

Bo to najważniejsze...

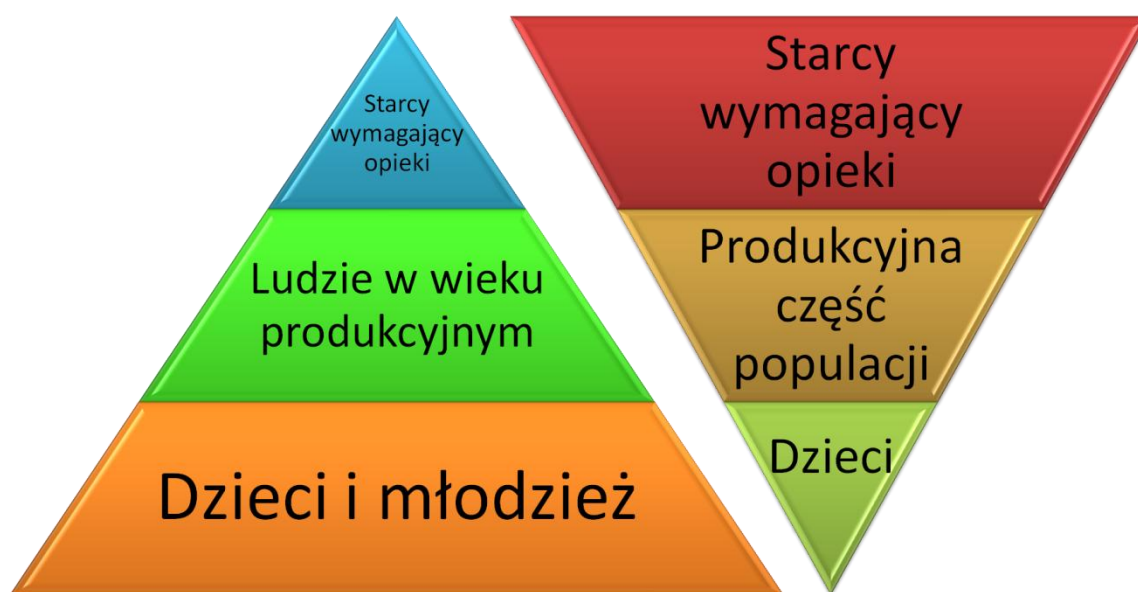
Ryszard Tadeusiewicz

1. Dlaczego inżynieria biomedyczna jest tak bardzo potrzebna?

Gdy składamy życzenia bliskiej osobie, komuś, kogo lubimy, cenimy i szanujemy – to nieodmiennie zaczynamy od życzeń dobrego zdrowia, dodając – jak w tytule tego wstępnego rozdziału – frazę „**bo to najważniejsze**”. Powtarzamy to jak mantrę. Nie da się ukryć, że często robimy to bezmyślnie – po prostu nie mając lepszego pomysłu na ciekawe i oryginalne życzenia. Ale wypowiadając ten wyświechtany frazes w istocie mówimy coś bardzo ważnego i bardzo prawdziwego. Bowiem rzeczywiście, zdrowie **jest** najważniejsze, zarówno w wymiarze indywidualnym, decydującym o ilości i jakości życia każdego konkretnego człowieka, jak i w wymiarze społecznym. To drugie też jest ważne dla każdego z nas, bo tylko zdrowe i biologicznie prężne społeczeństwa osiągają zamierzone cele, na przykład bogactwo i polityczne znaczenie. A czy ktoś chciałby należeć do społeczeństwa biedaków, w dodatku pozbawionych międzynarodowego prestiżu?!

1.1. Uwarunkowania demograficzne

Niestety łatwiej jest życzyć komuś zdrowia niż je praktycznie zagwarantować! Jest to trudne, a nawet coraz trudniejsze, zwłaszcza w sytuacji, gdy społeczeństwa wszystkich rozwiniętych krajów świata **dramatycznie się starzeją**. Do niedawna struktura wiekowa typowego społeczeństwa przypominała piramidę: najwięcej było dzieci i młodzieży, co formowało szeroką i stabilną podstawę piramidy, zaś im wyżej (to znaczy im starszą grupę wiekową rozpatrywaliśmy) – tym ludzi było mniej. Piramida się zwężała, bo ludzi w starszym wieku ubywało w następstwie chorób, wypadków, wojen, kataklizmów. Była to sytuacja w jakimś sensie naturalna (Rys. 1 – lewa strona).

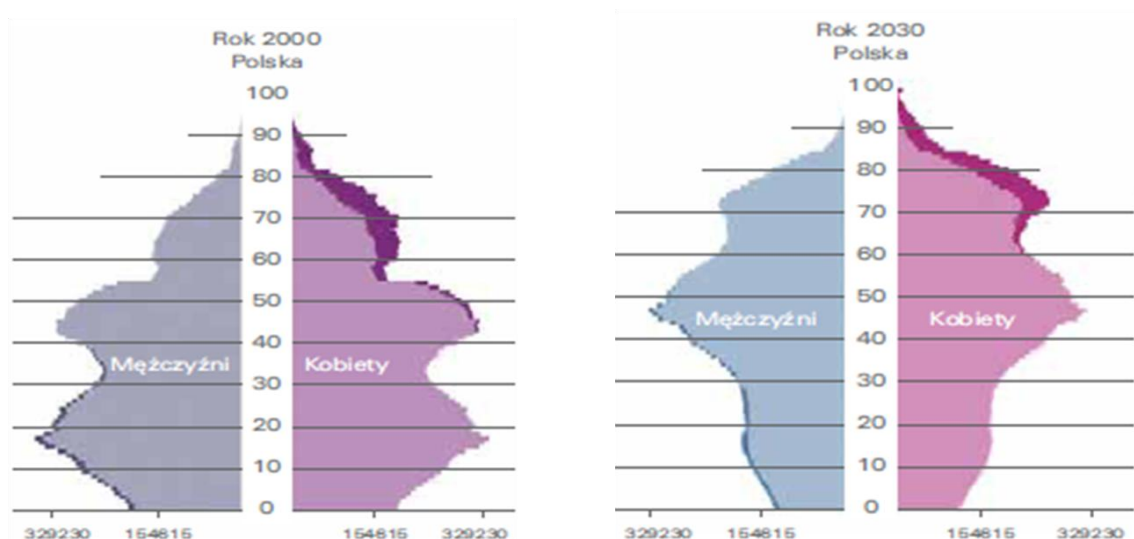


Rys. 1. Piramidy demograficzne – tradycyjna (po lewej stronie) oraz formująca się obecnie w krajach rozwiniętych (po stronie prawej)

W takim społeczeństwie, z szeroką bazą dzieci i młodzieży, liczba tych, którzy mogli otoczyć chorych opieką (czyli ludzi młodych i w średnim wieku) była znacząco większa, niż liczba tych, którzy tej opieki potrzebowali, bo z racji wieku częściej chorowali. Gdy na każdą osobę w wieku podeszłym przypadało kilku ludzi w tak zwanym wieku produkcyjnym i jeszcze więcej dzieci, statystycznie każdy chory i potrzebujący opieki miał spore szanse na to, że znajdzie kogoś, kto mu tej opieki udzieli.

Dziś jest jednak inaczej.

Dzisiejsze społeczeństwo pod względem demograficznym zaczyna niestety przypominać **odwróconą piramidę** (Rys. 1 po prawej stronie). Oczywiście ta „stojąca na wierzchołku” piramida to pewien skrót myślowy i metafora, ale popatrzmy na rysunek 2, zaczerpnięty z obszernego (397 stronic!) opracowania, przedstawionego w czerwcu 2009 roku przez Zespół Doradców Strategicznych Premiera Tuska. Opracowanie to, zatytułowane „Polska 2030”, którego głównym autorem jest minister Michał Boni, zawiera między innymi konkretne dane na temat struktury demograficznej w roku 2000 oraz przewidywanej w roku 2030. Czy nie przypomina to złowroźnie sunącej w górę odwróconej piramidy?

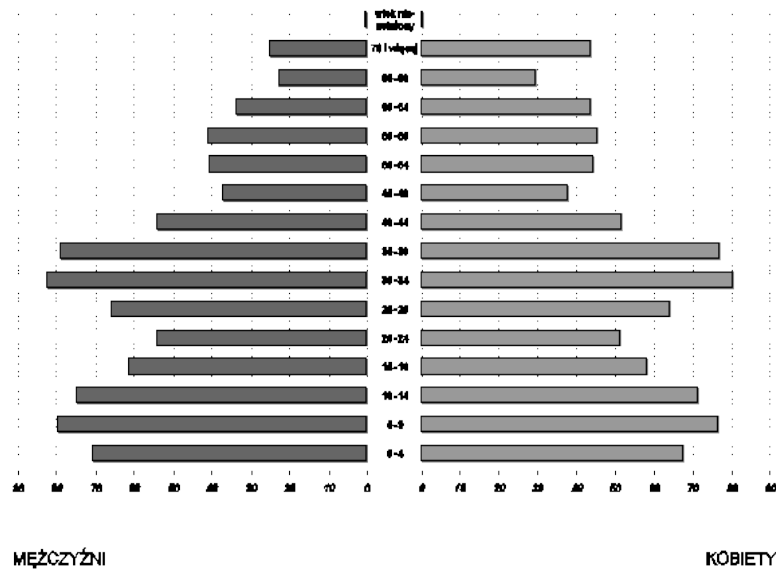


Rys. 2. Struktury wiekowe ludności Polski (aktualna i prognozowana) pokazują zagrożenie demograficzne, z którym będzie można się zmierzyć wyłącznie z wykorzystaniem możliwości stwarzanych przez Inżynierię Biomedyczną (źródło [1])

Warto dla porównania obejrzeć analogiczny wykres, który dotyczył 1988 roku (rys. 3). Na tamtym wykresie, który dzisiaj oglądamy z zazdrością, struktura prostej piramidy była bardzo wyraźna – i to była podstawa do optymizmu.

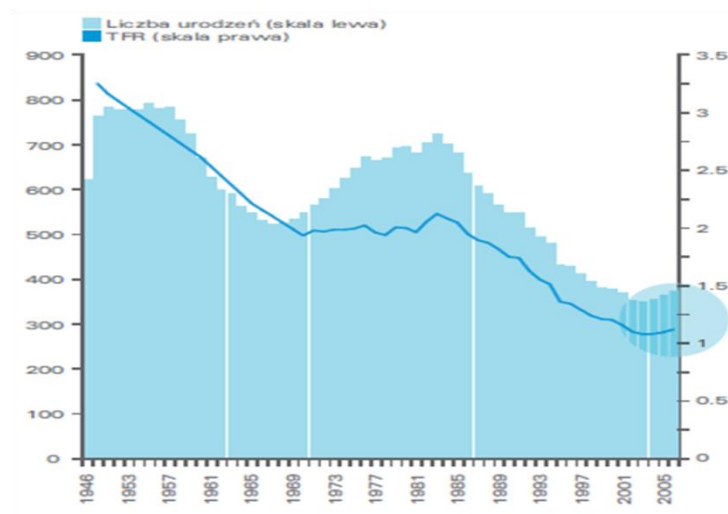
Dzisiaj ludzie żyją coraz dłużej. To oczywiście dobrze! Przyczyn jest wiele: żyje się łatwiej i wygodniej, potrzeby życiowe większości ludzi są dobrze zabezpieczone, mamy liczne, łatwo dostępne i skuteczne leki, opanowano wielkie epidemie, praca zawodowa coraz rzadziej wiąże się z niebezpieczeństwem utraty zdrowia czy życia, na szczęście nie trapią nas (w naszej części świata) mordercze wojny. Ludzie żyją więc dłużej.

Jednak dzieci rodzi się coraz mniej (patrz rys. 4). Przyczyn jest wiele i nie jest to właściwe miejsce, żeby je dokładnie analizować, jednak sam fakt (w ujęciu statystycznym) nie pozostawia wątpliwości: dzieci i młodzieży ubywa. Już teraz jest ich mniej, niż wymagających opieki i starców, a trend ten się nieustannie pogłębia!



Rys. 3. Struktura demograficzna Polski w 1988 roku ma jeszcze kształt typowej piramidy (z korzystnym poszerzeniem w obszarze ludzi w wieku produkcyjnym, co się wiąże z powojennym wyżem demograficznym). Spłaszczony wierzchołek piramidy wynika z wprowadzonej na szczycie zbiorczej kategorii wiekowej „70 i więcej”. Źródło: [2]

Można to zjawisko nazywać niżem demograficznym lub w dowolny inny sposób – ale fakty w dziedzinie opieki zdrowotnej są jednoznaczne: chorujących i potencjalnie zagrożonych chorobą jest coraz więcej, a mogących (i chcących...) udzielać pomocy **ubywa**.



Rys. 4. Dzieci w Polsce rodzi się coraz mniej. TRF to wskaźnik dzietności ogólnej. Źródło [1]

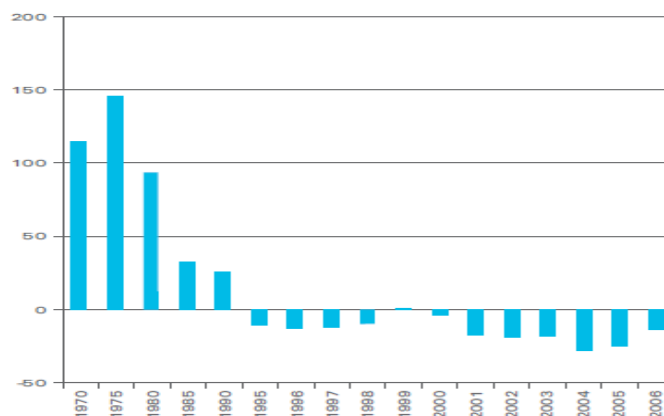
1.2. Uwarunkowania obyczajowe

Na opisany wyżej proces demograficzny nakłada się drugi, mający swoje źródło w obyczajowości. Mija moda na zintegrowane, wielopokoleniowe rodziny (Rys. 5 po lewej stronie), gdzie starcy mogli stale korzystać z opieki młodszych członków rodziny. Cechą wyróżniającą ludzi XXI wieku zaczyna być wszechobecna samotność (Rys. 5 po prawej stronie).



Rys. 5. Mija moda na zintegrowane, wielopokoleniowe rodziny, do niedawna typowe w naszym kraju, a obecnie spotykane głównie w krajach trzeciego świata. Obywatele rozwiniętych krajów najczęściej są samotni (wykorzystano obrazy dołączone jako ClipArt do programu Office 2007)

Od wielu lat rocznie w Polsce liczba rozwodów jest większa od liczby zawieranych małżeństw (Rys. 6), co pogłębia i utrwała wspomnianą wyżej atomizację społeczeństwa. W tej sytuacji, gdy zjawia się choroba lub związana z wiekiem niesprawność - nie ma możliwości oparcia się na pomocy krewnych czy znajomych, lecz musimy korzystać z usług instytucji medycznych. Coraz mniej wydolnych, niestety - chyba że je odpowiednio uzbroimy technicznie.



Rys. 6. Na wykresie pokazano różnicę pomiędzy liczbą małżeństw zawieranych w ciągu roku a liczbą rozwodów w tym samym czasie. Ujemne wartości wskazują, że rozwodów jest więcej... Źródło: [1].

