

Ryszard Tadeusiewicz

Laboratorium Biocybernetyki
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Informatyka medyczna

Ważnym źródłem sukcesów medycyny jest inżynieria biomedyczna oraz jej dział – informatyka medyczna. Współczesny lekarz może osiągać znacznie lepsze wyniki leczenia, niż jego kolega kilkadziesiąt lat temu, między innymi za sprawą szerokiego wykorzystania w medycynie osiągnięć informatyki. I o tym właśnie mówi ten artykuł. Rozważane są role i zadania jakie nowoczesna informatyka może spełniać we wspomaganiu lekarzy i służby zdrowia. Zadania te odnoszą się do zarządzania placówkami medycznymi. Dlatego omawiana jest rejestracja oraz ewidencja pacjentów oraz usług medycznych. Zadania te wiążą się ze wspomaganiem diagnostyki medycznej ze szczególnym uwzględnieniem systemów komputerowego przetwarzania sygnałów biomedycznych (EKG, EEG itp.) oraz systemów obrazowania medycznego (m.in. tomografia komputerowa). Omawiane są także role komputerów w sterowaniu aparaturą terapeutyczną (roboty chirurgiczne, magnetoterapia itp.). Prezentowane są również możliwości, jakie wiążą się z wykorzystaniem informatyki do zdalnego niesienia pomocy medycznej bezpośrednio w domach pacjentów lub w odosobnionych miejscach ich pobytu (na przykład podczas wypraw wysokogórskich) za pomocą tak zwanej telemedycyny.

1. Wprowadzenie

Informatyka jest dziedziną wiedzy, która dostarcza metod pozwalających rozwiązywać różne problemy. Część z nich jest związana z rozwojem badań naukowych, inne dotyczą zastosowań komputerów w technice i w gospodarce, w fabrykach i w bankach, w szkołach i w urzędach, a także w domach i w czasie podróży. Obserwujemy to na co dzień i do tego zdążyliśmy się już przyzwyczaić. Istnieje jednak na ogół mało znany obszar zastosowań informatyki, który jest związany z potrzebami medycyny. Tu komputer staje się sojusznikiem lekarza w jego walce o zdrowie i życie ludzkie. Dzięki wyposażeniu w odpowiednią aparaturę komputerową współczesny lekarz może lepiej i szybciej rozpoznawać procesy chorobowe trapiące pacjenta, a także trafniej ustalać sposób leczenia wykrytej choroby. Lekarze sprzed dwudziestu czy trzydziestu lat, którzy tych możliwości nie posiadali, gdyż liczba komputerów wtedy nie była duża, a ponad to były trudno dostępne, byli w trudniejszej sytuacji i rzadziej odnosili sukcesy. Dlatego komputery, które obecnie wspomagają pracę lekarzy, pozwalają im działać o wiele skuteczniej i pewniej, eliminując cierpienia pacjentów i oddalając ryzyko ich śmierci. A każdy czytający te słowa musi sobie uświadomić, że nawet jeśli teraz jest młody i zdrowy, to nieuchronnie przyjdzie taka chwila, gdy lekarze wyposażeni w mądrze zaprogramowane komputery będą starali się zmniejszyć JEGO cierpienia i usunąć zagrożenie JEGO życia – lub będą walczyć o życie i zdrowie jego najbliższych. Szanse sukcesu w tej walce może znacząco zwiększyć informatyk dostarczający nowych i doskonalszych narzędzi komputerowych dla medycyny.

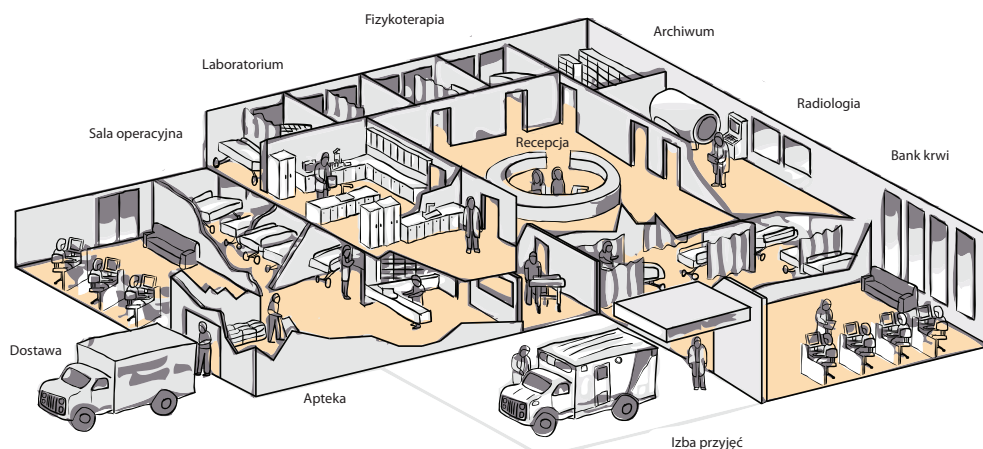
Czy może być szlachetniejszy cel studiowania i rozwijania informatyki?

2. Do czego można zastosować komputer w medycynie?

Komputery są dziś używane wszędzie i do wszystkiego, ponieważ dzięki różnorodnym programom – komputer jest dziś bardziej wielozadaniowy niż najbardziej rozbudowany szwajcarski scyzoryk. Nic więc dziwnego, że komputery pojawiają się także w jednostkach służby zdrowia. Jednak byłoby poważnym błędem oczekiwanie, że komputer w szpitalu będzie można wykorzystywać według tych samych wypróbowanych metod, jak tego typu sprzęt w przedsiębiorstwie handlowym, fabryce, banku lub urzędzie. Owszem, systemy komputerowe w medycynie mogą zbierać i przetwarzać dane o pacjentach, o chorobach i ich objawach, o zastosowanym leczeniu i o uzyskanych wynikach. W tym

zakresie ich zadania są podobne do tych, jakie pełnią komputery wykorzystywane w innych obszarach zastosowań informatyki. Komputerowi jest przecież obojętne, czy musi zapamiętać dane o pacjentach, czy o pasażerach samolotu. Usługi medyczne można więc rejestrować w komputerowych bazach danych podobnie jak usługi turystyczne czy hotelowe – i robi się to między innymi w celach rozliczeniowych.

Co więcej, zbieranie informacji o tym, jakim zabiegom poddawano pacjenta i ich skutkach, jest dodatkowo ważne z medycznego punktu widzenia – ponieważ można na przykład uniknąć błędu powtórnego podania leku, na który pacjent był uczulony albo który już wcześniej okazał się nieskuteczny. Dlatego w medycynie znajdują zastosowania typowe narzędzia informatyczne, takie jak bazy danych czy sieci komputerowe, ułatwiające zdalny dostęp do tych danych. Znajdą się one w każdej przychodni czy szpitalu (rys. 1).



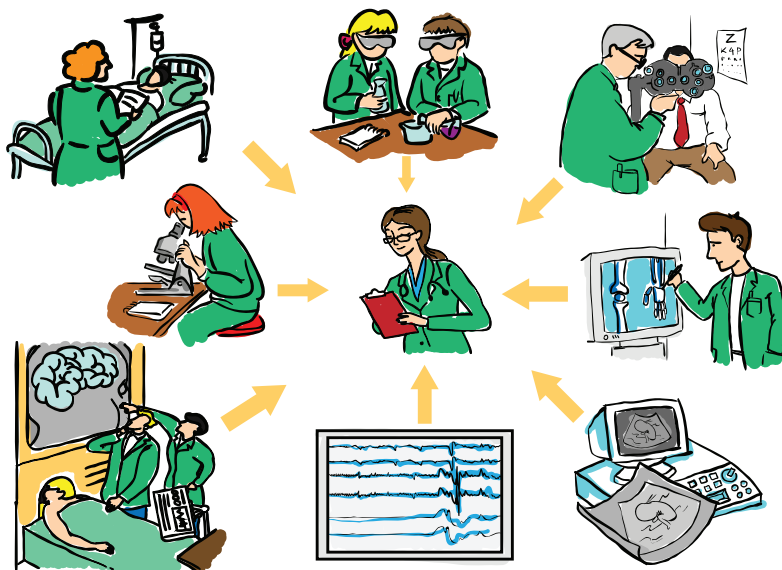
Rysunek 1. Niewielki szpital wyposażony w typowy system informatyczny służący ewidencji

Początki systemów informatyki medycznej wiążą się z pierwszymi zastosowaniami komputerów także i w innych dziedzinach, które miały miejsce w latach 50., 60. i 70. ubiegłego stulecia. Pierwszych, bardzo nieśmiałych i nieporadnych prób komputeryzacji medycyny wysledzić dziś nie sposób. Dlatego za początek informatyki medycznej uważa się zwykle opublikowanie przez informatyka Roberta Ledleya oraz lekarza (radiologa) Lee B. Lusteda artykułu zatytułowanego *Reasoning Foundations of Medical Diagnosis* w prestiżowym i szeroko czytanyim czasopiśmie „Science”. Miało to miejsce

w roku 1959. Pierwszy szpitalny system informatyczny został eksperymentalnie uruchomiony w roku 1964 w szpitalu El Camino w Kalifornii przez firmę Technicon. Jego twórcą był Martin Lockheed.

W nowoczesnych szpitalach dostęp do danych wszystkich pacjentów jest w każdym gabinecie lekarskim, a w przyszłości będzie zapewne także bezpośrednio przy łóżku chorego. To bardzo ułatwia prowadzenie leczenia i kontrolę tego procesu.

Jednak dla nas bardziej interesujące w tym tekście będą te zastosowania komputerów w medycynie, które są zdecydowanie **odmienne** od wszelkich innych. Spróbujemy pokazać, że wiele problemów związanych z medycznymi zastosowaniami informatyki jest wysoce specyficznych. Wymienimy je teraz skrótowo, a potem omówimy kolejno.



Rysunek 2. Lekarz obecnie podczas stawiania diagnozy wspomagany jest przez wiele różnych rodzajów systemów technicznych informujących o stanie pacjenta. Praktycznie wszystkie te aparaty mają wbudowane komputery

W momencie gdy pacjent zjawia się u lekarza (w przychodni, w szpitalu lub w dramatycznych okolicznościach w karetce pogotowia) – to najważniejszym zadaniem jest ustalenie, co mu dolega i jaka jest tego przyczyna. Innymi słowy, konieczne jest rozpoznanie choroby (lub doznanych obrażeń) i postawienie diagnozy. Dawniej lekarz wykonując to zadanie miał do dyspozycji wyłącznie własne zmysły (oglądał, osłuchiwał, opukiwał pacjenta) i własną wiedzę wyniesioną ze studiów lub wynikającą z osobistego doświadczenia. Obecnie może wyko-

rzystać aparaturę, która dostarcza setek informacji o procesach toczących się w narządach i tkankach badanego pacjenta, co umożliwia dokładne wskazanie źródła i natury choroby (rys. 2). Aparatura ta jest z reguły z informatyzowana, to znaczy sygnały i inne informacje z ciała pacjenta rejestruje komputer i dopiero w formie przeanalizowanej i przetworzonej (a więc łatwiejszej do interpretacji) przedstawia lekarzowi.

