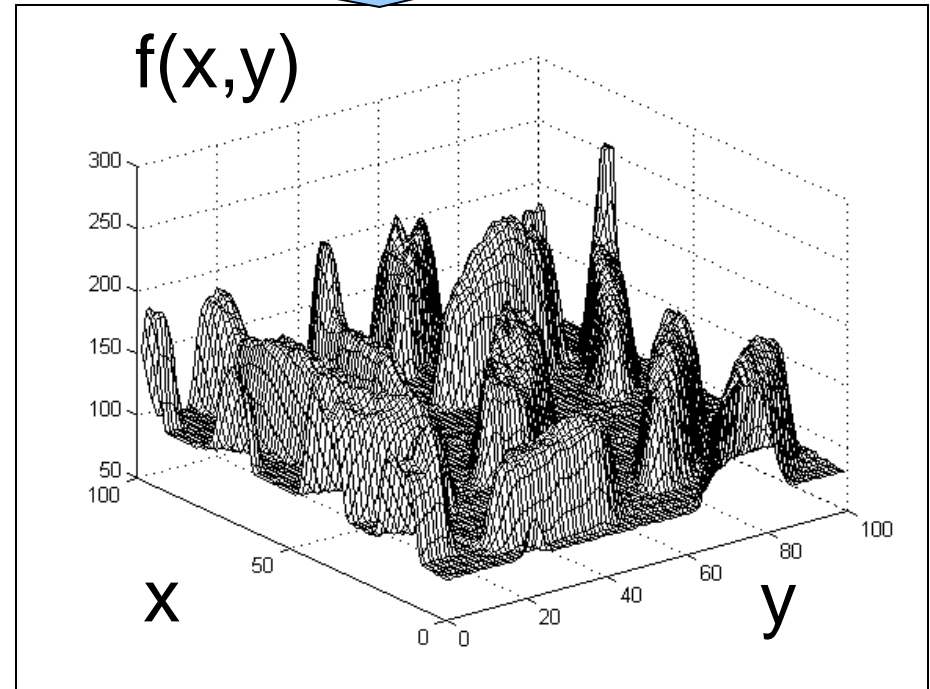
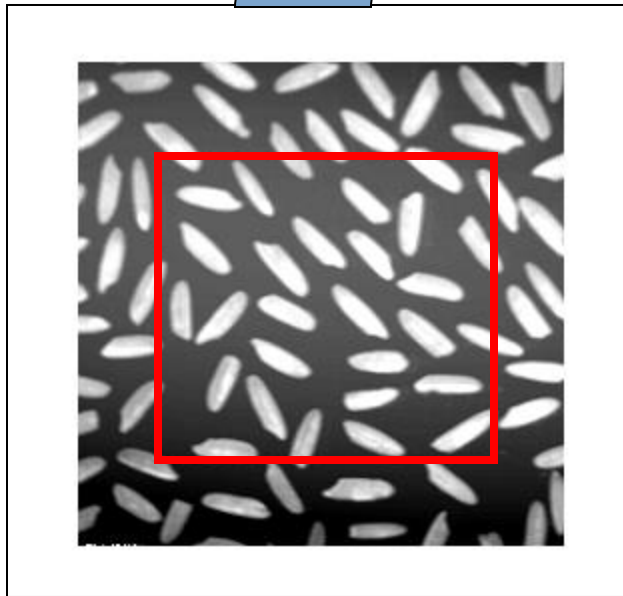
- nauka o sposobach rozpoznawania chorób



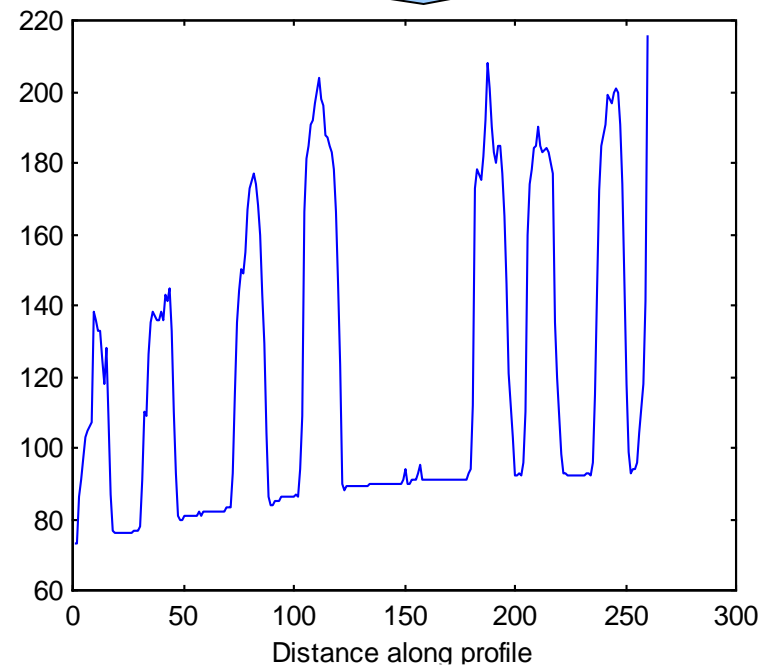
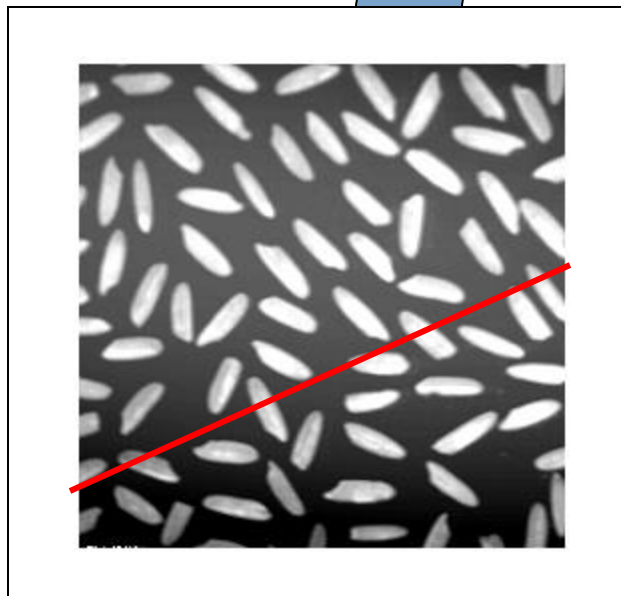
diagnoza, rozpoznanie kliniczne – identyfikacja choroby lub zespołu chorobowego, na które cierpi pacjent, wniosek wynikający z dokonanej przez lekarza krytycznej oceny szeregu objawów

[pl.wikipedia.org/wiki/Diagnostyka_(medycyna)]