1.3. Jaki to ma wpływ na potrzebę rozwoju Inżynierii Biomedycznej?

W warunkach, kiedy rośnie liczba osób potrzebujących opieki medycznej, a maleje liczba tych, którzy im tej opieki mogą udzielać, powstaje zagrożenie, że jakość opieki medycznej będzie się

nieustannie pogarszać. Wstępnym objawem tego procesu są wydłużające się kolejki ludzi oczekujących na poradę i pomoc medyczną (rys. 7).



Rys. 7. Wydłużające się kolejki pacjentów są nieuchronne – chyba że znacząco polepszy się „uzbrojenie techniczne” medycyny. (Dla realizacji tego fotomontażu wykorzystano obrazy dołączone jako ClipArt do programu Office 2007)

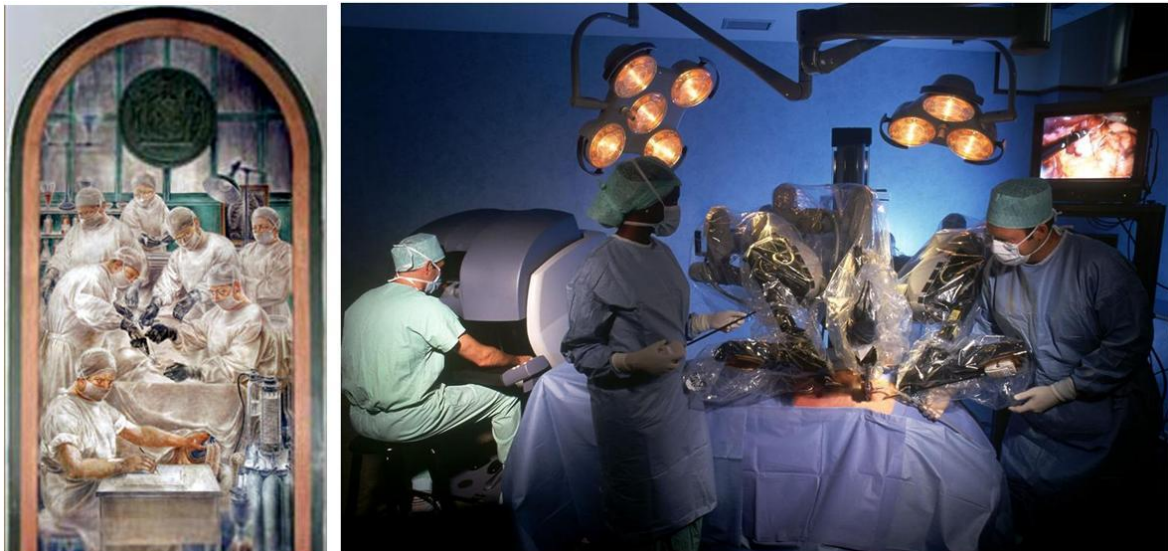
Jedynym rozwiązaniem może być coraz doskonalsze „uzbrojenie techniczne” medycyny (Rys. 8).



Rys. 8. Sala operacyjna dawniej i dzisiaj [5]

1.4. Wyposażenie techniczne medycyny i możliwość obsługi większej liczby pacjentów

Lekarz mający dostęp do najnowszej aparatury medycznej działa sprawniej, więc może otoczyć skuteczną opieką znacznie większą liczbę ludzi. Wynika to z faktu, że przy braku wyposażenia technicznego do realizacji określonego zadania medycznego, na przykład do przeprowadzenia operacji, musi zostać zaangażowane całe mnóstwo ludzi (Rys. 9 – lewa część). Natomiast przy zastosowaniu odpowiedniego wyposażenia – na przykład robota chirurgicznego – tę samą operację może wykonać zespół trzyosobowy, mający zresztą głównie funkcje kontrolne, a nie wykonawcze (Rys. 9 – prawa część). Co więcej, przy użyciu robota można operację wykonać znacznie szybciej. To nie są jakieś małe oszczędności: z informacji ustnych pozyskanych przez autora z lepiej lub gorzej wyposażonych technicznie szpitali w Polsce wynika, że taka sama operacja wykonywana klasycznie może trwać od dwóch do czterech godzin, natomiast w najnowocześniejszej wyposażonej sali operacyjnej sam zabieg trwa średnio... 12 minut (nie licząc czasu przygotowania pacjenta). Te liczby są całkiem pewne i zostały sprawdzone, ale nie można się tu powołać na źródło, bo zarówno ci informatorzy, którzy podawali długie czasy zabiegów, jak i ci, którzy mogli się poszczycić rekordowo szybką pracą – nie godzili się na ujawnienie ich tożsamości ani nawet nazwy szpitala.

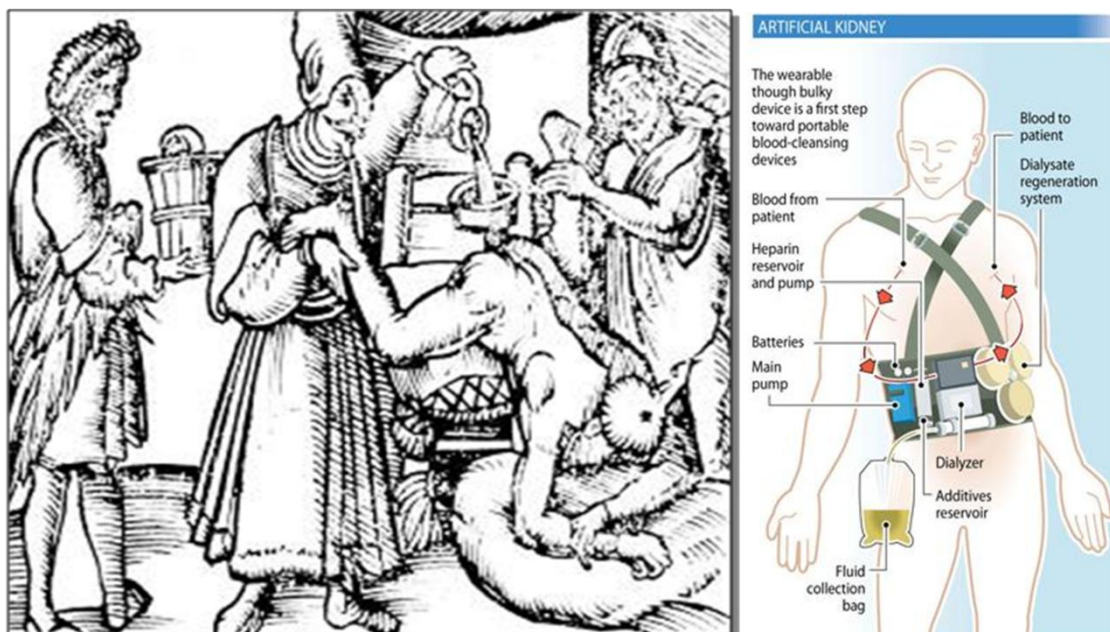


Rys. 9. Dzięki dobremu wyposażeniu technicznemu tę samą czynność (zabieg operacyjny) może wykonać znacznie mniejsza liczba ludzi w znacznie krótszym czasie (źródła obrazów [6] i [7])

Tymczasem nie ma w tym nic niezwykłego. Podobne procesy obserwujemy już od dawna w innych dziedzinach: Niewielka liczba fachowców w dobrze wyposażonej zautomatyzowanej fabryce produkuje więcej i lepiej, niż liczna i ofiarnie pracująca załoga źle wyposażonego zakładu produkcyjnego. Mały korpus zawodowych żołnierzy uzbrojonych w najnowsze typy inteligentnego sprzętu bojowego pokona wielokrotnie liczniejsze zastępy armii tradycyjnej, amatorskiej i źle uzbrojonej, choćby nawet najbardziej bohaterkiej. Nowoczesna farma hodowlana czy wyspecjalizowana w produkcji roślinnej wytworzy dużo żywności przy niewielkim wysiłku zatrudnionych pracowników, podczas gdy znoyny trud ogromnej liczby tradycyjnych rolników przynosi zwykle małe i niepewne plony. W taki sposób zmienia się cały współczesny świat i sfera ochrony zdrowia nie może tu być wydzieloną enklawą, w której obowiązują inne prawa.

1.5. Technika medyczna a jakość usług medycznych

Nie dość jednak na tym, że praca służby zdrowia może być szybsza i wydajniejsza dzięki odpowiedniemu wyposażeniu technicznemu. Lekarz mający dostęp do najnowszej aparatury medycznej nie tylko działa sprawniej i może otoczyć skuteczną opieką znacznie większą liczbę ludzi, ale dodatkowo **jakość** jego usług może być znacznie wyższa. Popatrzmy na rysunek 10. Pokazano na nim sposób „oczyszczania organizmu” stosowany w średniowieczu oraz (służący tym samym celom) przyszłościowy projekt sztucznej nerki, noszonej przez pacjenta w formie mało uciążliwego pasa. Takich przykładów rozwiązań nowoczesnej Inżynierii Biomedycznej, służących nie tylko zwiększeniu sprawności i skuteczności leczenia, ale także podniesieniu **komfortu** osoby poddawanej postępowaniu diagnostycznemu oraz terapii – jest bez liku.

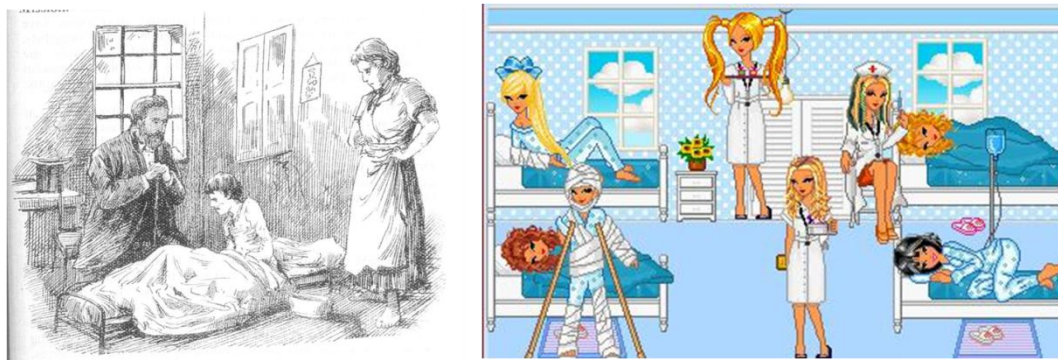


Rys. 10. Dawne i współczesne sposoby oczyszczania organizmu pacjenta z toksyn mocznicowych

To ostatnie jest także ważne, bo cechą znaną medycyny XXI wieku jest obok rosnącej liczby osób potrzebujących usług medycznych dodatkowo ogromny wzrost **jakościowych** oczekiwań i **wymagań** współczesnych pacjentów (Rys. 11). Możemy jeść byle co, ubierać się byle jak i mieszkać byle gdzie. Ale oczekujemy, że leczeni będziemy wyłącznie na najwyższym poziomie, z użyciem najbardziej wyszukanych środków i przy zastosowaniu najnowszej wiedzy. Ta tendencja wysokich (by nie powiedzieć – wygórowanych) wymagań społecznych w zakresie służby zdrowia – będzie się niewątpliwie nasilała.

Wszystkie inne potrzeby i aspiracje ludzi mają bowiem swój naturalny kres górny, cechuje je więc **nasycenie**. Zjeść można tylko ograniczoną ilość pożywienia, wypić także określoną ilość rozmaitych trunków (choć w tym zakresie niektórzy studenci osiągają wyniki na poziomie mistrzostwa świata...), ubrań potrzebujemy obiektywnie także raczej niewiele, bo nie założymy równocześnie dwóch par butów ani dwóch koszul (powiedźcie to niektórym Paniom...), mieszkanie można też tylko jedno zajmować w danym momencie czasu – i tak dalej. Natomiast usług medycznych, co do których wierzymy, że będą nas uwalniały od chorób, cierpień i śmierci, wymagamy wciąż więcej i więcej.

Dodatkowo żądamy tych usług wciąż lepszych i lepszych, a nie widać żadnego czynnika (poza ekonomicznym), który mógłby tę eskalację oczekiwań ograniczyć.



Rys. 11. Jeszcze sto lat temu całkowicie nie przywiązywano wagi do jakości warunków, w jakich wegetowali pacjenci w szpitalach (lewy rysunek). Dziś wymagania jakościowe dotyczące leczenia niepomniernie wzrosły (co umownie przedstawiono na prawym rysunku). Przy sporządzaniu tego montażu wykorzystano rysunki udostępnione na stronach [3] i [4]

Weźmy pod uwagę protezy. Utrata kończyny zdarzała się ludziom także dawniej, jednak to, czym zastępowano w przeszłości utracone kończyny (by wspomnieć tylko haki zastępujące dłonie spopularyzowane przez historie o piratach Rys. 12.) przekształciło się obecnie w wyrafinowane systemy protetyczne. Współczesne protezy to precyzyjne urządzenia mechaniczne z zaawansowanym sterowaniem elektronicznym, odbierającym sygnały wprost z systemu nerwowego człowieka!



Rys. 12. Dawne i obecne protezy ręki (wykorzystano obrazy ze stron [9] i [10])

Inżynieria biomedyczna nie poprzestaje przy tym na samym tylko odtworzeniu funkcji utraconej kończyny, ale wiąże się dodatkowo z tak perfekcyjnym kamuflażem estetycznym, że odtwarzany jest nie tylko naturalny odcień skóry pacjenta, ale nawet włosy porastające zdrową rękę (rys. 13)!

Tak więc inżynieria biomedyczna ma kluczową rolę przy zaspokajaniu rosnących ilościowo i jakościowo wymagań społeczeństwa odnoszących się do służby zdrowia i usług medycznych. Warto

uświadomić sobie, że jest to zjawisko stosunkowo nowe, co spróbujemy dodatkowo naświetlić w kolejnym podrozdziale.

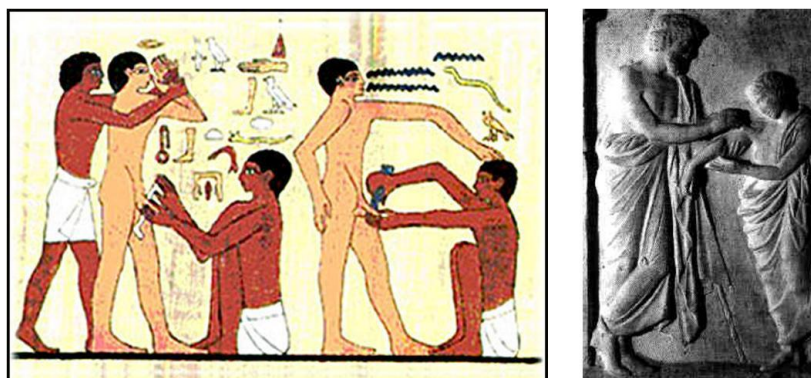


Rys. 13. Proteza dłoni niedostrzegalna dla osób postronnych [8]

1.6. Wymagania stawiane medycynie dawniej i dziś

Aby rozwinąć myśl wyrażoną w ostatnim akapicie poprzedniego podrozdziału sięgniemy (w sposób bardzo skrótowy i powierzchowny) do historii medycyny, pokazując, czym różni się ilościowo i jakościowo nastawienie społeczne do medycyny w XXI wieku od analogicznego stosunku we wcześniejszych stuleciach.