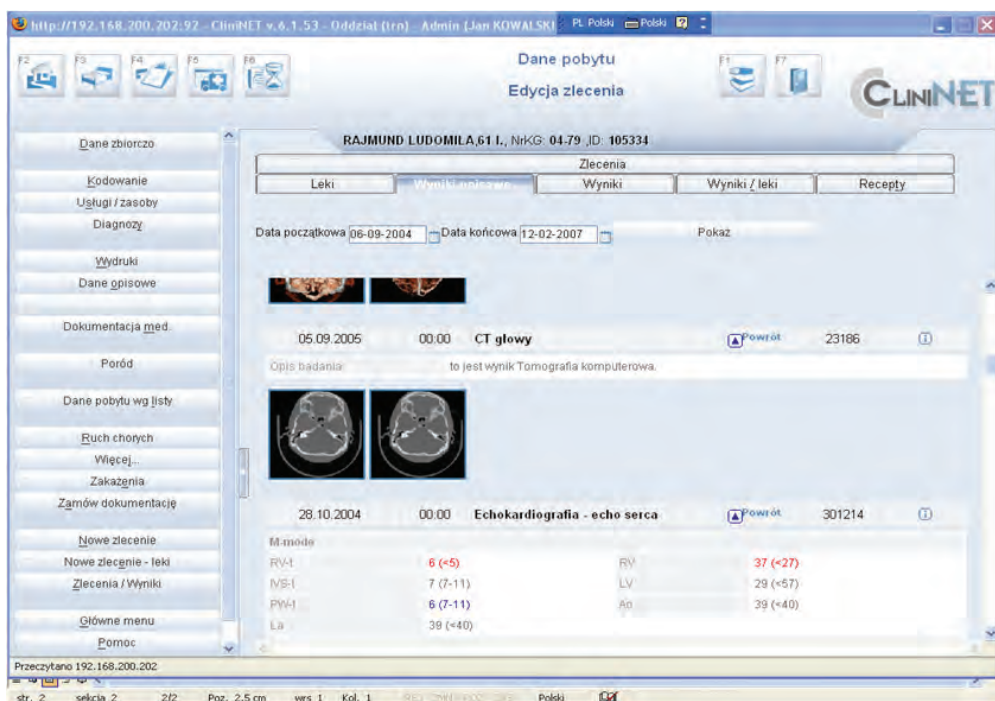
Lekarz przy ocenie stanu pacjenta, stawianiu diagnozy oraz podejmowaniu decyzji dotyczących terapii powinien kierować się zasadą określaną jako *evidence based medicine* (medycyna oparta na dowodach). Nie wnikając w szczegóły, wymaga to skonfrontowania zaobserwowanych u pacjenta objawów z najnowszymi danymi naukowymi i doświadczeniami klinicznymi, by podjąć decyzje gwarantujące osiągnięcie maksymalnej skuteczności, efektywności i bezpieczeństwa zaplanowanego leczenia. Ponadto lekarz może posłużyć się opisanymi osiągnięciami naukowymi oraz przypadkami klinicznymi, dostępnymi przez Internet w bibliotekach medycznych na całym świecie.

Po ustaleniu diagnozy i podjęciu decyzji o wyborze sposobu leczenia pacjenta – trzeba przystąpić do realizacji tego leczenia. Tutaj ponownie rola informatyki jest znacząca. **Elektroniczny rekord pacjenta** (rys. 3) może być bardzo pomocny w nadzorowaniu przebiegu leczenia, a także przy podejmowaniu w trybie roboczym kolejnych decyzji dotyczących stosowanej diety, podawanych leków i stosowanych zabiegów.

Komputer może także pomagać w obserwacji podstawowych parametrów charakteryzujących stan zdrowia pacjenta, takich jak temperatura czy ciśnienie krwi, zastępując tradycyjną kartę umieszczaną przy łóżku pacjenta. Jeszcze bardziej jest przydatne to, że z tego komputera może skorzystać pielęgniarka podająca leki lub kierująca pacjenta na specjalistyczne zabiegi. Do tego celu buduje się obecnie mobilne stanowiska robocze – specjalne terminale komputerowe w postaci wózków, które można łatwo przewozić z miejsca na miejsce lokując je kolejno przy łóżkach kolejnych pacjentów w kolejnych salach szpitalnych, gdzie można wygodnie sprawdzić wszystkie zalecenia lekarskie odnoszące się danego pacjenta, można wpisać informacje dotyczące przyjętych leków, zastosowanych zabiegów, ewentualnych uwag pacjenta na temat jego aktualnego samopoczucia itp. Wspomniany wózek pozwala na obsługę komputera w pozycji stojącej (naturalnej w przypadku osoby obsługującej pacjenta), uwalnia ręce pielęgniarki i pozwala na bardzo sprawne wykonywanie jej zadań.

Na koniec warto wspomnieć o jeszcze jednym medycznym zastosowaniu komputerów, mianowicie o ich roli jako narzędzi sterujących medyczną aparaturą terapeutyczną. Coraz większa liczba metod współczesnej terapii przewiduje, że leczącym elementem jest nie tylko tabletki czy iniekcja, ale także oddziaływanie na organizm pacjenta takiej czy innej maszyny. Maszynami takimi mogą być sztuczne serce lub sztuczna nerka, a także urządzenia dozujące do wnętrza

ciała pacjenta w celach terapeutycznych określone czynniki fizyczne – na przykład pole elektromagnetyczne albo promieniowanie jonizujące. Urządzenia takie wymagają precyzyjnego sterowania, a takie sterowanie może zapewnić jedynie odpowiednio zaprogramowany komputer.



Rysunek 3. Przykładowy elektroniczny rekord pacjenta

Źródło: http://www.codeconcept.pl/uhc/img/screens/CliniNET_Screen_02.png, maj 2012.

Pierwsze sztuczne narządy powstały jeszcze w latach 40. poprzedniego wieku. Na początku była to sztuczna nerka, której wynalazcą był Holender – Willem Johan Kolff. Pierwszą pacjentką wylezoną za pomocą sztucznej nerkę była Maria Sofia Schafstadt. Zabieg miał miejsce 11 września 1945 roku. Kolff był także pierwszym człowiekiem, który zbudował i zastosował (w 1957 r.) sztuczne serce, ale jego użycie zakończyło się niepowodzeniem. Pierwsze opatentowane sztuczne serce zostało opracowane w roku 1963 przez Paula Witchella, a do produkcji przemysłowej weszło w roku 1982 sztuczne serce Roberta Jarvika (o nazwie Jarvik 7). Obecnie i sztuczne nerki, i sztuczne serca (a także inne sztuczne narządy) wyposażane są w komputerowe sterowanie.

3. Komputery w diagnostyce medycznej

Jak już wspomnieliśmy – komputery pomagają w rozpoznaniu choroby i postawieniu diagnozy. Nowoczesne przychodnie lub szpitale wyposażone są w mnóstwo aparatury, która pozwala rejestrować różne sygnały z ciała pacjenta. Istnieje cała obszerna i bardzo dziś zaawansowana dziedzina wiedzy nazywana **inżynierią biomedyczną**, która określa między innymi to, jakie sygnały można uzyskać z ciała pacjenta i jak należy je interpretować, by naprawdę pomogły one lekarzowi w podjęciu poprawnej decyzji. Nowoczesne wersje wszystkich tych aparatów diagnostycznych powiązane są z komputerami, ponieważ to znacząco polepsza ich pracę. Metody informatyczne pomagają oczyścić z zakłóceń sygnały odebrane z ludzkiego ciała, następnie automatycznie je przeanalizować, dokładniej zinterpretować, a także zachować w bazie danych w celu przyszłego wykorzystania na przykład przy śledzeniu postępów procesu uczenia.

Elektrokardiografia (EKG) jest najwcześniej odkrytą i najszerzej stosowaną metodą rejestracji i analizy sygnałów elektrycznych towarzyszących procesom życiowym w narządach wewnętrznych. Pierwsze techniczne rejestracje elektrycznej aktywności serca przeprowadził w roku 1887 brytyjski fizjolog Augustus D. Waller, jednak podstawy nowoczesnej diagnostyki EKG stworzył w roku 1889 holenderski fizjolog Willem Einthoven, i to on za swoje prace w 1924 roku otrzymał Nagrodę Nobla. Dzisiaj przy rejestracji i analizie EKG coraz ważniejszą rolę pełnią komputery.

Znajdowanie nowych algorytmów służących do automatycznej analizy różnych sygnałów biomedycznych, gdy już znajdują się w komputerze, jest jednym z ciekawszych obszarów współczesnej informatyki. Możliwość zastąpienia przez dobrze przemyślany algorytm spostrzegawczego oka i mądrego umysłu specjalisty, pozwala na korzystanie z tych badań również przez mniej doświadczonego lekarza. Ma to duże znaczenie dla wczesnego wykrywania chorób, a wczesna diagnoza z reguły radykalnie zwiększa szanse na skuteczne leczenie. Co więcej, dobrze zbudowany program umieszczony przykładowo w smartfonie, wraz z prostą przystawką pozwalającą na wprowadzanie do tego smartfonu na przykład sygnału EKG (albo innych sygnałów życiowo ważnych dla danego pacjenta) – umożliwia stały nadzór nad stanem zdrowia, w razie potrzeby ostrzegając użytkownika o pojawiających się zagrożeniach. Na rysunku 4 pokazano przykładowe rozwiązanie tego typu, dzięki któremu pacjent może przebywać w domu i normalne funkcjonowanie (także w pracy zawodowej) – zamiast leżeć w szpitalu na obserwacji. Serce pacjenta jest stale pod kontrolą oprogramowania

umieszczonego w komputerze typu palmtop lub w smartfonie. Gdy serce pracuje poprawnie, to komputer ogranicza się do nadzoru, ale nie podejmuje żadnych dodatkowych działań. Jednak gdy obserwowany sygnał pracującego serca zacznie wykazywać nieprawidłowości, to program zawarty w pamięci tego wielofunkcyjnego urządzenia podejmie działania ratunkowe. Najpierw ostrzeże użytkownika, że powinien na przykład ograniczyć wysiłek, usiąść, położyć się. Potem, jeśli niepokojące objawy nie ustąpią, może automatycznie połączyć go z lekarzem kardiologiem, który przekaze bardziej szczegółowe zalecenia. Wreszcie w przypadku utrzymującego się lub pogłębiającego kryzysu wskazującego na poważną niesprawność działania serca – smartfon sam wezwie pogotowie, skutecznie informując, gdzie pacjent się obecnie znajduje, co sam ustali nawet w przypadku utraty przytomności przez pacjenta – dzięki sygnałom GPS.



Rysunek 4. Komputerowy system monitorowania serca umieszczony w smartfonie.

