
Informatyka Medyczna



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UMCS
UNIWERSYTET MEDYCYNICZNY
W LUBLINIE

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt „Programowa i strukturalna reforma systemu kształcenia na Wydziale Mat-Fiz-Inf”.
Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

Człowiek-najlepsza inwestycja

UNIwersYTET MARIi CURIE-SKŁODOWSKIEJ
WYDZIAŁ MATEMATYKI, FIZYKI I INFORMATYKI
INSTYTUT INFORMATYKI

Informatyka Medyczna

Ryszard Tadeusiewicz



LUBLIN 2011

**Instytut Informatyki UMCS
Lublin 2011**

Ryszard Tadeusiewicz
INFORMATYKA MEDYCZNA

Recenzent: Robert Cierniak
Opracowanie techniczne: Marcin Denkowski
Projekt okładki: Agnieszka Kuśmierska

Praca współfinansowana ze środków Unii Europejskiej w ramach
Europejskiego Funduszu Społecznego

Publikacja bezpłatna dostępna on-line na stronach
Instytutu Informatyki UMCS: informatyka.umcs.lublin.pl

Wydawca

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie
Instytut Informatyki
pl. Marii Curie-Skłodowskiej 1, 20-031 Lublin
Redaktor serii: prof. dr hab. Paweł Mikołajczak
www: informatyka.umcs.lublin.pl
email: dyrii@hektor.umcs.lublin.pl

Druk

ESUS Agencja Reklamowo-Wydawnicza Tomasz Przybylak
ul. Ratajczaka 26/8
61-815 Poznań
www: www.esus.pl

ISBN: 978-83-62773-16-9

SPIS TREŚCI

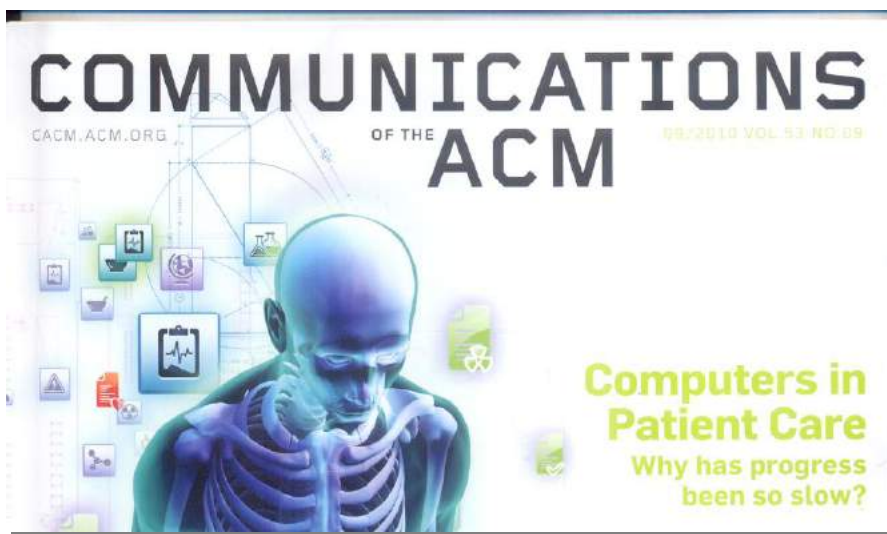
PRZEDMOWA.....	IX
1. DLACZEGO WARTO POZNAĆ INFORMATYKĘ MEDYCZNĄ	1
1.1. Uniwersalność komputerów i lokalizacja informatyki medycznej	2
1.2. Analiza SWOT czynników rozwoju informatyki medycznej	5
1.3. Czynniki wymuszające rozwój informatyki medycznej.....	8
1.4. Charakterystyka informatyki medycznej.....	13
2. ZRÓŻNICOWANE ROLE KOMPUTERA W SŁUŻBIE ZDROWIA. 21	
2.1. Rodzaje systemów informatyki medycznej.....	22
2.2. Komputerowa obsługa administracji szpitalnej	24
2.3. Budowa i zadania szpitalnej bazy danych.....	26
2.4. Szpitalne i inne medyczne sieci komputerowe.....	28
2.5. Komputerowo wspomagane zbieranie sygnałów, obrazów i innych danych diagnostycznych	30
2.6. Komputerowo wspomagane podejmowanie decyzji diagnostycznych oraz komputerowo wspomagana terapia	32
2.7. Przykładowe komputerowe systemy medyczne	34
3. KOMPUTERY W ADMINISTRACJI SZPITALNEJ	39
3.1. Szpitalny system informatyczny	40
3.2. Tworzenie elektronicznej dokumentacji pacjenta	42
3.3. Zawartość i zadania elektronicznego rekordu pacjenta.....	43
3.4. Elektroniczny rekord pacjenta a proces jego leczenia.....	48
3.5. Dodatkowe składniki systemu obsługi administracji szpitalnej.....	50
3.6. Protokoły i standardy stosowane w medycznych systemach informatycznych.....	54
3.7. Sieć komputerowa jako narzędzie integrujące system szpitalny.....	56
3.8. Kodowanie danych w systemie szpitalnym.....	57
3.9. Uwagi końcowe.....	58
4. SPECJALISTYCZNE MEDYCZNE BAZY DANYCH.....	61
4.1. Ogólna charakterystyka medycznej bazy danych	62

4.2. Cechy szczególne medycznej bazy danych.....	67
4.3. Sposób wykorzystywania szpitalnej bazy danych.....	72
4.4. Czynności wykonywane w szpitalnej bazie danych.....	76
4.5. Problem objętości medycznych baz danych i kodowanie danych medycznych.....	80
4.6. Medyczne bazy danych bibliograficznych.....	83
4.7. Podsumowanie.....	86
5. METODY KOMPUTEROWEJ ANALIZY I PRZETWARZANIA DANYCH MEDYCZNYCH.....	87
5.1. Co można zrobić ze zgromadzonymi w systemie szpitalnym danymi medycznymi?.....	88
5.2. Wykorzystanie komputera dla potrzeb statystyki medycznej.....	93
6. KOMPUTEROWE PRZETWARZANIE SYGNAŁÓW MEDYCZNYCH.....	99
6.1. Komputerowe przetwarzania sygnałów medycznych jako poszerzenie możliwości zmysłów lekarza-diagnosty.....	100
6.2. Szczególna rola sygnałów bioelektrycznych.....	106
6.3. Problem standardu zapisu sygnałów biomedycznych na przykładzie EKG	110
6.4. Standard zapisu dowolnych sygnałów medycznych.....	115
6.5. Zagadnienia interoperacyjności.....	118
6.6. Inicjatywa Open ECG.....	120
6.7. Reprezentacja sygnałów medycznych w systemach komputerowych.....	121
7. SYSTEMY INFORMATYCZNE ZWIĄZANE Z OBRAZAMI MEDYCZNYMI.....	123
7.1. Rodzaje obrazów medycznych i cele ich pozyskiwania.....	124
7.2. Porównanie różnych typów obrazów medycznych.....	129
7.3. Wykorzystywanie obrazów medycznych.....	132
7.4. Standard DICOM.....	139
7.5. Uwagi końcowe.....	144
8. SIECI KOMPUTEROWE W INFORMATYCE MEDYCZNEJ.....	145
8.1. Wprowadzenie.....	146
8.2. Sieci o zasięgu lokalnym – LAN.....	147
8.3. Sieci o zasięgu metropolitalnym – MAN.....	154
8.4. Sieci rozległe – WAN i Internet.....	158
9. TELEMEDYCYN.....	161
9.1. Potrzeby stosowania telemedycyny.....	162
9.2. Czynniki rozwoju telemedycyny.....	165
9.3. Ogólny schemat systemu telemedycznego.....	166
9.4. Zdalne konsultacje i badanie pacjenta w jego domu.....	170

9.5. Telemedycyna w ratownictwie medycznym	176
9.6. Wyposażenie stanowiska eksperta przy telekonsultacjach.....	178
9.7. Ubrania wyposażone w czujniki jako element telemedycyny.....	179
9.8. Zakończenie	182
10. PROBLEMY BEZPIECZEŃSTWA W SYSTEMACH INFORMATYKI MEDYCZNEJ.....	183
10.1. Przyczyny i natura zagrożeń	184
10.2. Cechy charakterystyczne aplikacji internetowych	186
10.3. Bezpieczeństwo aplikacji internetowych	189
10.4. Podstawowe kategorie zagrożeń	190
10.5. Analiza zagrożeń.....	197
10.6. Dziesiątka największych zagrożeń.....	199
10.7. Podstawowe metody ochrony.....	202
10.8. Kopie zapasowe	205
10.9. Programy antywirusowe.....	207
10.10. Tak zwane „ściany ogniowe” <i>firewall</i>	208
10.11. Wirtualne sieci prywatne – VPN.....	209
10.12. Uwierzytelnianie użytkowników.....	211
10.13. Zabezpieczenia personalne i organizacyjne	212
BIBLIOGRAFIA	215

PRZEDMOWA

Jak wynika z tytułu książka ta poświęcona jest temu fragmentowi techniki komputerowej, który związany jest z jej zastosowaniami w medycynie. Problematyka informatyki medycznej jest obszerna i ważna, bo (jak zostanie wykazane w tym podręczniku) coraz więcej działań i procesów w służbie zdrowia wykonywanych jest obecnie przy znaczącym udziale komputerów. Bardzo opiniotwórcze pismo amerykańskie noszące tytuł *Communications of the ACM*¹ na okładce najnowszego numeru (najnowszego w momencie pisania tej książki, która w całości powstała w sierpniu 2010, ale kończona była przed oddaniem do druku we wrześniu 2010) zamieściło przedstawiony niżej obrazek:



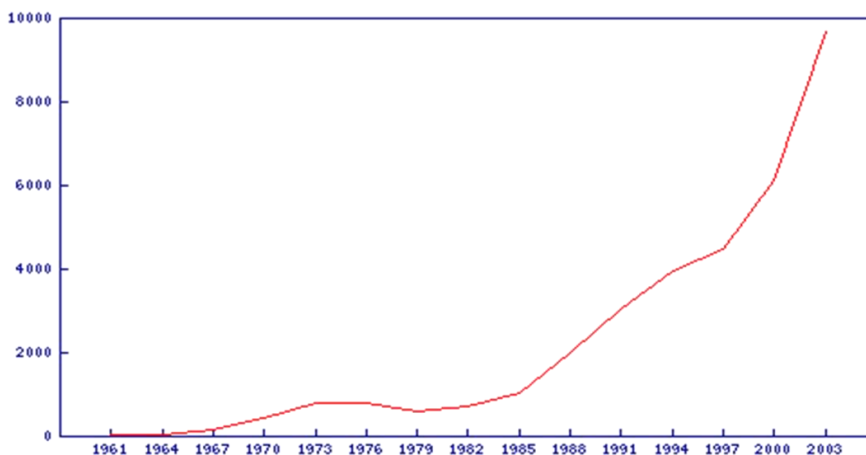
Rysunek P.1. Okładka czasopisma z zapowiedzią artykułu prezentującego opinię, że rozwój informatyki medycznej jest wciąż zbyt wolny

Artykuł anonsowany przez tę ilustrację prezentował tezę, że rozwój informatyki medycznej jest wciąż zbyt wolny, gdyż potrzeby społeczne w tym zakresie są ogromne i stale rosną. Oznacza to, że na osoby, które zajmą się tą

¹ ACM to skrótowa nazwa Association for Computing Machinery – najstarszego (założone w 1947 roku), największego (około 100 tys. członków na całym świecie) i najbardziej szanowanego towarzystwa naukowego związanego z informatyką.

dziedziną czeka już teraz wiele atrakcyjnych zadań, bo na jej rozwój będą alokowane duże środki, a jeszcze więcej tych zadań (i związanych z nimi intratnych zleceń) spodziewać się można w przyszłości, bowiem – jak zostanie pokazane w rozdziale 1. tego skryptu komputery używane w medycynie są i będą szczególnie potrzebne.

Prognoza rosnącego zapotrzebowania na produkty informatyki medycznej jest wysoce wiarygodna, bo tylko ich szerokie stosowanie (wraz z innymi systemami techniki medycznej) może przyczynić się do rozwiązania problemu dysproporcji pomiędzy rosnącym społecznym zapotrzebowaniem na usługi medyczne (spowodowanym między innymi starzeniem się społeczeństwa) a ograniczonymi możliwościami ekonomicznymi zaspakajania tego zapotrzebowania. Tak więc w sposób nieuchronny liczba systemów komputerowych wykorzystywanych w służbie zdrowia będzie szybko rosła, w związku z czym w miarę upływu czasu coraz więcej osób znajdować będzie zatrudnienie właśnie w obszarze informatyki medycznej. W związku z tym wiedza na temat informatyki medycznej może dla wielu osób okazać się wiedzą bardzo ważną, bo dającą pracę. Z tego powodu zdecydowanie warto będzie poświęcić trochę czasu na przestudiowanie tego podręcznika.



Rysunek P.2. Liczba publikacji naukowych na temat informatyki medycznej rejestrowanych w bazie INSPEC w poszczególnych latach (Źródło: <https://tspace.library.utoronto.ca/html/1807/4743/jmir.html> - sierpień 2010)

Podręcznik ten warto przestudiować jeszcze z jednego powodu. Otóż liczba publikacji naukowych na temat informatyki medycznej jest ogromna i w dodatku w ostatnich czasach bardzo szybko rośnie. Na rysunku P.2. przedstawiono ten wzrost na podstawie liczby takich publikacji rejestrowanych w bazie danych INSPEC, jednym z głównych światowych rejestrów bibliograficznych zbierającym dane o pracach naukowych z zakresu informatyki. Widać, że liczna prac na rozważany tu temat ukazujących się w

poszczególnych latach bardzo szybko rośnie. Samodzielne śledzenie wszystkich tych prac w celu uzyskania jakiegoś syntetycznego oglądu zbiorczego – jest bardzo trudne. Natomiast podręcznik ten oferuje taką właśnie wiedzę syntetyczną, której przestudiowanie pozwoli wyrobić sobie pogląd na temat całości dziedziny, a także znacząco ułatwi przyszłe poznawanie zagadnień szczegółowych.

Co zawiera przedstawiany podręcznik?

Pierwszy rozdział zatytułowany jest **Dlaczego warto poznać informatykę medyczną?** Przedyskutowane są w nim potrzeby wymuszające rozwój informatyki medycznej. Przeprowadzona jest tak zwana analiza SWOT czynników warunkujących rozwój informatyki medycznej oraz mogących stanowić dla tego rozwoju ograniczenia i zagrożenia. Przeprowadzona jest też ogólna charakterystyka informatyki medycznej z podkreśleniem elementów decydujących o jej odmienności w stosunku do na przykład informatyki technicznej czy informatyki ekonomicznej.

Rozdział drugi ma tytuł: **Zróżnicowane role komputera w służbie zdrowia.** Pokazuje on, w jaki sposób uniwersalne narzędzia informatyczne dostosowuje się do realizacji specyficznych zadań związanych z ochroną zdrowia. Podane są przykłady aktualnie eksploatowanych rozwiązań i prowadzona jest dyskusja prawdopodobnych kierunków rozwoju. W szczególności przedstawione są komputerowe systemy szpitalne i problem ich integracji, wzmiankowane są systemy informatyczne dla potrzeb przychodni i gabinetów lekarskich, zasygnalizowana jest informatyzacja aptek, omówione wstępnie skomputeryzowane laboratoria diagnostyczne, podane są także wstępne uwagi na temat telemedycyny, która jednak jest dodatkowo obszernie omawiana w oddzielnym rozdziale.

Kolejny rozdział omawia krótko **komputery w administracji szpitalnej.** Zarysowane są w nim zagadnienia komputerowo wspomaganego zarządzania szpitalem, omawiana jest struktura i zawartość elektronicznego rekordu pacjenta, dyskutowany jest problem braku standardów kodowania i zapisu danych medycznych oraz jego konsekwencje, i wreszcie omawiany jest informatyczny system szpitalny jako narzędzie integracji działalności wszystkich elementów nowoczesnego szpitala.

Centralnym elementem większości systemów informatyki medycznej są **specjalistyczne medyczne bazy danych**, będące przedmiotem rozważań w następnym rozdziale. Przedstawione w nim są struktury danych charakterystyczne dla medycznych baz danych oraz naświetlona jest specyfika i odmienność baz danych medycznych w stosunku do baz danych o innym przeznaczeniu.

Kolejny rozdział poświęcony jest problematyce **metod komputerowej analizy i przetwarzania danych medycznych.** Przedstawia on krótko przyczyny ogromnej popularności statystycznych metod przetwarzania danych medycznych, omawia przykładowe zdania stawiane przed techniką

komputerową przez lekarzy oraz podaje charakterystykę narzędzi informatycznych wykorzystywanych przy analizie i przetwarzaniu danych medycznych.

Specyfika systemów informatyki medycznej polega także na tym, że istotną rolę odgrywa w nich **komputerowe przetwarzanie sygnałów medycznych**. W odpowiednim (szóstym) rozdziale książki przedstawione jest w związku z tym pojęcie sygnału medycznego i podany jest przegląd oraz charakterystyka typowych sygnałów medycznych.

Także specyficzne dla zastosowań medycznych są **systemy informatyczne związane z obrazami medycznymi**. Ich prezentację zawiera rozdział siódmy, w którym przedstawione są między innymi źródła zobrazowań medycznych i ich charakterystyka. Przedyskutowane są także problemy związane z gromadzeniem i dystrybucją obrazów medycznych oraz scharakteryzowane są specjalistyczne systemy PACS oraz RIS. W szczególności dyskutowana jest kwestia standardu cyfrowej reprezentacji obrazów medycznych – DICOM jako technika kodowania, która ma szansę się upowszechnić.

Następny rozdział przedstawia **sieci komputerowe w informatyce medycznej**. Omawiane są kolejno sieci LAN w szpitalach i przychodniach, sieci metropolitalne (MAN) w zastosowaniach medycznych a także wykorzystanie sieci rozległych (WAN) a zwłaszcza Internetu w informatyce medycznej.

Przedmiotem dyskusji w rozdziale 9 jest **telemedycyna**. Na początku wskazane są potrzeby rozwoju telemedycyny wynikające z uwarunkowań demograficznych, społecznych i ekonomicznych. Następnie przedstawione są możliwości rozwoju telemedycyny wynikające z postępu w obszarach telekomunikacji, informatyki, automatyki, metrologii, elektroniki i mechatroniki. Resztę rozdziału wypełniają przykłady zastosowań telemedycyny: zdalna opieka nad ludźmi starymi i samotnymi, teleinformatyczny nadzór nad pacjentami szczególnego ryzyka, oraz zdalne konsultacje medyczne.

Ze względu na szczególnie wrażliwy charakter danych medycznych przedmiotem końcowego rozdziału książki są **problemy bezpieczeństwa w systemach informatyki medycznej**. Wzmiankowana jest kwestia pewności i niezawodności działania sprzętu informatyki medycznej, ale głównym przedmiotem rozważań jest bezpieczeństwo danych.

ROZDZIAŁ 1

DLACZEGO WARTO POZNAĆ INFORMATYKĘ MEDYCZNĄ

1.1. Uniwersalność komputerów i lokalizacja informatyki medycznej	2
1.2. Analiza SWOT czynników rozwoju informatyki medycznej	5
1.3. Czynniki wymuszające rozwój informatyki medycznej.....	8
1.4. Charakterystyka informatyki medycznej.....	13

1.1. Uniwersalność komputerów i lokalizacja informatyki medycznej

Komputery są dziś używane wszędzie i do wszystkiego, ponieważ dzięki wymiennym programom – komputer jest dziś bardziej wielozadaniowy niż najbardziej rozbudowany szwajcarski scyzoryk (Rysunek 1.1).



Rysunek 1.1. Komputer jest bardzo uniwersalnym narzędziem o wielu zastosowaniach (rysunek zmontowano z obrazka dostępnego jako MS ClipArt oraz ze zdjęcia ze strony <http://www.geektoys.pl/foto/1331.jpg>)

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 komputer w przedsiębiorstwie handlowym, fabryce, banku lub urzędzie. Oczywiście elementy podobieństwa są, i na nich można się oprzeć opracowując systemy informatyki dla potrzeb służby zdrowia – ale wiele problemów związanych z zastosowaniami medycznymi jest wysoce specyficznych. Dlatego opracowując ten skrypt nadano mu tytuł „Informatyka medyczna” w celu podkreślenia, że ma on dostarczyć wiedzy wszystkim specjalistom **znającym w sposób ogólny technikę komputerową** (jest to wymaganie konieczne, warunkujące możliwość skutecznego skorzystania z tej książki!), ale chcącym uzupełnić swoją wiedzę o te właśnie cechy i te elementy informatyki, które wynikają z jej zastosowania w służbie zdrowia.

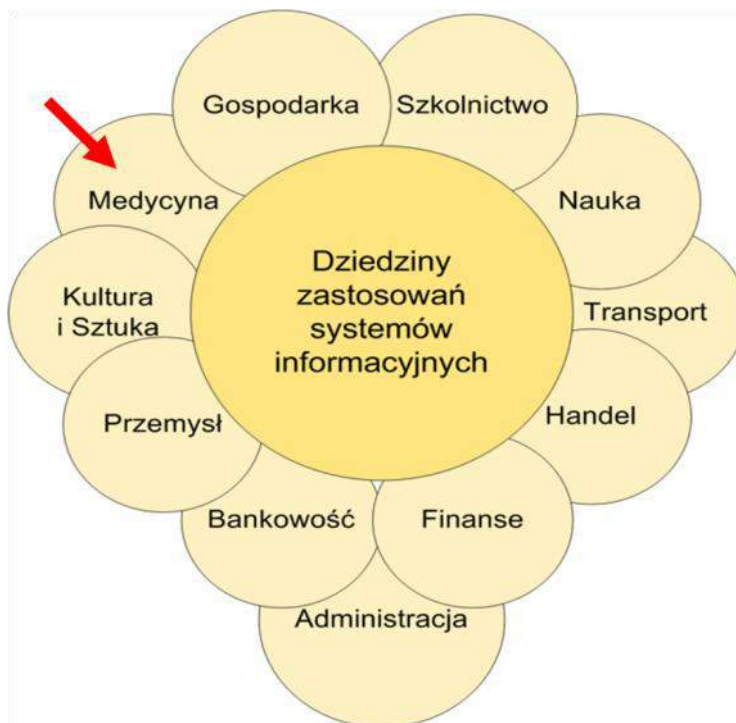
Zanim przejdziemy do szczegółów warto może przedyskutować pewien problem ogólny:

Otóż wielu tak zwanych „czystych informatyków” (zwłaszcza polskich) stoi na stanowisku, że – cytuję – *informatyka jest jedna i niepodzielna dlatego mówienie o jakiegokolwiek informatyce z przymiotnikiem (na przykład informatyce ekonomicznej albo geoinformatyce) jest nieuprawnione*. Nie będę przytaczał tu nazwiska Osoby, która tak kategorycznie się wypowiedziała, ale ręczę, że jest to wypowiedź autentyczna i że była wygłoszona przez wybitnego specjalistę.

Taki pogląd jest słuszny, gdy ograniczymy pojęcie informatyki wyłącznie do wiedzy o komputerach jako takich, o narzędziach i metodach programowania, o protokołach telekomunikacji cyfrowej czy o narzędziach do administracji sieci

komputerowych. Jednak tak wąsko rozumiana „profesjonalna” informatyka byłaby jedną z wielu dziedzin techniki o stosunkowo małym znaczeniu społecznym, bo zajmowałiby się nią naprawdę tylko nieliczni profesjonalści. Nasuwa się tu nieodparcie wspomnienie niefortunnej wypowiedzi Thomasa Watsona, prezesa IBM (przez wiele lat największego na świecie producenta komputerów) pochodząca (rzekomo, bo są kontrowersje dotyczące tej sprawy) z 1950 roku: *"Świat potrzebuje nie więcej, niż 5 komputerów rocznie"*. Gdyby informatykę tak postrzegać i tak uprawiać, jak to sobie zastrzegają niektórzy „czyści informatycy” – to oszacowanie prezesa Watsona byłoby oszacowaniem trafnym.

Bowiem ogromna, niewyobrażalna wręcz kariera informatyki w końcowych latach XX wieku i w całej pierwszej dekadzie obecnego wieku wynika właśnie z jej różnorodności oraz z mnóstwa jej zastosowań, często zasadniczo różniących się od siebie. Spójrzmy na rysunek 1.2. Pokazuje on, do jak wielu różnych zastosowań można dziś użyć narzędzi i środków informatyki.



Rysunek 1.2. Informatyka medyczna jest jedną z bardzo wielu dziedzin zastosowania technik komputerowych

To te różnorodne zastosowania sprawiły, że komputery stały się tak dziś ważnym składnikiem współczesnej cywilizacji, powodującym między innymi to, że powszechnie mówi się o tym, że współczesne społeczeństwa ewoluują w kierunku tak zwanego społeczeństwa informacyjnego, w którym e-medycyna, czyli komputerowo wspomagane usługi medyczne dla obywateli są jednym

z najważniejszych składników (Rysunek 1.3).



Rysunek 1.3. Przykładowo zebrane (zdecydowanie nie wszystkie!) elementy społeczeństwa informacyjnego pokazują znaczenie e-medycyny

Dlatego mimo sprzeciwów „czystych informatyków” będziemy mówili w tym podręczniku o Informatyce Medycznej, obejmując tym hasłem bardzo liczne zastosowania technik komputerowych w szpitalach, przychodniach, klinikach, laboratoriach diagnostycznych, ośrodkach rehabilitacyjnych i niezliczonych innych instytucjach i placówkach, których przeznaczeniem jest ochrona zdrowia ludzi.

Podręcznik ten jest kontynuacją wcześniejszy książek autora dotyczących tego samego tematu (Rysunek 1.4) a także nawiązuje do opracowań zagranicznych, w szczególności do obszernego 4-tomowego dzieła **Medical Informatics: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications**, którego autorem jest Joseph Tan z Wayne State University (USA). Książkę tę wydało renomowane wydawnictwo IGI Global, Hershey - New York w 2009 roku.

Jako lekturę uzupełniającą zalecić także można trzytomowe dzieło, zatytułowane **Encyclopedia of Healthcare Information Systems**. Autorami tej przebogatej encyklopedii są Nilmini Wickramasinghe i Eliezer Geisler z Illinois Institute of Technology, USA, a wydawcą znowu jest IGI Global, Hershey - New York (2009).



Rysunek 1.4. Wcześniejsze książki autora dotyczące podobnej problematyki jak poruszana w tej książce

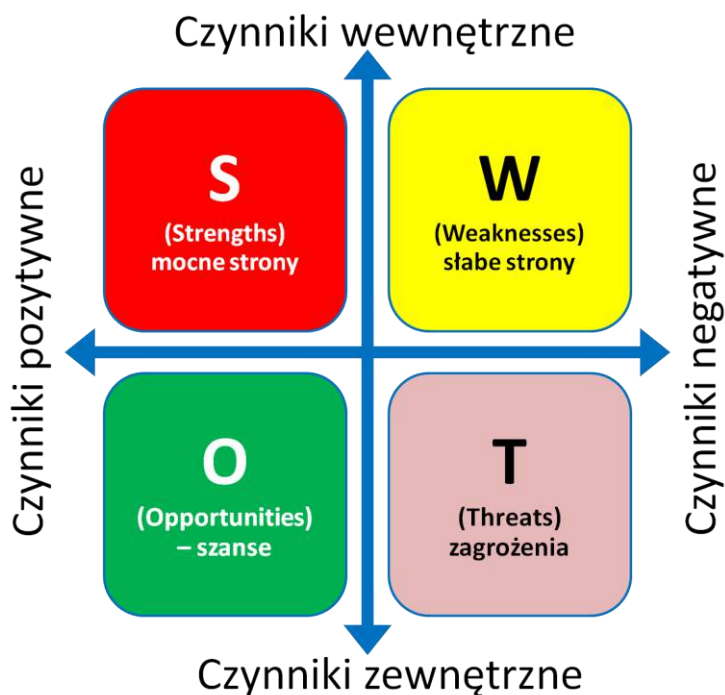
Skoro przywołano już wydawnictwo IGI Global to może warto wspomnieć, że w tym samym 2009 roku wydało ono także w Nowym Yorku dość obszerną (430 stron) książkę, której współautorem² był autor tego skryptu. Była to pozycja ściśle naukowa, ale też związana z informatyką medyczną, której tytuł brzmiał: **Ubiquitous Cardiology - Emerging Wireless Telemedical Application**. Więcej pozycji literatury związanych z tematyką tego podręcznika znaleźć można w Bibliografii zestawionej na końcu skryptu.

1.2. Analiza SWOT czynników rozwoju informatyki medycznej

Przechodząc do meritum musimy stwierdzić, że informatyka medyczna, chociaż niektórzy informatycy odmawiają jej prawa obywatelstwa, jest już dzisiaj bardzo ważna, a jej rola i znaczenie będą stale wzrastały w najbliższej przyszłości. Żeby się zorientować, jakie czynniki będą napędzały, a jakie hamowały jej rozwój – dokonamy teraz krótko analizy SWOT tej właśnie dziedziny. Ta metoda, używana często do oceny szans realizacji różnych przedsięwzięć gospodarczych, pozwala zestawić razem zalety i wady, a także słabe i silne strony dowolnego projektu, więc przyda się nam teraz do wskazania, w jakim zakresie informatyka medyczna może mieć szanse rozwoju, a co może spowodować jej zahamowanie.

Schemat analizy SWOT przedstawia rysunek 1.5.

² Autorami książki byli Piotr Augustyniak i Ryszard Tadeusiewicz



Rysunek 1.5. Składniki analizy SWOT. Opis w tekście.

Jak widać z rysunku, analiza SWOT bierze pod uwagę cztery grupy czynników, od których nazw (w języku angielskim) bierze się jej łączna nazwa. W pierwszej kolejności bierzemy pod uwagę mocne strony rozważanego obiektu (w naszym przypadku – informatyki medycznej). Potem optymistycznie rozważamy wszelkie szanse, które są wprawdzie niezależne od nas (są to czynniki zewnętrzne), ale uznamy je za czynniki pozytywne, bo nam sprzyjają. Dla pełnej informacji trzeba jednak także rozważyć słabe strony a także zagrożenia.

Zobaczmy, jak tę „czteropolówkę” możemy wypełnić treścią rozważając informatykę medyczną. W każdym z obszarów podano tylko pięć czynników (choć jest ich więcej), żeby dać Czytelnikowi ogólny pogląd.

S (Strengths) – mocne strony informatyki medycznej:

- S1. Technologia informatyczna dynamicznie rozwija się w zakresie sprzętu, oprogramowania i usług, więc jest coraz więcej zasobów możliwych do wykorzystania w informatyce medycznej.
- S2. Nowoczesne metody informatyczne, na przykład sieci neuronowe pozwalają wykorzystywać wiedzę empiryczną, której nie potrafimy przedstawić w postaci algorytmu, co przełamuje pewne ograniczenia specyficzne dla informatyki medycznej (wiedza niesformalizowana).

- S3. Polscy informatycy są w skali globalnej bardzo wysoko oceniani pod względem umiejętności.
- S4. Obserwujemy dobry poziom teoretyczny polskich prac naukowych i oryginalne pomysły w zakresie rozwiązań informatycznych.
- S5. Przyciągany jest kapitał zagraniczny (np. IBM- Warszawa, Motorola-Kraków, Siemens-Wrocław) i wzrasta zatrudnienie informatyków.

W (Weaknesses) – słabe strony:

- W1. Problem bezpieczeństwa gromadzenia i wymiany danych medycznych.
- W2. Mała świadomość wymagań prawnych związanych z wprowadzaniem do obrotu wyrobów medycznych, w tym oprogramowania.
- W3. Rosnąca złożoność oprogramowania. Wymaga stosownej dokumentacji projektowej, a tej zwykle w polskich systemach brakuje.
- W4. Bardzo słabe dążenie do standaryzacji. Międzynarodowo uznane standardy tworzenia, przechowywania i transmitowania informatycznych zasobów medycznych nie są u nas stosowane.
- W5. Wysokie koszty wdrażania nowoczesnych metod i technologii.

O (Opportunities) – szanse:

- O1. Rosnąca mobilność społeczeństwa i coraz szersze stosowanie technologii bezprzewodowej stwarza szanse na rozwój aplikacji medycznych i wbudowywanie/łączenie ich w typowe systemy powszechnego użytku (np. telefony komórkowe, PDA).
- O2. Zwiększająca się dostępność tanich i przyjaznych interfejsów użytkownika (np. ekrany dotykowe) może ułatwić posługiwanie się urządzeniami o dużej złożoności programowej.
- O3. Prognozowane starzenie się społeczeństwa i spodziewany wzrost zapotrzebowania na infrastrukturę informatyczną i aparaturową do zdalnej opieki domowej.
- O4. Swobodny przepływ ludzi, idei i technologii w ramach Unii Europejskiej.
- O5. Wysoki stopień publicznej świadomości potrzeby korzystania z nowych rozwiązań stosowanych w medycynie.

T (Threats) – zagrożenia:

- T1. Niestabilność działania systemów informatycznych dla medycyny może ograniczyć wiarygodność świadczonych usług w zakresie informatyki medycznej. Tymczasem coraz powszechniejsze zastosowanie w aplikacjach medycznych komputerów PC z popularnymi systemami operacyjnymi (które się czasem zawieszają!) wpływa istotnie na ich niezawodność.
- T2. Obecny system opieki zdrowotnej nie sprzyja wprowadzeniu innowacji. Widać wielką różnicę w podejściu do rozwiązań typu e-zdrowie

- między prywatną, a państwową służbą zdrowia na korzyść tej pierwszej.
- T3. Działanie NFZ nie bierze pod uwagę długofalowych korzyści jakie może przynieść telemedycyna i e-medycyna. Działania NFZ mają bardzo krótki horyzont czasowy. Na to nakłada się jeszcze ogólnie znane słabe finansowanie opieki zdrowotnej.
 - T4. Brak stabilnej i jednolitej koncepcji ochrony zdrowia na szczeblu państwa oraz zasad i źródeł jej finansowania.
 - T5. Konkurencja między różnymi ośrodkami leczniczymi i naukowo – badawczymi powoduje trudności we wdrażaniu jednolitych procedur i standardów.

1.3. Czynniki wymuszające rozwój informatyki medycznej

Jak widać z przytoczonej analizy – informatyka medyczna w Polsce będzie się (z dużym prawdopodobieństwem) rozwijała, chociaż rozwój ten nie pozbawiony będzie pewnych zagrożeń i zakłóceń. Warto więc poznać podstawy informatyki medycznej, między innymi z tego powodu, że w najbliższym czasie będzie skala społecznego zapotrzebowania na usługi medyczne.

Wynika to ze zmian demograficznych i zdeformowanej struktury wiekowej społeczeństwa polskiego. Oczywiście nie jesteśmy tu jakimś szczególnym wyjątkiem, bo społeczeństwa wszystkich rozwiniętych krajów świata **dramatycznie się starzeją**. Jednak z tego, że sytuacja innych społeczeństw jest równie zła nie wynika bynajmniej, że nasza sytuacja może być postrzegana jako chociaż odrobinę lepsza.

Na czym polega problem?

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 (Rysunek 1.6 – lewa strona).

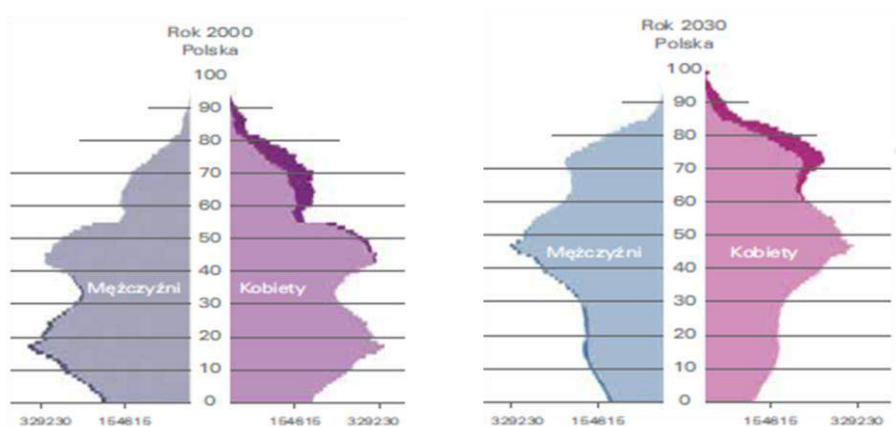


Rysunek 1.6. Piramidy demograficzne – tradycyjna (po lewej stronie) oraz formująca się obecnie w krajach rozwiniętych (po stronie prawej)

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** (Rysunek 1.6 po prawej stronie). Oczywiście ta „stojąca na wierzchołku” piramida to pewien skrót myślowy i metafora, ale popatrzmy na rysunek 1.7, 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?



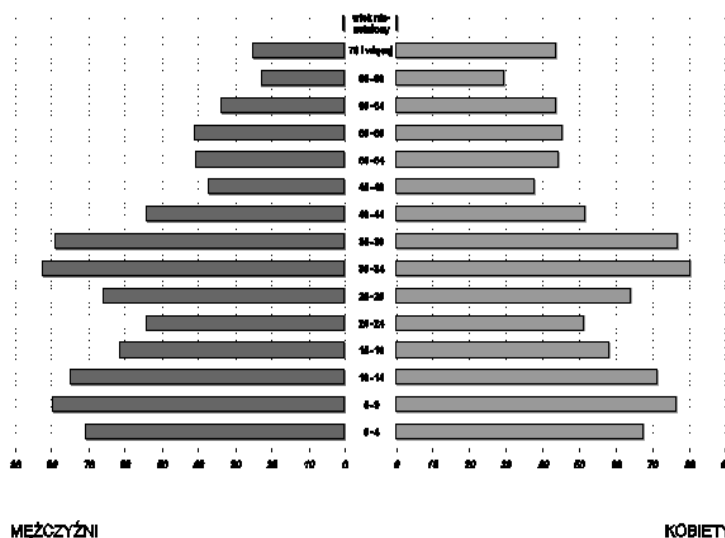
Rysunek 1.7. Struktury wiekowe ludności Polski (aktualna i prognozowana) pokazują zagrożenie demograficzne, z którym będzie można się zmierzyć wyłącznie z wykorzystaniem możliwości stwarzanych przez lepsze techniczne uzbrojenie medycyny, między innymi przez informatykę medyczną³.

Warto dla porównania obejrzeć analogiczny wykres, który dotyczył 1988 roku (rys. 1.8). 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.

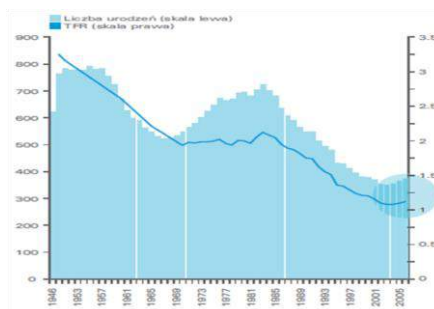
Jednak dzieci rodzi się coraz mniej (patrz rys. 1.9). Przyczyn jest wiele i nie jest to właściwe miejsce, żeby je dokładnie analizować, jednak sam fakt (w ujęciu statystycznym) nie pozostawia wątpliwości: dzieci i młodzieży ubywa. Już teraz jest ich mniej, niż wymagających opieki i starców, a trend ten się nieustannie pogłębia!

³ Źródło: Boni M. (i inni), Raport Polska 2030. Kancelaria Premiera RP, Warszawa 2009



Rysunek 1.8. 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: http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/szczec/ASSETS/raport_czesc_1_ludnosc_clip_image002_0000.gif – sierpień 2010)

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**.



Rysunek 1.9. Dzieci w Polsce rodzi się coraz mniej. Pokazany na rysunku TRF to wskaźnik dzietności ogólnej⁴.

⁴ Źródło: Boni M. (i inni), Raport Polska 2030. Kancelaria Premiera RP, Warszawa 2009

Na opisany wyżej proces demograficzny nakłada się drugi, mający swoje źródło w obyczajowości. Mija moda na zintegrowane, wielopokoleniowe rodziny (Rysunek 1.10 po lewej stronie), gdzie starcy mogli stałe korzystać z opieki młodszych członków rodziny. Cechą wyróżniającą ludzi XXI wieku zaczyna być wszechobecna samotność (Rysunek 1.10 po prawej stronie). A ludzie samotni częściej potrzebują pomocy medycznej niż ludzie żyjący w rodzinie.



Rysunek 1.10. 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)

Wymienione czynniki przyczyniają się do tego, co jest zmorą dzisiejszej medycyny: wydłużających się kolejek osób potrzebujących pomocy medycznej (Rysunek 1.11).



Rysunek 1.11. 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)

Oczywiście wzmiankowane zjawiska demograficzne i obyczajowe są

jedynymi z wielu powodów kiepskiego funkcjonowania polskiej służby zdrowia, ale to nie jest to przedmiot tej książki, więc nie będziemy tego obszerniej dyskutować. Natomiast wniosek jest jeden: służbę zdrowia musi wspomóc Inżynieria Biomedyczna, bo inaczej nie sprosta rosnącym zadaniom, jakie się na nią nakłada. A jednym z ważniejszych składników Inżynierii Biomedycznej jest Informatyka Medyczna. Tym, którzy się nią zajmą nie grozi więc bezrobocie...

1.4. Charakterystyka informatyki medycznej

Na koniec tego rozdziału dokonajmy jeszcze krótkiej charakterystyki informatyki medycznej, z podkreśleniem elementów decydujących o jej odmienności w stosunku do na przykład informatyki przemysłowej czy informatyki bankowej. Otóż pierwszą cechą wyróżniającą informatykę medyczną jest grono użytkowników komputerów, którymi w oczywisty sposób są głównie lekarze oraz pielęgniarki (Rysunek 1.12). Użytkownicy ci mają cechy charakterystyczne odmienne od użytkowników spotykanych w innych zastosowaniach informatyki. Mają oni w szczególności znacznie mniej umiejętności technicznych od inżynierów korzystających z informatyki przemysłowej – i w dodatku zwykle wcale nie mają ochoty się doksztalać w zakresie techniki, poświęcają bowiem każdą wolną chwilę na podnoszenie swoich kwalifikacji medycznych. Nie są też tak uważni i tak staranni przy obsłudze komputera jak na przykład pracownicy banku. W związku z tym oprogramowanie przeznaczone do użytkowania w ramach informatyki medycznej musi być maksymalnie proste w obsłudze i odporne na błędy użytkownika.



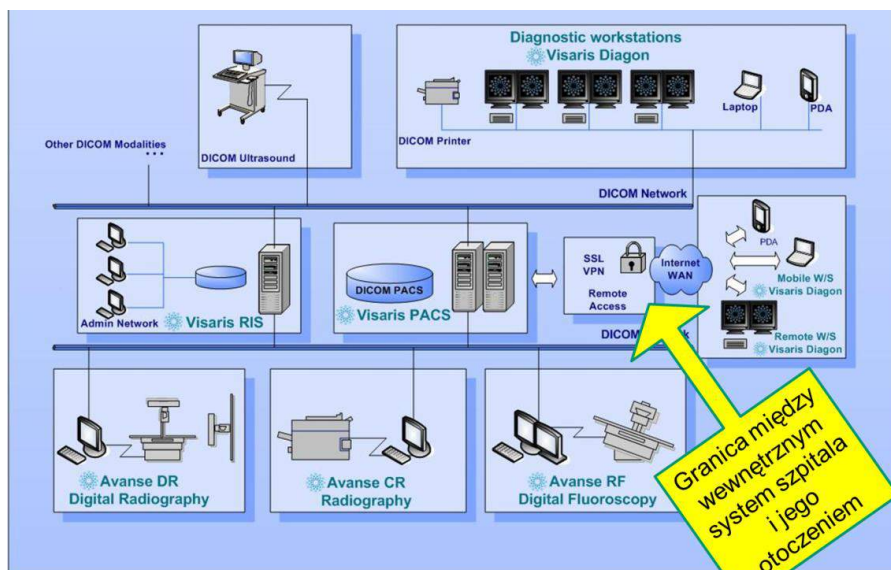
Rysunek 1.12. Cechą wyróżniającą informatykę medyczną są jej użytkownicy: lekarze i pielęgniarki (Źródło: http://www.himaabranes.com/wp/wp-content/uploads/2009/10/doctor_computer_0325.jpg - sierpień 2010)

Po drugie dane gromadzone i przetwarzane w systemach informatyki medycznej są danymi o ludziach (pacjentach) i o ich chorobach (rys. 1.13). Tego typu dane opisywane są w podręcznikach informatyki jako dane wrażliwe. Ich treść nie może zginąć ani zostać zniekształcona (na przykład przez atak hakera), jak również dane te nie mogą pod żadnym pozorem być ujawnione (udostępnione) osobie nieupoważnionej.



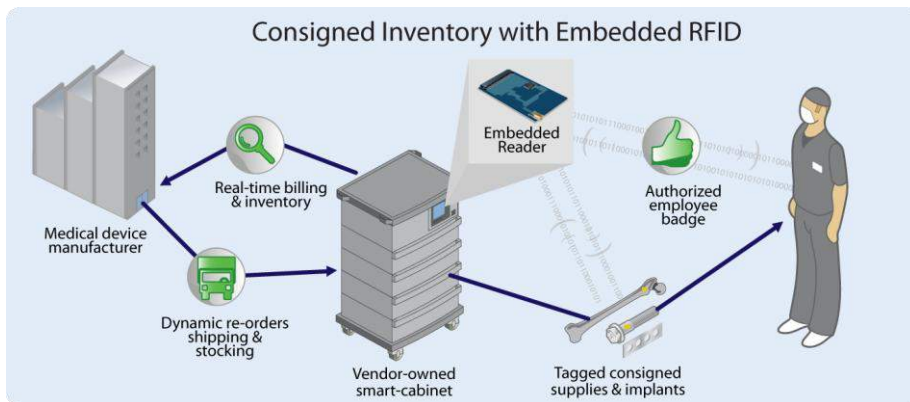
Rysunek 1.13. Dane w systemach informatyki medycznej są danymi o pacjentach, czyli danymi wrażliwymi (Źródło: http://www.post-gazette.com/pg/images/200801/20080116asllocscreen3_500.jpg - sierpień 2010)

Problem bezpieczeństwa danych medycznych jest szczególnie trudny ze względu na konieczność pogodzenia sprzecznych wymagań. Z jednej strony bowiem trzeba zapewnić tym danym maksymalną ochronę przed nieupoważnionym dostępem, z drugiej jednak dla autoryzowanego personelu powinny one być szybko i łatwo dostępne, bo chirurg, któremu pacjent wykrwawia się na rękach, może nie mieć głowy do wprowadzania skomplikowanych haseł. Dlatego strukturze systemów informatycznych dla medycyny można zwykle wyróżnić część wewnętrzną, związaną z maksymalnie łatwym i szybkim dostępem do danych dla autoryzowanego personelu medycznego, oraz część zewnętrzną, pozwalającą na dostęp zdalny (na przykład w ramach realizacji procedur telemedycznych). Ta druga część musi być traktowana maksymalnie nieufnie i maksymalnie ostrożnie. W tej drugiej części funkcjonują rygorystyczne systemy haseł, liczne metody uwierzytelniania i weryfikacji tożsamości użytkowników itp. Jedną część od drugiej odgradzają zwykle specjalne urządzenia separujące, na przykład ściany ogniowe z filtracją pakietów, wskazane strzałką na rysunku 1.14.



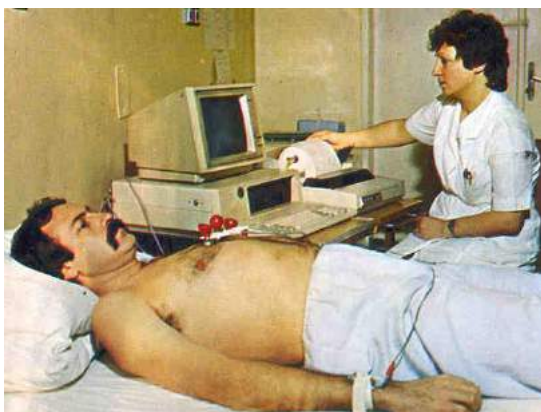
Rysunek 1.14. Podział systemu szpitalnego na część wewnętrzną i część dostępną z zewnątrz. (Źródło: http://www.visaris.com/images_content/slika_39.jpg – sierpień 2010)

Wymuszony względami bezpieczeństwa jest także charakterystyczny dla systemów informatyki medycznej zbiór identyfikatorów personalnych, które pozwalają automatycznie rozpoznać osoby posiadające wymagany poziom autoryzacji w systemie i uwalniają te osoby od uciążliwych i czasochłonnych procedur weryfikacyjnych związanych na przykład z podawaniem haseł czy kodów PIN. Obecnie najczęściej korzysta się z urządzeń działających na zasadzie RFID (*Radio Frequency Identification* - rys. 1.15), które mają tę dodatkową zaletę, że mogą być nie tylko noszone przez ludzi (jako karty identyfikacyjne upoważniające do określonych przywilejów), ale także mogą być na przykład umieszczane na narzędziach i materiałach medycznych, co umożliwia automatyczne rejestrowanie ich zużycia oraz ewentualnie nawet automatyczne zamawianie określonego asortymentu narzędzi i materiałów w miarę jak następuje wyczerpywanie ich zapasów. Używanie identyfikatorów RFID ma różne inne zalety, na przykład pozwala chronić nie tylko system informatyczny szpitala przed niepowołanym dostępem osób nie mających wymaganej autoryzacji, ale umożliwia także fizyczną ochronę określonych miejsc w szpitalu przed nieupoważnionym wstępem. Na przykład na bloku operacyjnym można wprowadzić zamek elektroniczny sprzężony z czytnikiem RFID. Gdy do drzwi zbliża się osoba mająca identyfikator – drzwi się same otwierają. Natomiast próba wejścia podjęta przez osobę bez identyfikatora powoduje ich natychmiastową blokadę. Zagadnienie to można by rozwijać, ale odprowadza nas ono od głównego wątku tej książki.



Rysunek 1.15. Użycie identyfikatorów RFID pozwala na autoryzację personelu medycznego, a także umożliwia na przykład kontrolę zużycia narzędzi i materiałów medycznych (Źródło: <http://www.skyetek.com/Portals/0/Images/solutions/Embedded%20RFID%20-%20consigned%20medical%20inventory%20title.png> – sierpień 2010))

Trzecią cechą wyróżniającą systemy informatyki medycznej jest to, że są źródłem dużej liczby danych gromadzonych w tych systemach jest specjalistyczna aparatura diagnostyczna lub terapeutyczna (Rysunek 1.16).

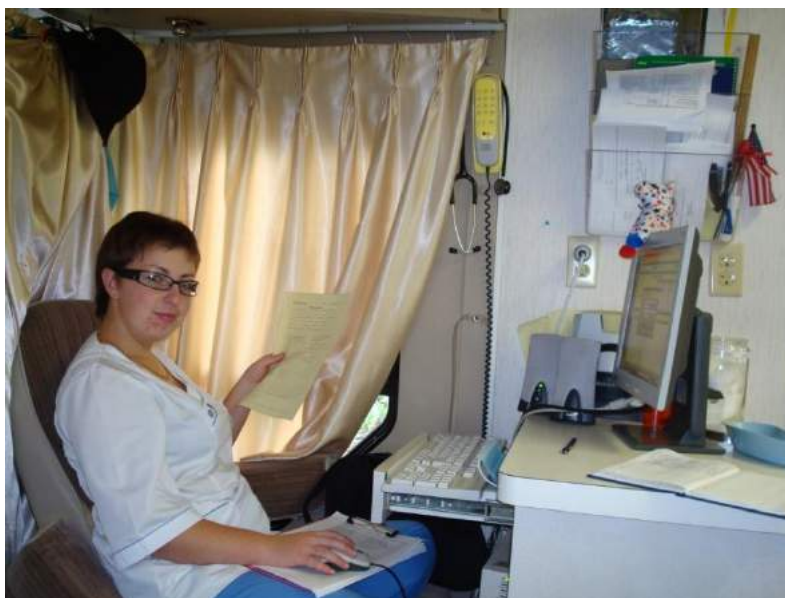


Rysunek 1.16. Znaczna część danych do systemów informatyki medycznej wprowadzanych jest obecnie automatycznie przez nowoczesną aparaturę diagnostyczną. Na przykład wynik badania EKG może trafiać wprost do komputera. (Źródło: http://boris-gramatikov.net/ECG_1222/ECG_1222.jpg, - sierpień 2010)

Aparatura ta zbiera mnóstwo informacji o chorych, rejestrując je nie w postaci tekstów czy zbiorów liczb (co jest normą w innych systemach informatycznych przeznaczonych na przykład do zarządzania

przedsiębiorstwem), lecz w postaci obrazów (wizualizacji narządów wewnętrznych) oraz sygnałów (na przykład EKG). Tymi nietypowymi informacjami trzeba zarządzać, trzeba je umiejętnie gromadzić, w razie potrzeby wyszukiwać i sprawnie udostępniać.

Właśnie z udostępnianiem informacji wiąże się kolejna cecha systemów informatyki medycznej, które są w tym zakresie ponownie wyjątkowe. Informacje o pacjencie (a także inne informacje medyczne, ale nimi się w tej chwili nie zajmujemy) mogą być potrzebne w różnych miejscach i w różnych celach. Do ich przeglądania i wykorzystywania można oczywiście wykorzystywać typowe wyposażenie komputerowe (komputery typu laptop lub desktop, identyczne jak w innych zastosowaniach – rys. 1.17), jednak specyfika wykorzystania danych medycznych zmusza do stosowania także i w tym zakresie rozwiązań specjalnych.



Rysunek 1.17. Z zasobów medycznych systemów informatycznych korzysta się także przy użyciu typowych komputerów (Źródło: http://us.giftoflife.org.ua/e107_images/custom/computer_work.jpg - sierpień 2010)

Szczególnie wysokie wymagania związane z informatyką pojawiają się w kontekście technik obrazowania medycznego. W technikach tych informacja pozyskiwana z ciała pacjenta przy użyciu różnej aparatury jest przetwarzana do postaci cyfrowych obrazów przedstawiających budowę jego narządów wewnętrznych oraz deformację tych narządów pod wpływem procesu chorobowego (Rysunek 1.18).



Rysunek 1.18. Znaczna część danych do systemów informatyki medycznej wprowadzanych jest obecnie automatycznie przez nowoczesną aparaturę diagnostyczną (Źródło: <http://lowerbloodpressurecheap.com/wp-content/uploads/2009/02/hd-ct-scanner.jpg> - sierpień 2010)

Dla analizy i oceny tych obrazów do celów diagnostycznych potrzebne są jednak specjalne stacje robocze, pozwalających studiować obrazy medyczne i inne dane pacjenta z bardzo dużą dokładnością (Rysunek 1.19).