Dawniej społeczeństwu wystarczało stosunkowo niewielu lekarzy, bo z pomocy lekarskiej korzystali nieliczni. W dodatku ich wymagania i oczekiwania w stosunku do lekarzy i personelu medycznego były (w porównaniu ze współczesnymi) bardzo ograniczone. Pozostawmy na uboczu starożytność, która rządziła się odrębnymi prawami (rys. 14), a także pomińmy chwilowo Daleki Wschód, gdzie praktyki (i wyniki!) tradycyjnej chińskiej medycyny nawet dziś wprawiają w zdumienie lekarzy Zachodu (Rys. 15).



Rys. 14. Starożytni cenili i rozwijali medycynę. Zarówno Egipcjanie, jak i (później) Grecy stworzyli podstawy tej medycyny, która funkcjonuje do dziś. Niewiele jednak wnieśli do jej technicznego uzbrojenia. Na rysunku wykorzystano obrazy ze źródeł [11] i [12]



Rys. 15. Medycyna Chińska stosowała różne metody nieznanne medycynie europejskiej, jednak nie były to metody wykorzystujące urządzenia techniczne – jeśli pominąć igły do akupunktury [13]

Skupmy się na przykładzie średniowiecznej Europy (Rys. 16). W tym okresie stosunek ludzi do choroby, cierpienia i śmierci był wyraźnie odmienny niż dziś. Wprawdzie nie wszyscy posuwali się tak daleko, żeby uznawać chorobę za zasłużoną karę za grzechy i potępiać wszelkie praktyki medyczne jako próbę sprzeciwiania się Woli Bożej – ale cierpliwość dawnych społeczeństw w stosunku do chorób i ich objawów była nieporównanie większa, niż dziś. Pochodną takiego cierpliwego i fatalistycznego nastawienia było też bardzo ograniczone zapotrzebowanie społeczne na usługi lekarskie.



Rys. 16. Lekarz w średniowieczu. Ptasia maska na twarzy miała go chronić od zarazy [14]

Sztuka medyczna nie stała zresztą wtedy zbyt wysoko. Na wsiach działali znachorzy, w miastach cyrulicy, łączący zawód chirurga z funkcją... fryzjera (Rys. 17), zaś nieliczni lekarze z prawdziwego zdarzenia działali prawie wyłącznie na dworach – i to na dworach władców wyższego szczebla. Natomiast rządzący niższego szczebla, na przykład siedzący w obronnym zamku kasztelan lub rezydujący w wiejskim dworze „szeregowy szlachcic” - korzystali z tych samych możliwości medycznych, jakie mieli do dyspozycji mieszczaństwo lub chłopi, to znaczy w razie potrzeby wzywali znachora albo cyrulika.



Rys. 17. W średniowieczu cyrulik pełnił zarówno funkcje chirurga, jak i fryzjera [15]

Oczywiście ci rządzący (nawet niskiego szczebla) byli w jakiś sposób wyróżnieni w stosunku do zwykłego kmiecia czy mieszczanina. Do przedstawicieli prostego ludu znachor albo cyrulik przybywał bowiem z godnością, niespiesznie, często wymagając tego, żeby to pacjent przyszedł do niego, a nie odwrotnie (skąd my to znamy?). Natomiast na „zaproszenie” kasztelana albo wiejskiego dziedzica taki medyczny pomocnik spieszył pilnie i skwapliwie, porzucając w razie potrzeby inne obowiązki. Czynił tak, ponieważ nieraz się zdarzało, iż zniecierpliwiony szlachcic, nie mogąc się doczekać na cyrulika, wysyłał po niego swoich pacholców, którzy porywali nieszczęsnego chirurga do wora, zarzucali na koński grzbiet jak pakunek i pędem przywozili do dworu swego pana. W takich warunkach medyk docierał do celu mocno potłuczony i pokiereszowany. Zniechęcony taką przymusową pospieszną podróżą następnym razem wołał się spieszyć na swój własny sposób... Mówiąc żartem można powiedzieć, że tak w dawnych czasach działało pogotowie ratunkowe, więc dzisiejsi pracownicy ratownictwa medycznego nie powinni tak bardzo narzekać, jak to czynią obecnie.

Żarty żartami, ale stwierdzić trzeba, że nawet tych częściowo tylko wykwalifikowanych medyków było w średniowiecznych społeczeństwach bardzo niewiele. W dodatku do ciężko chorego wzywano czasem specjalistę z odległego miejsca, a środki komunikacji (nawet jeśli miały formę ozdobnej karety) nie były zbyt szybkie. W rezultacie podróż medyka trwała bardzo długo, tak długo, że gdy przybywał on do pacjenta, to ten często zdążył sam wyzdrowieć (lub umrzeć). Ale że za trud

przyjeżdżającego specjalisty trzeba było i tak sownie zapłacić - nie zachęcało to do zbyt częstego korzystania z pomocy lekarskiej.

W miastach istniały wprawdzie szpitale, prowadzone głównie przez zakony lub inne instytucje kościelne, jednak miały one głównie charakter opiekuńczy. Dbano w nich o to, żeby chorzy mieli co jeść i mogli w miarę wygodnie leżeć w trakcie choroby, pomagano im zachować czystość, opatrywano rany, wykonywano czasem proste zabiegi chirurgiczne itp. Natomiast zaawansowana pomoc medyczna nie była w tych szpitalach świadczona, bo „kadre” stanowili głównie – jak wspomniano – zakonnicy (płci obojga) działający z pobudek humanitarnych, szlachetni, gotowi do poświęceń, ale rzadko mający kwalifikacje medyczne. W dodatku mimo wysiłków personelu warunki w tych szpitalach były takie, że wielu pacjentów wolało umrzeć w domu niż szukać pomocy medycznej (problematicznej jakości) w szpitalu (Rys. 18). Tak więc i tutaj warunki opieki zdrowotnej były zdecydowanie odmienne od dzisiejszych standardów.



Rys. 18. Średniowieczny szpital daleko odbiegał od tego, co dziś kojarzymy z tą nazwą [16]

Sytuacja pozornie uprzywilejowanych możnowładców, którzy mieli medyka pod ręką o każdej porze dnia i nocy (Rys. 19) - też nie była godna pozazdroszczenia. Żeby obsłużyć króla albo księcia i jego najbliższą rodzinę lekarz mógł (i musiał) poprzestawać na świadectwie własnych zmysłów (jako na głównym źródle informacji diagnostycznej) oraz na kilku nieskomplikowanych procedurach terapeutycznych, głównie polegających na stosowaniu tak zwanej „driakwi” o problematycznej skuteczności oraz zabiegów typu upuszczania krwi, które często bardziej szkodziły, niż pomagały pacjentom. Niemniej faktem jest, że stała obecność lekarza na dworze znacząco zwiększała poziom bezpieczeństwa medycznego króla, jego rodziny, a także dworzan i członków drużyny rycerskiej, bo większość władców wspaniałomyślnie pozwalała swym medykom świadczyć usługi także i dla osób z najbliższego otoczenia władcy.

Gdyby jednak dobry król zdecydował, że jego nadworny lekarz ma leczyć także całe miasto – to takie zadanie bez dodatkowego wyposażenia lekarza w techniczne narzędzia byłoby niewykonalne. Żeby zapewnić pomoc lekarską **wszystkim** – trzeba sięgnąć do możliwości, jakie daje współczesna technika.



Rys. 19. Możliwością wyższego szczebla (królowie, książęta) mieli do swojej dyspozycji ekipy medyków, których działania jednak nie zawsze były skuteczne [17].

2. Rola techniki we współczesnej medycynie

Współczesny lekarz może sprostać konieczności służenia ogromnej liczbie ludzi swoją wiedzą i sztuką medyczną właśnie dlatego, że dysponuje bogatym wyposażeniem technicznym.

Raz jeszcze warto w tym miejscu sięgnąć do analogii, tym razem z budownictwem. Gdy ludzie budowali niewielkie budynki i budowali ich niezbyt wiele, to mogli posługiwać się głównie siłą swoich mięśni i zręcznością swoich rąk. Jednak gdy zaczęli wznosić wielkie budowle, a zwłaszcza gdy zaczęli ich budować bardzo dużo i bardzo szybko (bo niecierpliwi inwestorzy wymagali, żeby zamawiane domy powstawały w dużym tempie), to same ręce, nawet najzręczniejsze, przestały wystarczać. Konieczne stały się koparki, dźwigi, spychacze i inne maszyny. Są one normą na współczesnym placu budowy.

Zauważmy jednak, że te maszyny same nie budują, bo to człowiek decyduje o tym, gdzie powstanie dom i jak on będzie wyglądał. Ale maszyny są tu nieodzowne, bo to one właśnie niestłuchanie usprawniają i przyspieszają każdy proces budowy. Bez wykorzystania tych maszyn większość nowoczesnych budowli po prostu nie miałaby szans powstania.

Myśląc o inżynierii biomedycznej i jej twórcach miejmy więc w pamięci tę analogię, zwłaszcza gdy słyszymy czasem frazesy tak zwanych humanistów, biadających nad rzekomą dehumanizacją medycyny, która ich zdaniem ma mieć miejsce w związku z postępującym nasyceniem medycyny twórcami techniki. Tymczasem produkty inżynierii biomedycznej, czyli te urządzenia techniczne i programy komputerowe, które pomagają lekarzom skuteczniej służyć większej liczbie pacjentów, **wyłącznie zwiększają sprawność ich pracy**. O żadnej dehumanizacji nie ma mowy, bo to lekarz ma każdorazowo decydujące zdanie w sprawie diagnozy, to lekarz ustala terapię, to lekarz podejmuje wszystkie istotne decyzje. Maszyny mu w tym pomagają jak tylko mogą, ale tak jak dźwig nie przesądza o kształcie domu, który pomaga wznosić, tak system elektroniczny wspomagający lekarza nie przesądza o tym, jak (i z jakim skutkiem!) leczony będzie pacjent.

Z powodów, które omówiliśmy wcześniej, lekarze potrzebują i będą potrzebować coraz doskonalszych narzędzi, a inżynieria biomedyczna służy do tego, żeby im zagwarantować dostęp do stosownych narzędzi. Spróbujmy teraz przedyskutować, jakie to są narzędzia, wytyczając równocześnie i konkretnie nazywając pewne podobszary w rozległej dziedzinie inżynierii biomedycznej, która ciągle jeszcze jest w pionierskim okresie swego rozwoju.

3. Jakie zadania pełni inżynieria biomedyczna?

3.1. Całościowy rzut oka

W książce, której wstęp stanowi ten właśnie rozdział, omawianych będzie mnóstwo różnych składników, tworzących łącznie jakiś obraz (trochę subiektywny i niepełny, ale z pewnością bogaty) współczesnej inżynierii biomedycznej. Gdy jednak przejdziemy do szczegółowych informacji zawartych w następnych rozdziałach, to ogromna liczba rozmaitych szczegółowych problemów, jakie będziesz poznawał, może utrudnić orientację w całości. Dzieje się to na podobnej zasadzie, jak to, że spoza drzew nie widać lasu. Dlatego zanim przejdziemy do tych wszystkich szczegółów – spróbujmy w tym podrozdziale spojrzeć na całość inżynierii biomedycznej niejako z lotu ptaka.

Co dostrzegamy?

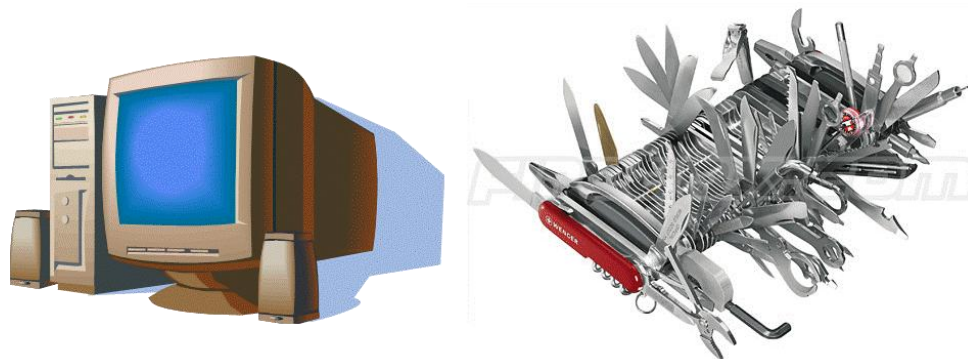
W pierwszej kolejności podział tworzonej aparatury na cztery (umowne) kategorie:

- urządzenia diagnostyczne, pomagające zdobyć informację o naturze choroby
- urządzenia terapeutyczne, pomagające przezwyciężyć chorobę lub ograniczyć jej skutki
- urządzenia protetyczne, zastępujące funkcje utraconych organów lub ich części
- systemy informatyczne, pozwalające lepiej organizować i prowadzić proces opieki zdrowotnej

Takie właśnie cztery części wyróżniono w treści tego podręcznika.

Po drugie we współczesnej inżynierii biomedycznej przemożną rolę odgrywają komputery. Dzieje się tak z tego powodu, że komputer może być bardziej wielozadaniowy, niż szwajcarski scyzoryk (Rys. 20). Dzieje się tak – jak ogólnie wiadomo – dzięki oprogramowaniu, które potrafi zamienić uniwersalne narzędzie (jakim komputer jest „sam z siebie”) w narzędzie specjalizowane, przystosowane do realizacji różnych szczegółowych celów. Stwierdziwszy ten fakt i odnotowawszy w ten sposób wszechobecność i onnipotencję komputerów w urządzeniach i systemach związanych

ze współczesną inżynierią biomedyczną – nie będziemy temu zagadnieniu poświęcali odrębnej uwagi w dalszej treści książki. Potraktujemy komputery jak powietrze: konieczne do życia, ale niewidoczne i nie przyciągające zazwyczaj szczegółowej uwagi. Dodatkowe informacje na temat roli komputerów zawiera czwarta część książki zatytułowana zbiorczo „Informatyka medyczna”.



Rys. 20. Komputer – także stosowany w inżynierii biomedycznej - może być bardziej wielozadaniowy, niż szwajcarski szczyrzyk! [18]

Omówimy teraz krótko poszczególne grupy wymienionych wyżej urządzeń, żeby potem, gdy będziemy poznawać szczegóły ich budowy, lepiej się w tym wszystkim orientować.

3.2. Urządzenia diagnostyczne

3.2.1. Potrzeby w zakresie technicznego wspomagania diagnostyki medycznej i ich uwarunkowania

Dokonując syntetycznego przeglądu osiągnięć Inżynierii Biomedycznej w pierwszej kolejności napotkamy ogromną liczbę różnych **urządzeń diagnostycznych**. Jest im poświęcona pierwsza, najobszerniejsza część przedstawianej tu książki. Jest ona tak obszerna, bo - jak się okazuje - dla twórców systemów technicznych szczególnie urok mają te z nich, które zbierają informacje o pacjentach, analizują je i przedstawiają lekarzom w formie nadającej się do wygodnego podejmowania decyzji. Przypomnijmy tym, którzy tego potrzebują, że diagnoza jest rozpoznaniem natury problemu zdrowotnego, z jakim zmagają się organizm pacjenta, któremu chcemy udzielić pomocy. Mówiąc w uproszczeniu chodzi o to, żeby ustalić, który z narządów jest objęty chorobą oraz na czym ta choroba polega. Postawienie prawidłowej diagnozy jest kluczem do skutecznego leczenia. Dawniej lekarz stawiał diagnozę po uważnej obserwacji pacjenta na podstawie wywiadu („*co panu dolega?*”) czyli badania podmiotowego i badania przedmiotowego (oglądanie, opukiwanie, osłuchiwanie). Wymagało to dużej wiedzy i intuicji lekarza, a w dodatku często pozwalało ustalić diagnozę dopiero po długiej obserwacji. Często zresztą na skutek braku dostępu do szeregu ważnych informacji (zwłaszcza możliwości zajrzenia do wnętrza ciała pacjenta) lekarz stawiał błędną diagnozę, co kończyło się zwykle nieskutecznym leczeniem.