Obraz monochromatyczny – funkcja dwuwymiarowa

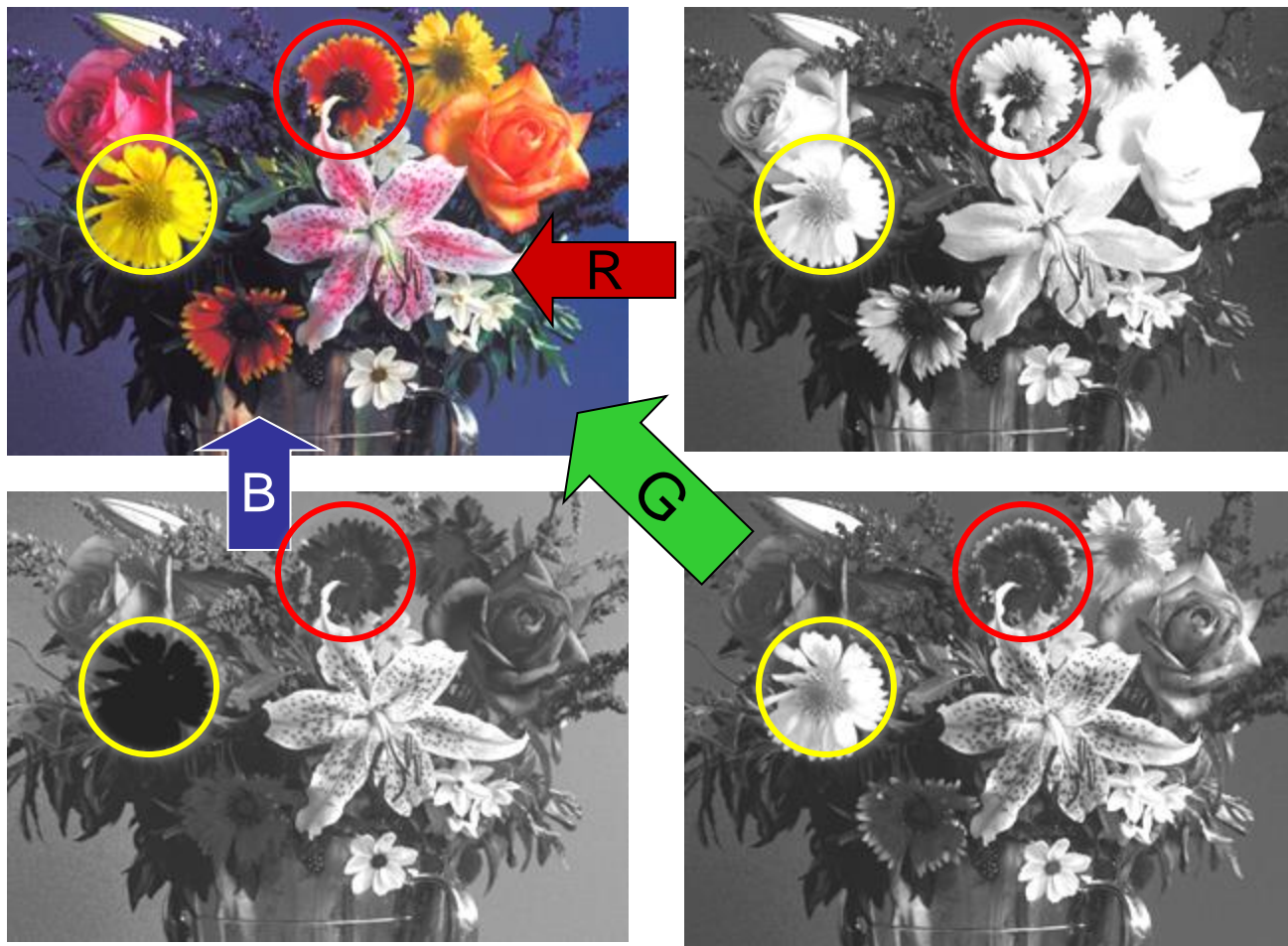


Obraz monochromatyczny – rozkład jasności wzdłuż profilu



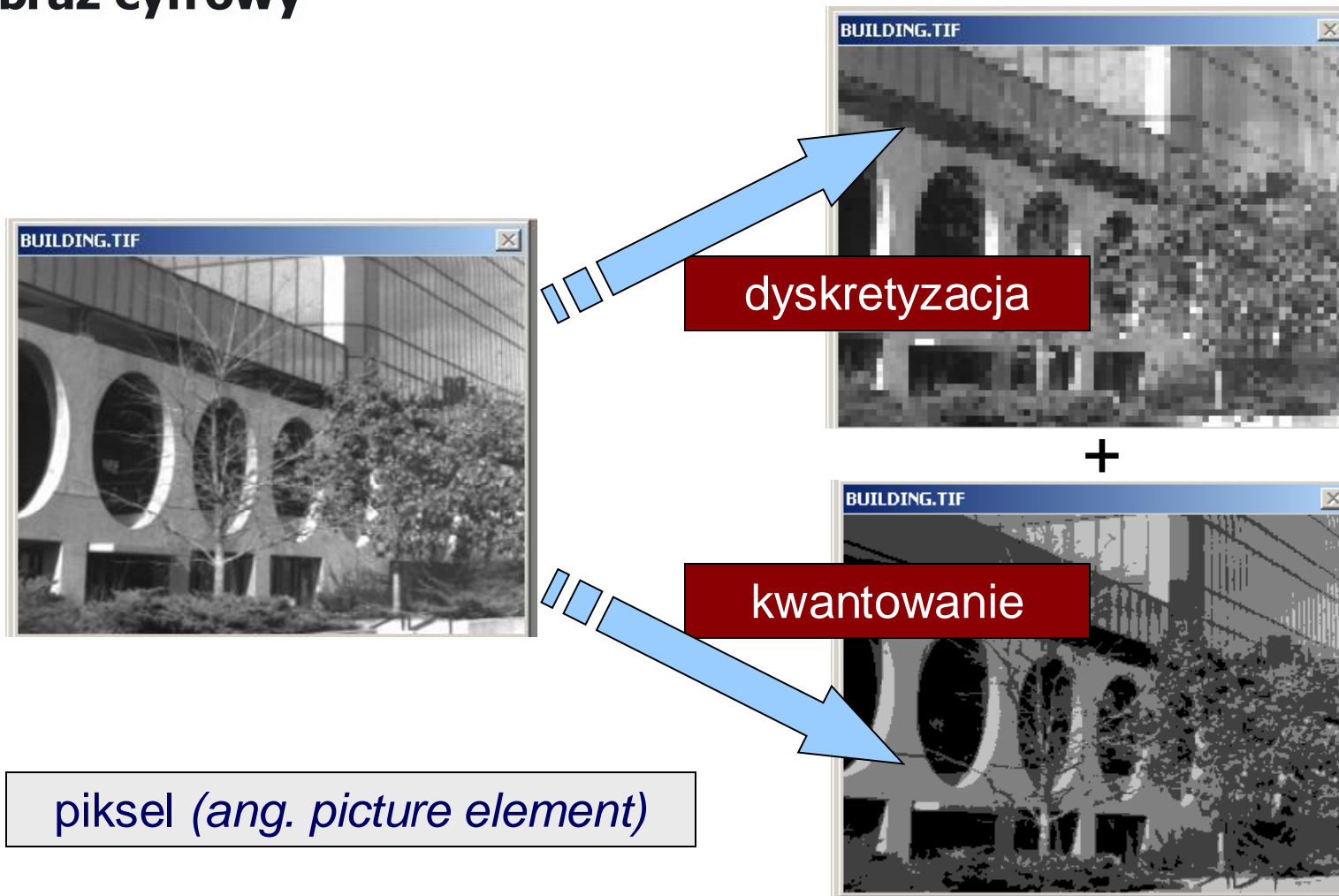


Obraz kolorowy RGB



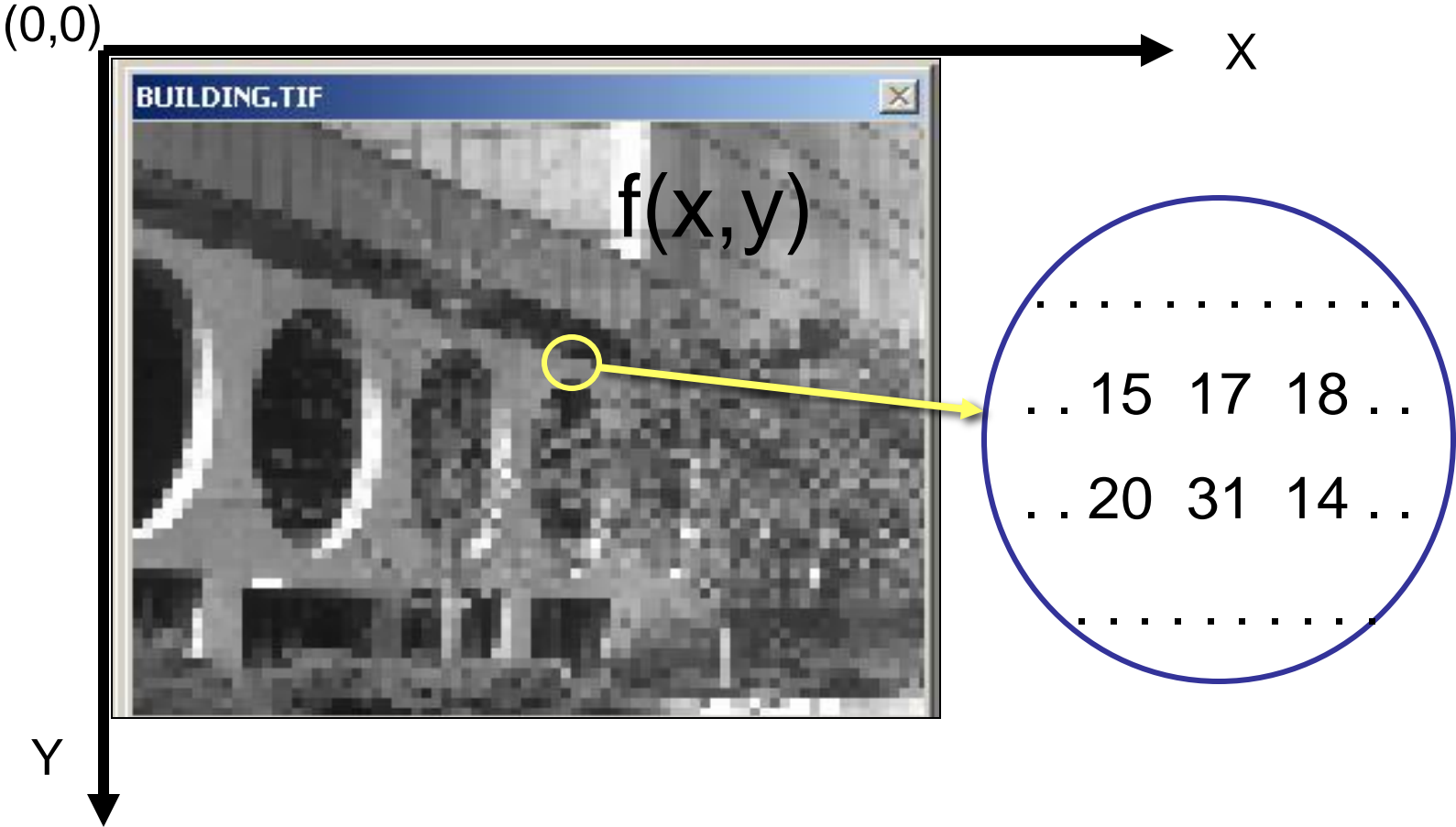


Obraz cyfrowy

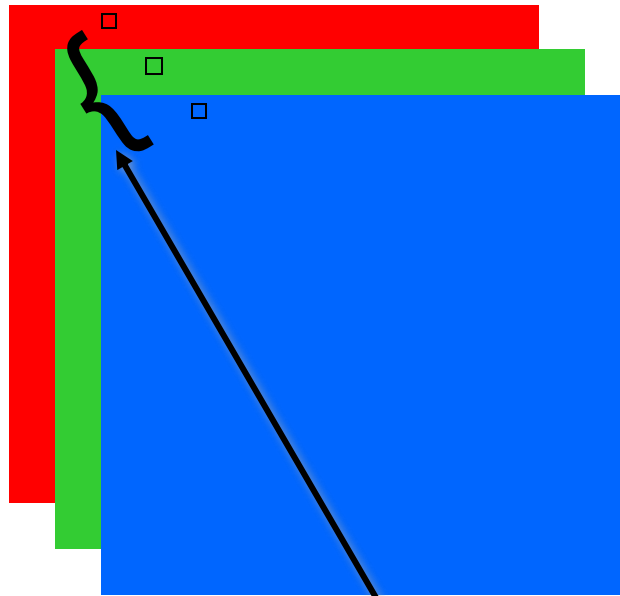




Obraz cyfrowy – macierz pikseli



Kolorowy obraz cyfrowy RGB



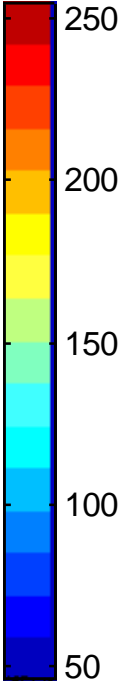
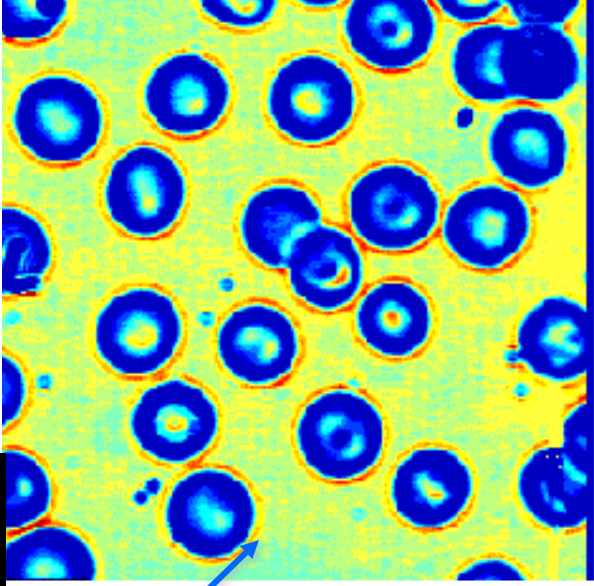
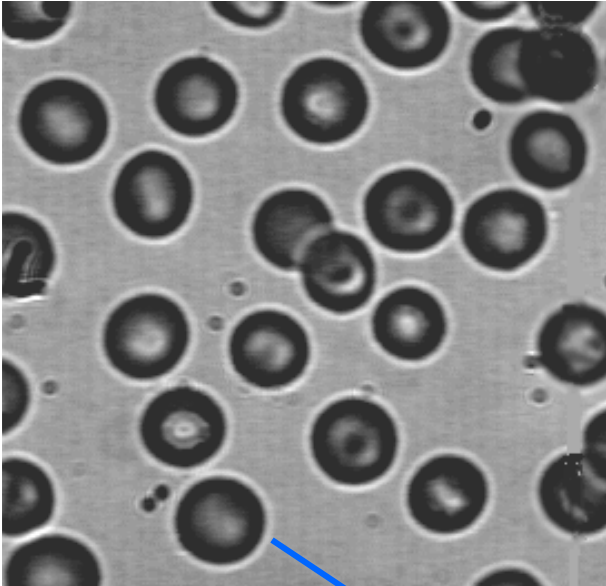
$$f(x, y) = (f_R, f_G, f_B)$$

Jeżeli każda składowa koloru jest kodowana za pomocą 8 bitów, można uzyskać 2^{24} kolorów!

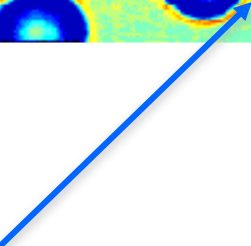
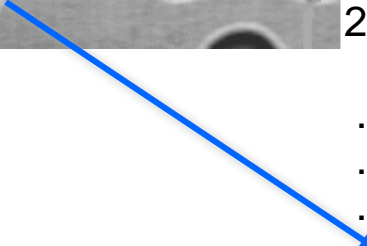




Obrazy indeksowane



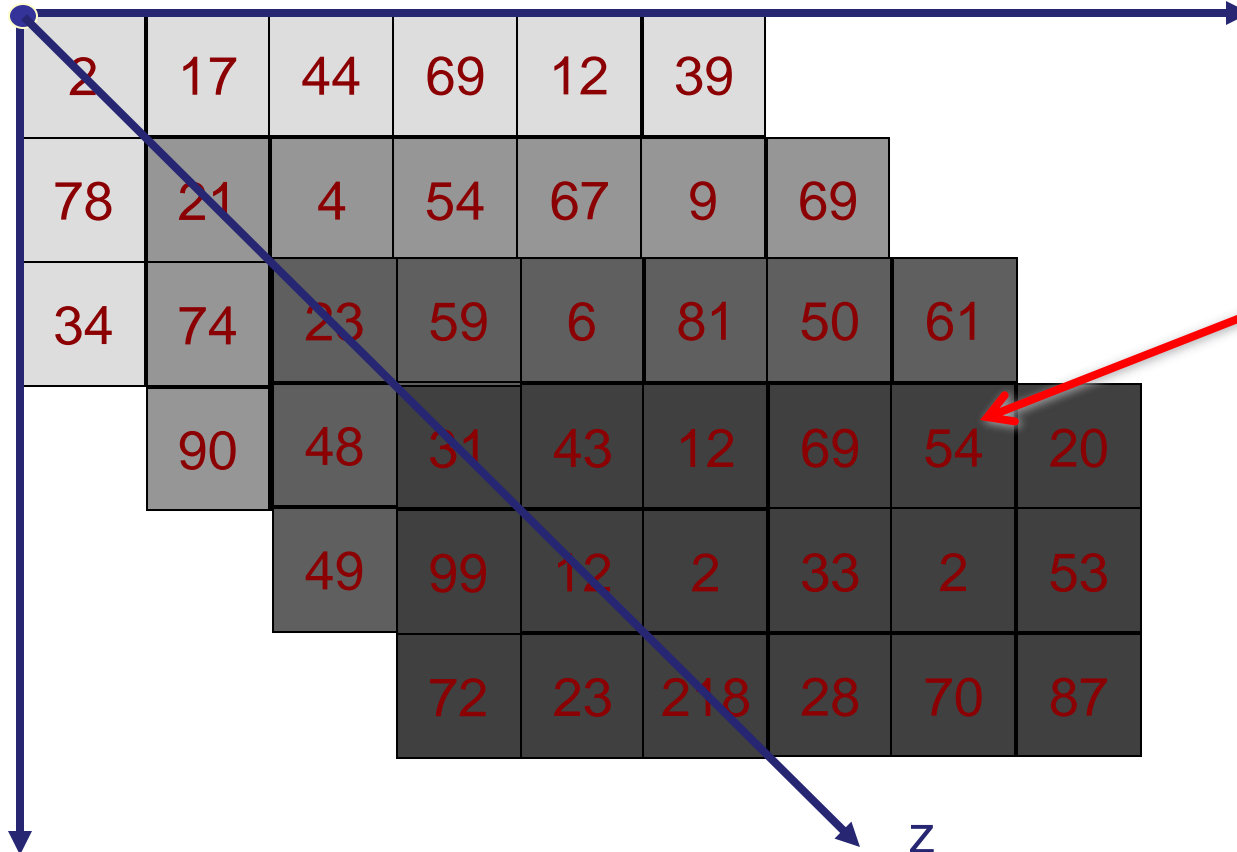
	R	G	B
0			
1			
2			
.			
.			
.			
132	200	15	23
255			





(0,0,0)

x



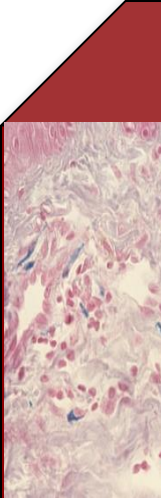
$f(x,y,z)$

**Voxel, woksel
(volume element)**

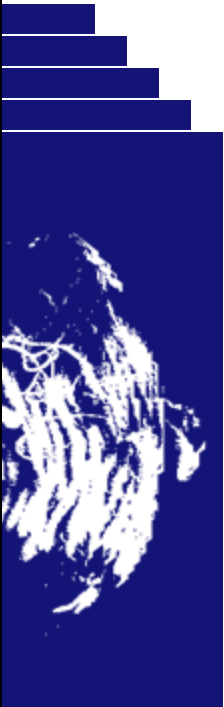
Więcej wymiarów?



Obrazy 3D



obj



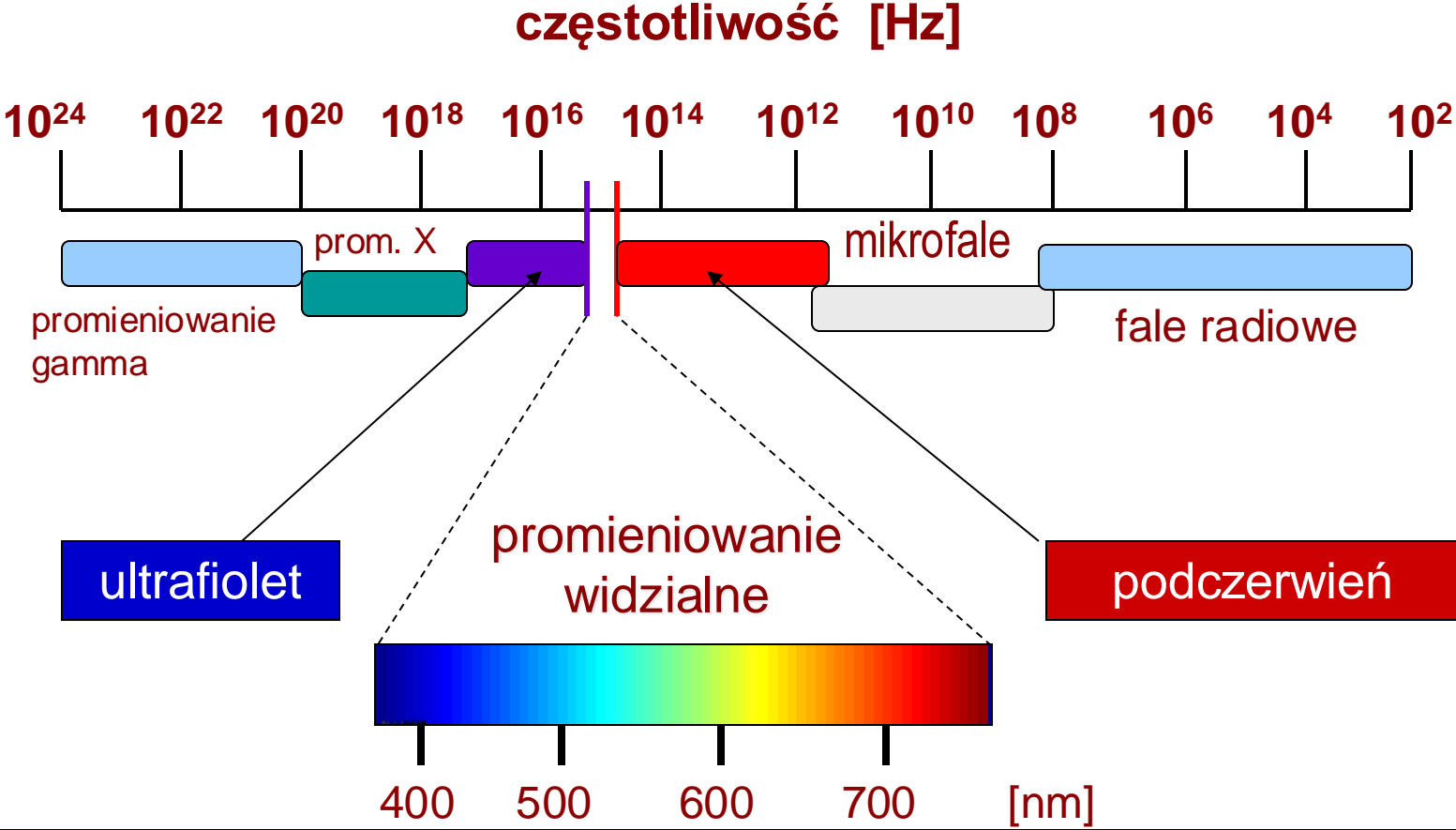
w 2D
przez medyczne
(zazowe)