Rysunek 1.19. Diagnostyczna stacja robocza pozwalająca na dokładną ocenę obrazów medycznych (Źródło: <http://www.visaris.com/index.asp?j=en&item=136> – sierpień 2010)

Inne specjalne wymagania dotyczące sprzętu wykorzystywanego w

informatyce medycznej pojawiają się w kontekście faktu, że dostęp do danych zawartych w szpitalnym systemie może być potrzebny w wielu miejscach trudnych często do przewidzenia. W związku z tym dla potrzeb informatyki medycznej budowane są specjalne mobilne stanowiska komputerowe, które mogą być przewożone z miejsca na miejsce zależnie od potrzeb (Rysunek 1.20).



Rysunek 1.20. Mobilne stanowisko komputerowe przeznaczone dla zastosowań medycznych (Źródło: http://media.commercialappeal.com/media/img/photos/2009/03/05/6baptist_t300.jpeg – sierpień 2010)

Stanowiska takie są bardzo wygodne, gdy trzeba zbierać dane wprost przy łóżku pacjenta lub w tymże miejscu sięgać do komputerowej bazy danych w celu na przykład sprawdzenia zaleceń lekarskich (rys. 1.21). Pozornie uniwersalne mobilne narzędzia informatyczne, takie jak komputery klasy laptop czy palmtop w specyficznych warunkach szpitalnych nie bardzo zdają egzamin.



Rysunek 1.21. Mobilne stanowisko komputerowe pozwala wygodnie wprowadzać dane przy łóżku pacjenta oraz pozwala na kontroling zaleceń lekarskich, natomiast po wykorzystaniu może być łatwo usunięte z sali na której leżą chorzy. (Źródło: http://media.courierpress.com/media/img/photos/2009/12/16/CMH_Electronic_Records_0175_t607.jpg – sierpień 2010)

W wybranych zastosowaniach możliwe i celowe jest użycie specjalistycznych urządzeń podręcznych (miniaturowych przeglądark), które mogą być podłączone (bezprowadowo) do komputera szpitalnego i na żądanie mogą dostarczyć danych na temat konkretnego pacjenta (rys. 1.22). Nie jest to jeszcze technika bardzo rozpowszechniona, ale jeśli się przyjmie, to może stanowić nowy standard w zakresie informatyki medycznej, bo wydaje się bardzo wygodna dla użytkowników.



Rysunek 1.22. Miniaturowe urządzenia pozwalające na dostęp do danych o pacjencie w dowolnym miejscu (Źródło: <http://jaipurithub.blogspot.com/2010/01/ultra-portable-oculus-can-share-patient.html> – sierpień 2010)

ROZDZIAŁ 2

ZRÓŻNICOWANE ROLE KOMPUTERA W SŁUŻBIE ZDROWIA

2.1. Rodzaje systemów informatyki medycznej.....	22
2.2. Komputerowa obsługa administracji szpitalnej	24
2.3. Budowa i zadania szpitalnej bazy danych.....	26
2.4. Szpitalne i inne medyczne sieci komputerowe.....	28
2.5. Komputerowo wspomagane zbieranie sygnałów, obrazów i innych danych diagnostycznych	30
2.6. Komputerowo wspomagane podejmowanie decyzji diagnostycznych oraz komputerowo wspomagana terapia	32
2.7. Przykładowe komputerowe systemy medyczne.....	34

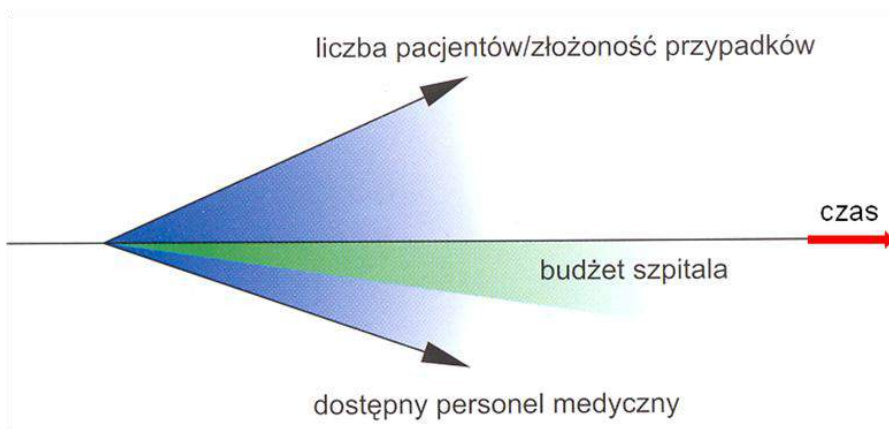
2.1. Rodzaje systemów informatyki medycznej

Poprzedni rozdział służył do tego, żeby ogólnie wykazać celowość stosowania komputerów w służbie zdrowia jak również wskazać czynniki wyróżniające informatykę medyczną na tle licznych innych zastosowań komputerów. W tym rozdziale spróbujemy spojrzeć na problem w sposób bardziej szczegółowy, w szczególności wskazując na to, że mówiąc o komputerach w służbie zdrowia musimy brać pod uwagę bardzo wiele różnych możliwości ich wykorzystania. Zawężając się na chwilę do samych tylko zastosowań komputera w szpitalu można łatwo zauważyć, że może on tam pełnić generalnie trojaki rodzaj role:

- Komputery są wykorzystywane jako narzędzia wspomagające administracyjną stronę działalności szpitala. Funkcje lecznicze szpitali powiązane są bowiem z dużą liczbą czynności administracyjnych: ewidencja pacjentów, zarządzanie ruchem chorych, ewidencja i rozliczanie usług medycznych, harmonogramowanie pracy personelu i sprzętu medycznego, komputeryzacja działania szpitalnej apteki, kuchni, pralni i innych działów pomocniczych itp.
- Komputery są wykorzystywane jako narzędzia wspomagające bieżące prace lekarzy w obszarze diagnostyki, poradnictwa i terapii. Często urządzenia informatyczne wykorzystywane w tej roli są wbudowane w nowoczesną aparaturę medyczną, na przykład jednostka obliczeniowa w tomografii komputerowej albo procesor sterujący przebiegiem leczenia mikrofalami.
- Komputery są wykorzystywane jako systemy zbierania i udostępniania danych o pacjentach (w ramach usług telemedycznych) a także o najnowszych osiągnięciach medycyny światowej, do których praktykujący lekarze powinni mieć stały dostęp w ramach tzw. *Evidence Based Medicine*.

Z czego wynika **rosnące** znaczenie technik informacyjnych w medycynie? Głównie z tego, że pacjentów stale przybywa, personel medyczny (z różnych powodów...) się kurczy, a budżet przyznawany szpitalom także maleje (rys. 2.1). Jeśli nie sięgniemy do zasobu, jakim jest informatyka medyczna – to nie sprostamy wymaganiom, jakie rodzi ta sytuacja...

Spróbujemy teraz poszerzyć, pogłębić i usystematyzować przedstawione wyżej informacje, pokazując nieco dokładniej systemy informatyki medycznej w ich różnych „wcieleniach”.



Rysunek 2.1. Czynniki warunkujące rosnące znaczenie technik informacyjnych w medycynie

Na potrzeby niniejszego skryptu można wyróżnić następujące rodzaje systemów informatyki medycznej:

- Systemy obsługujące leczenie ambulatoryjne
- Systemy wspomagające indywidualną praktykę lekarską z podziałem na pojedynczy gabinet lub ich grupę prowadzoną przez jednego lub kilku lekarzy.
- Systemy wspomagające przychodnie publiczne średniej wielkości.
- Systemy obsługujące dużą przychodnię lub sieciowy zespół przychodni.
- Systemy informatyczne dedykowane dla pielęgniarek.
- Farmaceutyczne systemy informatyczne dla wspomagania pracy apteki.
- Systemy obsługujące leczenie zamknięte (systemy szpitalne).
- Systemy informatyczne stacji krwiodawstwa i krwiolecznictwa.
- Systemy informatyczne Narodowego Funduszu Zdrowia.
- Systemy informatyczne wspomagania zarządzania i polityki zdrowotnej szczebla regionalnego oraz centralnego.
- Systemy dedykowane dla podmiotów specjalistycznych.

Nie wszystkie wymienione typy systemów będziemy tu omawiać, ale warto sobie zdawać sprawę z tego, że jest ich tak wiele i że mogą się dosyć zasadniczo różnić od siebie. W dalszym tekście głównie skupiać uwagę będziemy na kategorii określonej wyżej jako *systemy obsługujące leczenie zamknięte* (systemy szpitalne).

Wymieniona wyżej klasyfikacja systemów informatyki medycznej nie jest bynajmniej jedynym możliwym sposobem ich podziału. Inny podział systemów uzależniony może być na przykład od skali systemu. Jest to wbrew pozorom podział dosyć istotny, bo rzutujący na strukturę rozważanego systemu. Na

przykład w indywidualnych gabinetach lekarskich nie stosuje się rozwiązań integrujących moduły informowania kierownictwa, nieodzowne w systemie obsługujący dużą przychodnię.

Systemy informatyki medycznej niezależnie od ich skali i przeznaczenia mają pewne cechy wspólne, odróżniające je od systemów informatycznym o innym przeznaczeniu. O wielu takich cechach szczególnych będzie dalej mowa, natomiast w tym miejscu wzmiankujemy o właściwości, której w dalszych rozważaniach właściwie nie będziemy wcale poświęcali uwag. Chodzi o specyficzne rozwiązania informatyczne determinowane przez system finansowania usług medycznych w Polsce. Ten system finansowania powoduje, że w praktycznie każdym programie komputerowym obsługującym jakiś fragment usług medycznych znajdują się moduły służące do komunikowania się z wyróżnionym płatnikiem, którym w Polsce jest NFZ. Moduły te funkcjonować muszą w sposób spełniający wymogi regulacji prawnych. W związku z tym, nawet w najmniejszych programach przeznaczonych dla indywidualnych gabinetów lekarskich można się doszukiwać pewnego funkcjonalnego podziału na część administracyjną i część ściśle medyczną. W systemach szpitalnych ten podział jest zdecydowanie bardziej widoczny i całą część administracyjną określa się jako tak zwaną część szarą, natomiast część bezpośrednio związaną z obsługą informacji medycznych określa się jako część białą.

W niniejszym skrypcie uwaga poświęcona zostanie głównie systemom szpitalnym jako tym, które charakteryzują się większą skalę niż systemy ambulatoryjne, oraz których ilość wdrożeń i bezpośrednie znaczenie dla personelu medycznego są większe.

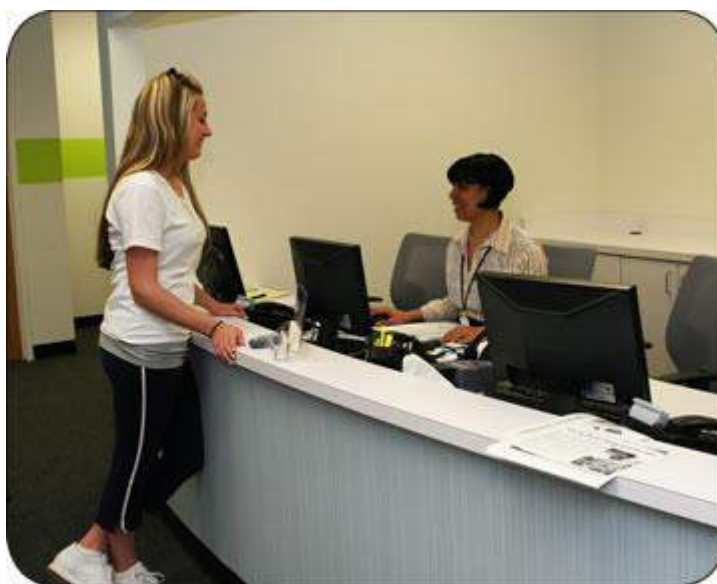
2.2. Komputerowa obsługa administracji szpitalnej

Nie ulega wątpliwości, że komputerowa obsługa administracji szpitalnej jest najmniej frapującą częścią informatyki medycznej. Do każdego bardziej przemawia komputer ujawniający dzięki matematycznym obliczeniom wnętrze ciała człowieka (jak to ma miejsce w tomografii) lub sterujący pracą robota chirurgicznego, niż komputer ewidencjonujący posiłki albo wyprane ręczniki. Jednak ta komputerowa obsługa administracji medycznej jest także ważna i potrzebna, a liczne przykłady szpitali, które mając doskonałych specjalistów medyków popadają w długi lub mają kłopoty z ewidencją posiadanych zasobów – pokazują, że także ta sfera działalności medycznej musi być traktowana bardzo serio.

Ewidencja rzeczowa i finansowa usług medycznych, rozliczanie oraz ewidencja środków trwałych i nietrwałych szpitala, a także zagadnienia kadrowo-płacowe kadry medycznej i pomocniczej szpitala - w zasadzie nie różnią się istotnie od analogicznych zadań realizowanych przez systemy

informatyczne wykorzystywane w innych instytucjach i przedsiębiorstwach. Tak więc nie będziemy ich tutaj szczegółowo omawiać, zakładając że tę problematykę Czytelnik może łatwo poznać z innych książek i podręczników, których obecnie w kontekście tak zwanej informatyki ekonomicznej jest bardzo dużo – i są one powszechnie dostępne.

Natomiast specyfika szpitala przejawia się we wszystkim, co dotyczy pacjentów – i tym się teraz zajmiemy. Musimy zacząć od tego, jak komputer wspomaga proces rejestracji pacjentów. Komputerowa rejestracja (rys. 2.2) jest szybsza, mniej narażona na błędy i pod każdym względem sprawniejsza, niż ręczna. Wykorzystanie komputera w rejestracji lub izbie przyjęć do zbierania podstawowych danych o pacjentach i do tworzenia zasobów informacyjnych, jest dziś w zasadzie ogólnie przyjętą normą. Elektroniczny rekord pacjenta, którego zaczątkiem jest komputerowa rejestracja, może być potem wygodnie i sprawnie wyszukiwany, uzupełniany, modyfikowany, w razie potrzeby przesyłany w ślad za pacjentem do innych placówek służby zdrowia.



Rysunek 2.2. Komputerowa rejestracja pacjenta. (Źródło:

<http://www.wspt.org/media/images/WSPT%20patient.jpg> – sierpień 2010)

Elektroniczna rejestracja, będąca podstawą komputerowej obsługi administracji szpitalnej, dotyczy nie tylko pacjentów. Zazwyczaj w jej skład wchodzi także system rejestracji zleceń lekarski (ang. *physician order entry system*), system zarządzania personelem i zasobami szpitala (ang. *clinical management system*), a także zagwarantowany musi być dostęp do zewnętrznych systemów wiedzy (np. bazy interakcji leków lub bazy uczuleń).

Do innych (dalszych) zastosowań techniki komputerowej w administracji szpitalnej należy między innymi:

- zarządzanie wykorzystaniem zasobów laboratoryjnych, diagnostycznych,
- zarządzanie apteką, zaopatrzeniem w leki oraz zaopatrzeniem w urządzenia i materiały medyczne,
- zarządzania mieniem i personelem,
- zarządzanie środkami transportu,
- naliczania kosztów,
- obciążania ubezpieczycieli,
- itd.

Dokładniejsze omówienie wybranych aspektów funkcjonowania techniki informatycznej, wykorzystywanej jako narzędzie wspomagające szpitalną administrację, znaleźć można w rozdziale 3.

2.3. Budowa i zadania szpitalnej bazy danych

W większości zastosowań informatyki bardzo istotną rolę odgrywają bazy danych. Najbardziej uproszczony schemat bazy danych przedstawia rysunek 2.3.



Rysunek 2.3. Maksymalnie uproszczona metafora bazy danych (Źródło: http://www.zunal.com/zunal_uploads/images/20100218122220aLaRa.jpg sierpień 2010)

Baza danych to duży i wydajny komputer, do którego przesyłane są dane ze wszystkich stanowisk roboczych na których te dane mogą powstawać (patrz np. rys. 2.2 oraz 1.16). Owe stanowiska robocze są obecnie z reguły wyposażone we własne komputery służące między innymi do pozyskiwania danych, więc na rysunku 2.3., będącym **umowną metaforą** bazy danych, przedstawiono je jako laptopy. Jednak nie należy zapominać, że bywają to także – zwłaszcza w zastosowaniach medycznych – czasami bardzo rozbudowane i kosztowne

systemy, przystosowane do rejestracji, przetwarzania i analizowania różnych sygnałów diagnostycznych, zwłaszcza obrazów – patrz na przykład rys. 1.18.

Stanowiska pozyskiwania danych są źródłem różnych informacji, które na rysunku 2.3. symbolicznie oznaczono jako lecące kartki papieru. Te symboliczne kartki mogą frunąć w obie strony, to znaczy komputery dołączone do bazy danych mogą ją „karmić” nowymi danymi, pozyskiwanymi w taki lub inny sposób, mogą jednak również dane z bazy pozyskiwać i udostępniać użytkownikom (patrz rys. 1.19, 1.21, 1.22) – na przykład w celu ich oceny. Często zresztą w strukturze bazy danych, zwłaszcza gdy jest ona częścią systemu informatyki medycznej, są wyraźnie wydzielone miejsca, w których dane poddaje się ocenie i interpretacji. W wielu bazach danych dostęp do zgromadzonych zasobów możliwy jest także w sposób zdalny (obecnie najczęściej za pomocą Internetu), chociaż w odniesieniu do medycznych baz danych trzeba tu zachować dużą ostrożność w związku z możliwością włamania do systemu dokonanego przez hakera działającego w Internecie. Dane medyczne podlegają ochronie prawnej w związku z ustawą o ochronie danych osobowych, a ponadto należą do tak zwanych danych „wrażliwych” to znaczy takich, do których niepowołany dostęp może spowodować spore kłopoty. Zagadnienie to będzie szerzej przedyskutowane w rozdziałach 3 i 10.

Baza danych powinna być sprzężona z archiwum, w którym przechowywane są kopie bezpieczeństwa na bazie których można odtworzyć dane po ewentualnym uszkodzeniu podstawowego wyposażenia sprzętowego bazy danych (awaria komputera, zniszczenie dysku, ewentualna poważna pomyłka operatora powodująca skasowanie potrzebnych danych, zamach terrorystyczny, pożar, powódź, katastrofa budowlana itp.). Należy pamiętać, że w dobrze zbudowanym systemie informatycznym, zwłaszcza w systemie tak odpowiedzialnym, jak większość systemów informatyki medycznej – dane nie mają prawa zaginąć niezależnie od tego, co się wydarzy.

Archiwa przechowują też te zasoby bazy danych, do których nikt już w zasadzie nie sięga, które jednak warto przechować na przykład dla celów porównawczych lub dla przyszłego wykorzystania w badaniach statystycznych.

Przykładową szpitalną bazę danych przedstawiono na rysunku 2.4.



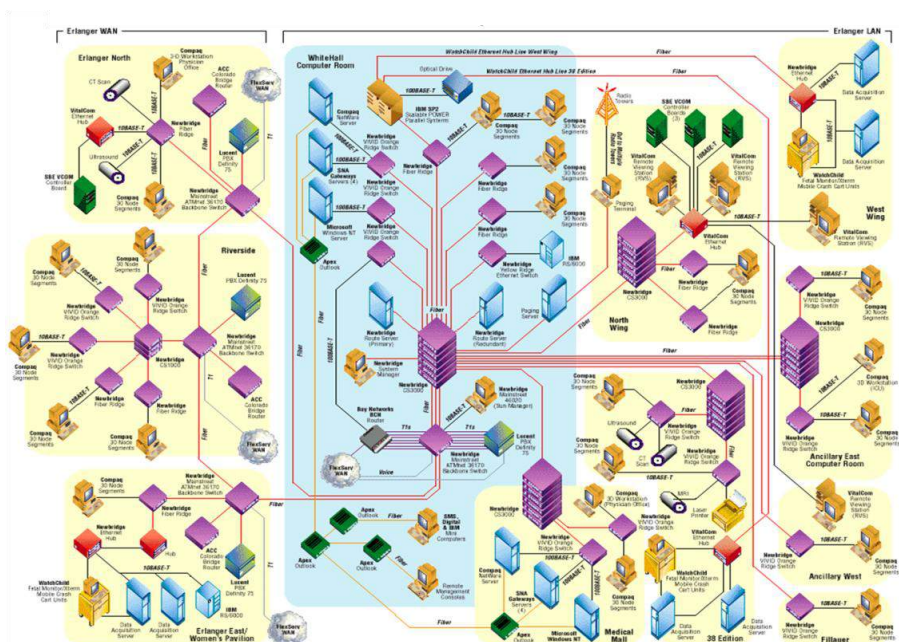
Rysunek 2.4. Przykładowa szpitalna baza danych i jej otoczenie (Źródło: http://www.ksdsolutions.com/images/ksdsolutions_pacs.jpg - sierpień 2010)

2.4. Szpitalne i inne medyczne sieci komputerowe

Cechą wyróżniającą się w informatyce medycznej jest silne zorientowanie stosowanych systemów na rozwiązania sieciowe. Niemal natychmiast po wprowadzeniu sieci komputerowych (początkowo głównie lokalnych, opartych na rozwiązaniach Ethernet, ale potem coraz częściej bazujących na Internecie) doceniono ich zalety w kontekście potrzeb służby zdrowia. Gdy kilkanaście lat temu szpitale, przychodnie, gabinety zabiegowe, laboratoria analityczne i inne placówki służby zdrowia wyposażane były w komputery służące w nich do usprawniania prac administracyjnych oraz do gromadzenia i przetwarzania danych ściśle medycznych, to niemal równocześnie instalowane w nich były rozwiązania sieciowe, gwarantujące zdalny dostęp do danych (zarówno tych

administracyjnych jak i tych medycznych) a także ich dystrybucję do ustalonych odbiorców. W związku z tym nowatorska (w tamtych czasach) koncepcja przetwarzania rozproszonego została wyjątkowo szybko wprowadzona w życie właśnie w zastosowaniach medycznych, wyprzedzając inne sfery zastosowań informatyki w usprawnianiu działalności publicznej, na przykład takie jak e-administracja albo zastosowania w policji.

Dzisiaj system szpitalny o architekturze sieciowej to norma, a nie wyjątek (rys. 2.5).



Rysunek 2.5. Typowy system informatyki medycznej ma strukturę sieciową (na rysunku Erlangen Medical Center, źródło: <http://i.cmpnet.com/nc/916/graphics/916ctr.gif>)

Technika sieci komputerowych okazała się w medycynie szczególnie przydatna, zwłaszcza w zakresie zbierania, integracji i prezentacji danych fizycznie przechowywanych w odległych archiwach. Również ciągła wymiana informacji pomiędzy różnymi fragmentami szpitala wymaga dostępu do sieci, która typowo zrealizowana jest w strukturze warstw złożonych ze sprzętu i oprogramowania.

Dobra sieć informatyczna integruje wszystkie komputery i zapewnia możliwość ich współpracy, dzielenia zasobów (pliki zawierające dane lub programy mogą być zlokalizowane na jednym tylko komputerze, a są dostępne dla wszystkich komputerów w sieci) oraz wymiany strumieni informacji. Zwłaszcza to ostatnie bywa w medycynie bardzo ważne, ponieważ podczas

leczenia pacjenta możemy mieć stale dostęp za pomocą sieci do jego danych, które pomagają w stawianiu diagnozy i w optymalizacji terapii (Rysunek 2.6).



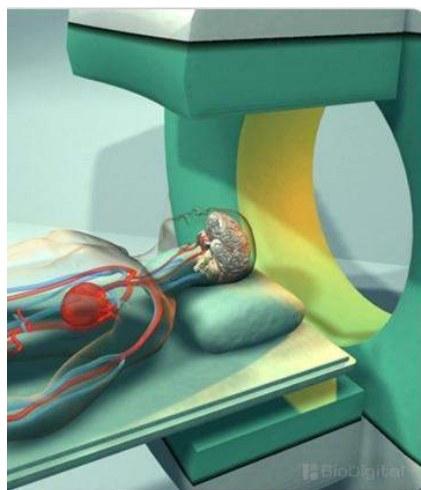
Rysunek 2.6. Dzięki sieci komputerowej w szpitalu dane pacjenta są zawsze dostępne. (Źródło: http://mmoran.com/wp-content/uploads/2010/01/070816_MedicalRecords_wide.hlarge.jpg - sierpień 2010)

Sieci komputerowe w informatyce medycznej odgrywają także ważną rolę integracyjną. W miarę rozwoju zastosowań komputerów w medycynie poszczególne specjalizacje i oddziały (radiolodzy, kardiolodzy, farmaceuci) tworzyły własne rozwiązania sieciowe, które bardzo dobrze wypełniały specyficzne zadania danej dziedziny, ale były w każdej dziedzinie **inne**. Obecnie, wobec faktu, że sieci komputerowe stają się instytucjonalnymi lub nawet regionalnymi instrumentami wymiany informacji medycznych, jednym z największych zadań jest integracja danych medycznych pochodzących z różnych źródeł. Oddziałowe specjalizowane sieci, tworzące obecnie strukturę wysp informacyjnych, powinny zostać otwarte w celu udostępnienia własnych danych, ale także akceptacji informacji pochodzących z innych źródeł. W tym celu konieczne jest wprowadzenie standaryzacji, o której obszerniej będzie mowa w rozdziałach 8 i 10. Tutaj wspomnimy tylko, że jednym z wyzwań w tym zakresie jest obsługa elektronicznego rekordu pacjenta (ang.: *electronic health record* EHR), który docelowo powinien zastąpić wymianę informacji medycznych dokonywaną w formie papierowej.

2.5. Komputerowo wspomagane zbieranie sygnałów, obrazów i innych danych diagnostycznych

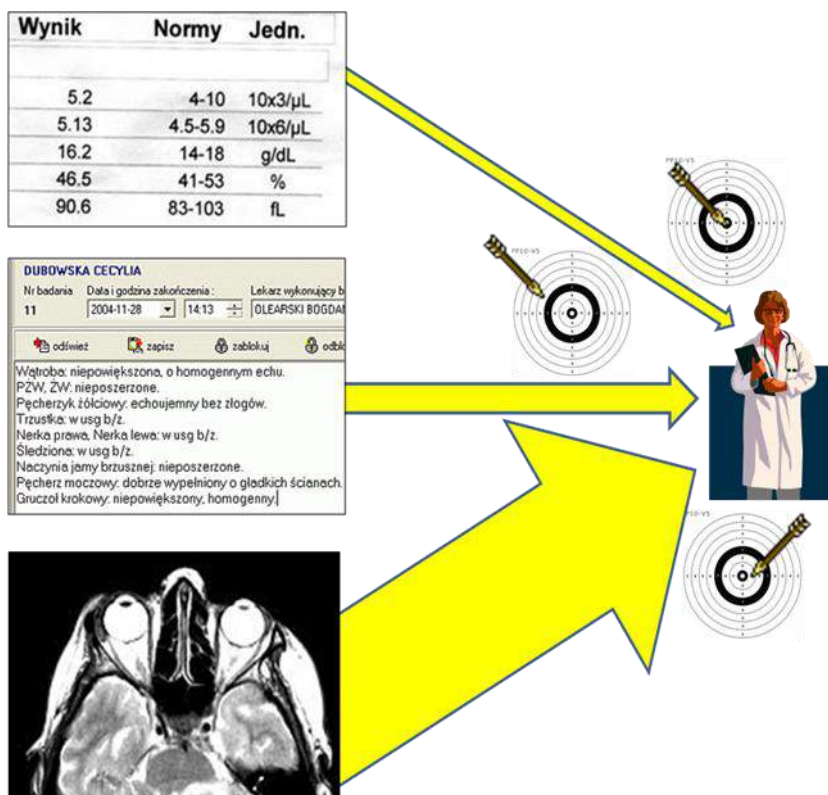
Na schemacie przedstawionym na rysunku 2.4. obok innych elementów typowych dla każdego systemu informatycznego, takich jak serwery baz danych,

stacje robocze i sieć teleinformatyczna – widoczne są narzędzia specyficzne dla informatyki medycznej. Narzędziami tymi są w pierwszej kolejności systemy diagnostyczne, pozwalające na zbieranie różnych sygnałów (na przykład EKG) oraz pozyskując liczne i różnorodne zobrażenia medyczne (rys. 2.7), dzięki czemu wspomniany w poprzednim podrozdziale elektroniczny rekord pacjenta zawiera obok danych w formie tekstów – także liczne informacje multimedialne.



Rysunek 2.7. Współczesna aparatura medyczna pozwala oglądać wnętrze ciała człowieka tak, jakby było ono całkowicie przezroczyste (Źródło: http://www.biodigitalsystems.com/img/mask_SPECT.jpg - sierpień 2010)

Informacje te są bardzo ważne w postępowaniu diagnostycznym oraz w planowaniu i monitorowaniu terapii człowiek (lekarz!) jest wzrokowcem, w wyniku czego informacje w postaci wizyjnej szczególnie łatwo przyswaja i szczególnie skutecznie interpretuje. Jeśli więc jesteśmy w stanie przedstawić określoną informację (tę samą) w postaci liczbowej, tekstowej lub obrazowej – to z zasady powinniśmy wybierać obraz, bo w ten sposób szansa na to, że odbiorca informacji skutecznie ją przyjmie i trafnie zinterpretuje – znacząco rośnie. Na rysunku 2.8 zilustrowano to w taki sposób, że wielkość strzałki łączącej określoną formę prezentacji informacji z symbolicznie oznaczonym lekarzem jako odbiorcą tej informacji, reprezentuje tę ilość informacji, jaka może być przyswojona w takim samym interwale czasu (na przykład w ciągu jednej minuty) przy tych różnych formach przedstawienia informacji. Z tej części rysunku wynika między innymi to, jak bardzo trafne jest dawne chińskie przysłowie głoszące, że *jeden obraz to więcej niż tysiąc słów*.



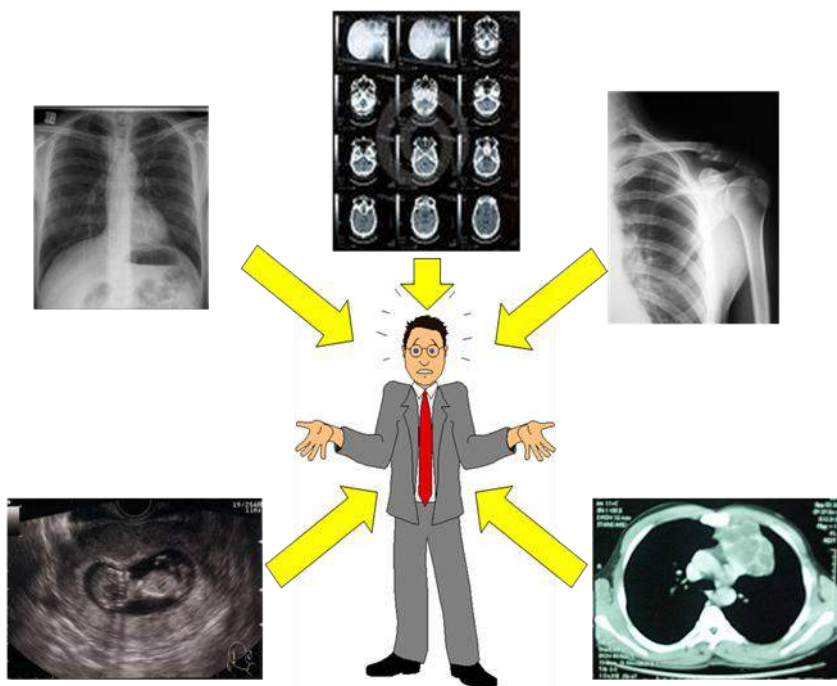
Rysunek 2.8. Właściwości różnych sposobów przekazywania informacji pomiędzy urządzeniem diagnostycznym i interpretującym dane lekarzem. Opis w tekście

Na rysunku 2.8. przedstawiono również w postaci tarczy strzeleckiej z tkwiącymi w niej strzałami - stopień trafności wniosków wyciągniętych na podstawie różnych form prezentacji informacji. Tu przewaga informacji obrazowej też może być odnotowana, chociaż trzeba dodać zastrzeżenie, że owa trafność interpretacji wiąże się głównie z sytuacją, w której wnioski trzeba wyciągać na podstawie całościowej oceny dostarczonej informacji. Gdy ważne są drobne szczegóły informacji, na przykład decyzję podejmuje się na podstawie relacji wartości określonego parametru w odniesieniu do wartości przyjmowanych jako granice akceptowalnej normy – to trafniejszy może być wniosek wyciągany na podstawie danych numerycznych.

2.6. Komputerowo wspomagane podejmowanie decyzji diagnostycznych oraz komputerowo wspomagana terapia

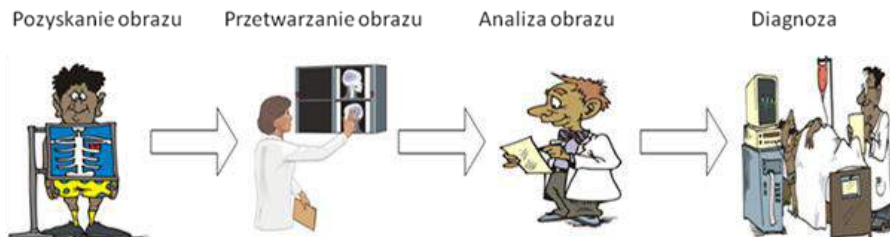
Ważnym zadaniem medycznego systemu informatycznego jest wspomaganie podejmowania decyzji. Lekarz współczesny ma dostęp do ogromnej liczby

danych o każdym pacjencie, ale ten nadmiar bywa niekiedy powodem rozterki i trudności w podjęciu decyzji (rys. 2.9).



Rysunek 2.9. Mając do dyspozycji ogromną liczbę różnych danych medycznych lekarz miewa kłopot z ich właściwym wykorzystaniem i interpretacją

Mylenie się jest rzeczą ludzką, jednak w przypadku medycyny skutki takich błędów bywają tragiczne. Szacuje się, że rocznie w amerykańskich szpitalach w wyniku błędów popełnianych przez lekarzy umiera co najmniej 98 000 pacjentów. To więcej niż śmiertelnych ofiar wypadków samochodowych rocznie w całych Stanach Zjednoczonych. Dlatego jednym z głównych zadań systemów szpitalnych jest zapobieganie podejmowaniu błędnych decyzji przez monitorowanie działań lekarzy. Rolę tych systemów można symbolicznie przedstawić jak na rysunku 2.10, pokazującym na przykładzie analizy i interpretacji obrazów medycznych zadania, jakie spełnia system informatyczny przy wspomaganiu prac lekarzy na poszczególnych etapach procesu gromadzenia danych o pacjencie, analizy i interpretacji tych danych oraz podejmowania decyzji dotyczących terapii.



Rysunek 2.10. Zadania systemu informatyki medycznej w procesie pozyskiwania informacji o pacjencie i komputerowo wspomaganiej diagnozy.

Dalsze zadania szpitalnych systemów informatycznych to komputerowo wspomaganą terapią. W wielu szpitalach istnieją zbiory przyjętych schematów działania w przypadkach standardowych schorzeń tzw. ścieżki kliniczne. Dzięki ich integracji z systemem szpitalnym możliwa jest automatyzacja wielu czynności związanych z pobytem pacjenta w szpitalu. Wprowadzenie do systemu pacjenta spełniającego określone wymagania (np. określony kod rozpoznania i planowanej procedury) powoduje generację listy czynności do wykonania w systemie (rezerwacja łóżka, rezerwacja terminu badania EKG i RTG, zamówienie badań laboratoryjnych krwi, rezerwacja sali operacyjnej, zamówienie leków), które do wykonania wymagają jedynie akceptacji lekarza.

Zgodnie z wymaganiami metodologii **EBM** (*Evidence Based Medicine*) która w Polsce znana jest jako **POWAP** (*Praktyka Oparta na Wiarygodnych i Aktualnych Publikacjach*) lekarz powinien podejmować decyzje kliniczne na podstawie najlepszych dostępnych badaniach naukowych. Możliwe jest to m.in. dzięki komputerowemu dostępowi do elektronicznych baz medycznych (np. MEDLINE, EMBASE).

2.7. Przykładowe komputerowe systemy medyczne

Podobnie jak w wielu innych zadaniach, w których wykorzystuje się techniki komputerowe, w informatyce medycznej chętniej korzysta się z gotowych systemów informatycznych niż projektuje i buduje nowe. Dlatego na zakończenie tego rozdziału przedstawimy krótkie (i zdecydowanie niepełne) zestawienie gotowych systemów informatycznych, które są dostępne w Polsce i które mogą być wykorzystane w służbie zdrowia dla potrzeb jej informatyzacji.

Na początek kilka uwag porządkowych: W Polsce podstawowy, czyli najczęściej występujący, szpital, tzw. pierwszego poziomu referencyjnego, posiada oddział chorób wewnętrznych, chirurgii ogólnej, położnictwa i ginekologii oraz pediatrii. Zdarzenia medyczne, które mają z reguły miejsce w takich szpitalach są podobne i w miarę przewidywalne. Raczej sporadycznie występuje w nich zapotrzebowanie na gromadzenie nietypowych danych

medycznych lub zbieranie ich w sposób nieprzewidywalny przez typowy moduł oddziaływy. Dlatego też najczęściej zakres funkcjonalny oraz koncepcja działania różnych systemów szpitalnych (HIS) są podobne.

Tabela⁵ 2.1. Wybrane medyczne systemy informatyczne

Producent /kraj	Nazwa systemu/ modułu	Charakterystyka
ABG S.A. Polska	InfoMedica	Pakiet programów o budowie modułowej, rejestrujący świadczenia zdrowotne (część biała) oraz zdarzenia gospodarczo-administracyjne (część szara) wraz z rozliczaniem z płatnikami. Posiada elementy analizy danych i wspomaganie decyzji biznesowych. Brak rozwiązań RIS, LIS.
	Hipokrates	Obejmuje obszar medyczny (biały), administracyjny (szary) oraz wspomaganie zarządzania. Zaimplementowano elektroniczną historię choroby. Jeden z pierwszych systemów HIS w Polsce.
	Solmed	System dedykowany dla mniejszych podmiotów obsługujący ruch chorych, podstawową gospodarkę lekami oraz najważniejsze elementy pracy oddziału i administracji
	Bank Krwi	System dedykowany dla Regionalnych Centrów Krwi i Krwiodawstwa. Wdrożony w największych ośrodkach w Polsce.
	MMedica	Pakiet programów przeznaczonych do pracy w opiece ambulatoryjnej różnej skali – od pojedynczego gabinetu lekarskiego po sieć przychodni.

⁵ Źródło tabeli: Zajdel R.: Systemy medyczne. Rozdział nr 6 w IV tomie serii książkowej Informatyka w gospodarce, pod red. naukową A. Gąsioriewiczza, K. Rostek, J. Zawily-Niedźwieckiego przygotowywanej przez wydawnictwo C.H. Beck. Czytane w rękopisie podczas recenzowania monografii, która zapewne ukaże się na początku 2011 roku)

	CliniNET	Pakiet modułów obsługujących kompleksowo całą działalność szpitala, w tym część białą. System integruje moduł obsługi cyfrowej diagnostyki obrazowej – NetRAAD, który jest kompleksowym rozwiązaniem PACS. System ma możliwość integracji laboratorium (LIS). System posiada wbudowany moduł rachunku kosztów i wspomaganie decyzji na szczeblu kierowniczym (SakPRO).
UHC Polska	NetRAAD	Oprogramowanie typu PACS, obsługujące wszystkie popularnie występujące modalności skanerów medycznych. Moduł jest zintegrowany z podstawowym modułem szpitalnym – CliniNET, tworząc rozbudowany HIS.
	Eskulap	System typu HIS, o budowie modułowej. Podobnie jak większość posiada wyróżnioną część białą i część szarą, która rozbudowana jest o funkcje wspomaganie zarządzania. System integruje obsługę laboratorium (LIS). W pełni obsługiwana jest elektroniczna historia choroby. Dostępne są moduły wysoce specjalistyczne takie jak dializa. System posiada w pełni zintegrowany moduł PACS, obsługujący większość dostępnych modalności.
Politechnika Poznańska Polska	Charon	System typu RIS. Razem z serwerem PACS tworzy system cyfrowego zarządzania obrazami medycznymi.
Pixel Polska	KS – grupa systemów służby zdrowia	Charakterystyczną cechą systemów Kamssoft jest duży wybór rozwiązań dostosowanych do skali jednostki.
Kamssoft Polska Sp.z o.o.	KS-MEDIS	System HIS obsługujący część białą i szarą szpitala.
	KS-SOLAB	system laboratoryjny, obsługujący zarówno małe laboratoria jak i jednostki szpitalne.
	KS-SOMED	System obsługi leczenia ambulatoryjnego
	KS-KST	Dedykowany system dla leczenia stomatologicznego.

Esaprojekt Sp. z o.o. Polska	OPTIMed	System klasy HIS, zawierający podstawowe moduły m. in. ADT, EPR (dane pacjenta na oddziale), bank krwi, blok operacyjny oraz moduły części szarej. Dostępne są także aplikacje do jednostek ambulatoryjnych oraz obsługi patomorfologii.
Impulsy Sp. z o.o.	Medicus on-line (wcześniej Argus)	Zwarty system dedykowany obsłudze szpitala. Zawiera najważniejsze funkcjonalności ADT, sprawozdawczości dla NFZ oraz prowadzenia historii choroby.

Systemy zebrane w podanym wyżej zestawieniu mają typowo budowę modułową, z podstawowymi modułami związanymi z poszczególnymi oddziałami szpitala. Systemy te należą zatem do kategorii określanej w literaturze profesjonalnej jako **CDS** (*Clinical Departmental System*).

W typowym przypadku „oddziału podstawowego” zakres funkcjonalny systemu będzie obejmował:

- obsługę ruchu chorych w powiązaniu z modułem ADT HIS
- obsługę apteczki oddziałowej w powiązaniu z apteką szpitalną
- obsługę zleceń lekarskich
- obsługę skierowań na badania i konsultacje
- rejestrację obserwacji i innych adnotacji lekarskich
- rejestrację obserwacji i innych adnotacji pielęgniarskich
- obsługę wymaganych przez prawo druków o zachorowaniach zakaźnych, nowotworach, karty narodzin, karty zgonu, itp.
- Wspomaganie przygotowywania wypisów.

Bardziej zaawansowane systemy oddziałowe mogą integrować obsługę procesów zachodzących w oddziale i związanych z tym zasobów danych z systemami laboratoryjnymi (LIS) oraz z systemami gromadzącymi dane diagnostyczne w postaci obrazowej (RIS oraz PACS). O systemach tych będzie mowa w dalszych rozdziałach skryptu, przeto w tej chwili jedynie odnotujemy tu ich obecność nie podając żadnych szczegółów.

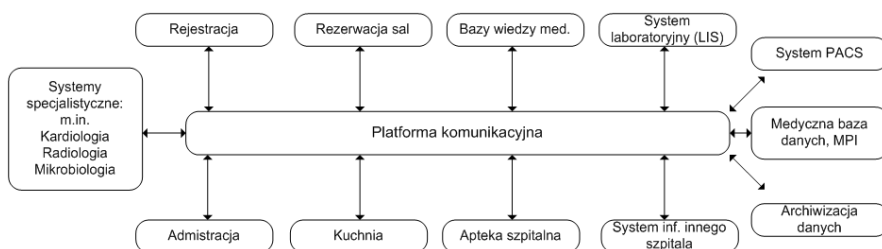
ROZDZIAŁ 3

KOMPUTERY W ADMINISTRACJI SZPITALNEJ

3.1. Szpitalny system informatyczny	40
3.2. Tworzenie elektronicznej dokumentacji pacjenta	42
3.3. Zawartość i zadania elektronicznego rekordu pacjenta.....	43
3.4. Elektroniczny rekord pacjenta a proces jego leczenia.....	48
3.5. Dodatkowe składniki systemu obsługi administracji szpitalnej.....	50
3.6. Protokoły i standardy stosowane w medycznych systemach informatycznych.....	54
3.7. Sieć komputerowa jako narzędzie integrujące system szpitalny.....	56
3.8. Kodowanie danych w systemie szpitalnym.....	57
3.9. Uwagi końcowe.....	58

3.1. Szpitalny system informatyczny

Zagadnienia komputerowo wspomaganego zarządzania szpitalem są z pewnością o wiele mniej frapujące, niż zagadnienia – przykładowo – automatycznej diagnostyki medycznej. Jednak to właśnie komputeryzacja administracji szpitalnej jest zwykle tym fragmentem informatyzacji szpitala, od którego zaczyna się obecność komputera w normalnym funkcjonowaniu kliniki. Co więcej niezależnie od tego, jak wiele obszarów aktywności ściśle medycznej zostanie w przyszłości z informatyzowanych w szpitalu – stosem pacierzowym całego systemu będzie zawsze podsystem obsługujący i usprawniający działanie szpitalnej administracji (rys. 3.1).



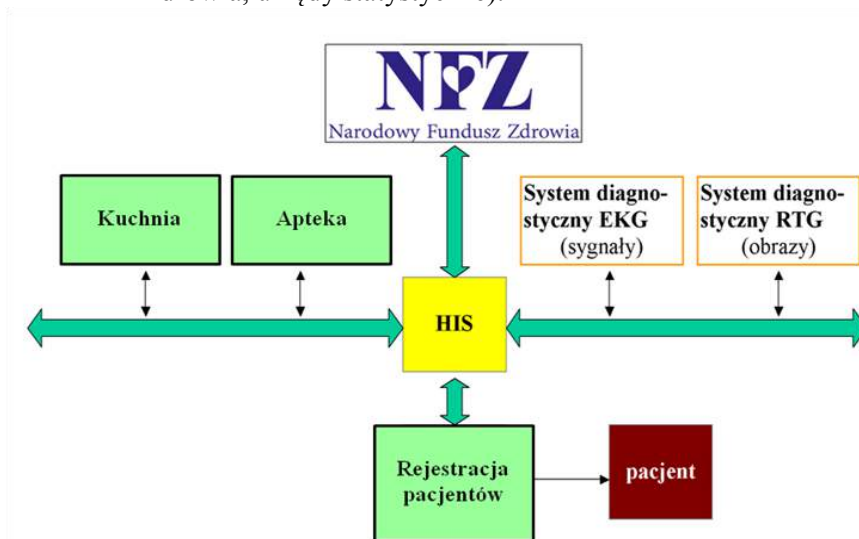
Rysunek 3.1. Skomputeryzowana szpitalna administracja jest centralnym punktem systemu informatyki medycznej

Rozważać tu będziemy system informatyczny określany jako **HIS** (skrót od ang. *Hospital Information System*, System Informatyczny Szpitala) obejmujący zarówno część ściśle medyczną, jak i część związaną z obsługą takich działów, jak szpitalna kuchnia, pralnia, apteka oraz dział rozliczeń (w warunkach polskich utrzymujący ścisłą więź z głównym dostawcą funduszy, to znaczy z Narodowym Funduszem Zdrowia – NFZ). Uproszczony schemat takiego systemu przedstawiony jest na rysunku 3.2. Twórcy i użytkownicy HIS muszą mieć w pamięci następującą ważną maksymę: **Podstawą dobrej organizacji szpitala jest sprawny przepływ i dostęp do informacji**. O tym, jak bardzo jest to ważne, świadczy następująca informacja: Otóż badania wykonane w 1966 roku w trzech nowojorskich szpitalach wykazały, że koszty zarządzania informacją wewnątrzszpitalną pochłaniają 25% ogólnych kosztów działania tych instytucji. Od czasu przeprowadzenia badania liczba danych przetwarzanych w szpitalach zwiększyła się kilkakrotnie!

HIS wpisany jest często w kontekst szerszego pojęcia **HCIS** (skrót ang. *Health Care Information System*, System Informatyczny Służby Zdrowia), które oznacza system zintegrowany, obejmujący oprócz szpitala również połączone z nim inne jednostki:

- prywatne gabinety lekarskie,
- hospicja,

- zewnątrz laboratoria diagnostyczne,
- systemy firm ubezpieczeniowych,
- medyczne jednostki akademickie
- strukturę informatyczną instytucji rządowych (np. ministerstwo zdrowia, urzędy statystyczne).



Rysunek 3.2. Bardzo uproszczony schemat systemu informatycznego obsługującego szpitalną administrację

System informatyczny szpitala dzielony jest na część administracyjną (określaną niekiedy mianem **części szarej**) oraz część kliniczną (**część białą**, lub **CIS** – ang. *Clinical Information System*). Na rysunku 3.2. odpowiada to podziałowi na lewą i prawą stronę przedstawionego schematu.

Jak widać ze schematu podanego na rysunku 3.2. punktem początkowym, w którym zasadniczy obiekt jakim jest pacjent pojawia się w systemie administracji szpitalnej – jest elektroniczna rejestracja. Początkowa wzmianka na jej temat była już przytoczona w rozdziale 2 (patrz rys. 2.2), gdzie również wstępnie zarysowano zadania, jakie spełnia zainformatyzowany system obsługi administracji szpitala. Obecnie odpowiednie zagadnienia nieco rozwinie i skonkretyzujemy. Zanim to jednak nastąpi – warto zrobić jedną uwagę ogólną. Otóż ilość danych powstająca we współczesnej medycynie jest całkowicie nieprzystawalna dla pojedynczego człowieka. Trudno sobie także wyobrazić gromadzenie tak rozbudowanych zasobów informacji w klasycznej formie, nie mówiąc już o procesie interpretacji tych danych. Tymczasem owo gromadzenie i interpretacja ogromnych ilości danych są konieczne dla skutecznego prowadzenia procesu diagnostycznego i terapeutycznego. Dlatego tworzenie elektronicznej dokumentacji pacjenta jest po prostu koniecznością.

3.2. Tworzenie elektronicznej dokumentacji pacjenta

Każdy system szpitalny zawiera moduły stałe oraz pewną ilość modułów bardziej specjalizowanych. Modułami specjalizowanymi zajmujemy się osobno, natomiast teraz skupimy uwagę na tej części, która ma charakter powtarzalny i obejmuje tak zwany ruch chorych. W literaturze światowej ta część systemu informatyki szpitalnej określana bywa jako **ADT** (*Admission, Discharge & Transfer*). ADT odpowiada za śledzenie „przepływu” pacjentów w szpitalu. Centralnym i jednocześnie pierwszym miejscem wdrożenia modułu jest izba przyjęć – miejsce, w którym pacjent pojawia się w szpitalu, a jednocześnie jego istnienie zaczyna się także w systemie informatycznym. Podczas przyjmowania pacjenta do szpitala wypełniana jest elektroniczna karta rejestracyjna, której przykładową strukturę przedstawia rysunek 3.3.

The screenshot shows a web browser window with the URL <http://care2002.sourceforge.net/demo/index.php?lang=pt&>. The page title is "Person registration" and it features a navigation menu on the left with options like Home, Patient, Appointments, Admission, Ambulatory, etc. The main form is titled "New person" and contains the following fields and options:

- Registration date: 21/01/2010
- Registration time: 20:34
- Title: [empty]
- * Family name: [empty]
- * Given name: [empty]
- Second name: [empty]
- Third name: [empty]
- Media name: [empty]
- Maiden name: [empty]
- Other names: [empty]
- * Date of birth: [empty]
- Sex: male female
- Blood group: A B AB O
- Civil status: Single Married Divorced Widowed Separated
- Address:
 - Street: [empty]
 - Town/City: [empty]
 - Nr.: [empty]
 - Zip: [empty]
- Insurance: Private Insurance Health Fund Self pay
- * Insurance nr 1: [empty]
- Insurance Company: [empty]
- Phone 1: [empty]
- Phone 2: [empty]
- Cellphone 1: [empty]
- Cellphone 2: [empty]

Rysunek 3.3. Przykładowa struktura ankiety, jaka jest wypełniana przy rejestracji pacjenta (Źródło:

<http://care2x.files.wordpress.com/2010/01/care2x.png> - sierpień 2010)

Moduł ADT jest najbardziej podstawowym, i pierwszym wdrażanym modułem szpitalnego systemu informatycznego. Dość często jednocześnie z nim wdrażany jest moduł rozliczeń z płatnikami (NFZ). Dalszy ciąg rozważań będzie prowadzony tak, by śledzić drogę pacjenta po jego przyjęciu do szpitala i wskazywać, jakie elementy systemu informatycznego są przy tym wykorzystywane. Należy jednak odnotować, że nie jest to jedyna możliwa droga pacjenta. Obecnie w szpitalach istnieją tzw. SOR – Szpitalne Oddziały Ratunkowe, które udzielają pomocy na poziomie izby przyjęć, bez dalszego przyjęcia chorego na oddziały specjalistyczne. System informatyczny szpitala

musi zapewnić obsługę także tego obszaru działania, ponieważ pacjent opuszczając SOR musi otrzymać kartę wypisową, a w bazie danych szpitala musi pozostać ślad jego przyjęcia oraz rodzaju i zakresu udzielonej mu pomocy.

Jeżeli pacjent nie zostaje przyjęty do szpitala, to otrzymuje druk odmówienia hospitalizacji. Z izby przyjęć pacjent może także zostać skierowany do innej jednostki lecznictwa zamkniętego, a także może trafić bezpośrednio do opieki ambulatoryjnej. W ADT szpitala powstaje wtedy jego rekord⁶ kontynuowany w części białej systemu przeznaczonej dla ambulatorium.

Jeśli pacjent zostaje przyjęty do szpitala, to jego rekord utworzony przez moduł ADT znacząco się rozbudowuje. Przyjrzyjmy się temu nieco dokładniej.

3.3. Zawartość i zadania elektronicznego rekordu pacjenta

Ogół danych medycznych dotyczących konkretnego pacjenta nazywany jest elektronicznym rekordem pacjenta (**EHR** – ang. *Electronic Health Record* lub **EHCR** – ang. *Electronic Health Care Record*). Ta ważna struktura danych znana jest także pod nazwą osobistego rekordu medycznego (ang.: *patient health record* PHR). Pojęcia te (EHR, EHCR, PHR itp.) są niezależne od ram organizacyjnych konkretnej jednostki służby zdrowia. W założeniu wykorzystanie tego samego EHR powinno być możliwe w różnych systemach informatyki medycznej.