Dzisiaj dla postawienia diagnozy używa się także tych klasycznych elementów jak badania podmiotowe i przedmiotowe, ale coraz większą rolę odgrywają obecnie badania dodatkowe (wykonywane z wykorzystaniem techniki - obrazowe, laboratoryjne). Wymagają one wielu skomplikowanych aparatów wytworzonych przez inżynierię biomedyczną, ale dzięki temu podjęcie decyzji diagnostycznej może być znacznie szybsze, a odsetek błędów diagnostycznych jest znacząco mniejszy. Lekarze bardzo tego potrzebują, ponieważ w warunkach opisanego wyżej nacisku ilościowego i jakościowego (coraz większej liczby pacjentów wymagających opieki, którzy mają coraz wyższe wymagania), aby sprostać oczekiwaniom, muszą przede wszystkim stawiać szybkie i trafne diagnozy (Rys. 21).



Rys. 21. Urządzenia diagnostyczne pozwalają obiektywnie ustalić istotę choroby

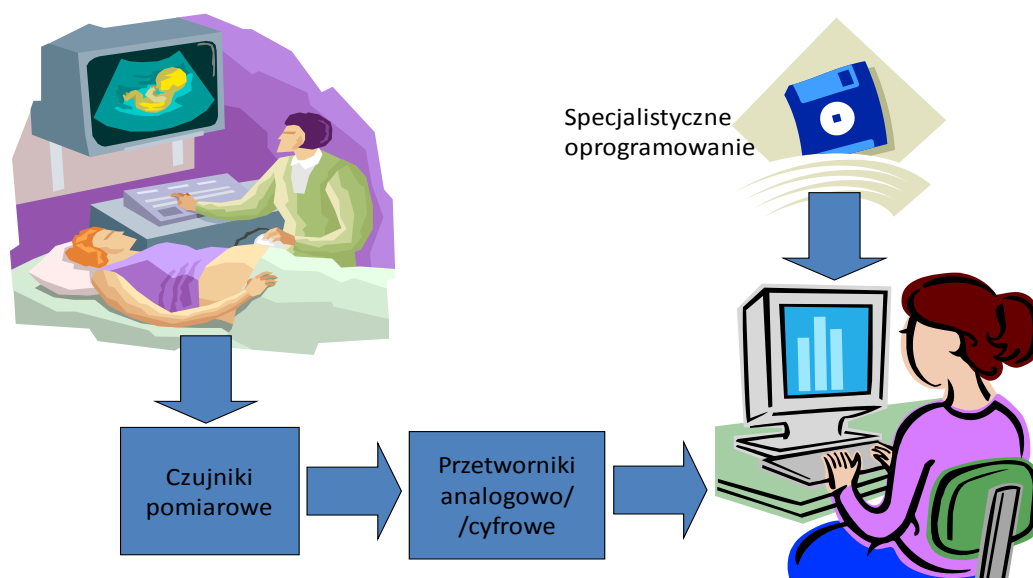
Inżynieria biomedyczna oferuje coraz doskonalsze narzędzia, dzięki którym lekarz współczesny jest w nieporównanie lepszej sytuacji niż jego kolega kilkadziesiąt lat temu, ponieważ do stawiania diagnoz może wykorzystywać rozmaite sygnały powstające w czasie normalnego funkcjonowania żywego organizmu. Studiując zawartość książki poznamy wiele takich sygnałów i wiele urządzeń pozwalających na ich wykorzystanie. Zanim to jednak nastąpi wyjaśnijmy sobie w sposób ogólny, czym są te **sygnały diagnostyczne** i jaka jest rola urządzeń tworzonych przez inżynierię biomedyczną w kontekście korzystania z tych sygnałów?

3.2.2. Sygnały diagnostyczne

Organizm człowieka jest niestychanie skomplikowanym systemem, złożonym z wielu współdziałających ze sobą elementów składowych (narządów), które z kolei zbudowane są ze zróżnicowanych tkanek utworzonych przez miliardy współdziałających ze sobą komórek. Funkcjonowanie narządów, tkanek i komórek polega na tym, że zachodzą w nich miliony chemicznych i fizycznych procesów składających się na tajemnicze i fascynujące zjawisko życia. Procesom tym towarzyszą różne sygnały, ponieważ każdy proces w jakiś sposób manifestuje swoje istnienie. Ponieważ wspomniane sygnały związane są z funkcjonowaniem żywych komórek, tkanek i całych narządów, dlatego w sygnałach tych zawarta jest informacja o tym, **jak** te struktury biologiczne funkcjonują. Zwykle jest tak, że gdy wszystkie procesy w komórkach, narządach i tkankach przebiegają w sposób prawidłowy i naturalny (co odpowiada stanowi pełnego zdrowia), to sygnały temu towarzyszące mają pewną postać, którą znamy i potrafimy rozpoznać, bo została ona zbadana i opisana u bardzo wielu zdrowych osób. Jeśli jednak narząd jest chory to jego tkanki są niewłaściwie uformowane lub nieprawidłowo działają. Generowane przez nie sygnały są wtedy **odmienne** od tych, które znamy dla stanu pełnego zdrowia. Aparatura rejestrująca te sygnały może wykryć fakt, że są one inne, niż u zdrowego człowieka, może na tej podstawie wykryć chorobę, a nawet może wskazać rodzaj choroby oraz (jeśli to ma zastosowanie) zlokalizować jej źródło (Rys. 22).

Posłużmy się przykładem skurczu mięśnia. Ten proces biologiczny, będący u podstawy wszystkich naszych świadomych i nieświadomych działań, skojarzony jest głównie z procesami mechanicznymi, więc oczekujemy, że **sygnały mechaniczne** będą szczególnie przydatne do oceny pracy mięśnia, a przez to jego stanu i zdrowia. Mięsień kurcząc się wytwarza **siłę**, która jest pierwszym możliwym do obserwacji sygnałem mechanicznym. Jeśli zmierzmy ten sygnał za pomocą odpowiedniej aparatury, to możemy pomóc lekarzowi w rozpoznaniu niektórych chorób – na przykład *miastenii*, choroby

objawiającej się osłabieniem działania mięśni. Siła, a także stopień skrócenia mięśnia podczas jego skurczu, są sygnałami mechanicznymi **bezpośrednimi**, to znaczy takimi, które odnoszą się wprost do badanego narządu. Sygnały bezpośrednie bywają jednak często trudne do bezpośredniego pomiaru, dlatego często korzysta się z różnych **sygnałów pośrednich**, związanych z badanym narządem, ale niekoniecznie w nim samym powstających.



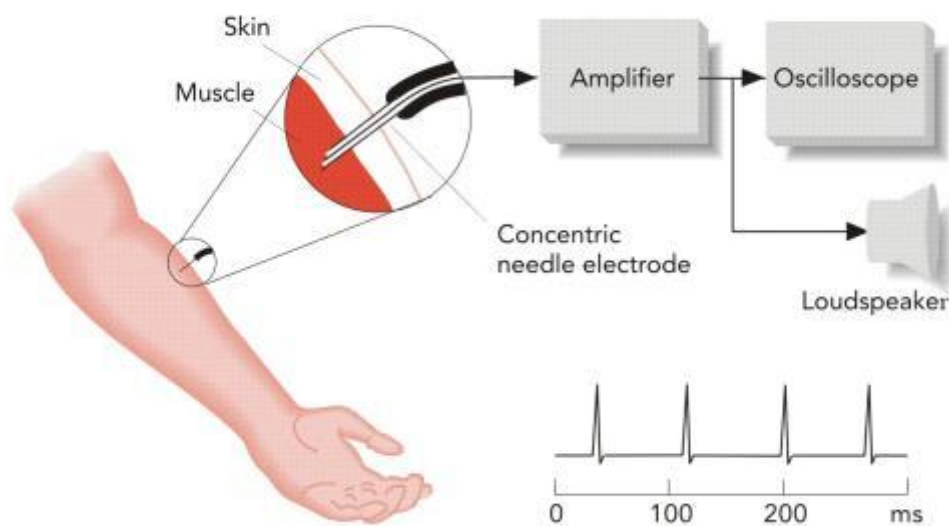
Rys. 22. Typowa konfiguracja aparatury do zbierania sygnałów diagnostycznych

Przykładowo można wykorzystać fakt, że pod wpływem siły mięśnia jakiś element naszego ciała (na przykład ręka) się przemieszcza. To **przemieszczenie** to także sygnał. Można je obserwować gołym okiem, ale jeśli je dokładnie zarejestrujemy i poddamy analizie – to także może to być pożyteczna przesłanka dla oceny stanu mięśnia, który ten ruch wywołał, ale także diagnozy jakiejś nieprawidłowości w zakresie antropomotoryki (ruchliwości ciała człowieka) i ewentualnie także dla ustalenia niezbędnej rehabilitacji ruchowej.

Dla dokładnej analizy ruchu kończyny pod wpływem pracy mięśnia samo **przemieszczenie** może nie wystarczyć, ale odpowiednia aparatura biomedyczna może wyznaczyć także **szybkość** ruchu oraz **przyspieszenie**. To kolejne użyteczne sygnały. Jako ciekawostkę można tu przytoczyć fakt, że przyspieszenia ręki podczas pisania odręcznego są cechą indywidualną każdego człowieka i pozwalają go zidentyfikować znacznie lepiej, niż kształt pisanych liter, który zręczny fałszerz potrafi podrobić. Dlatego identyfikując właściciela konta o bardzo dużej (wielomilionowej!) wartości, banki korzystają ze specjalnych pisaków z wbudowanymi miernikami przyspieszenia, którymi trzeba się posłużyć podczas składania podpisu dla całkowitej pewności, że wydający dyspozycję wypłaty jest naprawdę właścicielem dysponowanych pieniędzy.

Wróćmy jednak do sygnałów, jakie możemy zebrać podczas obserwacji kurczącego się mięśnia. Pod wpływem rozwijanej siły w samym mięśniu, a także w elementach, które mu towarzyszą (ścięgnach), powstają **naprężenia**. Jeśli się zmierzy specjalnym przyrządem albo obliczy z pomocą komputera to można je także potraktować jako sygnał diagnostyczny - na przykład określając na ich podstawie właściwości ścięgien i ich przyczepów do kości.

Zasadniczym przeznaczeniem mięśnia jest wytwarzanie pracy mechanicznej, więc wyżej opisane sygnały mechaniczne (siły, przyspieszenia, naprężenia itd.) są najwłaściwszymi sygnałami diagnostycznymi, z użyciem których można oceniać, czy mięsień jest zdrowy, czy chory. Jednak w wielu wypadkach te sygnały mechaniczne są trudne do bezpośredniego pomiaru u żywego pacjenta, bo mięśnie często tworzą wielowarstwowe struktury (na przykład w łydce) i trudno jest uzyskać wyraźny sygnał mechaniczny od jednego z nich, jako że ruch kończyny następuje pod wpływem siły wypadkowej, będącej skutkiem równoczesnego działania wielu mięśni. Z tego powodu, a także ze względu na łatwość i wygodę pomiaru takiego sygnału, do badania mięśni używa się sygnałów **bioelektrycznych**. Komórki mięśnia kurcząc się wytwarzają – poza siłą, o której była wyżej mowa – dodatkowo także zmienne napięcie elektryczne (Rys. 23). O szczegółach powstawania i rejestracji tych potencjałów będzie mowa w odpowiednich rozdziałach tej książki, teraz warto tylko odnotować sam fakt ich istnienia – oraz możliwość wykorzystania tego faktu przy budowie odpowiedniej aparatury medycznej.



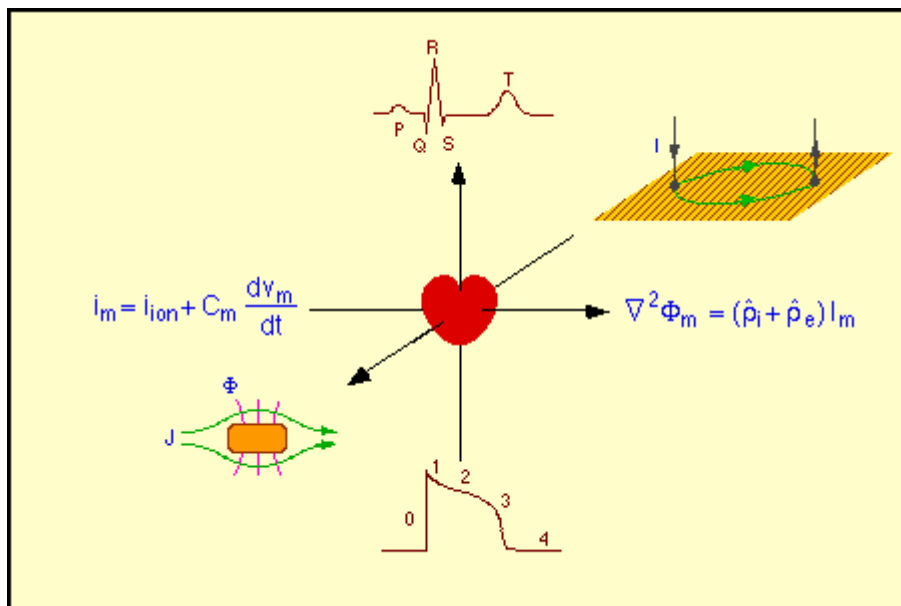
Rys. 23. Często zamiast rejestrować sygnały bezpośrednio związane z aktywnością badanego narządu lepiej jest posłużyć się pomocniczym sygnałem bioelektrycznym. Na rysunku ilustruje to przykład elektromiografii – badania mięśnia poprzez analizę jego aktywności elektrycznej. [19]

3.2.3. Biopotencjały jako sygnały zastępujące inne trudno dostępne sygnały diagnostyczne

Przy okazji omawiania (skrótowego) kwestii sygnałów charakteryzujących aktywność i sprawność mięśnia warto odnotować pewne ogólne spostrzeżenie. Otóż sygnały, które wykorzystujemy w aparaturze wytwarzanej metodami inżynierii biomedycznej, nie zawsze są tymi, na których głównie by nam zależało z punktu widzenia oceny ważnych życiowo funkcji oraz z punktu widzenia stawiania najbardziej skutecznej diagnozy. Po prostu źródła najkorzystniejszych sygnałów są często trudno dostępne, a badania, za pomocą których można by było je ujawnić, byłyby dla pacjenta uciążliwe (na przykład bolesne) albo wręcz niebezpieczne. W takich przypadkach sięgamy do takich sygnałów, które można ujawnić i zarejestrować w sposób mało uciążliwy dla pacjenta, a które niosą informacje wprawdzie odległe od tego, co chcielibyśmy naprawdę wiedzieć o badanym narządzie, ale

wystarczające do tego, żeby po odpowiedniej obróbce (obecnie jest to prawie zawsze obróbka komputerowa) można było z nich uzyskać dane wystarczające do postawienia poprawnej diagnozy. Nie zawsze się to do końca udaje, więc w przypadku uzasadnionych podejrzeń sięgamy czasem także do tych badań, które są dla pacjenta uciążliwe – jednak robimy to wtedy na zasadzie wyjątku, a nie reguły, z dużą korzyścią dla pacjentów.