Tzw. projekcje intensywności

o obrazowania medycznego

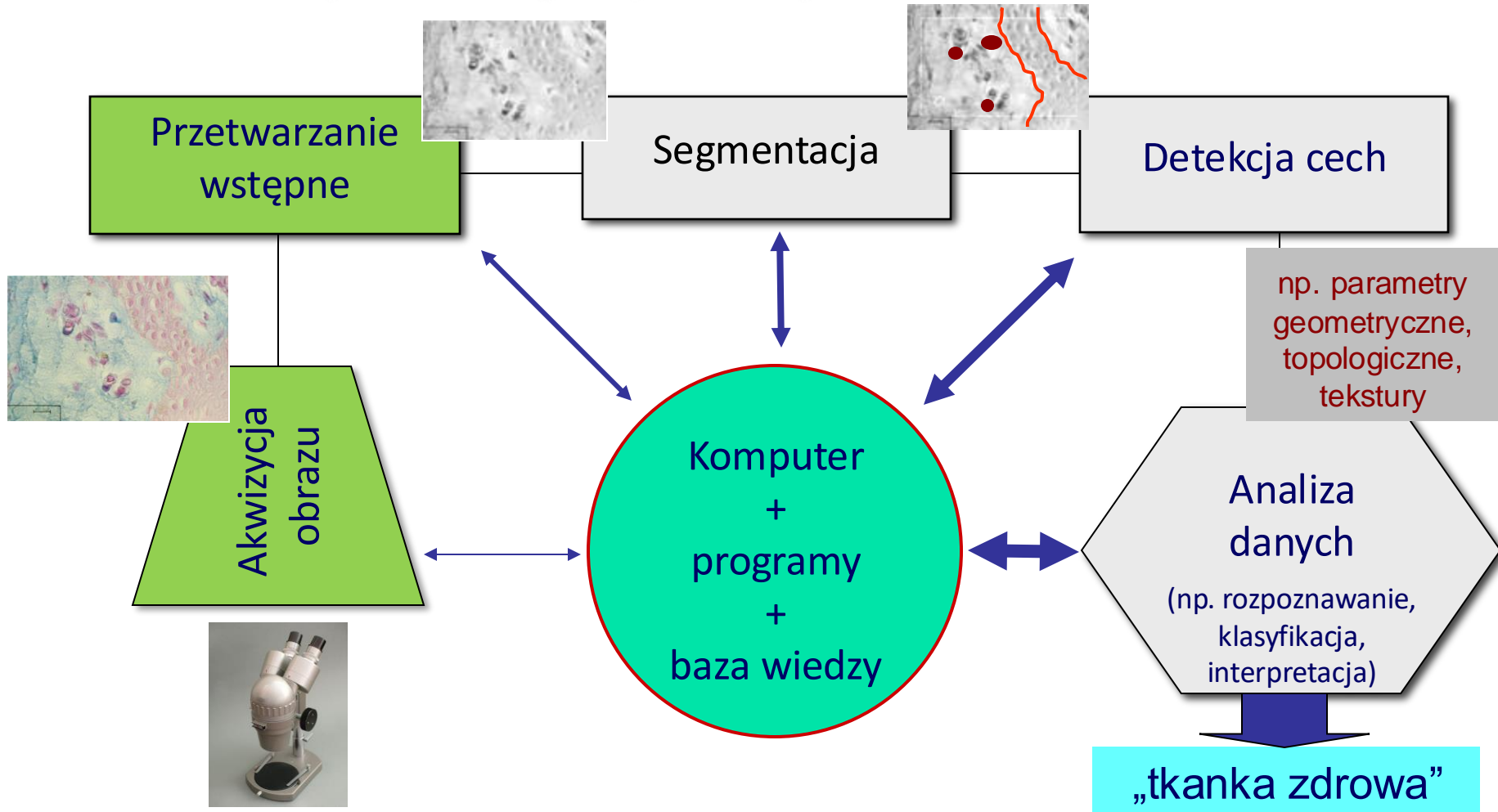


Spektrum promieniowania elektromagnetycznego



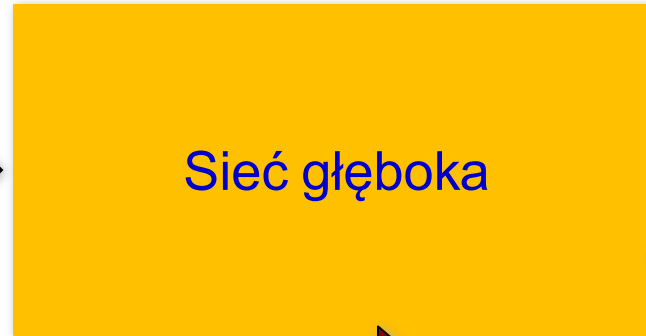
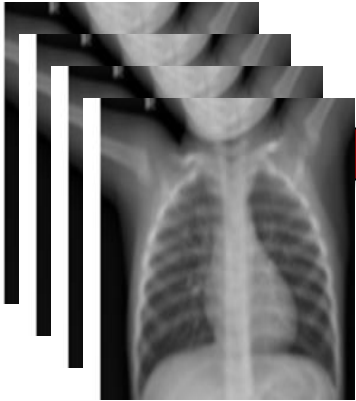


Schemat komputerowego systemu przetwarzania obrazów

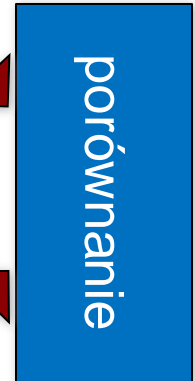
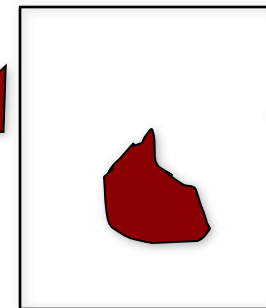
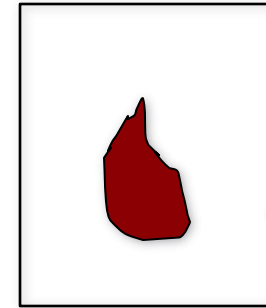


Sieci głębokie - faza uczenia

obrazy wejściowe



wynik prawidłowy

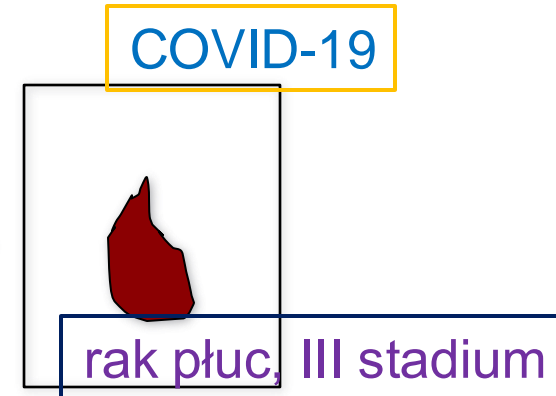
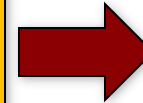
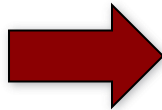


Uczenie: powtarzane do momentu uzyskania dla zbioru treningowego założonej dokładności analizy

wynik generowany przez sieć
aktualizacja parametrów modelu

Sieci głębokie – faza testowania

obraz wejściowy

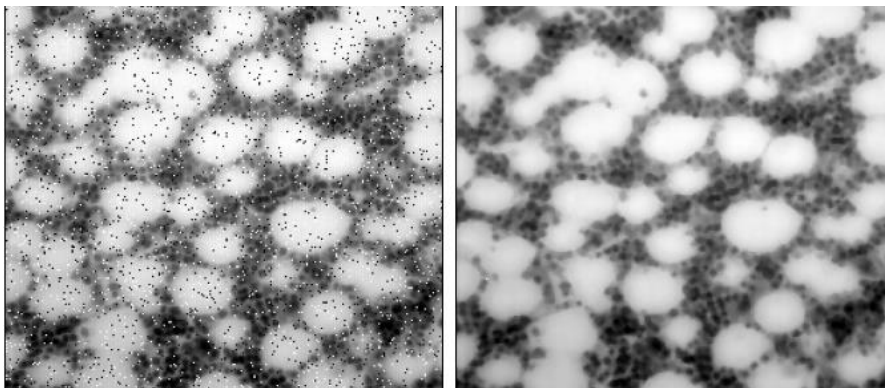


testowanie: sieć analizuje nowe obrazy, nieobecne podczas uczenia. Oceniana jest jakość analizy takich obrazów (generalizacja)

wyniki generowane przez sieć:
np. wysegmentowane narządy,
wykryte zmiany patologiczne,
oceniony stopień tych zmian

Wstępne przetwarzanie: filtracja obrazu w dziedzinie jasności

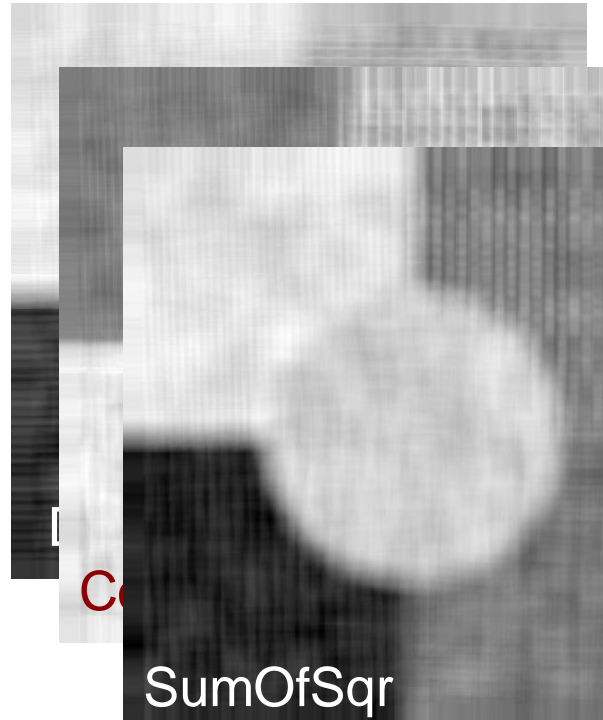
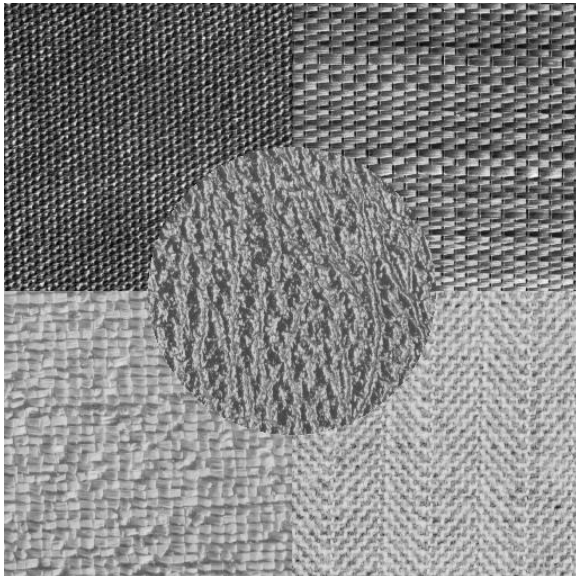
- Filtry liniowe
 - „wygładzanie” (redukcja szumu)
 - „wyostrzanie” (uwypuklenie szczegółów)
 - Wykrywanie krawędzi
- Filtry nieliniowe
 - filtr medianowy



obraz zakłócony

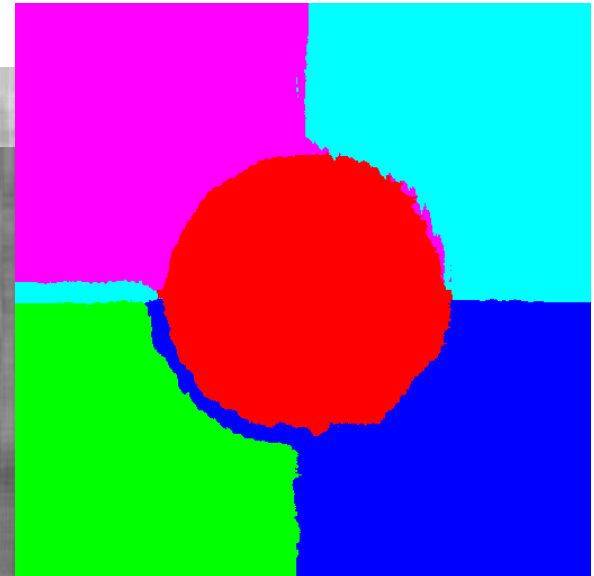
po filtracji medianowej

Segmentacja tekstur z albumu Brodatza



SumOfSqr

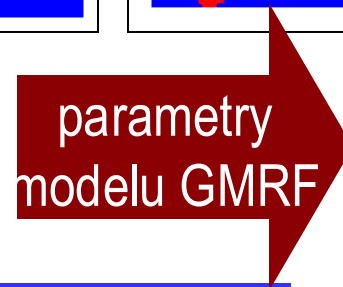
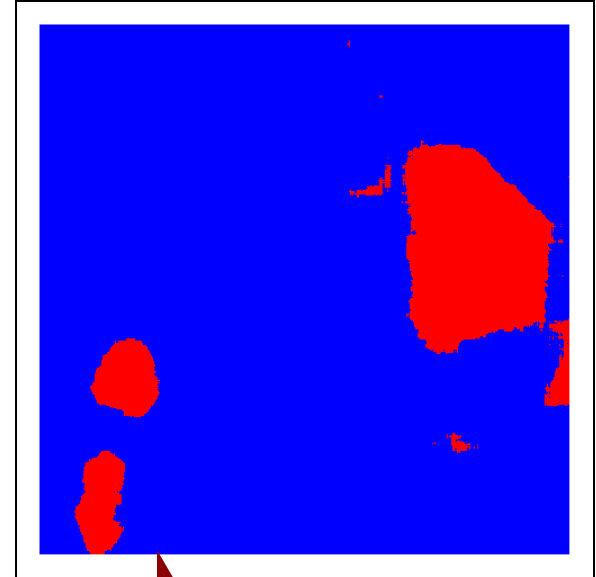
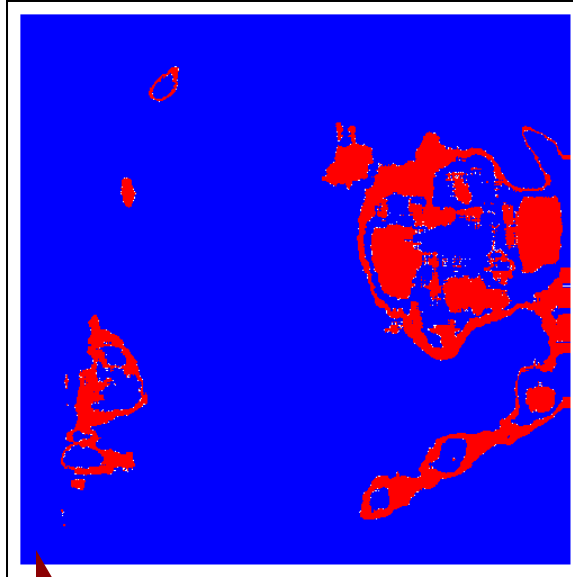
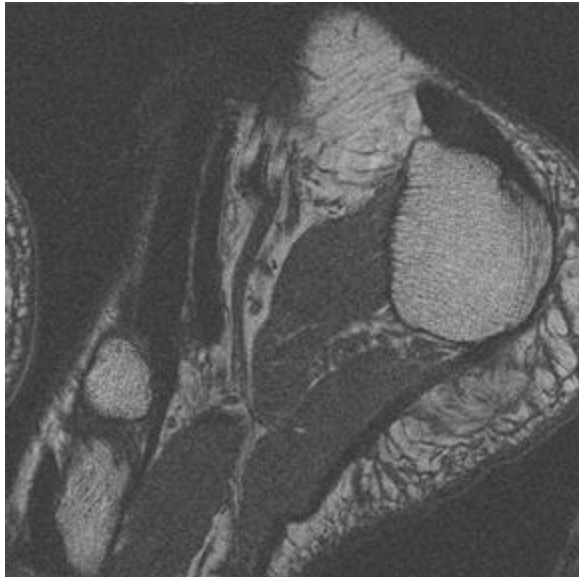
mapy cech



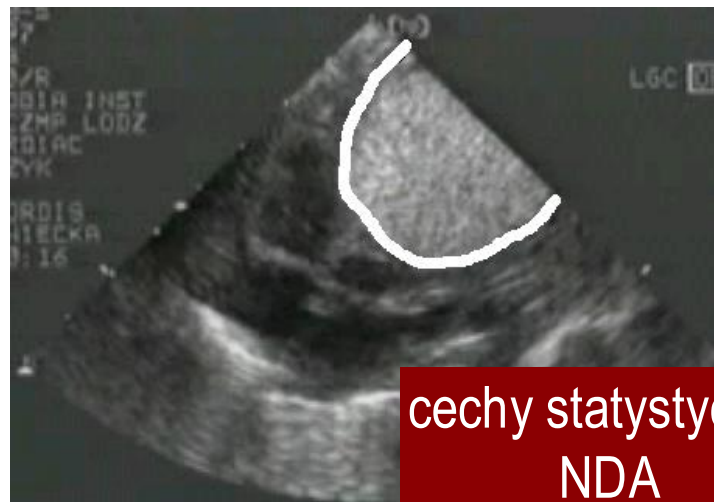
segmentacja algorytmem
k-średnich

cechy
statystyczne

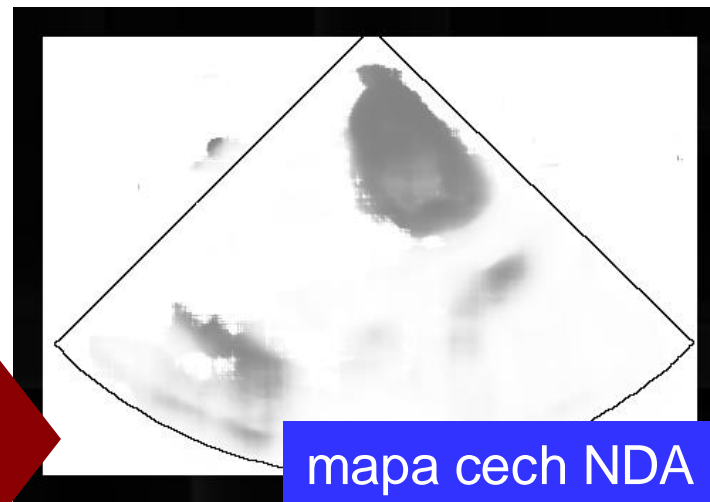
Segmentacja obrazu rezonansu magnetycznego