Źródło: <http://b4tea.com/wp-content/uploads/2010/10/wearable-ecg-system.jpg>, maj 2012.

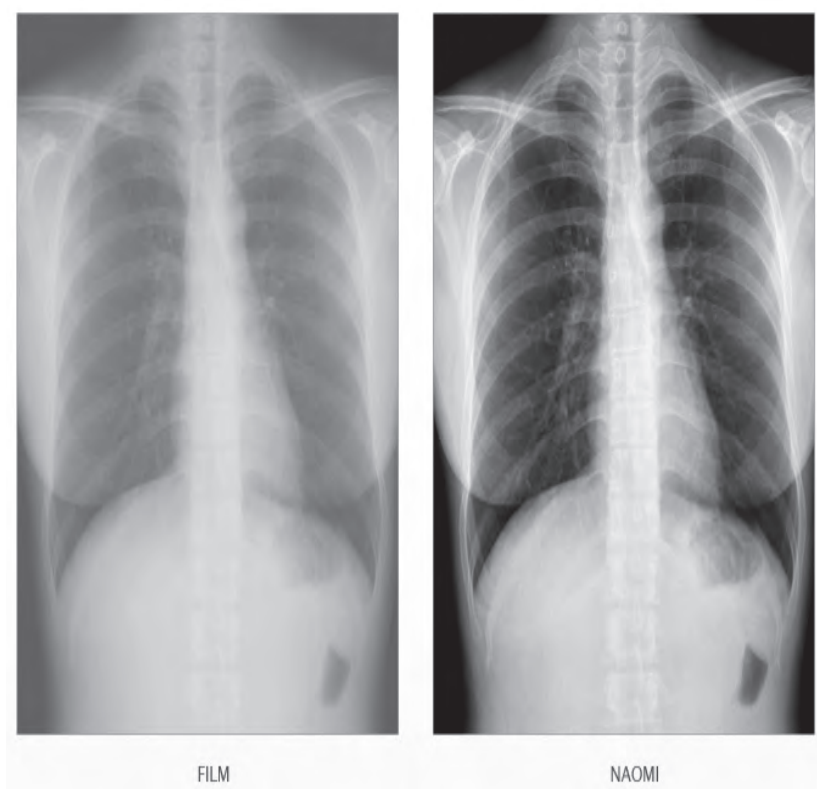
Opisany wyżej przykład zastosowania informatyki w specjalistycznej aparaturze diagnostycznej należy do obszernej dziedziny z pogranicza informatyki i medycyny określanej jako **telemedycyna**, o której jest mowa w dalszej części.

Obok sygnałów związanych z pracą serca, skomputeryzowana aparatura diagnostyczna może odbierać, rejestrować i pomagać interpretować jeszcze mnóstwo innych sygnałów związanych z pracą mózgu, narządów zmysłów (wzrok, słuch, dotyk), mięśni, organów wewnętrznych itp. Jest to obecnie jeden z najszybciej rozwijających się obszarów zarówno samej informatyki, jak i metrologii (nauki o czujnikach pomiarowych) oraz skojarzonej z nimi oboma inżynierii biomedycznej.

4. Komputerowe pozyskiwanie i analiza obrazowań medycznych

Przez całe stulecia wygląd narządów wewnętrznych badanego pacjenta był dla lekarza zagadką. Metodą palpacyjną (badanie dotykiem), opukiwaniem,

osłuchiwaniami, wnioskowaniem na podstawie różnych danych pośrednich itp. – lekarze tworzyli sobie pogląd na temat tego, jak wygląda taki czy inny narząd. W szczególności starali się ustalić, czy jest on zniekształcony przez chorobę, a jeśli tak, to w jakim miejscu i w jakim stopniu. Jednak było to mało dokładne i często dopiero podczas operacji przekonywali się, czy te domysły były trafne.



Rysunek 5. Przykładowy obraz rentgenowski ujawnia zalety oraz wady tej formy obrazowania

Źródło: http://www.rfamerica.com/images/naomi/tech/minimum/radi_sample_zoom.jpg, maj 2012.

Radykalną poprawę sytuacji przyniósł wynalazek obrazowania rentgenowskiego. Prześwietlenie ciała pacjenta promieniami X umożliwia przedstawienie narządów wewnętrznych w taki sposób, że na matrycy elektronicznych detektorów promieniowania (kiedyś na kliszy fotograficznej) ujawnia się ich zarys w postaci cienia (rys. 5). Obraz ten powstaje na skutek fizycznego zjawiska pochłaniania promieni X przez narządy ciała pacjenta. Tam, gdzie narządy silnie pochłaniają promieniowanie (na przykład kości) – pojawia się widoczny jasny cień. W miejscach słabszego pochłaniania (na przykład płuca) – obraz jest

szary. Tam gdzie promieniowanie praktycznie w ogóle nie przenika (powietrze poza obrysem ciała pacjenta) – obraz jest intensywnie czarny.

Punktem wyjścia do całej nowoczesnej radiologii (czyli nauki o obrazowaniu narządów wewnętrznych) było odkrycie w roku 1895 przez Wilhelma Roentgena tajemniczego promieniowania, które przez odkrywcę nazwane było promieniowaniem X (pod tą nazwą znane jest w większości krajów świata), a w Polsce i w Niemczech nazywane jest promieniowaniem rentgenowskim. Za odkrycie możliwości „zagłądania do wnętrza ciała” za pomocą promieniowania X Roentgen w roku 1901 został uhonorowany pierwszą Nagrodą Nobla w dziedzinie fizyki. Dziś obrazy rentgenowskie są nadal w użyciu, ale rejestracją i obróbką tych obrazów zajmują się komputery.

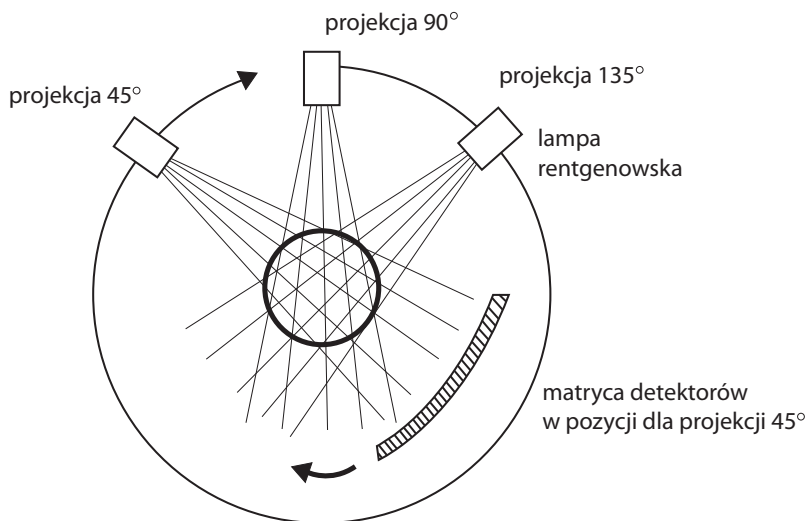
Niestety typowy obraz rentgenowski ma wiele wad. Po pierwsze zarysy narządów są na nim mało wyraźne. W centralnym punkcie obrazu widać kształt serca, ale jest on niewyraźny i mało czytelny. Narządów jamy brzusznej (poniżej przepony, w dolnej części zdjęcia) nie widać prawie wcale. Po drugie narządy przesłaniają się wzajemnie – na rysunku 5 cienie żeber i kręgosłupa nakładają się na obraz serca pogarszając i tak nie najlepszą możliwość oceny prawidłowości jego budowy. Najgorsza sytuacja jest z głową. Masywna czaszka ukrywa wewnątrz najcenniejszy narząd człowieka – mózg. Na tradycyjnym zdjęciu rentgenowskim praktycznie wcale nie można go zobaczyć. Żeby zróżnicować na przykład szarą i białą substancję mózgu trzeba użyć tzw. miękkiego promieniowania rentgenowskiego (powstającego, gdy aparat prześwietlający jest zasilany niższym napięciem). Ale takie miękkie promienie X są w całości pochłaniane przez kości czaszki i nie dostaną się do jej wnętrza. Gdy zaś zastosuje się promieniowanie twarde (powstające przy wysokim napięciu zasilającym aparat) – to przenikną one przez czaszkę, ale będą miały tak dużą energię, że przelecą przez struktury mózgowe praktycznie wcale nie ulegając pochłanianiu, więc nie dając potrzebnego diagnostycznie cienia.

Mimo wymienionych wad techniki rentgenowskiej była ona używana przez ponad pół wieku jako główne źródło wiedzy na temat narządów wewnętrznych ciała człowieka – po prostu nie było innej metody.

Pierwszy użyteczny praktycznie tomograf komputerowy zbudował w roku 1968 Godfrey Newbold Hounsfield, który otrzymał za to w roku 1979 Nagrodę Nobla. To była sensacja – po raz pierwszy Nagrodę Nobla w dziedzinie medycyny otrzymał infor-

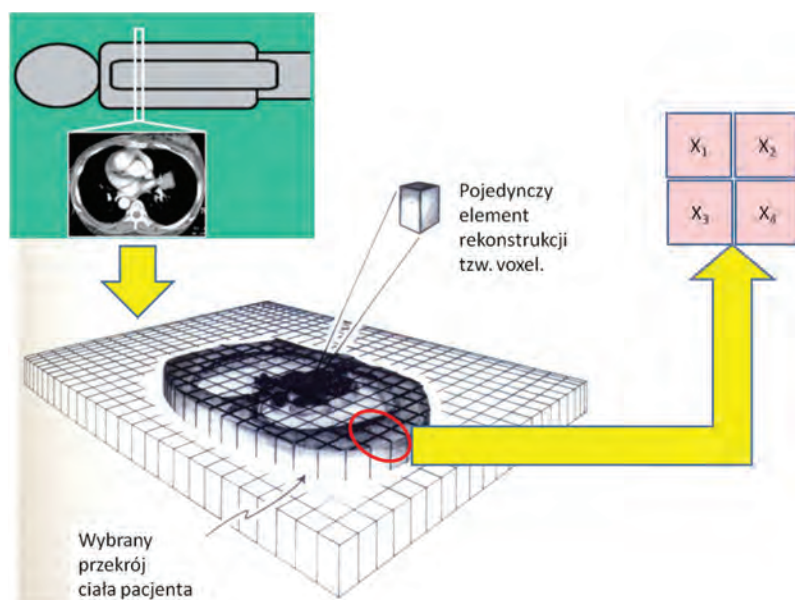
matyk. Co ciekawe, samą zasadę działania tomografu i algorytm jego działania opracował jeszcze w roku 1917 austriacki matematyk Johann Radon, jednak nie mógł swej metody wypróbować w praktyce, gdyż dla uzyskania obrazu tomograficznego trzeba rozwiązać układ kilkuset tysięcy równań o kilkuset tysiącach niewiadomych, co bez komputerów było niewykonalne.