Zastępczymi sygnałami, które pozyskujemy **zamiast** tych najbardziej przydatnych diagnostycznie, ale trudnych do ujawnienia, kłopotliwych przy rejestracji lub niemożliwych do precyzyjnego pomiaru – są najczęściej różne **biopotencjały**. Są one powszechnie stosowane, bo z technicznego punktu widzenia są bardzo wygodne. Współczesna aparatura elektroniczna potrafi wykrywać nawet bardzo słabe zmiany potencjału elektrycznego w wybranych punktach ciała człowieka, doskonale rozwinięte są także metody filtracji takich sygnałów i ich komputerowego przetwarzania. Te fakty w połączeniu z okolicznością, że z wieloma procesami życiowymi zachodzącymi w żywym organizmie związane są zjawiska elektryczne – jest kluczem dla bardzo wielu technik współczesnej inżynierii biomedycznej. W technikach tych rejestruje się i analizuje sygnały elektryczne, a na ich podstawie **wnioskuje się** o tym, jakie wartości mają te niedostępne pomiarowo sygnały diagnostycznie istotne, ale trudne.



Rys. 24. Elektryczna aktywność serca nie jest istotą jego działania, gdyż serce pracuje jako pompa tłocząca krew, a nie generator elektrycznych impulsów. Jednak elektryczną aktywność serca łatwiej obserwować i mierzyć, niż jego podstawowe funkcje, stąd popularność EKG. [20]

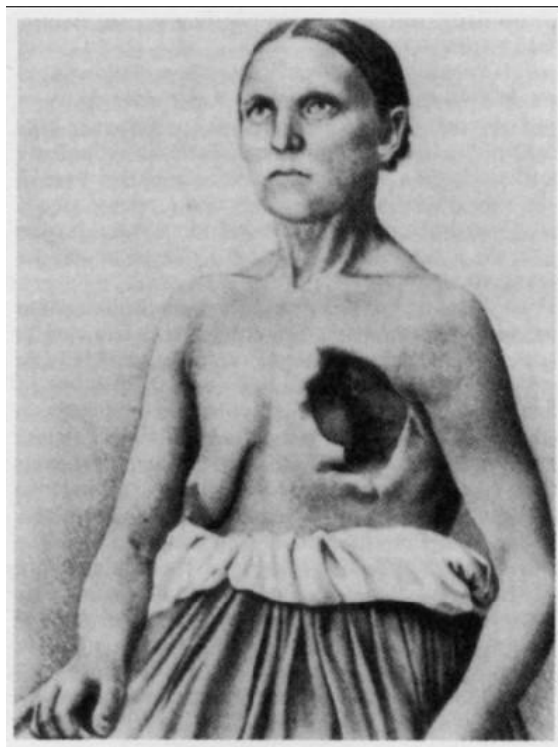
Wnioskowanie, o którym była mowa w poprzednim akapicie – jest nieodzowne, ponieważ czynności większości narządów (z wyjątkiem układu nerwowego i narządów zmysłów) w istocie nie mają charakteru elektrycznego. Zjawiska elektryczne **towarzyszą** pracy tych narządów, ale nie stanowią istoty ich biologicznego działania.

Weźmy jako przykład serce (rys. 24). Wszyscy wiedzą, że jest to pompa tłocząca krew do tak zwanego dużego i małego krwioobiegu. W związku z tym sygnałami, które nas powinny interesować, są ciśnienia wytwarzane przez tę pompę, przepływy krwi, objętości krwi wyrzucanej z komór podczas jednego skurczu itd. Niestety pomiar tych sygnałów, chociaż obecnie możliwy do wykonania między innymi za

pomocą zabiegu tak zwanego cewnikowania serca, jest bardzo uciążliwy dla pacjenta, a w określonych okolicznościach może być nawet niebezpieczny. Dlatego korzystamy z faktu, że serce produkuje - obok podstawowej swej funkcji, która polega na pompowaniu krwi i wytwarzaniu określonych ciśnień zapewniających jej skuteczne krążenie – zmienne potencjały elektryczne. Są one na tyle silne, że możemy je rejestrować na powierzchni ciała pacjenta, a równocześnie znamy obecnie (po wielu latach intensywnych badań naukowych) ich związki z pracą mechaniczną serca (pompowaniem krwi). Dzięki temu możemy interpretować określone zmiany dostrzegane w strukturze sygnału bioelektrycznego serca, jako symptomy nieprawidłowego działania w jego podstawowej roli – jako pompy tłoczącej krew. Na tych założeniach opiera się cała współczesna elektrokardiografia.

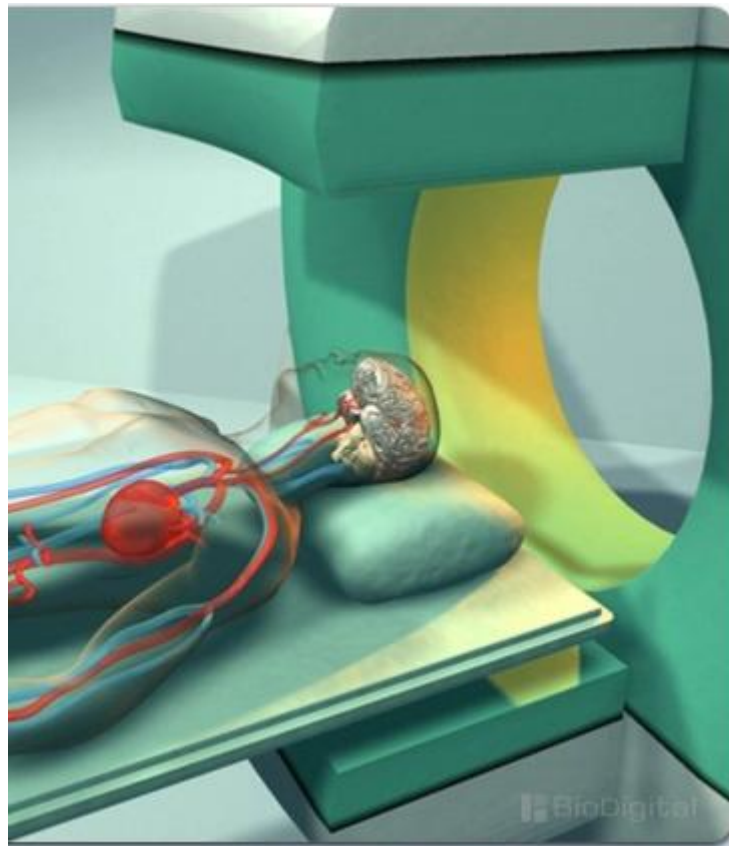
3.2.4. Obrazowanie medyczne

Specjalną rolę w technicznym zbieraniu informacji diagnostycznych odgrywają techniki obrazowania medycznego. Zagadnienie to jest obszernie dyskutowane w tej książce, więc odnotujemy tu tylko jeden znamieny fakt. Otóż dawniej informacje o wyglądzie i działaniu narządów wewnętrznych ciała pacjenta były bardzo trudne do uzyskania i jedynie w wyjątkowych przypadkach możliwe było uzyskanie takich informacji bez dokonywania zabiegu operacyjnego. Dlatego w XIX wieku sensacją naukową był przypadek Ślężaczki o nazwisku Catharina Serafin (rys. 25), u której widać było pracujące serce, ponieważ w następstwie choroby nowotworowej jej lekarz, Hugo Von Ziemssen, zmuszony był usunąć spory fragment ściany klatki piersiowej, pozostawiając cieką i przezroczystą powłokę skórną, przez którą można było obserwować wewnątrz klatki piersiowej, a w szczególności żywe, pracujące serce.



Rys. 25. Przypadek kobiety z otworem w klatce piersiowej umożliwiającym między innymi oglądanie pracującego serca [21]

Dzisiaj dzięki rozwojowi technik obrazowania medycznego zaglądnąć do wnętrza ciała człowieka stało się procedurą wręcz rutynową (Rys. 26).



Rys. 26. Współczesna aparatura medyczna pozwala oglądać wnętrze ciała człowieka tak, jakby było ono całkowicie przezroczyste [22]

3.2.5. Metody obróbki sygnałów diagnostycznych

Wybrane sygnały i obrazy diagnostyczne można z użyciem współczesnej aparatury medycznej nie tylko odbierać i rejestrować, ale także przetwarzać. Jest to bardzo ważne, gdyż często jest tak, że w oryginalnym sygnale, takim jaki można odebrać bezpośrednio u pacjenta, przydatna diagnostycznie informacja jest głęboko ukryta i przez to trudna do interpretacji. Jeśli mamy tę informację skutecznie wykorzystywać, to trzeba ją najpierw umiejętnie wydobyć. Oczywiście można tę część pracy, związaną z przetwarzaniem, analizą i interpretacją sygnałów biomedycznych, złożyć na barki lekarza, ale wtedy możemy zapomnieć o osiągnięciu tych celów stosowania inżynierii biomedycznej, które były wymienione na wstępie, to znaczy o zwiększeniu szybkości obsługiwanie pacjentów i o znaczącym podniesieniu jakości usług medycznych. Typowy lekarz (nie mówimy tu o wybitnych specjalistach, którzy są bezkonkurencyjni, ale których jest niewielu) postawiony wobec konieczności rozwiązywania licznych zagadek, jakie kryją się w gąszczu ogromnej liczby informacji diagnostycznych zebranych przez usługną aparaturę - wcale nie będzie podejmował decyzji szybciej (wydajność!) ani sprawniej (jakość!) niż jego kolega, który tych technicznych udogodnień jest pozbawiony. Owszem, zapewne popełni mniej błędów – ale czy tylko o to tu chodzi?

Dlatego w skład dorobku inżynierii biomedycznej w jej diagnostycznej części wchodzi jeszcze przetwarzanie, analiza, a także automatyczne wspomaganie rozpoznawania sygnałów i obrazów

medycznych. Rola tych kolejnych etapów procesu informacyjnego związanego ze wspomaganie diagnozy pokazana została zbiorczo na rysunku 27.



Rys. 27. Kolejne etapy pozyskiwania informacji diagnostycznej na podstawie analizy obrazów medycznych [23]

Na początku procesu wspomaganie interpretacji sygnałów z zasady stosowane są różne metody i techniki **przetwarzania**, opisane w pierwszej części przedstawianej tu książki. Dawniej do przetwarzania sygnałów stosowano specjalne urządzenia (na przykład filtry do eliminacji zakłóceń), dzisiaj jednak dominuje przetwarzanie przy użyciu specjalnych programów komputerowych. Przykładowym efektem przetwarzania jest wydobywanie z obrazów medycznych tych informacji, które są dla nas w danym momencie istotne, co przykładowo pokazano na rysunku 28.



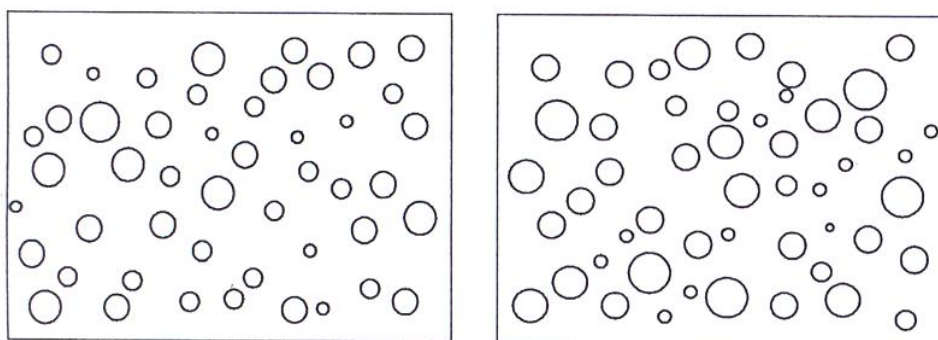
Rys. 28. Przetwarzanie obrazów medycznych mające na celu wydobywanie wyłącznie interesujących obiektów. Od lewej do prawej – obraz oryginalny i przetwarzany pod kątem wydobywania różnych obiektów [24]

Podany wyżej przykład dotyczył **przetwarzania** sygnału. Zadania przetwarzania tym się generalnie charakteryzują, że na wejściu odpowiedniego procesu przetwarzania jest sygnał określonego rodzaju i na wyjściu jest sygnał tego samego rodzaju. Może to być obraz, jak na rysunku 28, ale może to być jakiś sygnał innego rodzaju, na przykład EKG albo zapis dźwięku, który też może być przetwarzany, tylko że tego nie da się tak poglądowo zaprezentować, jak w przypadku obrazu. Innymi słowy schemat postępowania przy przetwarzaniu jest taki: mamy pewien sygnał, w jakimś sensie nas nie zadowalający (na przykład zakłócony czy zaszumiony). Stosujemy więc przetwarzanie (czasem używając całej serii różnych metod!) tak długo, aż uzyskamy sygnał o lepszych właściwościach, oczyszczony z zakłóceń i skoncentrowany na tym, co jest ważne dla lekarza, gdy ma on podjąć decyzję dotyczącą diagnozy stanu pacjenta i kierunku właściwej terapii.

3.2.6. *Automatyczna analiza sygnałów diagnostycznych*

Sygnał po przetworzeniu, omówionym w poprzednim podrozdziale, jest w istocie tym samym sygnałem, co sygnał źródłowy – tylko w jakimś sensie ulepszonym. Ocenę i interpretację sygnału musi w dalszym ciągu wykonać lekarz. Natomiast czasem próbujemy wykonać kolejny krok naprzód, przekształcając sygnał (na przykład obraz) w **opis** niektórych jego właściwości. Ta czynność nazywana jest analizą sygnału. Właściwości sygnału, wydobyte z niego w procesie analizy, charakteryzują się tym, że jest ich niewiele, ale wnoszą one szczególnie wartościową i szczególnie użyteczną wiedzę o tym, czego sygnał dotyczył (na przykład stanu określonego narządu). Jeśli się dokona dobrej analizy sygnału i wydobędzie się z niego te właśnie cechy, o które chodzi – można na podstawie wyników analizy skuteczniej i łatwiej podejmować decyzję, niż na podstawie oryginalnego sygnału, nawet najbardziej wymyślnie przetworzonego.

Rozważmy prosty przykład morfologii krwi. Sygnałem jest w tym przypadku próbka krwi pobrana od pacjenta, a raczej jej obraz mikroskopowy, na którym widoczne są poszczególne krwinki. Gdyby jednak taki obraz pokazać lekarzowi jako jedyny skutek analizy – to miałby z tego bardzo ograniczony pożytek. Natomiast jeśli wykona się **analizę** tego obrazu i wyznaczy się cechy morfologii krwi obwodowej, czyli liczby krwinek białych, czerwonych, płytek krwi, wartości hematokrytu, leukocytogram itp. – to z tych danych (będących efektem **analizy** obrazu krwi) można łatwo i skutecznie wyciągać użyteczne wnioski.