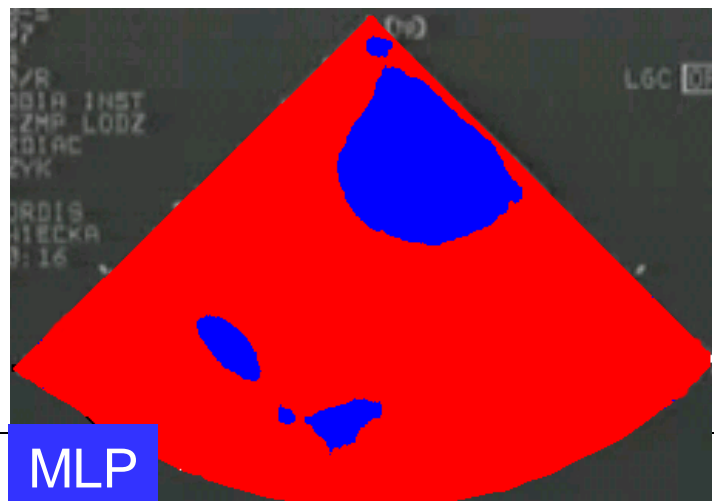
Segmentacja guzów serca w obrazach USG



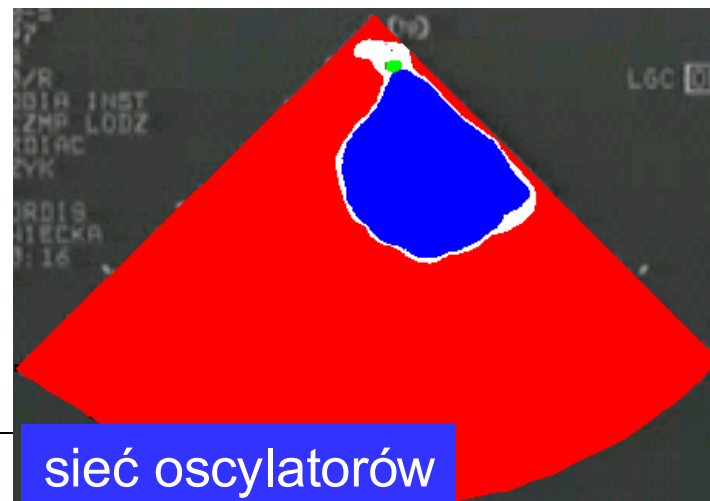
cechy statystyczne
NDA



mapa cech NDA

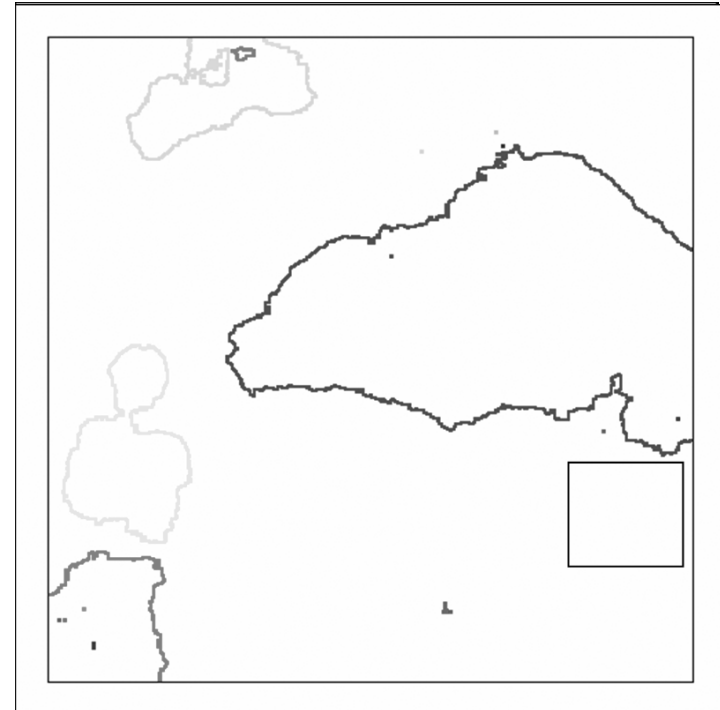
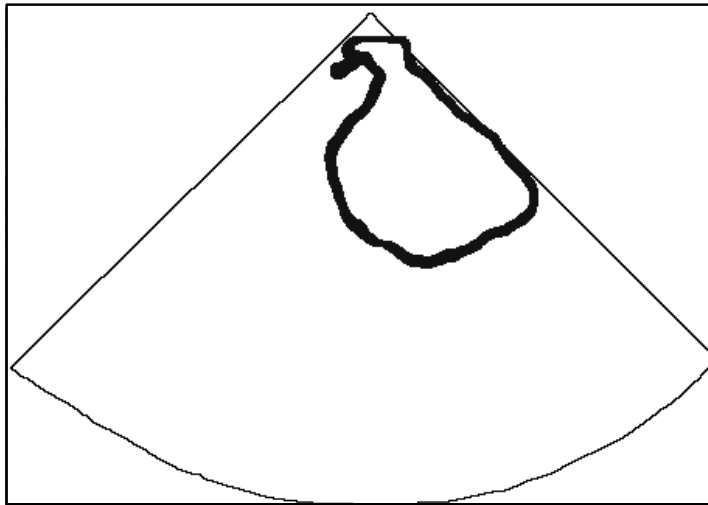


MLP



sieć oscylatorów

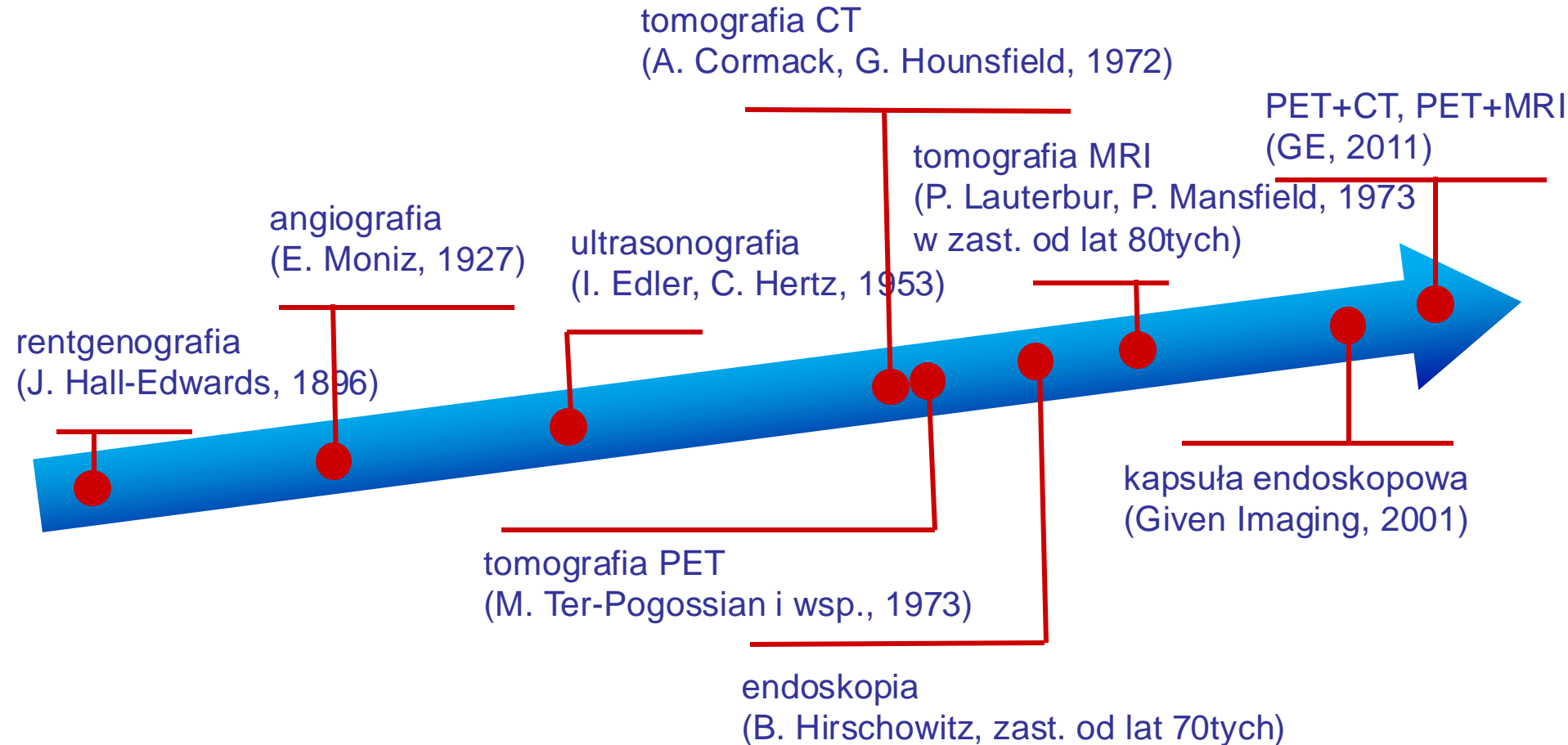
Segmentacja z wykorzystaniem detekcji krawędzi



sieć oscylatorów

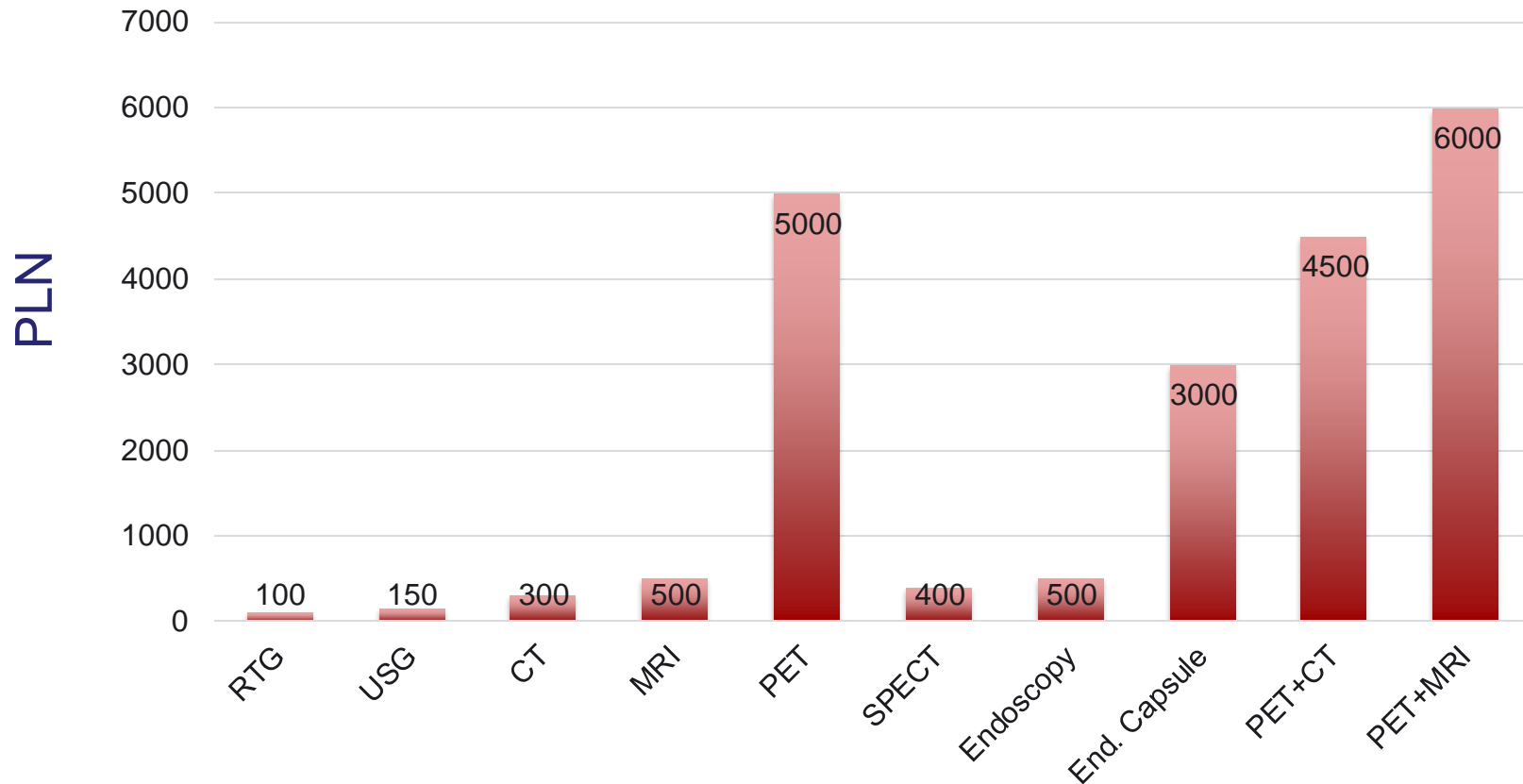


Historia obrazowania medycznego



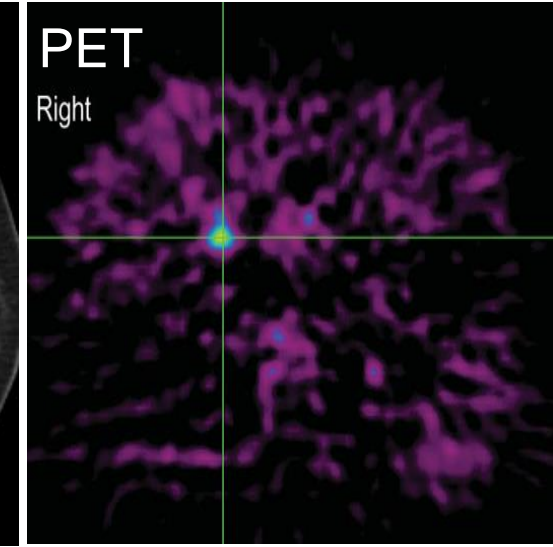
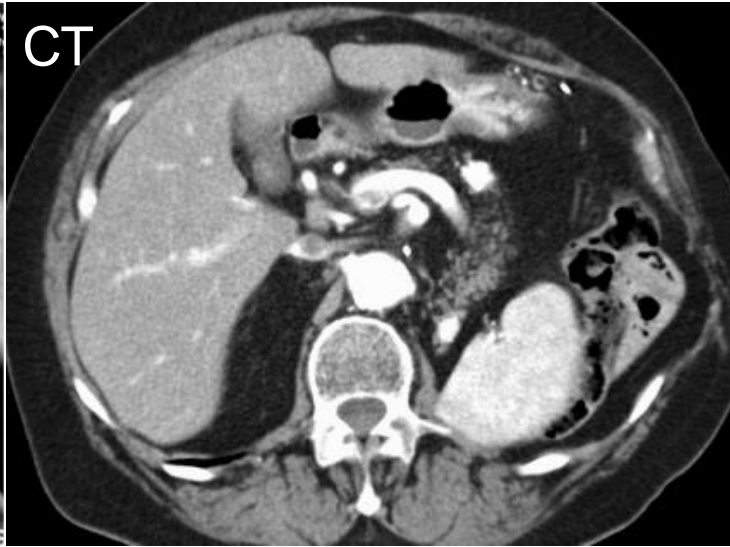
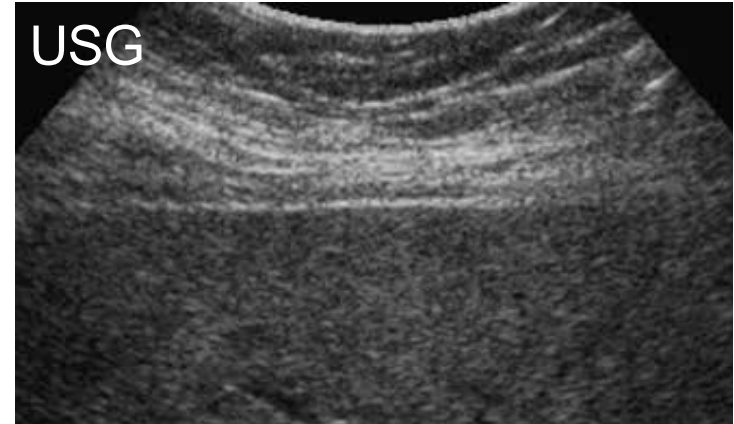


Koszt badań obrazowych (2021)



Po co tyle metod obrazowania?