Zawartość rekordu pacjenta stale podlega wzbogacaniu i ewolucji. Początki informatyki medycznej były takie, że rejestrowane o pacjencie dane były wyłącznie tekstowe, a dokładniej – większość ich miała charakter skrótowych kodowych oznaczeń. Jako przykład rozważmy rysunek 3.4, który przedstawia ekran konsoli tekstowej jednego z pierwszych systemów szpitalnych – *Technicon Medical Information System* (TMIS), który wprowadzono do użytku w roku 1965. Powstał on jako wynik współpracy firmy Lockheed i EI Camino Hospital w Kalifornii. Pomimo bardzo ascetycznego interfejsu użytkownika – ekran tekstowy z 80 kolumnami znaków – system ten sprawiał się zaskakująco dobrze i w niektórych szpitalach amerykańskich wciąż jest stosowany przy uzyskiwaniu dostępu do archiwalnych danych.

⁶ Słowo „rekord” jest tu rozumiane jako wyodrębniony fragment szpitalnej bazy danych przeznaczony do przechowywania danych jednego pacjenta. Nie należy tego w żaden sposób kojarzyć z rekordem w rozumieniu sportowym!

```

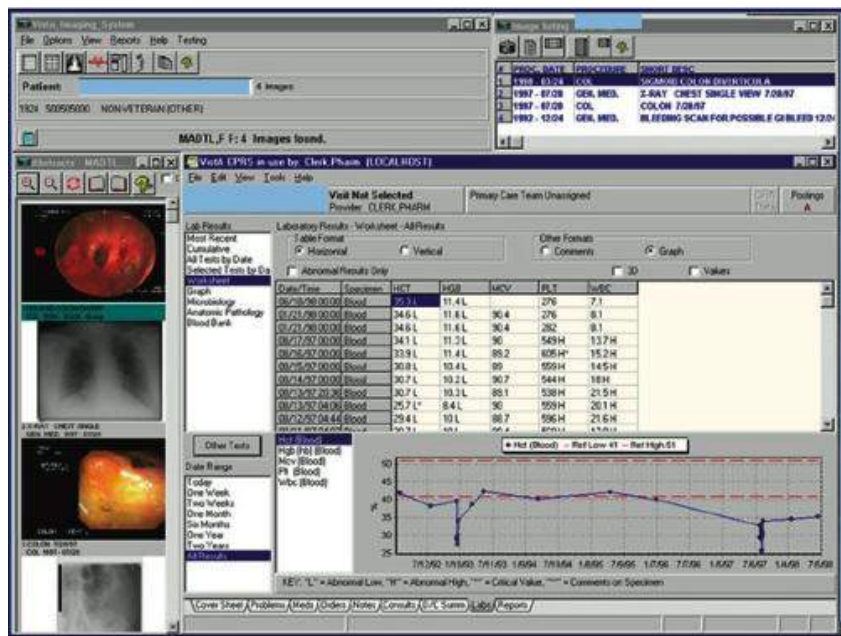
REFZOL INJ 500 MG, STAT, &THEN, Q6H
SMA-18-----
COMMON LAB TESTS-----
BL CHEM      HEMA          OTHER      ▶A
▶MA-18      ACT(COAG TIME) UA      ▶B
▶DESCRIP    CBC            UDRL      ▶C
BUN          ▶DESCRIPTION      ▶DE
CPK, TOTAL  ESR              ▶F
CREATININE  HEMOGRAM        ▶G
ELECT(SMA-6) (INCL PCV) ▶OCC BL-ST ▶H
GLUC(FBS)   PLAT CT        ▶CULTURE  ▶I-K
GLUC(2HPC)  PRO TIME        ▶M-O
LDH, TOTAL  ▶P
POTASS      ▶QR
SGOT        ▶S
URIC ACID   ▶TESTS BY SPEC'M TYPE ▶T
(<-----)
(< PICKUP)  ▶PICKUP SCHED  ▶NURS
TOMORROW   ▶PRIORITY     ▶MEDS   ▶SPEC'M
TODAY      ▶SPM_COLLECTED ▶DIET   ▶MASTER
RETURN-----REVIEW
ERR        TYPE      RETRIEVE

```

Rysunek 3.4. Widok elektronicznego rekordu pacjenta w systemie TMIS
(Źródło: <http://www.fas.org/ota/reports/7708.pdf> - sierpień 2010)

Wczesne szpitalne systemy informacyjne były rozszerzeniami systemów administracyjnych stosowanych w szpitalach, co było poważnym czynnikiem ograniczającym ich rozwój. Stosowane bazy danych sztywną strukturą i ścisłą definicją rekordów naśladowały rozwiązania projektowe właściwe dla systemów finansowych. Takie zasady okazały się nieadekwatne i zbyt mało elastyczne do przechowywania i zarządzania informacjami klinicznymi. Dzisiejsze szpitalne systemy informacyjne HIS są przystosowane przede wszystkim do obsługi przekrojowego rekordu pacjenta zawierającego informacje o wielu zdarzeniach zaistniałych w związku z nim w obrębie jednostki służby zdrowia jak i poza nią.

Jeżeli przyjmiemy, że daną medyczną jest pojedyncza obserwacja pacjenta, to jest oczywiste, że posiadanie kompletnych, poprawnych, zweryfikowanych danych we właściwym czasie i miejscu często jest okolicznością, która przesądza o zdrowiu, bądź życiu, człowieka. Danymi mogą być odczyt temperatury ciała, zawartość tlenu w krwi obwodowej, stężenie jonów potasu we krwi, ciśnienie krwi – czyli liczby. Danymi mogą być wszelkie obserwacje i dane z wywiadu, jakie lekarz wprowadzi do systemu. Ale dane to także obrazy, na przykład rentgenowskie albo pochodzące z USG. Dlatego współczesne rekordy pacjentów w szpitalnych bazach danych wyglądają zupełnie inaczej niż to pokazano na rysunku 3.4, w szczególności obok informacji tekstowych zawierają także wyniki badań przeprowadzonych za pomocą nowoczesnej aparatury medycznej, a zwłaszcza liczne dane obrazowe (Rysunek 3.5).



Rysunek 3.5. Przykład nowoczesnego rekordu pacjenta (Źródło: <http://www.salveomt.com/images/electronic-medical-record.gif> - sierpień 2010)

Rekord pacjenta służy do administracyjnego nadzoru nad wszystkim, co danego pacjenta dotyczy (to w części szarej systemu informatycznego szpitala), a także służy do rejestracji i kontroli wszystkich decyzji (diagnoz) i zabiegów medycznych, jakim poddawany jest pacjent (w części białej).

Skupmy najpierw uwagę na części ściśle administracyjnej, którą zawiaduje wspomniany wyżej moduł ruchu chorych ADT. Ze względu na przepisy kontrola ruchu pacjenta przebiega niekiedy dwutorowo: w formie elektronicznej jak również w formie papierowej. W izbie przyjęć po utworzeniu w szpitalnej bazie danych rekordu pacjenta drukowana jest historia jego choroby w formie dokumentu papierowego. Izba przyjęć drukuje także załączniki do historii choroby, w tym kartę gotowych etykiet z nadrukowanym kodem paskowym, co jest wykorzystywane w laboratoryjnych systemach informatycznych. Z tą dokumentacją pacjent udaje się do wskazanego oddziału, gdzie będzie leczony. W oddziale fakt jego przybycia odnotowywany jest w tym samym szpitalnym systemie komputerowym, w którym założony został rekord pacjenta, ale często dodatkowo pacjent jest często wprowadzany do systemu klasycznego, papierowego, tzw. książki oddziałowej, z nadaniem oddziałowego identyfikatora (ID). Dodatkowo pojawienie się pacjenta na oddziale skutkuje odnotowaniem w HIS (w systemie informatycznym całego szpitala) faktu zajęcia określonego łóżka w określonej sali oraz zleceniem do kuchni w sprawie posiłków (z uwzględnieniem zaleceń dietetycznych). Od tej pory wszystko, co się dzieje z

pacjentem, odnotowywane jest w szpitalnym systemie informatycznym. Przeniesienie na innym oddział, wypis ze szpitala lub zgon pacjenta jest także rejestrowany w HIS przy użyciu ADT. Pomimo powszechnego użycia elektronicznych systemów informacyjnych w jednostkach służby zdrowia, rekord medyczny jest wydawany w formie papierowej (karta wypisowa) w momencie wypisu pacjenta ze szpitala. Stosowanie takiej formy wypisu, niemożliwej do automatycznego odczytu, jest powodem dodatkowego nakładu pracy gdy pacjent pojawi się w innej jednostce służby zdrowia, która oczywiście musi także założyć dla tego pacjenta jego rekord medyczny.



Rysunek 3.6. Elektroniczny rekord medyczny może być wydany pacjentowi w takiej formie, żeby miał go stale przy sobie (Źródło:

<http://www.theboomerroom.com/wp-content/uploads/2009/06/MedFlashKeyChainClosed-220x2202.jpg> - sierpień 2010)

Przenoszenie danych z jednego systemu informatycznego do drugiego za pomocą dokumentu papierowego jest nie tylko anachronizmem, ale dodatkowo bywa źródłem błędów spowodowanych przez człowieka przy ponownym wprowadzaniu informacji zawartych w rekordzie pacjenta do kolejnego szpitalnego systemu informacyjnego. Jest to także poważne ograniczenie dla diagnostyki opartej na autoreferencji pacjenta polegającej na porównaniu jego aktualnych parametrów medycznych z wynikami archiwalnymi.

W niektórych krajach wysoko rozwiniętych rekord medyczny pacjenta jest mu udostępniany także w formie elektronicznej. Ponieważ jest ważne, żeby pacjent miał ten rekord stale przy sobie (na wypadek gdyby mu trzeba było udzielać nagłej pomocy medycznej) – wytwarza się te elektroniczne kopie rekordów medycznych na przykład w formie ... breloków do kluczy (rys. 3.6) lub w wygodnym formacie karty kredytowej (rys. 3.7).



Rysunek 3.7. Elektroniczny rekord medyczny wydawany pacjentowi może mieć rozmiary i wygląd typowej karty kredytowej. (Źródło: <https://www.ermedic.com/images/AboutERcard.jpg> - sierpień 2010)

Inną przykładową formę personalnego elektronicznego rekordu medycznego wydawanego pacjentom przedstawiono na rysunku 4.14.

Z punktu widzenia pacjenta, elektroniczna wersja osobistego rekordu medycznego ma postać karty magnetycznej lub chipowej zabezpieczonej kodem dostępu, która służy do identyfikacji i autoryzacji dostępu do informacji medycznych przechowywanych w repozytorium. Repozytorium rekordu medycznego jest usługą świadczoną komercyjnie przez dostawcę rekordu medycznego (ang.: *PHR provider*) - firmę informatyczną zapewniającą ciągłość dostępu i podejmującą również wszelkie obowiązki wynikające z konieczności ochrony danych medycznych przed niepowołanym dostępem. Dostawca jest wybierany dowolnie przez pacjenta. Do jego zadań należy udzielanie praw dostępu do rekordu medycznego autoryzowanym jednostkom świadczącym usługi medyczne i ubezpieczycielom, prowadzenie ewidencjiostępów i zmian w rekordzie oraz konserwacja i archiwizacja rekordu medycznego. Każdorazowo przyjęcie pacjenta do szpitala powoduje jego identyfikację (na podstawie karty) i udzielenie szpitalowi praw dostępu do odczytu wybranych fragmentów rekordu medycznego. Informacje o pacjencie (np. poprzednie rezultaty diagnostyczne) zostają skopiowane do szpitalnego systemu informacyjnego (HIS) i są w nim dostępne dla personelu świadczącego usługi medyczne. Wypisanie pacjenta ze szpitala jest równoznaczne z przepisaniem fragmentów rekordów szpitalnego systemu informacyjnego dotyczących tego pacjenta do uaktualnienia jego osobistego rekordu medycznego, w sposób zapewniający zachowanie danych archiwalnych przez wymagany okres czasu.

Elektroniczna forma rekordu medycznego i jego kompleksowy charakter pozwala także na łatwą wymianę danych pomiędzy dostawcami usług medycznych oraz agencjami ubezpieczeniowymi. Dane gromadzone przez ADT są bowiem nie tylko podstawą raportowania przez oddziały m.in. wykorzystania bazy łóżek, zapotrzebowania na żywność oraz są podstawowym źródłem danych

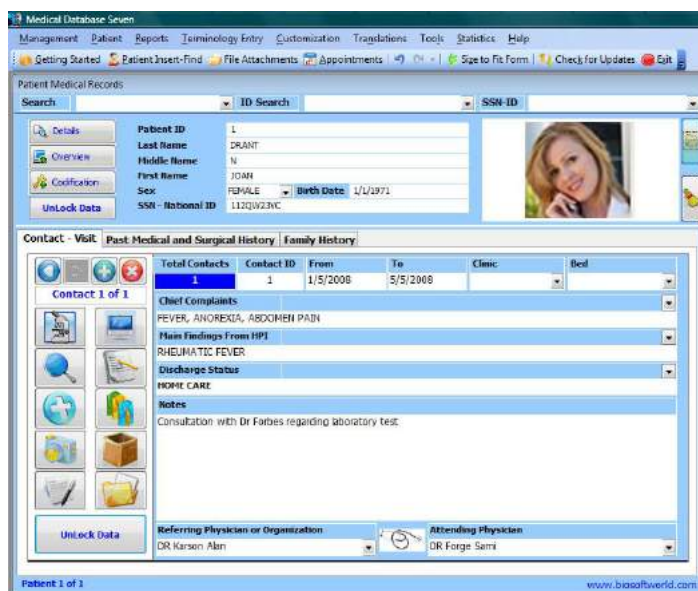
dla statystyki szpitalnej, ale dane te są także potrzebne pracownikom szpitala prowadzącym rozliczenia należności za wykonanie świadczeń zdrowotnych i wysyłającym w tym celu okresowe raporty do płatników (NFZ).

3.4. Elektroniczny rekord pacjenta a proces jego leczenia

Jak wspomniano wyżej, rekord medyczny pacjenta jest także zapisem wszystkich parametrów niezbędnych do opisu jego stanu w aspekcie medycznym. Każda osoba wykonująca jakąkolwiek czynność diagnostyczną czy terapeutyczną związaną z konkretnym pacjentem zaczyna zawsze pracę od przywołania na swój komputer jego elektronicznego rekordu (rys. 3.8)

Tradycyjne bazy danych systemów HIS były zorientowane na obsługę pojedynczej hospitalizacji pacjenta (ang.: *encounter-oriented*) od przyjęcia do wypisu, który prowadził do zamknięcia i podsumowania (także finansowego) wszystkich usług medycznych świadczonych pacjentowi na terenie szpitala. Wadą takiego podejścia był brak ciągłości, powodujący konieczność wprowadzania informacji o stałych cechach pacjenta np. alergiach przy każdorazowym przyjęciu do szpitala, a także brak możliwości śledzenia postępów leczenia z perspektywy kilku kolejnych hospitalizacji.

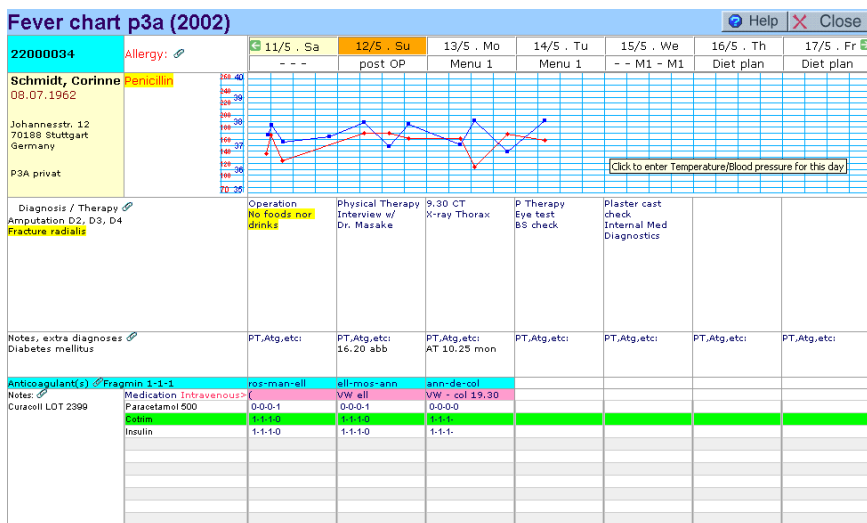
Z klinicznego punktu widzenia system informacyjny musi umożliwiać ciągłość zarządzania pacjentem co najmniej w obrębie pojedynczej terapii, nawet w przypadku, gdy wymaga ona kilku okresów hospitalizacji. Wymaganie to jest spełnione przez rekord przekrojowy zapewniający obsługę zdarzeń niezależnie od okresów pobytu pacjenta w szpitalu. Rekord taki powinien obsługiwać także zdarzenia zewnętrzne (np. zaistniałe w innych jednostkach służby zdrowia, do których pacjent zwrócił się o pomoc w związku z pogorszeniem stanu zdrowia). Informacje o zdarzeniach zewnętrznych są uzupełniane na podstawie osobistego rekordu medycznego w momencie przyjęcia pacjenta. Oprócz danych medycznych system HIS obsługuje też główną kartę pacjenta (ang.: *Master Patient Index*, MPI) zawierającą unikatowy identyfikator pacjenta i dane administracyjne niezbędne do identyfikacji pacjenta. Karta ta jest następnie wzorcem wyszukiwania w systemie prowadzonego w celu dołączenia tworzonych rekordów do dokumentacji jaką pacjent być może posiada już w systemie szpitala w rezultacie poprzednich hospitalizacji.



Rysunek 3.8. Elektroniczny rekord pacjenta jest podstawą wszystkich działań medycznych (Źródło: http://pcwin.com/media/images/screen/Medical_Database_Seven_62272.jpg - sierpień 2010)

Dobrze zbudowany elektroniczny rekord pacjenta zawiera też informacje o bieżącym przebiegu leczenia, również takie, które w tradycyjnych (między innymi używanych w Polsce) procedurach medycznych odwołują się do dokumentów papierowych. Przykładem może być karta przebiegu zmian temperatury ciała pacjenta, która w wydaniu tradycyjnym wisi zwykle w specjalnej ramce w nogach łóżka pacjenta, a której elektroniczny odpowiednik wygląda tak, jak to pokazano na rysunku 3.9. Karta ta w wersji elektronicznej zawiera też zalecenia dotyczące leków, diety, badań lekarskich, ustaleń diagnostycznych itp.

Warto w tym miejscu zwrócić uwagę na jeden czynnik, odróżniający systemy informatyki medycznej od wielu innych systemów informatycznych. Chodzi o czas dostępu do danych. W stanach nagłych, często spotykanych np. na oddziałach intensywnej opieki medycznej, oddziałach zabiegowych, oddziałach intensywnego nadzoru kardiologicznego itp. - czas w jakim uzyskuje się dane bywa kluczowym czynnikiem. Dlatego w systemach szpitalnych stosuje się rozwiązania zmierzające do skrócenia drogi i czasu pomiędzy pozyskaniem informacji (na przykład pobraniem próbki substancji biologicznej do badania), a momentem, kiedy reprezentujące tę informację dane zostaną umieszczone w systemie i udostępnione do interpretacji.



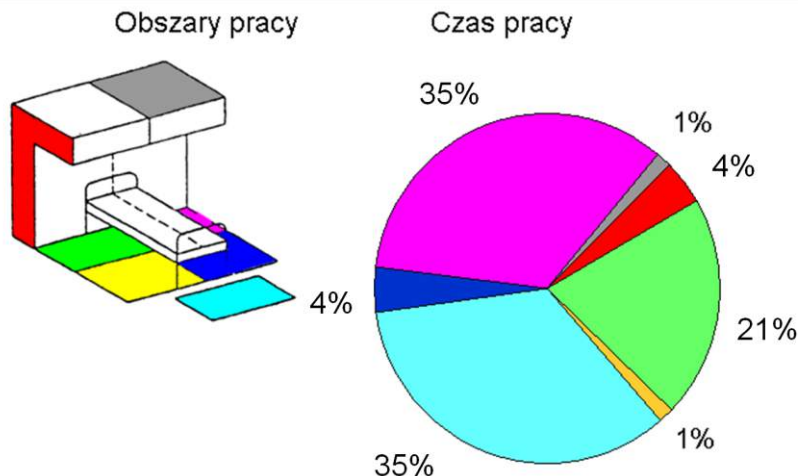
Rysunek 3.9. Elementem elektronicznego rekordu pacjenta jest karta przebiegu zmian temperatury (Źródło: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/b/b8/Sshot_fever.png - sierpień 2010)

Mobilny dostęp do danych zawartych w rekordzie pacjenta (patrz rysunek 2.6) umożliwia lepszą organizację pracy lekarza przy łóżku chorego. Obserwowano, jak porusza się lekarz podczas wizyty przy łóżku chorego i odnotowano stosunkowo długi czas jego przebywania w nogach łóżka (rys. 3.10). Jest to czas studiowania dokumentacji (papierowej). Możliwość korzystania z przenośnego urządzenia pozwalającego na dostęp do elektronicznego rekordu pacjenta znacząco polepsza ergonomię pracy lekarza.

3.5. Dodatkowe składniki systemu obsługi administracji szpitalnej

W skład systemu obsługującego szpitalną administrację wchodzi oczywiście dane dotyczące nie tylko samych pacjentów. Zazwyczaj zawiera on także system rejestracji zleceń lekarski (ang. *physician order entry system* – rys. 3.11).

Mając do dyspozycji takie narzędzie informatyczne lekarz może mieć pod kontrolą wszystkie dyspozycje, które wydał w sprawie wszystkich podlegających mu pacjentów, zaś pielęgniarki i inny pomocniczy personel medyczny może bezpośrednio przy łóżku pacjenta (rys. 3.12) kontrolować zalecenia dotyczące podawanych leków, stosowanych zabiegów, ograniczeń diety czy też na przykład ograniczeń ruchliwości pacjenta, któremu nakazano leżenie w łóżku, a który nie stosuje się do tego zalecenia narażając się na poważne konsekwencje.



Rysunek 3.10. Podział czasu pracy lekarza przy łóżku pacjenta z uwzględnieniem poszczególnych obszarów pracy (kolory na schemacie otoczenia łóżka pacjenta i na diagramie kołowym są te same).

Mając dostęp do takiego podsystemu rejestrującego dyspozycje lekarskie odnośnie każdego konkretnego pacjenta - pielęgniarki lub sanitariusze mogą także aktualizować dane o tych pacjentach w zakresie podstawowych obserwacji wykonywanych wprost przy łóżku chorego. Chodzi o wielokrotny w ciągu dnia pomiar temperatury, tętna, ciśnienia krwi itp. Przy użyciu tego narzędzia można także rejestrować i raportować określone objawy zgłaszane przez samych pacjentów (ból, bezsenność, duszność itp.).

Modułem wydzielanym w ramach HIS bywa podsystem obsługi bloku operacyjnego. Jego podstawowe zadania obejmują m.in. zarządzanie czasem sal operacyjnych i zarządzanie personelem operacyjnym. Dodatkowo do ich typowych zadań należą: zarządzanie sterylizatornią, kontrola wykorzystania narzędzi i urządzeń niezbędnych do operacji, prowadzenie gospodarki materiałami jednorazowymi i eksploatacyjnymi. System taki musi zapewniać ścisłą współpracę z podsystemem chirurgicznym (sterującym pracą urządzeń technicznych wykorzystywanych w salach operacyjnych m.in. do monitorowania stanu pacjenta i do sterowania specjalistyczną aparaturą wykorzystywaną przez anesteziologów) oraz systemem kontrolującym OIOM (Oddział Intensywnej Opieki Medycznej do którego trafiają często pacjenci wprost z sali operacyjnej). Na pozór problematyka związana z salami operacyjnymi powinna być omawiana przy okazji rozdziału opisującego komputerową analizę sygnałów biomedycznych (szczególnie starannie monitorowanych właśnie przy operacjach), ale okazuje się, że blok operacyjny musi być także dokładnie odwzorowany w systemie administracji szpitalnej. Jego właściwa implementacja i kompletność danych jest warunkiem

koniecznym prawidłowego zarządzania finansowego szpitalem w związku ze znaczną kosztocłonnością bloku operacyjnego.

The screenshot shows the 'Order Entry' interface for patient CARSON, JOHN. The patient's details include Facility: ADL Goodsam Demo, Unit: 01, Resident: CARSON, JOHN, Male, Age: 95, Wgt: 149 lbs, and PCP. The interface is divided into several sections:

- Orders Summary:** A table listing various orders with columns for Date, Description, Status, and End Date. Orders include medications like ASPIRIN, COLMADIN, LASKI, ENEMA, BISACODYL, EQUL MLK, ZYPREXA, and procedures like APPLY ONTMBE, CHANGE DRESS, O2@2L/MNC, and CHANGE DRESS.
- Diagnosis:** A table showing diagnoses such as PARKINSON'S DISEASE and ALZHEIMER'S DISEASE.
- Allergies:** A section for recording patient allergies.
- Vital Signs:** A table showing temperature (99), pulse (78), respiratory rate (14), and blood pressure (121/76).
- Navigation:** Buttons for Virtual Body, Care Plan, Progress Notes, ADLs, Visits, Notifications, and Summary.

Rysunek 3.11. Ekran systemu rejestrującego wszystkie zalecenia lekarskie i wspomagającego ich stosowanie (Źródło: <http://www.adldata.com/NewTech/images/ScreensAndGraphics/Order-Entry.jpg> - sierpień 2010)

Źródłem wielu ważnych danych zasilających medyczny rekord danych pacjenta są różnego rodzaju laboratoria. W dobrze zbudowanym systemie medycznym przewidziane są zawsze moduły LIS (*Laboratory Information System*).

Ważnym składnikiem komputerowego wspomaganie administracji szpitalnej jest też system zarządzania personelem i zasobami szpitala (ang. *clinical management system*). System taki może zawierać i udostępniać szereg użytecznych informacji. Mając dostęp do takiego systemu personel medyczny może – przykładowo - natychmiast sprawdzić, w jakich godzinach dostępne są określone gabinety specjalistyczne (rys. 3.13), co wydaje się sprawą drobną, ale oszczędza wiele czasu i gwarantuje, że uzyskiwane informacje są zawsze maksymalnie aktualne. W systemie takim zagwarantowany musi być także dostęp do zewnętrznych systemów wiedzy (np. bazy interakcji leków lub bazy uczuleń), a także do wewnętrznych zasobów informacyjnych związanych na przykład z zarządzaniem wykorzystaniem zasobów laboratoryjnych, diagnostycznych, zarządzaniem apteką, zaopatrzeniem w leki oraz zaopatrzeniem w urządzenia i materiały medyczne.



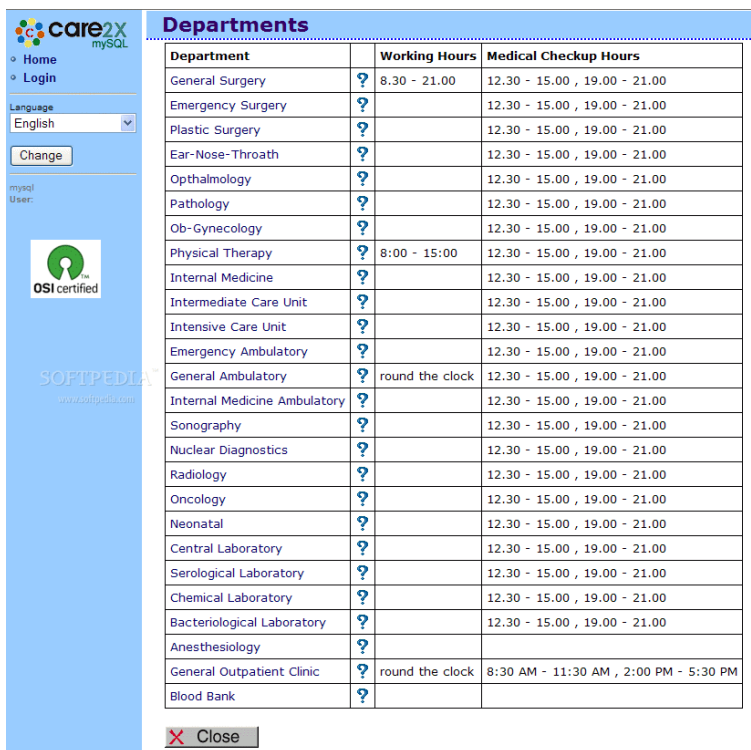
Rysunek 3.12. Korzystając z dostępu do komputerowej bazy danych bezpośrednio przy łóżku pacjenta pielęgniarka może natychmiast sprawdzić zalecenia, jakie lekarz przewidział dla danego pacjenta, a także uzupełniać aktualne dane (Źródło: <http://www.spoonerhealthsystem.com/> - sierpień 2010)

Dobrze zbudowany system HIS może być wykorzystywany do wspomagania dowolnych prac administracyjnych - zarządzania mieniem i personelem, naliczania kosztów, obciążania ubezpieczycieli, do zarządzania środkami transportu itp. Generalnie system HIS musi spełniać wszelkie wymagania jednostki służby zdrowia jako instytucji w zakresie dostępności, poufności i bezpieczeństwa informacji, a także umożliwiać ich automatyczne przetwarzanie w celach zarządzania personelem i zasobami. System wykorzystywany jest do statystyki, rozliczeń finansowych, badań naukowych w zakresie medycyny oraz obsługi rekordów medycznych pacjentów. Charakterystyczną cechą HIS w przeciwieństwie do systemów informacyjnych zorientowanych zadaniowo, np. radiologicznych, jest globalna integracja danych w skali całej jednostki. Zapytanie o koszty usług związane z konkretnym pacjentem skierowane do szpitalnego systemu informatycznego pozwoli na podsumowanie kosztów niezależnie od oddziału na którym udzielono tych usług.

Powoduje to ewolucję szpitalnego systemu informacyjnego w stronę narzędzia wielokryterialnej optymalizacji uwzględniającej:

- maksymalną jakość usługi medycznej przy wykorzystaniu dostępnego personelu i sprzętu,
- maksymalne wykorzystanie możliwości personelu i sprzętu
- poniesienie minimalnych możliwych nakładów przy zachowaniu jakości usług i przestrzeganiu procedur klinicznych

i wiele innych.



Department	Working Hours	Medical Checkup Hours
General Surgery	8:30 - 21:00	12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Emergency Surgery		12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Plastic Surgery		12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Ear-Nose-Throat		12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Ophthalmology		12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Pathology		12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Ob-Gynecology		12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Physical Therapy	8:00 - 15:00	12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Internal Medicine		12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Intermediate Care Unit		12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Intensive Care Unit		12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Emergency Ambulatory		12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
General Ambulatory	round the clock	12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Internal Medicine Ambulatory		12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Sonography		12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Nuclear Diagnostics		12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Radiology		12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Oncology		12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Neonatal		12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Central Laboratory		12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Serological Laboratory		12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Chemical Laboratory		12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Bacteriological Laboratory		12.30 - 15.00, 19.00 - 21.00
Anesthesiology		
General Outpatient Clinic	round the clock	8:30 AM - 11:30 AM, 2:00 PM - 5:30 PM
Blood Bank		

Rysunek 3.13. Pomocnicze informacje dostępne w systemie szpitalnym
(Źródło: <http://webscripts.softpedia.com/scriptScreenshots/Care2x-Screenshots-24517.html> - sierpień 2010)

Mimo wielu, wydawałoby się oczywistych zalet szpitalnych systemów informacyjnych ich wdrażanie napotyka na trudności. Większość z nich ma swe źródła w:

- braku kompatybilności pomiędzy urządzeniami dedykowanymi do wspomaganie diagnostyki w zakresie formatu i zakresu generowanych informacji,
- niespójnym nazewnictwie i systemach kodowania patologii,
- brakiem uznania w oczach personelu medycznego, dla którego w początkowym okresie wdrażania obsługa HIS jest dodatkowym obowiązkiem oprócz prowadzenia dokumentacji papierowej.

3.6. Protokoły i standardy stosowane w medycznych systemach informatycznych

Wymiana informacji elektronicznej pomiędzy różnymi jednostkami służby zdrowia wymaga sformułowania standardowych protokołów, które byłyby otwarte na tyle, żeby możliwa była ich powszechna akceptacja, ale specjalizowane na tyle, aby celowe i łatwe było ich użycie w każdym

przypadku. Najbardziej znany jest tu Standard HL7, który niżej omówimy.

Grupa użytkowników medycznych systemów informatycznych rozpoczęła w 1987 roku projektowanie protokołu nazwanego HL7, którego celem była wzajemna wymiana informacji cyfrowej przez elektroniczne systemy medyczne. Z biegiem czasu, protokół HL7 stał się standardem akredytowanym w USA, o zasięgu międzynarodowym, a obecnie - globalnym, natomiast projekt doprowadził do powołania organizacji *Health Level Seven*. Jej głównym celem jest zapewnienie standardu wymiany informacji w obrębie instytucji służby zdrowia. W tym celu opracowywane są specyfikacje interfejsów i testy kompatybilności rozmaitych urządzeń pochodzących od różnych producentów. Nazwa nawiązuje do najwyższej, siódmej warstwy modelu komunikacyjnego OSI (warstwy aplikacji), która obsługuje wymagania i kontrolę zależności czasowych i błędy komunikacji. Wśród jej podstawowych funkcji można znaleźć: testy bezpieczeństwa, identyfikację i określenie dostępności uczestników, negocjacje mechanizmów wymiany i formatowanie struktury danych. Przedstawiciele HL7 są zorganizowani w komitety techniczne (ang.: *technical committees* TC), odpowiedzialne za zawartość proponowanych specyfikacji i specjalne grupy interesów (ang.: *special interest groups* SIG), których celem jest kontakt z poszczególnymi producentami aparatury, innymi organizacjami standaryzacyjnymi itp.

Informacja kompatybilna z HL7 v.2.x ma postać linii tekstu (kodów ASCII) o zmiennej długości i pozycyjnym formacie. Każda linia stanowi ustaloną sekwencję pól informacyjnych oddzielonych separatorami (“|”). Wersja 2,5 HL7 zawiera ok. 1700 zdefiniowanych pól (rodzajów) danych. Dane w obrębie raportu mogą posiadać części składowe (oddzielone znakami “^”) oraz mogą się powtarzać np. w przypadku, gdy dotyczą kilku osób.

Wersja 2.x jest powszechnie używana w systemach informacyjnych instytucji i akademickich ośrodków medycznych. Użycie HL7 jest standaryzowane w USA w zastosowaniach do administracji pacjenta, opisu patologii i terapii farmakologicznej, rejestru chorób, skierowań i wypisów. W obrębie standardu istnieje specyfikacja formatu dokumentu klinicznego (ang.: *Clinical Document Architecture* CDA), z użyciem języka znaczników XML (ang.: *eXtensible Markup Language*). Umożliwia on dodawanie nie przeznaczonych do druku znaków lub poleceń do tekstu z użyciem nawiasów trójkątnych. Dokument zapisany zgodnie ze standardem CDA zawiera co najmniej dwie sekcje:

- nagłówek (ang.: *header*) zawierający opisowe informacje (metadane) dotyczące autora, typu i przeznaczenia dokumentu
- ciało (ang.: *body*) zawierające treść informacyjną, która może być strukturalna i zawierać nagłówki, sekcje itp. Sekcja ta może zawierać tekst zaszyfrowany, obraz (na przykład reprezentowany w standardzie

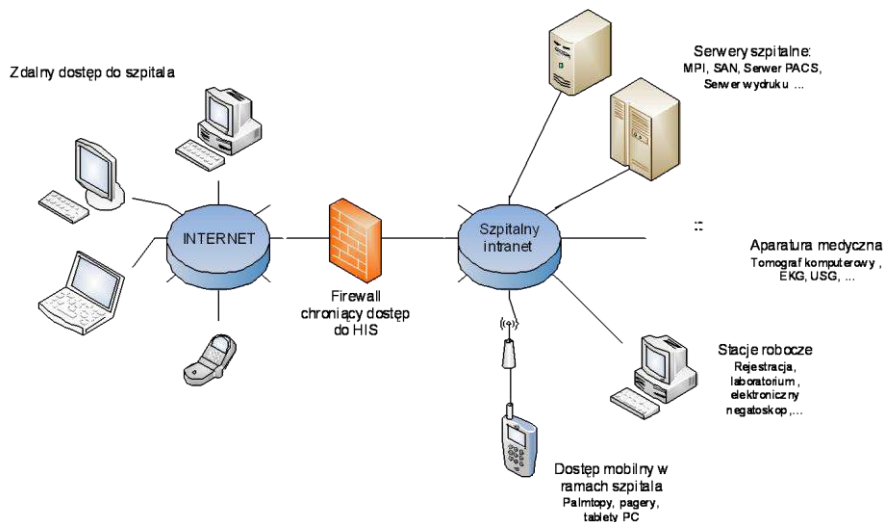
DICOM) albo zapis sygnału (na przykład zgodny ze specyfikacją OpenECG)

Dzięki konsekwentnemu użyciu formatu XML dokument medyczny zgodny z CDA jest równocześnie czytelny dla człowieka i możliwy do przetworzenia na komputerze. Specyfikacja CDA określa także strukturę i semantyczne zasady konstruowania dokumentów w służbie zdrowia. Dokument typowo zawiera porcję tekstu lub informację potwierdzaną podpisem, np. ocenę postępów, podejrzenie patologii, raport radiologiczny i inne informacje. Dokument może oprócz tekstu zawierać także obrazy, dane multimedialne i informacje szyfrowane. Dzięki jednolitej postaci elektronicznej dokument może być archiwizowany w systemie komputerowym lub na zewnętrznym nośniku informacji, a także przesyłany z wykorzystaniem elektronicznych aplikacji komunikacyjnych np. email. Rola HL7 jako globalnego standardu zapisu plików medycznych nie ogranicza się do ujednoczenia tysięcy typów plików używanych w służbie zdrowia i umożliwienia ich wymiany pomiędzy lekarzem i elektronicznymi systemami informacyjnymi. Oprócz tych zadań korzyści wynikające ze stosowania zaleceń zawartych w CDA polegają na separacji danych i systemów ich przechowywania, co sprzyja możliwości archiwizacji informacji medycznych przez długi czas. Specyfikacja CDA oferuje możliwość adaptacji standardu do potrzeb lokalnych lub wynikłych z specyfiki zastosowania.

Innym standardem powszechnie stosowanym w systemach informatyki medycznej jest standard DICOM, który jednak ze względu na fakt, że jest używany głównie do kodowania danych obrazowych – omówiony będzie w rozdziale 7 (Systemy informatyczne związane z obrazami medycznymi). Z kolei standardy i formaty komunikacji dedykowane dla kardiologii, takie jak standard SCP-ECG omówione będą w rozdziale 6. (Komputerowe przetwarzanie sygnałów medycznych).

3.7. Sieć komputerowa jako narzędzie integrujące system szpitalny

Na temat sieci komputerowych w szpitalach obszerniej będzie mowa w rozdziale 8 tego skryptu, niemniej już w tym rozdziale trzeba odnotować fakt, że wszystkie nowoczesne systemy szpitalne, w tym także takie, których głównym celem jest wspomaganie szpitalnej administracji, są oparte na wykorzystaniu sieci komputerowych. Przykładowa struktura takiej sieci przedstawiona jest na rysunku 3.14.



Rysunek 3.14. Przykładowa struktura sieci komputerowej wykorzystywanej w szpitalu

Z użyciem sieci komputerowej w szpitalu wiąże się problem bezpieczeństwa danych medycznych, omawiany dokładnie w rozdziale 10.

3.8. Kodowanie danych w systemie szpitalnym

Wprowadzanie danych medycznych w języku naturalnym jest, z jednej strony, wygodne dla pracowników szpitala, z drugiej jednak – stanowi niezwykle trudne wyzwanie informatyczne. Bardziej niezawodny jest system, w którym dane medyczne są przy wprowadzaniu od razu odpowiednio kategoryzowane i kodowane. Terminy medyczne identyfikowane są wtedy za pomocą specjalnych numerów kodowych. Zagadnienie to będzie obszerniej omawiane w rozdziale 4 poświęconym medycznym bazom danych, jednak kilka wprowadzających uwag warto przedstawić już tutaj.

W użyciu jest głównie nomenklatura SNOMED (ang. *Systematized Nomenclature of Medicine*). Aktualna wersja to SNOMED CT która obejmuje 344.000 pojęć klinicznych, pokrywając praktycznie całą dziedzinę medycyny. Inne słowniki istotne z praktycznego punktu widzenia to rodzina klasyfikacji **WHO** (*World Health Organization*). Najbardziej znanym jej przedstawicielem jest – stosowana również w Polsce – Międzynarodowa Statystyczna Klasyfikacja Chorób i Problemów Zdrowotnych **ICD** (obecnie w wersji ICD-10). Z innych słowników (niezwiązanych bezpośrednio z WHO) należy wymienić:

- **LOINC** (standard wyników laboratoryjnych),
- **RXnorm** (słownik leków),
- stosowane w rozliczeniach z płatnikami wykazy jednorodnych grup pacjentów **DRG** (ang. *Diagnosis Related Groups*)

czy też katalogi świadczeń szpitalnych.

Podczas wprowadzania danych do systemów medycznych powinna być prowadzona weryfikacja ich poprawności. Najprostszym rodzajem weryfikacji poprawności jest sprawdzenie typu danych. Na przykład pole, które oczekuje wartości liczbowej powinno zasygnalizować błąd po wprowadzeniu tekstu. Wiele parametrów klinicznych mieści się w ściśle określonych granicach. Jako przykład może tutaj służyć temperatura ciała ludzkiego, która mieści się zwykle w przedziale 35–46°C. Jego przekroczenie powinno być sygnalizowane. System może reagować ostrzeżeniem (*miękki limit*, dopuszczalne jest jego przekroczenie w wyjątkowych sytuacjach np. w przypadku zjawiska hipotermii, gdy temperatura ciała spada poniżej 35°C) lub też alarmem (*twardy limit*, np. temperatura ciała powyżej 46°C). Część danych może być wprowadzona tylko wtedy, gdy spełniają one pewien wzorzec (np. numer PESEL). Można również monitorować gwałtowne skoki wartości parametrów, które mogą świadczyć o błędzie przy wprowadzaniu danych. Poprawność danych należy także sprawdzać, wykorzystując specjalne zbiory reguł medycznych. Na przykład wykrycie sytuacji, w której udokumentowano rozpoznanie raka prostaty u kobiety, powinno spowodować zgłoszenie błędu.

3.9. Uwagi końcowe

Trzeba zdawać sobie sprawę, że wprowadzenie systemu informatycznego do administracji dowolnej jednostki służby zdrowia, niezależnie od jej skali, wymusza przystosowanie procedur działania tej administracji do implementowanych reguł. Jest to właściwsze niż podejmowane niekiedy próby desperackiego dostosowania wdrażanego systemu do procedur stosowanych dotychczas. Truizmem jest stwierdzenie, że ludzie na ogół nie lubią zmian, zaś sfera administracji jest szczególnie „oporna” jeśli idzie o wszelkie zmiany. Nic więc dziwnego, że większość wdrożeń systemów informatyki medycznej w administracji szpitalnej napotykała na opór i sprzeciw osób wcześniej zatrudnionych w tej administracji i bardzo przywiązanych do ustalonych (zwykle mało efektywnych) sposobów działania.

Informatyzacja pociąga za sobą zmiany najbardziej fundamentalnych procedur, które stały się przez dziesięciolecia nawykami lub też oznacza po prostu uporządkowanie procesów przez wprowadzenie procedur tam, gdzie ich nie było. Tutaj należy upatrywać jednej z kluczowych przyczyn oporu czynnika ludzkiego przed wdrożeniem. Standaryzacja i ujednolicenie, procesy wynikające

z implementacji systemu informatycznego, pozwalają na wprowadzenie klarownych systemów rozliczania i zarządzania zasobami (elementy ERP). Towarzyszący temu wzrost transparentności funkcjonowania instytucji jest niewątpliwą korzyścią, ale z drugiej strony pozbawia wiele osób ich dotychczas nie kwestionowanych nieformalnych przywilejów, a to może się stać kolejnym powodem trudności wdrożeniowych.



Rysunek 3.15. Żartobliwa ilustracja tezy, że informatyzacja administracji wywołuje opór, a przezwyciężanie tego oporu jest ryzykowne

Ponieważ jednak nikt nigdy się wprost nie przyzna, że jest przeciwnikiem komputeryzacji ponieważ chciałby nadal obsadzać łóżka w szpitalnym oddziale według własnych kryteriów – wspomniany opór przybiera zwykle formę ataku od tyłu. Zwykle ma to formę wyolbrzymiania wszelkich niepowodzeń, jakie nieuchronnie pojawiają się przy wstępnej eksploatacji nie do końca przetestowanego systemu albo dyskusji na temat tego, czego system nie robi (bo nikt wcześniej nie zgłaszał, że powinien to robić). W wyniku takich działań, niekiedy bardzo agresywnych, spór o to, czy informatyzować administrację szpitalną przenosi się na zupełnie inny grunt. Aż się prosi żeby w tym miejscu pokazać w formie rysunku 3.15 zabawnie animowany (czego niestety nie widać) slajd, jakiego autor skryptu używa podczas objaśniania studentom krakowskiego Uniwersytetu Ekonomicznego źródeł i natury trudności, jakie napotkają podczas wdrażania systemów informatycznych zarządzania.

Wydaje się, że wdrażanie systemu informatycznego metodą siłowego przezwyciężania oporu użytkowników (zwykle mniejszej ich części, ale bardzo głośnej i roszczeniowo nastawionej) – jest mało skuteczne. Dlatego w wielu wypadkach trzeba ustąpić w sprawach drugorzędnych, żeby całe przedsięwzięcie mogło się zakończyć sukcesem. W efekcie w trakcie wdrażania zmianom podlega zarówno informatyzowany podmiot, jak i wdrażany system. Jednak do finalnego wdrożenia warto uporczywie dążyć, bo jedną z najważniejszych korzyści ze skutecznego i poprawnego wdrożenia systemu administracji

szpitalnej jest wzrost sprawności obsługi pacjentów przy znacząco zmniejszonej pracochłonności.

A na zakończenie tego rozdziału przytaczam **za zezwoleniem Autora** żart rysunkowy Andrzeja Mleczki pokazujący, jak ważne są dane gromadzone w szarej części szpitalnego systemu informacyjnego – między innymi dotyczące rozmieszczenia pacjentów w poszczególnych salach szpitala.



ROZDZIAŁ 4

SPECJALISTYCZNE MEDYCZNE BAZY DANYCH

4.1. Ogólna charakterystyka medycznej bazy danych	62
4.2. Cechy szczególne medycznej bazy danych.....	67
4.3. Sposób wykorzystywania szpitalnej bazy danych.....	72
4.4. Czynności wykonywane w szpitalnej bazie danych.....	76
4.5. Problem objętości medycznych baz danych i kodowanie danych medycznych.....	80
4.6. Medyczne bazy danych bibliograficznych	83
4.7. Podsumowanie	86

4.1. Ogólna charakterystyka medycznej bazy danych

Podstawowa definicja bazy danych przedstawia ją jako uporządkowany zbiór danych, opisujących wybrany fragment rzeczywistości, które są na trwałe przechowywane w pamięci komputera i do których może mieć dostęp wielu użytkowników w dowolnym momencie czasu. Jest oczywiste, że narzędzie tego rodzaju musi znaleźć się wśród narzędzi informatyki medycznej – i to w centralnym miejscu. I rzeczywiście - medyczne bazy danych są najczęściej „jądrem” szpitalnego systemu informatycznego lub stanowią punkt odniesienia dla sieci powiązanych ze sobą jednostek służby zdrowia (na przykład przychodni czy laboratoriów analitycznych). Bazy takie zastępują systematycznie tradycyjne archiwa danych o pacjentach, które w ich klasycznej (ciągle jeszcze spotykanej) postaci są bardzo niewygodne – zwłaszcza gdy trzeba wykonywać jakieś badania statystyczne lub wyszukiwać jakieś dane retrospektywne (rys. 4.1).



Rysunek 4.1. Poprzednikiem obecnych medycznych baz danych były kartoteki pacjentów prowadzone przez szpitale w tradycyjnej formie (Źródło: <http://www.ght.org.uk/userfiles/image/webgeneral/medical-records-shelf.jpg> - sierpień 2010)

Tworzenie i eksploatacja medycznych baz danych są ułatwione przez fakt, że

medyczne bazy danych są w istocie podobnymi narzędziami informatycznymi, jak bazy danych wykorzystywane w gospodarce, w przemyśle czy w badaniach naukowych. Dla komputerów gromadzących i przetwarzających informacje jest w istocie obojętne, czy gromadzą dane o pacjentach, czy o towarach w magazynie sklepu, a rejestracja informacji o zabiegach, jakim poddawany jest pacjent, nie różni się na poziomie informatycznym od rejestracji transakcji bankowych.

Przykładowa struktura, która może być rozważana jako skrajnie uproszczony model bazy danych pokazana jest na rysunku 4.2. Na rysunku tym pokazano oczywiście umowną bazę-miniaturkę, w której można jednak wskazać elementy charakterystyczne dla tych dużych, prawdziwych medycznych baz danych.

Nazwisko i imię	PESEL	Objawy	Diagnoza	Leczenie	WYNIK	Koszt
Kowalski Jan	53021209120	Kaszel, gorączka	Grypa	Antybiotyk osłonowo	Wyleczony	1200,00 zł
Majewska Marta	79032427236	Ból podbrzusza	Ciąża pozamaciczna	Operacja usunięcia przydatków	Nadal hospitalizowana	10.860,00 zł
Wicherek Kacper	42051923982	Objawy ostrego brzucha	Zaawansowany rak wątroby	Operacyjne usunięcie	Zmarł	62.345,20 zł
...
...	Pole
...
...

Rysunek 4.2. Przykładowa miniaturowa baza danych medycznych z zaznaczonymi elementami omówionymi w tekście

Zasadniczo zagadnienia te powinny być znane każdemu Czytelnikowi tej książki z podstawowych studiów informatycznych, jednak kilka uwag i komentarzy może tu być przydatnych. Jak pokazano na rysunku 4.2. baza danych w swojej podstawowej koncepcji może być traktowana jako tablica (w rzeczywistych zastosowaniach – bardzo wielka tablica), której zawartość składa się z informacji dotyczących pewnych z góry ustalonych szczegółów danych. Zbiór tych szczegółów, zwanych **atrybutami**, tworzy układ kolumn tablicy. Jak widać atrybutem może być nazwisko pacjenta, diagnoza, opis leczenia albo jego koszt.

W bazie danych gromadzi się informacje dotyczące wszystkich rozważanych atrybutów dla wielu obiektów. W medycznej bazie danych obiektami są na ogół pacjenci, chociaż można także rozważać odstępstwa od tej reguły – na przykład w bazie danych szpitalnej apteki obiektami mogą być różne leki, a atrybutami liczba opakowań tych leków w poszczególnych dawkach i w poszczególnych postaciach (np. osobno tabletki o różnej gramaturze, osobno czopki, osobno zastrzyki, osobno zasobniki do kroplówek itp.). Struktura wszystkich obiektów w bazie danych jest taka sama, to znaczy każdy obiekt ma przewidziane miejsca (tak zwane **pol**a) dla wszystkich atrybutów, które przewidziano w strukturze bazy danych. Nie oznacza to jednak bynajmniej, że każdy obiekt musi mieć wypełnione wszystkie pola to znaczy określone i ustalone wszystkie atrybuty. Każda baza danych zawiera luki, to znaczy pola nie wypełnione – jest to normalne.

Są jednak pewne wymagania minimalne, które muszą być spełnione, żeby opis jakiegoś obiektu mógł się znaleźć w bazie danych. Zazwyczaj takim wymaganiem minimalnym jest zapełnienie konkretną wartością tego pola, które powinno zawierać wyróżniony atrybut nazywany kluczem wyszukiwania. Klucz wyszukiwania musi gwarantować możliwość odróżnienia w bazie danych aktualnie rozważanego obiektu od wszystkich innych. Zawartość pola klucza musi być więc unikatowa – nie może być w bazie danych dwóch obiektów mających taki sam klucz.

W rozważanej przykładowej bazie danych takim kluczem jest numer PESEL pacjenta. Nie ma dwóch ludzi, którzy by mieli identyczny PESEL, więc nawet w przypadku identycznych nazwisk i imion – pacjenci będą dobrze odróżnialni i nie będzie ryzyka, że zabieg zlecony do wykonania u jednego pacjenta – zostanie wykonany u innego.

Zbiór danych dotyczący jednego obiektu koniecznie zawierający kompletny klucz wyszukiwania tworzy pojedynczy zapis w bazie danych, nazywany **rekordem**. Wszystkie pola rekordu poza kluczem mogą być zmieniane i aktualizowane (choć zmiana niektórych z nich raczej nie powinna mieć miejsca – na przykład pole nazwiska pacjenta bywa zmieniane raczej wyjątkowo, gdy pacjent urzędowo zmieni nazwisko lub przyjmie nazwisko współmałżonka po zawartym ślubie). Zwykle bywa tak, że baza danych przechowuje ślad zmian, jakie zachodziły w rekordzie wraz z informacją, kto dokonywał tych zmian i kiedy to było. Niektóre pola rekordu mogą być powielane, na przykład gdy ten sam pacjent zjawia się ponownie w szpitalu z inną chorobą.

Poza wyróżnionym atrybutem pełniącym rolę **klucza wyszukiwania** w bazie danych może występować atrybut (jeden lub kilka) według których rekordy są porządkowane podczas ich wyszukiwania (klucz sortowania).

Baza danych pokazana na rysunku 4.2. niczym (poza treścią wypełniającą poszczególne pola, zresztą też raczej umowną) nie nawiązywała do specyfiki medycznych baz danych. Ten sam schemat z nieco inaczej wypełnionymi polami mógłby posłużyć do opisu bazy danych w supermarkecie lub bazy pełniącej rolę katalogu w bibliotece. Jednak nie jest to schemat całkowicie wierny rzeczywistości w informatyce medycznej, bowiem medyczne bazy danych wyróżniają się kilkoma cechami, których inne bazy danych nie posiadają – i na tych cechach szczególnych skupimy się w następnym podrozdziale.

Zanim to jednak nastąpi trzeba podkreślić jeden fakt:

Pisząc tu o medycznych bazach danych mamy głównie na myśli bazy, które odpowiadają koncepcji baz transakcyjnych wykorzystywanych w zastosowaniach gospodarczych lub przemysłowych. Będą to więc bazy szpitali, przychodni lub gabinetów, zawierające informacje o pacjentach, diagnozach, zaleceniach lekarskich, zabiegach, wynikach leczenia itp. Taka baza jest zawsze jądrem (centralnym punktem) każdego systemu informatyki medycznej (rys. 4.3) i odgrywa bardzo ważną rolę w jego funkcjonowaniu.