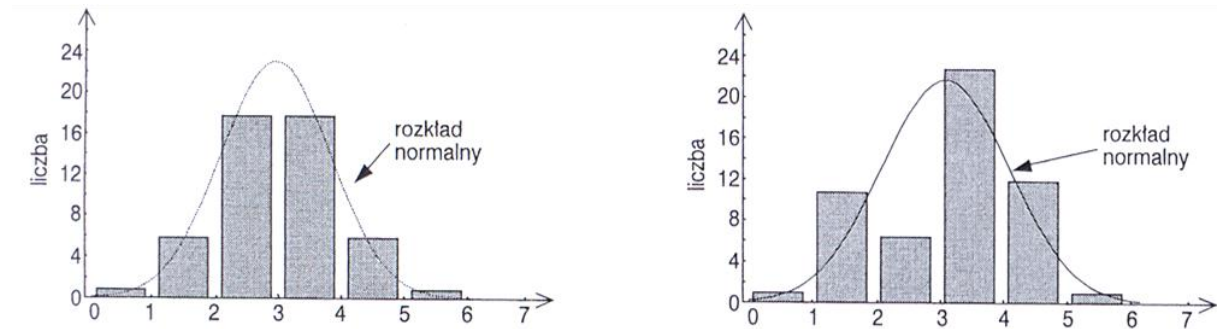


Rys. 29. Przydatność analizy sygnałów do wykrywania ich cech niewidocznych przy wzrokowej ocenie.
Opis w tekście.

Analiza sygnału może być też przydatna do tego, żeby wydobyć z niego informacje niewidoczne gołym okiem. Gdyby Czytelnik zechciał się przyjrzeć uważnie obiektom pokazanym na rysunku 29

usiłując odpowiedzieć na pytanie, czym się one różnią – to zapewne nawet bardzo uważna obserwacja nic ciekawego by nie ujawniła.

Tymczasem wystarczy dokonać prostej analizy polegającej na tym, żeby na każdym obrazie policzyć, ile jest kótek o określonym rozmiarze (występują tam kółka o sześciu różnych średnicach). Zestawienie tych liczb, a jeszcze lepiej przedstawienie ich w postaci wykresu, na którego osi poziomej odłożona jest średnica, a na osi pionowej – liczba kótek o tej właśnie średnicy, ujawnia różnice.

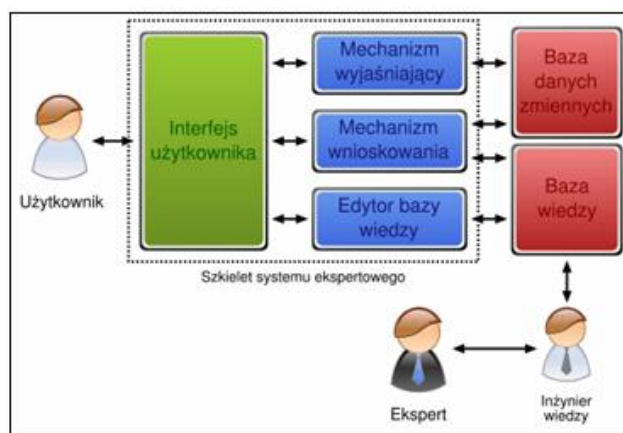


Rys. 30. Wynik prostej analizy obiektów z rysunku 29.

Dalsze przykłady przetwarzania i analizy obrazu można znaleźć w rozdziałach składających się na treść pierwszej części książki.

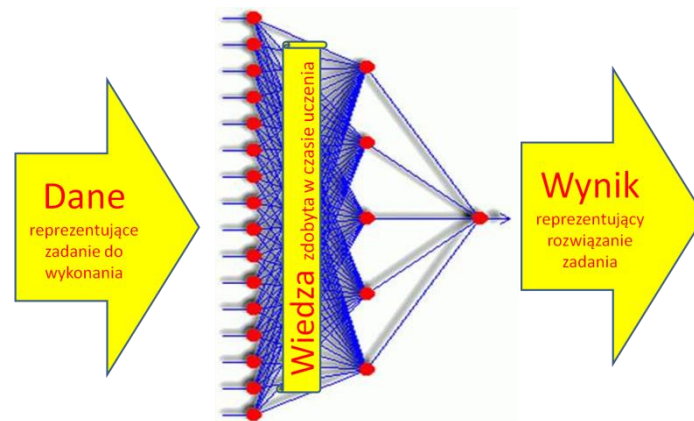
3.2.7. Wspomaganie lekarza w procesach decyzyjnych związanych z diagnostyką. Sztuczna inteligencja.

Przetwarzanie sygnałów, o którym była mowa wyżej, jak również ich analiza, nie wyczerpują możliwości, jakie tkwią w inżynierii biomedycznej w zakresie wspomagania lekarzy w dziele interpretacji sygnałów gromadzonych przez aparaturę diagnostyczną. Dalsze możliwości tkwią w obszarze technik informatycznych zwanym sztuczną inteligencją. Nie wdając się w spór, czy maszyna może być inteligentna, czy nie – możemy stwierdzić, że takie techniki, jak systemy eksperckie (rys. 31), sztuczne sieci neuronowe (rys. 32) czy metody rozpoznawania wzorców mogą być w medycynie bardzo przydatne, bezpośrednio wspierając lekarza przy podejmowaniu decyzji.



Rys. 31. Schemat systemu ekspertowego [26]

Obszerniej na ten temat można przeczytać w końcowych rozdziałach pierwszej (diagnostycznej) części książki, dlatego tutaj, tytułem krótkiego komentarza, wyjaśnijmy tylko, że system ekspertowy (Rys. 31) jest programem komputerowym, który może udzielać rad użytkownikowi – na przykład na temat diagnozy lub sugerowanej terapii, ponieważ wcześniej został wyposażony w wiedzę pozyskaną od **Eksperta** – człowieka, który rozważane zagadnienia zna na wylot i potrafi na takie pytania odpowiadać. Ekspert jest wybitnym lekarzem (w przypadku systemów stosowanych w medycynie), ale z reguły nie posiada kwalifikacji informatycznych, dlatego jego wiedza pozyskiwana jest (w długich dokładnie protokołowanych rozmowach) przez **Inżyniera wiedzy**, który potrafi pozyskaną wiedzę eksperta „włożyć do komputera” w postaci tak zwanej **Bazy wiedzy**. Mając tę wiedzę oraz odpowiedni **Mechanizm wnioskowania** (wywodzący się z prac badawczych nad dowodzeniem twierdzeń matematycznych przez komputery) – system ekspercki może odpowiadać na pytania zadawane przez **Użytkownika** (potrzebującego rady lekarza). Oczywiście w szczegółach budowa i działanie systemu eksperckiego są bardzo skomplikowane, ale ogólna idea wygląda właśnie tak. Więcej na temat systemów ekspertowych przeczytać można w książce [27] albo na stronie [28].



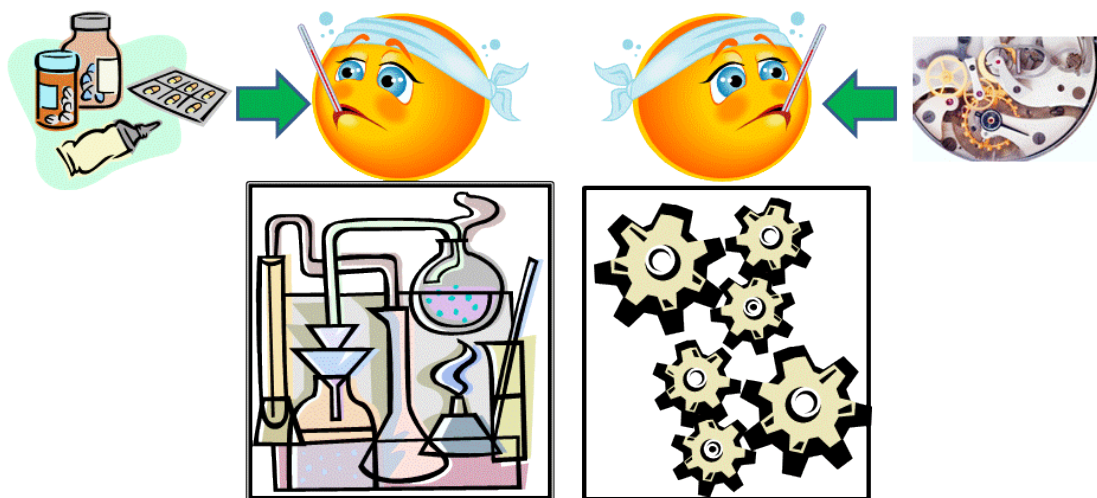
Rys. 32. Schemat działania sieci neuronowej – jednego z bardziej popularnych narzędzi sztucznej inteligencji, chętnie używanych także w inżynierii biomedycznej [25].

System ekspercki może skutecznie doradzać lekarzom, ale jego użycie wymaga tego, by wcześniej znalazł się Ekspert, który zechce swoją wiedzę udostępnić i pozwolić wprowadzić do komputera. Jeśli jednak takiego Eksperta nie ma, albo jeśli Ekspert, który zgodzi się ujawnić wszystkie szczegóły swojej wiedzy, nie potrafi tej wiedzy skutecznie zwerbalizować (a w medycynie zdarza się to bardzo często!) – to musimy sięgnąć do innych narzędzi sztucznej inteligencji. W szczególności sieci neuronowe są to systemy techniczne (najczęściej programy komputerowe) przetwarzające informacje w sposób wzorowany na funkcjonowaniu ludzkiego mózgu, dzięki czemu **wiedzę** potrzebną do swego działania mogą pozyskiwać całkiem same, w wyniku procesu **uczenia**. Więcej na temat sieci neuronowych przeczytać można w książce [29] albo na stronie [30].

3.3. Urządzenia terapeutyczne

Po ustaleniu (z pomocą aparatury wytworzonej przez Inżynierię Biomedyczną, rzecz jasna), na czym polega problem zdrowotny obsługiwanego pacjenta – trzeba starać się mu pomóc. Istnieje powiedzenie medyczne, które znajduje tu zastosowanie: *Gdy się powiedziało diagnostyczne A, to pora powiedzieć także terapeutyczne B.*

Tutaj także wytwory Inżynierii Biomedycznej mogą znaleźć zastosowanie, przy czym ich użyteczność jest tym większa, że przełamują one pewien stereotyp, który funkcjonował w medycynie od wielu lat. Stereotyp ten polegał na patrzeniu na procesy życiowe głównie przez pryzmat toczących się w organizmie procesów chemicznych. Ogromne postępy biochemii w XIX i XX wieku w połączeniu z trwającą od starożytności tradycją poszukiwania różnych leków (mniej lub bardziej skutecznych) skutkują tym, że proces leczenia (o ile nie sięga do metod chirurgicznych) kojarzy się nieodparcie z przyjmowaniem jakichś pigułek, zastrzyków, ewentualnie czopków. W sposób niejawnny, ale bardzo dobitny traktujemy przy tym organizm pacjenta jako swoisty tygiel, w którym coś się miesza i reaguje, a jeśli efekt jest niedobry (choroba) – to trzeba do „tygla” coś dorzucić, żeby było lepiej. Oczywiście taki sposób rozumienia współczesnych procedur medycznych jest ich karykaturą (celowo tu wprowadzoną), ale nikt nie zaprzeczy, że leczenie realizowane jest dziś głównie z pomocą połykanych lub w inny sposób wprowadzanych do organizmu substancji.

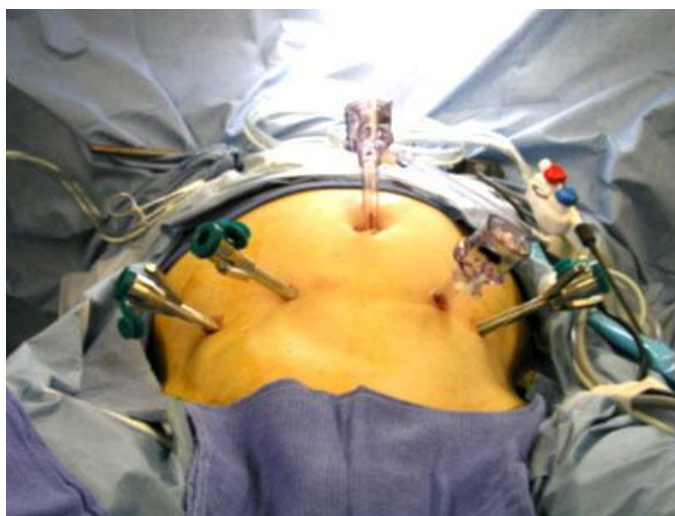


Rys. 33. Leczenie farmakologiczne wykorzystuje fakt, że w organizmie człowieka można zidentyfikować wiele procesów chemicznych, na które można wpływać czynnikami chemicznymi (leki). Natomiast urządzenia terapeutyczne inżynierii biomedycznej wykorzystują znajomość mechanizmów fizycznych funkcjonujących w ciele człowieka, na które można wpływać przy pomocy specjalnie budowanych maszyn.

Jeśli jednak dzisiaj widzimy organizm człowieka nie tylko jako reaktor chemiczny, ale **także** jako swoistą maszynę (Rys. 33), w której toczą się przeróżne procesy fizyczne (mechaniczne, elektryczne, cieplne itd.) – to konsekwencją jest pomysł wspomagania wewnętrznych **mechanizmów** naszego ciała **mechanizmami** (urządzeniami, systemami) terapeutycznymi. Maszyna, twór inżynierii biomedycznej, może więc nie tylko egzaminować tę wewnętrzną maszynę ludzkiego ciała (jak to ma miejsce w przypadku wyżej omawianych systemów diagnostycznych), ale także może ją wspomagać. W ten sposób dochodzimy do ważnego obszaru inżynierii biomedycznej, jakim jest budowa i optymalizacja urządzeń terapeutycznych, czyli systemów technicznych bezpośrednio lub pośrednio współdziałających z procesami fizycznymi toczącymi się wewnątrz organizmu i w ten sposób realizujących swoje zadania terapeutyczne.

W drugiej części książki opisano wiele takich urządzeń, tu natomiast przywołamy (tytułem przykładu) takie, o którym w tym wydaniu książki nie ma niestety mowy, natomiast które budzi największe nadzieje (i największe emocje). Wspomniemy mianowicie o robocie chirurgicznym (rys. 34), który

przez minimalnej wielkości otwory w powłokach brzusznych wprowadza swoje instrumenty do wnętrza ciała pacjenta i tam dokonuje niezbędnych zabiegów, pracując pewniej i precyzyjniej niż chirurg. Dobry robot chirurgiczny spełnia wszystkie wcześniej wymienione dezyderaty związane ze stosowaniem inżynierii biomedycznej: zastępuje czasem nawet kilku chirurgów, dzięki czemu niedobory pracowników służby zdrowia mogą być niwelowane. Wykonuje operację znacznie szybciej niż człowiek, więc dramatyczna kolejka pacjentów (patrz rys. 7) szybciej maleje. W dodatku robot wprowadza swoje narzędzia chirurgiczne (oraz kontrolujące przebieg zabiegu kamery) przez małe otwory, mniej raniąc operowanego pacjenta, niż lekarz, który by musiał udostępnić pole operacyjne przez rozległe (i trudno się gojące!) rozcięcie powłok brzusznych pacjenta. W ten sposób realizowany jest postulat wyższej jakości.