Przełom nastąpił za sprawą informatyki. Mianowicie zbudowano i praktycznie zastosowano tomograf komputerowy. W **tomografii** obraz wnętrza ciała człowieka powstaje poprzez komputerową interpretację wyników wielokierunkowego prześwietlenia ciała pacjenta cienkimi promieniami rentgenowskimi. Przy każdym takim prześwietleniu mierzone jest natężenie promieniowania wysyłanego oraz po przejściu przez ciało pacjenta. W ten sposób otrzymuje się dokładną miarę łącznego stopnia pochłaniania promieniowania X na drodze tego cienkiego promienia. Za to łączne pochłanianie odpowiedzialne są wszystkie narządy, przez które promień przechodzi. Gdyby mieć tylko jeden taki wynik – byłby w istocie mało przydatny. Ale ponieważ tomograf gromadzi bardzo wiele takich danych, pochodzących od prześwietlania ciała pacjenta w różnych kierunkach i pod różnymi kątami – każdy punkt wewnątrz ciała wchodzi (jako niewiadoma) do wielu wyników pomiarów łącznego pochłaniania na różnych drogach (rys. 6).



Rysunek 6. Zbieranie danych do tworzenia obrazu wnętrza ciała w tomografii komputerowej. Opis w tekście

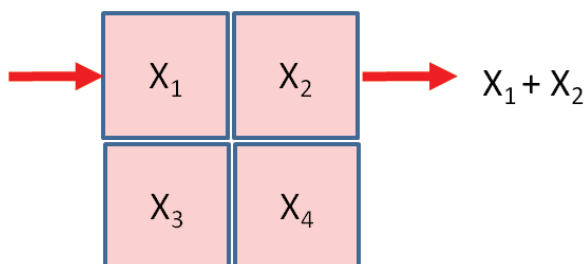
Powstaje w ten sposób układ wielu równań, w których znane są sumaryczne pochłaniania, a nieznane są pochłaniania w różnych konkretnych punktach wewnątrz ciała pacjenta. Rozważmy uproszczony przykład przedstawiony na rysunku 7.



Rysunek 7. Zasada tworzenia obrazu w tomografii komputerowej

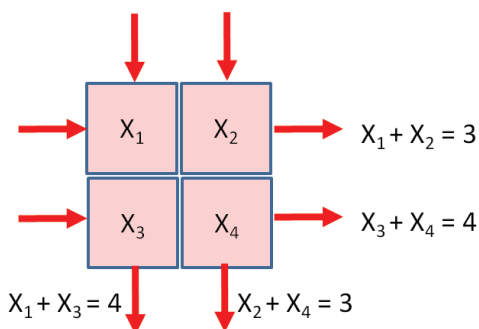
Przedstawiono tym ciało pacjenta, o którym tomograf zbiera informacje w postaci przekroju wybraną płaszczyzną. W tej płaszczyźnie wyróżnia się małe fragmenty ciała człowieka (lub otaczającej przestrzeni), które odpowiadają ogólnie znanym pikselom na obrazach, ale ponieważ są to elementy trójwymiarowe – nazywa się je voxelami (lub wokselami). Komputer opracowujący dane z tomografu ustala, jak dużą zdolność pochłaniania promieniowania rentgenowskiego ma każdy voxel. Pokażemy, jak się to odbywa, ograniczając nasze działania do czterech wyodrębnionych voxelów, pokazanych w prawej górnej części rysunku.

Każdy z rozważanych voxelów cechuje się jakąś (nieznaną!) zdolnością pochłaniania promieniowania rentgenowskiego. Te zdolności pochłaniania oznaczymy jako niewiadome x_1 , x_2 , x_3 , x_4 . Żeby ustalić wartości tych niewiadomych przepuszczamy przez ciało pacjenta w różnych miejscach i w różnych kierunkach wąskie wiązki promieniowania rentgenowskiego, mierząc każdorazowo dokładnie natężenie promieniowania wchodzącego do ciała i natężenie promieniowania wychodzącego po drugiej stronie. W ten sposób można ustalić sumaryczny stopień pochłaniania promieniowania na pewnej wybranej drodze (rys. 8).



Rysunek 8. Sumaryczny stopień pochłaniania promieniowania na drodze obejmującej voxele numer 1 i 2

Jeśli taki sumaryczny stopień pochłaniania promieniowania ustalimy (na drodze pomiaru) na każdej rozważanej drodze – to można będzie ułożyć układ równań, w których jako niewiadome wystąpią wartości stopnia pochłaniania w poszczególnych rozważanych voxelach x_1, x_2, x_3, x_4 , a jako wartości wiadome wystąpią te zmierzone sumaryczne stopnie pochłaniania na poszczególnych drogach (rys. 9). Ponieważ w przykładzie rozważane są zaledwie cztery voxele – wystarczą cztery sondowania (prześwietlenia wąską wiązką promieni w dwóch położeniach i w dwóch kierunkach).



Rysunek 9. Wyniki dwukierunkowego sondowania wybranej grupy voxelu.

Z wyników sondowań można ułożyć układ równań, którego użyjemy do określenia nieznanymi wartości stopnia pochłaniania w poszczególnych rozważanych voxelach x_1, x_2, x_3, x_4 . Oto on:

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 &= 3 \\ x_3 + x_4 &= 4 \\ x_1 + x_3 &= 4 \\ x_2 + x_4 &= 3 \end{aligned}$$

Rozwiązując ten układ równań otrzymamy wartości:

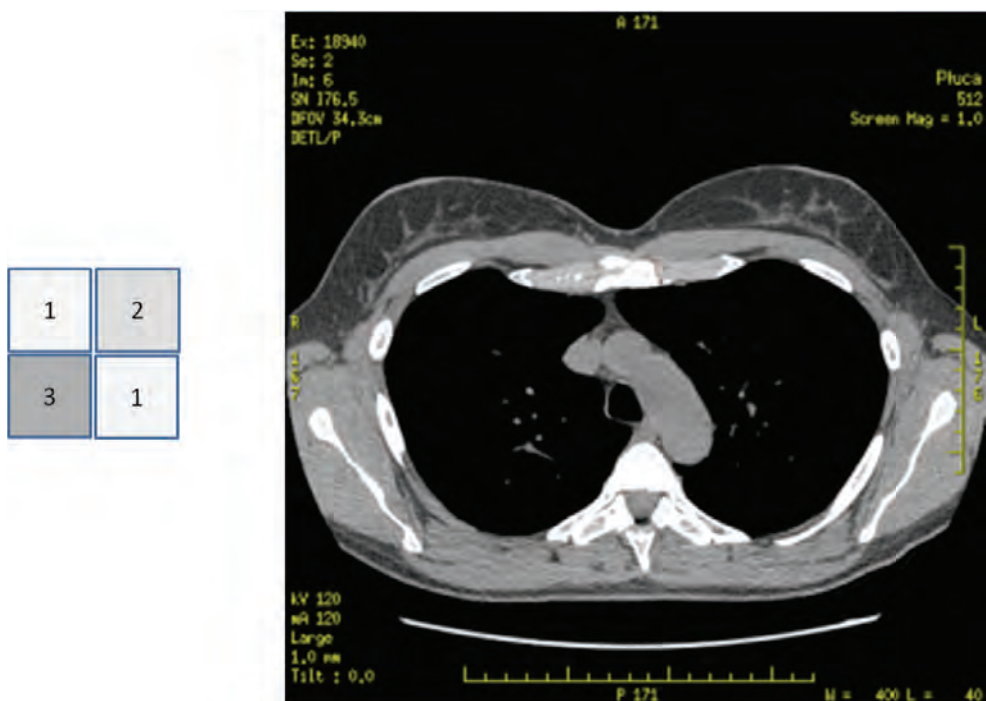
$$x1 = 1$$

$$x2 = 2$$

$$x3 = 3$$

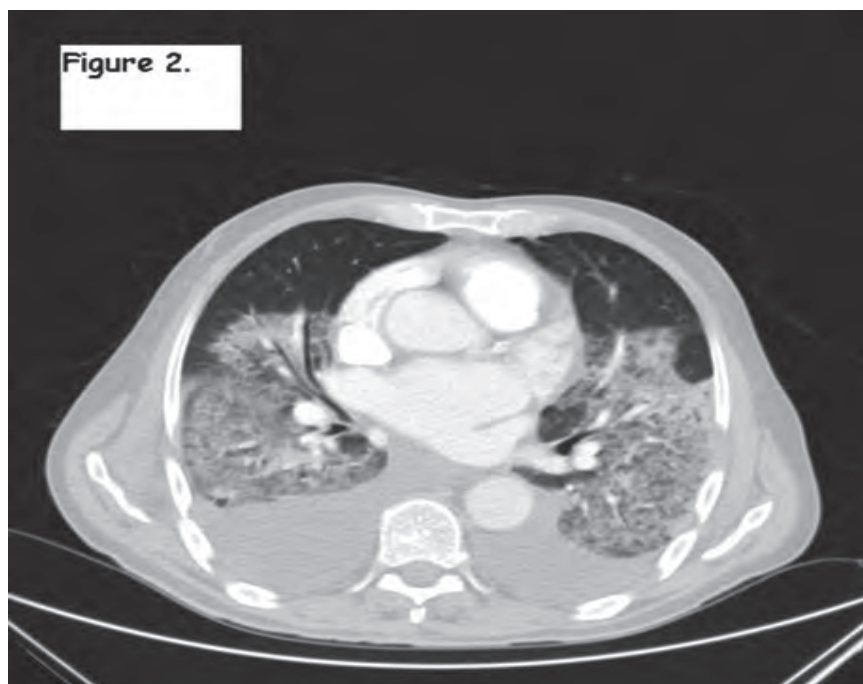
$$x4 = 1$$

Przedstawiając powyższe wartości jako punkty o zróżnicowanej szarości mamy dla rozważanego małego kawałka ciała pacjenta obraz pokazany na rysunku 10 po lewej stronie. Wykonując takie same czynności, jak wymienione wyżej, dla dziesiątków tysięcy voxelów wchodzących w skład rozważanego przekroju ciała człowieka musimy użyć dziesiątków tysięcy sondowań, powstających w sposób zasygnalizowany na rysunku 6. Efektem jest układ dziesiątków tysięcy równań. W każdym równaniu niewiadoma oznaczająca pochłanianie promieni rentgenowskich przez pewien konkretny punkt występuje wraz z niewiadomymi oznaczającymi to pochłanianie w innych punktach, ale w każdym równaniu jest brana pod uwagę inna kolekcja punktów, bo każde równanie jest zapisem pomiaru dokonanego przez promień biegnący przez ciało pacjenta w innym kierunku. Po zgromadzeniu wszystkich tych równań i rozwiązaniu wszystkich niewiadomych – wynik tych obliczeń można pokazać jako obraz. W efekcie z wielu punktów o zróżnicowanej szarości powstaje taki obraz, jak przedstawiono na rysunku 10 po prawej stronie.