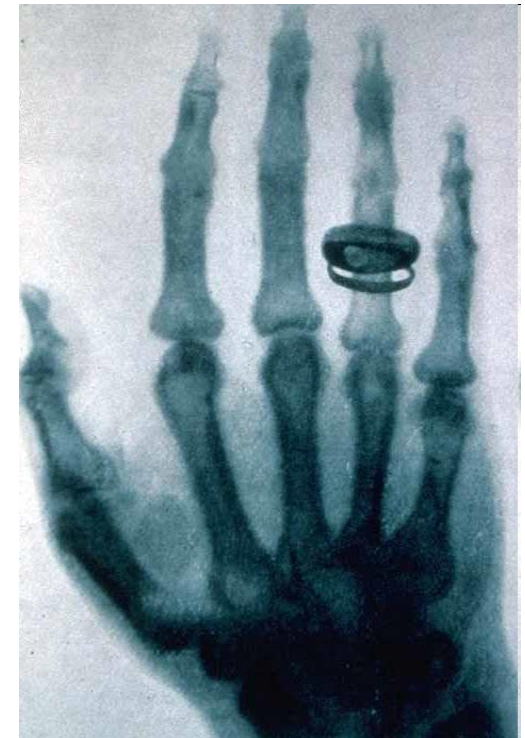
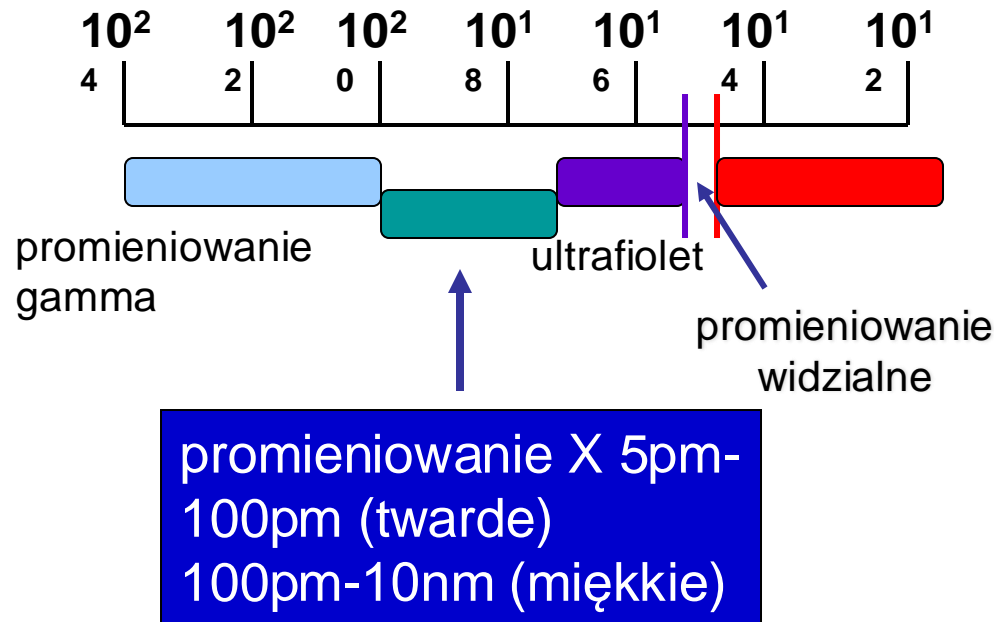
- UG (53%-77% zmian)
- CT ("złoty standard" przy ocenie chorób naczyniowych)
- MRI (91% skuteczność w rozróżnianiu nowotworów złośliwych i łagodnych)
- PET (najwyższa czułość w wykrywaniu nowotworów)





Urządzenia rentgenowskie

Promieniowanie rentgenowskie (promieniowanie X), opisane przez Wilhelma Röntgena w 1895 r., nagroda Nobla w dziedzinie fizyki w 1901 r.



zdjęcie dłoni żony Röntgena

M. Strzelecki, Obrazowanie w diagnostyce medycznej

Urządzenia rentgenowskie

- fotografie na kliszach,
- obrazy cyfrowe,
- badanie inwazyjne,
- niski koszt aparatury, mobilność



Urządzenia rentgenowskie

Główne zastosowania:

ortopedia

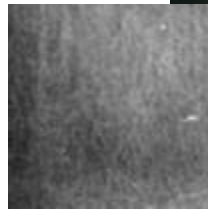
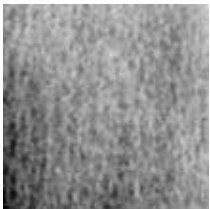
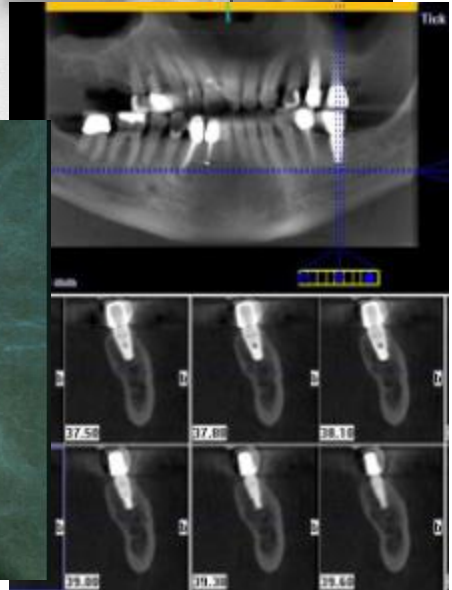
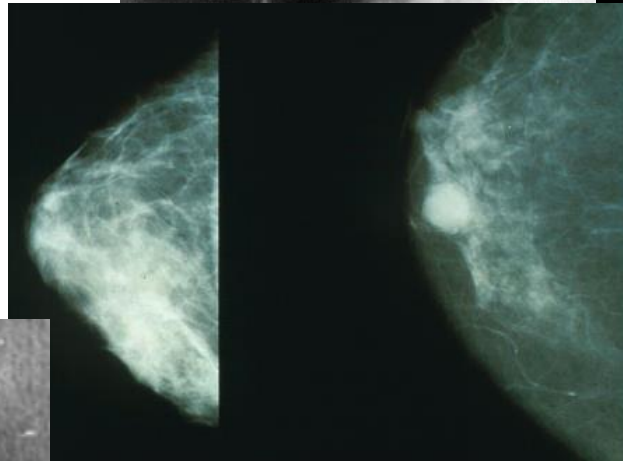
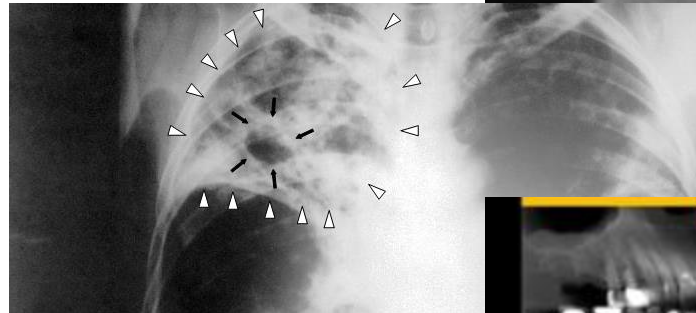
pulmonologia

stomatologia

diagnostyka:

rak piersi (mammografia)

osteoporoza

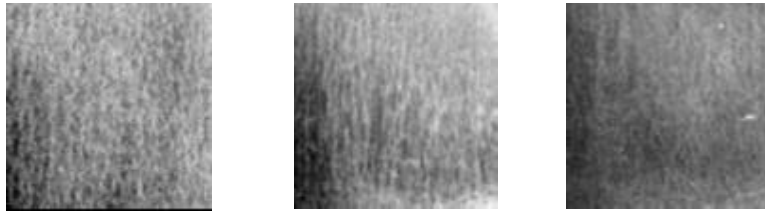


dr Piotr Cichy

www.kavo.pl, Gendex



Analiza obrazów rentgenowskich nadgarstka

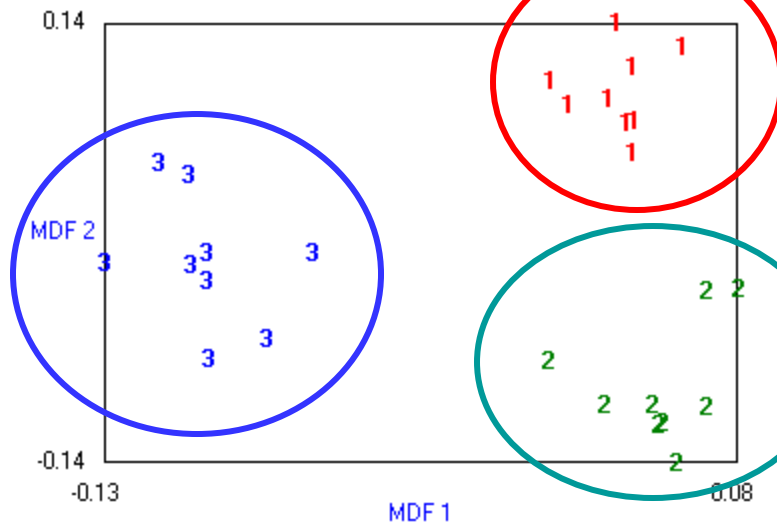


kość zdrowa (1)

osteopenia (2)

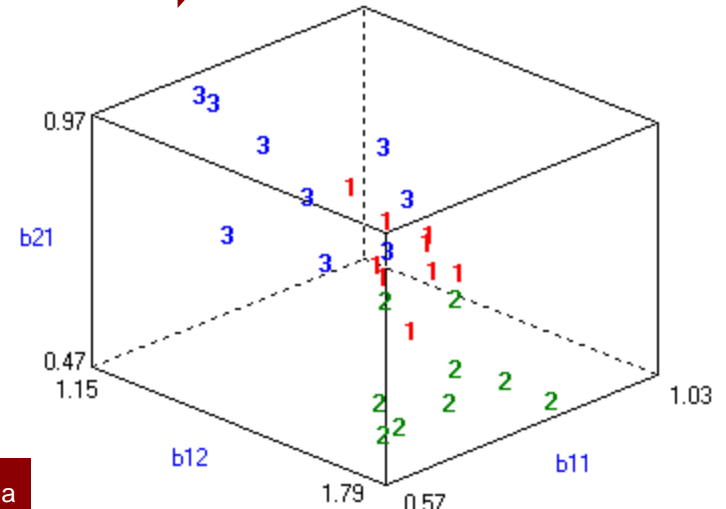
osteoporoza (3)

model losowego pola Markowa



błąd: 0%

Liniowa Analiza Dyskryminacyjna



błąd: 9%



Ultrasonografia

- niska jakość obrazu
- liczne artefakty (wielokrotne odbicia, załamania fali, cienie akustyczne)
- trudna interpretacja
- możliwość oceny przepływu krwi (USG dopplerowskie)
- badanie nieinwazyjne
- niski koszt aparatury, mobilność



Ultrasonografia

zastosowania:

kardiologia

ginekologia i położnictwo

urologia

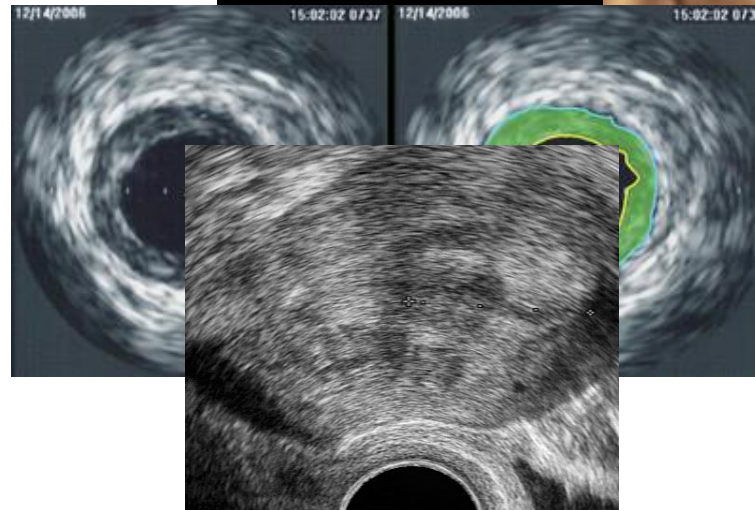
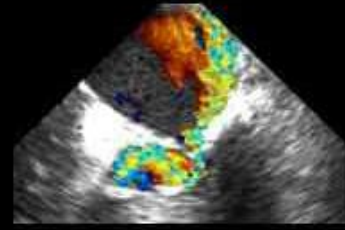
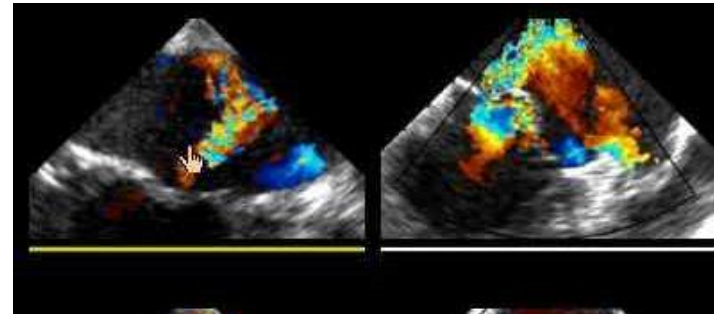
gastrologia

.....

diagnostyka:

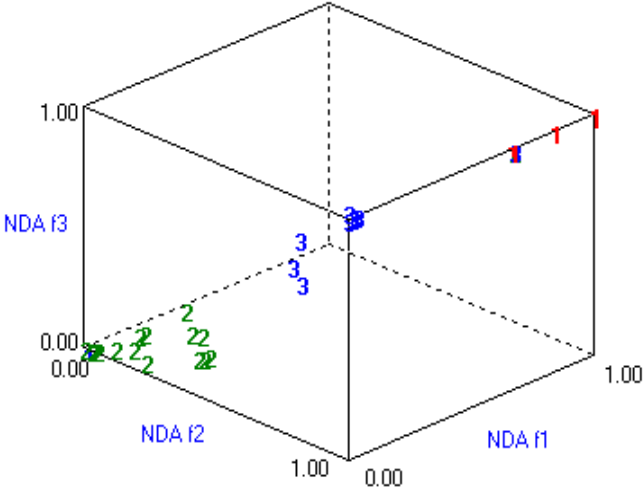
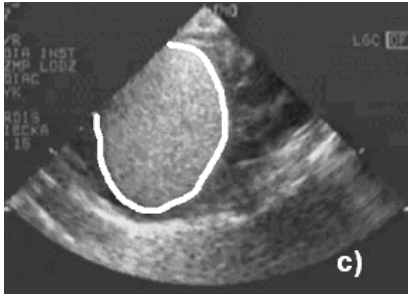
narządy miękkie,

naczynia krwionośne

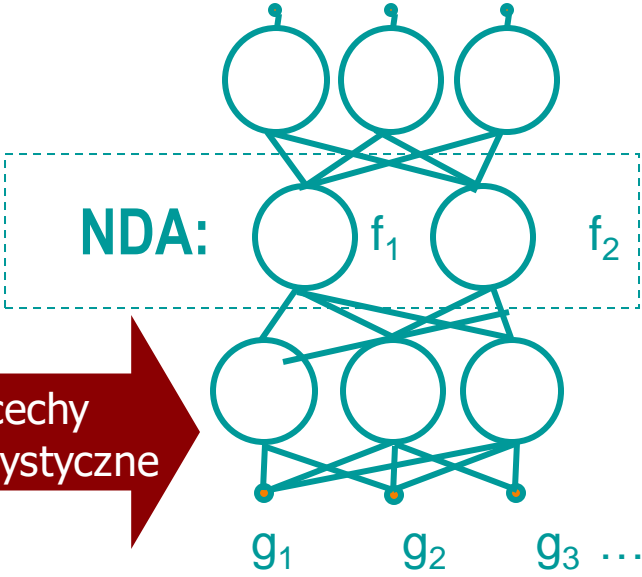




Analiza obrazów USG guzów serca (klasyfikacja)