Rys. 34. Maszyna (robot chirurgiczny) wykonująca działania naprawcze w organizmie pacjenta praktycznie bez bezpośredniego zaangażowania lekarzy [31]

Roboty chirurgiczne nie są jedynymi maszynami służącymi do leczenia ludzi, krótki rzut oka na spis treści drugiej części książki pozwala stwierdzić, jak wiele ich jest i jak bardzo mogą być przydatne. Natomiast w tym rozdziale przeglądowym warto podkreślić jeszcze jedną okoliczność. Otóż dwoisty sposób widzenia organizmu pacjenta oraz dwoista koncepcja jego leczenia, pokazane umownie na rysunku 33, nie oznaczają bynajmniej konkurencji tych dwóch wskazanych tam podejść. Przeciwnie, urządzenia leczące metodami fizycznymi mogą **uzupełniać** terapię prowadzoną farmakologicznie. Lecząc pacjenta możemy więc bez żadnych ograniczeń sięgać do pełnego asortymentu lekarstw, jakie farmakologia udostępnia, **dodatkowo** stosując także mądre, wspomagające leczenie maszyny.

W ten sposób, dzięki inżynierii biomedycznej, lekarz wyruszający do walki z chorobą jest lepiej wyposażony i przez to może działać skuteczniej. Natomiast inżynier dostarczający mu nową „broni” w tej walce może mieć pewność, że robi coś ważnego i potrzebnego, bowiem prędzej czy później ta walka może się okazać walką o życie i zdrowie jego samego lub jego najbliższych...

3.4. Urządzenia protetyczne

Nie każda walka kończy się zwycięstwem. Dotyczy to także walki o zdrowie i życie, wzmiankowanej na końcu poprzedniego podrozdziału. Diagnoza, nawet najbardziej trafna dzięki wspaniałej aparaturze, nie zawsze jest optymistyczna. Terapia, nawet najdoskonalej wspomagana przez technikę, nie zawsze

przynosi pożądane wyniki. Czasem chory organ jest już tak zniszczony przez chorobę (lub utracony w następstwie wypadku), że nie istnieje możliwość leczenia ani przy użyciu środków farmakologicznych, ani przy użyciu nawet najbardziej wyszukanych maszyn. W takim przypadku jedynym sposobem zapewnienia pacjentowi możliwości dalszego życia jest wymiana narządu.

Oczywistym rozwiązaniem, jakie się tu nasuwa, jest zastąpienie zniszczonego narządu jednego człowieka przez narząd pobrany u innego człowieka, czyli **przeszczep**.

O ile jednak wszczepienie zastępczego narządu nie stwarza większych problemów (poza ogromną trudnością takiego zabiegu z punktu widzenia sztuki chirurgicznej, o tyle problem pobrania narządu od dawcy nie jest wolny od wielu problemów nie tylko natury medycznej – ale także moralnej i ... prawnej.

Pewne tkanki można pobierać od dawców nie czyniąc im przy tym zbyt wielkiej szkody. Na przykład krew jest tkanką (tak, tak, ten płyn wypełniający nasze żyły **jest tkanką**, bo zawiera mnóstwo żywych komórek!), którą dawca może ofiarować biorcy właściwie bez żadnego uszczerbku dla własnego zdrowia. Akcje krwiodawstwa (wspaniale zwykle wspierane przez ofiarnych studentów) są tego dobitnym wyrazem. Nieco trudniej, choć także bez większej straty dla dawcy, przebiega proces przeszczepiania szpiku kostnego. Bywają też udane przeszczepy skóry, które u dawcy pozostawiają niewielką bliznę i ogromną satysfakcję uratowania czyjegoś życia, zdrowia czy nawet tylko ... urody, co jednak także jest ważne, gdy się zważy, jak koszmarnie bywają na przykład estetyczne skutki na przykład zwykłych poparzeń (rys. 35).

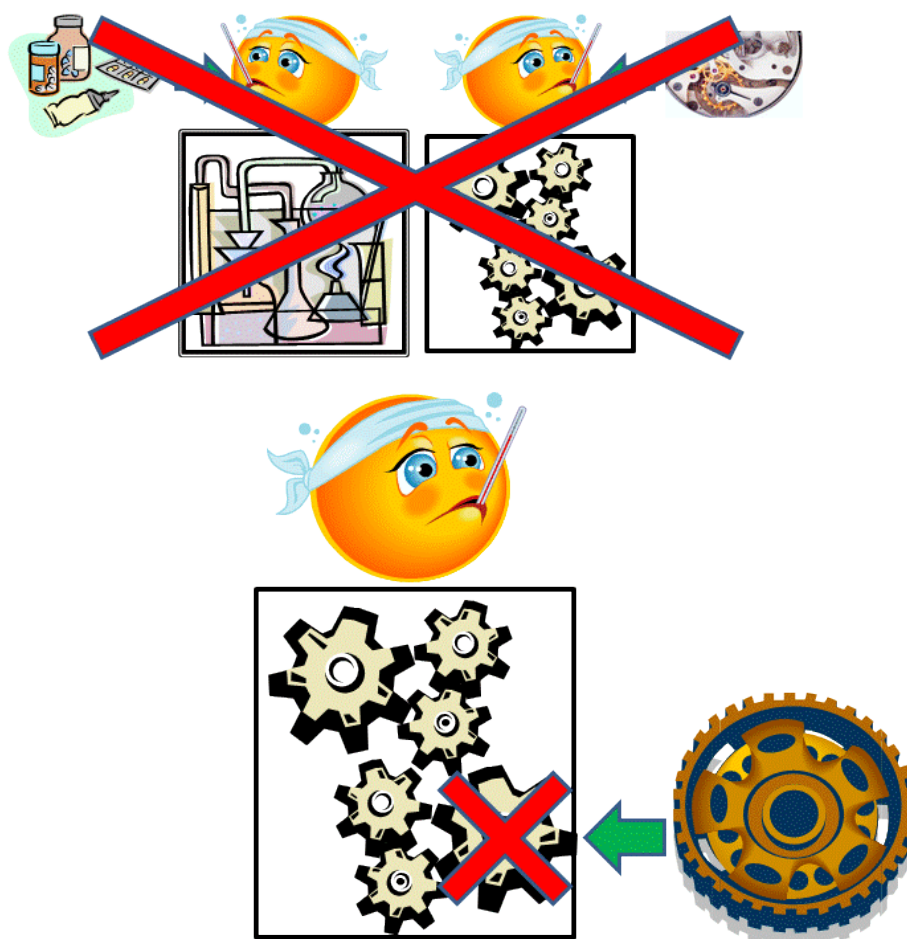


Rys. 35. Poparzona twarz po wyleczeniu wymaga często przeszczepu [32]

W przypadku przeszczepu nerki dawca ponosi poważniejszą stratę, bowiem oddając potrzebującemu jedną ze swoich nerek zmniejsza o 50% swoje własne szanse na przeżycie w przypadku ewentualnej choroby jego nerki. Ale z jedną nerką można żyć szczęśliwie przez wiele lat, więc ta ofiara jest także możliwa do poniesienia.

Na tym jednak łatwe rozwiązania się kończą. Gdy mówimy o przeszczepie serca, wątroby albo trzustki to musimy mieć na uwadze fakt, że są to narządy pojedyncze i każdemu niezbędne do życia. Jedynym źródłem przeszczepu może więc być ciało innego człowieka, który musi spełniać szereg warunków. Warunki medyczne są oczywiste i łatwe do spełnienia: pobierany narząd musi być całkowicie zdrowy

oraz musi gwarantować odpowiednią zgodność antygenową, żeby nie doszło do odrzucenia przeszczepu. Gorzej jednak z kolejnym warunkiem: człowiek, od którego pobieramy narząd do przeszczepu musi być ponad wszelką wątpliwość martwy. Nie jest to właściwe miejsce, żeby podejmować dyskusję wszystkich problemów moralnych i prawnych, jakie to ostatnie stwierdzenie rodzi, ale każdy z Czytelników łatwo sobie wyobrazi, jak wielkie jest tu pole do ewentualnych wątpliwości oraz ewentualnych nadużyć. Im dłużej czekamy z orzeczeniem śmierci dawcy, tym bardziej nekroza może uszkodzić pobierany narząd i przeszczep się nie uda. Ale jeśli się nadmiernie pospieszymy to może się zdarzyć, że odbierzemy dawcy szansę powrotu do życia...



Rys. 36. Jeden z najambitniejszych obszarów inżynierii biomedycznej – budowa sztucznych narządów

Tych wszystkich rozterek i dylematów można uniknąć, jeśli uda się zastąpić utracony narząd elementem sztucznym, wytworzonym z wykorzystaniem inżynierii biomedycznej (Rys. 36). Taki przeszczep nie wiąże się z żadną koniecznością pozbawiania czegokolwiek innego człowieka, nie wywołuje trudnych problemów związanych z reakcją immunologiczną na obcą tkankę i koniecznością stosowania niebezpiecznej immunosupresji (koniecznej przy przeszczepach biologicznych), może być bez problemu powtórzony jeśli zajdzie potrzeba... Same zalety!

Wada jest jedna, ale zasadnicza: wciąż jeszcze jesteśmy na początku długiej drogi jeśli idzie o budowę sztucznych narządów. Potrafimy protezować za pomocą wytworów techniki ubytki kostne, uszkodzone ścięgna, konieczne do usunięcia naczynia krwionośne, sztuczne stawy i inne elementy

biomechaniczne. Gorzej z bardziej skomplikowanymi narządami – sztuczne serce usiłujemy zbudować już od blisko 50 lat, a wyniki są wciąż nie takie, jakbyśmy mogli pragnąć (rys. 37).



Rys. 37. Sztuczne serce – jedno z dzieł inżynierii biomedycznej, które jest bardzo oczekiwane przez lekarzy i przez pacjentów, ale wciąż sprawia kłopoty inżynierom [33]

Niemniej w części trzeciej tej książki opisane są przykłady udanych protez, które potrafią zastąpić utracone narządy i stanowią początek procesu, który może zrewolucjonizować medycynę. I chociaż oponenci krytykujący rozwój sztucznych narządów straszą nas wizją cyborga, to jednak trzeba pamiętać, jaka jest alternatywa (Rys. 38)



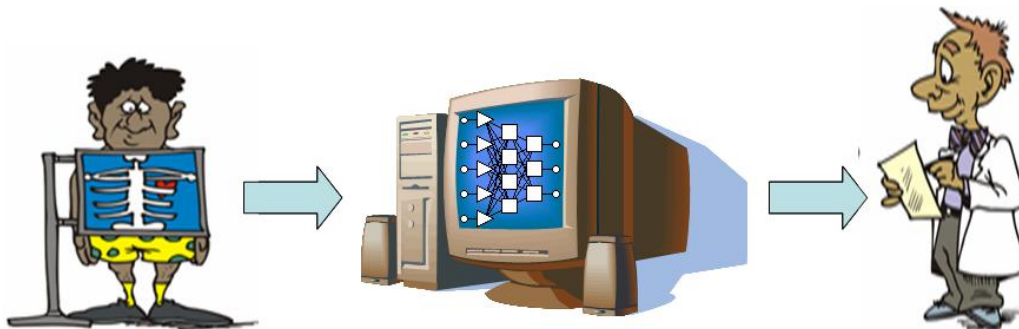
Rys. 38. Przeciwnikom sztucznych narządów, którzy straszą nas wizją cyborga, warto przypomnieć jaka jest alternatywa... [34]

3.5. Informatyka medyczna

Usługi medyczne to dziś ogromny obszar profesjonalnych działań ludzi różnych zawodów. Ich praca pośrednio lub bezpośrednio wpływa na to, jak skuteczne będą działania tych zajętych „walką na froncie”, to znaczy ratujących zdrowie i życie lekarzy. Wśród tej dużej rzeszy zawodów wspomagających medycynę postanowiliśmy w tej książce wyróżnić informatyków. Rola komputerów jest bowiem w inżynierii biomedycznej przemożna. Są one wykorzystywane (często jako systemy wbudowane) w sprzęcie diagnostycznym, stanowią „serce” aparatury terapeutycznej, pomagają w tworzeniu sztucznych narządów – są **wszędzie**. Są jednak trzy obszary, w których rola komputerów w kontekście inżynierii biomedycznej jest szczególna. Tymi trzema obszarami są:

- modelowanie komputerowe systemów biomedycznych
- bioinformatyka czyli penetracje biochemiczno-informatyczne sięgające do poziomu molekularnego (genomu, proteomu, trójwymiarowej struktury białek itp.)
- informatyczne systemy szpitalne

Wszystkie trzy wyróżnione obszary zostały opisane w czwartej części tej książki, chociaż z konieczności w skrócie, bo każdy z tych obszarów godzien jest monografii o objętości porównywalnej z całością tego podręcznika. Niemniej o pewnej liczbie ważnych i ciekawych rzeczy udało się napisać – i w tej przedmowie tytułem zapowiedzi kilka słów na ten temat warto powiedzieć.

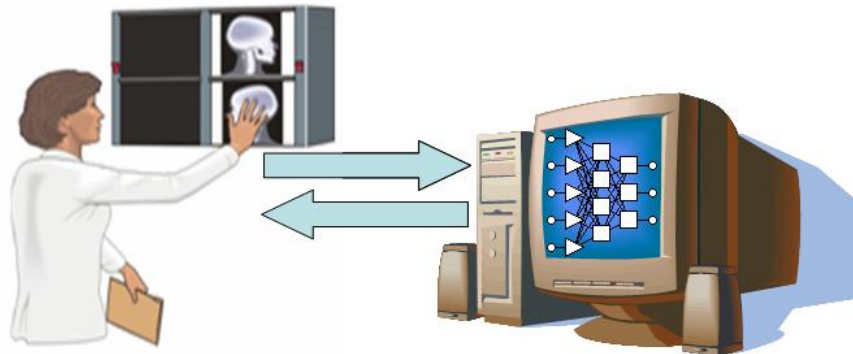


Rys. 39. Dobrze dobrany model komputerowy pozwala na uzyskanie przydatniejszych informacji z aparatury diagnostycznej

Modele komputerowe systemów biologicznych stanowią specjalny rodzaj narzędzi informatycznych, pozwalających na wiele istotnych ulepszeń w działaniu aparatury tworzonej i wykorzystywanej w inżynierii biomedycznej. Na kilku najbliższych rysunkach model znajdujący się w komputerze zaznaczany będzie jako rysunek sieci neuronowej (porównaj rys. 32) widocznej na ekranie komputera, ponieważ sieci neuronowe są chętnie stosowane jako modele różnych systemów, w tym także biomedycznych. Jednak używane w inżynierii biomedycznej modele mogą być naprawdę różne, czego dowodem są treści rozdziałów zamieszczone w czwartej części niniejszej książki.