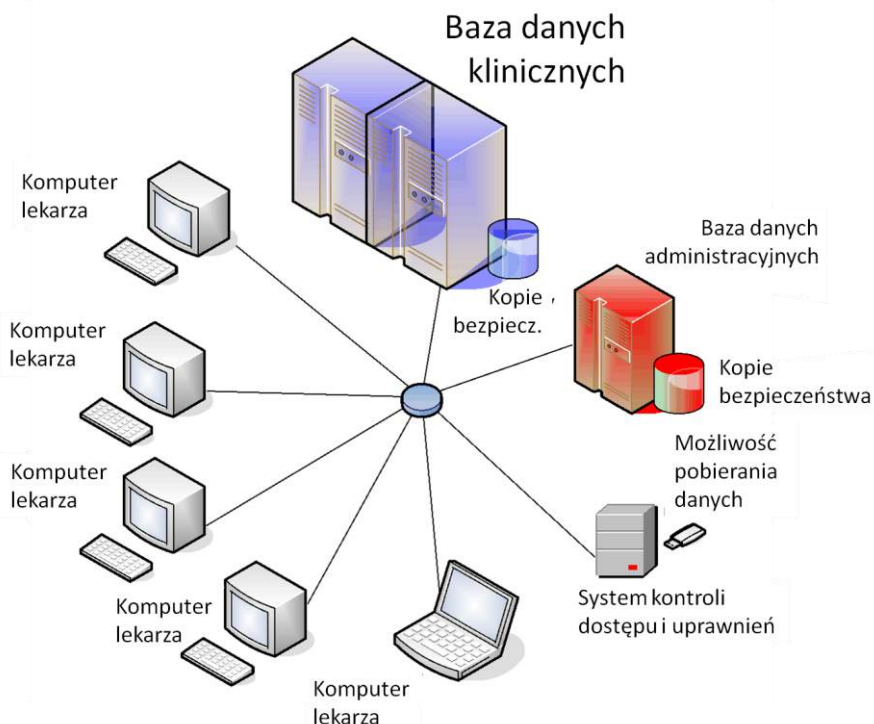


Rysunek 4.3. Medyczny system informatyczny zawiera zawsze komponenty o różnym przeznaczeniu (zaznaczone różnymi kolorami). Zintegrowana baza danych (w centralnej części rysunku) scala te różne komponenty. (Źródło: <http://www.ibm.com/pl/pl/> - sierpień 2010)

Nie będziemy natomiast interesowali się w tym rozdziale występującymi także w służbie zdrowia bazami danych o lekach, o środkach opatrunkowych, o

żywności i środkach czystości, o finansach szpitali i przychodni itp. Takie bazy danych, chociaż stosowane w otoczeniu medycyny – w istocie z medycyną jako taką mają niewiele wspólnego i ich budowa oraz eksploatacja powinna być traktowana w taki sam sposób, jak bazy danych ogólnego przeznaczenia.

Ze względu na ograniczoną ilość miejsca pominięte zostaną także moduły administracyjne, których funkcjonalność jest określana w dużej mierze przez płatników, a w dużych, rozbudowanych jednostkach ich użytkowy zakres zbliżony jest do systemów klasy ERP (rys. 4.4).



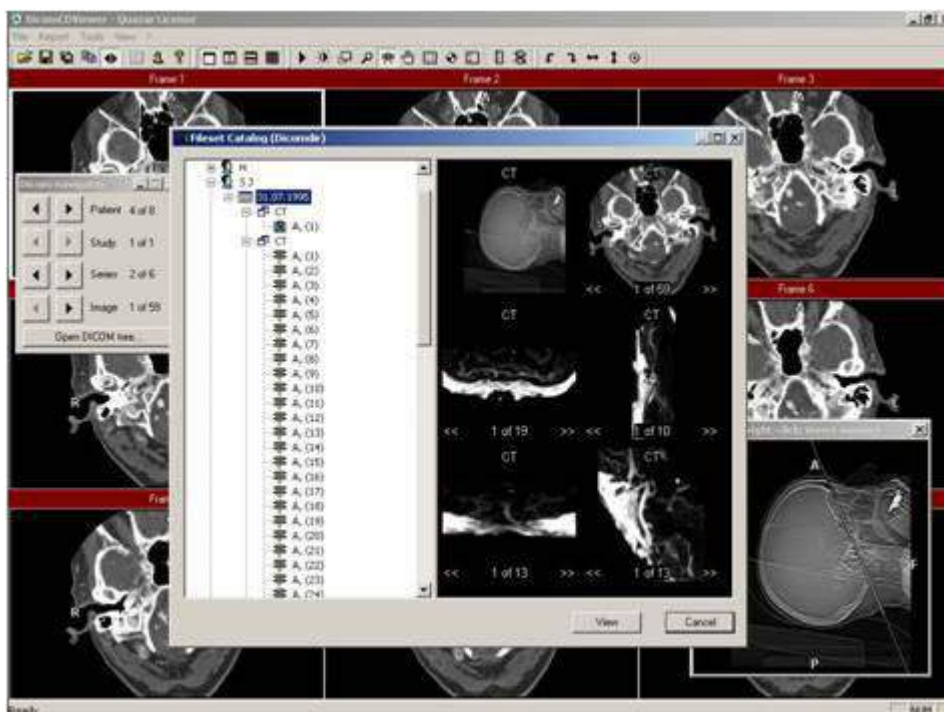
Rysunek 4.4. W systemach informatyki medycznej odróżnić trzeba bazę danych klinicznych i bazę danych administracyjnych, którą tutaj się nie zajmujemy.

Osobno zestawimy na końcu tego rozdziału krótką informację o niewątpliwie unikatowo medycznych (a więc wchodzących w zakres tej książki) bazach danych związanych z medyczną literaturą naukową i fachową. Jak wiadomo obowiązującym paradygmat RBM (*Evidence-Based Medicine*), co tłumaczy się na język polski jako *Medycyna oparta na faktach* albo *Medycyna oparta na dowodach* zmusza lekarzy do ustawicznego kontaktu z najnowszymi osiągnięciami nauki i praktyki. Dla ułatwienia tego kontaktu i dla usprawnienia procesu wyszukiwania danych bibliograficznych według specyficznie medycznych kryteriów (rodzajów chorób, metod terapii, anatomicznych

lokalizacji, zastosowanych leków itp.) stworzono specjalne bazy danych, które są omówione w końcowym podrozdziale tego rozdziału.

4.2. Cechy szczególne medycznej bazy danych

Jak już wspomniano wyżej, pod względem ogólnej struktury informatycznej medyczne bazy danych nie różnią się w sposób istotny od baz danych mających inne przeznaczenie. Do ich zarządzania i tworzenia wykorzystuje się tak zwane „silniki baz danych”. Są to programy pozwalające stworzyć i utrzymać bazę danych a także umożliwiające jej rozwój i wspomagające jej codzienną eksploatację. Programów mogących służyć jako silnik bazy danych jest dostępnych mnóstwo, także darmowych, jednak odpowiedzialni twórcy baz danych korzystają praktycznie bez wyjątku z programów wytworzonych przez znanych i uznanych producentów m.in. Oracle, SyBase, MS SQL, PostgreSQL. W obecnie dostępnych dużych systemach szpitalnych dominuje wykorzystanie silnika bazodanowego firmy Oracle, chociaż jest to program raczej drogi.



Rysunek 4.5. Typowy rekord pacjenta w medycznej bazie danych zawiera liczne rejestracje obrazów (Źródło: http://www.isgtw.org/images/2008/MDM_L.jpg - sierpień 2010)

Medyczne bazy danych, jak już wspomniano, są pod względem używanego sprzętu i oprogramowania praktycznie identyczne jako bazy danych używane na

przykład w bankach i innych przedsiębiorstwach, w bibliotekach i w laboratoriach naukowych, a także coraz częściej w administracji publicznej w ramach tzw. *e-government*. Są jednak cechy szczególne medycznej bazy danych na które teraz zwrócimy uwagę.

Cechą pierwszą takiej bazy jest jej silnie multimedialny charakter. Jak każda bez wyjątku baza danych taka składa się z rekordów (najczęściej dotyczących poszczególnych pacjentów), jednak zawartość pól tych rekordów jest nietypowa, bo obok tekstów i danych numerycznych (występujących w absolutnie każdej bazie danych) – rekordy pacjentów zawierają wyniki ich badań w postaci licznych sygnałów a także obrazów (rys. 4.5).



Rysunek 4.6. Przykład rekordu medycznego zdominowanego przez informacje obrazowe (Źródło: http://www.consensusmed.com/File/image_files/Viewer1.jpg - sierpień 2010)

Praktycznie wszystkie systemy, z pominięciem dedykowanych dla pojedynczych lekarzy, mają budowę modułową. Rozwiązanie takie wydaje się jedynym możliwym do zastosowania w służbie zdrowia. Elementem integrującym taką wielomodułową „mozaikę” jest wspólny graficzny interfejs użytkownika. Lekarza czy pielęgniarki nie interesuje na ogół to, jaka firma stworzyła ten lub inny moduł wchodzący w skład używanego przez nich medycznego systemu informacyjnego. Natomiast użytkownicy ci cenią zwykle łatwość i jednolity sposób obsługi wszystkich tych modułów – a tę łatwość

używania w największym stopniu zapewnia GUI – graficzny interfejs użytkownika. Z tego powodu można zaobserwować, że współczesny rekord medyczny składa często się niemal wyłącznie z obrazów. Ma to swoje dodatkowe zalety, gdyż właśnie obrazy niosą najwięcej przydatnych dla lekarza informacji (rys. 4.6).

Są to zwykle obrazy różnych rodzajów – szkice sytuacyjne pokazujące miejsce badania (A na rysunku 4.6), zarejestrowane zobrazowanie pochodzące z odpowiedniego aparatu (B), ewentualne miniaturki innych dostępnych obrazów możliwych do wybrania w celu analizy (C), ikony narzędzi, którymi można się posłużyć przy operowaniu obrazem (D) oraz elementy opisu tekstowego (E).



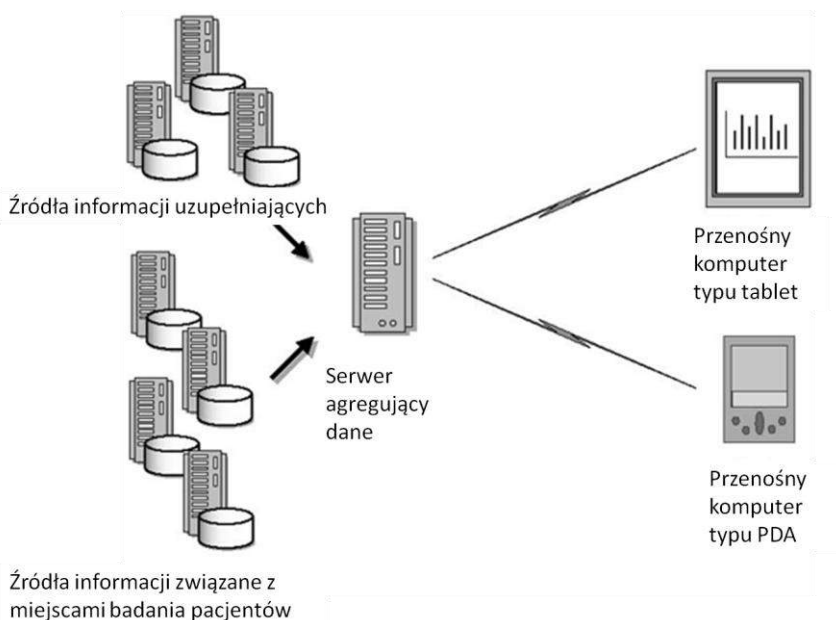
Rysunek 4.7. Przenośny komputer jako element dostępu do medycznej bazy danych (Źródło: <http://eyemdbilling.com/images/EMR.jpg> - sierpień 2010)

Drugim uwarunkowaniem przyczyniającym się do unikatowości baz danych jest fakt, że dane gromadzone z wielu źródeł (głównie ze specjalistycznej aparatury diagnostycznej) muszą być dostępne w postaci jednego wspólnego zasobu, a dostęp do nich powinien być zapewniony w dużej części za pomocą urządzeń mobilnych (specjalizowane przenośne tablety (rys 4.7) oraz urządzenia typu PDA – rys. 4.8).



Rysunek 4.9. Komputery lekarskie klasy PDA dają wygodny dostęp do szpitalnej bazy danych (Źródło: http://www.nursing.vcu.edu/pda/Welcome_files/pdaNurse%20copy.png – sierpień 2010)

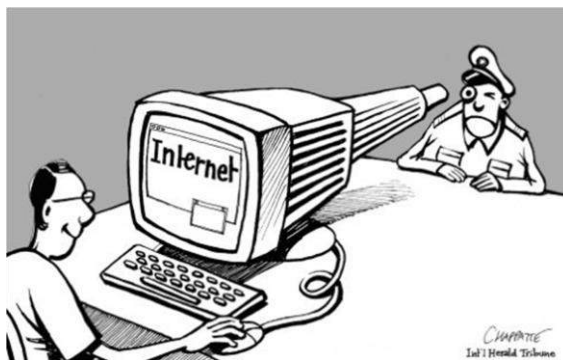
Narzuca to dosyć specyficzną architekturę systemów medycznych baz danych, której przykładowe rozwiązanie pokazano na rysunku 4.10.



Rysunek 4.10. Specyficzna architektura medycznej bazy danych (Źródło: <http://img.medscape.com/fullsize/migrated/451/577/mtm451577.fig2.gif> - sierpień 2010)

Kolejnym czynnikiem wyróżniającym systemy informatyki medycznej (w tym także omawiane tu medyczne bazy danych, chociaż nie wyłącznie) są uwarunkowania prawne. Chodzi głównie o problematykę odpowiedzialności lekarza, której nie można w żadnej mierze przenieść na system techniczny. Za rezultat wykorzystania danych zgromadzonych w bazie zawsze odpowiada lekarz. To on podejmuje decyzję. Dlatego niesłychanie ważne jest takie budowanie bazy danych, by korzystający z niej lekarz miał możliwość sprawdzenia nie tylko tego, jakie wiadomości medyczne (na temat konkretnego pacjenta) zawierają pola jego rekordu w bazie danych – ale także tego, skąd te dane tam się wzięły i jaki jest poziom ich wiarygodności.

Kolejna osobliwość medycznych baz danych wynika stąd, że w medycynie nadrzędnym wymogiem jest ochrona tajemnicy lekarskiej oraz ochrona danych osobowych. Tymczasem chętnych do penetrowania danych medycznych jest zawsze wielu. Niektóre z nich poprzestają na szpiegowaniu (rys. 4.11), ale jest wiele przykładów aktywnych włamań do medycznych baz danych (rys. 4.12).



Rysunek 4.11. Zagrożeniem dla medycznych baz danych są możliwości naruszenia przez hakerów tajemnicy lekarskiej lub ustawy o ochronie danych osobowych (Źródło: http://www.pc1news.com/articles-img/small/spy_on_user.jpg - sierpień 2010)

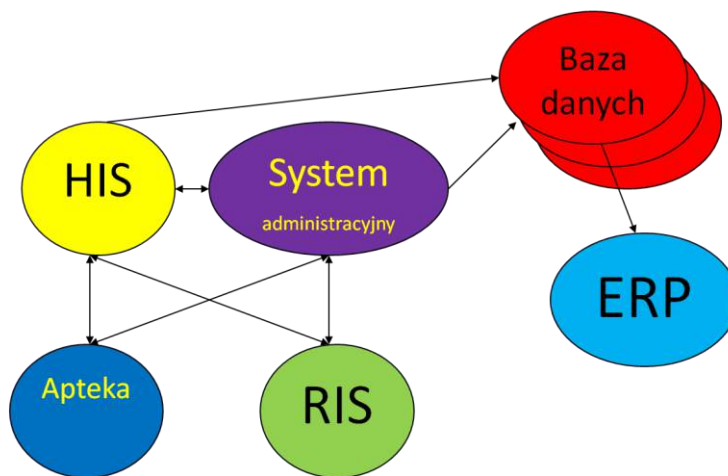
Nakłada to na twórcę medycznej bazy danych szczególnie wysokie wymagania związane z problematyką bezpieczeństwa. Zagadnienie to będzie jednak omawiane obszerniej w rozdziale 10, dlatego tutaj jest jedynie wzmiankowane.



Rysunek 12. Medyczne bazy danych bywają celem aktywnych ataków hakerów, którzy usiłują przejąć kontrolę nad systemem i zmusić go do ujawnienia danych (Źródło: <http://thefreshscent.com/wp-content/uploads/2009/05/hacker-470x313.jpg> - sierpień 2010)

4.3. Sposób wykorzystywania szpitalnej bazy danych

Informacje gromadzone w medycznej bazie danych służą do tego, żeby wspomagać działanie innych składników informatycznego systemu szpitala (rys. 4.10). Baza danych ma zwykle bezpośredni związek z systemem administracyjnym szpitala (patrz rozdział 3) z systemami typu HIS (rozdział 3) z systemami specjalistycznymi typu RIS (rozdział 7) czy z systemem obsługi szpitalnej apteki. Krótkiego komentarza wymaga widniejący na rysunku skrót ERP. W zasadzie nazwa ta powinna być znana wszystkim osobom chociaż trochę zajmującym się informatyką (a tylko takie, jak zakładam, czytają tę książkę), ale dla porządku przypomnijmy, co to są systemy ERP. Otóż skrót ten tłumaczy się jako *Enterprise Resource Planning* (Planowanie Zasobów Przedsiębiorstwa) i dotyczy klasy najpopularniejszych obecnie systemów do wspomagania procesów zarządzania przedsiębiorstwem. Szpital niewątpliwie jest przedsiębiorstwem i planowanie a także kontrolowanie przepływów finansowych, przychodów i kosztów, ewentualnych długów i sposobów ich spłacania – wymaga obecnie komputerowego wspomaganie. Baza danych jest przy tym bardzo potrzebna, stąd obecność systemu ERP na rysunku 4.13.



Rysunek 4.13. Umieszczenie medycznej bazy danych wśród systemów informatycznych obsługujących nowoczesny szpital.

Niezależnie od tego, jak bardzo medyczna baza danych wspomaga inne systemy szpitalne – jej najważniejsza funkcja polega na tym, że jest ona źródłem różnego rodzaju potrzebnych informacji dla podstawowych użytkowników – to znaczy dla lekarzy i dla pacjentów. W tym zakresie nowoczesna baza danych zastępuje dwie rzeczy: tradycyjne kartoteki chorych i archiwa szpitalne (rys. 4.14).



Rysunek 4.14. Baza danych zastępuje tradycyjną kartotekę pacjenta i archiwum lekarskie (Źródło: http://dateofbirth.info/images/medical_records.jpg oraz - http://img.ezinemark.com/imagemanager2/files/30000234/2010/06/medical_records_clerk_job_description.JPG sierpień 2010)

Użytkownicy mogą korzystać z bazy danych na dwa sposoby. Pierwszy sposób polega na tym, że użytkownik formułuje pytanie i za pośrednictwem mechanizmów wyszukiwania informacji, wbudowanych w system zarządzania bazą danych – otrzymuje odpowiedź (rys. 4.15).



Rysunek 4.15. Medyczna baza danych może służyć do szybkiego uzyskiwania odpowiedzi na konkretne pytania (Źródło: http://i.dailymail.co.uk/i/pix/2010/06/17/article-0-09E491D2000005DC-648_468x335.jpg - sierpień 2010)

Drugi sposób polega na tym, że użytkownicy zamawiają sobie odpowiedzi na

pewne zdefiniowane pytania i okresowo dostają automatycznie generowane raporty, będące wyciągami z bazy danych, informujące o najnowszych wiadomościach na wskazany w zamówieniu temat (rys. 4.16).



Rysunek 4.16. Baza danych może być źródłem raportów - automatycznie tworzonych i dystrybuowanych zgodnie z zamówieniami

Dane ze szpitalnej bazy danych powinny być także dostępne dla pacjentów, których dotyczą. W polskich szpitalach chwilowo normą jest to, że pacjent opuszczający szpital otrzymuje wypis w postaci papierowej. Natomiast za granicą coraz częściej pojawiają się różne formy wypisów elektronicznych w postaci dokumentów zawierających w sobie wszystkie niezbędne dane, możliwych do odczytania za pomocą komputera tego szpitala, który leczył pacjenta, ale także innych szpitali, do których pacjent może trafić w przyszłości.

Najczęściej elektroniczny wypis ze szpitalnej bazy danych ma formę dysku CD, na którym wypalono wszystkie niezbędne dane pacjenta. Dysk taki nie różni się zewnętrznym wyglądem od dysków, na których nagrano muzykę, filmy albo programy komputerowe. Dlatego mimo specjalnych kopert, w jakich dyski te są wydawane – często są one gubione przez pacjentów wśród ogromnych ilości tak samo wyglądających krążków z inną zawartością. Aby temu zapobiec a także w celu zwrócenia uwagi na ten medyczny rekord pacjenta przez osoby postronne (na przykład przez ratowników medycznych udzielających pomocy poszkodowanej i nieprzytomnej ofierze wypadku) – wydawane pacjentom nośniki zawierające ich dane komputerowe są produkowane także w specjalnej formie, zawierającej także w czytelnej dla człowieka postaci personalia

właściciela. Przykład takiego elektronicznego wyciągu ze szpitalnej bazy danych pokazany jest na rysunku 4.17.



Rysunek 4.17. Elektroniczna karta zdrowia pacjenta, zawierająca kopię jego rekordu ze szpitalnej bazy danych (Źródło: <http://dvice.com/pics/Walletex-Wallet-MediCard-Personal-Medical-and-Health-Records-Digital-Card-in-a-USB-Flash-Memory.jpg> - sierpień 2010)

Ponieważ komputery podłączone do wspólnej bazy danych zapewniają znacznie większą efektywność w organizacji, archiwizacji i udostępnianiu rekordów medycznych, wprowadzenie formy elektronicznej medycznej bazy danych pozwala oczekiwać bezprecedensowej poprawy jakości usług medycznych (ang.: *Quality of Service*). Zagadnieniem tym bezpośrednio w tym skrypcie nie będziemy się zajmowali, ale warto podkreślić, że zagadnienie jakości usług medycznych zaczyna być coraz ważniejszym problemem społecznym. Zagadnienie to pojawia się również w kontekście coraz częściej się zdarzających pozwów sądowych kierowanych przez pacjentów przeciwko lekarzom. Odnotowując tu rosnącą liczbę tych ubolewania godnych przypadków możemy tylko wskazać, że w takich procesach coraz częściej jednym z koronnych dowodów będą wyciągi ze szpitalnej bazy danych.

We wzmiankowanym wyżej kontekście należy podkreślić, że warunkiem prawidłowej eksploatacja szpitalnej bazy danych jest zapewnienie odpowiedniego poziomu zabezpieczenia informacji zawartych w bazie przed niepowołanym dostępem. Powinno się przyjmować jako absolutną regułę, że baza danych medycznych, do której powinien być oczywiście zapewniony

dostęp zarówno wewnątrz szpitala, jak i z zewnątrz, powinna być odgradzona od otoczenia właściwą „ścianą ogniową” (rys. 4.18).



Rysunek 4.18. Podział systemu medycznego na część wewnętrzną i część zewnętrzną, odgradzoną „ścianą ogniową”. Baza danych bezwarunkowo powinna być w zabezpieczonej części wewnętrznej (Źródło: http://www.ganzetech.com/images/network_sec.jpg - sierpień 2010)

Warto dodać, że elektroniczna postać rekordu medycznego umożliwia korzystanie z niego przez oprogramowanie ekspertowe wspomagające proces decyzyjny, oraz statystyczne oprogramowanie optymalizujące użycie zasobów medycznych w skali instytucji i w skali kraju.

4.4. Czynności wykonywane w szpitalnej bazie danych

Medyczna baza danych jest tworem dynamicznym, w którym ustawicznie dokonywane są określone działania zmieniające i uzupełniające jej zawartość, ponieważ pacjent podlega różnym badaniom, jest poddawany różnym zabiegom, z czym wiążą się oczywiście także określone konsekwencje w zakresie zasobów materialnych szpitala (które się zużywają) oraz w zakresie rosnących należności koniecznych do ściągnięcia od płatnika (ubezpieczyciela) po zakończeniu leczenia. W związku z tym szpitalna baza danych ma charakter **transakcyjny**, co narzuca określone wymagania na sposób jej funkcjonowania.

Każda baza danych tak długo jest użyteczna, jak długo znajdują się w niej prawdziwe dane, adekwatne do opisywanych przez nią rzeczywistych obiektów

(pacjentów, elementów wyposażenia, łóżek na salach szpitalnych itp.). Im częściej zmieniają się opisywane obiekty, tym częściej należy aktualizować zawartość bazy danych. Sytuację komplikuje fakt, że medyczne bazy danych w większości przypadków są dostępne sieciowo, więc ich twórcy muszą także rozwiązać problem równoległego dostępu i modyfikacji danych przez wielu użytkowników jednocześnie (rys. 4.19).



Rysunek 4.19. Każdy użytkownik bazy danych powinien mieć możliwość swobodnego działania bez zwracania uwagi na to, co robią inni użytkownicy.

(Źródło: <http://www.4ifm.com/images/medical.jpg> - sierpień 2010)

Przypomnijmy (choć jest to także element ogólnej wiedzy informatycznej, którą użytkownik powinien posiadać), że podstawową metodą zapewniania integralności (spójności) danych w bazach wielodostępnych jest przetwarzanie ich w operacjach noszących nazwę transakcji.

Transakcja to sekwencja operacji przeprowadzanych na danych, traktowana przez serwer bazy danych jako spójna i niepodzielna całość. Transakcja albo może być w całości wykonana, albo może być w całości nieskuteczna (zignorowana), natomiast niemożliwe jest jej częściowe wykonanie, co by mogło skutkować tym, że stare dane zostaną już usunięte, a nowe dane nie zdążą się zapisać, bo na przykład nastąpi uszkodzenie dysku. Istotną cechą transakcji

jest więc to, że zmiany wprowadzane przez nią do bazy danych są trwale zapisywane tylko wtedy, gdy zostaną wykonane wszystkie wchodzące w skład transakcji operacje

Zgodnie z zasadą ACID (ang. *Atomicity, Consistency, Isolation, and Durability*), każda transakcja musi być:

- niepodzielna (ang. *atomicity*) — transakcja może być wykonana tylko w całości albo wcale,
- spójna (ang. *consistency*) — po wykonaniu transakcji system zawsze będzie spójny, czyli nie zostaną naruszone żadne zasady integralności danych,
- niezależna (ang. *isolation*) — każda transakcja jest przetwarzana niezależnie od innych wykonywanych operacji, w tym od innych transakcji,
- trwała (ang. *durability*) — system potrafi zawsze uruchomić się i udostępnić spójne i nienaruszone dane zapisane w transakcji, na przykład po nagłej awarii zasilania.

Jednym z ważnych zagadnień, które wymagają rozwiązania w medycznych bazach danych, jest kwestia zbudowania dla każdego pacjenta rekordu, który jest pełny, to znaczy zawiera wszystkie dane, także te, które były zebrane jeszcze przed wdrożeniem systemów elektronicznych. Każdy rozsądny pacjent przychodząc do szpitala posiada zwykle sporo wyników swoich wcześniejszych badań, które są niezwykle cenne z medycznego punktu widzenia, bo przy postępowaniu diagnostycznym obserwowanie zmian w czasie odpowiednich parametrów jest jedną z ważniejszych przesłanek do podjęcia takiego lub innego leczenia. Tymczasem dane, jakie przynoszą pacjenci, mają formę dokumentów papierowych oraz klisz radiologicznych. Przerobienie takich dokumentów na formę, jaką mają współczesne dokumenty elektroniczne rejestrowane w rekordzie pacjenta – jest prawie niewykonalne. Jednak dla zapewnienia kompletności informacji w rekordzie pacjenta te dane także powinny się pojawić. Najprostszym rozwiązaniem tego problemu jest zeskanowanie odpowiednich dokumentów oraz klisz i dołączenie tych skanów do odpowiednich rekordów bazy danych (rys. 4.20). Dokumenty w taki sposób dołączone nie są tak wygodne, jak dokumenty w pełni elektroniczne. W szczególności nie ma możliwości odwoływania się do ich treści za pomocą standardowych metod wyszukiwania informacji. Jednak nawet taka ułomna i niedoskonała obecność dokumentacji wcześniejszych etapów leczenia jest lepsza od całkowitego braku tej dokumentacji w zasobach używanej medycznej bazy danych, dlatego dość często będziemy się odwoływali do tego paliatywu.

Nieco lepsza sytuacja ma miejsce wtedy, gdy pacjent przynosi swoje dane

w formie elektronicznej zapisanej w jakim innym systemie informatycznym. Także i w tym przypadku zachodzi potrzeba konwersji danych z postaci w jakiej zostały one zapisane do takiej postaci, jaka jest akceptowana w eksploatowanym przez nas aktualnie systemie baz danych. Jednak taka konwersja danych numerycznych jest nieporównanie łatwiejsza, niż korzystanie z danych papierowych, więc można tę sytuację uznać za w miarę wygodną. W przyszłości zapewne problem ten definitywnie zniknie za sprawą unifikacji standardów medycznych baz danych (w skali światowej) a także za sprawą upowszechniania użycia języka XML i związanych z nim mechanizmów.



Rysunek 4.20. Sposób uzupełniania bazy danych o informacje nie mające w oryginale formy elektronicznej (Źródło: <http://www.e-radiologia.pl/> za pośrednictwem <http://www.univ.rzeszow.pl/ki/telemedycyna/index.php?k=teleradiologia> – sierpień 2010)

Dla prawidłowego funkcjonowania bazy danych bardzo ważne jest to, żeby zawarte w niej informacje były stale aktualne i kompletne. Dlatego równie ważne jak zbudowanie bazy od strony odpowiedniej struktury sprzętowej i programowej jest zapewnienie, by ta baza była odpowiednio zasilana

informacjami. W tym zakresie konieczne jest zobowiązanie personelu na przykład do stałej obsługi podstawowych funkcji kartoteki badań. Musi być dokładnie określone (i egzekwowane!) kto odpowiada za następujące czynności:

- dodawanie nowego badania,
- przeglądanie i edycja istniejących badań,
- wyszukiwanie badań wg zadanych kryteriów,
- składowanie zdjęć medycznych zapisanych w standardowych formatach w jednym miejscu,
- umożliwienie komunikacji osób pracujących nad jednym pacjentem, ale rozproszonych geograficznie,
- w miarę pojawiania się nowej aparatury dostarczenie odpowiednich interfejsów graficznych, umożliwiających przeglądanie nowych obrazów z nowej aparatury we wszystkich używanych stacjach roboczych, zarówno diagnostycznych jak i przeglądowych.

Analogiczne zagadnienia powinny być rozwiązane dla podsystemu ewidencjonowania zaleceń medycznych i kontroli ich wykonania.

4.5. Problem objętości medycznych baz danych i kodowanie danych medycznych

Do niedawna sądzono, że w stosunku do innych dużych użytkowników informatyki, takich jak banki czy zakłady przemysłowe – potrzeby informatyczne szpitali są niewielkie. Tymczasem ilość danych medycznych niesłychanie szybko wzrasta – głównie za sprawą nowej aparatury diagnostycznej. Szczególne wymagania stawia infrastruktura medycznej bazy danych obrazowy typ danych, bardzo popularny w medycynie, ponieważ wszystkie testy diagnostyki obrazowej (wykorzystującej promieniowanie X, tomografię komputerową, emisyjną tomografię pozytronową, itp.) są wykonywane jako obrazy lub sekwencje obrazów o znacznej objętości. W mniejszym zakresie obciążające dla bazy danych są na przykład ultrasonogramy albo obrazy badań prowadzonych z wykorzystaniem metod radioizotopowych. Mniej „pamięciożerne” są także przykłady obrazów patologicznych, próbki mikroskopowe, obrazy neurologiczne i wektorkardiograficzne. W sumie jednak wymagania są duże, co można ocenić na podstawie tabeli 4.1.

Baza danych spełniająca oczekiwania medycznej diagnostyki obrazowej wymaga szczególnych założeń projektowych i większych nakładów, niż baza wykorzystywana w dowolnych innych celach - być może z wyjątkiem baz GIS (*Geographical Information System*), gromadzących cyfrowe mapy, plany geodezyjne i bardzo liczne zdjęcia lotnicze oraz satelitarne. Bazy medyczne mają jednak większe wymagania w zakresie szybkości rejestracji i odtwarzania danych w celu obsługi wielowątkowego przekazu wideo o wysokiej rozdzielczości w czasie rzeczywistym. Trzeba podkreślić, że zwłaszcza w

instytucjach akademickich (np. szpitalach uniwersyteckich) używana jest znaczna liczba materiałów edukacyjnych opartych na przekazie wizualnym. Wiele obecnych dziś na rynku produktów edukacyjnych dla medycyny to zamknięte aplikacje, ale ostatnio rozwijają się także otwarte platformy edukacji zdalnej, umożliwiające użycie rzeczywistych obrazów (np. zarejestrowanych w sali operacyjnej) w celach edukacyjnych. Tego wątku nie będziemy jednak tu rozwijali.

Tabela⁷ 4.1. Wykładniczy wzrost objętości danych medycznych związany ze stosowanie coraz doskonalszych narzędzi diagnostycznych

Rodzaj danych	Objętość	Przyrost ilości danych
Tekst – strona A4	5 kB	1
Cyfrowy zapis spirogramu	100 kB	$2 \cdot 10^1$
Zapis z cyfrowego stetoskopu	1 MB	$2 \cdot 10^2$
Koronarogram – video	10 MB	$2 \cdot 10^3$
Badanie CT	100 MB	$2 \cdot 10^4$
Badanie MRI	500 MB	$1 \cdot 10^5$
Badanie MRI 4D (w czasie)	> 1 GB	$\approx 1 \cdot 10^6$

Ogromna i stale rosnąca ilość danych gromadzonych we współczesnych systemach szpitalnych stanowi problem, bo wiąże się z kosztami. Niestety nie ma jednak innego sposobu gromadzenia i sprawnego wyszukiwania danych medycznych, więc trzeba się po prostu liczyć z tym, że objętość szpitalnej bazy danych może dojść do niewyobrażalnej liczby wyrażanej już nie mega- czy giga, ale w *eta*-bajtach, co jeszcze kilka lat temu były trudne do wyobrażenia.

Jednym ze sposobów ograniczania wzrostu zajętości pamięci przez medyczne bazy danych przy rosnących zasobach informacji związanych z każdym kolejnym pacjentem – jest **kodowanie** danych medycznych, Zamiast pełnych nazw chorób, zabiegów, rokowań itd. – stosuje się umowne kody. Kody te nie tylko zmniejszają zajętość pamięci komputera, ale również przyspieszają wprowadzanie danych do systemu bazy danych (gdy dane te wprowadzać trzeba

⁷ Źródło tabeli: Zajdel R.: Systemy medyczne. Rozdział nr 6 w IV tomie serii książkowej Informatyka w gospodarce, pod red. naukową A. Gąsior-kiewicza, K. Rostek, J. Zawily-Niedzwieckiego przygotowywanej przez wydawnictwo C.H. Beck. Czytane w rękopisie podczas recenzowania monografii, która zapewne ukaże się na początku 2011 roku)

ręcznie) i zmniejszają ryzyko pomyłki. Niebagatelną zaletą kodów używanych przy rejestracji i gromadzeniu danych medycznych jest fakt, że kody te są dla większości ludzi niezrozumiałe. Rekord z polami zawierającymi kody zamiast pełnych opisów tekstowych nie będzie przydatny dla hakera, nawet gdyby ten ostatni włamał się do bazy danych lub przechwycił dane podczas transmisji. Oczywiście kody można rozszyfrować, zwłaszcza że tabele przyporządkowania określonych kodów do poszczególnych pojęć z języka medycznego – są znane i dostępne. Jest to jednak zawsze pewne dodatkowe utrudnienie, które może zniechęcić hakera włamującego się dla żartu lub człowieka zlecającego włamanie (bywają tacy!) w celu nielegalnego zdobycia informacji medycznych dotyczących sąsiada, konkurenta, współpracownika itp. Widok nieczytelnych symboli kodowych, z których nie można niczego odczytać – wielu tego typu komputerowych przestępców po prostu zniechęca.

O kodowaniu danych w systemie szpitalnym była już mowa w podrozdziale 3.5., ale tutaj w kontekście szpitalnych baz danych warto może dodać kilka uzupełnień. Najczęściej używa się kodu hierarchicznego ICD-10, który w swojej podstawowej formie jest kodem trójznakowym (litera + dwie cyfry) z możliwością dodania po kropce dodatkowej cyfry jako rozszerzenia (doprecyzowania kodu). Pełna nazwa tego systemu brzmi: Międzynarodowa Klasyfikacja Chorób i Problemów Zdrowotnych ICD-10 (ang. *International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems*). Pierwszych kilka oznaczeń używanych w tym kodzie podano (dla przykładu) w tabeli 4.2.

Tabela 4.2. Przykładowe znaczenie wybranych kodów ICD-10

Zakres kodów	Znaczenie	Zakres kodów	Znaczenie
A00-B99	Niektóre choroby zakaźne i pasożytnicze	C00-D48	Nowotwory
D50-D89	Choroby krwi i narządów krwiotwórczych	E00-E90	Zaburzenia wydzielania wewnętrznego
F00-F99	Zaburzenia psychiczne	G00-G99	Choroby układu nerwowego
H00-H59	Choroby oka	H60-H95	Choroby ucha
I00-I99	Choroby układu krążenia	J00-J99	Choroby układu oddechowego
K00-K93	Choroby układu trawiennego	L00-L99	Choroby skóry i tkanki podskórnej

Kody ICD-10 pozwalają kodować nie tylko rodzaje chorób, ale także ich przyczyny (kody od S do Y) oraz czynniki wpływające na stan zdrowia i kontakt ze służbą zdrowia (kod Z).

Za pomocą kodu ICD-10 można wyrażać informacje ogólne (na przykład H66 oznacza zapalenie ucha środkowego (każde), oraz informacje szczegółowe (na przykład H66.1 oznacza przewlekłe ropne zapalenie trąbki słuchowej i jamy bębnekowej, H66.2 oznacza przewlekłe ropne zapalenie jamy nadbębnekowej i sutkowej). Można też zaznaczyć, że informacje szczegółowe są niedostępne (na przykład H66.9 oznacza bliżej nieokreślone zapalenie ucha środkowego bo cyfra na pozycji 9 rozszerzenia oznacza zawsze „nieokreślone”).

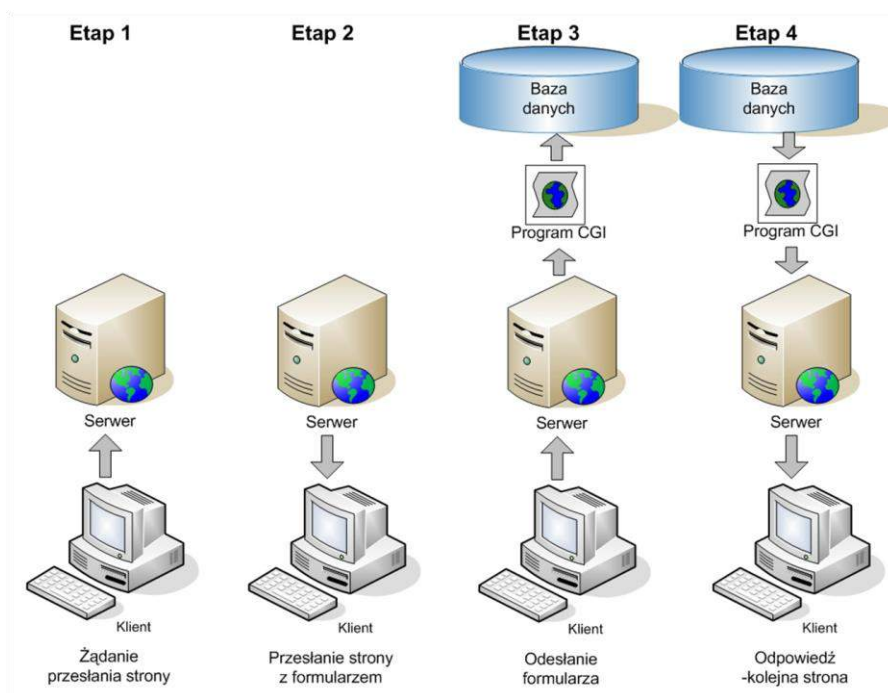
Jak już wspomniano w rozdziale 3 – systemów kodowania używanych w medycynie (a tym samym także w medycznych bazach danych) jest także wiele innych: **ICPC** (*International Classification of Primary Care*) – przyjęty przez WHO system kodowania i raportowania przyczyn wizyt u lekarzy w podstawowej opiece zdrowotnej, **DSM** (*Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*) – stworzony przez Amerykańskie Towarzystwo Psychiatryczne system opisu zaburzeń umysłowych, **SNOMED** – (*Systematized Nomenclature of Medicine*) - system klasyfikacji pojęć medycznych którego właścicielem jest Międzynarodowa Organizacja Standardów Rozwoju Terminologii Medycznej – i wiele innych.

4.6. Medyczne bazy danych bibliograficznych

Jak już wspomniano w podrozdziale 4.1 lekarze zobowiązani do przestrzegania zasad EBM częściej niż pracownicy innych zawodów muszą sięgać do literatury naukowej i fachowej, wyszukując w niej najnowsze wiadomości na temat chorób, diagnostyki, leczenia i rokowań. Nic więc dziwnego, że dla wspomagania ich w tej trudnej i odpowiedzialnej pracy powstały i zostały udostępnione bazy danych, z których korzystają dziś lekarze na całym świecie, w tym także w Polsce. Bazy te są najczęściej wykorzystywane w modelu internetowym przedstawionym schematycznie na rysunku 4.21.

Najstarszą i najlepiej znaną bazą medycznych danych bibliograficznych jest **Medline/Pubmed** (www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?db=pubmed). Baza ta przechowuje niemal wszystkie znaczące publikacje naukowe i profesjonalne w dziedzinie medycyny poczynając od 1950 roku. W efekcie baza ta ma zgromadzonych ponad 15 milionów dokumentów z których można korzystać za darmo bez żadnych ograniczeń. Administratorem bazy jest amerykańska narodowa biblioteka medyczna (*US National Library of Medicine*), która dysponuje także licznymi innymi zasobami bibliograficznymi, do których dostęp można uzyskać korzystając z adresu www.nlm.nih.gov/databases. Obsługa bazy danych jest bardzo prosta, w związku z czym korzystanie z niej przypomina w

znacznym stopniu zwykłą wizytę w bibliotece lub czytelní, gdzie można mieć dostęp do fachowych czasopism.



Rysunek 4.21. Sposób korzystania z internetowo dostępnej bazy danych bibliograficznych. Opis w tekście.

Dwie kolejne szeroko dostępne sieciowe bazy danych bibliograficznych z obszaru medycyny oferuje wydawnictwo Elsevier. Pierwsza z tych baz, nazwana **EMBASE** (www.embase.com/) gromadzi dane biomedyczne i farmakologiczne zbierane od 1974 roku z 5000 czasopism biomedycznych pochodzących z 70 krajów świata. Aktualnie zgromadzone zasoby obejmują ponad 11 mln artykułów. Druga z tych baz jest nowsza, ale już cieszy się bardzo dobrą opinią. Bazą tą jest **Scopus** (www.scopus.com/scopus/home.url) zawierający ponad 25 mln artykułów zebranych z ponad 14 tysięcy czasopism.

Wyniki badań naukowych w zakresie medycyny wraz z ich krytyczną dyskusją i licznymi recenzjami znaleźć można w bazie **The Cochrane Library** (<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/mrwhome/106568753/HOME>). Podobną zawartość ma także **Trip Database**, która jednak w odróżnieniu od **Cochrane Library** jest darmowa. Znaleźć ją można pod adresem: www.tripdatabase.com/index.html. Bazą zawierającą nowe wyniki badań medycznych wraz z ich krytycznymi omówieniami i recenzjami jest też **Clinical Evidence** (<http://clinicalevidence.bmj.com/cweb/index.jsp>).

Dostęp do wielu baz danych zawiera **ISI Web of Knowledge** (http://isiwebofknowledge.com/currentuser_wokhome/cu_aboutwok). Jest tam dostęp do wielu baz danych, między innymi medycznych. Z założenia dostęp do danych zawartych w tej i w innych bibliograficznych bazach danych powinien być dla lekarza równie łatwy i naturalny jak zwykła wizyta w bibliotece, a dzięki użyciu komputerów z bezprzewodowym dostępem do Internetu – możliwe jest sięgnięcie do danych literaturowych również przy łóżku pacjenta (rys. 4.22).



Rysunek 4.22. Tradycyjny i nowoczesny (wykorzystujący sieciowe bazy danych) sposób korzystania z literatury fachowej w medycynie (Źródło: <http://www.gchosp.org/upload/images/medical%20recs.jpg> oraz http://www.dallasnews.com/sharedcontent/dws/img/v3/05-28-2008.NB_28medrecords.GSQ2DJ688.1.jpg - sierpień 2010)

Bazą danych ukierunkowaną na potrzeby krajów amerykańskiej i Południowej Afryki jest baza nosząca nazwę **Virtual Health Library** (www.virtualhealthlibrary.org/php/index.php?lang=en). Swoją bazę medyczną oferują także Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) pod nazwą: **WHO Global Health Library** (www.globalhealthlibrary.net/php/index.php).

Obok baz danych gromadzących materiały dotyczące całości medycyny (poszerzonej o wybrane zagadnienia biologii i farmacji) dodatkowo funkcjonują bazy danych specjalistyczne, takie jak baza dotycząca medycyny społecznej **Global Health** (www.cabi.org/datapage.asp?iDocID=169) czy baza **Popline** (<http://db.jhuccp.org/popinform/basic.html>), poświęcona seksuologii, płodności i planowania rodziny.

Swoistymi bazami danych służącymi szerokiemu dostępowi do danych medycznych są czasopisma medyczne publikowane na zasadzie *Open Access*. Są to między innymi: **Bioline** (www.bioline.org.br), **BMJ** (www.bmj.com), **BioMed Central** (www.biomedcentral.com), **Free Medical Journals** (www.freemedicaljournals.com).

Godne uwagi są także **PubMed Central** (www.pubmedcentral.nih.gov) oraz **SciELO** (www.scielo.org/php/index.php?lang=en).

Wszystkie wymienione wyżej (a także liczne nie wymienione) są niewątpliwie medycznymi bazami danych, więc zostały tu przywołane, jednak nie są to te bazy danych, które stanowią główny przedmiot zainteresowania w tym rozdziale, dlatego zostały one jedynie wzmiankowane, ale nie są tu omawiane szczegółowo.

4.7. Podsumowanie

Różnorodność medycznych form danych wymaga najwyższej jakości elektronicznych systemów archiwizacji i transmisji danych. Niezależnie od rozmiaru rekordu, każda informacja w nim zawarta jest istotna w aspekcie diagnostyki i terapii konkretnego człowieka. Pojedynczy bajt zawierający kod rezultatu laboratoryjnych badań analitycznych może mieć znaczenie dla życia pacjenta nieporównanie większe niż zajmujący wiele megabajtów obraz uzyskany w wyniku obrazowej diagnostyki tomograficznej.

Ponieważ dane kliniczne pochodzą z bardzo wielu różnych systemów diagnostycznych, zgromadzenie ich w postaci pojedynczego fizycznego centralnego repozytorium wymaga zaprojektowania całościowego klinicznego systemu informacyjnego i implementacji logicznie zintegrowanego rekordu zawierającego wszystkie dane kliniczne każdego pacjenta. Aplikacja służąca do przeglądania takich rekordów, będąca częścią szpitalnego systemu informacyjnego (HIS, RIS, PACS), zawiera narzędzia formułowania zapytań w sieci dotyczących każdego rodzaju informacji dostępnych w rekordzie pacjenta.

W informatyce medycznej używanych jest wiele różnych programów i eksploatowanych jest wiele systemów. Jednak to właśnie baza danych jest zawsze tym jądrem, wokół którego to wszystko się agreguje i układa (patrz rysunek 4.3) dlatego znajomość medycznych baz danych i zasad ich eksploatacji trzeba uznać za jedną z centralnych umiejętności, które musi posiadać każda osoba chcąca zajmować się informatyką medyczną.

ROZDZIAŁ 5

METODY KOMPUTEROWEJ ANALIZY I PRZETWARZANIA DANYCH MEDYCZNYCH

5.1. Co można zrobić ze zgromadzonymi w systemie szpitalnym danymi medycznymi?	88
5.2. Wykorzystanie komputera dla potrzeb statystyki medycznej	93

5.1. Co można zrobić ze zgromadzonymi w systemie szpitalnym danymi medycznymi?

W poprzednich rozdziałach skupialiśmy uwagę na tym, jak się dane medyczne pozyskuje, gromadzi, udostępnia i wykorzystuje w bieżącym funkcjonowaniu szpitala czy przychodni lekarskiej. Komputerowe rejestry i bazy danych są dziś nieodzownym składnikiem każdego systemu informatyki medycznej, odgrywając niesłychanie pożyteczną rolę przy organizowaniu i nadzorowaniu pracy na każdym niemal stanowisku. Jednak każdy, kto zdaje sobie sprawę z ogromnych możliwości obliczeniowych tkwiących w tych maszynach, miewa chwilami wątpliwości, czy my naprawdę wystarczająco dobrze je wykorzystujemy? Komputer to wszak (jak sama nazwa wskazuje) urządzenie liczące, przetwarzające informacje, a nie tylko zajmujące się ich gromadzeniem i dystrybucją. Strumienie danych, wpływające do medycznych komputerów, powinny do czegoś dążyć, ku czemuś zmierzać, coś powinno z nich wynikać. Symbolicznie przedstawiono to na rysunku 5.1.



Rysunek 5.1. Strumienie danych w systemach medycznych powinny do czegoś zmierzać (Źródło: http://www.ecst.csuchico.edu/~gregej/images/matrix_2.jpg - sierpień 2010)

Dlatego w tym rozdziale pochylimy się nad możliwościami **przetwarzania** danych medycznych, wynikającymi właśnie z możliwości współczesnych komputerów. Będziemy przy tym zajmować się tutaj (w tym rozdziale) wyłącznie danymi w formie liczb i tekstów, odkładając do dalszych rozdziałów zagadnienia (bardzo bogate i ważne) przetwarzania i analizy różnych **sygnałów**

diagnostycznych (na przykład EKG) a także **obrazów** medycznych.

Przetwarzanie danych jest procesem, w trakcie którego surowe **dane** zamieniają się w wartościowe **informacje**. Jest to fragment nieco obszerniejszego procesu, w którym z kolei informacje mogą się zamieniać w **wiedzę**, a wiedza w **mądrość** (rys. 5.2).



Rysunek 5.2. Zależności między danymi, informacjami, wiedzą i mądrością

Komputery bardzo sprawnie przekształcają **dane** w **informacje**. Objaśnijmy może te dwa pozornie identyczne pojęcia i wskaźmy, na czym polegają ich podobieństwa i różnice. Dane (na przykład o pacjencie) są gromadzone na bieżąco podczas całego jego pobytu w szpitalu. Każda notatka lekarza czy pielęgniarki, każdy wynik badania, każda faktura za wydane leki, posiłki czy środki czystości – staje się w systemie informatycznym elementem zbioru **danych**. Sposób gromadzenia danych powoduje, że w ich zbiorze są informacje ważne i zupełnie nieistotne, występujące w kolejności zależnej od przypadkowego czasu zarejestrowania wiadomości, oraz w żaden sposób nie opracowane (nie przetworzone). **Informacje** (użyteczne do różnych celów) można wydobyć z tych danych poprzez ich:

- selekcję (usunięcie danych niepotrzebnych)
- porządkowanie (grupowanie według tematów, organizowanie w sekwencje czasowe, wiązanie zgodnie z ustalonymi relacjami, wstawianie w odpowiednie miejsca hierarchicznej struktury współzależności)
- przetwarzanie (usuwanie przypadkowych fluktuacji, skalowanie, wprowadzanie poprawek eliminujących błędy pomiarowe lub pomyłki)

obserwatorów, znajdowanie wskaźników powstających z kombinacji rozważanych danych (na przykład odejmowania danych od siebie celem wychycenia wartości i kierunku istotnych zmian, wydzielania jednych danych przez drugie dla uzyskania łatwiejszych do interpretacji bezwymiarowych proporcji itp.)

- wizualizację (duże tablice pełne liczb są trudne do prześledzenia, podczas gdy te same dane przedstawione na rysunku od razu pozwalają zrozumieć istotę pewnych zjawisk i procesów.

Komputery potrafią znakomicie wykonywać wszystkie wymienione wyżej czynności, dlatego konwersja nieuporządkowanych danych do formy uporządkowanych informacji może i powinna być realizowana przez pracujące w informatyce medycznej komputery, których usługi dla wszystkich użytkowników będą dzięki temu bardziej użyteczne i znacząco bogatsze. W kolejnym podrozdziale omówimy przykładową sferę przetwarzania danych medycznych, która jest szczególnie specyficzna dla systemów informatyki medycznej, a mianowicie zastosowania statystyki medycznej.

Zanim to jednak nastąpi skomentujmy kolejny etap zasygnalizowanego na rysunku 5.2 procesu, a mianowicie przekształcenie informacji w wiedzę. Tu zwykle środki informatyki są niewystarczające, ponieważ do zbudowania wiedzy potrzeba nie tylko informacji, ale także ułożenia relacji między tymi informacjami oraz wykrycia i wykorzystania pewnych wzorców. Dla unaocznienia odmienności procesu gromadzenia informacji od procesu formowania wiedzy przytoczmy znane przysłowie:

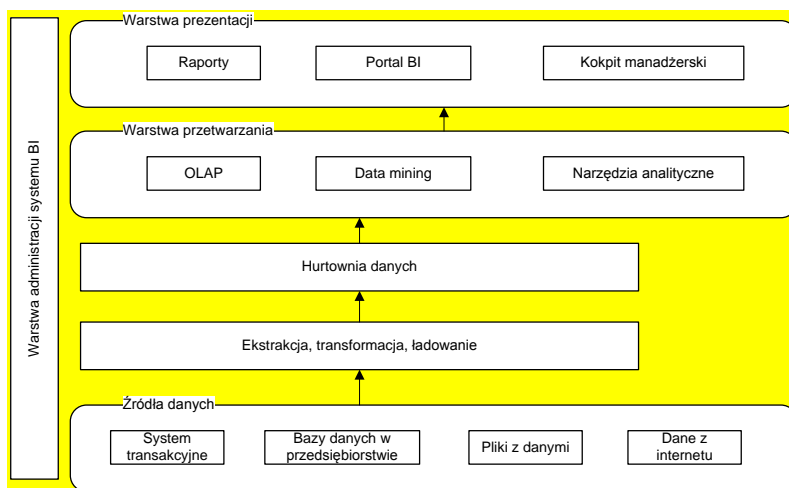
*Wiedza składa się z informacji tak jak dom składa się z cegieł.
Jednak nie każde nagromadzenie cegieł jest domem
i nie każda kolekcja informacji jest wiedzą.*



Rysunek 5.3. Opracowania dotyczące sztucznej inteligencji mogącej znaleźć zastosowania w pogłębionej analizie danych medycznych.