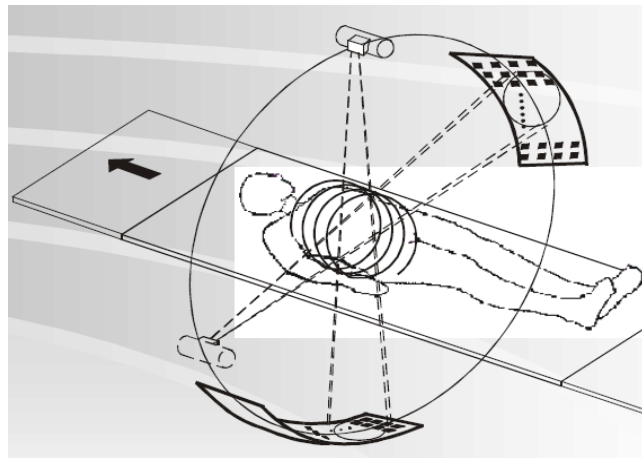


błąd klasyfikacji:
10% (55 obrazów)



Tomografia komputerowa (TK)

- obrazy przekrojów (nie rzutów na płaszczyznę)
- nie różnicuje tkanek miękkich,
- bardzo dobra jakość obrazu,
- badanie inwazyjne,
- stosunkowo duży koszt



[biomech.pwr.wroc.pl/
konferencja/Cierniak.pdf](http://biomech.pwr.wroc.pl/konferencja/Cierniak.pdf)

Tomografia komputerowa (TK)

zastosowania:

neurologia

kardiologia

pulmonologia

gastroenterologia

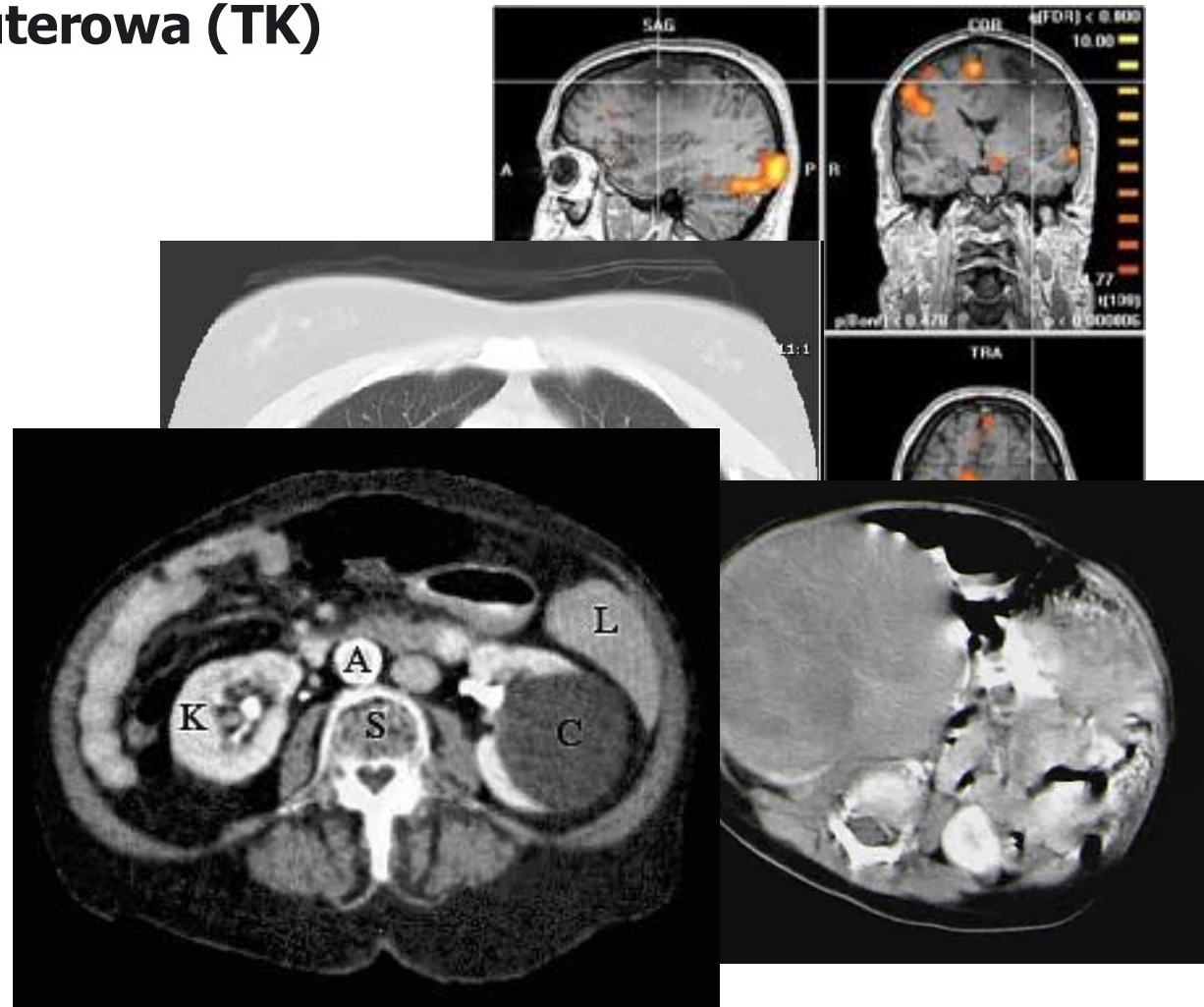
.....

diagnostyka:

nowotwory mózgu,

nerek, wątroby

choroby płuc



Tomografia rezonansu magnetycznego (RM, ang. MRI)

- dobre odwzorowanie tkanek miękkich
- tomografia funkcjonalna (BOLD)
- angiografia MRI
- dobra jakość obrazu
- badanie nieinwazyjne
- wysoki koszt aparatury i badania



Tomografia rezonansu magnetycznego

zastosowania:

neurologia

angiografia

gastroenterologia

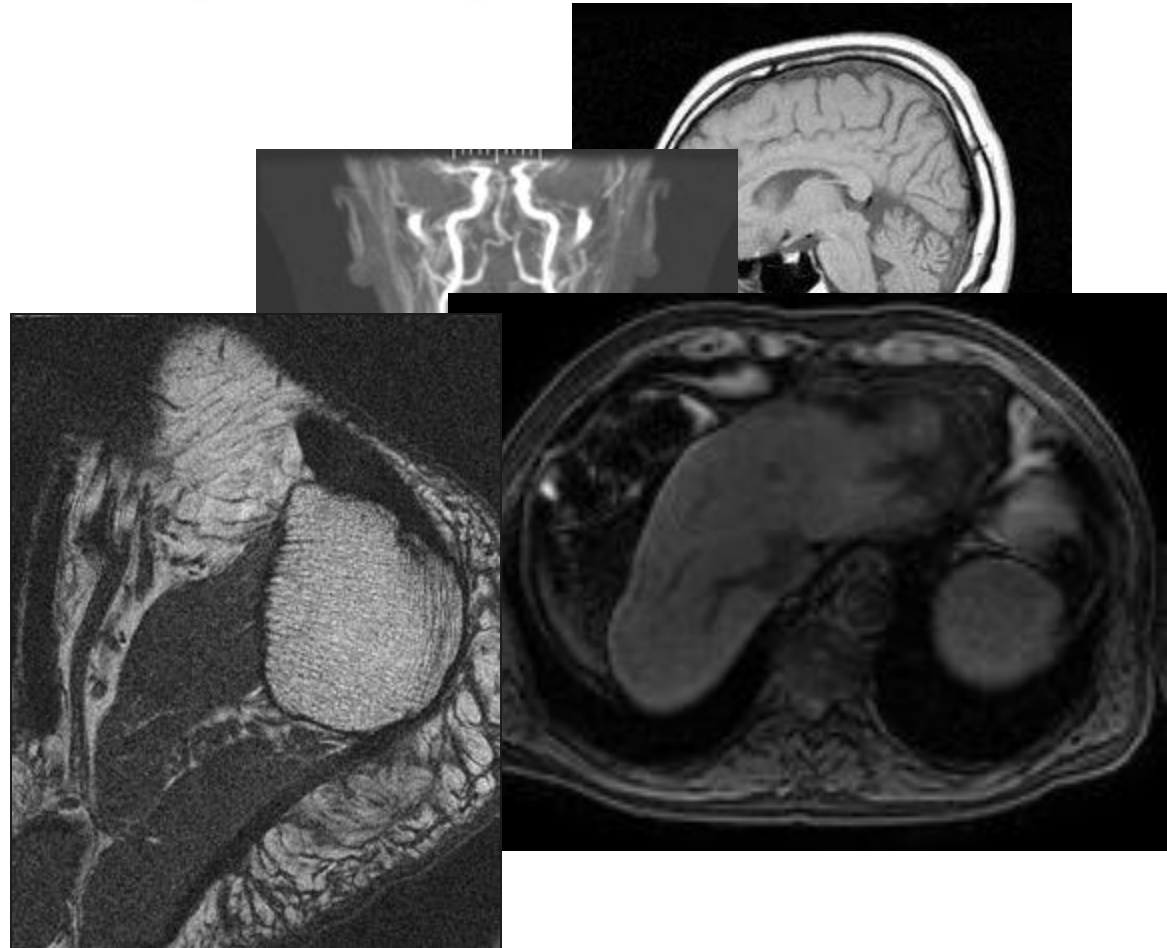
.....

diagnostyka:

mózg

jama brzuszna

układ kostny



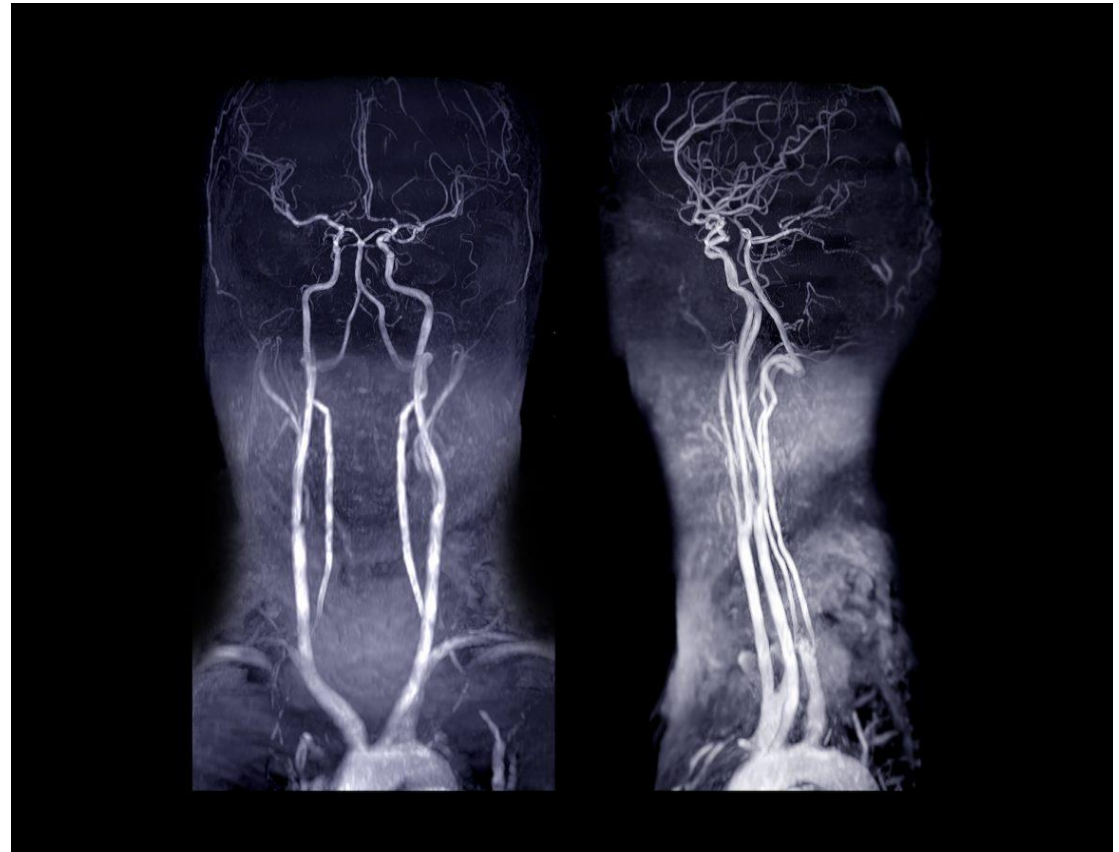
Tomografia rezonansu magnetycznego

Angiografia

angiografia czasu
przeływu (TOF - Time
of Flight)

angiografia kontrastu
fazy (PC - Phase
Contrast).

Zaleta: brak potrzeby
podawania kontrastu



<https://badania.znanylekarz.pl/blog/rezonans-angiografia-tetnic-szyjnych-jak-przebiega-jak-sie-przygotowac/>

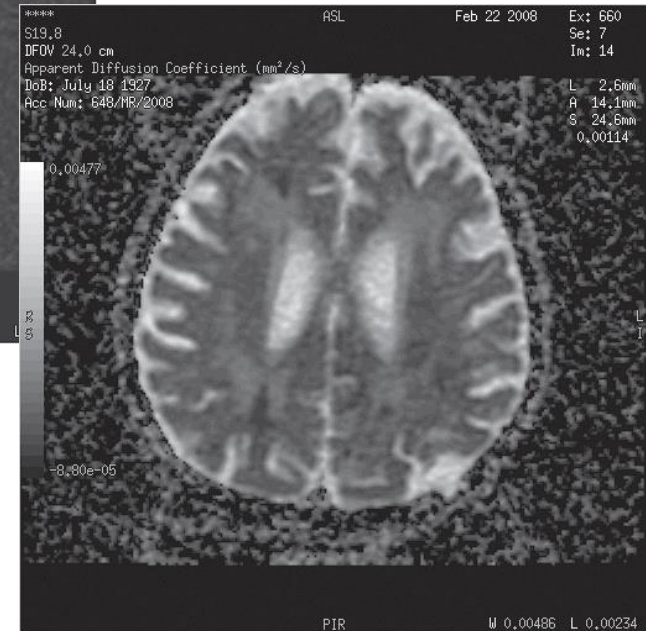
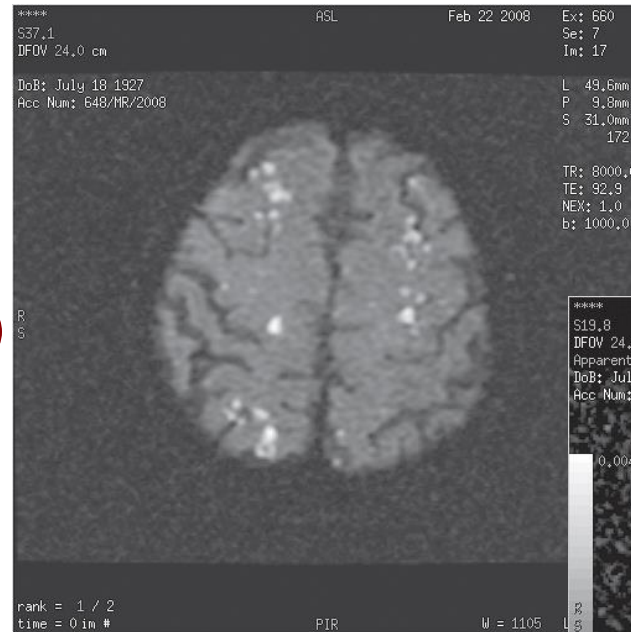


Tomografia rezonansu magnetycznego

Obrazowanie DWI

(zależne od tensora dyfuzji lub ADC – rzeczywisty współczynnik dyfuzji)

Zaleta: wykrywane stanów zapalnych, różnicowanie wybranych patologii, w tym nowotworów (trudne dla T1 i T2)