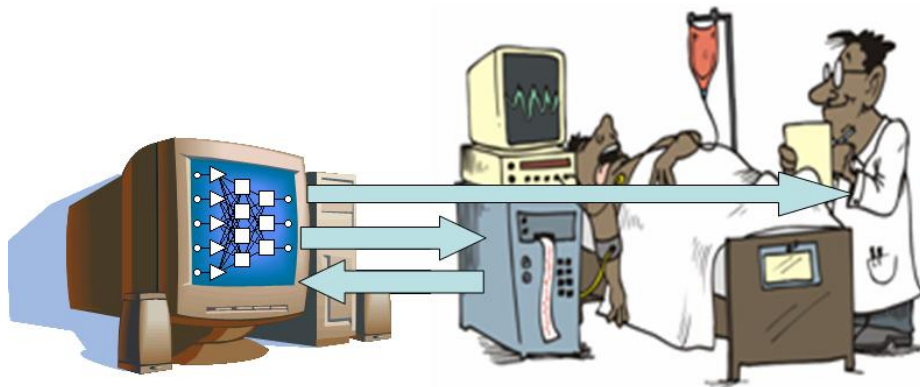
Jak wspomniano, modele komputerowe mogą służyć do tego, by polepszyć i usprawnić pozyskiwanie (rys. 39) i interpretację (rys. 40) informacji diagnostycznych. Takie wzbogacenie możliwości urządzeń tworzonych we wskazanych obszarach przez inżynierię biomedyczną jest bardzo cenne, bo daje możliwość uzyskania sygnałów diagnostycznych o lepszej jakości tudzież pozwala na lepsze

wykorzystanie zawartych w nich informacji dla celów wnikliwszej i trafniejszej oceny diagnostycznej całości stanu rozważanego pacjenta.



Rys. 40. Konfrontując wyniki badań dostarczonych przez urządzenia diagnostyczne z modelem komputerowym można uzyskać pogłębioną analizę tych wyników z korzyścią dla pacjenta

Model, jeśli jest dobrze zbudowany i skutecznie dostrojony do parametrów konkretnego indywidualnego pacjenta, pomaga także radykalnie w prowadzeniu terapii, jest bowiem możliwe badanie przy jego pomocy przypuszczalnych skutków planowanej terapii jeszcze przed jej rzeczywistym zastosowaniem. Z pomocą modelu (jeśli jest dostatecznie dokładny) można dokonywać wielu symulowanych eksperymentów, stosując wirtualnie taką lub inną technikę leczniczą i obserwując modelowane przez komputer skutki takiej terapii (rys. 41). Zwiększa to szanse powodzenia po podjęciu rzeczywistego leczenia pacjenta.

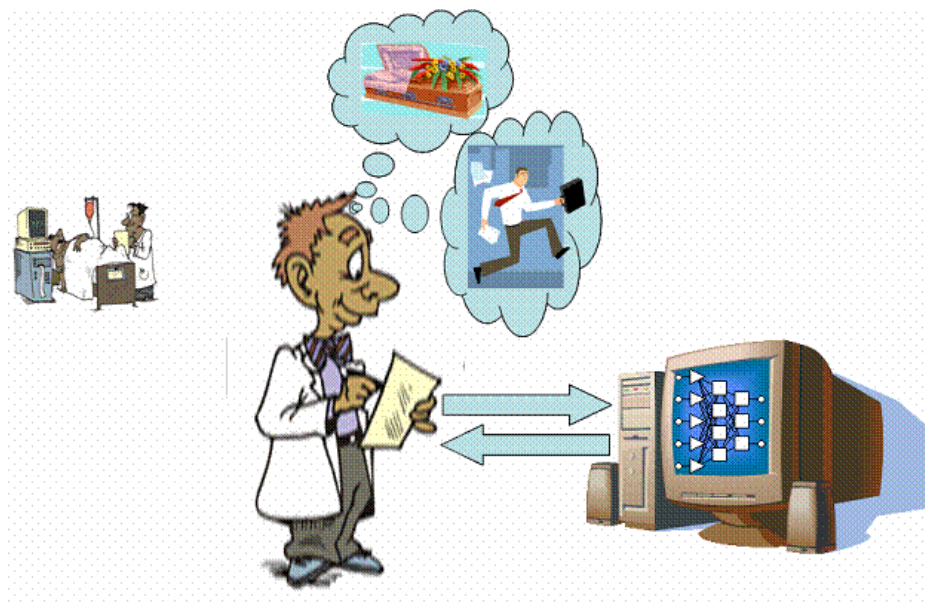


Rys. 41. Model jako czynnik wspomagający terapię

Wreszcie model jest w stanie pomóc lekarzom w bardzo trudnym fragmencie ich obowiązków, mianowicie dobry model może dostarczyć przesłanek do prognozowania przyszłego stanu pacjenta (a więc w szczególności także efektów leczenia – rys. 42). Oczywiście prognoza oparta na komputerowym modelowaniu nigdy nie jest stuprocentowo pewna, ale z pewnością zmniejsza stopień niepewności lekarzy i związany z tym stres.

Na koniec zapowiedzi tego wątku, znajdującego się w obszerniejszej formie w czwartej części książki, przeanalizujemy jeszcze rysunek 43, będący skrótowym obrazem procedury, jaka jest stosowana przy budowie i przy wykorzystywaniu komputerowych modeli systemów biomedycznych. Punktem wyjścia do stworzenia modelu jakiegoś systemu (przykładowo powiedzmy, że jakiegoś narządu) jest

zebranie na jego temat możliwie wielu informacji poprzez badania laboratoryjne, ale także w oparciu o obserwacje kliniczne (patrz punkt 1 na rysunku 43). Informacje te charakteryzuje duże rozproszenie (każdy badacz opisuje to, co jego właśnie w tym momencie interesuje), więc czynnością wstępną musi być systematyzacja i weryfikacja zebranych danych (punkt 2). W następstwie tego informacje uzyskane przez różnych badaczy mogą się wzajemnie uzupełniać, a występujące niekiedy sprzeczności w danych zostają wykryte i wyeliminowane.



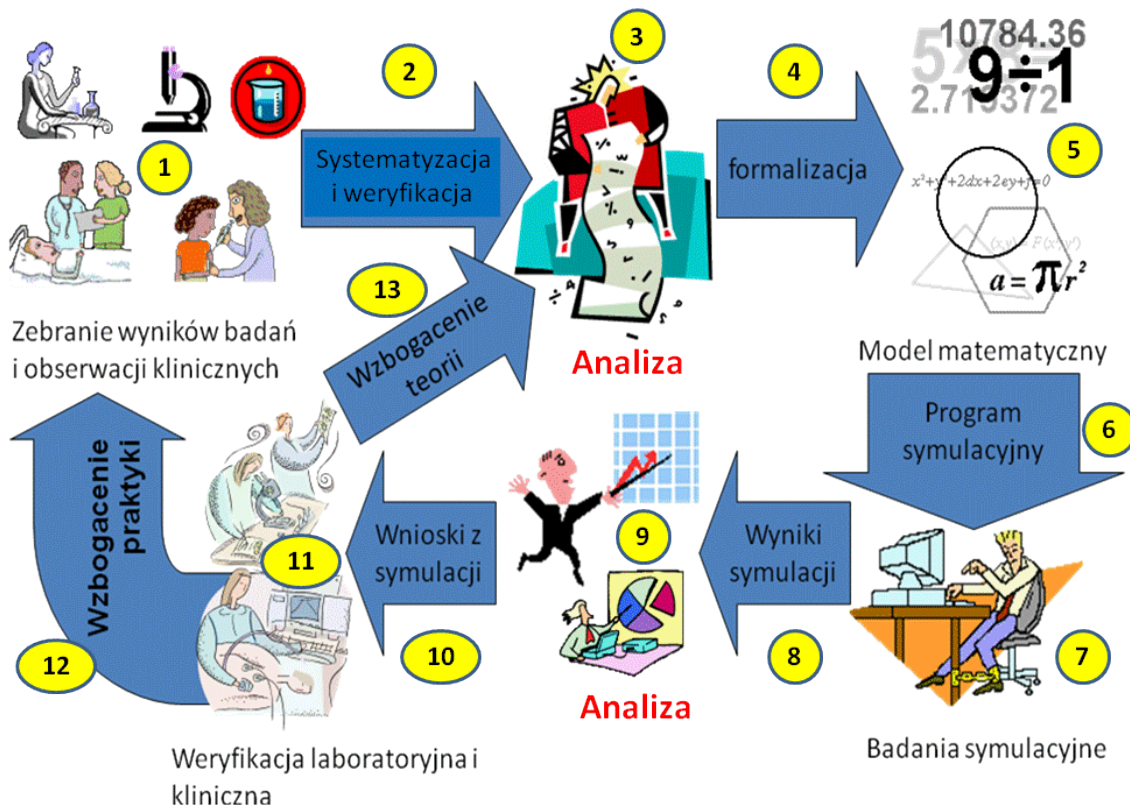
Rys. 42. Dobrze zaprojektowany model może być użyty do prognozowania skutków terapii

Po zgromadzeniu i usystematyzowaniu dane podlegają analizie (punkt 3). Ujawnianie są współzależności, szkicowane drogi przepływu sygnałów, definiowane elementy modelu. Po zakończeniu analizy uzyskane w jej wyniku koncepcje podlegają formalizacji (punkt 4), w wyniku czego powstaje model matematyczny (punkt 5). Model ten może zostać zaprogramowany na komputerze (punkt 6), w wyniku czego powstaje narzędzie informatyczne, przy użyciu którego można dokonać dowolnie wielu dowolnie skomplikowanych eksperymentów symulacyjnych (punkt 7). Wyniki tych symulacji trzeba zebrać razem (punkt 8) i poddać analizie (punkt 9) wyciągając z nich wnioski (punkt 10), stwierdzające najczęściej, że w modelu udało się zaobserwować jakieś zjawiska, których nie znano i nie zarejestrowano podczas doświadczeń rozpoczynających cały cykl (punkt 1).

Te wnioski trzeba sprawdzić w praktyce (punkt 11). Jeśli wnioski te się potwierdzą – to znaczącemu wzbogaceniu podlega nasza wiedza (punkt 12), możliwa do wykorzystania przy leczeniu pacjentów i przy planowaniu dalszych badań. Koło się zamyka.

Paradoksalnie okazuje się, że także sytuacja pozornie skrajnie niepomysłna, polegająca na tym, że eksperymenty kontrolne NIE potwierdzą hipotez wysuniętych na podstawie badań symulacyjnych, nie jest bezowocna. Komputer wyciągnął bowiem z pewnością bezbłędnie logiczne wnioski z przedstawionych mu założeń. Skoro te wnioski nie znajdują potwierdzenia w rzeczywistości, to znaczy, że błąd tkwił w założeniach. Natomiast te założenia stanowią zręby teorii, której użyliśmy do analizy danych z badań laboratoryjnych oraz z obserwacji klinicznych w celu zbudowania modelu. Niepowodzenie modelu oznacza konieczność zmiany teorii, a to może być wynikiem docelowo bardziej

doniosty i bardziej wartościowy niż najlepsze nawet wzbogacenia i udoskonalenia praktyki, które możemy uzyskać wtedy, gdy wynik symulacji potwierdzi się w eksperymencie kontrolnym.



Rys. 43. Metodyka modelowania komputerowego systemów biologicznych. Opis w tekście.

Także systemy komputerowe wspomagające organizację i zarządzanie pracą szpitala stanowią składnik inżynierii biomedycznej. Nie są to może tak frapujące zagadnienia, jak budowa aparatury diagnostycznej czy terapeutycznej (a zwłaszcza sztucznych narządów), ale to także jest ważny i potrzebny fragment inżynierii biomedycznej, więc w książce poświęcono mu także trochę uwagi, dodając także rozdziały na temat specjalistycznych biomedycznych baz danych.

Kończąc to obszerne wprowadzenie do bardzo obszernej książki można dodać tylko krótkie uwagi na temat zawartych w części czwartej opisów badań bioinformatycznych. Tę pracę także trzeba wspomagać odpowiednimi systemami technicznymi – i zostały one w książce opisane.

Bibliografia

1. Boni M. (i inni): Raport Polska 2030. Kancelaria Premiera RP, Warszawa 2009
2. http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/szczec/ASSETS_raport_czesc_1_ludnosc_clip_image002_0000.gif
3. <http://www.eshss.gcal.ac.uk/images/Glasgow%20Medical%20Missionary%20Society%20home%20visit.JPG>
4. http://republika.pl/blog_sz_676088/1773753/tr/szpital.jpg
5. <http://www.imageofsurgery.com/DellaCroce.jpg>
6. http://www.spectrum.ieee.org/images/public_html/automaton/DaVinci-Robot.jpg
7. http://www.imageofsurgery.com/Alfred_Crimi.jpg

8. http://www.nuhhrm.com/images/hp_pic4.jpg
9. http://www.myhandicap.com/uploads/pics/i-LIMB_01.jpg
10. <http://stores.chrisboonearts.com/catalog/Pirate%20Hook.jpg>
11. <http://web.ukonline.co.uk/ged.quayle/images/hippocrates.jpg>
12. http://www.imageofsurgery.com/Circum_Egypt.jpg
13. http://www.english-online.at/health_medicine/acupuncture/acupuncture2.gif
14. <http://news.thomasnet.com/IMT/archives/medieval%20plague.jpg>
15. <http://www.imageofsurgery.com/TeniersEM.jpg>
16. <http://www.imageofsurgery.com/Brueghel.JPG>
17. http://www.imageofsurgery.com/Ryff_1545.jpg
18. <http://www.geektoys.pl/foto/1331.jpg>
19. <http://www.medtek.ki.se/medicaldevices/album/Ch%206%20Measurement%20methods%20&%20values/slides/F%206-20%20Electromyography.jpg>
20. http://ww2.jhu.edu/CBSL/research_theme.gif
21. <http://impaedcard.com/issue/issue27/aquilinao2/AquilinaO.htm>
22. http://www.biodigitalsystems.com/img/mask_SPECT.jpg
23. Ogiela M.R., Tadeusiewicz R.: *Rozpoznawanie i komputerowe rozumienie obrazów medycznych*. Rozdział nr 1.8. w książce „Inżynieria Biomedyczna”, UWND, Kraków, 2008
24. Straka M.: *Processing and Visualization of Peripheral CT-Angiography Datasets*, PhD Thesis, TU Wien, 2006
25. Tadeusiewicz R.: *Sieci neuronowe w inżynierii biomedycznej*. Inżynieria Biomedyczna, vol. 13, nr 3, 2007, str. 184-189
26. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/pl/6/6c/System_ekspertowy_2.png
27. Lula P., Paliwoda-Pękosz G., Tadeusiewicz R.: *Metody sztucznej inteligencji i ich zastosowania w ekonomii i zarządzaniu*, Wydawnictwa Akademii Ekonomicznej w Krakowie, Kraków, 2007
28. http://www.uci.agh.edu.pl/uczelnia/tad/dorobek_naukowy.php?id=pubwww
29. Tadeusiewicz R., Gąciarz T., Borowik B., Leper B.: *Odkrywanie właściwości sieci neuronowych przy użyciu programów w języku C#*, Wydawnictwo Polskiej Akademii Umiejętności, Kraków, 2007
30. <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/skrypty/0001/>
31. http://www.danshope.com/news/img/02_03_09-mis_395x322.jpg
32. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/ab/Verbrennungsnarbe_keloid1.jpg/200px-Verbrennungsnarbe_keloid1.jpg
33. http://dsc.discovery.com/news/2006/09/06/gallery/artificialheart_zoom.jpg
34. <http://media.photobucket.com/image/cyborg/silverbeam/A%20CSM%20Blog/cyborg.jpg>