Rysunek 10. Przekształcenie wyników obliczeń komputerowych na czytelny obraz przekroju ciała

Obraz, który w ten sposób powstaje, jest odmienny od obrazu uzyskiwanego w tradycyjnym aparacie rentgenowskim. Po pierwsze przedstawia on wnętrze ciała człowieka i znajdujące się tam narządy w przekroju. Dzięki temu nic niczego nie przesłania i każdy narząd widoczny jest dokładnie i osobno. Można to zobaczyć na rysunku 11, który przedstawia wnętrze klatki piersiowej (analogicznie jak rys. 5), ale w tym przypadku wszystkie struktury (kręgosłup, żebra, serce, płuca) widać wyraźnie osobno. Co więcej, dzięki zobrazowaniu narządów wewnętrznych w formie przekroju można wyraźnie zobaczyć wewnętrzną budowę serca oraz strukturę płuc, czego na zwykłym zdjęciu rentgenowskim trudno się doszukać.



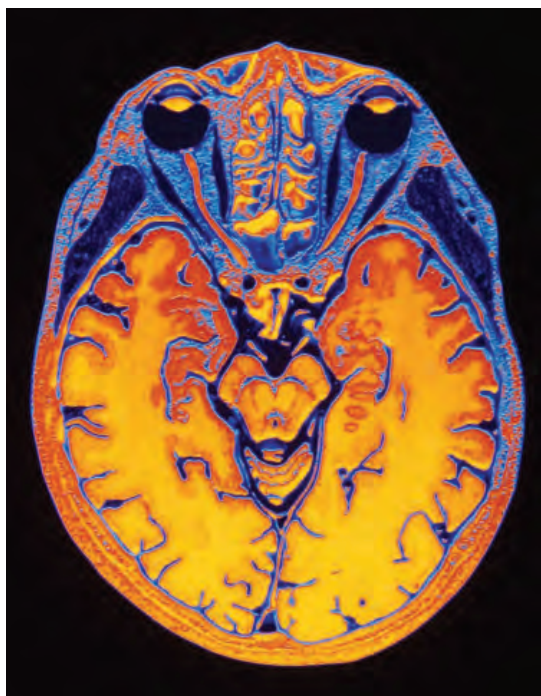
Rysunek 11. Obraz tomograficzny wnętrza klatki piersiowej

Źródło: <http://www.ispub.com/journal/the-internet-journal-of-thoracic-and-cardiovascular-surgery/volume-9-number-2/a-fatal-case-with-diffuse-alveolar-hemorrhage-due-to-tirofiban-and-clopidogrel-therapy.article-g02.ns.jpg>, maj 2012.

Druga zaleta obrazu uzyskiwanego za pomocą tomografii komputerowej związana jest z tym, że można na nim uzyskać bardzo dokładne zarysowanie także tych obiektów, w których pochłanianie promieniowania rentgenowskiego bardzo nieznacznie różni się od ich otoczenia. Na tradycyjnym zdjęciu rentgenowskim takie obiekty będą bardzo słabo widoczne lub wręcz niewidoczne, bo ich szarość będzie prawie taka sama jak szarość otoczenia. Natomiast w tomografii komputerowej odpowiednio rozwiązując odpowiednie równania stwierdzi, że w tym punkcie jest taka wartość pochłaniania, a w innym punkcie wartość ta jest inna, więc

może także tę mocno subtelną różnicę przedstawić bardzo wyraziście, odwodując się (jeśli potrzeba) także do odwzorowania barwnego (różnym stopniom pochłaniania promieniowania rentgenowskiego przyporządkowane zostaną różne barwy). Przykład takiego sztucznie wybarwionego obrazu tomograficznego jest przedstawiony na rysunku 12.

Zastosowanie sztucznego barwienia obrazów z tomografu komputerowego uzasadnione jest tym, że oko ludzkie odróżnia tylko około 60 poziomów szarości, a w wyniku obliczeń komputerowych punkty na obrazie tomograficznym reprezentują zdolność pochłaniania promieniowania wyrażaną liczbowo w przedziale od -1000 do $+1000$. W związku z tym, na obrazie tomograficznym trzeba odwzorować rozpiętość jasności pikseli wynoszącą 2000 tak zwanych jednostek Hounsfielda (HU), czego samą tylko skalą jasności (albo szarości) zrobić się po prostu nie da. Nawiasem mówiąc, warto zauważyć na rysunku 12 jak perfekcyjnie tomografia komputerowa potrafi odtworzyć niedostępne dla zwykłego rentgena wnętrze czaszki człowieka, prezentując budowę mózgu, a nawet wnętrze gałek ocznych (widoczne są soczewki).

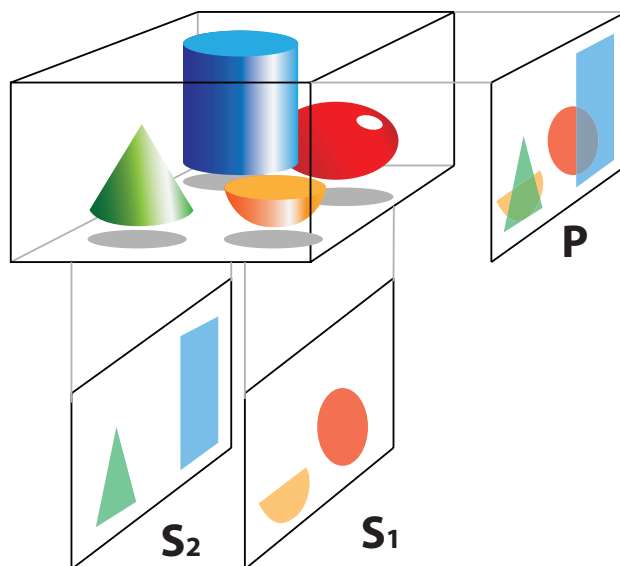


Rysunek 12. Obraz tomograficzny ma w wyniku obliczeń komputerowych tak wiele poziomów wartości pikseli, że do ich odwzorowania używa się nie tylko jasności, ale dodatkowo także kolorów

Źródło: http://i.dailymail.co.uk/i/pix/2008/10/25/article-1080553-02380787000005DC-299_233x310_popup.jpg, maj 2012

Zadanie komputera w tomografii do łatwych nie należy. Liczba punktów wewnątrz ciała pacjenta, których zdolność pochłaniania promieniowania rentgenowskiego usiłujemy ustalić na drodze rozwiązania wspomnianych równań, bywa ogromna. Kilkadziesiąt tysięcy takich punktów (pikseli) to wartość minimalna, a bywa, że jest ich kilka milionów. Próba rozwiązania tak wielkiej liczby równań o tak ogromnej liczbie niewiadomych nawet dla współczesnych komputerów stanowi poważny problem. Dlatego jest tu pole do popisu dla młodych informatyków!

Komputer przy obrazowaniu medycznym ma obecnie jeszcze jedną rolę. Tradycyjna rentgenografia pozwalała przedstawić narządy wewnętrzne pacjenta w formie projekcji (rzutu na płaszczyznę), gdzie niestety narządy te przesłaniały się wzajemnie, co utrudniało ich analizę i diagnostyczną interpretację (patrz rysunek 13 – zobrazowanie P po prawej stronie).



Rysunek 13. Zobrazowanie tej samej makiety zawierającej wewnątrz kilka elementów w układzie obrazu płaskiego (P), przekrojów (S1 i S2) oraz w formie trójwymiarowej rekonstrukcji

Z kolei tomografia komputerowa dostarcza informacji w postaci przekrojów ciała pacjenta wybranymi płaszczyznami (patrz zobrazowania S1 i S2 w dolnej części rysunku 13) – ale przydatność tych przekrojów jest ograniczona i mocno zależy od tego, czy płaszczyzna przekroju trafi wewnątrz obiektu na któryś z istotnych elementów – czy też je ominie.



Rysunek 14. Trójwymiarowa rekonstrukcja określonych struktur anatomicznych. Jest to podobnie jak na rysunkach 5 i 11 wewnątrz klatki piersiowej z sercem i żebrami – ale jakże inaczej przedstawione!

Źródło: http://regmedia.co.uk/2004/09/29/chest_image.jpg, maj 2012

Kompletną informację można uzyskać, gdy dokona się trójwymiarowej rekonstrukcji badanego obiektu (w medycynie – wnętrza ciała pacjenta). I właśnie takie trójwymiarowe rekonstrukcje wybranych fragmentów ciała człowieka potrafią tworzyć komputery – łącząc w tym przypadku elementy analizy obrazów pozyskiwanych na przykład za pomocą tomografii oraz elementy grafiki komputerowej pozwalającej wynik rekonstrukcji odpowiednio prezentować (rys. 14).

Warto dodać, że współczesne systemy komputerowego przetwarzania obrazów medycznych nie tylko pomagają pozyskiwać obrazy narządów wewnętrznych, ale także gromadzą je w szpitalnej bazie danych. Służą do tego specjalne systemy RIS – *Radiology Information System* oraz PACS – *Picture Archiving and Communication System*. W szpitalu wyposażonym w taki system oraz w bezprzewodową sieć komputerową lekarz może skorzystać z obrazu wnętrza ciała leczonej osoby w każdej chwili i w każdym miejscu.

Pierwszy system komputerowy przeznaczony do centralnego gromadzenia i zarządzania obrazami medycznymi stworzył w roku 1979 profesor Heinz Lamke na uniwersytecie technicznym w Berlinie. System ten gromadził obrazy z tomografu kom-

puterowego, pozwalał je przetwarzać i zawierał większość elementów wchodzących w skład współczesnych systemów typu PACS łącznie z interfejsem, który łączył ten system z istniejącym wcześniej systemem szpitalnym.