W aktualnie eksploatowanych systemach informatycznych (medycznych i wszelkich innych) proces przechodzenia od udostępnionych przez komputery informacji do wykorzystywanej przez ludzi wiedzy odbywa się głównie w umysłach użytkowników tych systemów. Sytuacja ta jednak ma szansę się zmienić, ponieważ najbardziej awangardowa część informatyki, jaką jest sztuczna inteligencja, coraz częściej proponuje rozwiązania, które mogą istotnie posunąć naprzód ten właśnie obszar zastosowań komputerów, który ukierunkowany jest na przekształcanie zbiorów informacji w wiedzę. Niedawno wydane dwie książki dotyczące tej problematyki pokazano na rysunku 5.3.

Niezależnie od badań naukowych związanych ze sztuczną inteligencją prowadzone są obecnie bardzo intensywne prace w obszarze gospodarczych zastosowań informatyki. Jest to powód do optymizmu, bo na potrzeby rozwoju informatyki ekonomicznej przeznaczają się rokrocznie bardzo dużo pieniędzy, więc postęp w tej dziedzinie może być najłatwiej wymuszony. I postęp ten rzeczywiście ma miejsce, bo coraz powszechniej mówi się o technologii określanej jako *Business Intelligence* (rys. 5.4). Technika ta służy właśnie do tego, żeby na bazie gromadzonych danych i wytwarzanych informacji gospodarczych budować wiedzę potrzebną do sprawnego zarządzania procesami biznesowymi. Na podobnej zasadzie mogą powstawać systemy informatyki medycznej oparte na sztucznej inteligencji.

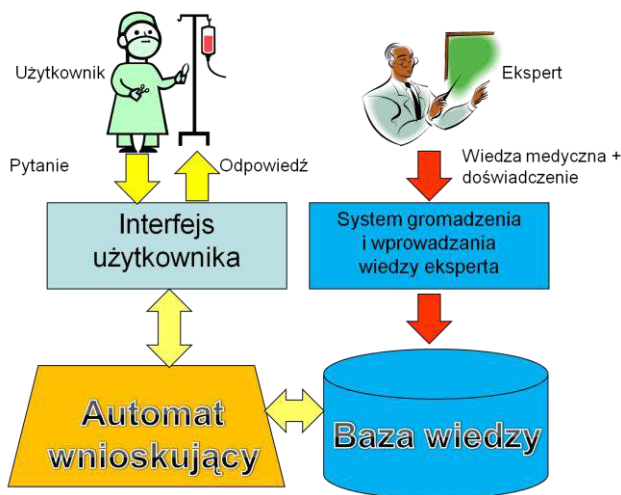


Rysunek 5.4. Budowa systemu *Business Intelligence* do zastosowań w gospodarce. Na podobnej zasadzie mogą powstawać systemy informatyki medycznej oparte na sztucznej inteligencji.

Nie jest to bynajmniej jakaś odległa futurystyka. Dzisiejsze systemy HIS oprócz możliwości prezentacji zintegrowanej informacji o pacjencie, coraz częściej pełnią aktywną rolę w planowaniu diagnostyki i terapii. Kliniczne bazy wiedzy

są coraz częściej obowiązkowymi elementami systemów informatycznych szpitala i zawierają reguły, automaty decyzyjne oraz narzędzia statystyczne niezbędne do implementacji protokołów postępowania klinicznego. Systemy takie wymagają do sprawnego działania obecności ciągłych i aktualnych informacji, co najłatwiej może być spełnione z użyciem zautomatyzowanych metod pomiarów diagnostycznych. Ręczne wprowadzanie rezultatów diagnostycznych przez personel znacznie obniża częstotliwość uaktualniania informacji i bywa źródłem pomyłek.

Systemy automatycznego wspomaganie decyzji muszą być oparte na fundamencie sztucznej inteligencji, bo decyzji nie podejmuje się wyłącznie w oparciu o informację. Tu trzeba posiadać także wiedzę, a tę może wydobyć i wykorzystać tylko sztuczna inteligencja. Takie właśnie wyposażone w sztuczną inteligencję systemy doradcze (nazywane także systemami ekspertowymi) asystują coraz częściej lekarzowi w całym procesie diagnostyki i terapii (rys. 5.5). Wiedza medyczna jest w nich zawarta najczęściej w postaci zestawu reguł decyzyjnych, których zastosowanie może być uruchomione na żądanie lekarza lub w tle podczas archiwizacji danych.

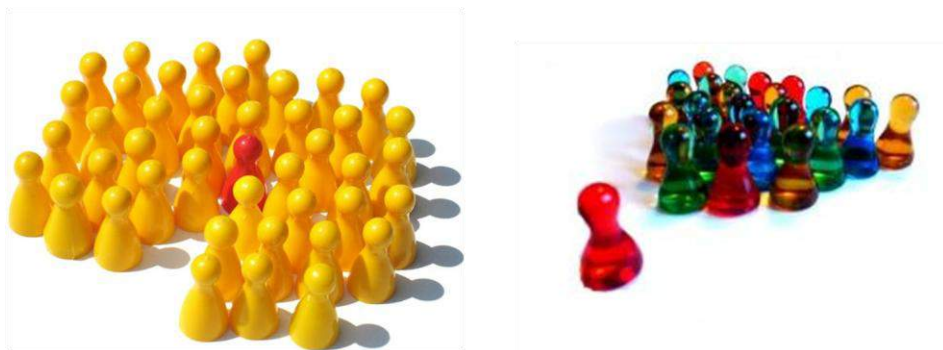


Rysunek 5.5. Skrajnie uproszczony schemat systemu doradczego wyposażonego w sztuczną inteligencję (automat wnioskujący) wspomagającego użytkowników (lekarzy praktyków) na podstawie teoretycznej i praktycznej wiedzy ekspertów wcześniej zgromadzonej w bazie wiedzy

Taki wyposażony w sztuczną inteligencję komputerowy doradca może także na przykład obserwować na bieżąco wybrane dane pacjenta i w przypadku przekroczenia wartości progowych istotnych parametrów znamionujących stan zdrowia i choroby - wygeneruje sygnał ostrzegawczy podpowiadając równocześnie lekarzom możliwości dalszego postępowania.

5.2. Wykorzystanie komputera dla potrzeb statystyki medycznej

Jeśli postawimy lekarzom pytanie, co może zrobić komputer z danymi medycznymi, korzystając z faktu, że ma je zebrane w bazie danych i dysponuje możliwością niesłychanie sprawnego wykonywania obliczeń dzięki wbudowanym mikroprocesorom – to najczęstsza odpowiedź wskazuje na potrzebę prowadzenia **analiz statystycznych**. Analizy te są bowiem najlepszym narzędziem docierania do prawdy w sytuacji, kiedy wszystkie dowody i przesłanki obarczone są różnymi błędami i niedoskonałościami.



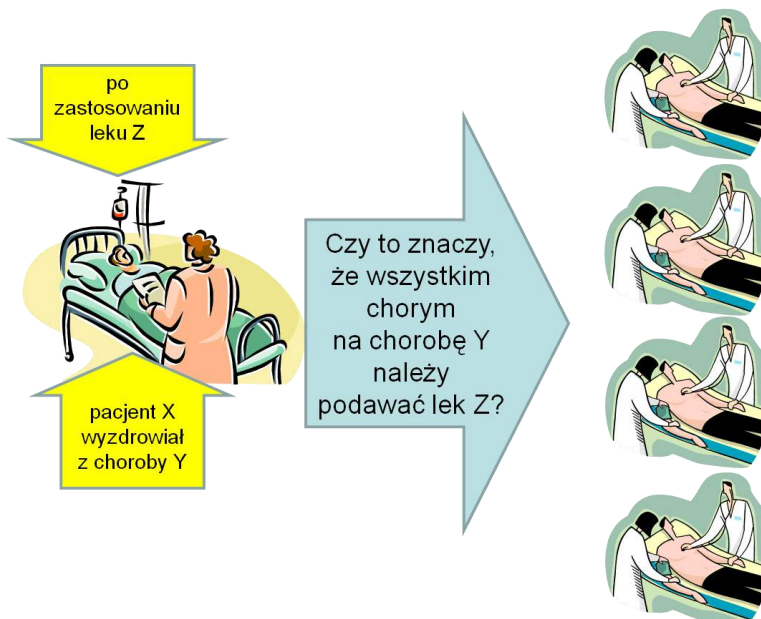
Rysunek 5.6. Obserwacja dokonana u pojedynczego pacjenta (czerwony pionek) może charakteryzować całą zbiorowość (po lewej), ale może też zdecydowanie odstawać od cech tej całej zbiorowości (po prawej). (Źródło: <http://www.twitterpowersystem.com/images/blog/twittercommunity.jpg> oraz <http://www.bibliotekakp.pl/att/pionki%20lider2.jpg> – sierpień 2010)

Zauważmy, że tak jest prawie zawsze w praktyce medycznej, bo dane, na których opieramy medyczne rozumowania, pochodzą z obserwacji (która nigdy nie jest idealnie dokładna) albo z pomiaru (który zawsze obarczony jest pewnym błędem ze względu na niedoskonałość stosowanej aparatury) albo z relacji innych ludzi (które nigdy nie są w pełni wiarygodne). Jeśli więc chcemy docierać do prawdy opierając się na przesłankach branych z realnego świata, to nieuchronnie musimy zastosować sito, które pozwoli nam oddzielić niezaprzeczalne fakty od przypadkowych okoliczności, które tym faktom towarzyszyły. W medycynie do tej listy trudności, jakie wiążą się z każdą próbą wyciągnięcia obiektywnych i pewnych wniosków z niepewnych i obarczonych błędami obserwacji rzeczywistego świata, dochodzi naturalna niepowtarzalność i nieprzewidywalność zjawisk biologicznych. Dlatego każda **pojedyncza** obserwacja medyczna jest naukowo prawie bezwartościowa. Powiedzmy, że zaobserwowaliśmy jakieś zjawisko u pewnego pacjenta. Być może ten pacjent był typowy i to, co zaobserwowaliśmy, może charakteryzować całą zbiorowość ludzi (rys. 5.6 po lewej stronie). To by była korzystna sytuacja. Ale może się też zdarzyć, że osoba czy osoby u których zaobserwowano rozważany efekt

w określonym sensie „odstaje” od zbiorowości (rys. 5.6 po prawej stronie). W takim przypadku wnioskowanie o całej zbiorowości na podstawie pojedynczego zaobserwowanego faktu okaże się zawodne.

Rozważmy konkretny przykład:

Załóżmy, że pacjent X wyzdrowiał z choroby Y po zastosowaniu leku Z. Czy to znaczy, że wszystkim chorym na chorobę Y należy podawać lek Z (rys. 5.7)?



Rysunek 5.7. Przykład wnioskowania medycznego wymagającego statystyki

Otóż takie postępowanie byłoby nie uzasadnione. Mogło się przecież zdarzyć, że swoje wyzdrowienie pacjent X zawdzięczał własnej odporności, a zastosowane leczenie miało tu drugorzędne znaczenie. Mogło też być tak, że choroba Y miała u pacjenta X nietypowy przebieg – na przykład była wywołana przez mniej zjadliwą odmianę wirusa. Mogło wreszcie być tak, że konkretna partia leku Z, który zażywał pacjent X, miała jakiś nietypowy przypadkowo dodany składnik, i to właśnie on uleczył pacjenta, a nie główny preparat stanowiący istotę leku Z. Wtedy inne partie leku Z, pozbawione tego dodatkowego składnika – okażą się nieskuteczne. No i wreszcie możliwe jest, że wyzdrowienie wywołał jakiś inny czynnik, o którym ani pacjent ani lekarz nie wiedzieli.

Tak więc każda **pojedyncza** obserwacja medyczna jest obarczona licznymi czynnikami losowymi, jest niepewna. Dla uzyskania pewności naukowej, koniecznej do tego, by określoną procedurę medyczną zaakceptować do

powszechnego użytku w ramach paradygmatu *Evidence Based Medicine*, jest bezwarunkowo wymagane opierania wnioskowania na **serii** obserwacji. Co więcej – ważne jest, żeby były to obserwacje u grupy osób wyodrębnionych ze zbiorowości w sposób losowy (rys. 5.8).



Rysunek 5.8. Badania statystyczne powinny się prowadzić na bazie obserwacji wyodrębnionych w sposób losowy. (Źródło: <http://alko-hero.pl/images/pionki.jpg> - sierpień 2010)

Dopiero wtedy, gdy określone zjawisko da się zaobserwować wielokrotnie w podobnej formie – można mówić o naukowo stwierdzonym fakcie. Pojawia się jednak trudność. Jak wyciągać wnioski na podstawie zbioru obserwacji, skoro każda z nich jest trochę inna, indywidualna, niepowtarzalna?

I właśnie statystyka dostarcza nam tych praktycznych narzędzi, dzięki którym możemy wypowiadać opinie i sądy całkowicie pewne opierając się na niepewnych danych.

Co można osiągnąć z jej pomocą?

Po pierwsze można z wielu obserwacji wyliczyć jeden wskaźnik, który te wszystkie obserwacje najlepiej reprezentuje. Można udowodnić, że jest on wolny od błędów, które obciążają każdą z rozważanych obserwacji z osobna. Taki wskaźnik nazywa się miarą tendencji centralnej. Może to być średnia, ale jest także mnóstwo innych możliwości (mediana, wartość modalna itp.). Te różne wskaźniki oferowane przez statystykę, mają różne zalety, więc się je starannie dobiera (rys. 5.9).

Po drugie można dokładnie odpowiedzieć na pytanie, jak dobrze użyta miara tendencji centralnej reprezentuje wszystkie rozważane dane. W tym celu ustalamy, jaka jest miara rozrzutu rzeczywistych danych wokół średniej. Ta miara (nazywana wariancją) pozwala ocenić, czy zaobserwowana różnica tendencji centralnych ma rzeczywistą wartość naukową, czy też jest wynikiem

zbiegu okoliczności.

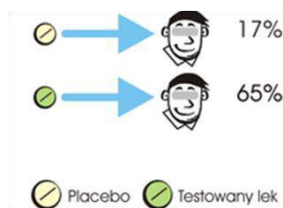
Zmienna	Statystyki opisowe (NadciśnienieWst (E5 AK37))							
	N ważnych	% Ważnych	Średnia	Średnia przycięta 5,00 %	Średnia Winsora 5,00 %	Statystyka Grubbsa	p	Mediana
BMI	28	84,85	28,129	28,1254	28,0353	1,858603	1,00000	27,8964
Ciśnienie skurczowe	33	100,00	143,697	142,7586	143,2121	2,151475	1,00000	141,0000
Cholesterol całkowity	30	90,91	216,800	213,8077	213,4333	3,315422	0,01286	209,5000
HDL	28	84,85	40,536	40,0385	40,4286	2,654520	0,25434	37,5000
LDL	29	87,88	130,186	129,2593	129,9655	2,417538	0,64042	131,2000
Triglicerydy	30	90,91	228,033	200,6538	220,9667	2,902362	0,10275	166,0000

Rysunek 5.9. Przykładowe miary tendencji centralnej wyznaczone na podstawie komputerowej analizy danych medycznych (Źródło: http://www.statsoft.pl/czytelnia/artykuly/Wspomaganie_analazy_danych.pdf - sierpień 2010)

To jest ważny element wnioskowania medycznego, który zilustrujemy na przykładzie.

Wyobraźmy sobie, że została wynaleziona nowa metoda leczenia. Żeby sprawdzić, czy jest ona lepsza niż dotychczas stosowana musimy wykonać serię obserwacji, lecząc część pacjentów nową metodą, a część metodą dotychczas stosowaną. Obserwujemy wynik, na przykład ustąpienie dolegliwości.

Ważne jest, żeby pacjenci nie wiedzieli, którą metodą są leczeni, żeby uniknąć sugestii. Wiedzy o tym, kto jest jak leczony nie ma także personel medyczny. Tak prowadzony eksperyment znany jest jako podwójnie ślepa próba (Rys. 5.10).

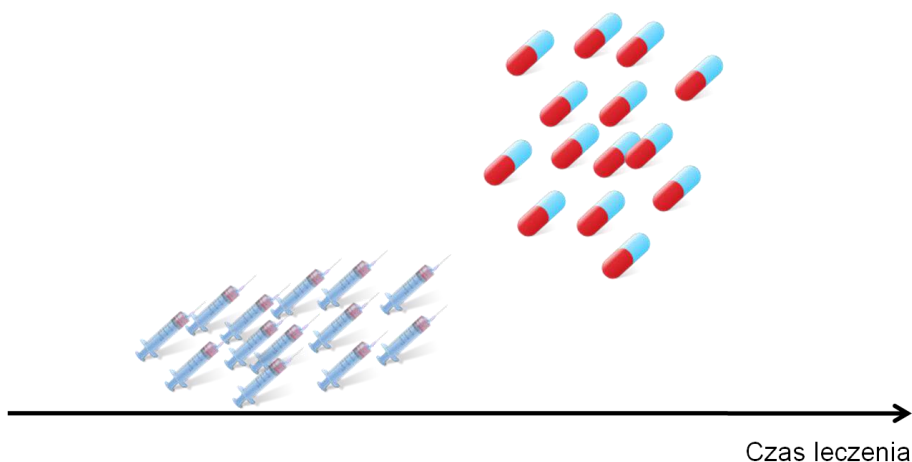


Rysunek 5.10. Podwójnie ślepa próba: niektórym pacjentom podaje się badany lek, a innym placebo (środek tak samo wyglądający, jak lek, ale nie zawierający badanej substancji). Pacjent nie wie, co dostaje, a lekarz także nie wie, którego pacjenta leczy prawdziwym lekiem, a któremu podaje placebo (Źródło: <http://pl.wikipedia.org/wiki/%C5%9Alep%C3%B3r> – sierpień 2010)

Wyobraźmy sobie, że po odkodowaniu informacji, kto był jak leczony i po przeliczeniu wyników okazało się, że pacjenci leczeni nową metodą mają średnio lepsze wyniki. Czy jest to już powód do świętowania sukcesu?

Niestety nie, bo trzeba najpierw zbadać **wariancje**, czyli rozrzut wyników w obu grupach. Jeśli różnica średnich jest stosunkowo duża, a wariancje są małe – to

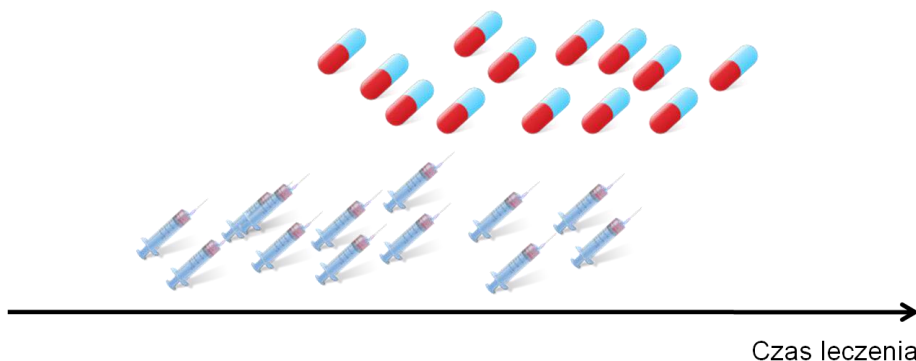
możemy mówić, że rozważany efekt został udowodniony. Przykładowo na rysunku 5.11. porównano wyniki leczenia uzyskane za pomocą pewnego leku podawanego w zastrzykach i tego samego leku podawanego w pigułkach. Rysunek sporządzono w taki sposób, że ilekroć kończono (z pozytywnym wynikiem) leczenie jakiegoś pacjenta, to określano czas jego leczenia i zaznaczano ponad właściwym miejscem osi czasu leczenia odpowiedni symbol (strzykawki albo pigułki), pokazujący jak długo musiał być leczony pacjent daną metodą. Obraz przedstawiony na rysunku 5.11 nie pozostawia wątpliwości: wyraźnie widać, że średni czas leczenia przy użyciu zastrzyków był wyraźnie mniejszy niż średni czas leczenia przy użyciu pigułek, zaś obie grupy (i pacjentów leczonych zastrzykami i pacjentów leczonych pigułkami) wykazywały mały rozrzut. Sprawę można uznać za przesądzoną: leczenie zastrzykami jest lepsze (inna rzecz, że mniej przyjemne dla pacjenta).



Rysunek 5.11. Hipotetyczny przykład porównania skuteczności leczenia, wskazujący na większą skuteczność leczenia zastrzykami.

Jeśli jednak różnica średnich jest mała, a wariancje w obu porównywanych grupach są duże (jak to przykładowo rys 5.12), to nadal jest prawdopodobne, że wynik jest przypadkowy – i na Nobla trzeba jeszcze poczekać ©. Warto może tylko dodać, że jeśli się zbierze więcej obserwacji, to wnioskowanie może być ostrzejsze i wniosek (o wyższej skuteczności zastrzyków) da się łatwiej wykazać nawet przy tak dużych wariancjach obu grup, jak to pokazano na rysunku 5.12. Taka już bowiem jest ta statystyka, że lepiej działa i prowadzi do subtelniejszych wniosków, gdy jest dużo obserwacji! Tym bardziej warto ją więc stosować w przypadku posiadania dostępu do dużych szpitalnych baz danych bo można wtedy wykryć prawidłowości i współzależności, których nikt wcześniej nie odnotował i które staną się intelektualną własnością odkrywcy.

Używanie statystyki jest łatwe i trudne zarazem.



Rysunek 5.12. Hipotetyczny przykład porównania skuteczności leczenia, nie dający podstaw do wydania kategorię sąd.

Dzięki wszechobecnym dziś komputerom podstawowe obliczenia statystyczne można przeprowadzić prawie bez wysiłku, otrzymując w mgnieniu oka wyniki – idealnie dokładne z matematycznego punktu widzenia. Takie same rezultaty jeszcze dwadzieścia lat temu wymagały ogromnego trudu rachunkowego. Nie oznacza to jednak, że statystyka stała się łatwa. Poprawny wynik statystycznego rozumowania można bowiem uzyskać tylko wtedy, gdy poprawnie postawimy pytanie, gdy skorzystamy z odpowiedniego narzędzia dla uzyskania odpowiedzi, oraz – co bywa najtrudniejsze – poprawnie zinterpretujemy wyniki.

Ale to już temat znacznie wykraczający poza zakres niniejszego skryptu, przeto nie będzie on tu szerzej omawiany.

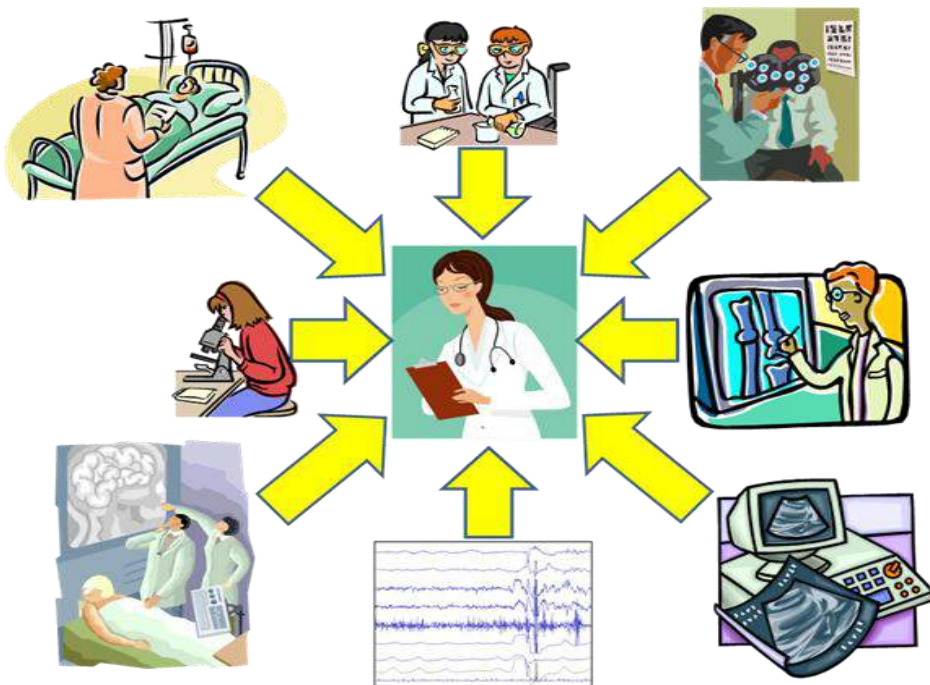
ROZDZIAŁ 6

KOMPUTEROWE PRZETWARZANIE SYGNAŁÓW MEDYCZNYCH

6.1. Komputerowe przetwarzania sygnałów medycznych jako poszerzenie możliwości zmysłów lekarza-diagnosty.....	100
6.2. Szczególna rola sygnałów bioelektrycznych.....	106
6.3. Problem standardu zapisu sygnałów biomedycznych na przykładzie EKG.....	110
6.4. Standard zapisu dowolnych sygnałów medycznych	115
6.5. Zagadnienia interoperacyjności.....	118
6.6. Inicjatywa Open ECG	120
6.7. Reprezentacja sygnałów medycznych w systemach komputerowych .	121

6.1. Komputerowe przetwarzania sygnałów medycznych jako poszerzenie możliwości zmysłów lekarza-diagnosty

Informatyka medyczna rozwija się w wielu kierunkach, jednak bezspornie największe sukcesy odnosi w obszarze wspomaganie technicznego procesów diagnostycznych. Budowane obecnie urządzenia służące medycynie pozwalają odbierać i interpretować przeróżne sygnały, pochodzące z ciała człowieka. Są to w większości sygnały reprezentujące aktywność różnych narządów i funkcjonowanie różnych naturalnych systemów składających się na ciało człowieka. Dzięki temu lekarz stawiający diagnozę ma znacznie bogatszą wiedzę na temat rzeczywistego stanu organizmu pacjenta, gdyż obok świadectwa własnych zmysłów i obok swojej wiedzy – może dysponować dużą liczbą dodatkowych informacji, dostarczanych właśnie przez te różne, coraz doskonalsze urządzenia diagnostyczne (rys. 6.1).



Rysunek 6.1. Lekarz obecnie podczas stawiania diagnozy wspomagany jest przez wiele różnych rodzajów systemów technicznych informujących – za pośrednictwem różnych sygnałów - o stanie pacjenta.

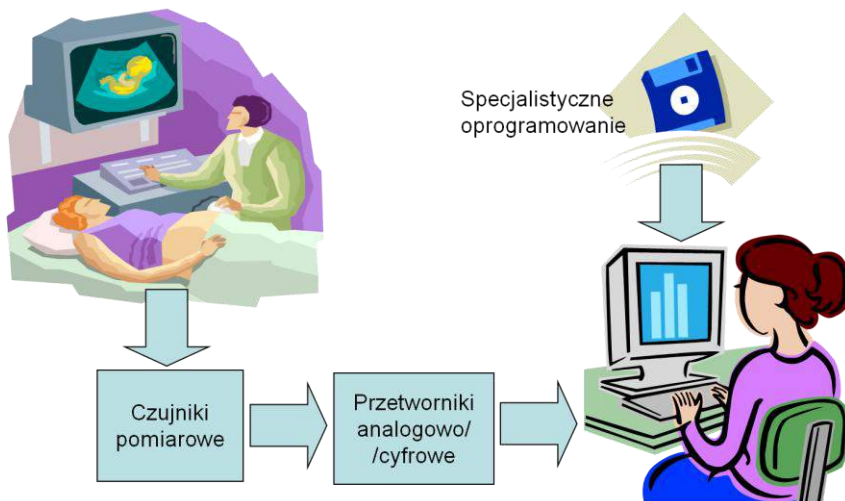
Postęp w tym zakresie jest większy i szybszy niż w innych działach Informatyki Medycznej.

Organizm człowieka jest niesłychanie 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. Ważną cechą sygnałów biomedycznych jest to, że pozwalają one na obiektywną ocenę stanu zdrowia także całkowicie nieprzytomnych pacjentów, gdy inne sposoby pozyskania informacji są niedostępne (rys. 6.2).



Rysunek 6.2. Aparatura pozyskująca sygnały medyczne jest szczególnie przydatna w przypadku konieczności oceny stanu nieprzytomnych osób

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. Sygnały rejestrowana bywają różne, ale struktura toru pomiarowego jest zwykle podobna (Rys. 6.3).



Rysunek 6.3. Typowa konfiguracja aparatury do zbierania sygnałów diagnostycznych

Bogactwo różnych procesów fizycznych i chemicznych towarzyszących aktywności narządów i tkanek pacjentów zarówno w zdrowiu, jak i w chorobie, prowadzi do tego, że w systemach informatyki medycznej spotkać można bardzo różne sygnały, pozyskiwane za pomocą różnej aparatury i służące do oceny różnych narządów i do analizy różnych aspektów ich działania.

Sygnały pojawiają się w wielu specjalnościach medycznych, a sposób ich zbierania i interpretacji bardzo silnie zależy od tego, z jakim narządem mamy do czynienia i jaką jego (ewentualną) chorobę chcemy wykryć. Z sygnałami mamy w medycynie do czynienia na dwa sposoby. Są one mierzone i oceniane jednorazowo podczas postępowania diagnostycznego, albo są w ramach tzw. monitorowania pacjenta, które obejmuje sytuacje, w których sygnały odbiera się i analizuje nieprzerwanie przez dłuższy czas. Pierwszą z omawianych sytuacji każdy z Czytelników zapewne zna z własnego doświadczenia, bo czy jest ktoś, kto nigdy w życiu nie mierzył temperatury ciała w celu wykrycia ewentualnej gorączki? A czymże innym jest taki pomiar, jak nie odebraniem i zinterpretowaniem pewnego biologicznego sygnału (ciepłoty ciała – rys. 6.4). Pechowcy mieli już pewnie nie raz robiony elektrokardiogram, innym badano wzrok albo słuch – wszystko to były badania oparte na takim czy innym pozyskiwaniu z ciała pacjenta sygnałów o znaczeniu diagnostycznym – i na ich interpretacji. Zarówno w pozyskiwaniu potrzebnych sygnałów jak i w ich interpretacji wykorzystywane bywają komputery – i dlatego mówimy o tej sprawie właśnie w książce poświęconej informatyce medycznej.



Rysunek 6.4. Banalny pomiar temperatury jest w istocie pozyskiwaniem sygnału o znaczeniu diagnostycznym (Źródło: <http://www.inspirander.pl/files/wychowanie/goraczka%20czesty%20towarzysz%20infekcji.jpg> – sierpień 2010)

Aparatura do rejestracji i interpretacji sygnałów biomedycznych bywa niekiedy bardzo skomplikowana. Jako przeciwieństwo prostego pomiaru nieskomplikowanego sygnału pokazanego na rysunku 6.4. na rysunku 6.5. pokazano przykład odbioru sygnałów od najbardziej skomplikowanego narządu, jakim jest mózg człowieka. Odpowiednia technika nazywa się elektroencefalografią (w skrócie EEG).



Rysunek 6.5. Badania elektroencefalograficzne (Źródło: <http://berkeley.edu/news/media/releases/2008/12/images/eeg.jpg> - sierpień 2010)

W odróżnieniu od pozyskiwania sygnałów na potrzeby diagnostyczne, co ma zwykle charakter jednorazowego badania (ewentualnie powtarzanego po jakimś czasie w celach kontrolnych) możemy także rozważać inne zadanie: **monitorowanie** pacjenta. Wiąże się ono ze stałym odbiorem i ciągłą analizą sygnałów przez pewien okres czasu. Urządzenia do rejestracji i analizy sygnałów muszą być połączone z ciałem pacjenta w sposób na tyle trwały, żeby zbieranie potrzebnych sygnałów nie napotykało na istotne przeszkody (rys. 6.6).



Rysunek 6.6. Pacjent dołączony do aparatury zbierającej sygnały w celu monitorowania (Źródło: http://publications.nigms.nih.gov/findings/mar07/otto_files/images/image11.png - sierpień 2010)

Monitorowaniu poddawani są zwykle pacjenci na tak zwanych OIOM (Oddziałach Intensywnej Opieki Medycznej), pacjenci w trakcie operacji ale także w okresie przed- i pooperacyjnym, pacjentki z zagrożoną ciążą w okresie okołoporodowym oraz podczas prowadzenia samego porodu a także osoby u których wystąpił poważniejszy problem kardiologiczny (na przykład zawał), który został wprawdzie wyleczony, ale lekarz zalecił stały nadzór. W każdej z tych sytuacji zachodzi potrzeba ciągłego pozyskiwania sygnałów, ich dyskretyzacji (doprowadzenia do formy cyfrowej), często filtrowania (odszumiania), analizy i rozpoznawania wzorców, alarmowania (gdy potrzeba), wreszcie archiwizacji i udostępniania tych cyfrowo zapisanych sygnałów. Jak

wspominano w rozdziałach 3 i 4 – w nowoczesnych systemach szpitalnych sygnały biomedyczne wchodzą w skład rekordu pacjenta i mogą być przeglądane wraz z innymi jego danymi.

Co ciekawe i charakterystyczne: rejestrowane i analizowane sygnały mogą być bardzo różne. Za chwilę podanych będzie szereg przykładów ilustrujących tę tezę. Natomiast wymienione wyżej etapy obróbki tych sygnałów są z informatycznego punktu widzenia podobne.

Przykłady sygnałów biomedycznych są zależne od specjalności medycznej lekarza gromadzącego wyniki badań (i oczywiście od przypuszczalnego rodzaju choroby, która trapi pacjenta). Lista bardziej znanych procedur diagnostycznych realizowanych przy użyciu sygnałów obejmuje między innymi: elektrokardiografię (kardiologia), elektroencefalografię i elektromiografię (neurologia i psychiatria), audiometrię i elektronystagmografię (otolaryngologia), kardiokografię (położnictwo), spirometrię (pneumonologię) czy elektrookulografię i elektoretinografię (okulistyka).

Tabela 6.1. Przykładowa lista sygnałów używanych w informatyce medycznej

<i>Typ sygnału</i>	<i>Przykład badania</i>
Mechaniczny	Rejestracja: <ul style="list-style-type: none"> • ciśnienia krwi; • ruchów oddechowych; • ruchów organizmu, drgań; • siły wywieranej przez kończyny; • przepływu płynów i gazów ustrojowych;
Elektryczny	Rejestracja sygnału odwzorowującego: <ul style="list-style-type: none"> • pracę serca (elektrokardiogram); • mózgu (elektroencefalogram); • mięśni (elektromiogram); • jelit (elektrointestinogram);
Magnetyczny	<ul style="list-style-type: none"> • magnetokardiografia;
Chemiczny	<ul style="list-style-type: none"> • rejestracja zmian stężenia hormonów we krwi; • inne analizy laboratoryjne;
Akustyczne	<ul style="list-style-type: none"> • badanie słuchu; • rejestracja mowy;
Ciepłne	<ul style="list-style-type: none"> • pomiar temperatury ciała;

Omawiając w tym rozdziale kwestie związane z komputerowym gromadzeniem, przetwarzaniem, analizą i interpretacją różnych sygnałów biomedycznych celowo usuniemy chwilowo z pola widzenia wszystkie te formy pozyskiwania informacji o żywym organizmie, które prezentują wyniki w formie obrazu.

Robimy tak z tego powodu, że rozległa i bogata w szczegóły problematyka obrazowania medycznego będzie omawiana w następnym rozdziale, więc musimy dążyć tu do eliminacji powtórzeń.

Mówiąc o sygnałach medycznych możemy mieć na myśli bardzo różne wielkości fizyczne i chemiczne, których rejestracja i analiza uzupełnia obserwacje, jakie lekarz może poczynić za pomocą własnych zmysłów przeprowadzając badanie pacjenta. Posiadanie tych dodatkowych informacji, pozyskiwanych dzięki rejestracji i analizie sygnałów biomedycznych, bardzo istotnie pomaga w diagnostyce. Przykładowa (zdecydowanie niepełna) lista sygnałów używanych w informatyce medycznej podana jest w tabeli 6.1.

6.2. Szczególna rola sygnałów bioelektrycznych

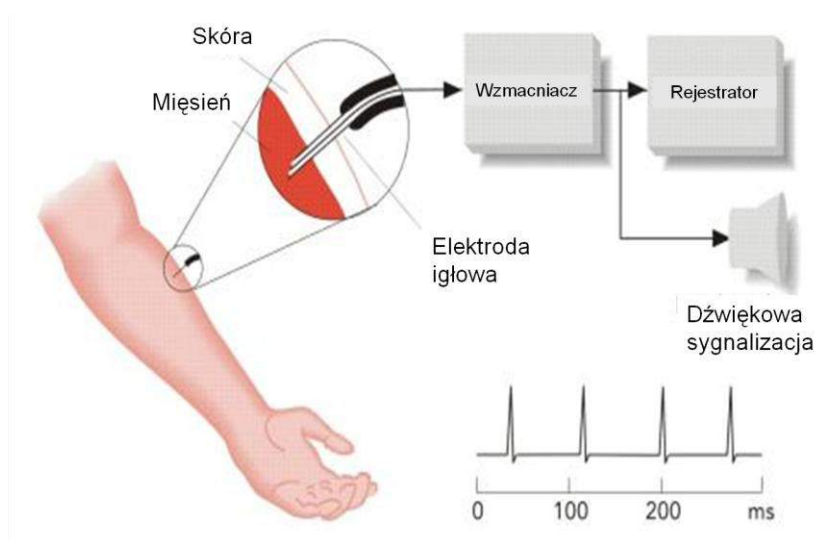
Sygnały biomedyczne, które mogą być odbierane i analizowane dla celów diagnostycznych – są często trudne do uzyskania. Natomiast do perfekcji doprowadzono obecnie sztukę pozyskiwania i analizy biopotencjałów, czyli sygnałów elektrycznych towarzyszących pracy tkanek i narządów. W związku z tym przy analizie funkcjonowania tych tkanek i narządów chętnie korzystamy właśnie z sygnałów bioelektrycznych, chociaż w istocie są one jedynie pośrednio związane z tymi procesami życiowymi, które właśnie chcemy badać.

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.

Przykładowo można wykorzystać fakt, że pod wpływem siły mięśnia jakiś element naszego ciała (na przykład ręką) 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.



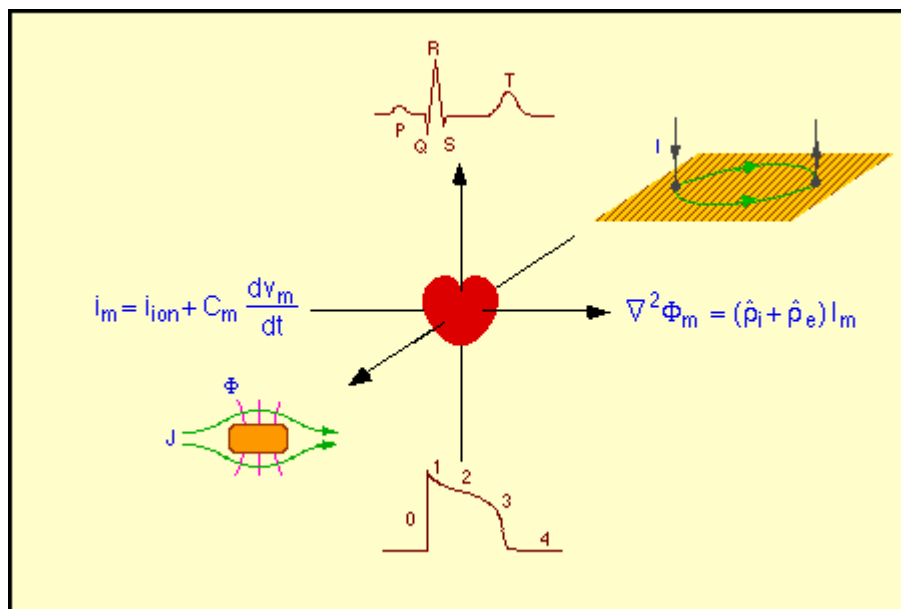
Rysunek 6.7. Często zamiast rejestrować sygnały bezpośrednio związane z aktywnością badanego narządu lepiej jest posłużyć się pomocniczym sygnałem bioelektrycznym. Na rysunku ilustruje to przykład elektromiografii – badania mięśnia poprzez analizę jego aktywności elektrycznej (Źródło: <http://www.medtek.ki.se/medicaldevices/album/Ch%206%20Measurement%20methods%20&%20values/slides/F%206-20%20Electromyography.jpg> - sierpień 2010)

Zasadniczym przeznaczeniem mięśnia jest wytwarzanie pracy mechanicznej, więc wyżej opisane sygnały mechaniczne (siły, przyspieszenia, naprężenia itd.) są najważniejszymi sygnałami diagnostycznymi, z użyciem których można oceniać, czy mięsień jest zdrowy, czy chory. Jednak w wielu przypadkach 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. 6.7). 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.

Przy okazji omawiania (skrótowego) kwestii sygnałów charakteryzujących aktywność i sprawność mięśnia warto odnotować pewne ogólniejsze 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 narzędzie, 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.



Rysunek 6.8. 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. (Źródło: http://ww2.jhu.edu/CBSL/research_theme.gif - sierpień 2010)

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. 6.8). 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 (EKG patrz rys. 6.9). Od niej też zaczniemy omawianie metod reprezentacji różnych rodzajów sygnałów medycznych w systemach informatyki medycznej.



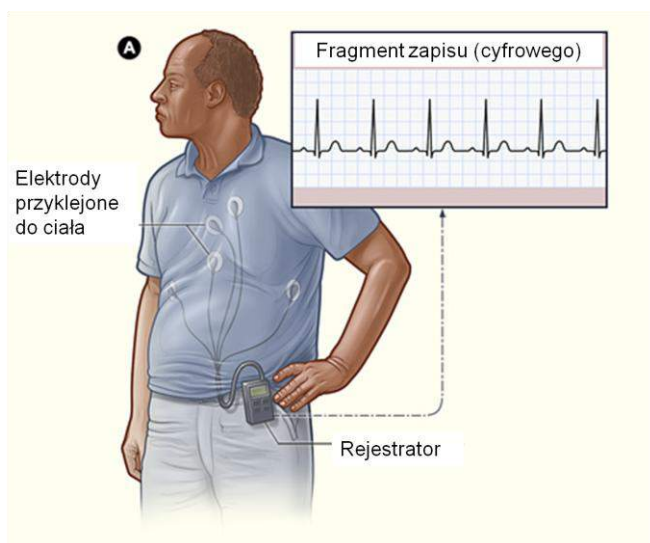
Rysunek 6.9. Najbardziej typowe pozyskiwanie sygnałów medycznych – rejestracja EKG. (Źródło: <http://www.informed.com.pl/UserFiles/Image/EKG.JPG> - sierpień 2010)

6.3. Problem standardu zapisu sygnałów biomedycznych na przykładzie EKG

Dla uporządkowania sposobów cyfrowego rejestrowania, przechowywania, przesyłania i automatycznego analizowania sygnałów EKG wprowadzono standard SCP-ECG (ang.: *Standard Communication Protocol for Electrocardiography*). Standard ten określa format i procedurę wymiany informacji pomiędzy komputerem (np. elementem szpitalnego systemu

informacyjnego) a źródłem - cyfrowym przyłóżkowym aparatem EKG z interpretacją. Podstawowe zasady sformułowane w standardzie SCP zostały opracowane podczas realizacji projektu europejskiego ECG w latach 1989-1991. Przeprowadzono wówczas inwentaryzację istniejących metod kompresji elektrokardiogramów i wdrożono mechanizmy zapewnienia jakości sygnału podczas kodowania. W roku 1993 protokół został zatwierdzony przez Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN) jako standard ENV 1064.

Przez 15 lat jakie upłynęły od czasu ogłoszenia SCP-ECG został zaimplementowany przez wielu producentów aparatury kardiologicznej, więc Czytelnik tego skryptu ma duże szanse, że się z nim spotka w eksploatowanych lub tworzonych systemach informatyki medycznej. Jednak trzeba też podkreślić, że chociaż użyteczność standardu SCP-ECG była kilkakrotnie wykazywana w międzynarodowych projektach badawczych - standard ten nie jest już obecnie rozwijany. Problematyczna okazała się zaproponowana przez projektantów elastyczność tego standardu. Z jednej strony była ona zbyt duża, umożliwiającą producentom aparatury wykorzystywanie pól specjalnych do przechowywania informacji medycznych w niekompatybilnym formacie, z drugiej strony za mała, bo rozwój technologii archiwizacji i transmisji danych sprawił, że metody kompresji sygnału proponowane w ramach standardu są dziś nieaktualne. Tymczasem metody kompresji sygnału EKG są bardzo ważne, bo przy niektórych rodzajach badań (między innymi przy tzw. badaniu holterowskim – patrz rys. 6.10) wymagana jest rejestracja sygnału przez całą dobę, co czyni kwestię kompresji sygnału bardzo istotnym zagadnieniem praktycznym.



Rysunek 6.10. Cyfrowy rejestrator sygnałów EKG stosowany w tzw. badaniu holterowskim (Źródło: http://mobiscient.net/wp-content/uploads/2010/01/holter_monitor.jpg - sierpień 2010)

Standard SCP wymaga stosowania strukturalnej postaci informacji kardiologicznej dostosowanej do schematu narzuconych sekcji, których zestawienie podaje tabela 6.2.

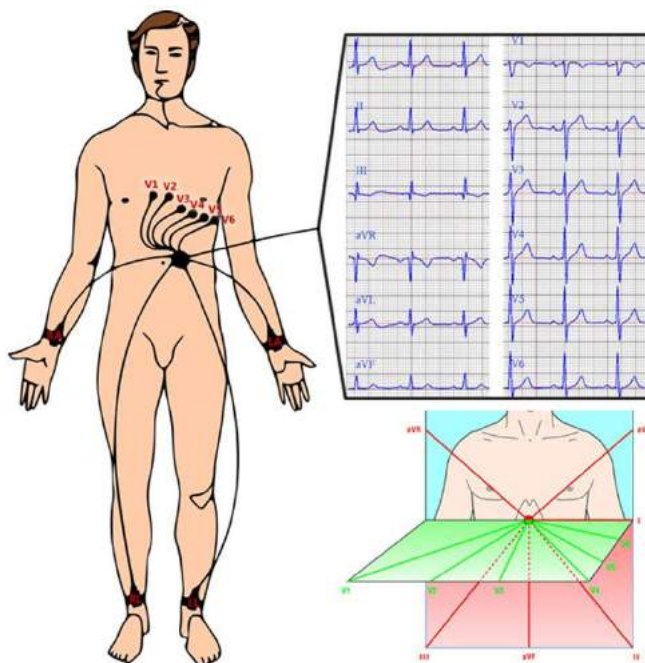
Tabela 6.2. Struktura rekordu SCP-ECG

Nazwa	Status pola	Zawartość
	Obowiązkowe	Suma kontrolna (CRC) całego rekordu (z wyjątkiem tego pola) 2 bajty
	Obowiązkowe	Rozmiar całego rekordu 4 bajty (bez znaku)
Sekcja 0	Obowiązkowe	Wskaźniki do struktur danych w rekordzie
Sekcja 1	Obowiązkowe	Informacje nagłówkowe: Dane pacjenta Dane o akwizycji sygnału EKG
Sekcja 2	Opcjonalne	Tablica przekodowań kompresji (ang.: <i>Huffman Table</i>) (jeśli używana)
Sekcja 3	Opcjonalne	Definicje użytych odprowadzeń EKG
Sekcja 4	Opcjonalne	Lokalizacje zespołów QRS (jeśli zapisano zespoły reprezentatywne)
Sekcja 5	Opcjonalne	Sygnał zespołów reprezentatywnych (jeśli zapisano zespoły reprezentatywne)
Sekcja 6	Opcjonalne	Pozostały sygnał po odjęciu zespołów reprezentatywnych (jeśli zapisano zespoły reprezentatywne) ----- Zapis rytmu (w przeciwnym przypadku)
Sekcja 7	Opcjonalne	Rezultaty pomiarów globalnych
Sekcja 8	Opcjonalne	Diagnoza tekstowa generowana automatycznie przez urządzenie interpretujące
Sekcja 9	Opcjonalne	Dane zależne od producenta aplikacji (dodatkowe informacje nie objęte standardem) ----- Weryfikacja diagnozy postawionej automatycznie
Sekcja 10	Opcjonalne	Rezultaty pomiaru kontaktu elektrod
Sekcja 11	Opcjonalne	Numer systematyczny jednostki chorobowej generowany na podstawie interpretacji automatycznej

Każda z sekcji składa się z nagłówka definiującego rodzaj i długość danych oraz z identyfikatora sekcji i wersji protokołu. Dalej sekcja ma tak zwane ciało zawierające dane opisane w nagłówku.

Format SCP umożliwia archiwizację sygnału elektrokardiograficznego o ograniczonym czasie trwania, skompresowanego lub nie, wraz z parametrami diagnostycznymi uzyskanymi w wyniku jego analizy. Ilość i układ odprowadzeń, częstotliwość próbkowania i poziom kwantyzacji oraz długość zapisu mogą być w założonych granicach definiowane przez użytkownika lub aplikację zapisującą.

Sekcja wskaźników reprezentuje spis treści rekordu SCP i służy do identyfikacji zawartości. Sekcja nagłówkowa może zawierać do 35 znaczników (tagów) opisujących podstawowe informacje dotyczące pacjenta (nazwisko, numer identyfikacyjny, wiek, data urodzenia, wzrost, waga, płeć itp.), informacji dotyczącej przyjmowanych leków, przyczyn skierowania oraz aparatury i wersji oprogramowania użytej do akwizycji i interpretacji elektrokardiogramu. Sekcja ta umożliwia także zapis tekstowy historii pacjenta.

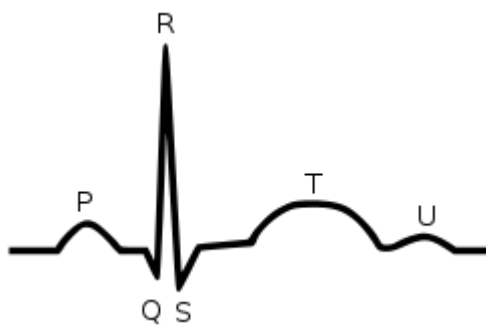


Rysunek 6.11. Typowy układ 12 odprowadzeń stosowany przy rejestracji sygnału EKG. (Źródło: http://2.bp.blogspot.com/_5Nslwo9F6bI/S_ETxuu0y-I/AAAAAAAAAgg/EI025edV69s/s1600/Ecg+electrode+placement.jpg – sierpień 2010)

Opcjonalna sekcja 2 zawiera informacje na temat sposobu zakodowania surowego sygnału EKG zapisanego w sekcjach 5 i 6. W tym miejscu mieści się także tablica przekodowań dla kompresji - kodowania bezstratnego Huffmana, opartego na entropii sygnału. Sekcja 3 zawiera definicję odprowadzeń użytych podczas akwizycji elektrokardiogramu - standard dopuszcza użycie systemów 1...255 elektrodowych, zatem obsługuje także systemy mapowania całej powierzchni ciała. Standard zawiera listy kodowe częściej stosowanych układów odprowadzeń. Najczęściej stosowany zestaw 12 odprowadzeń EKG pokazano na rysunku 6.11. Sekcja ta zawiera również informację o długości i jednoczesności zapisów w poszczególnych odprowadzeniach. Dzięki temu zapisy te nie muszą być wykonywane jednocześnie i mogą mieć różną długość.

Jeśli standard SCP jest przeznaczony do implementacji w prostym systemie diagnostycznym, to plik zawierający sekcje 0, 1, (2), 3 i 6 stanowi rekord w pełni kompatybilny ze specyfikacją. Oprócz informacji diagnostycznych może on zawierać tylko identyfikator urządzenia zapisującego i porcję sygnału surowego.

Wypełnianie kolejnych nieobowiązkowych sekcji zdefiniowanych przez standard SCP (4, 5, 7 i dalszych) wymaga zastosowania coraz bardziej zaawansowanej analizy EKG i wykorzystuje silną kardiologiczną orientację tego standardu. Wypełnienie sekcji 4 wymaga detekcji ewolucji serca (zespołów QRS – patrz rysunek 6.12), wypełnienie sekcji 7 wymaga detekcji pozostałych załamek elektrokardiogramu i wyznaczenia ich długości, natomiast do wypełnienia sekcji 8 wymagane jest użycie algorytmu diagnostycznego do klasyfikacji ewolucji serca.



Rysunek 6.12. Elementy zapisu EKG i ich oznaczenia. (Źródło:

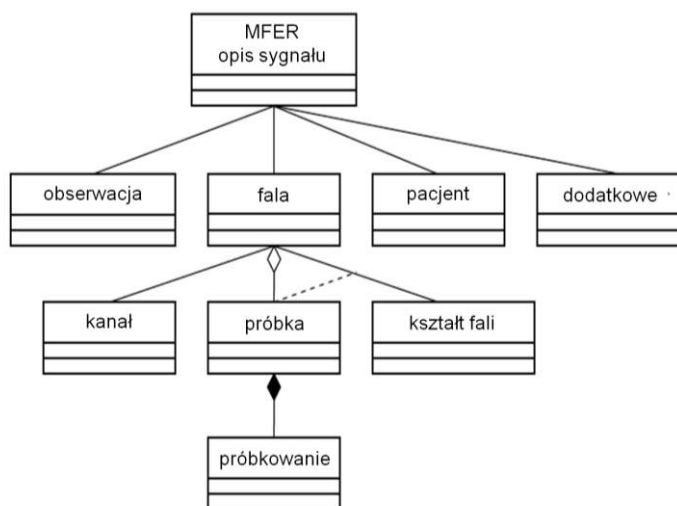
http://www.naukowy.pl/encyklopedia/Za%C5%82amek_P – sierpień 2010)

Sekcje 7, 8 i 9, wraz z sekcjami 10 i 11 są przeznaczone do implementacji w zaawansowanym elektrokardiografie wyposażonym w mocny procesor i algorytm automatycznej interpretacji zapisu.