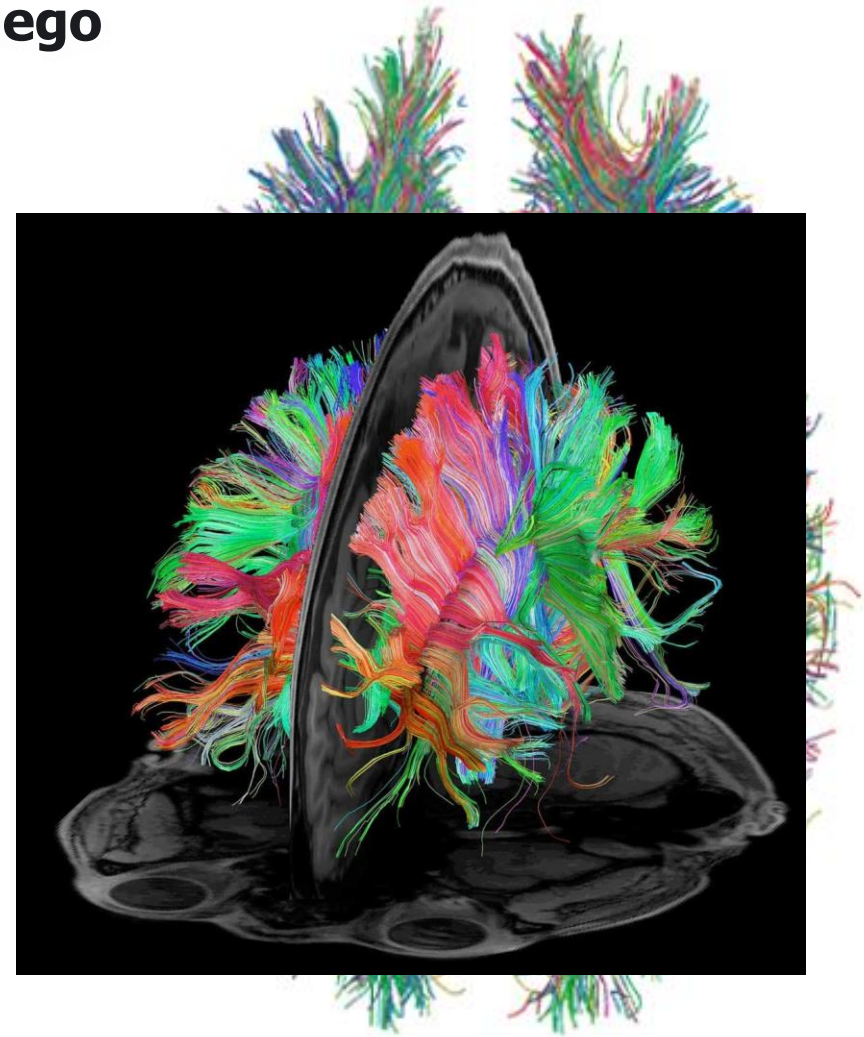


Tomografia rezonansu magnetycznego

Traktografia

Technika obrazowania, umożliwiająca uwidocznienie kierunku i ciągłości przebiegu włókien nerwowych.

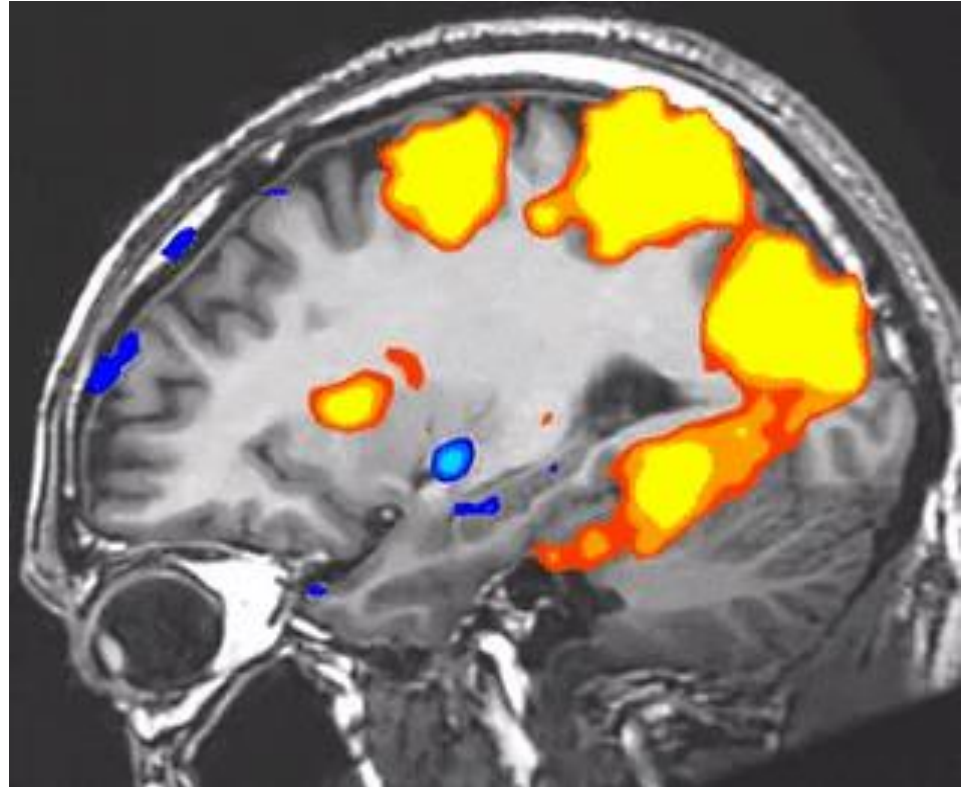
Kierunek włókien jest kodowany kolorem: barwa czerwona wskazuje przebieg włókien w osi X (prawo-lewo), zielony w osi Y (przód-tył), niebieski w osi Z.



Badania czynnościowe (ang. functional MRI)

Wykorzystuje się różne właściwości magnetyczne oksyhemoglobiny i deoksyhemoglobiny.

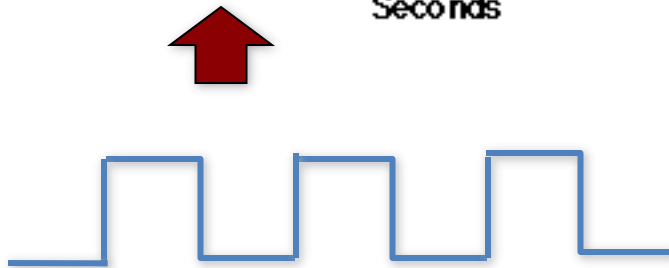
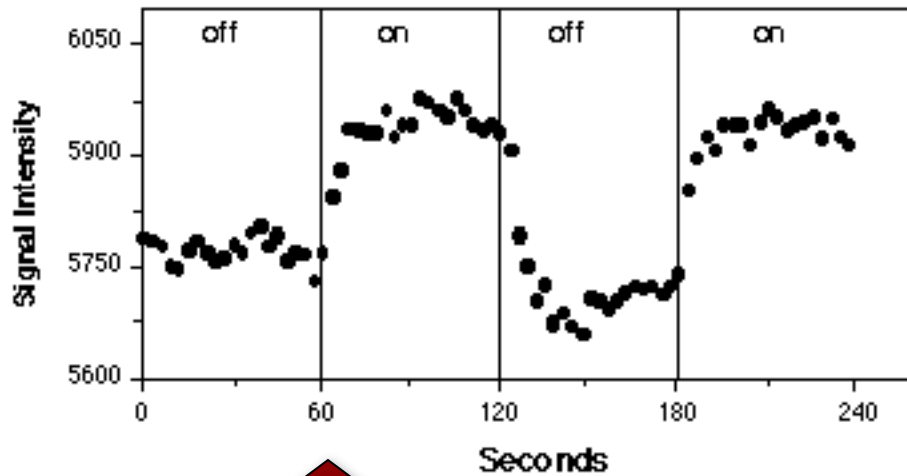
Odpowiedź BOLD (ang. *blood-oxygenation-level-dependent*) określa zależność intensywności sygnału rezonansu magnetycznego od poziomu natlenienia krwi.



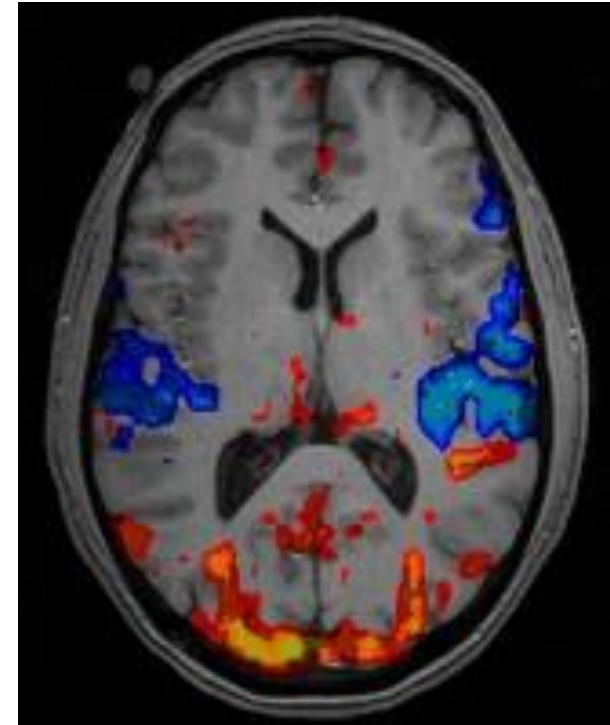


Badania czynnościowe

Zmierzona aktywność komórek mózgu



Pobudzenie (sygnał wizyjny)



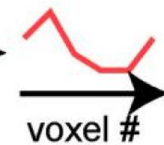
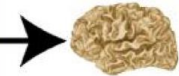
Mapa aktywności mózgu



RM – badania czynnościowe

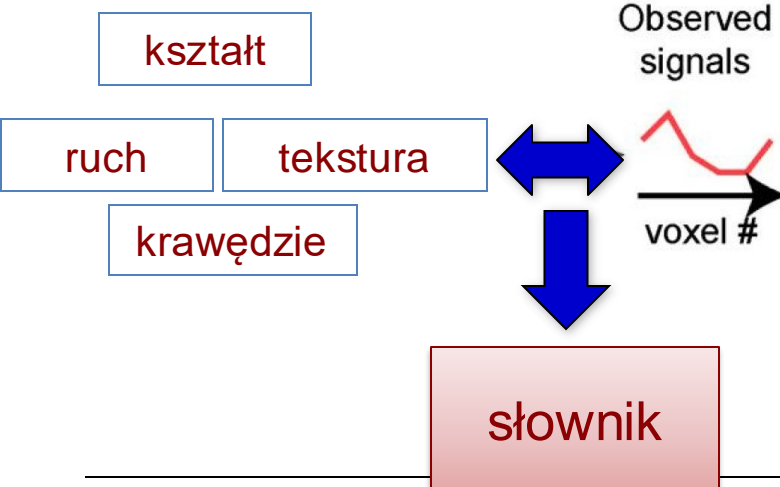
Rekonstrukcja obrazów na podstawie aktywności mózgu pobudzonego sekwencjami wideo (The Gallant Lab, UC Berkeley)

sekwencja wideo mózg obserwowany sygnał



[1] Rejestracja aktywności mózgu, podczas oglądania filmów przez grupę ochotników.

[2] Konstrukcja słowników dla znalezienia odwzorowania pomiędzy cechami obrazów (kształt, ruch, tekstura, krawędzie) zawartymi w oglądanych obrazach a parametrami zarejestrowanego sygnału kory mózgowej.

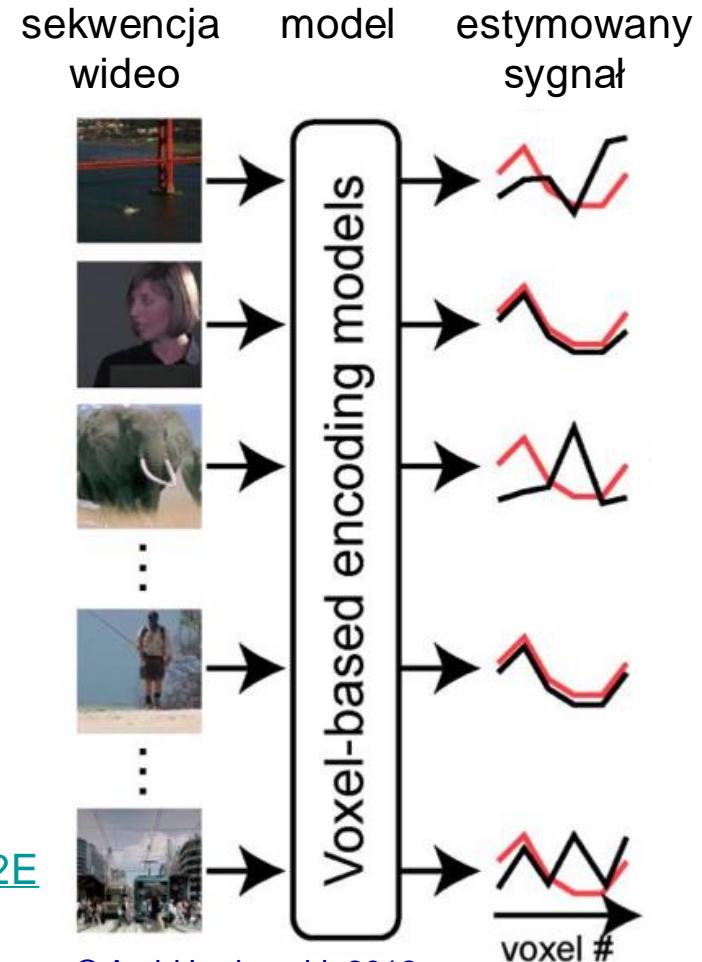


RM – badania czynnościowe

[3] Utworzenie biblioteki sekwencji wideo (5000 godzin) losowo wybranych filmów z serwisu YouTube (innych niż te pokazywane ochotnikom). Symulacja aktywności mózgu dla tych sekwencji, na podstawie utworzonych wcześniej słowników. Wybór 100 sekwencji, dla których estymowane sygnały mózgu są najbardziej zbliżone do tych zarejestrowanych w [1]. Uśrednienie tych sekwencji stanowi wynik eksperymentu.