5. Informatyka we wspomaganiu terapii

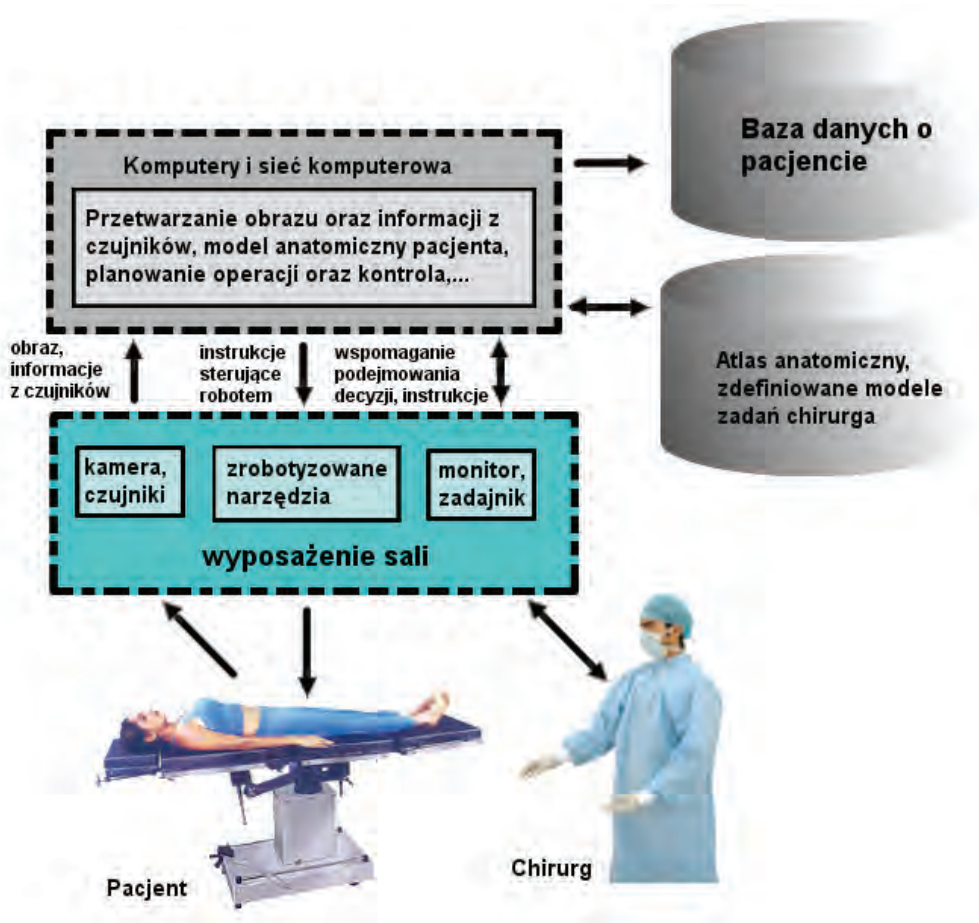
Po postawieniu diagnozy, w czym jak wspomniano wyżej systemy informatyczne mogą być bardzo pomocne, następuje proces leczenia pacjenta. Tutaj także systemy komputerowe i informatyka mogą być bardzo pomocne. Typowe leczenie polega na podawaniu określonych farmaceutyków i obserwowaniu skutków ich działania. Komputer może tu gromadzić dane o zaleceniach lekarzy, kontrolować sumiennność i terminowość ich wykonywania oraz monitorować ilościowe (mierzone za pomocą specjalnej aparatury) oraz jakościowe (opisywane przez personel medyczny lub przez samego pacjenta) efekty działania podawanych leków. Jednak w tym zakresie stopień użyteczności informatyki medycznej jest ograniczony i w związku z tym cała ta sfera działania medycznego jest w tym tekście pominięta.

Pierwsze wykorzystanie robota do celów chirurgicznych miało miejsce, gdy w roku 1985 dr Yik San Kwoh przeprowadził biopsję mózgu za pomocą odpowiednio przystosowanego robota przemysłowego PUMA 560. W roku 1988 w Imperial College w Londynie zbudowano specjalnego robota do celów chirurgicznych. Nazywał się PROBOT i był stosowany w Guy's and St Thomas' Hospital w Londynie przez dra Senthila Nathana.

Z odmienną sytuacją mamy do czynienia w momencie, gdy zamiast leczenia farmakologicznego lekarz decyduje się na zabieg operacyjny. Obecnie większość operacji chirurgicznych wykonuje się ręcznie, a komputerowa aparatura na sali operacyjnej głównie służy do dostarczania chirurgom potrzebnych informacji (między innymi omawianych wyżej zobrażeń wnętrza ciała pacjenta) oraz do monitorowania stopnia uśpienia pacjenta (jako konsola anestezjologa).

Jednak ta sytuacja powoli ulega zmianie w związku z rozpowszechnianiem się techniki robotów chirurgicznych.

Ważną zaletą robotów chirurgicznych jest to, że sterujący robotem lekarz może być daleko od sali operacyjnej, na której wykonywany jest zabieg, a jednak to on w istocie przeprowadza operację. Pierwszy taki zdalny zabieg został przeprowadzony w 2001 roku. Chirurg profesor Jacques Marescaux przebywający w Nowym Jorku wykonał operację (cholecystektomię) przy użyciu robota ZEUS u pacjentki przebywającej na sali operacyjnej w szpitalu w Strasburgu we Francji.



Rysunek 15. Rola komputera w zrobotyzowanym stanowisku chirurgicznym.
Rysunek zaczerpnięty za zgodą autora z książki
Leszka Podśędkowskiego *Roboty medyczne – budowa i zastosowanie*
(WNT, 2010)

Sam zabieg na ciele pacjenta wykonuje robot, który jest sterowany przez komputer. Chirurg siedzący wygodnie przy specjalnej konsoli sterującej za pomocą trzymanyh w rękach manipulatorów wysyła swoje polecenia do komputera, które ten przekłada na sygnały sterujące dla robota. Sygnały te są wysyłane, gdy lekarz wykonuje swymi rękami taki ruch, jaki powinno wykonać narzędzie chirurgiczne

Na ogół ruchy rąk operatora w takim systemie są znacznie obszerniejsze, niż ruchy narzędzi chirurgicznych przymocowanych do ramion robota. Powoduje to, że robot wykonuje narzędziami chirurgicznymi bardzo subtelne i precyzyjne działania wewnątrz ciała operowanego pacjenta, a lekarz nie musi wkładać w to działanie tak wiele wysiłku ani tak wiele uwagi, jakie musiałby angażować, gdyby sam przeprowadzał zabieg. Co więcej, komputer przekazujący polecenia lekarza do robota może eliminować różne niepotrzebne zjawiska – na przykład drżenie rąk chirurga.

Dla nas w tym artykule kluczowe znaczenie ma rola komputera w omawianym systemie. Jest ona uwidoczniiona na rysunku 15 i polega na tym, że komputer odbiera, przetwarza, rejestruje i analizuje wszystkie sygnały pojawiające się w systemie – zarówno te pochodzące z wnętrza ciała operowanego pacjenta (obrazy z kamer endoskopowych, czujniki dotyku, siły, momentu obrotowego itp.), sygnały pochodzące od robota (informacje o położeniu i przemieszczeniach poszczególnych części robota i trzymanyh przez niego narzędzi chirurgicznych), jak i sygnały pochodzące od lekarza manipulującego dżojstikami i innymi elementami sterującymi. Na podstawie tych danych, a także na podstawie ogólnych danych medycznych i szczegółowych danych o konkretnym pacjencie – komputer opracowuje i wysyła szczegółowe instrukcje sterujące robotem, a także pełni rolę doradczą w stosunku do przeprowadzającego operację lekarza.

Operacja wykonywana z pomocą robota chirurgicznego jest wygodniejsza dla lekarza. Zamiast stać pochylony nad ciałem pacjenta na stole operacyjnym – siedzi wygodnie przy konsoli i widzi pole operacyjne na monitorach pokazujących obraz z wnętrza ciała pacjenta w sposób trójwymiarowy i w dużym powiększeniu. Dzięki temu lekarz może bez nadmiernego zmęczenia wykonać więcej operacji, a jakość tych operacji jest lepsza w stosunku do tych wykonywanych tradycyjnie.

Operacja przeprowadzona z pomocą robota chirurgicznego jest też korzystniejsza dla pacjenta. Narzędzia chirurgiczne przymocowane do ramion robota wnikają do wnętrza ciała pacjenta przez niewielkie (kilkumilimetrowe) otwory w czaszce, ścianach klatki piersiowej lub w powłokach brzusznych. Powoduje to minimalizację zranienia, jakiego doznaje pacjent w wyniku przeprowadzonej operacji, ogranicza utratę krwi i znacząco skraca czas pobytu w szpitalu. Co więcej, poddanie się operacji wykonanej z użyciem robota istotnie przyspiesza

moment, kiedy pacjent skutecznie wyleczony będzie mógł powrócić do swoich obowiązków zawodowych czy do rodziny.

A wszystko dzięki mądrymu zastosowaniu informatyki w medycynie.

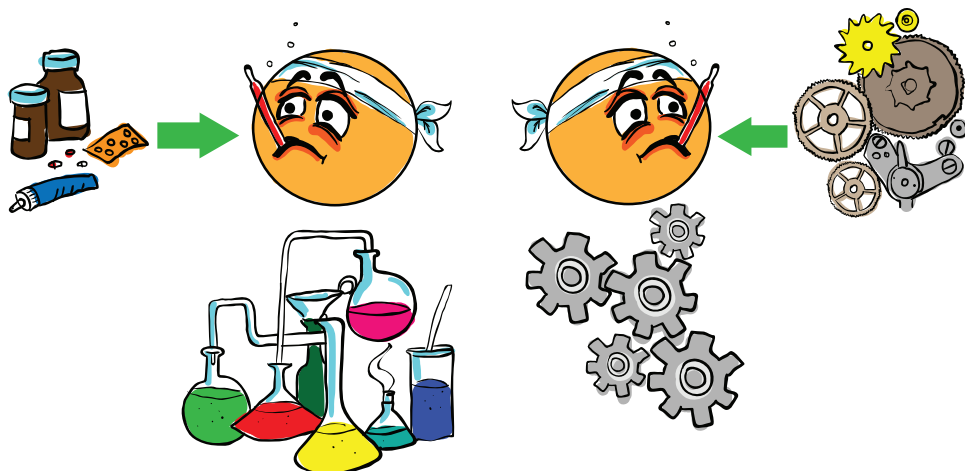
6. Leczenie czynnikami fizycznymi i komputerowe wspomaganie tego leczenia

W poprzednim rozdziale wskazano na rolę komputera w leczeniu metodami znanymi i stosowanymi od wieków: farmakoterapią i chirurgią. Postęp inżynierii biomedycznej doprowadził jednak do tego, że obecnie w asortymencie metod i technik leczniczych pojawiły się także różne czynniki fizyczne, którymi lekarze usiłują naprawiać uszkodzoną przez chorobę „maszynierię” ludzkiego ciała.

Zatrzymajmy przez moment uwagę na ukrytym sensie ostatniego zdania. Przez całe stulecia powszechnie rozważano organizm ludzki jako swoisty reaktor chemiczny, w którym zachodzą różne procesy. Procesy te można obserwować poprzez oznaczanie w tkankach zawartości określonych substancji chemicznych, dlatego przy badaniu pacjenta i stawianiu diagnozy lekarz zleca różne biochemiczne badania krwi i innych płynów ustrojowych. Poznaje w ten sposób aktualny stan tego reaktora chemicznego, jakim jest ludzkie ciało. Od stuleci, wręcz od kilku tysięcy lat ludzie wierzą w to, że na zjawiska zdrowia i choroby można wpływać podając pacjentowi różne leki. Dawniej dobór tych leków był dyktowany obserwacją przyrody (na przykład chore zwierzęta zjadały różne zioła i zdrowiały, więc lekarze je również stosowali u ludzi), ale obecnie, gdy poznaliśmy procesy biochemiczne zachodzące w naszym organizmie – leki można dobierać naukowo. Traktując ciało człowieka w ten sposób można starać się regulować jego pracę poprzez dodawanie do tego reaktora chemicznego różnych substancji. Skutkiem obowiązywania tego paradygmatu jest praktyka leczenia chorób poprzez dostarczanie do organizmu określonych substancji chemicznych (farmakologicznych), których liczba i częstość stosowania ostatnio niepokojąco rośnie. Pacjenci w starszym wieku zażywają całe garście różnych pastylek wydając na ich zakup coraz więcej pieniędzy...