Format SCP, oprócz standardowego bezstratnego kodowania elektrokardiogramu zawiera specyfikację algorytmu kompresji wykorzystującego parametry diagnostyczne elektrokardiogramu i dedykowanego do tego sygnału. Kompresja rozpoczyna się od interpretacji EKG i spełnia założone kryteria minimalnej stratności tylko wtedy, jeśli rezultaty ilościowe interpretacji są wiarygodne. Po detekcji i klasyfikacji zespołów QRS obliczane są granice zespołu będącego reprezentantem klasy dominującej. Zespół ten jest zapisywany jako referencyjny, a następnie w zakresie obliczonych granic czasowych odejmowany od każdej kolejnej ewolucji serca. Dopasowanie zespołu referencyjnego i kolejnych zespołów QRS przebiega na podstawie ich punktów centrujących. Dla uzyskania wysokiej zgodności sygnału i wzorca, co jest warunkiem dużej skuteczności kompresji, istotne jest bardzo dokładne wyznaczenie punktów centrujących. Sygnał różnicowy pozostały po odjęciu zespołów QRS jest następnie różniczkowany, podlega decymacji na odcinkach poza zespołem QRS i bezstratnym kodowaniu metodą Huffmana, co pozwala na jego kompresję do 25 razy. Podczas rekonstrukcji sygnał różnicowy jest najpierw odtwarzany, a następnie sumowany z referencyjnym zespołem QRS w punktach centrujących poszczególnych ewolucji serca.

6.4. Standard zapisu dowolnych sygnałów medycznych

W odróżnieniu od standardu SCP omawianego wyżej prezentowany w tym podrozdziale standard MFER (ang.: *Medical Waveform Format Encoding Rules*) służy do kodowania dowolnych sygnałów medycznych. Jego stosowanie służy głównie do ujednocnienia zapisu sygnałów surowych, jakie produkują różne urządzenia medyczne.



Rysunek 6.13. Model informacyjny sygnału zastosowany w standardzie MFER

Standard MFER nie jest ściśle dedykowany do elektrokardiografii, ale z tego obszaru zastosowań pochodzą najczęstsze doniesienia o jego używaniu. Zaletą formatu MFER jest możliwość równoczesnego rejestrowania w nim sygnałów różnego pochodzenia, takich jak polikardiografia i polisomnografia. Standard MFER został zaproponowany w 2004 roku w miejsce bardzo licznych sposobów kodowania sygnałów stosowanych przez producentów aparatury w celu uproszczenia i ujednoczenia zapisu sygnałów surowych do celów archiwizacji i badań naukowych. Standardy wymiany informacji medycznych ogólnego przeznaczenia były skomplikowane i dlatego nie zawsze możliwe do implementacji w prostych aparatach (rys. 6.13).

Format MFER zakłada maksymalną prostotę aplikacji i implementacji w celu osiągnięcia przejrzystości zapisu i stosowalności w szerokim zakresie - od prostych urządzeń do podprogramów zagnieżdżonych w aplikacjach obsługujących szpitalne systemy informacyjne. MFER jest dedykowany do kodowania **sygnałów** (rys. 6.14), natomiast kodowanie towarzyszących tym sygnałom danych medycznych (np. obrazów) pozostawiając innym standardom. Jego specyfikacja zakłada harmonizację ze standardami HL7, DICOM i IEEE 1073.



Rysunek 6.14. Przykład równoczesnej rejestracji wielu sygnałów medycznych z wykorzystaniem MFER (tzw. polisomnografii) (Źródło: http://www.koreatimes.co.kr/upload/news/080217_p14_sleepmain.jpg – sierpień 2010)

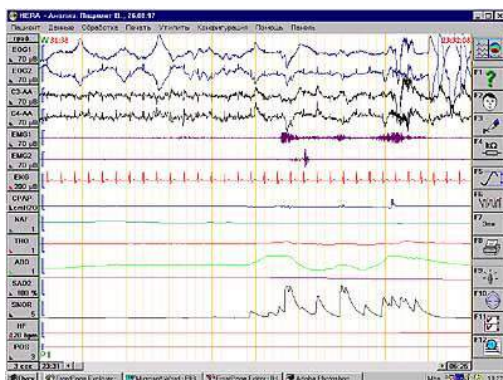
Stosowanie MFER prowadzi do narzucenia sygnałowi określonej struktury i uwzględniania tylko informacji związanych z sygnałem. Aplikacje odczytujące sygnał zakodowany zgodnie ze standardem MFER mogą zaimplementować ten

protokół tylko częściowo, w takim zakresie w jakim jest to podyktowane potrzebami wynikającymi z zastosowań. Format ten zawiera także specyfikację interfejsu operatora (przeglądarki), która jest niezależna od typu sygnału.

Intencje twórców standardu MFER można streścić w postaci trzech podstawowych reguł:

- implementacja MFER nie wpływa na indywidualne cechy użytkowe aparatury i nie ogranicza jej rozwoju,
- celem MFER jest zapewnienie łatwej wymiany i przekodowania zapisów sygnałów archiwalnych, dokładne kodowanie rejestrowanych sygnałów i adekwatny opis sygnałów wprowadzanych do diagnostyki medycznej w przyszłości.
- implementacja MFER nie wyklucza stosowania innych standardów wymiany informacji medycznych

Standard MFER koduje sygnały wielowymiarowe z podziałem na ramki czasowe. W obrębie ramek głównymi atrybutami są opis ramki i opis próbkowania, który z kolei składa się ze specyfikacji częstotliwości i rozdzielczości próbkowania. Opis ramki zawiera informację o synchronizacji sygnałów oraz opisy trzech głównych składników: bloków danych, kanałów rejestracji oraz sekwencji. Nagłówek oraz sygnał muszą być zakodowane zgodnie z regułami MFER i składać się z specyfikacji typu (definiującej atrybuty wartości i złożonej z numeru, znacznika pierwotnego i klasy) specyfikacji długości (określającej długość sekcji danych) oraz ciągu wartości, który jest podstawową treścią informacyjną przechowywaną w pliku (rys. 6.15).



Rysunek 6.15. Przykład programu zbierającego razem zgodnie z regułami MFER różne sygnały medyczne celem ich łącznej analizy i interpretacji. (Źródło: <http://www.aha.ru/~pir/english/hera/1-poly.jpg> - sierpień 2010)

MFER spełnia założenia maksymalnej elastyczności i prostoty implementacji. Wszystkie tagi mają predefiniowane wartości domyślne i wymagają definicji tylko w przypadku niestandardowego użycia. Definicje są używane w kolejności definiowania: definicja ramki obejmuje swym zasięgiem ramkę, definicja kanału pozwala ustawić odmiennie parametry wybranego kanału. Definicje użyte w nieprawidłowy sposób lub w nieprawidłowej kolejności są ignorowane. Choć MFER pozwala na kodowanie sygnałów niezależnie od stopnia ich przetworzenia, zaleca się kodowanie w tym standardzie sygnałów surowych, co pozwala aplikacjom analizującym na wykonanie niezależnych transformacji podczas interpretacji zapisu.

Format MFER może służyć do opisu każdego rodzaju sygnałów: 12-odprowadzeniowego elektrokardiogramu, 24-godzinnego zapisu holterowskiego, sygnału nadzoru kardiologicznego, wektokardiogramu, elektroencefalogramu i wielu innych. Dzięki prostej i otwartej specyfikacji budowanie aplikacji obsługujących zarządzanie sygnałami jest bardzo proste. Istnieje też wtyczka do przeglądarki Internet Explorer pozwalająca wyświetlać sygnały w formacie MFER z pomocą tej przeglądarki.

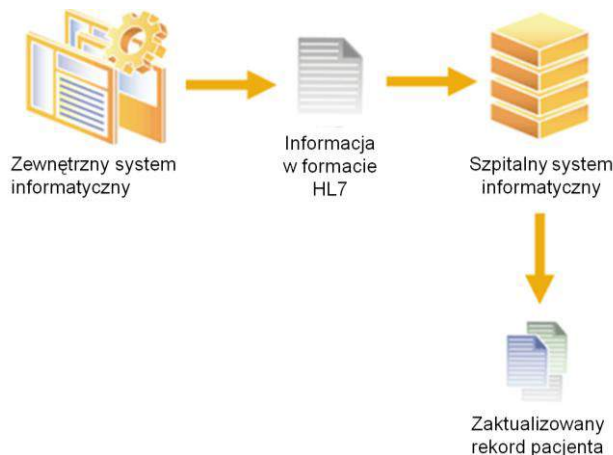
6.5. Zagadnienia interoperacyjności

Współczesne systemy informatyki medyczne powstają i są rozwijane w taki sposób, że wiele ich segmentów powstaje i rozwija się niezależnie, zwykle w oparciu o aparaturę specjalistyczną zakupywaną wraz z komputerami i oprogramowaniem. Przykładem mogą tu być skanery do tomografii komputerowej, które zwykle dysponują dobrym oprogramowaniem i sprawnym systemem gromadzenia informacji obrazowych – ale standardy stosowane w tych urządzeniach są różne, zależnie od producenta i od modelu używanego aparatu.

Okoliczność ta sprawia, że coraz częściej w kontekście informatyki medycznej mówi się o konieczności zapewnienia tak zwanej interoperacyjności, to znaczy takiego systemu uzgodnień formatów danych i sposobów ich interpretacji, żeby możliwe było wymienianie danych pomiędzy poszczególnymi modułami systemu szpitalnego oraz łączenie ich podczas gromadzenia w jednym rekordzie pacjenta. Dla wielu danych zbieranych z różnych źródeł takim elementem scalającym jest standard HL7 omawiany w rozdziale 3 (rys. 6.16).

Niestety standard HL7 jest pozbawiony specyfikacji formatu danych dedykowanego do **sygnałów** medycznych (a nie danych alfanumerycznych). Dlatego integracja informacji w postaci sygnałów, z reguły pochodzących z aparatów diagnostycznych wytwarzanych przez różnych producentów, w zintegrowanym systemie informacyjnym szpitala - napotyka w związku z tym na trudności. W wielu rozwiązaniach praktycznych zdecydowano się na użycie

zewnętrznego schematu reprezentacji, która skutkuje wbudowaniem sygnału w segmenty OBX. Nie jest to jednak rozwiązanie, które można by było uznać za optymalne w rozważanej sytuacji.



Rysunek 6.16. Zasilanie systemu szpitalnego danymi ze źródeł zewnętrznych w przypadku informacji przedstawionych w formacie HL7. (Źródło: <http://www.perceptivesoftware.com/images/hl7-agent.gif> - sierpień 2010)

Pewnym rozwiązaniem może być omawiany w rozdziale 7 standard DICOM, który w wersji 3.0 przewiduje definicje obiektów sygnałowych. Definicje takie są dostępne na przykład dla elektrokardiogramu ogólnego przeznaczenia, elektrokardiogramu ambulatoryjnego, elektrokardiogramu 12-odprowadzeniowego itp. Są one przeznaczone dla sygnałów towarzyszących obiektom obrazowym i umożliwiają ich wspólną analizę, a także umożliwiają dołączenie parametrów diagnostycznych zgodnie z formatem raportu strukturalnego. Nie jest to jednak także rozwiązanie, które można by było zaakceptować jako rozwiązanie wszystkich problemów.

Pewną nadzieję w tym zakresie stwarza omówiony wyżej protokół SCP-ECG, który określa zasady i format wymiany informacji pomiędzy systemem komputerowym a elektrokardiografem cyfrowym. Specyfikacja ta zawiera elastyczny format danych, zasady kodowania sygnału i rezultatów diagnostycznych, algorytm kompresji itp. Niestety, stosowanie standardów SCP-ECG przez różnych producentów aparatury nie gwarantuje jeszcze współpracy (ang.: *interoperability*) dwóch urządzeń. Zdarza się, że rekordy formalnie zgodne ze strukturą SCP wszystkie istotne dane medyczne zawierają w polach informacyjnych, w formacie właściwym dla producenta. Procedura testowa stwierdzająca zgodność pliku z zasadami formatu SCP została zaproponowana przez C. Zywiec i składa się z oceny zawartości rekordu SCP, formatu i struktury rekordu SCP oraz mechanizmy wymiany informacji, jeśli rekordy są przesyłane zgodnie ze specyfikacją SCP. Po wdrożeniu tego standardu okazało

się, że również inne modalności kardiologiczne (intensywna opieka medyczna, nadzór śródoperacyjny) także powinny być objęte wspólnym standardem komunikacyjnym. Rozszerzono wówczas dokumenty obowiązujących norm i pod numerem **IEEE 1073/11073** wypromowany został nowy standard (grupa standardów) zapewniający współpracę szerokiej gamy urządzeń medycznych w tym elektrokardiografów czasu rzeczywistego.

Nowy standard obsługuje następujące zastosowania:

- monitorowanie chorych podczas transportu (przewodowe i bezprzewodowe),
- usługi ogólnego przeznaczenia (np. przeglądane zdalnie i wyzwalane zdarzeniem),
- dane urządzeń zgodne z obiektywnym modelem danych, terminologią i zasadami kodowania typowymi dla sygnałów elektrofizjologicznych,
- opcjonalne składniki typowe dla specyficznych wymagań aplikacji,
- interfejsy komunikacji i współpracy sieciowej (w tym konwertery) i usługi wbudowujące dane zgodne ze standardem 11073 w obiekty HL7 i DICOM.

Dla wymiany zapisów archiwalnych, na przykład pomiędzy laboratoriami analizy snu (patrz rys. 6.10), została przeniesiona z IEEE 1073 specyfikacja ENV 14271 (*File Exchange Format*) używana w tym specyficznym obszarze. Jednak konieczność zapewnienia interoperacyjności różnych systemów zmusza do wciąż nowych wysiłków w tym zakresie.

6.6. Inicjatywa Open ECG

Konsorcjum OpenECG jest globalną inicjatywą finansowaną z funduszy europejskich mającą na celu redukcję barier w nieprzerwanym dostępie do usług kardiologicznych i integracji urządzeń przeznaczonych do zdalnego świadczenia usług medycznych (ang.: *e-health*) oraz danych w ramach osobistych rekordów medycznych. Wśród celów konsorcjum jest też promocja standardów komunikacji i formatów plików (SCP-ECG) zarówno wśród producentów aparatury, jak i wśród entuzjastów tworzących oprogramowanie dostępne na zasadzie *Open Source*. Wspierając takie działania, Konsorcjum organizuje tematyczne zawody programistyczne, w których jurorami są członkowie *Industrial Advisory Board* - przedstawiciele przemysłu, nauki i instytucji służby zdrowia. Rezultaty konkursu w postaci kodu lub gotowych aplikacji są umieszczane na witrynie konsorcjum (www.openecg.net). Są tam również dostępne darmowe narzędzia konwersji, instrukcje i przykłady użycia standardowych formatów w kardiologii. Niekomercyjne podejście do

oprogramowania i narzędzi związanych z promowanymi formatami wymiany informacji ma na celu:

- silne uniezależnienie formatów danych od producentów aparatury,
- bezwzględną gwarancję dostępności specyfikacji, przykładów wsparcia technicznego i narzędzi,
- przejrzystość procedur zarządzania danymi.

W zakresie działalności konsorcjum jest również udzielanie pomocy i porad programistom (na zasadzie *helpdesk*) zmierzającym do implementacji standardów komunikacyjnych, a także weryfikacja ich dokonań poprzez testowanie zgodności z formatami SCP-ECG, HL7 i DICOM plików generowanych przez nowo wytwarzane aplikacje. Wreszcie, konsorcjum *OpenECG* udostępnia darmowe przykłady sygnałów (przeważnie elektrokardiogramu spoczynkowego) archiwizowanych z użyciem promowanych formatów, które mogą służyć do testowania tworzonych aplikacji.

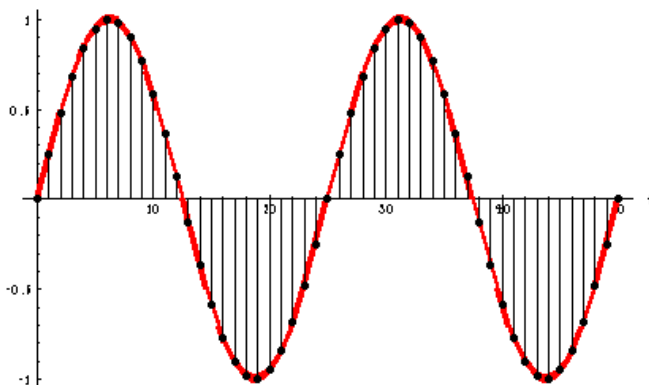
6.7. Reprezentacja sygnałów medycznych w systemach komputerowych

Użytkownicy systemów informatyki medycznej nie zwracają zwykle uwagi na to, w jakiej formie rozważany sygnał reprezentowany jest w pamięci komputera, gdyż zadowala ich to, że sygnał ten mogą w każdej chwili oglądać na ekranie (patrz rys. 6.15) lub rejestrować na papierze – i to im wystarcza. Jednak od informatyka zajmującego się tymi systemami oczekiwać można nieco pogłębionej wiedzy, dlatego na koniec tego rozdziału podajemy kilka podstawowych informacji na temat cyfrowej reprezentacji sygnałów, zakładając, że ci z Czytelników, dla których te sprawy stanowią elementarz – po prostu pominą ten tekst do końca rozdziału.

Dla tych, którzy nadal czytają, zaczniemy od stwierdzenia, że sygnał rejestrowany przez czujniki pomiarowe (patrz rys. 6.3) jest zawsze sygnałem **ciągłym**. Termin ten oznacza, że sygnał ten może być pomierzony w dowolnej chwili czasu oraz że może przyjmować dowolne wartości. Taki sygnał niestety nie nadaje się do tego, żeby być wprowadzony do systemu komputerowego i w nim w jakikolwiek sposób wykorzystywany, ponieważ na ciągłej osi czasu istnieje (teoretycznie) nieskończenie wiele wartości rozważanego sygnału, a komputer może przeznaczyć na zapis tego sygnału tylko pewną skończoną liczbę miejsc w swojej pamięci, zresztą im mniejszą, tym lepiej, bo duża zajętość pamięci oznacza wysokie koszty zarówno gromadzenia sygnału (na przykład w bazach danych) a także ich przesyłania (na przykład przez Internet).

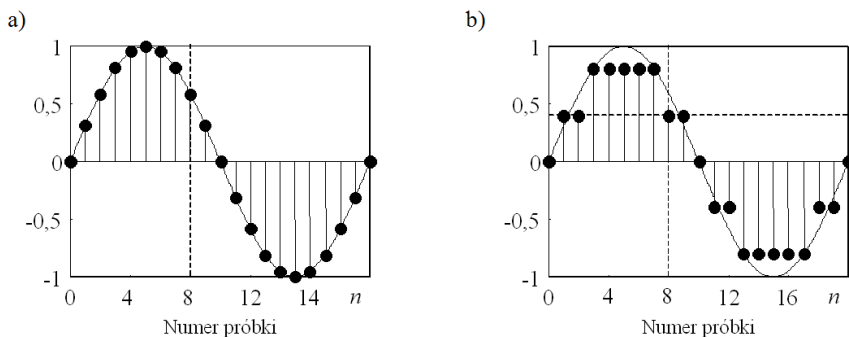
Z powodu tej pierwszej niedogodności ciągły sygnał z czujnika musi zostać poddany próbkowaniu. Zamiast **wszystkich** wartości sygnału bierzemy pod

uwagę tylko **wybrane** jego wartości w pewnych ustalonych momentach czasu. Te wybrane wartości sygnału nazywamy próbkami, a proces ich znajdowania nazywamy właśnie próbkowaniem (rys. 6.17).



Rysunek 6.17. Przy wprowadzaniu do komputera ciągły sygnał z czujnika (ciągła czerwona linia na rysunku) zamieniany jest na szereg próbek w wybranych momentach czasu (czarne pionowe kreski)

Nie dość na tym. Próbki sygnału nadal mogą mieć dowolną wartość, a komputery muszą mieć tylko takie wartości, które dadzą się zapisać w bitach i bajtach ich pamięci. Oznacza to, że sygnał po próbkowaniu dodatkowo musi być poddany kwantowaniu (rys. 6.18).



Rysunek 6.18. W pamięci komputera próbki są odwzorowywane z pewną ograniczoną dokładnością, co powoduje, że dozwolone są tylko niektóre wartości sygnału. Na rysunku ten efekt kwantowania przedstawiono w sposób przesadny, ale utrata dokładności następuje tu zawsze.

Oba procesy łącznie, to znaczy próbkowanie sygnału oraz jego kwantowanie dokonywane są w urządzeniu określonym na rysunku 6.3 jako przetwornik analogowo/cyfrowy. Dopiero tak spreparowany sygnał jest możliwy do umieszczenia w komputerze.

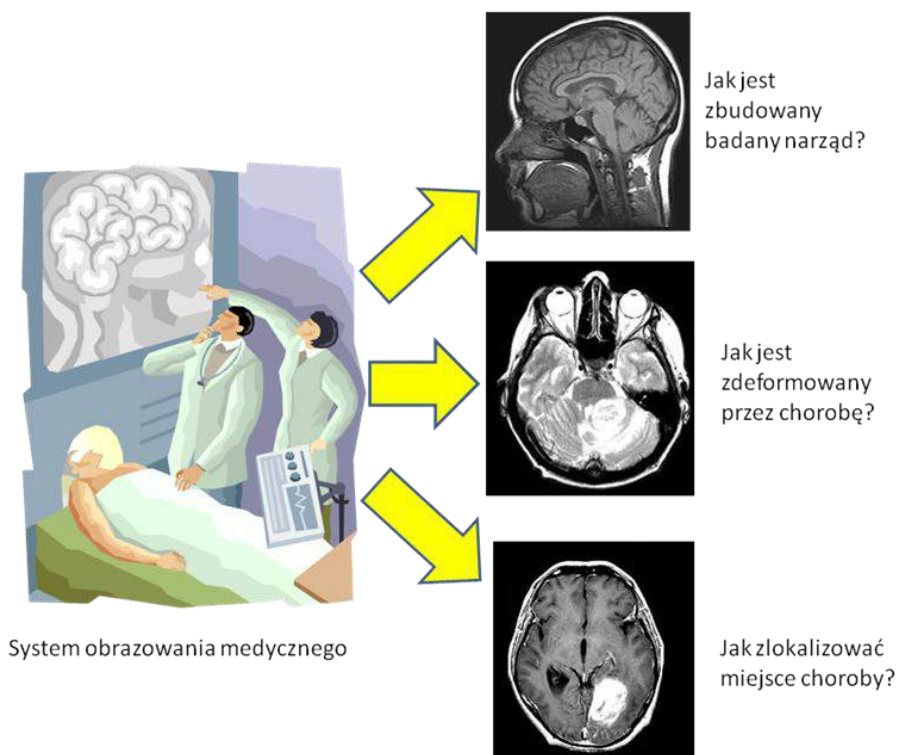
ROZDZIAŁ 7

SYSTEMY INFORMATYCZNE ZWIĄZANE Z OBRAZAMI MEDYCZNYMI

7.1. Rodzaje obrazów medycznych i cele ich pozyskiwania.....	124
7.2. Porównanie różnych typów obrazów medycznych	129
7.3. Wykorzystywanie obrazów medycznych	132
7.4. Standard DICOM	139
7.5. Uwagi końcowe.....	144

7.1. Rodzaje obrazów medycznych i cele ich pozyskiwania

Specjalną rolę w technicznym rozwoju narzędzi do zbierania informacji diagnostycznych odgrywają techniki obrazowania medycznego. Są one szczególnie ważne, gdyż informacje na temat morfologii narządów dotkniętych chorobą dobrego obrazu nic nie zastąpi. Pokazując, jak narząd jest zbudowany (a u każdego człowieka budowa tego samego narządu może być trochę inna), jak został zniekształcony przez chorobę (ma to kluczowe znaczenie dla postawienia diagnozy), a także gdzie dokładnie jest zlokalizowany (może to być potrzebne dla prawidłowego zaplanowania mało inwazyjnego zabiegu chirurgicznego) – metody obrazowania medycznego dostarczają lekarzowi niezwykle cennych, zwykle wręcz niezastąpionych danych (rys. 7.1)



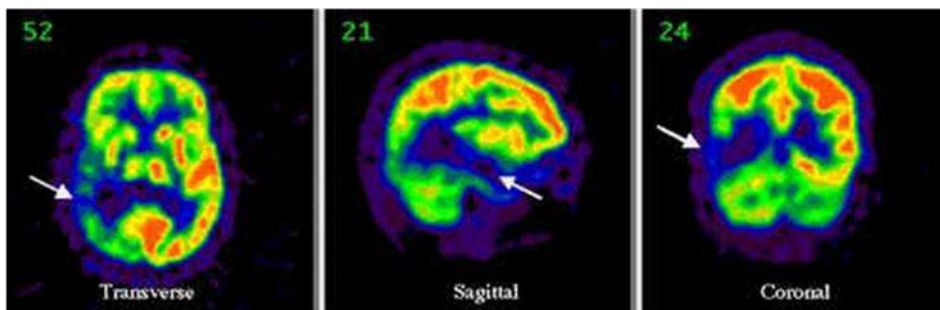
Rysunek 7.1. Różne rodzaje informacji diagnostycznych dostarczane przez współczesne techniki obrazowania medycznego

Co więcej, nowoczesne techniki obrazowania medycznego mogą obok informacji morfologicznych (czyli strukturalnych) dostarczać także informacji czynnościowych, gdyż niektóre z nich pokazują nie tylko to, jak narząd jest zbudowany i zlokalizowany, ale także to, jak pracuje (Rys 7.2). Zwłaszcza te ostatnie informacje mogą być niezwykle cennym źródłem informacji

diagnostycznych, gdyż jeśli jakaś część badanego narządu nie działa, chociaż wszystkie pozostałe pracują bardzo sprawnie – to mamy powody sądzić, że ta nieczynna część narządu jest dotknięta chorobą.



Obrazy pokazujące budowę narządu (mózgu)



Obrazy pokazujące funkcjonowanie narządu (mózgu)

Rysunek 7.2. Strukturalne i funkcjonalne informacje diagnostyczne dostarczane przez współczesne techniki obrazowania medycznego

Jeszcze sto lat temu kontakt percepcyjny lekarza z organizmem badanego pacjenta kończył się na powierzchni skóry. Wnętrze ciała było nieprzenikną zagadką. Lekarz mógł tworzyć hipotezy co do tego, jak wyglądają i jak są chorobowo zmienione narządy wewnętrzne ciała pacjenta, ale nie mógł tego wiedzieć na pewno, co powodowało, że na przykład podczas operacji chirurgicznych lekarz bywał zaskakiwany tym, co znajdował w polu operacyjnym po otwarciu klatki piersiowej, jamy brzusznej albo (zwłaszcza!) czaszki pacjenta.

Obecnie, między innymi na skutek rozwoju informatyki medycznej, mamy do dyspozycji mnóstwo sposobów pozyskiwania informacji obrazowych przydatnych do oceny stanu pacjenta i do postawienia właściwej diagnozy. Na rysunku 7.3 zebrano najważniejsze z nich, dotyczące głównie użycia specjalnych metod fizycznych (promieniowanie rentgenowskie, magnetyczny rezonans

jądrowy, ultradźwięki, izotopy promieniotwórcze itp.) dla pozyskiwania obrazów z wnętrza ciała pacjenta.



Rysunek 7.3. Niektóre narzędzia do pozyskiwania obrazów medycznych

Skrótowa charakterystyka najczęściej stosowanych technik pozyskiwania obrazów medycznych podana jest w tabeli 7.1.

Tabela 7.1. Zbiorcza charakterystyka różnych metod pozyskiwania obrazów medycznych

Skrót	Pełna nazwa	Ogólna charakterystyka	Przeznaczenie
RTG	Rentgenografia	Wykorzystuje przenikające ciało promienie X, których zróżnicowane pochłanianie w poszczególnych narządach wytwarza potrzebny obraz	Uwidocznienie struktury narządów wewnętrznych w postaci cieni o zróżnicowanej szarości

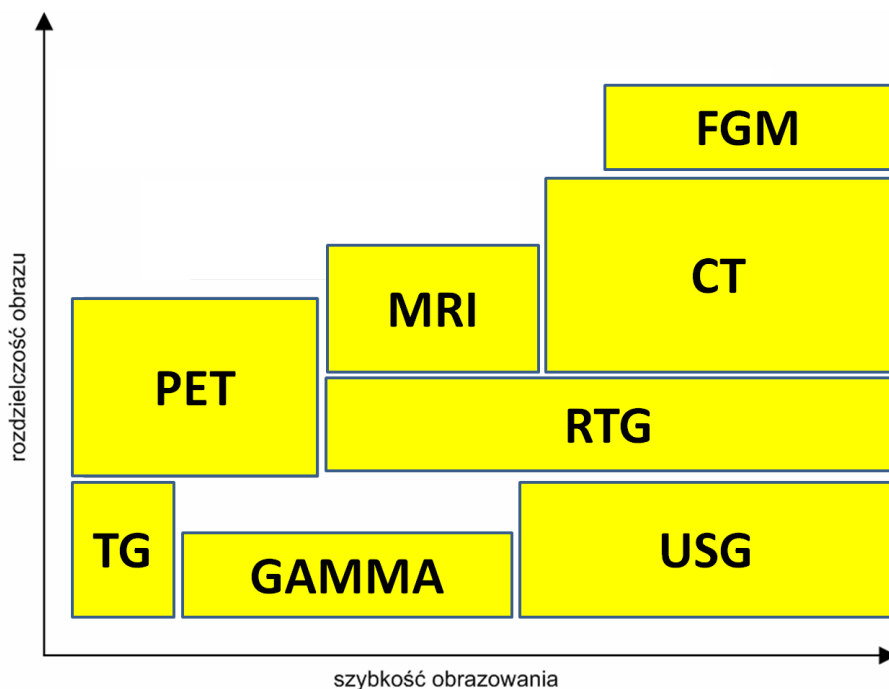
Skrót	Pełna nazwa	Ogólna charakterystyka	Przeznaczenie
CT (TK)	Tomografia komputerowa	Wykorzystuje przenikające ciało promienie X, których zróżnicowane pochłanianie odtwarzane jest na drodze obliczeń komputerowych	Uwidocznienie struktury narządów wewnętrznych w postaci przekrojów. Narządy nie przesłaniają się wzajemnie.
MRI (NMR)	Magnetyczny rezonans jądrowy (obrazowanie magnetyczne)	Umieszczenie pacjenta w silnym polu magnetycznym powoduje, że jądra niektórych atomów pod wpływem impulsu elektromagnetycznego generują mikrofałe, które się obrazuje	Różnicowanie tkanek, które przy innych zobrazowaniach są identyczne, a które różnią się zawartością określonych atomów. Można obrazować zarówno struktury jak i funkcje narządów.
Gamma (SPECT)	Metody radioizotopowe (scyntygrafia)	Wprowadzenie do ciała pacjenta substancji biologicznie czynnych znakowanych izotopami promieniotwórczymi pozwala lokalizować miejsca oraz procesy gromadzenia i metabolizowania tych substancji	Można obrazować zarówno struktury obszarów silniej i słabiej uczestniczących w metabolizmie rozważanych substancji jak i funkcje narządów śledząc tempo gromadzenia i usuwania izotopów.

Skrót	Pełna nazwa	Ogólna charakterystyka	Przeznaczenie
PET	Pozytonowa emisyjna tomografia	Krótkożyciowe izotopy promieniotwórcze emitujące w czasie rozpadu pozytony wprowadzone do wybranych narządów pozwalają dokładnie badać aktywność poszczególnych części tych narządów	Istota metody polega na dokładnym lokalizowaniu w organizmie pacjenta znakowanego izotopem związku wykazującego specyficzne zdolności wiązania się z komórkami przejawiającymi interesującą formę aktywności.
USG (US)	Ultrasonografia	Wnętrze ciała pacjenta penetrowane jest przez wiązki ultradźwięków, które odbijając się od powierzchni narządów i ich elementów składowych pozwalają na ich obrazowanie	Obrazowanie wewnętrznych narządów a także ich ruchu. Możliwy pomiar szybkości przepływu (na przykład krwi) oraz trójwymiarowa rekonstrukcja ruchomych obiektów (na przykład płodu).
TG	Termowizja (termografia)	Badana jest emisja promieniowania podczerwonego wywołanego naturalną ciepłotą ciała pacjenta	Rejestrowane jest promieniowanie cieplne powierzchni ciała pacjenta, ale pośrednio można wnioskować o strukturze i funkcjach narządów wewnętrznych śledząc na powierzchni ciała obszary o podwyższonej lub obniżonej temperaturze

Skrót	Pełna nazwa	Ogólna charakterystyka	Przeznaczenie
FGM	Fotografia/ Fotogrametria	Obserwowane jest ciało pacjenta lub jego fragmenty (na przykład komórki pobrane w czasie biopsji) w świetle widzialnym	Możliwa jest ocena struktur mikroskopowych (histologia) lub makroskopowych (diagnostyka chorób skóry lub wad postawy i zaburzeń ruchu)

7.2. Porównanie różnych typów obrazów medycznych

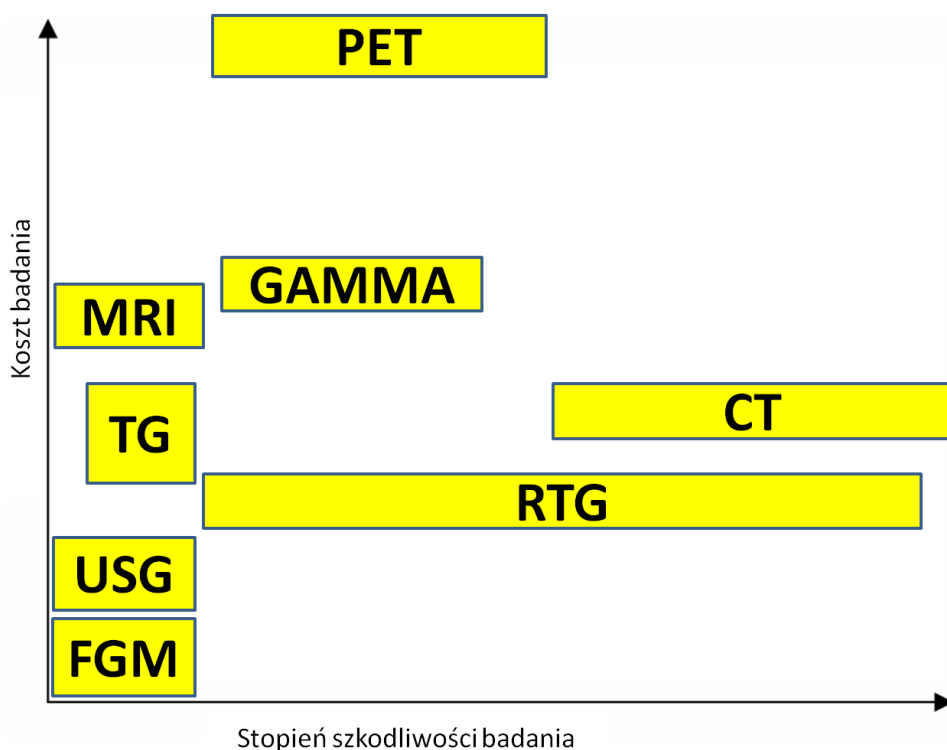
Rozważane techniki pozyskiwania obrazów medycznych można porównywać pod różnymi względami, na przykład ze względu na szybkość uzyskania obrazu oraz jego dokładność (Rys. 7.4).



Rysunek 7.4. Charakterystyka różnych metod obrazowania ze względu na szybkość uzyskania obrazu oraz jego dokładność.

Rysunek 7.4 pozwala zorientować się w **zaletach** poszczególnych metod obrazowania. Zawsze szybkie uzyskanie zobrazowania ma bardzo duże znaczenie praktyczne, zaś większa rozdzielczość uzyskiwanego obrazu pozwala dostrzec więcej szczegółów i dokładniej przeanalizować naturę i lokalizację rozważanej patologii.

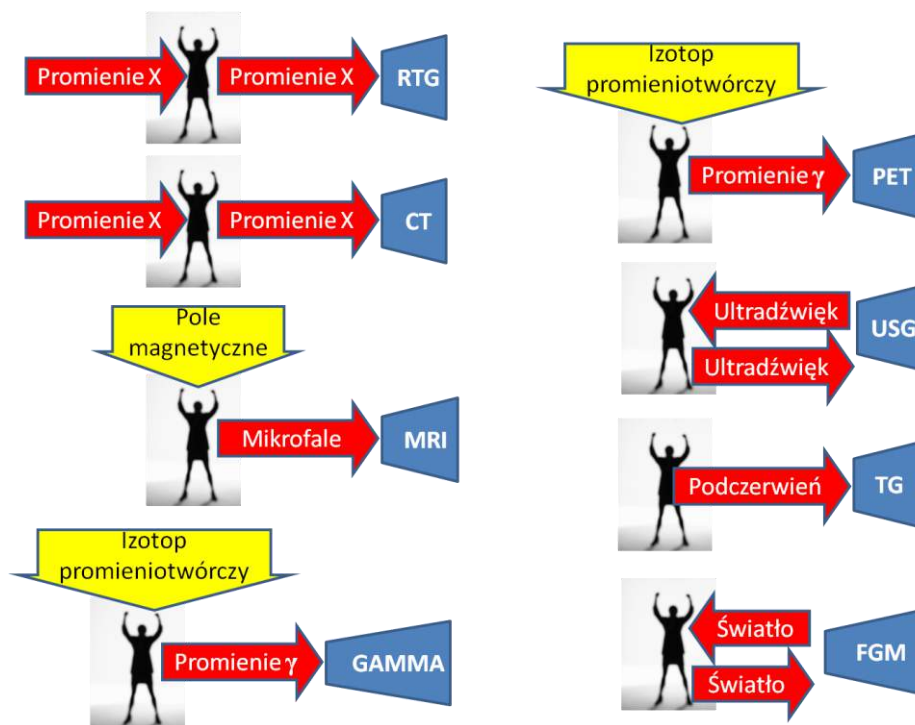
Inną płaszczyznę porównania prezentuje rysunek 7.5, na którym te same metody pozyskiwania obrazów medycznych porównano biorąc za podstawę ich wady: stopień szkodliwości badania oraz jego koszt. Te czynniki także trzeba brać pod uwagę decydując się na poddanie pacjenta określonej procedurze diagnostycznej.



Rysunek 7.5. Porównanie metod obrazowania ze względu na kryteria kosztów i stopnia szkodliwości dla pacjenta.

Z kolei na rysunku 7.6. pokazano w sposób zbiorczy (i oczywiście skrajnie uproszczony), jak uzyskuje się poszczególne omawiane zobrazowania medyczne. Ciemnymi strzałkami oznaczono przepływ sygnałów jako takich, a jasnymi - oddziaływanie tych czynników, które dopiero pośrednio stają się źródłem sygnałów. Jak widać przy klasycznym badaniu rentgenowskim (RTG) a także przy klasycznej tomografii komputerowej (CT) czynnikiem obrazującym

są wnikać do ciała pacjenta promienie X (nazywane również promieniami Rentgena), które po przejściu przez badane narządy dają po drugiej stronie ich obraz (bezpośrednio przy RTG i pośrednio, metodą obliczeniową, przy CT).



Rysunek 7.6. Zasady powstawania poszczególnych zobrażeń medycznych.

W przypadku obrazowania magnetycznego (MRI) czynnikiem sprawczym są pola magnetyczne, które powodują powstanie w organizmie pacjenta mikrofal, i te mikrofałe dostarczają informacji potrzebnych do uzyskania wymaganego zobrażenia narządów wewnętrznych, a czasem także ich funkcji. Metody izotopowe (GAMMA) funkcjonują w ten sposób, że czynnikiem sprawczym są izotopy promieniotwórcze wprowadzone do ciała pacjenta i lokujące się w interesujących narządach. Izotopy te są źródłem promieniowania γ , którego rozkład informuje o budowie i funkcjach rozważanych narządów. Analogiczny schemat obowiązuje przy metodzie pozytonowej emisyjnej tomografii (PET), która jednak charakteryzuje się użyciem innych izotopów oraz inną metodą rekonstrukcji obrazu.

W badaniu ultrasonograficznym (USG) czynnikiem penetrującym wewnątrz ciała pacjenta jest fala ultradźwiękowa, która odbija się od badanych narządów i powraca z wnętrza ciała pacjenta jako echo, którego analiza pozwala zobrazować te narządy, a czasem także śledzić ich ruch. Termografia (TG) lub

termowizja medyczna (bo w użyciu są obie nazwy) nie wymaga żadnych dodatkowych czynników generujących rozważane obrazy, ponieważ to, co się w tej metodzie rejestruje, a mianowicie promieniowanie podczerwone, jest ubocznym skutkiem wytwarzania ciepła w normalnych procesach metabolicznych zachodzących bezustannie w organizmie człowieka. Nasze ciało świeci w zakresie podczerwieni, a aparatura medyczna pełni w tym przypadku rolę wyłącznie obserwatora. Wreszcie metody fotograficzne oraz nieco bardziej skomplikowane metody fotogrametryczne (FGM) wykorzystują światło widzialne, którym trzeba oświetlić ciało pacjenta (lub jego wyodrębniony fragment – na przykład preparat histologiczny pozyskany metodą biopsji) a następnie zarejestrować obraz powstający w świetle odbitym (lub czasem przechodzącym).



Rysunek 7.7. Przykład systemu obrazowania medycznego: tomograf MRI
(Źródło: <http://www.radiology-equipment.com/uploadedpics/GE%20MRI%20Signa%20LX.JPG> - sierpień 2010).

Aparatura wykorzystywana obecnie do pozyskiwania obrazów medycznych (rys. 7.7) jest zwykle najkosztowniejszym elementem informatycznego wyposażenia szpitala. Niemniej wszystkie szpitale dążą do tego, żeby się w taką aparaturę zaopatrzyć, gdyż podnosi ona znacząco stopień trafności stawianych diagnoz, a to z kolei przyczynia się do znaczącego zwiększenia skuteczności leczenia.

7.3. Wykorzystywanie obrazów medycznych

Opisawszy wyżej obrazy medyczne jako ważny element systemów informatyki medycznej musimy się teraz zająć tym, jak te obrazy są wykorzystywane. Podstawowym sposobem ich wykorzystania jest ich gromadzenie

i udostępnianie (rys. 7.8). Służą do tego systemy informatyki medycznej określane jako RIS (*Radiological Information System*) oraz PACS (*Picture Archiving and Communication System*).



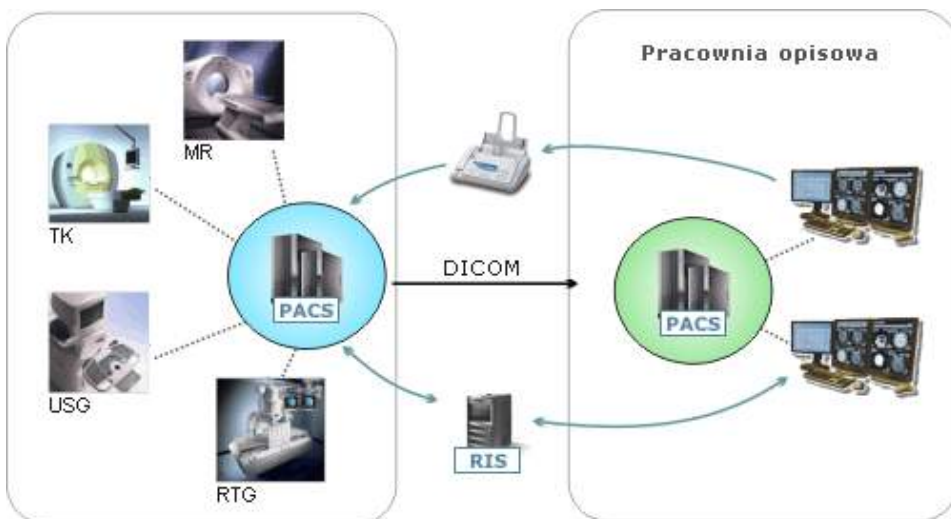
Rysunek 7.8. Podstawowy zakres czynności systemu obrazowego w medycynie

Na rysunku 7.9. przedstawiona jest przykładowa konfiguracja systemu RIS i PACS, w jakiej pracują wybrane urządzenia dostarczające obrazy medyczne (realizujące opisane w poprzednim podrozdziale metody ich pozyskiwania – porównaj także rysunek 1.18) oraz stacje diagnostyczne, z użyciem których lekarze te obrazy oceniają, interpretują i wykorzystując do celów diagnostycznych (rys. 1.19). Nie pokazano na tym rysunku osobno urządzeń które pozwalają na dostęp do obrazów medycznych prezentowanych z mniejszą dokładnością i wykorzystywanych jedynie w sposób przeglądowy (patrz rysunki 1.22 oraz 2.6), chociaż bez wątplenia są także elementy tego samego systemu.

System PACS ma następujące zadania:

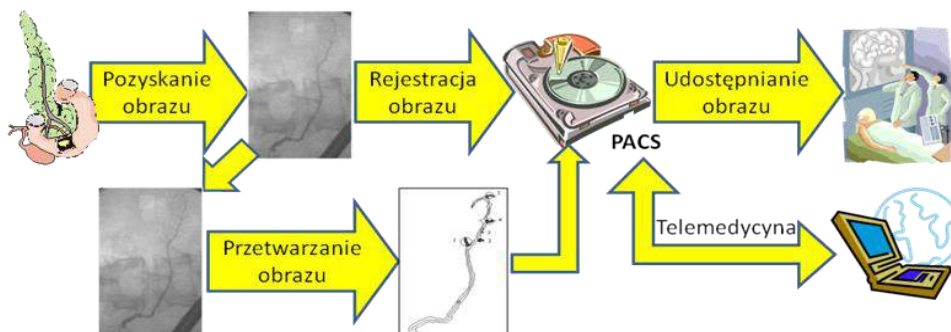
- archiwizacja obrazów - zapewnienie bezpieczeństwa składowania i udostępniania danych obrazowych
 - komunikacja z urządzeniami diagnostycznymi - automatyzacja przesyłu obrazów z urządzeń diagnostycznych do serwera PACS
 - udostępnianie danych obrazowych - umożliwienie przeglądanie danych składowanych w systemie PACS na stacjach diagnostycznych
 - autorouting - automatyczne przesyłanie danych obrazowych na stacje diagnostyczne w celu umożliwienia ich oceny przez radiologa
 - prefetching - automatyczne wyszukiwanie poprzednich badań w celach porównawczych

Warto dodać, że operowanie obrazami w dobrym systemie typu PACS lub RIS związane może być także z przekształcaniem tych obrazów w taki sposób, by po odpowiednim działaniu komputera uzyskać obraz, który możemy uznać za lepszy (w jakimś sensie) od obrazu źródłowego (pierwotnego, rozważanego w takiej postaci, w jakiej dostarczyła go aparatura pozyskująca zobrazowanie).



Rysunek 7.9. Współpraca systemów PACS i RIS z urządzeniami będącymi źródłem informacji obrazowych oraz ze stacjami diagnostycznymi, na których wykorzystuje się pozyskane obrazy. (Źródło: <http://www.e-radiologia.pl/> za pośrednictwem <http://www.univ.rzeszow.pl/ki/telemedycyna/index.php?k=teleradiologia> – sierpień 2010)

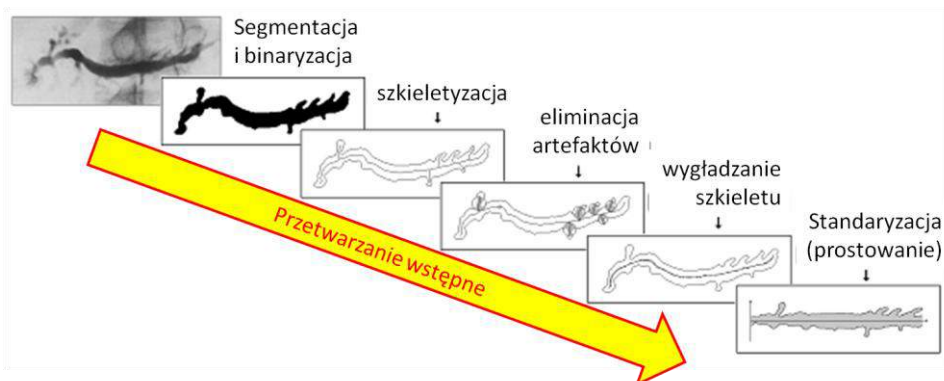
Dlatego schemat z rysunku 7.8. wzbogacić trzeba o elementy związane z przetwarzaniem obrazów medycznych, otrzymując schemat przedstawiony na rysunku 7.10, uwzględniający dodatkowo także łączność z systemami telemedycyny, których omówienie odłożymy jednak do rozdziału 9.



Rysunek 7.10. System PACS wzbogacony o opcje przetwarzania obrazów

Problematyka automatycznego przetwarzania obrazów wykracza poza zakres tego skryptu, dlatego nie będzie tu szczegółowo dyskutowana, dla kompletności obrazu pokażemy jedynie przykładowo na rysunku 7.11 sekwencję przekształceń, jakim może podlegać obraz medycznych w systemie przetwarzającym zanim zostanie przedstawiony do analizy i interpretacji –

dokonywanej przez lekarza albo realizowanej automatycznie przez system informatyczny wyposażony w elementy sztucznej inteligencji (nie omawiane tutaj).



Rysunek 7.11. Przykładowa sekwencja przetwarzania obrazu medycznego przed jego analizą i rozpoznawaniem

Ogólny schemat postępowania z obrazami medycznymi przedstawia rysunek 7.12 pokazujący więcej etapów, niż uwzględniono na rysunku 7.10. Na rysunku tym widać, że po pozyskaniu obrazu za pomocą takiej lub innej aparatury obrazującej następuje etap recepcji i określenia cech uzyskanych obrazów, oczywiście dzisiaj realizowane przy silnym wspomaganiu za pomocą odpowiednich narzędzi informatycznych. Potem najwyższej klasy specjaliści, oczywiście znowu wspomagani zaawansowanymi programami komputerowymi, dokonują opisu obrazu. Opis taki jest kluczem do diagnozy i terapii, aczkolwiek w tych ostatnich czynnościach komputer nie może już wyręczać lekarzy, gdyż z podejmowaniem decyzji diagnostycznych i terapeutycznych związana jest osobista odpowiedzialność lekarza, której żadna maszyna nie może przejąć.

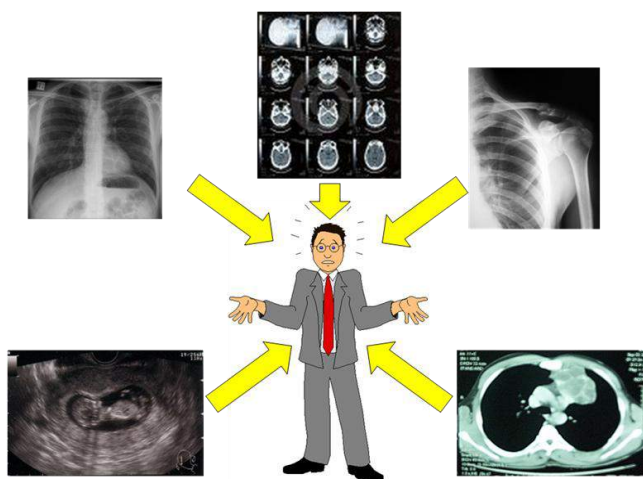
Schemat przedstawiający czynności, jakie system informatyczny może wykonać na obrazie medycznym można mimo to rozbudowywać o kolejne elementy. Są one potrzebne, ponieważ przejście od kompletnego braku do obecnego nadmiaru informacji obrazowych spowodowało, że lekarz stoi przed bardzo poważnym problemem – jak te wszystkie obrazy wykorzystać i zinterpretować (rys. 7.13). Dlatego nowoczesne systemy informatyki medycznej w tym obszarze, w którym operują obrazami medycznymi, zwykle oferują dodatkowo możliwość automatycznej **analizy obrazu**.

Analiza polega na tym, że rezygnujemy z używania oryginalnego obrazu i kontentujemy się pewnymi parametrami, które można na tym obrazie wykryć i pomierzyć. Wbrew pozorom mając znacznie mniejszą ilość informacji w raporcie powstającym w następstwie automatycznej analizy obrazu, lekarz

może często łatwiej i skuteczniej podjąć odpowiednią decyzję, niż posługując się obrazem źródłowym.

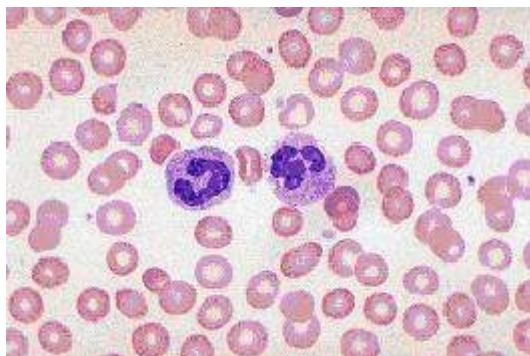


Rysunek 7.12. Sekwencja czynności związanych z pozyskaniem, analizą i wykorzystaniem obrazów medycznych. Opis w tekście.



Rysunek 7.13. Mając do dyspozycji dowolną liczbę dowolnych zobrazowań medycznych lekarz miewa kłopot z ich właściwym wykorzystaniem i interpretacją.

Rozważmy na przykład obraz przedstawiony na rysunku 7.14. Większość czytelników zaprawna potrafi rozpoznać, że jest to obraz morfologii krwi widzianej pod mikroskopem.