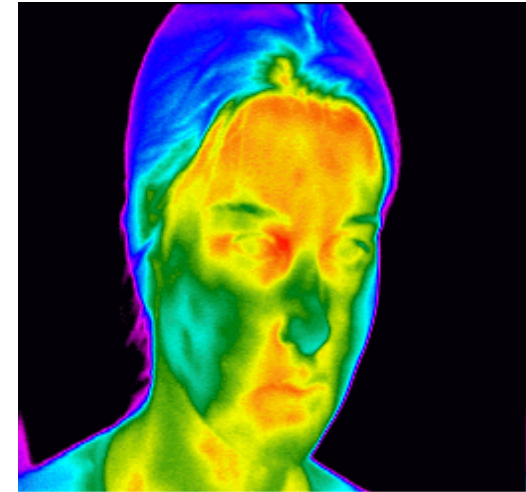
<https://www.youtube.com/watch?v=6FsH7RK1S2E>

<http://www.youtube.com/watch?v=nsjDnYxJ0bo>



Termografia

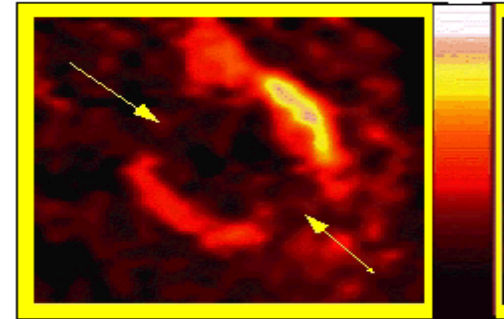
- niska jakość obrazu
- obrazowanie komplementarne w stosunku do innych metod
- badanie nieinwazyjne
- niski koszt, mobilność





Urządzenia medycyny nuklearnej

- różne techniki (PET, SPECT, scyntygrafia),
- ocena zmian zachodzących na poziomie molekularnym,
- badanie łączone z CT,
- czas badania zależy od czasu połowicznego rozpadu izotopu,
- badanie inwazyjne,
- wysoki koszt urządzeń i badania





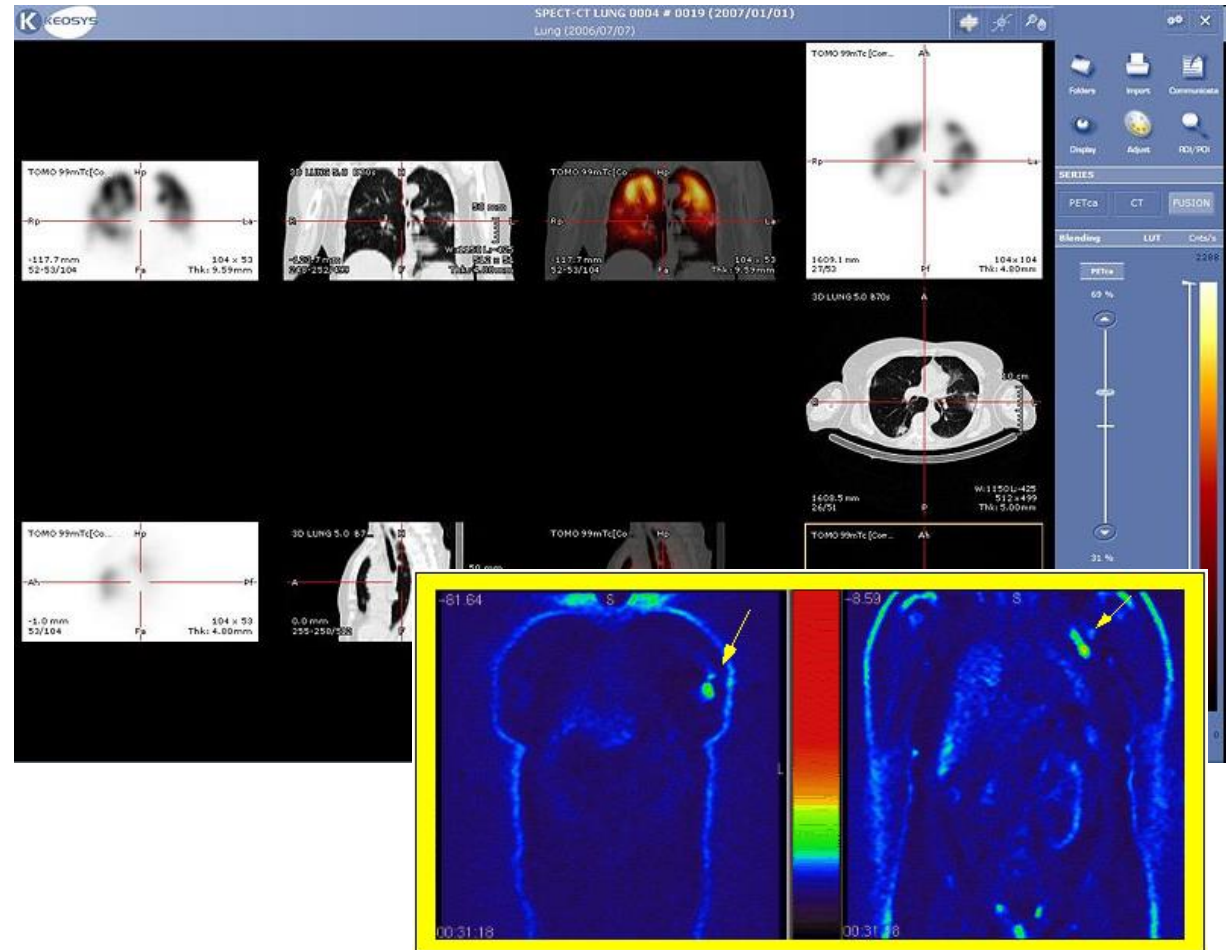
Urządzenia medycyny nuklearnej

zastosowania:

onkologia,
neurologia

diagnoza:

choroby
Huntingtona,
Alzheimera,
Parkinsona,
wykrywanie
wczesnych stadiów
chorób
nowotworowych



Endoskopia

- obrazowanie optyczne,
- możliwość interwencji chirurgicznej (laparoscopia),
- kapsuły endoskopowe,
- potrzebna analiza obrazu,
- badanie inwazyjne,
- wysoki koszt sprzętu i badania



Endoskopia

Zastosowania:

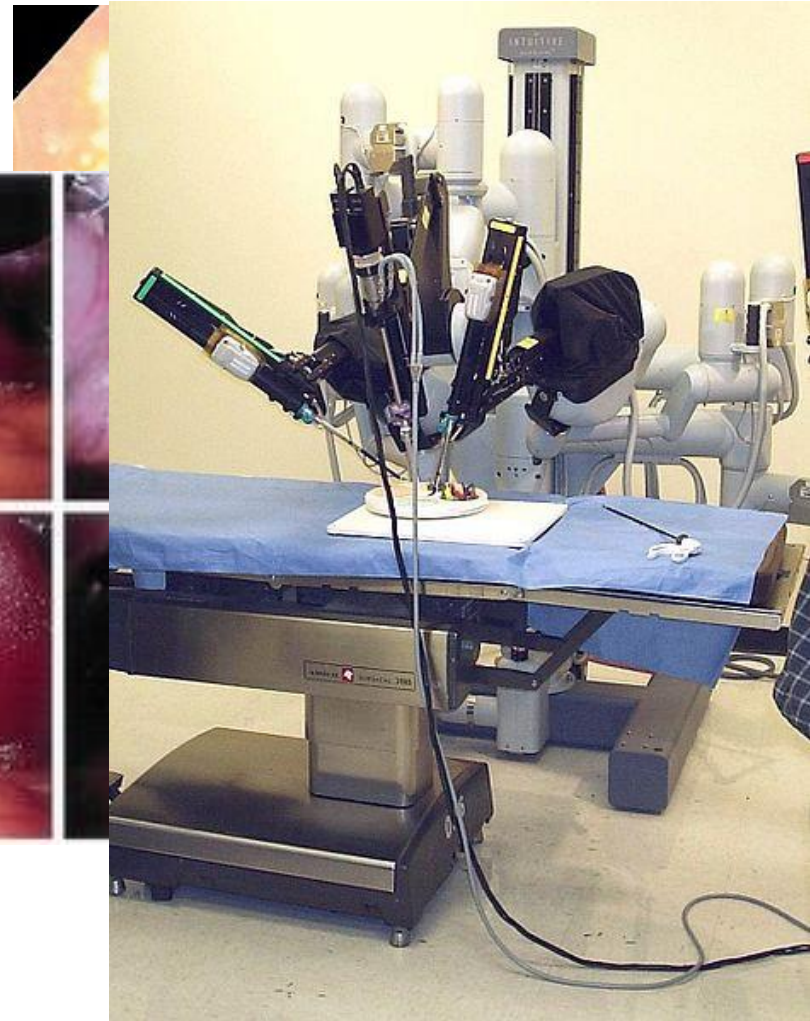
przewód pokarmowy
(żołądek, jelita)

układ oddechowy

pęcherz

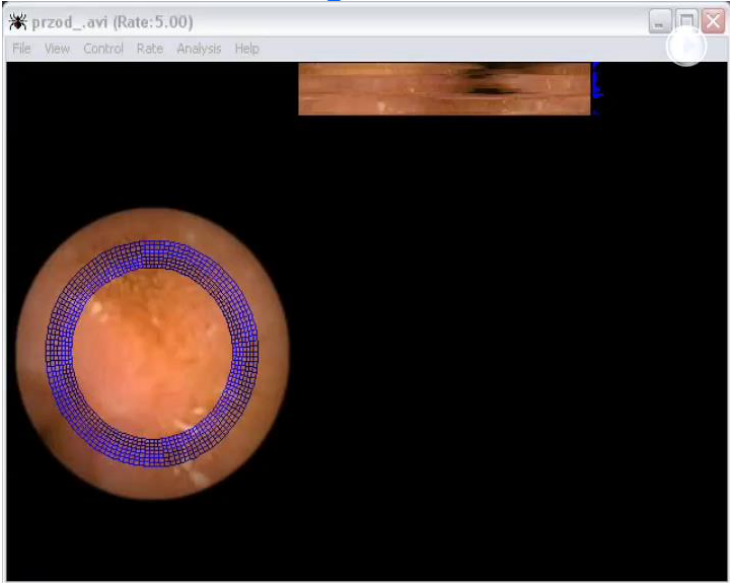
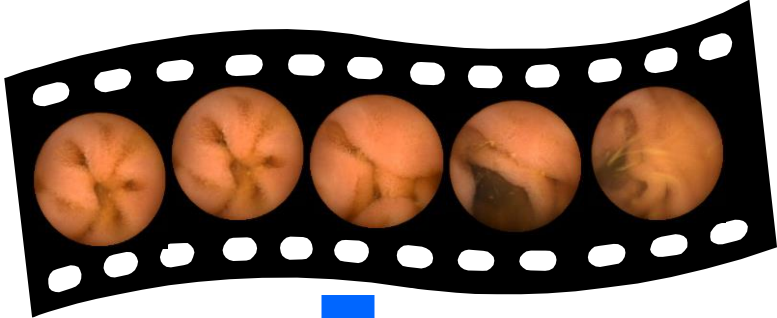
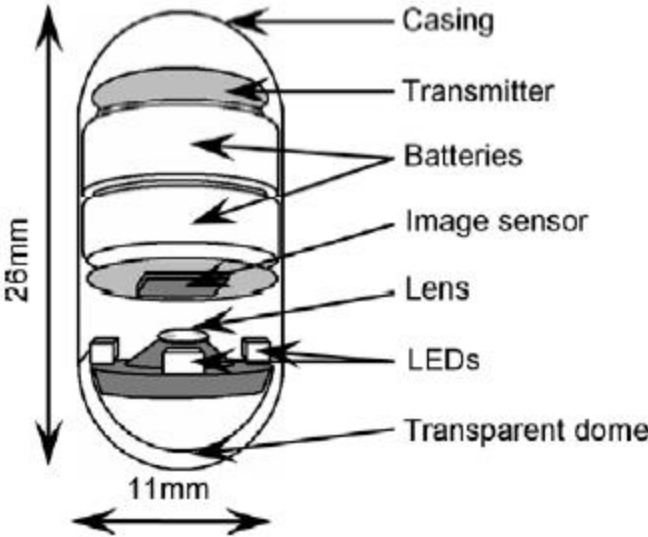
Laparoskopia:

usuwanie kamieni
żółciowych, polipów,
operacje stawów...





Kapsuła endoskopowa

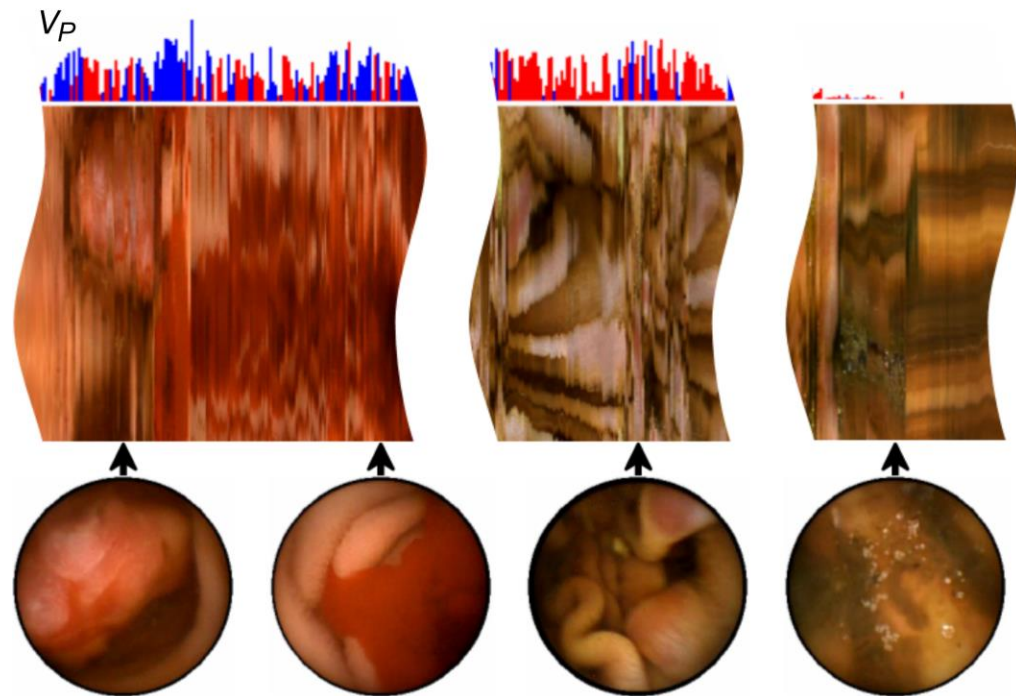


prof. Piotr Szczypiński, IE

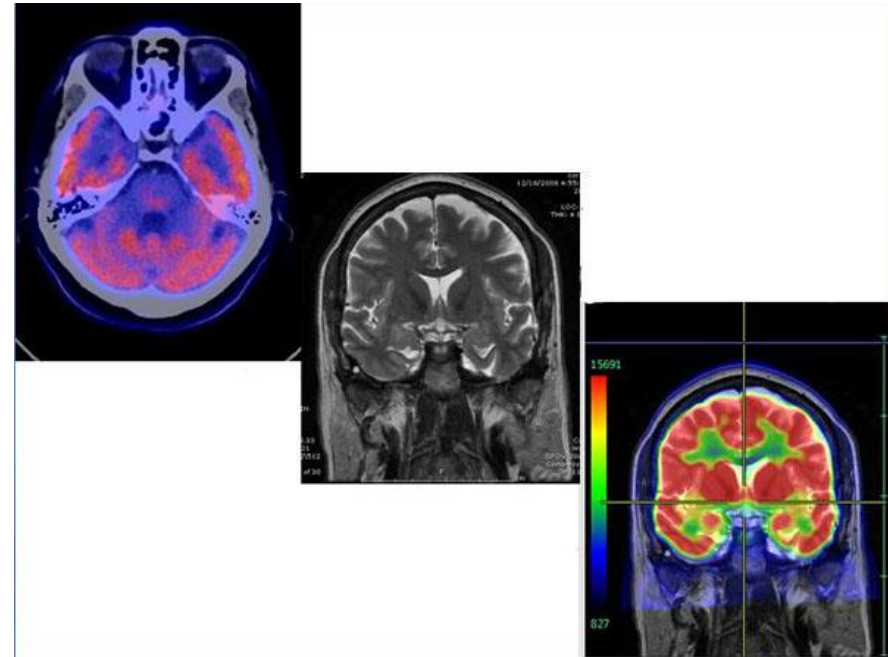
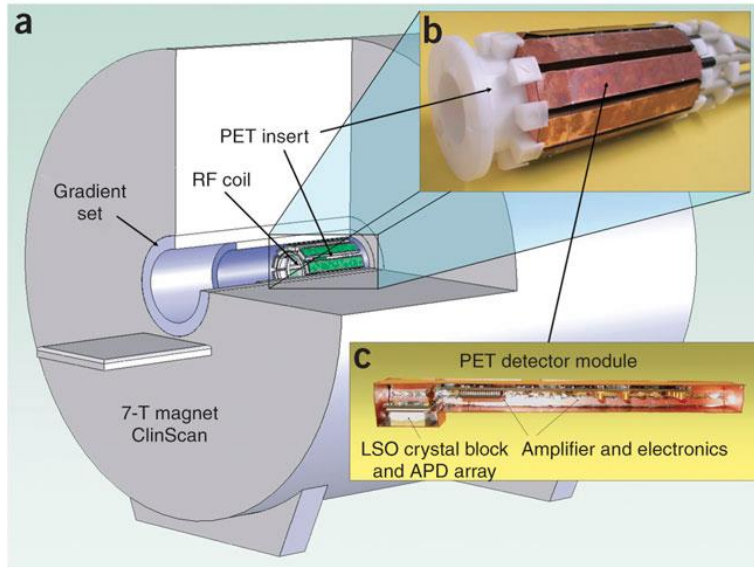
Analiza obrazów z kapsuły endoskopowej

Przykładowe patologie:

- wrzody (choroba Crohna)
- obszar krwawienia
- obszar zatrzymania się kapsuły



Fuzja obrazów: PET + MRI



Urządzenia łączące obrazowanie pozytonową tomografią emisyjną (PET) oraz rezonansem magnetycznym (MRI); badania wykonywane jednocześnie, obrazy dopasowywane bezpośrednio w urządzeniu

http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=K2hAcri-ZIE

<https://www.youtube.com/watch?v=r3TiTfMNLw8>

<https://www.youtube.com/watch?v=37f6OJDtrll>

Wprowadzenie do obrazowania medycznego