W ostatnich latach prace badawcze wykazały jednak, że obok biochemicznego modelu funkcjonowania organizmu człowieka, którego przydatności nikt nie kwestionuje, ale który dotarł w wielu przypadkach do kresu swego skutecznego działania, możliwe i celowe jest korzystanie w medycynie także z modelu biofizycznego. W tym drugim przypadku ciało ludzkie jest traktowane jako skomplikowana maszyna, w której przebiegają różne procesy – nierzadko wymagające sterowania lub wspomaganie czynnikiem fizycznym, a nie chemicznym. Przy tym modelu choroba jest traktowana jako niesprawność jednego lub kilku

wewnętrznych mechanizmów, jako zaburzenie dotyczące określonych procesów biofizycznych, charakterystycznych dla stanu dobrego zdrowia. Skoro wnętrze ciała człowieka to maszyna, to czynnikiem leczącym staje się także maszyna wytwarzająca i wprowadzająca do organizmu pacjenta odpowiedni czynnik fizyczny (rys. 16).



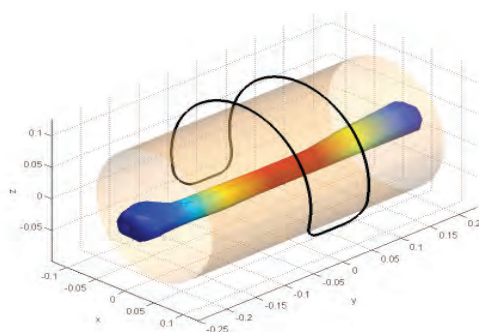
Rysunek 16. Dwa sposoby traktowania organizmu chorego człowieka oraz jego leczenia – biochemiczny i biofizyczny (opis w tekście)

Terapia przy pomocy czynników fizycznych nie jest wyłącznie osiągnięciem najnowszej medycyny, gdyż bywała ona stosowana w przeszłości, chociaż na ogół na zasadzie intuicyjnego poszukiwania czynnika leczniczego wśród oddziaływań dostępnych za pomocą nawet najprostszych środków. Przykładowo można podać, że w medycynie chińskiej od 3000 lat używano akupunktury, starożytni lekarze greccy stosowali gorące i zimne kąpiele taktując ciepło jako czynnik leczący, kapłani egipscy wykorzystywali kamienie magnetyczne jako źródło magnetoterapii, a w starożytnym Rzymie używano elektrycznych ryb zdolnych (np. drętwa) do leczenia tych schorzeń, które dziś też leczymy elektrycznymi impulsami generowanymi przez elektroniczną aparaturę.

O ograniczonej przydatności informatyki w odniesieniu do sfery podejścia biochemicznego i leczenia farmakologicznego była już mowa. Natomiast przy podejściu biofizycznym i leczeniu z zastosowaniem specjalnych maszyn komputery mogą być bardzo użyteczne. Żeby nie rozpraszać uwagi na zbyt wiele

różnych wątków skupimy uwagę na leczeniu przy wykorzystaniu pól elektromagnetycznych, a konkretnie na jednej z technik leczenia metodami elektromagnetycznymi, a mianowicie magnetoterapii. Jest to metoda leczenia pulsującym polem magnetycznym niskiej częstotliwości, które za pomocą specjalnych aplikatorów wprowadza się do wybranych regionów ciała pacjenta.

Przy stosowaniu tej metody leczenia ważne jest takie sterowanie aparaturą aplikującą pole magnetyczne do wnętrza ciała pacjenta, żeby uzyskać maksymalną koncentrację tego pola na chorym narządzie, a minimalnie rozpraszać je na inne, niewymagające tego części ciała. Dla realizacji tego zadania bardzo przydatna jest symulacja komputerowa. Na rysunku 17 pokazano działanie programu modelującego wnikanie pola magnetycznego do wnętrza kończyny w przypadku wspomagania polem magnetycznym procesu zrostania się kości przy złamaniu w połowie jej długości.



Rysunek 17. Komputerowe modelowanie oddziaływania pola magnetycznego i chorego narządu (złamanej kończyny)

Źródło: rysunek pochodzi z artykułu autora [1].

Dzięki takiej symulacji komputerowej można optymalnie dobrać kształt aplikatora pola magnetycznego, jego rozmiar oraz położenie, a także poprawnie dobrać sposób jego sterowania. Komputer jest w tym przypadku koniecznym składnikiem procesu leczenia.

7. Telemedycyna

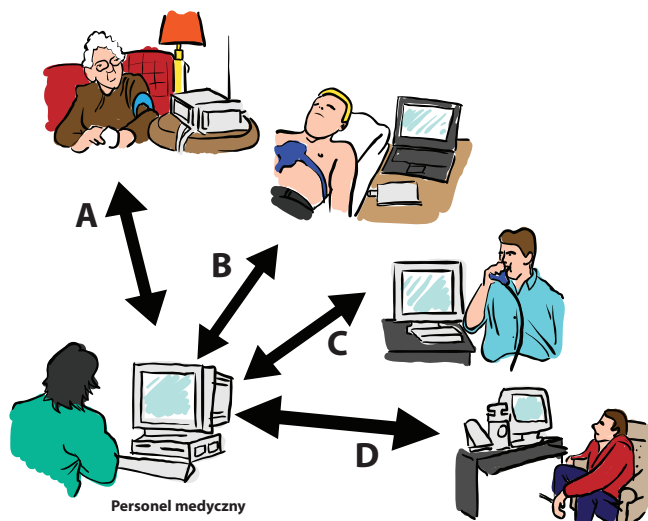
Najbardziej zaawansowanym obszarem zastosowań informatyki w medycynie jest tak zwana telemedycyna. Istota telemedycyny polega na tym, że pewne formy usług medycznych świadczone są nie na zasadzie bezpośredniego kontaktu lekarza z pacjentem, ale są – jak to się czasem brzydko mówi – zapośredniczone przez narzędzia teleinformatyki. Lekarz ma do czynienia z informacją

o pacjencie pozyskiwaną z wykorzystaniem środków technicznych (głównie Internetu), a pacjent jest badany, monitorowany i ewentualnie także konsultowany i instruowany w sprawach związanych z profilaktyką i terapią z użyciem tych samych środków technicznych działających w drugą stronę.

Pierwsze systemy, które dziś byśmy zaliczyli do telemedycyny, powstały w latach 60. XX wieku – początkowo na potrzeby pionierskich w tamtych czasach lotów kosmicznych. Na przykład podczas pierwszego amerykańskiego lotu orbitalnego (John Glen), zdalnie rejestrowano na Ziemi tętno, ciśnienie krwi, a także zapis EKG astronauty. Zapewne podobne badania prowadzili podczas swoich wypraw kosmicznych Rosjanie, ale utajniali wyniki, więc niewiele o nich wiadomo. Również w latach 60. powstała satelitarna sieć telekomunikacyjna o przeznaczeniu telemedycznym łącząca amerykańskie bazy wojskowe, rozrzucone na wszystkich kontynentach, ze specjalistycznymi ośrodkami medycznymi w USA. Taka sama sieć wspomaga obecnie polski kontyngent wojskowy w Afganistanie. Do cywilnych zastosowań technik telemedycznych wiele wniosła Australia, mająca w tym zakresie szczególnie duże potrzeby ze względu na rozproszenie stosunkowo nielicznej ludności na bardzo dużym terenie.

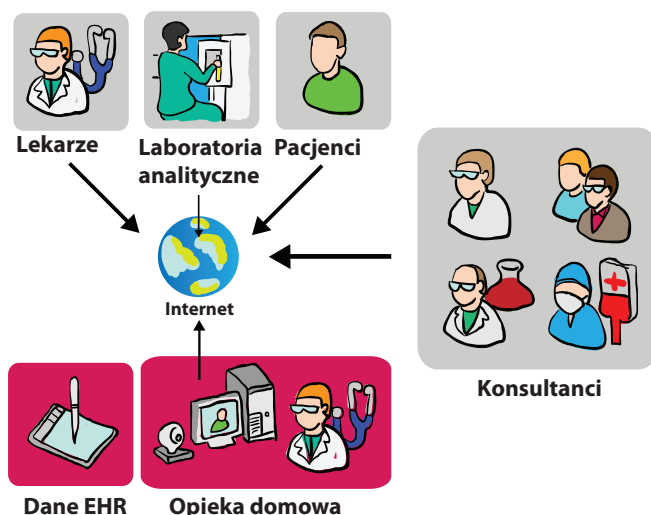
Telemedycyna jest przydatna w kontekście możliwości objęcia opieką medyczną pacjentów do których trudno dotrzeć z tradycyjnymi formami medycznych usług, na przykład mieszkańców małych wiosek oddalonych od szpitali i ośrodków zdrowia, marynarzy statków znajdujących się na morzu, uczestników egzotycznych wypraw, żołnierzy pełniących służbę w zagrożonych miejscach, a także specjalnych pacjentów do których osobisty dostęp jest utrudniony, na przykład więźniów z wieloletnimi wyrokami, którzy bywają niebezpieczni dla personelu medycznego, a których jednak także trzeba leczyć, czasem nawet wbrew ich woli. Telemedyczne metody mogą znaleźć również zastosowanie w leczeniu chorób zakaźnych, w przypadku których bezpośredni kontakt lekarza i pielęgniarki z osobą chorą rodzi niebezpieczeństwo dla nich samych oraz dla ich rodzin.

Telemedyczna pomoc użyteczna jest także w odniesieniu do osób po zabiegach operacyjnych i innych rekonwalescentów, którzy już nie muszą przebywać w szpitalu, ale powinni być nadal pod kontrolą lekarską, a także w odniesieniu do ludzi starszych i samotnych, których stan zdrowia można monitorować w sposób zdalny nie narażając ich na wysiłek i dyskomfort związany z koniecznością wizyt u lekarza. Ogromnie ważna jest rola opieki telemedycznej nad pacjentami chorymi na choroby przewlekłe – na przykład na chorobę niedokrwienną serca albo na cukrzycę. Dobrze przemyślane rozwiązania telemedyczne pozwalają im normalnie funkcjonować, ale bez ryzyka, że ich choroba wymknie się spod kontroli i stworzy zagrożenie.



Rysunek 18. W dobrze zorganizowanym systemie opieki telemedycznej niewielka liczba personelu medycznego może otoczyć opieką bardzo wielu pacjentów

Istotna zaleta wynikająca ze stosowania technik telemedycznych polega także na tym, że dzięki użyciu nowoczesnych technik informatycznych, pozwalających wstępnie analizować dane od pacjentów w sposób automatyczny z odsiewaniem informacji mało znaczących i nie wymagających osobistej interwencji lekarza – niewielka liczba pracowników personelu medycznego może otoczyć zdalną opieką bardzo wielu pacjentów (rys. 18).