Rysunek 7.14. Obraz morfologii krwi obwodowej (Źródło: <http://www.doctormed.pl/new/images/Clipboard03.jpg> - sierpień 2010)

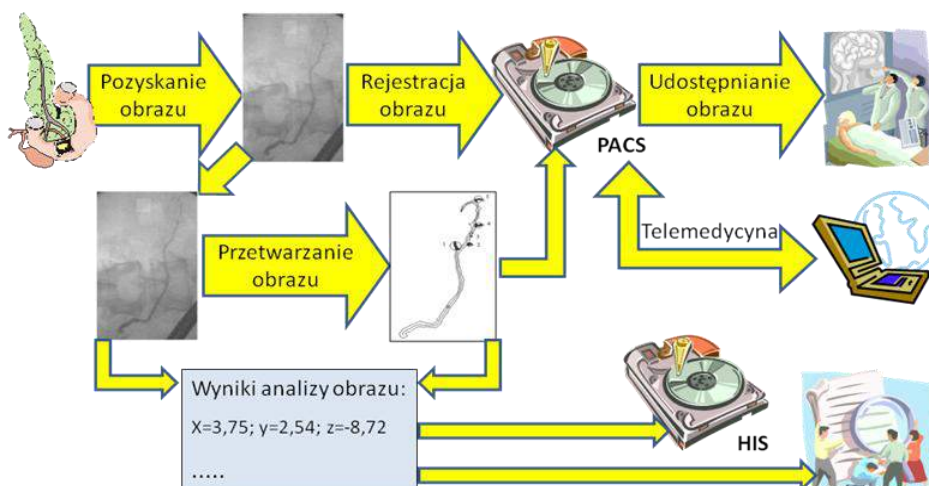
Widać na nim wszystkie krwinki wraz ze wszystkimi szczegółami. Przy zastosowaniu dużej rozdzielczości obraz ten zajmie w komputerze kilka megabajtów pamięci, a porównywanie tego obrazu z innymi obrazami - na przykład otrzymanymi dla tego samego pacjenta przed leczeniem - byłoby zadaniem trudnym i kłopotliwym. W istocie jednak obraz taki wcale nie jest lekarzowi potrzebny, bowiem decyzje diagnostyczne w przypadku obrazów morfologii krwi podejmuje się na podstawie cech określających liczbę krwinek różnych typów, a dokładniej - porównania liczby tych krwinek oznaczonych w badanej próbce krwi z wartościami granicznymi ustalonymi jako granice tak zwanej normy fizjologicznej (Rys. 7.15).

Przydatność diagnostyczna danych przedstawionych (przykładowo) na rysunku 7.15 jest większa, niż obrazu pokazanego na rysunku 7.14, a tymczasem raport z rysunku 7.15 zajmuje w pamięci komputera poniżej 1 kB, czyli ponad pięć tysięcy razy mniej w porównaniu z 5 MB potrzebnymi do zapisania obrazu 7.14. Ten przykład pokazuje przydatność analizy obrazu jako etapu jego komputerowo wspomaganą interpretacji w systemach informatyki medycznej. Co więcej, wynik analizy obrazu nadaje się do tego, żeby go łatwo wprowadzić do rekordu pacjenta w systemie HIS, co w przypadku samego obrazu jako takiego wcale takie łatwe ani oczywiste nie jest.

MORFOLOGIA - 25 PARAMETRÓW			
Krwinki białe	WBC - 7.42	[$10^3 / \mu\text{l}$]	N: 4.0 - 20.0
Krwinki czerwone	RBC - 4.09	[$10^6 / \mu\text{l}$]	↓ N: 4.2 - 5.5
Hemoglobina	HGB - 11.2	[g/dl]	N: 11.0 - 14.0
Hematokryt	HCT - 30.6	[%]	↓ N: 34.0 - 40.0
Wskaźniki czerwonych:			
MCV	74.7	[fl]	N: 72.0 - 89.0
MCHC	36.6	[g/dl]	N: 33.0 - 36.6
MCH	27.4	[pg]	N: 24.0 - 31.0
RDW	11.4	[%]	↓ N: 11.6 - 14.8
Płytki krwi	PLT - 391	[$10^3 / \mu\text{l}$]	N: 140.0 - 424.0
MPV	8.0	[fl]	N: 7.5 - 12.0
Rozmaz (pomiar automatyczny):			
wart. b.	NEUT - 1.21	[$10^3 / \mu\text{l}$]	N: 1.0 - 10.0
%	NEUT - 16.3	[%]	↓ N: 30.0 - 50.0
wart. b.	LYMPH - 5.25	[$10^3 / \mu\text{l}$]	N: 1.2 - 13.0
%	LYMPH - 70.8	[%]	↑ N: 45.0 - 65.0
wart. b.	MONO - 0.37	[$10^3 / \mu\text{l}$]	N: 0.2 - 2.5
%	MONO - 5.0	[%]	N: 2.0 - 7.0
wart. b.	EO - 0.17	[$10^3 / \mu\text{l}$]	N: 0.1 - 2.0
%	EO - 2.3	[%]	N: 1.0 - 5.0
wart. b.	BASO - 0.03	[$10^3 / \mu\text{l}$]	N: 0.0 - 0.06
%	BASO - 0.4	[%]	N: 0.0 - 1.0
wart. b.	LUC - 0.39	[$10^3 / \mu\text{l}$]	N: 0.0 - 0.4
%	LUC - 5.2	[%]	↑ N: 0.0 - 4.0

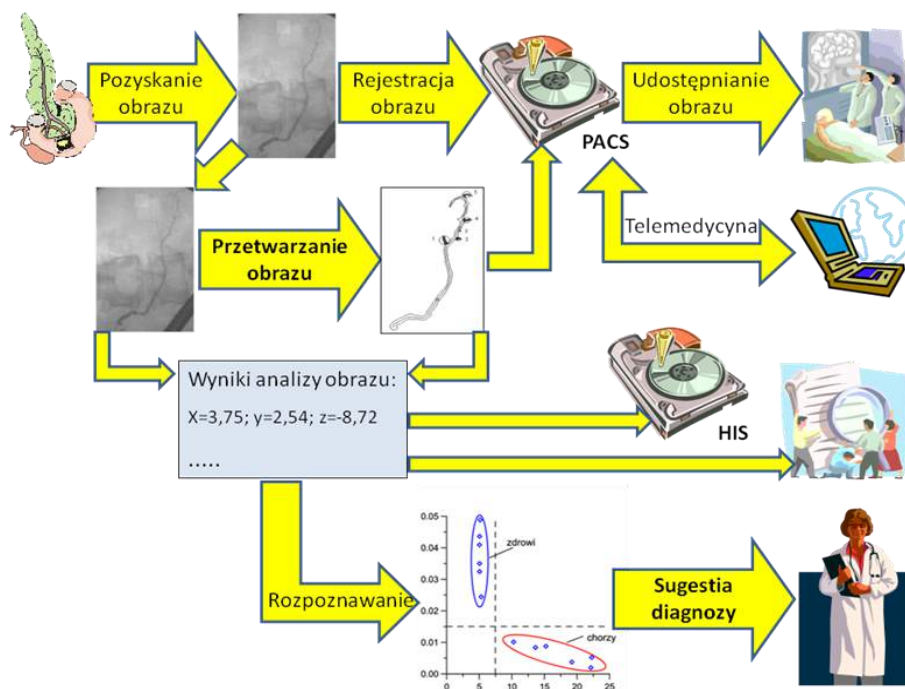
Rysunek 7.15. Wynik analizy obrazu morfologii krwi obwodowej (źródło: <http://media.photobucket.com/image/morfologia%20krwi/vanillacafe/morfologia.jpg> - sierpień 2010)

Schemat systemu PACS uzupełniony dodatkowo o moduły analizy obrazu przedstawiony został na rysunku 7.16.



Rysunek 7.16. Komputerowa obróbka obrazu medycznego włączająca jego automatyczną analizę.

Wyniki analizy obrazu (oryginalnego, albo poddanego wcześniej określonym operacjom komputerowego przetwarzania) mogą być po prostu udostępnione lekarzom w celu ich oceny i interpretacji a także zapisane w szpitalnej bazie danych (HIS), co przedstawiono na rysunku 7.16, ale mogą być przedmiotem dalszej komputerowo wspomaganego interpretacji. Nie wdając się tu w szczegóły (które w ogólnym przypadku są dosyć złożone) można stwierdzić, że nowoczesne metody sztucznej inteligencji pozwalają na wykorzystanie komputera także jako narzędzia wspomagającego diagnostykę medyczną. Taki pełniejszy system, obejmujący wszystkie wzmiankowane usługi (włącznie z elementami automatycznej diagnostyki opartej na komputerowej obróbce obrazów medycznych), przedstawiony jest na rysunku 7.17.



Rysunek 7.17. System PACS uzupełniony o moduł rozpoznawania

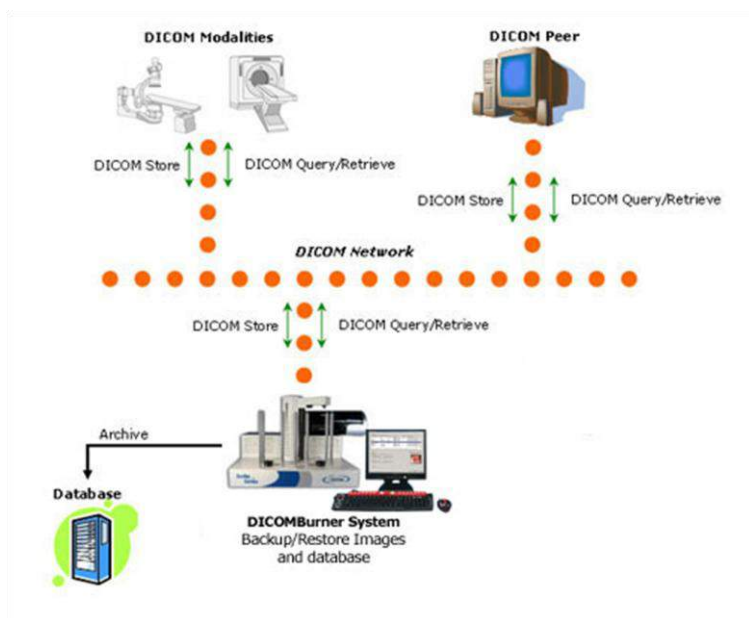
7.4. Standard DICOM

Na rysunku 7.9. pokazano, że czynnikiem integrującym te wszystkie składniki systemu operującego obrazami medycznymi jest standard DICOM, któremu poświęcimy teraz kilka słów.

Standard DICOM (ang.: *Digital Imaging and Communications in Medicine*) jest zgodnie z nazwą przeznaczony do zarządzania, archiwizacji, drukowania i transmisji w zakresie obrazowania medycznego. Zawiera definicję formatu pliku

oraz sieciowy protokół komunikacyjny implementowany w warstwie aplikacji modelu TCP/IP w celu wymiany obrazów medycznych i danych pacjentów pomiędzy systemami zgodnymi ze standardem DICOM. Standard został zaprojektowany i jest promowany przez *DICOM Standards Committee*, którego członkowie są związani z konsorcjum *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA), które jest właścicielem praw autorskich standardu.

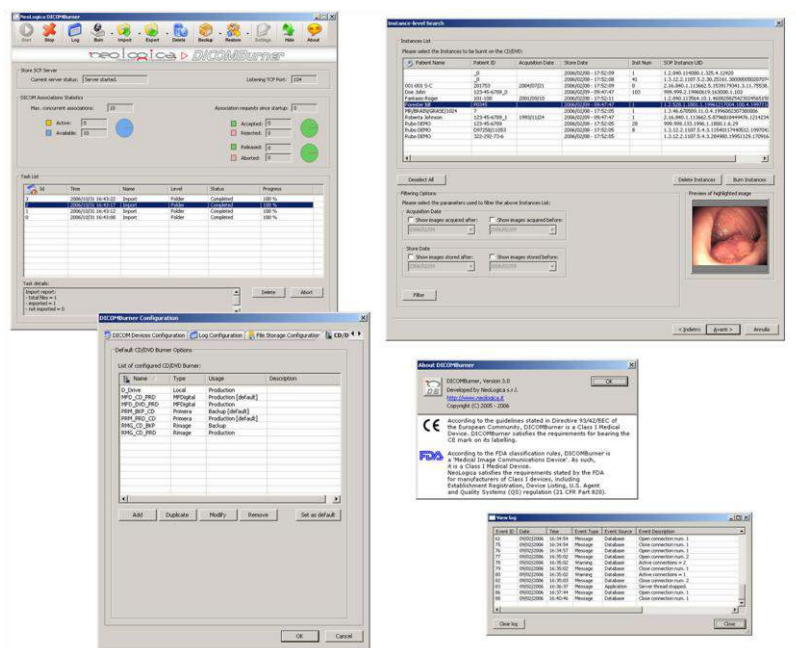
Standard DICOM został zaproponowany we wczesnych latach 80-tych w odpowiedzi na wzrastające zapotrzebowanie na wzajemną kompatybilność urządzeń i możliwość wymiany obrazów pomiędzy urządzeniami obrazującymi (tomografami i skanerami NMR) pochodzącymi od różnych producentów. Pierwsza wersja standardu była opublikowana w 1985 roku pod nazwą ACR/NEMA 300, ale szybko wymagała wyjaśnień i licznych poprawek. Wersja zaproponowana w 1988 roku spotkała się ze znacznie bardziej przychylnym przyjęciem, a podczas dorocznego zjazdu RSNA w 1990 roku GE Healthcare zaprezentował pierwsze komercyjne urządzenie zdolne transmitować i odbierać obrazy cyfrowe zgodne z DICOM za pomocą dedykowanego 50-żyłowego kabla. Trzecia wersja standardu została opublikowana w 1992 roku i zawierała definicje klas serwisów oraz Certyfikat Zgodności (ang.: *Conformance Statement*). Oficjalnie obowiązująca obecnie wersja także nosi numer 3.0, choć ostatnia poprawka została dodana w 2007 roku.



Rysunek 7.18. Jeden z wielu systemów informatycznych dla medycyny oparty na wykorzystaniu standardu DICOM. (Źródło: <http://www.mfdigital.com/images/dicom.jpg> - sierpień 2010)

Jak wspomniano wyżej, celem standardu DICOM jest integracja skanerów, serwerów, stacji roboczych, drukarek i osprzętu sieciowego pochodzących od różnych producentów w jeden kliniczny system archiwizacji i transmisji obrazów. Różne urządzenia spełniają wymagania różnych klas standardu DICOM, co jest przedmiotem specyfikacji w Certyfikacie Zgodności. DICOM jest szeroko stosowany w dużych szpitalach z rozbudowanymi oddziałami diagnostyki obrazowej, a okazjonalnie urządzenia zgodne z DICOM można spotkać także w prywatnych gabinetach lekarskich i stomatologicznych. Jeden z przykładowych systemów zbudowanych w oparciu o standard DICOM przedstawiono na rysunku 7.18.

Specyficzną cechą standardu DICOM jest organizacja informacji w zbiory danych. Plik będący rezultatem diagnostyki obrazowej zawiera identyfikator pacjenta, co uniemożliwia przypadkowe rozdzielanie tych informacji. Nagłówek o długości zależnej od ilości towarzyszących informacji jest nieodłącznym elementem pliku w formacie DICOM i zawiera także inne informacje dotyczące obrazu. Nagłówek w DICOM zawiera preambułę o długości 128 bajtów (zwykle wypełnioną zerami) zakończoną kodami ASCII liter DICM, po której następuje właściwa informacja nagłówkowa zorganizowana w grupy danych.



Rysunek 7.19. Przykładowe ekrany obrazujące sposób wykorzystywania oprogramowania bazującego na standardzie DICOM. (Źródło: http://www.mfdigital.com/images/dicom_screenshot.jpg - sierpień 2010)

Format DICOM używa obiektów danych określonych przez atrybuty, wśród których można znaleźć nazwę, identyfikator, ale także główny obiekt, który stanowi specyfikacja pikseli obrazu. Pojedynczy obiekt DICOM może zawierać tylko jeden atrybut zawierający specyfikację pikseli, co w większości modalności obrazowania oznacza pojedynczy obraz. Atrybut może jednak zawierać kilka ramek z którymi z kolei można powiązać kolejne obrazy zapisu ruchomego, co pozwala zapisać w pojedynczym pliku serię lub pętlę obrazów ruchomych. Podobnie obrazy wielo- (trój- i cztero-) wymiarowe mogą być zawarte w pojedynczych plikach DICOM. Przykładowy obraz okien wyświetlanych na monitorze użytkownika przez oprogramowanie oparte na standardzie DICOM przedstawiono na rysunku 7.19.

Specyfikacja pikseli obrazu może być skompresowana z użyciem jednego z wielu powszechnie stosowanych algorytmów kompresji obrazów, włączając JPEG, JPEG Lossless, JPEG 2000, oraz RLE (ang.: *run-length encoding*). Metoda LZW (zip) może być użyta do kompresji całego pliku, gdyż nie jest dedykowana tylko do danych obrazowych.

DICOM, oprócz specyfikacji formatu danych zawiera także protokół komunikacyjny opisujący wymianę plików diagnostyki obrazowej. Protokół ten definiuje szereg serwisów służących do zarządzania obrazami. Przykładami serwisów są:

- *store* - powodujący wysłanie obrazu lub innego obiektu do stacji roboczej,
- *storage commitment* - potwierdzenie zapisu przez urządzenie archiwizujące i zezwolenie na usunięcie lokalnej kopii danych
- *query/retrieve* - powoduje przygotowanie listy odnośników do obiektów w archiwum spełniających kryteria wyszukiwania
- *modality worklist* - powoduje przesłanie do urządzenia obrazującego porcji danych dotyczących pacjentów, zaplanowanych badań itp.
- *modality performed procedure step* - powoduje zwrócenie przez urządzenie obrazujące informacji o wykonanych badaniach wraz z opisem obrazów, czasu ich akwizycji
- *printing* - powoduje wydruk obrazów DICOM na drukarce; standardowa kalibracja wszystkich urządzeń gwarantuje identyczność obrazów wyświetlanych i drukowanych niezależnie od urządzenia
- *off-line media* - określa jak informacje dotyczące obrazowania medycznego powinny być zapisywane na wymiennych nośnikach danych.

Standard DICOM, przeznaczony jest głównie do wymiany danych obrazowych, ale obsługuje także wymianę sygnałów. Ramka danych może zawierać zapis sygnału EKG, krzywe oddechowe, a także wiele innych rodzajów sygnałów jednowymiarowych. Trzy zdefiniowane modalności są szczególnie istotne z punktu widzenia kardiologii: kolorowe badanie dopplerowskie przepływu (CD), echokardiografia (EC) oraz elektrokardiografia (ECG). Podobnie jak HL7, DICOM jest standardem nadążającym za rozwojem nowych technologii obrazowania medycznego i możliwości oferowanych przez współczesne technologie telekomunikacyjne. Standard ewoluuje pod kontrolą *DICOM Standards Committee* z zachowaniem kompatybilności nowych propozycji względem poprzednich wersji standardu.

Rozpowszechnienie standardu DICOM pozwoliło na stworzenie tzw. radiologii bezkliszowej – *filmless radiology*, w której nie drukuje się kliszy z badaniem obrazowym (tzw. *hardcopy*) lecz udostępnia w sieci szpitalnej wyniki w postaci cyfrowej. Oczywiście konieczne są ty dwa zastrzeżenia. Pierwsze jest takie, że do informacji udostępnianej w sposób cyfrowy powinni mieć dostęp wyłącznie upoważnieni ludzie – sam pacjent (ma prawo dostępu do wszystkich wyników badań, które jego dotyczą), członkowie rodziny pacjenta (jeśli wyrazi on na to swoją zgodę), lekarz prowadzący oraz lekarze proszeni o konsultacje w danej sprawie, inni członkowie personelu medycznego jeśli są zaangażowani w terapię tego konkretnego pacjenta – i to wszystko. Przed pozostałymi osobami rekord pacjenta i zawarte w nim informacje powinny być starannie strzeżone. Zagadnienie to obszerniej będzie dyskutowane w rozdziale 10.



Rysunek 7.20. Mimo upowszechniania radiologii bezkliszowej czasem trzeba się posłużyć obrazem rentgenowskim w tradycyjnej postaci (Źródło: <http://www.sutterlakeside.org/images/229/Xray229.jpg> - sierpień 2010)

Drugie zastrzeżenie jest takie, że w uzasadnionych przypadkach na życzenie pacjenta lub z innych powodów trwała kopia cyfrowego obrazu diagnostycznego może być wytworzona. Można sobie na przykład wyobrazić, że pacjent chce

skonsultować swój problem z lekarzem, który preferuje obrazy na kliszach (rys. 7.20), zwłaszcza gdy trzeba porównać obecnie uzyskane zobrazowania z tymi, które zostały uzyskane wiele lat wcześniej przy użyciu tradycyjnej aparatury radiologicznej.

Jednak normą obecnie jest to, że pacjentowi wydaje się płytę CD zawierającą jego badania w formacie DICOM. Płyta taka zawiera często darmową przeglądarkę obrazów medycznych zapisanych w formacie DICOM. Przeglądarka ta jest najczęściej udostępniana przez dostawcę systemu za darmo do takich zastosowań.

DICOM jest na tyle istotnym elementem współczesnej informatyki medycznej, że wymaga się, aby wszystkie produkowane obecnie radiologiczne urządzenia diagnostyczne spełniały tzw. *conformance statement* – protokół zgodności z formatem DICOM 3.0. W związku z tym trudno jest obecnie wskazać urządzenie diagnostyki obrazowej, endoskopowej czy laparoskopowej, które nie zapewniałoby tej zgodności. Zapis i udostępnianie obrazów medycznych we współczesnych systemach szpitalnych opiera się praktycznie wyłącznie na DICOM.

7.5. Uwagi końcowe

Na temat technik informatycznych wykorzystywanych pośrednio lub bezpośrednio przy przetwarzaniu, analizie, automatycznej interpretacji i rozpoznawaniu obrazów można by było napisać jeszcze bardzo dużo, ale ten podręcznik jest tak pomyślny, że każdy z licznych obszarów informatyki medycznej jest w nim właściwie jedynie anonsowany. Dlatego czytelników zainteresowanych szczegółami systemów informatycznych wykorzystywanych w nowoczesnej medycznej diagnostyce obrazowej odesłać musimy do książek specjalistycznych, na przykład do podręcznika: *Tadeusiewicz R., Śmietański J: Pozyskiwanie, przetwarzanie i automatyczna interpretacja obrazów medycznych, Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, 2010.*

ROZDZIAŁ 8

SIECI KOMPUTEROWE W INFORMATYCE MEDYCZNEJ

8.1. Wprowadzenie.....	146
8.2. Sieci o zasięgu lokalnym – LAN.....	147
8.3. Sieci o zasięgu metropolitalnym – MAN.....	154
8.4. Sieci rozległe – WAN i Internet.....	158

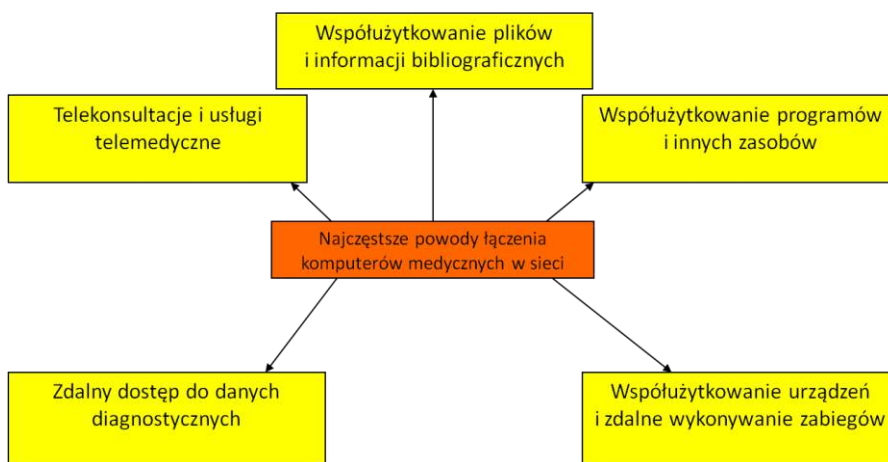
8.1. Wprowadzenie

Pojedyncze izolowane od siebie komputery są przydatne, lecz jedynie w umiarkowanym stopniu. Prawdziwa rewolucja w dziedzinie technik informacyjnych zaczęła się wraz z wynalezieniem, wprowadzeniem i rozpowszechnieniem **sieci komputerowych**. W szczególności techniki informacyjne używane w kontekście systemów tworzonych dla Informatyki Medycznej nie mogą się dzisiaj obyć bez składnika **teleinformatycznego**, czyli sieci.

We wszystkich dziedzinach zastosowań komputerów połączenie maszyn w sieć daje zupełnie nowe możliwości, całkowicie nieosiągalne przy tych samych komputerach nie połączonych sieciowo. Sieć umożliwia jej użytkownikom (*users*) wykorzystywanie - za jej pośrednictwem:

- **zasobów** (*resources*) oraz
- **usług** (*services*)

Owe zasoby i usługi dostępne są na wyróżnionych komputerach w sieci, nazywanych serwerami (*servers*).



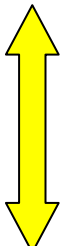
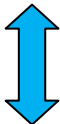
Rys. 8.1. Najczęstsze powody łączenia komputerów medycznych w sieci

Pozostałe komputery, włączone do sieci ale nie pełniące w niej funkcji serwerów, nazywane są zwykle *stacjami roboczymi*.

Najczęstsze powody łączenia komputerów medycznych w sieci pokazano na rysunku 8.1. Trzeba jednak zdawać sobie sprawę, że pojęcie sieci komputerowej jest dość rozległe i może obejmować systemy teleinformatyczne. Ilustruje to

tabela 8.1.

Tabela 8.1. Podział sieci ze względu na ich wielkość

ODLEGŁOŚĆ POMIĘDZY PROCESORAMI	PROCESY POŁOŻONE W TYM SAMYM:		PRZYKŁAD
1 m	Ciele człowieka (na przykład czujniki telemedyczne)		Sieć osobista
10 m	Pomieszczeniu		Sieć lokalna oddziału lub całego szpitala
100 m	Budynku		Sieć miejska
1 km	Grupie		Sieć rozległa
10 km	Mieście		Internet
100 km	Kraju		
1000 km	Kontynencie		
10000 km	Planecie		

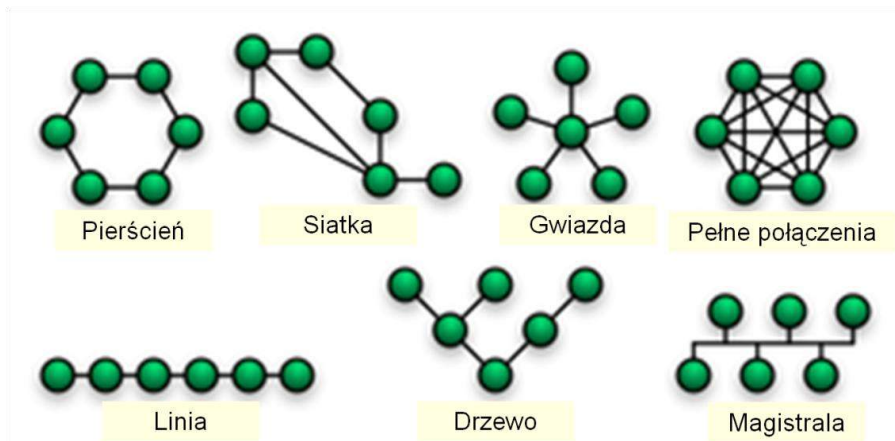
Sieci obejmujące swoim zasięgiem ciało jednego człowieka (tak zwane BAM – *Body Area Network*) są bardzo specyficzne dla Informatyki Medycznej i będą omówione oddzielnie w rozdziale dotyczącym telemedycyny. Dodać trzeba, że są one wciąż jeszcze raczej rzadko spotykaną ciekawostką techniczną, a nie technologią, która jest szeroko stosowana. Natomiast podstawą sieci komputerowych, również wykorzystywanych w informatyce medycznej, są sieci trzech rodzajów: LAN, MAN oraz WAN. Niżej omówimy więc głównie te trzy kategorie sieci, pozostawiając pozostałe typy do omówienia zbiorczego w końcowej części tego rozdziału.

8.2. Sieci o zasięgu lokalnym – LAN

Sieci rozpięte w jednym pomieszczeniu lub w jednym budynku (a czasem w grupie budynków tworzących łącznie strukturę jednego szpitala) nazywane są LAN (*Local Area Network*). Obszar działania sieci zamyka się najczęściej w ograniczonej przestrzeni, co oznacza, że sygnały między komputerami przesyłane są na odległości do kilkuset metrów (rzadziej kilku kilometrów). Przykładowe sieci tego rodzaju przedstawiane były w rozdziale 2 na rysunkach 2.4 i 2.5.

Sieć LAN jest powszechnie używana w szpitalach i służy połączeniu

komputerów osobistych lekarzy oraz stacji roboczych w laboratoriach diagnostycznych oraz gabinetach zabiegowych. Zwykle ma ona jedną ze struktur pokazanych na rysunku 8.2, gdzie kółeczka symbolizują komputery (serwery sieciowe lub stacje robocze).



Rys. 8.2. Schematy typowych topologii sieci LAN

Sieć LAN jest zwykle dołączona do centralnej bazy danych szpitala w celu udostępnienia jej zasobów, a także wymiany informacji. Dlatego podstawowa topologia takiej sieci (czyli generalny schemat połączenia komputerów) jest topologią drzewa (hierarchicznie łączonych w grupy kolejnych „warstw” komputerów - Rys. 8.3) lub topologią gwiazdy (Rys. 8.4).

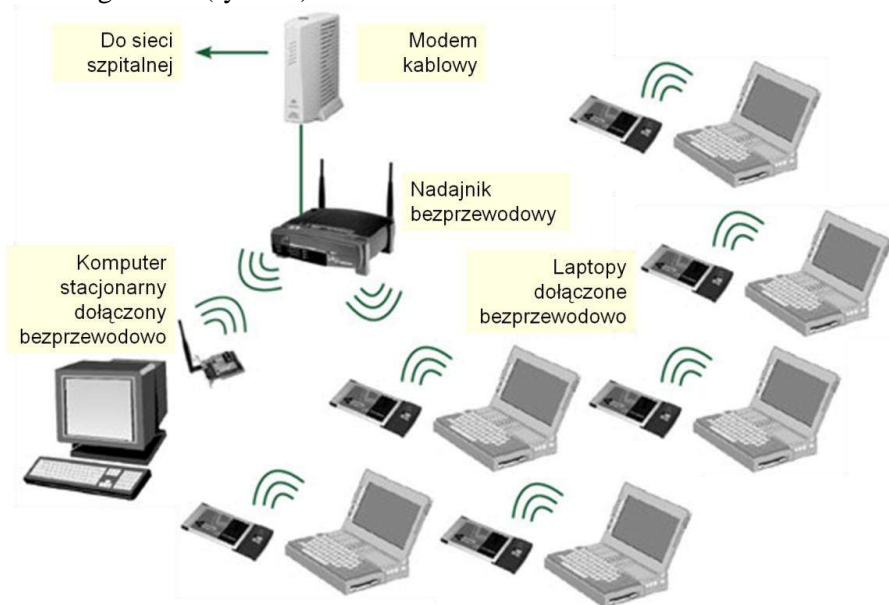


Rys. 8.3. Topologia sieci LAN o strukturze hierarchicznej. (Źródło: <http://media.photobucket.com/image/medical%20computer%20network/CASTLEHD/ComputerNetwork.jpg> – sierpień 2010)



Rys. 8.4. Topologia sieci LAN o strukturze gwiazdy. (Źródło: http://www.nwgsolutions.com/images/interface/hdr_team.jpg– sierpień 2010)

Struktura sieci LAN jest oparta na kablu (dawniej miedzianym, dziś najczęściej światłowodowym), z którym łączone są wszystkie komputery (Rys. 8.2). Urządzenia mobilne (na przykład indywidualne komputery lekarzy) są także podłączone do tego kabla, tylko że łączność z nimi odbywa się z pomocą dodatkowych bezprzewodowych punktów dostępowych, najczęściej pracujących w technologii WiFi (rys. 8.5).



Rys. 8.5. Poglądowy schemat sieci bezprzewodowej możliwej do wykorzystania w szpitalu. Karty sieciowe laptopów, pokazane na rysunku na zewnątrz laptopów dla podkreślenia ich roli, w rzeczywistości są schowane w ich obudowie.

W technologii WiFi z siecią szpitalną związany jest na stałe tylko jeden modem kablony, połączony z nadajnikiem bezprzewodowym. Zasięg nadajnika jest zwykle wystarczający do tego, żeby pokryć możliwością łączności radiowej cały obszar szpitala, a często także jego bezpośredniego otoczenia – na przykład kantinę do której lekarze chodzą na posiłki (patrz rys. 10.1) czy parking, z którego w razie pilnej potrzeby można przywołać lekarza szykującego się już do opuszczenia szpitala.

Lekarze (oraz inny personel medyczny) mają laptopy wyposażone w bezprzewodowe karty sieciowe, pełniące rolę nadajników i odbiorników sygnałów cyfrowych (rys. 8.5). Za pomocą tych kart sieciowych laptopy wysyłają i odbierają sygnały z i do sieci szpitalnej (za pośrednictwem nadajnika bezprzewodowego), zupełnie tak samo, jakby były dołączone do tej sieci przy pomocy kabli – tylko są całkowicie swobodne w sensie możliwości dowolnego przemieszczania się. Do sieci bezprzewodowej dołącza się niekiedy także komputery stacjonarne, w których też można stosować bezprzewodowe karty sieciowe, co bywa czasem rozwiązaniem korzystniejszym z punktu widzenia ekonomicznego niż układanie dodatkowych kabli, potrzebnych do tego, żeby dołączyć do sieci komputer w jakimś odległym pomieszczeniu.



Rys. 8.6. W szpitalnych sieciach LAN połączenia bezprzewodowe pozwalają lekarzom włączać swoje komputery do sieci w dowolnym miejscu (Źródło: http://www.paymentautomation.net/images/Doctor_and_computer.JPG - sierpień 2010)

Technologia WiFi jest wyjątkowo dobrze skorelowana ze sposobem

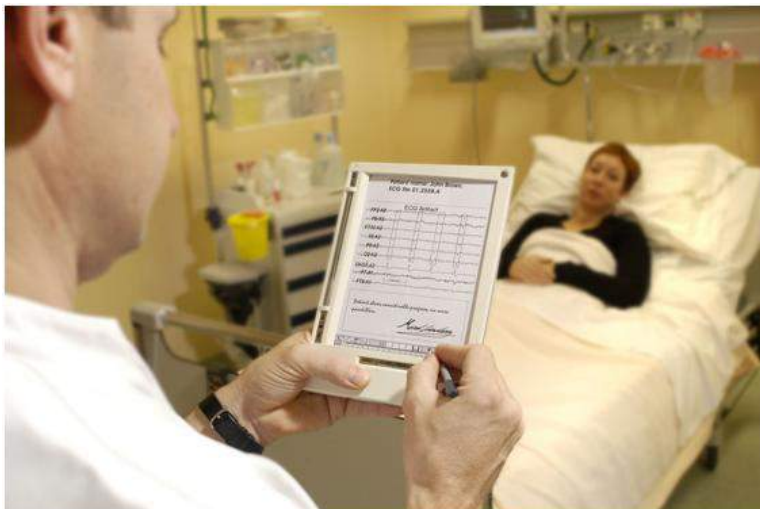
wykorzystania komputerów przez lekarzy, którzy z racji swoich obowiązków nie powinni być przywiązani do jakiegoś jednego konkretnego miejsca, tylko powinni mieć do dyspozycji sprzęt, który zawsze i wszędzie mogą zabrać ze sobą nie tracąc łączności ze szpitalną siecią (rys. 8.6).

Dodatkową zaletą bezprzewodowych sieci LAN jest to, że dostępne są obecnie komputery personalna o naprawdę niewielkich rozmiarach i minimalnej wadze, co pozwala na ich stosowanie w różnych sytuacjach związanych z wykonywaniem zawodu lekarza (rys. 8.7).



Rys. 8.7. Miniaturowe komputery przenośne połączone bezprzewodowo z siecią LAN szpitala mogą być bardzo efektywne (źródło: http://www.getreading.co.uk/news/s/2034833_wifi_will_revolutionise_patient_care_in_hospital - sierpień 2010)

Przy użyciu tego typu sprzętu można mieć dostęp do różnych danych pacjenta – na przykład do zarejestrowanego uprzednio sygnału EKG oraz do uwag i notatek innych lekarzy – także tych, które są sporządzane odrębnie (rys. 8.8 i 8.9).

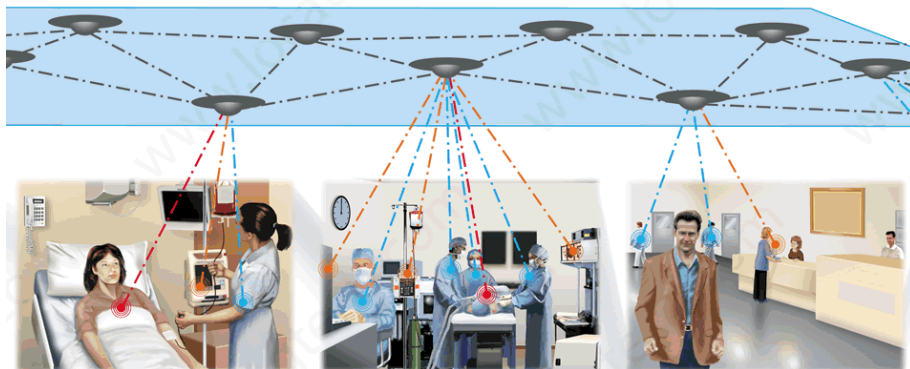


Rys. 8.8. Przenośne bezprzewodowe komputery umożliwiają dostęp do danych pacjenta (źródło: <http://iliad.pl/images/iliad/hospital.jpg>, sierpień 2010)



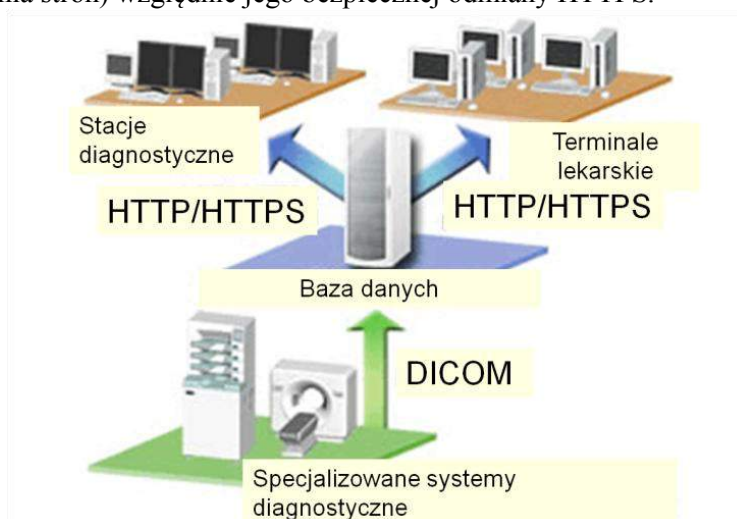
Rys. 8.9. Powiększony fragment rysunku 8.8 pozwalający ocenić zawartość ekranu

Dodatkową zaletą szpitalnej sieci LAN jest to, że za jej pomocą można stosunkowo łatwo stworzyć system lokalizacyjny, pozwalający ustalać miejsce pobytu każdego lekarza, pacjenta, a nawet elementów wyposażenia (Rys. 8.10).



Rys. 8.10. System lokalizujący lekarzy, pacjentów i wyposażenie w sieci LAN (źródło: <http://www.locatingtech.com/images/hospital.gif> - sierpień 2010)

W szpitalnych sieciach LAN stosuje się zróżnicowane protokoły komunikacyjne – w zależności od tego, jaki rodzaj komunikacji jest wymagany. Na rysunku 8.11 przedstawiono drobny wycinek sieci szpitalnej, pokazując fakt, że w obszarze komunikacji pomiędzy urządzeniami diagnostycznymi (na przykład tomografami komputerowymi) a centralną bazą danych szpitala - standardem komunikacyjnym jest DICOM. Natomiast przy czerpaniu informacji z bazy danych do stacji roboczych używanych do diagnostyki używa się protokołu HTTP (czyli takiego, jaki zwykle używany jest w Internecie do przeglądania stron) względnie jego bezpieczniejszej odmiany HTTPS.

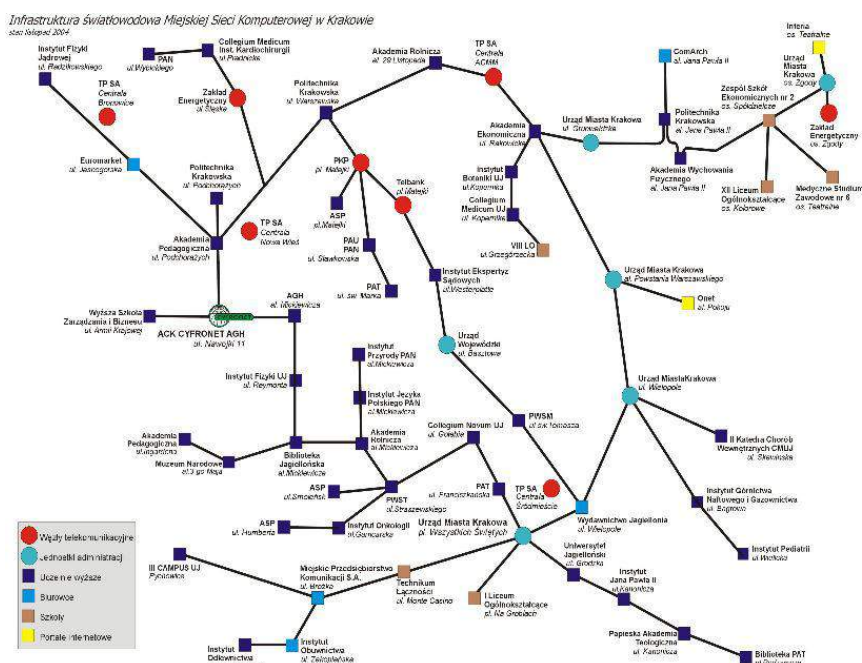


Rys. 8.11. Protokoły komunikacyjne używane do komunikacji w szpitalnej sieci LAN (źródło: http://www.fujifilm.com/products/medical/digital_imaging/advanced/img/fig_04.gif - sierpień 2010)

W uzupełnieniu informacji o sieciach LAN warto dodać, że przesyłanie danych poprzez kabel będący głównym medium komunikacyjnym w tej sieci odbywa się z szybkością od 10 Mb/s do 100 Mb/s, cechuje się bardzo małym opóźnieniem oraz małym poziomem błędów. W nowszych sieciach LAN szybkość przesyłu danych dochodzi do 10 Gb/s.

8.3. Sieci o zasięgu metropolitalnym – MAN

Kolejny poziom sieci komputerowych, zarówno wykorzystywanych w informatyce medycznej jak i stosowanych w sieciach ogólnego przeznaczenia – to sieci o zasięgu metropolitalnym, w skrócie MAN. Przykład takiej sieci przedstawiony jest na rysunku 8.11. Opisy na rysunku są nieczytelne, ale nie mają one żadnego znaczenia dla Czytelnika tej książki, bo są to tylko nazwy instytucji włączonych do tej właśnie konkretnej sieci MAN. Z całą dokładnością można obejrzeć ten schemat na stronie http://www.wsp.krakow.pl/konspekt/21/cyfronet/man_cyfronet.jpg.

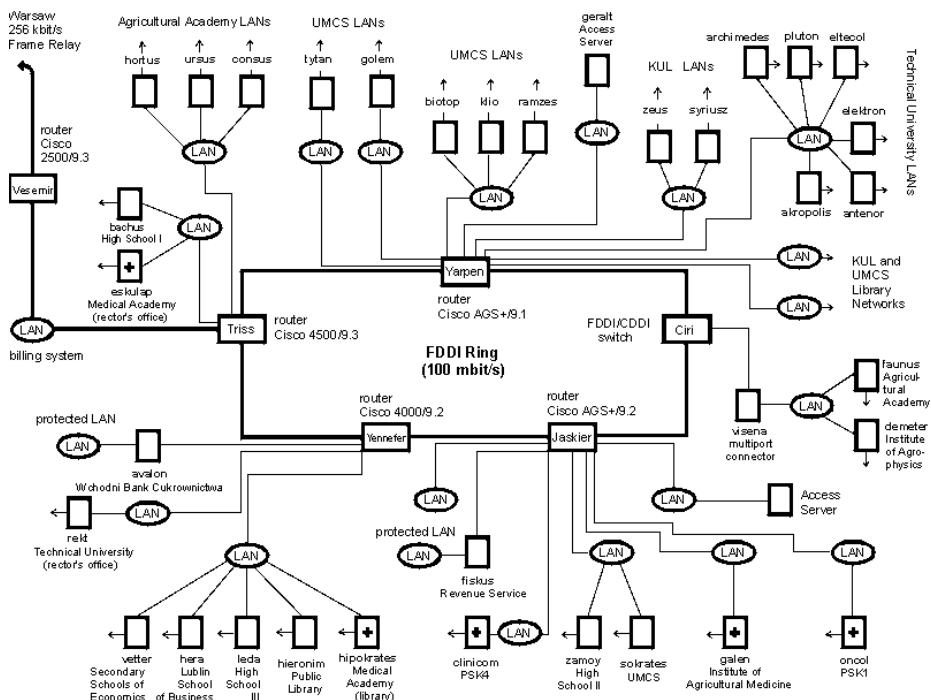


Rys. 8.11. Schemat przykładowej sieci MAN (ACK Cyfronet AGH).

Sieć MAN z reguły nie jest dedykowana dla jednego tylko typu zastosowań (na przykład medycznych), ale

Może ona obejmować (zgodnie z nazwą) jedno miasto, albo wydzieloną część miasta (zwykle centra dużych metropolii dysponują oddzielną siecią

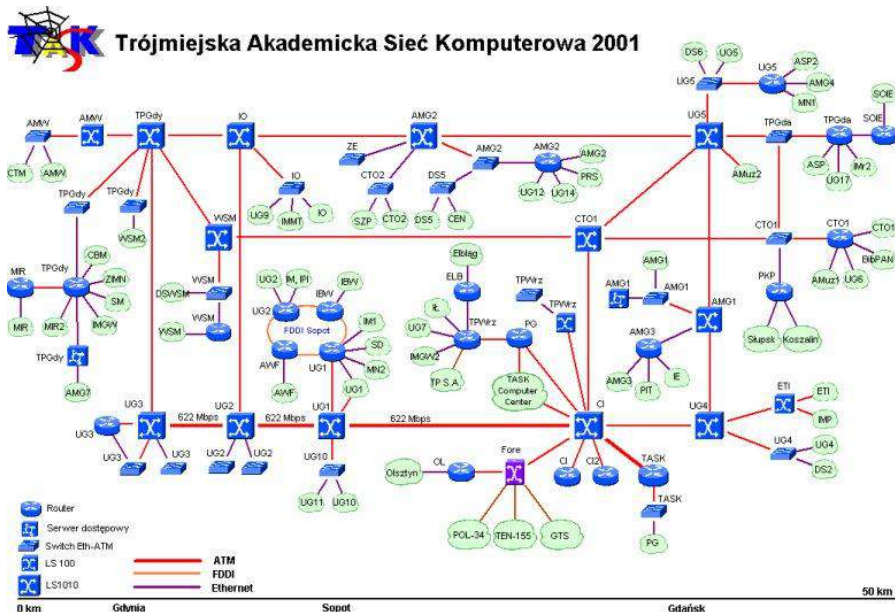
MAN, dużo szybszą i wydajniejszą, niż dzielnice peryferyjne), możliwe jednak jest także użycie sieci MAN obejmującej swoim zasięgiem kilka blisko położonych miast. W Polsce przykładem sieci obejmującej jedno miasto jest pokazana na rysunku 8.11. sieć ACK Cyfronet AGH, ale ze względu na miejsce wydania tej książki pokażemy dodatkowo sieć LubMAN, obejmująca całe miasto Lublin (Rys. 8.12). Na rysunku tym (którego jedyna dostępna wersja ma niestety wszystkie opisy w języku angielskim) widać kilka szpitali dołączonych do tej sieci, chociaż niewątpliwie dominującą rolę w tym MAN mają wyższe uczelnie, co można uznać za typowe na tym etapie rozwoju polskiej infrastruktury informatycznej.



Rys. 8.12. Typowy przykład sieci MAN – sieć metropolitalna Lublina.
 (Źródło: http://nss.et.put.poznan.pl/study/projekty/sieci_komputerowe/man_3/html/fddi-p.gif - sierpień 2010)

Sieci MAN obejmującej centrum dużej metropolii (na przykład Manhattan) nie da się sensownie zaprezentować, ponieważ w jej skład wchodzi tysiące komputerów połączonych ze sobą w bardzo skomplikowaną strukturę. Tego się po prostu nie da narysować w taki sposób, by rysunek dało się zamieścić w książce. Plany sieci, jaki dysponują zarządzający taką siecią systemowcy mają charakter ogromnych map zajmujących całe ściany w odpowiednich pokojach. Oczywiście można schemat takiej sieci pokazać w sposób zagregowany, wyróżniając tylko najważniejsze węzły, ale taki schemat w sumie niewiele

mówi, co można zobaczyć na rysunku 8.13 przedstawiającym w taki właśnie sposób TASK – sieć komputerową obsługującą Trójmiasto (Gdynia – Sopot – Gdańsk).



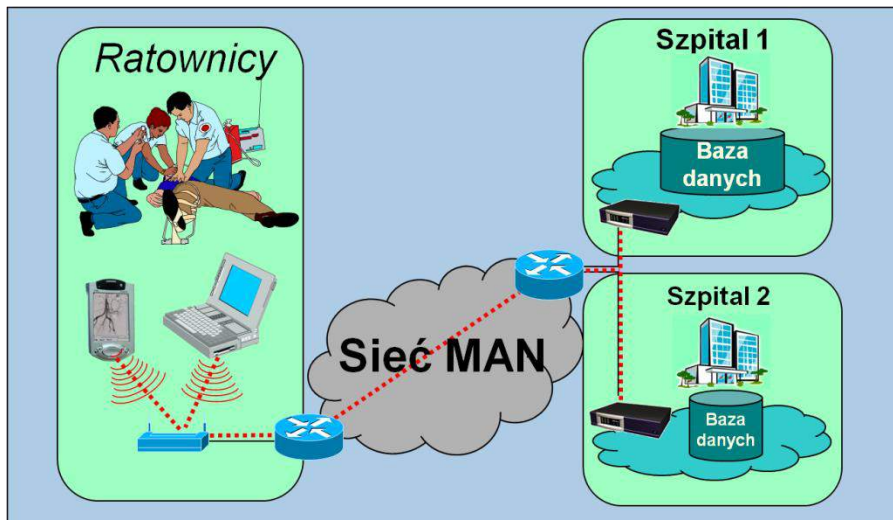
Rys. 8.13. Przykład sieci MAN obsługującej kilka miast. (Źródło : <http://ecis2002.univ.gda.pl/pict/task.jpg> - sierpień 2010)

Sieci MAN, chociaż jak wspomniano nie są budowane wyłącznie na usługi informatyki medycznej, to jednak na gruncie medycyny mają wiele zastosowań. W szczególności mogą one służyć do tego, by lekarze z jednego szpitala mogli w razie potrzeby konsultować się z lekarzami innego szpitala (Rys.8.14).



Rys. 8.14. Wykorzystanie sieci MAN do telekonsultacji medycznych (Źródło: <http://www.spacecoastmedicine.com/wp-content/uploads/2009/05/teleconference-2w-400x266.jpg> - sierpień 2010)

Ponieważ w skład sieci MAN wchodzi zwykle urządzenia do komunikacji bezprzewodowej, jednym z ważnych zastosowań tego rodzaju sieci w informatyce medycznej jest możliwość teledygnicznego wspierania grup ratowników działających w terenie (Rys. 8.15).



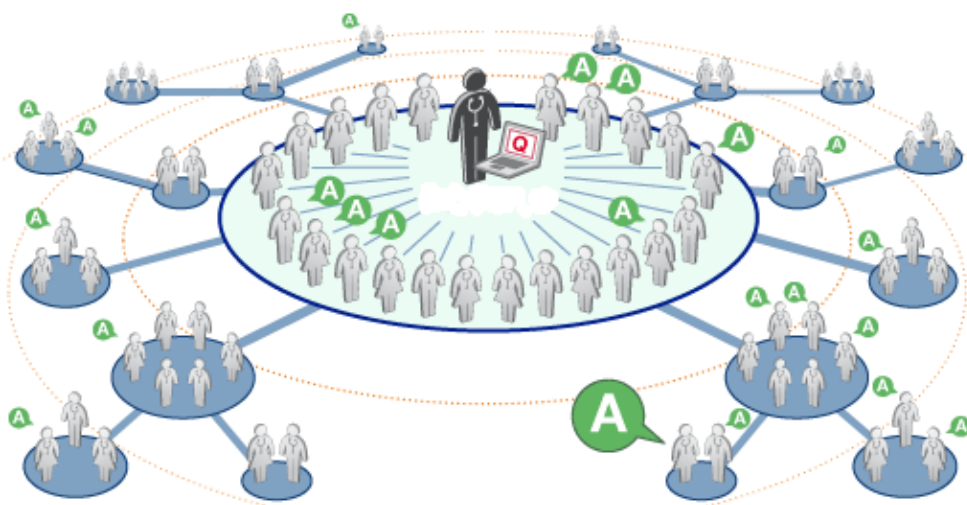
Rys. 8.15. Wykorzystanie sieci MAN w ratownictwie medycznym

Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe są zdalne konsultacje w trakcie pracy personelu pogotowia ratunkowego, co znacząco polepsza skuteczność jego działania (rys. 8.16).



Rys. 8.16. Użycie sieci MAN w karetce pogotowia (Źródło: http://www.thedailystar.net/photo/2008/08/22/2008-08-22_tech01.jpg - sierpień 2010)

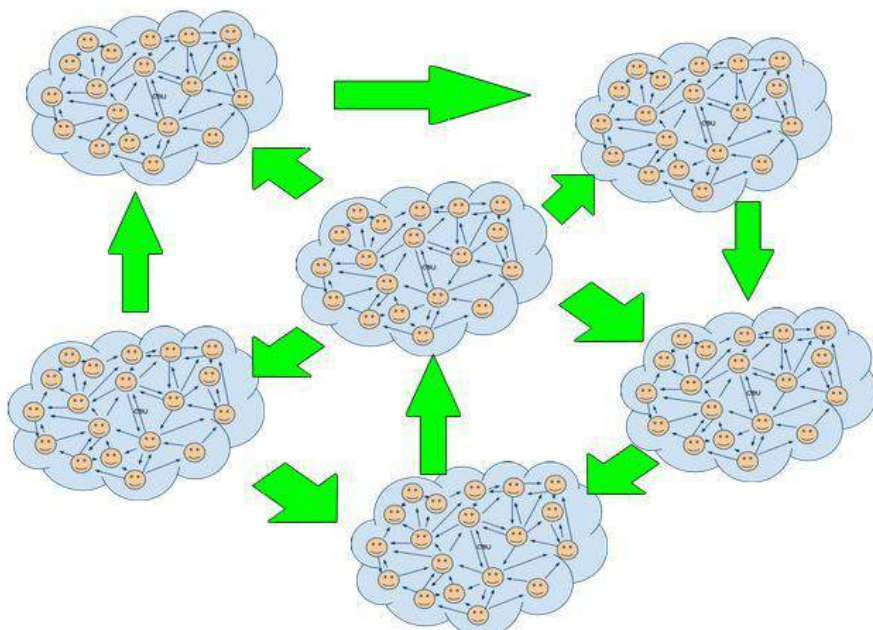
Sieci MAN mogą też odgrywać ważną rolę przy szerzeniu wiedzy medycznej i przy działaniach profilaktycznych i prewencyjnych (Rys. 8.17). W sieci MAN możliwe jest zorganizowanie usługi polegającej na tym, że dowolny z użytkowników sieci może zgłosić pytanie, które dociera do dyżurującego lekarza (symbol Q na rysunku 8.17). Mogą to być pytania na przykład na temat sposobów wykrywania chorób, ustalania ich przyczyn, metod zapobiegania itp. Odpowiedź lekarza, gdy zostanie raz udzielona, może być wykorzystana przez bardzo wielu użytkowników sieci (symbole A na rysunku 8.17). W ten sposób można naprawdę efektywnie docierać z wiedzą medyczną do dużych grup zainteresowanych ludzi.