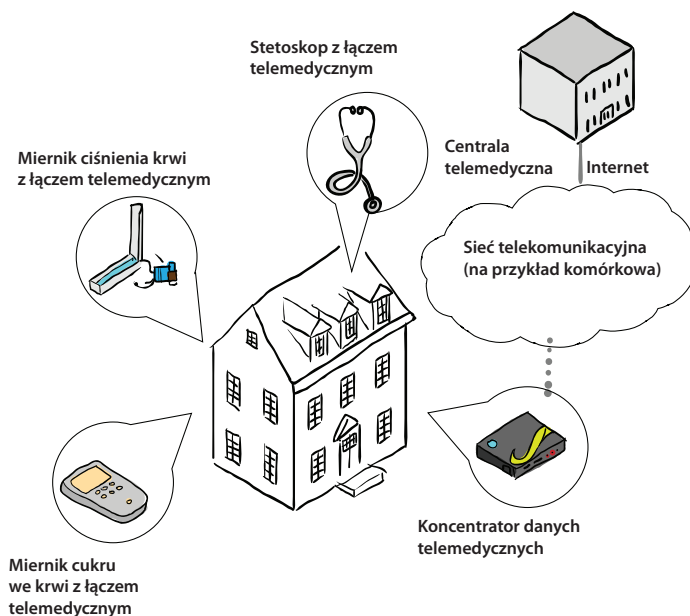


Rysunek 19. Podmioty uczestniczące w systemie telemedycyny

Schemat pokazany na rysunku 18 jest czytelny, ale nadmiernie uproszczony. W rzeczywistości w systemie telemedycznym istnieją także laboratoria analityczne, personel sprawujący opiekę domową oraz liczni konsultanci, z których rad mogą korzystać zarówno pacjenci, jak i opiekujący się nimi lekarze. Schemat powiązań łączący różne podmioty uczestniczące w systemie telemedycyny przedstawiono na rysunku 19. Na rysunku tym nie uwidocznilo ważnego faktu, mianowicie, że pacjentów korzystających z systemu może być bardzo wielu – w odróżnieniu od wszystkich pozostałych podmiotów. Dodatkowego komentarza wymaga pokazana na rysunku pozycja „Dane EHR”. Otóż w krajach, w których został już wprowadzony elektroniczny rekord pacjenta (EHR to skrót od *Electronic Health Record*), jednym z ważnych zadań telemedycyny jest umożliwienie upoważnionym do tego jednostkom (szpitalom, lekarzom rodzinnym, ratownikom medycznym) zdalnego dostępu do danych z EHR obsługiwanego w danym momencie pacjenta, a także nanoszenie w tym rekordzie nowych informacji o przeprowadzonych badaniach i zastosowanym leczeniu – niezależnie od tego, gdzie te badania przeprowadzono i gdzie to leczenie zastosowano.

Świadomość zalet, jakie wiążą się z rejestrowaniem w formie zapisów komputerowych danych medycznych każdego pacjenta, pojawiła się zarówno wśród lekarzy, jak i wśród wspomagających ich pracę informatyków. Pierwsze takie elektroniczne kartoteki pojawiły się w większości szpitali pod koniec lat 60. minionego stulecia. Jako pionierską instytucję w tym zakresie wskazuje się powszechnie szpital El Camino (Kalifornia, USA), znany z tego, że jako pierwszy wdrożył szpitalny system komputerowy. Jednak pożytek z takich lokalnych szpitalnych baz danych był niewielki, bo nie obejmował opieki nad pacjentem poza macierzystym szpitalem. Dlatego tak ważne było wprowadzenie w roku 1968 przez Larry’ego Weeda koncepcji zapisów informacji o pacjentach w formie zunifikowanej (nazywanej wtedy *Problem Oriented Medical Record*). Pierwszą implementację tej koncepcji wdrożył w roku 1972 Regenstreif Institute. Decydujące znaczenie miało opublikowanie w roku 1991 przez Institute of Medicine (bardzo ceniony w USA ośrodek opiniotwórczy w dziedzinie medycyny) rekomendacji zalecającej wszystkim lekarzom stosowanie elektronicznej rejestracji diagnoz i zabiegów w personalizowanych rekordach pacjentów.

System telemedyczny zawsze osadzony jest w jakimś konkretnym terenie i oczywiście zawsze zawiera komponentę związaną z pacjentami (odpowiednio wyposażone technicznie mieszkania i domy – rys. 20) – oraz część odbiorczą, za pomocą której personel medyczny odbiera i interpretuje nadchodzące od pacjentów sygnały, udzielając im pomocy stosownie do rzeczywistych potrzeb.



Rysunek 20. Przykładowe elementy telemedyczne znajdujące się w domu pacjenta

Na rysunku 21 przedstawiono bardzo mały system telemedyczny, w którym lokalna centrala przyjmuje i obsługuje sygnały pochodzące z niewielkiej liczby domów zlokalizowanych na pewnym ustalonym obszarze. Takie rozwiązanie może być zastosowane, gdy na przykład chcemy zapewnić opiekę telemedyczną mieszkańcom jakiegoś ośrodka czy osiedla. Być może w przyszłości ten model systemu telemedycznego wykorzystany zostanie w specjalnych osiedlach przeznaczonych dla seniorów – osób starszych i samotnych, które jednak nie godzą się na skoszarowane formy i warunki przebywania w typowych domach starców.



Rysunek 21. Przykładowy mały system telemedyczny dla niewielu pacjentów

8. Podsumowanie

Informatyka może być stosowana wszędzie, więc osoba, która wybierze sobie ten piękny i ciekawy zawód jako swoją przyszłą profesję może dosłownie przebiegać w propozycjach, gdzie i co mogłaby robić. Jednak bezspornie zastosowania informatyki w medycynie mają liczne przewagi nad innymi działami aplikacji komputerów – i to przynajmniej z trzech powodów.

Po pierwsze osoby pracujące w informatyce medycznej przyczyniają się do tego, że lekarze wyposażeni w stworzone przez nich nowe algorytmy i programy mogą skuteczniej nieść pomoc osobom cierpiącym oraz zagrożonym kalectwem lub śmiercią. W ten sposób informatyk może swoją pracę przyczynić się do odzyskania zdrowia przez wielu pacjentów, a więc ma prawo twierdzić, że robi coś bardzo potrzebnego i szlachetnego.

Po drugie medycyna stawia przed informatyką wiele niezwykle ciekawych nowych wyzwań, których rozwiązywanie jest wspaniałą przygodą intelektualną, wzbogacającą zarówno profesjonalny warsztat informatyka, jaki i jego ogólną wiedzę – między innymi o tajemnicach zdrowia i choroby, o budowie ludzkiego ciała i funkcjonowaniu poszczególnych narządów i całych ich systemów.

Po trzecie poświęcając się pracy na rzecz informatyki medycznej możemy być pewni, że zapotrzebowanie na naszą wiedzę i pracę nigdy się nie wyczerpie. Inne dziedziny zastosowań informatyki mają swoje pułapy, których osiągnięcie zamyka popyt na kolejne opracowania i kolejne zlecenia. Na przykład komputerowy system bankowy może być doskonalony tylko do pewnego pułapu wynikającego z zapotrzebowania klientów. Gdy już wszystkie typowe i nietypowe potrzeby klientów zostaną zaspokojone – dalsze rozbudowy i modyfikacje oprogramowania znikną. Natomiast w medycynie nie ma takiego progu. Jakkolwiek doskonałe metody leczenia byśmy nie zastosowali – ludzie zawsze będą chcieli więcej i lepiej. Doskonalenie medycyny jest więc procesem, który się nigdy nie skończy, a ulepszająca się medycyna stwarza i będzie stwarzała rosnące zapotrzebowanie na usługi informatyki medycznej.

Warto więc być pionierem nowych zastosowań komputerów w medycynie i dlatego warto studiować tę dziedzinę informatycznej wiedzy. Wierzę w to, że się przy niej spotkamy!

Literatura

1. Cieśla A., Kraszewski W., Tadeusiewicz R., *Magnetic teletherapy: part 2. Software – visualization of magnetic field in magnetotherapy*, „Electrical Review”, accepted for printing in 2012
2. Haux R., *Medical informatics: Past, present, future*, „International journal of medical informatics” (79) 2010, 599-610
3. November J., *Biomedical Computing: Digitizing Life in the United States*, Johns Hopkins University Press, Baltimore 2012
4. Podśędkowski L., *Roboty medyczne – budowa i zastosowanie*, WNT, Warszawa 2010
5. Richesson R.L., Andrews J.E., *Clinical research informatics*, Springer, Berlin, 2012
6. Robson B., Baek O.K., *The engines of Hippocrates: From the Dawn of Medicine to Medical and Pharmaceutical Informatics*, John Wiley & Sons, Hoboken 2009
7. Roterman I. (red.), *Elementy informatyki medycznej – 1*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2011
8. Rudowski R., *Informatyka medyczna*, WN PWN, Warszawa 2003
9. Tadeusiewicz R. (red.), *Inżynieria Biomedyczna – Księga współczesnej wiedzy tajemnej w wersji przystępnej i przyjemnej*, UWND AGH, Kraków 2008
10. Tadeusiewicz R., Śmiałowski J., *Pozyskiwanie obrazów medycznych oraz ich przetwarzanie, analiza, automatyczne rozpoznawanie i diagnostyczna interpretacja*, Wydawnictwo STN, Kraków 2011
11. Tadeusiewicz R., *Informatyka medyczna*, Skrypt uczelniany UMCS, Lublin 2011 (dostępny w całości na stronie internetowej <http://informatyka.umcs.lublin.pl/files/tadeusiewicz.pdf>)
12. Tadeusiewicz R., *Jak informatyka pomaga zajrzeć do wnętrza ludzkiego ciała*, Warszawska Wyższa Szkoła Informatyki, Warszawa 2010



Prof. zw. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz

informatyk, automatyk, biocybernetyk, prezes Krakowskiego Oddziału PAN, kierownik Katedry Automatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH. Absolwent AGH, doktorat uzyskał w roku 1975, habilitację w roku 1980, tytuł naukowy – w roku 1986. W latach 1996-1998 pełnił funkcję prorektora ds. nauki AGH, od roku 1998 rektor AGH, wybrany na powtórnią kadencję (1999-2002) oraz po raz trzeci z rzędu na kadencję na lata 2002-2005). W latach 1999-2005 – przewodniczący Konferencji Rektorów Polskich Uczelni Technicznych oraz wiceprzewodniczący Kolegium Rektorów Szkół Wyższych Krakowa. Członek prezydium KRASP w kadencji 1999-2002. Doktor Honoris Causa 12 uczelni krajowych i zagranicznych, członek PAN i PAU. Jest autorem ponad 950 prac naukowych i ponad 80 monografii książkowych.

rtad@agh.edu.pl
www.Tadeusiewicz.pl