Rys. 8.17. http://ehealthforum.com/health/doctor_network_program.php

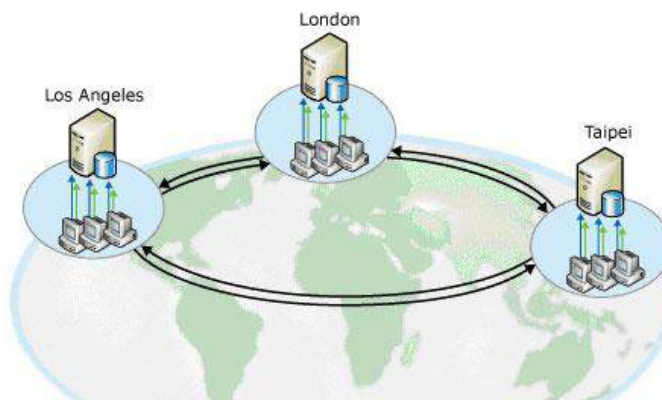
8.4. Sieci rozległe – WAN i Internet

Kolejnym rodzajem sieci, który oczywiście znajduje zastosowanie także w medycynie, są sieci rozległe. Dawniej było ich wiele rodzajów, dlatego stworzono na zasadzie analogii do LAN i MAN – kategorię WAN (*Wide Area Network*). Jednak proces łączenia sieci LAN w sieci metropolitalne, a potem jednych i drugich w sieci WAN nie dał się zatrzymać i trwała dopóty, dopóki nie objął większości sieci na całym świecie – i tak powstał dzisiejszy Internet. Warto przez moment zastanowić się nad brzmieniem i nad znaczeniem tej nazwy. Internet to sieć, której składnikami są inne sieci (rys. 8.18).



Rys. 8.18. Internet jako sieć sieci (Źródło: <http://img33.imageshack.us/f/sbuo.jpg/> - sierpień 2010)

Oczywistą konsekwencją światowego zasięgu Internetu jest możliwość bezpośredniej współpracy ośrodków znajdujących się odległych miejscach (rys. 8.19), co w kontekście potrzeb medycyny jest bardzo korzystne.



Rys. 8.19. Internet umożliwia współpracę odległych ośrodków (Źródło: [http://i.technet.microsoft.com/Cc966404.p2ptranrepl4\(en-us,TechNet.10\).jpg](http://i.technet.microsoft.com/Cc966404.p2ptranrepl4(en-us,TechNet.10).jpg) – sierpień 2010)

Zastosowań Internetu jest niezliczona mnogość, a wśród tych zastosowań znaczący odsetek stanowią zastosowania medyczne. Jakakolwiek próba wymieniania ich tutaj czy wyliczania jest z góry skazana na niepowodzenie, podobnie jak próba narysowania Internetu. Jak bowiem narysować sieć, mającą miliardy użytkowników? W związku z tym przenosząc bardziej konkretne rozważania do innych rozdziałów (zwłaszcza związanych z problemami bezpieczeństwa systemów oraz telemedycyny) – ten rozdział zamykamy wyłącznie tą ogólną wzmianką.

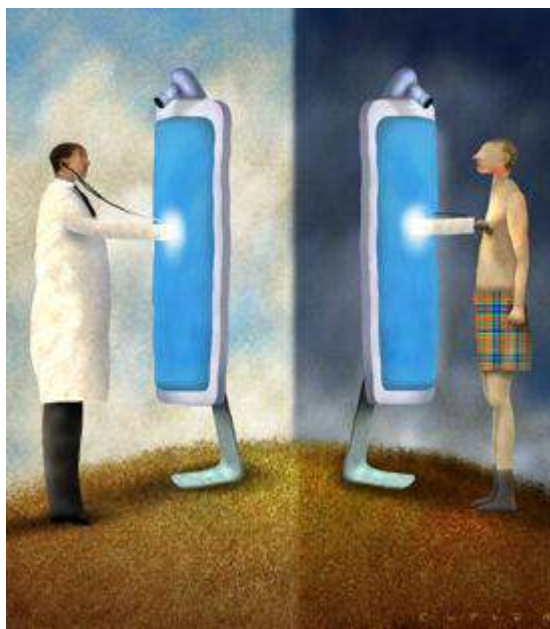
ROZDZIAŁ 9

TELEMEDYCYNA

9.1. Potrzeby stosowania telemedycyny	162
9.2. Czynniki rozwoju telemedycyny	165
9.3. Ogólny schemat systemu telemedycznego	166
9.4. Zdalne konsultacje i badanie pacjenta w jego domu	170
9.5. Telemedycyna w ratownictwie medycznym	176
9.6. Wyposażenie stanowiska eksperta przy telekonsultacjach.....	178
9.7. Ubrania wyposażone w czujniki jako element telemedycyny.....	179
9.8. Zakończenie	182

9.1. Potrzeby stosowania telemedycyny

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 (Rys. 9.1). Lekarz ma do czynienia z informacją o pacjencie pozyskiwaną z użyciem 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 niejako w drugą stronę.



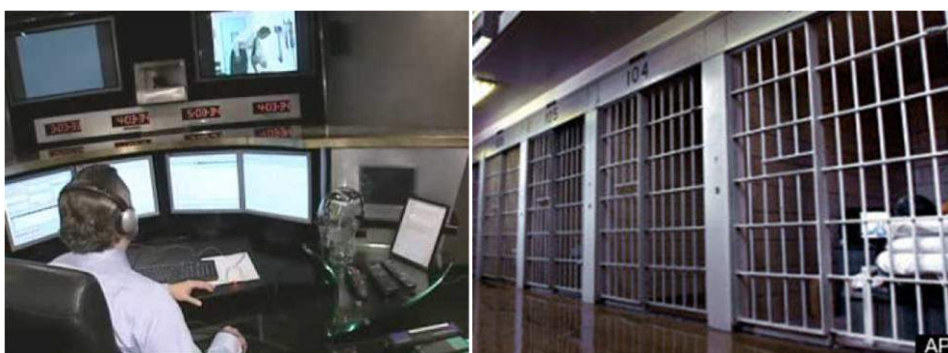
Rysunek 9.1. Istota telemedycyny opiera się na zdalnym kontakcie lekarza z pacjentem (Źródło: http://www.acpinternist.org/archives/2008/04/one_1g.jpg - sierpień 2010)

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 (rys. 9.2), 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 (9.3).



Rysunek 9.2. Telemedycyna bywa niezbędna przy niesieniu pomocy uczestnikom egzotycznych wypraw (Źródło: <http://blog.remotemedical.com/wilderness-medicine-blog/?currentPage=3> – sierpień 2010)

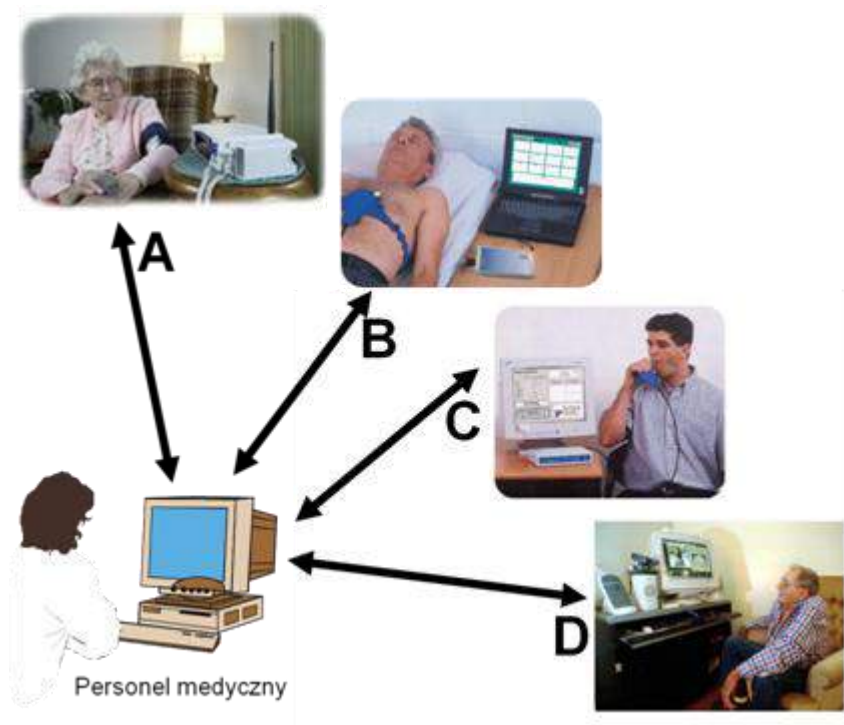
Telemedyczne metody mogą znaleźć także zastosowanie w przypadku leczenia chorób zakaźnych, w przypadku których bezpośredni kontakt lekarza i pielęgniarki z osobą chorą rodzi niebezpieczeństwo dla nich samych oraz dla ich rodzin.



Rysunek 9.3. W przypadku opieki nad więźniami forma pomocy telemedycznej jest bezpieczniejsza. (Źródło: <http://i.ytimg.com/vi/dq59aHFpvPU/0.jpg> oraz <http://images.huffingtonpost.com/gen/74108/thumbs/s-JAIL-large.jpg> - sierpień 2010)

Telemedyczna pomoc użyteczna jest także w odniesieniu do osób po zabiegach operacyjnych i innych rekonwalescentów, którzy już nie muszą już przebywać w szpitalu, ale powinni być nadal pod kontrolą lekarską, a także w odniesieniu do ludzi starych i samotnych, których stan zdrowia można monitorować w sposób zdalny nie narażając ich na wysiłek i dyskomfort związany z koniecznością wizyt w ośrodkach zdrowia. 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.

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. 9.4).



Rysunek 9.4. W dobrze zorganizowanym systemie opieki telemedycznej niewielka liczba personelu medycznego może otoczyć opieką bardzo wielu pacjentów.

9.2. Czynniki rozwoju telemedycyny

Możliwości rozwoju telemedycyny wynikają z postępu w wielu obszarach techniki. Główny postęp wynika z rozwoju telekomunikacji, informatyki, automatyki, elektroniki i mechatroniki (rys. 9.5). Nie bez znaczenia jest jednak także postęp, jaki stale ma miejsce w obszarze metrologii, inżynierii materiałowej, technologii nowych źródeł energii i wielu innych. Dzięki osiągnięciom wymienionych dziedzin techniki, a także dzięki coraz odważniejszym działaniom lekarzy, którzy te techniki aplikują w codziennej praktyce medycznej, telemedycyna rozwija się obecnie bardzo szybko i jest chyba najlepiej rokującą częścią informatyki medycznej.

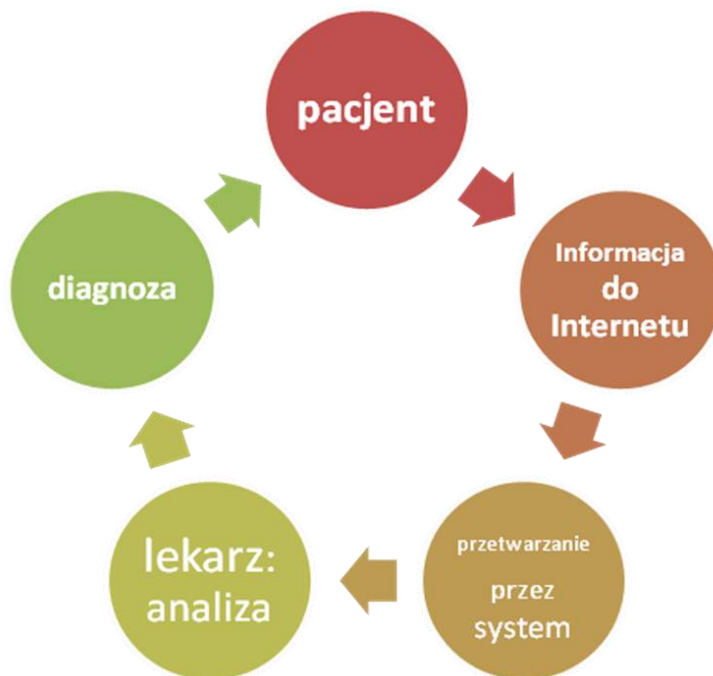


Rysunek 9.5. Problemy telemedyczne inspirują rozwój wielu dziedzin techniki

Typowy obieg informacji w systemie telemedycznym ma charakter zamkniętej pętli (rys. 9.6), w której role są rozdzielone pomiędzy trzy działające podmioty: pacjenta, lekarza oraz wspomagający system komputerowy.

Pacjent stale albo okresowo (zgodnie z ustalonym harmonogramem) dosyła swoje dane do systemu. Dane te są często zbierane przez automatyczne sensory oraz są przesyłane do analizującego komputera za pomocą Internetu. Często w zbieraniu i przesyłaniu informacji sporą rolę odgrywają urządzenia bezprzewodowe, oparte na technologii GSM (tej samej, którą wykorzystują telefony komórkowe). Nadsyłane dane trafiają do komputera i są wstępnie przetwarzane przez automatyczny system, który potrafi odróżnić dane wskazujące na to, że w organizmie pacjenta nie zachodzą w danym momencie żadne niepokojące procesy, od takich danych, które wymagają uważniejszej analizy i ewentualnej interwencji. Pierwsze dane są tylko gromadzone i rejestrowane w systemie (dla potrzeb posiadania aktualnej i pełnej

dokumentacji każdego pacjenta), ale nie zaprzatają one uwagi współpracującego z systemem lekarza. Drugie, te niepokojące, są przedstawiane lekarzowi, zwykle w formie już wstępnie opracowanej i opisanej przez komputer. Lekarz na tej podstawie formuluje diagnozę i komunikuje się z pacjentem, przekazując mu odpowiednie zalecenia i sugestie.



Rysunek 9.6. Maksymalnie uproszczony schemat obiegu informacji w systemie telemedycznym

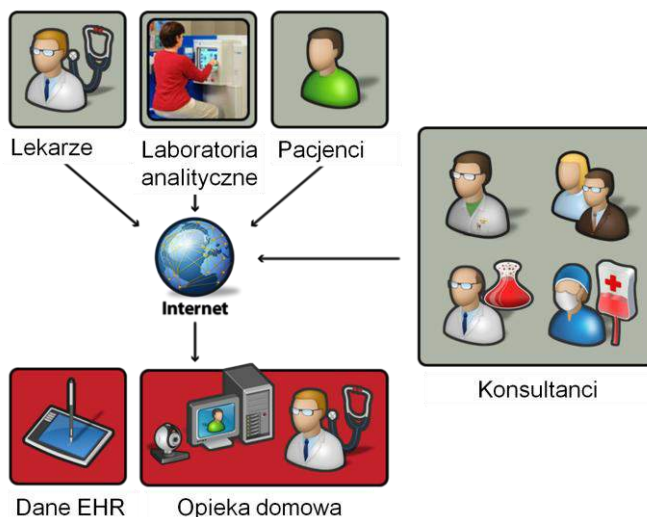
9.3. Ogólny schemat systemu telemedycznego

Wynikające z podanego wyżej opisu wyobrażenie systemu telemedycznego jako systemu łączącego wyłącznie lekarza i pacjenta (rys. 9.7) jest nadmiernie uproszczone. W rzeczywistości w systemie takim ma swoje miejsce (i swoją rolę) wiele osób. Nie chodzi tylko o to, że pacjentów objętych opieką telemedyczną może być cała rzesza (por. rys. 9.4), ale podmiotów działających bywa z reguły także znacznie więcej. Ważne jest to, że obok pacjentów i lekarzy w telemedycznym systemie spotkać możemy konsultantów oraz dodatkowe źródła informacji, takie jak laboratoria analityczne. Ilustruje to schematycznie rysunek 9.8



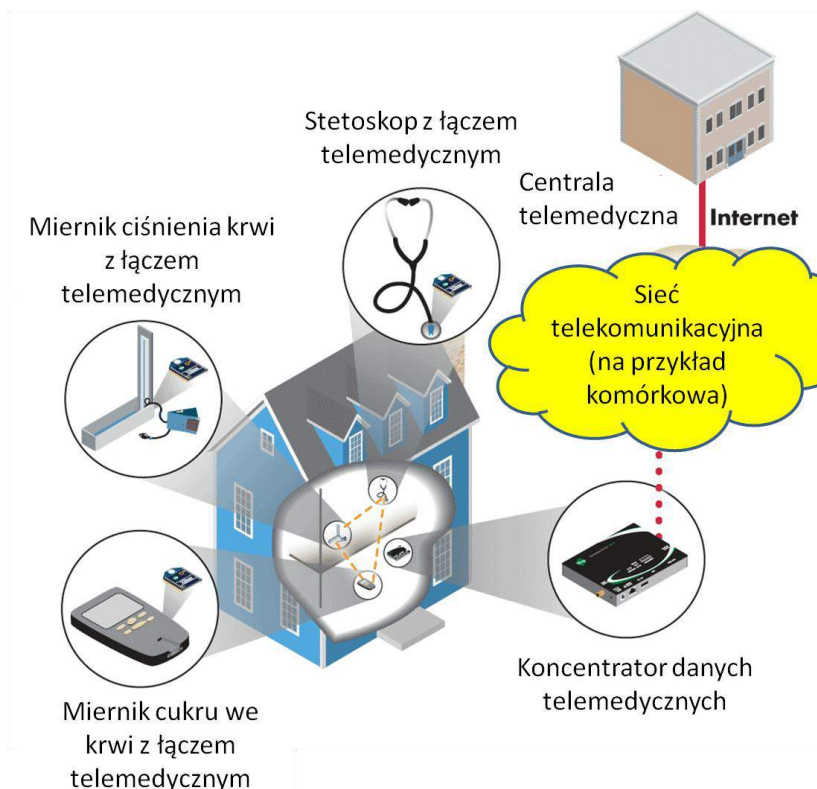
Rysunek 9.7. Uproszczone wyobrażenie systemu telemedycznego (Źródło: http://2.bp.blogspot.com/_XGRNpHqqkPg/SRtPhn0qHtI/AAAAAAAAABk/Ov71VkJr_s/s400/tele.jpg - sierpień 2010)

Na rysunku tym dodatkowego komentarza wymaga pozycja „Dane EHR”. Otóż w krajach, w których został już wprowadzony elektroniczny rekord pacjenta (EHR) 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.



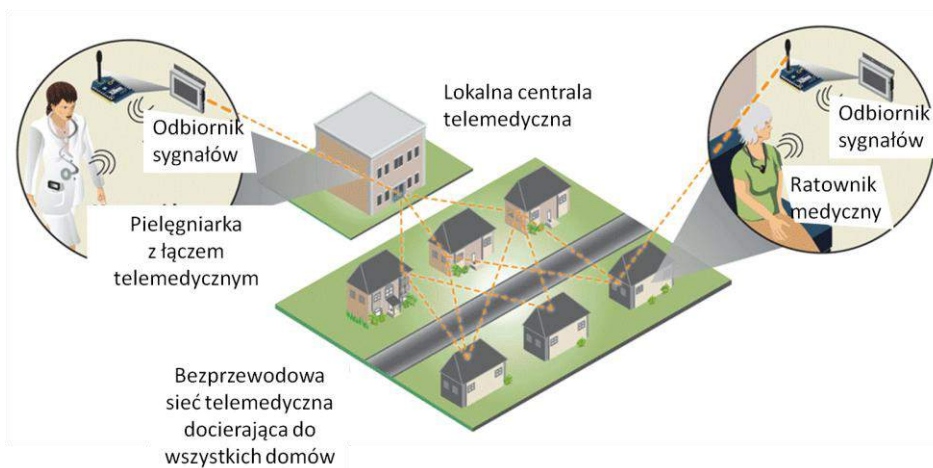
Rysunek 9.8. Podmioty uczestniczące w systemie telemedycyny (Źródło: http://www.nerdmodo.com/wp-content/uploads/2009/07/ICI_concept.png - sierpień 2010).

System telemedyczny zawsze osadzony jest jakoś w terenie i oczywiście zawsze zawiera komponentę związaną z pacjentami (odpowiednio wyposażone technicznie mieszkania i domy – rys. 9.9) – oraz część odbiorczą, za pomocą której personel medyczny odbiera i interpretuje nadchodzące od pacjentów sygnały, udzielając im pomocy stosownie do rzeczywistych potrzeb.



Rysunek 9.9. Przykładowe elementy telemedyczne znajdujące się w domu pacjenta (Źródło: <http://www.digi.com/learningcenter/stories/wirelessly-network-home-health-care-monitoring-devices> - sierpień 2010)

Na rysunku (Rys. 9.10) 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 jakiego ośrodka czy osiedla. Być może w przyszłości ten model systemu telemedycznego stosowany będzie 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 9.10. Przykładowy mały system telemedyczny dla niewielu pacjentów. (Źródło: <http://www.digi.com/learningcenter/stories/wireless-mesh-technology-used-in-life-saving-application> - sierpień 2010)

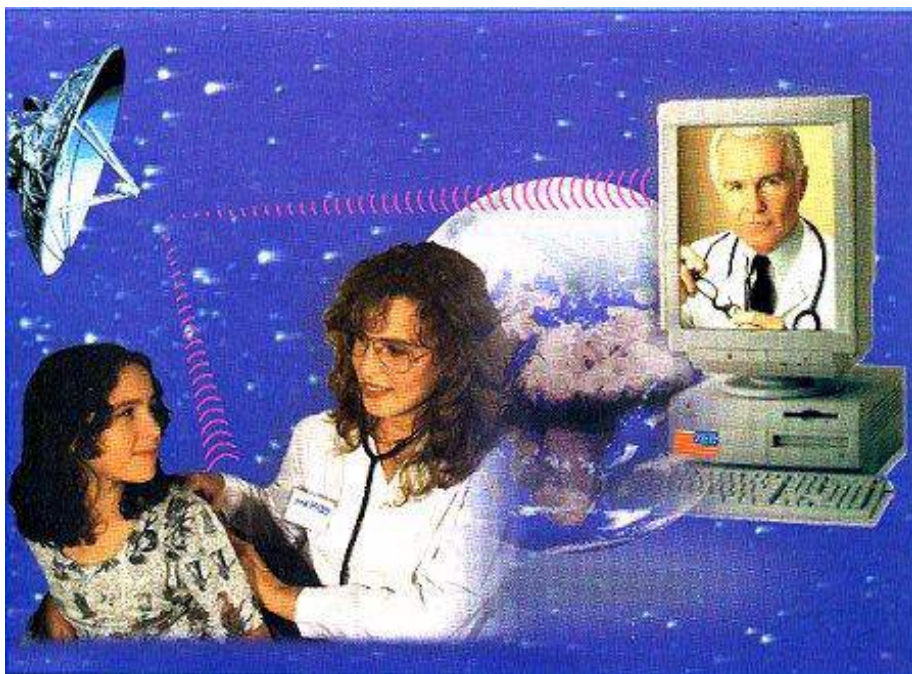
Rzeczywiste systemy telemedyczne są oczywiście znacznie bardziej rozległe, na przykład pokazany na rysunku 9.11 schemat opartego na telekomunikacji satelitarnej indyjskiego systemu telemedycznego obejmuje 130 szpitali. Schematu podanego na rysunku 9.11. nie opisywano po polsku (co z zasady robiono na innych rysunkach czerpanych z zagranicznych źródeł) ponieważ opisy dotyczą głównie nazw miejscowości, w których zlokalizowane są połączone telemedycznie szpitale, więc ich tłumaczenie na język polski było bezcelowe.



Rysunek 9.11. Schemat indyjskiego systemu telemedycznego (Źródło: http://www.decu.gov.in/projects/images/telemedicine_02.jpg - sierpień 2010)

9.4. Zdalne konsultacje i badanie pacjenta w jego domu

Zależnie od wyposażenia jakim dysponuje placówka świadcząca usługi telemedyczne oraz pacjent możliwe jest stawianie telemedycznie różnych zadań. Podstawowy wariant polega na **zdalnych konsultacjach** (rys. 9.12).



Rysunek 9.12. Najczęstsze zastosowanie: zdalne konsultacje medyczne (Źródło: <http://www.maat.si/telemedicine.jpg> - sierpień 2010)

Podczas telekonsultacji medycznych często wykorzystywane jest typowe wyposażenie telekonferencyjne (kamery internetowe + łącze głosowe). Wymiana informacji możliwa jest jednak w szerszym zakresie, gdyż obie strony posługując się Internetem dysponują także możliwością przesyłania danych alfanumerycznych i obrazów wysokiej rozdzielczości. Nadawcami i odbiorcami informacji przy takim zastosowaniu są lekarze, przy czym nadawcą jest zwykle lekarz o mniejszych kwalifikacjach, potrzebujący rady i pomocy, zaś odbiorcą transmisji jest ekspert lub grupa ekspertów udzielających w sposób zdalny potrzebnych nowicjuszowi rad. Pacjent uczestniczy w tej formie telekonsultacji wyłącznie jako bierny obiekt (rys. 9.13).



Rysunek 9.13. Podczas typowych telekonsultacji medycznych pacjent nie ma aktywnej roli (Źródło: <http://105g.files.wordpress.com/2009/05/telemedicine.jpg> - sierpień 2010)

W wymienionych wyżej zastosowaniach u boku pacjenta zawsze był lekarz lub ktoś o niższych, ale niezerowych kwalifikacjach medycznych (na przykład pielęgniarka albo ratownik), więc badanie pacjenta na odległość odbywało się przy jego pomocy. Ogromne pole działania telemedycyny wiąże się jednak ze zdalną pomocą medyczną świadczoną osobom samotnym (zwykle starcom). Wizja robota medycznego (rys. 9.14), który w takim przypadku mógłby pacjenta przebadać należy jeszcze do sfery futurystyki lub fantazji.



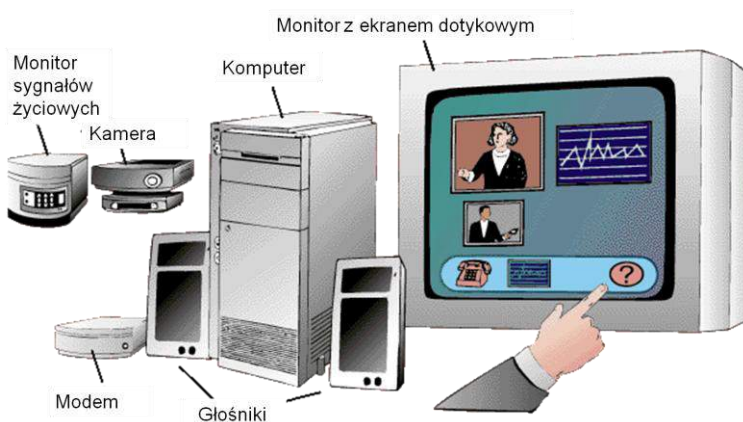
Rysunek 9.14. Wizja robota telemedycznego automatycznie udzielającego pomocy pacjentowi pomocy obecnie jest jedynie fantazją. (Źródło: http://newpolcom.rhul.ac.uk/storage/medical-robot.jpg?__SQUARESPACE_CACHEVERSION=1231325162123 – sierpień 2010)

Natomiast całkowicie realne jest takie wyposażenie pacjenta podlegającego zdalnemu monitorowaniu, żeby był on w stanie przekazać do centrum nadzorującego jego stan zdrowie aktualne dane dotyczące swoich najistotniejszych funkcji życiowych. Wyposażenie to musi być tanie (bo będzie potrzebne w bardzo dużej liczbie egzemplarzy do użytku ludzi z reguły raczej ubogich) a także proste w obsłudze. Wyposażenie takie jest jednak już dostępne i w pełni możliwa jest zalana kontrola stanu zdrowia pacjentów starych i samotnych. Co więcej pacjent taki korzystając z prostego wyposażenie telekonferencyjnego może zadać lekarzowi pytanie lub zasięgnąć rady w jakiejś dręczącej go sprawie, nie ma więc poczucia bezradności, które często bywa zmorą schorowanych ludzi w podeszłym wieku (rys. 9.15).



Rysunek 9.15. Wyposażenie domu samotnego emeryta w łatwą w obsłudze aparaturę może zagwarantować mu ciągłą opiekę telemedyczną (Źródło: <http://www.accessrx.com/blog/files/media/image/Telemedicine%20Video%20Ladies.jpg> – sierpień 2010)

Na rysunku 9.16 przedstawiono typowy zestaw aparatury pozwalającej na zdalną opiekę nad człowiekiem starym i samotnym.



Rysunek 9.16. Przykładowe wyposażenie telemedyczne pacjenta (Źródło: <http://www.aafp.org/fpm/980100fm/telemedicine.gif> - sierpień 2010)

Czasem cenne dane telemedyczne mogą być uzyskane z pomocą osoby nie mającej zaawansowanej wiedzy medycznej, mogącej jednak wykonywać

polecenia lekarza z którym pomocnik komunikuje się przez łącze teleinformatyczne. Jako przykład można zobaczyć na rysunku 9.17 zdalne badanie gardła chorego dziecka wykonywane przez lekarza przy pomocy szkolnej higienistki.



Rysunek 9.17. W telemedycznym badaniu pacjenta użyteczna jest pomoc osób mogących wykonywać polecenia lekarza (Źródło: http://media.knoxnews.com/media/img/photos/2008/10/16/101708telemedicine_t607.jpg – sierpień 2010)

Prosta w obsłudze i tania aparatura wchodząca w skład współczesnego wyposażenia mieszkań pacjentów, nad którymi roztaczana jest opieka metodą telemedyczną może z powodzeniem być obsługiwana przez samego pacjenta, ewentualnie korzystającego ze zdalnej konsultacji lekarza lub technika (specjalisty zajmującego się telemedyczną aparaturą), który w razie potrzeby może w trybie telekonferencyjnym doradzać, jak posłużyć się określonym aparatem, a także (mając dostęp do wysyłanych z mieszkania pacjenta sygnałów – może potwierdzić, że aparat umieszczono na ciele pacjenta poprawnie, lub może ostrzec, że nadchodzące do centrali sygnały są złej jakości, czyli trzeba zamocowanie aparatu odpowiednio poprawić (Rys. 9.18).

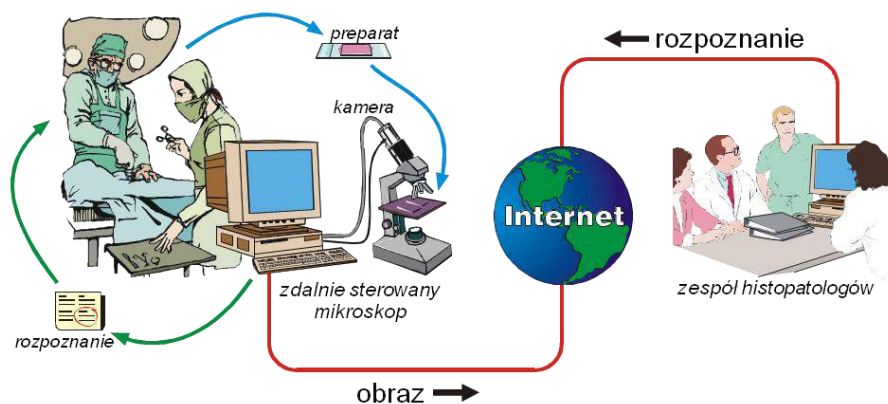
Przy wykonywaniu badań telemedycznych wymagających pomocy dodatkowej osoby dąży się do tego, żeby ta osoba pomagająca w badaniach nie musiała mieć żadnej specjalistycznej wiedzy (Rys. 9.19). Jest to możliwe ze względu na stałą

pomoc lekarza (widoczny na rysunku na ekranie w głębi), który w trybie telekonferencyjnym stale udziela działającym osobom rad i wskazówek.



Rysunek 9.19. Badanie telemedyczne z udziałem postronnej osoby (Źródło: <http://i.bnet.com/blogs/connected-care-sm.jpg> - sierpień 2010)

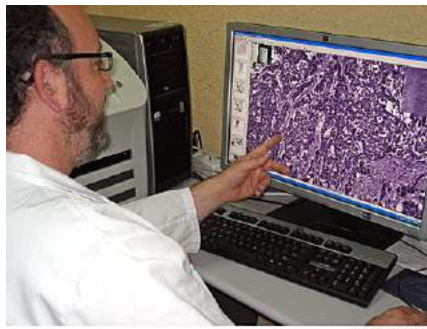
Temat telekonsultacji z wykorzystaniem narzędzi telemedycznych jest niesłychanie rozległy, więc niepodobna go tu wyczerpać. Dlatego kończąc ten temat wspomniemy jeszcze tylko o jednym zastosowaniu telekonsultacji jakim jest telepatologia.



Rysunek 9.20. Schemat badania telepatologicznego

Badanie histopatologiczne tkanek usuniętych podczas operacji jest obecnie czynnością wykonywaną rutynowo w celu wczesnego wykrywania raka. Czasem jednak wynik takiego badania jest potrzebny chirurgom jeszcze podczas operacji (żeby ustalić, czy poprzestać na już usuniętych fragmentach narządów czy też sięgnąć dalej i głębiej). Normalną drogą wynik badania histopatologicznego

otrzymywany jest po upływie kilku dni, co prowadzi niekiedy do konieczności wykonywania powtórnej operacji tego samego pacjenta. Żeby uniknąć takich sytuacji korzysta się obecnie chętnie z badania telepatologicznego, którego schemat przedstawiono na rysunku 9.20, a stanowisko oceny – na rysunku 9.21.



Rysunek 9.21. Stanowisko oceny preparatów telepatologicznych (Źródło: http://sescam.jccm.es/web1/images/images_ciudadanos/gr11245506082008.jpg - sierpień 2010).

9.5. Telemedycyna w ratownictwie medycznym

Telekonsultacje są szczególnie cenne jako wsparcie działania ratowników medycznych. Lekarz, który przybywa w karetce pogotowie na miejsce wypadku lub do nagłego zachorowania musi być przygotowany na wszystko – a jednocześnie nigdy nie jest specjalistą we wszystkich zagadnieniach, z jakimi może się zetknąć. Z tego powodu możliwość uzyskania w razie potrzeby konsultacji telemedycznej ma zasadnicze znaczenie dla skuteczności jego działania (rys. 9.22).



Rysunek 9.22. Telemedyczne wyposażenie karetki pogotowia (Źródło: <http://www.lifebot.us.com/workstation1.jpg> - sierpień 2010)

Osoba udzielająca telekonsultacji zespołowi ratowników może także od razu uruchomić przygotowania do dalszych działań, które zostaną podjęte gdy karetka z pacjentem dotrze do szpitala (na przykład przygotowanie sali operacyjnej i grupy chirurgów, krwi odpowiedniej grupy do przetoczenia itp. Takie teledygniczne wsparcie ratownictwa ogromnie może zwiększyć jego skuteczność (rys. 9.23)



Rys. 9.23. Telekonsultacje w ratownictwie medycznym (Źródło: <http://webconferencingcouncil.com/wp-content/uploads/2009/05/telemedicine.jpg> - sierpień 2010)

Oczywiście wszystkie opisane wyżej zastosowania są możliwe do użycia jedynie wtedy, gdy po drugiej stronie teledygnicznego łącza jest ekspert, który przekazywane obrazy (i inne sygnały) może odebrać, przeanalizować i we właściwy sposób zinterpretować. O tym teraz porozmawiamy.

9.6. Wyposażenie stanowiska eksperta przy telekonsultacjach

Na rysunku 9.24 pokazano przykładowe stanowisko eksperta który może konsultować przypadki nadsyłane przez innych lekarzy albo jest w stanie odbierać i oceniać sygnały pochodzące od pacjentów monitorowanych teledygnie w ich domach.



Rysunek 9.24. Centrala odbioru i interpretacji danych teledygnicznych (Źródło: <http://www.washingtontimes.com/news/2009/oct/04/telemedicine-lets-doctors-diagnose-sick-miles-away//> - sierpień 2010)

W tym miejscu warto uczynić uwagę na temat okoliczności, która nie jest ściśle związana z informatyką medyczną, ale w bardzo istotny sposób determinuje skuteczność funkcjonowania systemów informatyki medycznej, a zwłaszcza systemów teledygnicznych. Otóż obserwacje tych systemów, które już zostały wdrożone i funkcjonują pokazuje, że przysłowiowym „wąskim gardłem” nie jest technika, ale przyzwyczajenia lekarzy. Technika jest na najwyższym poziomie. Informacje nadsyłane przez łącza teledygniczne mogą być dziś tak dobrej jakości, że lekarz badając pacjenta na odległość może mieć do dyspozycji dane (zwłaszcza obrazy) tak dobre, że widzi więcej i dokładniej niż gdyby osobiście badał pacjenta (rys. 9.25). Trzeba jednak zdawać sobie sprawę, że nawet wybitny specjalista z wieloletnią praktyką znalazłszy się w sytuacji, kiedy zamiast pacjenta ma ekran komputerowy – nie zawsze potrafi skutecznie sprostać wynikającym z tego wymaganiom.



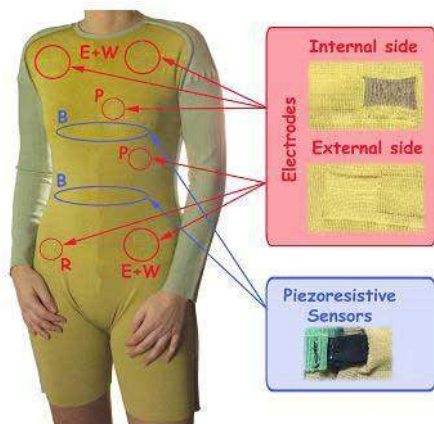
Rysunek 9.25. Ekspert dokonujący badania pacjenta na odległość przy obecnym stanie techniki może mieć do dyspozycji pełne informacje (Źródło: http://www.odt.co.nz/files/story/2009/06/ophthalmologist_associate_prof_gordon_sanderson_at_2236390084.JPG - sierpień 2010)

9.7. Ubrania wyposażone w czujniki jako element telemedycyny

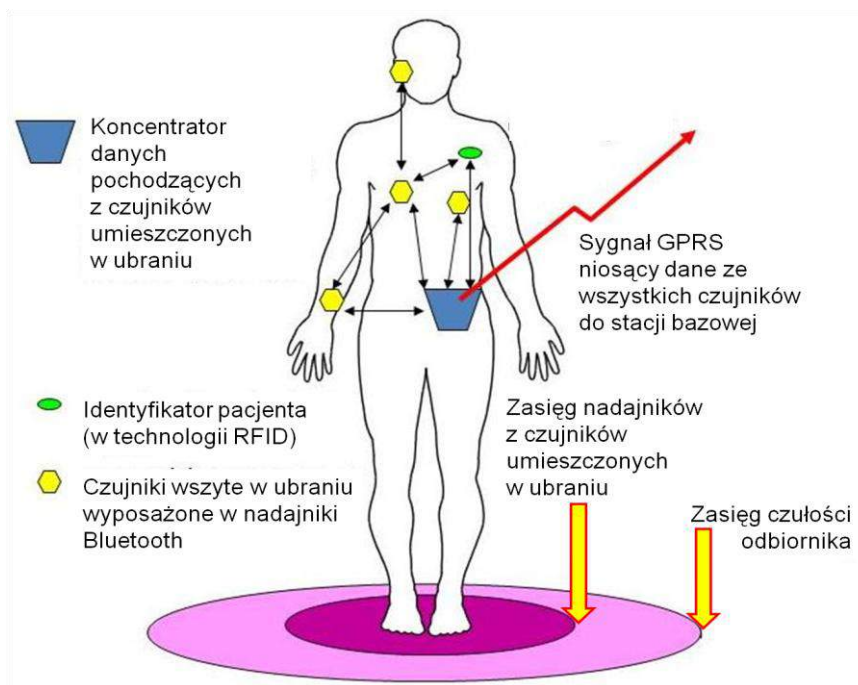
Omawiając w rozdziale 8 zagadnienia sieci komputerowych dla potrzeb medycyny zasygnalizowano fakt, że obok sieci LAN, MAN i WAN w informatyce medycznej rozważać trzeba także sieci BAN w których telekomunikacja (z reguły bezprzewodowa) odbywa się na dystansach odpowiadających rozmiarom ciała człowieka. Sieci te mają związek z omawianymi w tym rozdziale zagadnieniami telemedycyny i z tego powodu będą tu omawiane.

Zbieranie danych o funkcjach życiowych osób monitorowanych telemedycznie wymaga czujników i przetworników pomiarowych mających styczność z ciałem nadzorowanego pacjenta. Jeśli pacjent jest w miarę młody i sprawny – może odpowiednio czujniki, przetworniki i elektrody sam sobie założyć. Ale jeśli mamy do czynienia z człowiekiem starym, z reguły niezbyt sprawnym fizycznie i w dodatku często także niezbyt chętnym do uczenia się nowych rzeczy – pojawia się problem.

Rozwiązaniem są czujniki i przetworniki pomiarowe zintegrowane z ubraniem. Ubiierając się – pacjent przyłącza do swego ciała całą tę aparaturę. Na rysunku 9.26 pokazano przykładowe ubranie zawierające w swojej strukturze odpowiednie czujniki i przetworniki pomiarowe – w tym przypadku do śledzenia akcji serca oraz ruchów oddechowych.



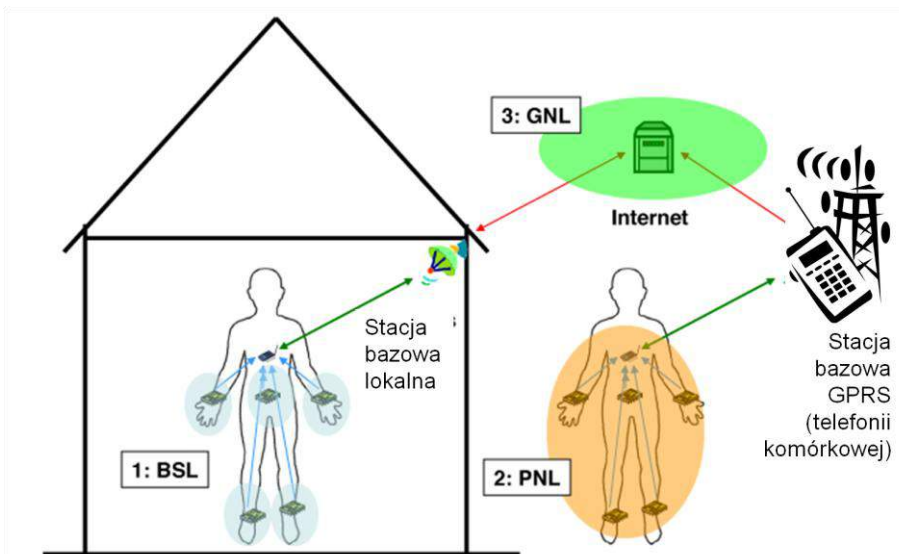
Rysunek 9.26. Ubranie w skład którego wchodzi czujniki telemedyczne (Źródło: <http://www.medgadget.com/archives/img/Wealthy.jpg> - sierpień 2010)



Rysunek 9.27. Schemat ideowy typowej telemedycznej sieci BAN (Źródło: <http://www.ee.qub.ac.uk/radio/projects/bodycentric.jpg> - sierpień 2010)

Żeby sygnały z tych czujników mogły być wykorzystane w celach telemedycznych muszą zostać odebrane, odpowiednio wzmocnione i uformowane, a następnie wysłane do centrum nadzorującego stan zdrowia monitorowanych pacjentów. Wszystko to realizowane jest obecnie

bezprzewodowo. Do łączności między wszytymi w ubranie czujnikami (sensorami) a tak zwanym koncentratorem, to znaczy modulem zbierającym i przesyłającym dalej rejestrowane dane łączność zapewniona jest zwykle za pomocą technologii Bluetooth. Do łączności koncentratora z komputerem wprowadzającym dane do Internetu (a za jego pośrednictwem do centrum telemedycznego) używa się często technologii GPRS (tej samej, co w telefonach komórkowych). Schemat sieci BAN przedstawiony jest na rysunku 9.27.



Rysunek 9.28. Dołączenie pacjenta z czujnikami do Internetu. (Źródło: <http://www.eecs.berkeley.edu/~yang/software/WAR/> - sierpień 2010)

Pacjent w ubraniu zawierającym czujniki, sieć BAN oraz koncentrator danych może być pod kontrolą systemu telemedycznego przy założeniu, że koncentrator ma stałą łączność ze stacją bazową, która jego sygnały odbierze i skieruje do Internetu – a za jego pośrednictwem do centrali nadzoru telemedycznego. W odniesieniu do tej łączności trzeba rozróżnić dwie sytuacje: pacjenta znajdującego się w określonym budynku (zazwyczaj w swoim mieszkaniu) oraz pacjenta znajdującego się na zewnątrz (rys. 9.28). W przypadku pacjenta zlokalizowanego (na terenie mieszkania) sprawa jest prosta, bo można wykorzystać po prostu zlokalizowany w mieszkaniu punkt dostępu do Internetu. W przypadku pacjentów których organizm trzeba śledzić podczas pobytu poza domem konieczne jest korzystanie z usług jakiegoś operatora GSM. W związku z tym wyróżnia się zwykle trzy warstwy sieci monitorującej czynności życiowe pacjenta (zaznaczone na rysunku 9.28):

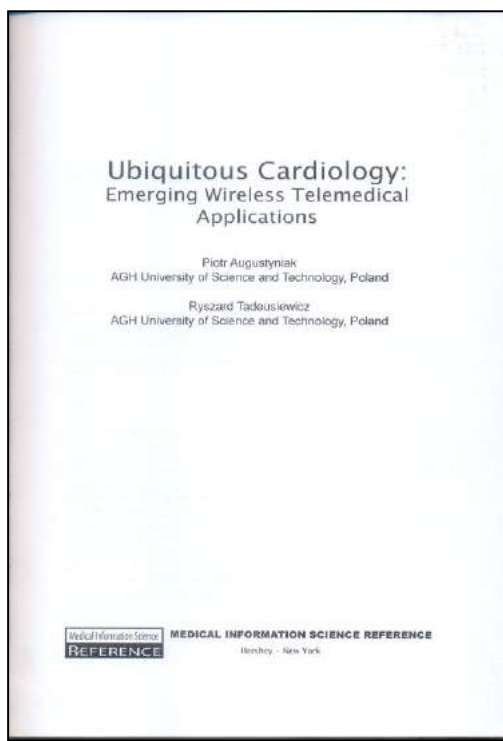
- Warstwę związaną z czujnikami umieszczonymi na ciele pacjenta (tzw. *Body sensor layer* - BSL)

- Warstwę związaną z konkretną nadzorowaną osobą (tzw. *Personal network layer* - PNL)
- Warstwę związaną z siecią globalną (tzw. *Global network layer* - GNL)

9.8. Zakończenie

Rozdział ten nie wyczerpał wszystkich wątków związanych z obecnością telemedycyny w obszarze informatyki medycznej. Nie poruszono między innymi takich zagadnień jak: teleinformatyczny nadzór nad pacjentami szczególnego ryzyka, telemedycznie kontrolowana terapia i rehabilitacja, zdalnie sterowane roboty chirurgiczne itp. Niemniej te treści, które w tym rozdziale udało się zawrzeć powinny być przydatne wszystkim czytelnikom przynajmniej do tego, żeby prawidłowo lokalizować problematykę telemedycyny i znać jej główne cele i zasadnicze osiągnięcia.

Na koniec warto może dodać jeszcze jeden wątek personalny: otóż autor tego skryptu ma do telemedycyny stosunek bardzo osobisty, gdyż w 2009 roku ukazała się w USA czterystustronicowa książka, której stronę tytułową reprodukuje rysunek 9.29.



Rysunek 9.29. Książka dotycząca telemedycyny wydana w 2009 roku w USA

ROZDZIAŁ 10

PROBLEMY BEZPIECZEŃSTWA W SYSTEMACH INFORMATYKI MEDYCZNEJ

10.1. Przyczyny i natura zagrożeń	184
10.2. Cechy charakterystyczne aplikacji internetowych	186
10.3. Bezpieczeństwo aplikacji internetowych	189
10.4. Podstawowe kategorie zagrożeń	190
10.5. Analiza zagrożeń	197
10.6. Dziesiątka największych zagrożeń	199
10.7. Podstawowe metody ochrony	202
10.8. Kopie zapasowe	205
10.9. Programy antywirusowe	207
10.10. Tak zwane „ściany ogniowe” <i>firewall</i>	208
10.11. Wirtualne sieci prywatne – VPN	209
10.12. Uwierzytelnianie użytkowników	211
10.13. Zabezpieczenia personalne i organizacyjne	212

10.1. Przyczyny i natura zagrożeń

Okres ostatnich kilku lat to w informatyce medycznej czas szczególnie intensywnego rozwoju aplikacji internetowych. Proces ten pociągnął za sobą różnorakie skutki, mając jednocześnie bardzo wyraźny wpływ na sposób budowy i użytkowania systemów komputerowych budowanych na potrzeby medycyny. Dzięki tak dynamicznemu rozwojowi aplikacji internetowych możliwe stało się sprawniejsze i dużo bardziej wydajne zarządzanie zasobami oraz danymi za pomocą sieci komputerowych. Nastąpiła gigantyczna zmiana jakościowa w sposobie przechowywania, przetwarzania i przekazywania informacji. Taka sytuacja sprawiła, że inne sposoby gromadzenia danych stały się nieefektywne i przestarzałe, co pociągnęło za sobą proces wypierania klasycznych aplikacji przez ich internetowe odpowiedniki (rys. 10.1).



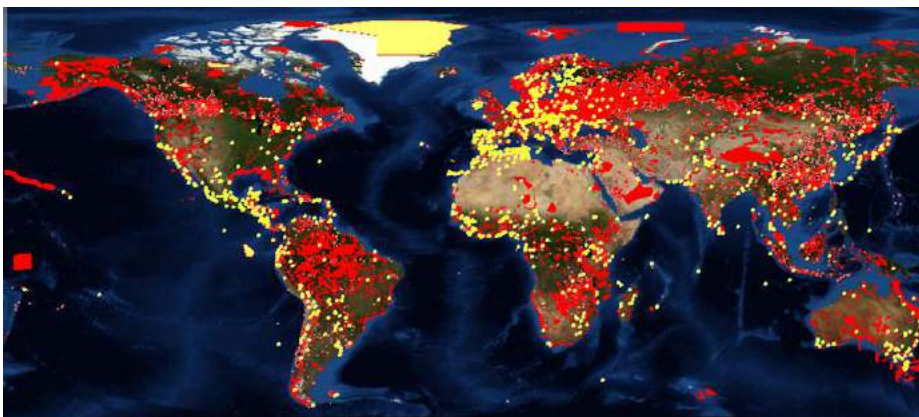
Rysunek 10.1. Dzięki aplikacjom internetowym pacjent może być objęty opieką medyczną w dowolnym zakątku globu (Źródło:

<http://www.medicalonline.com.au/images/medicine.jpg>, sierpień 2010)

Ten proces szczególnie widoczny jest tam, gdzie zachodzi potrzeba zbierania informacji od ogromnej liczbie użytkowników (pacjentów), którzy nie zawsze skoncentrowani są na jednym, konkretnym obszarze (szpital), a często, jak to bywa w przypadku telemedycyny, są w swoich domach na terenie całego miasta, województwa, a nawet w różnych krajach, nierzadko nawet na kilku kontynentach (rys. 10.2).

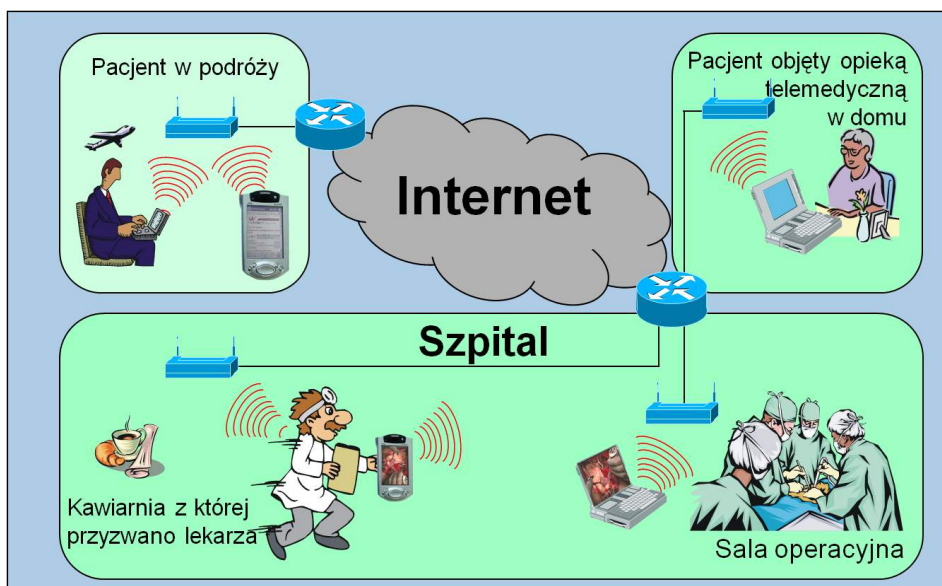
Rozwiązaniem są aplikacje internetowe, działające na centralnym serwerze i komunikujące się z użytkownikami końcowymi za pośrednictwem przeglądarek. Korzyści takiego rozwiązania wynikają przede wszystkim z możliwości jakie oferuje Internet w kwestii szybkości transferu informacji i zasobów pomiędzy użytkownikami i łatwości ich obsługi z wykorzystaniem przeglądarek internetowych. Dodatkowym atutem Internetu jest to, że może on być wykorzystywany zarówno w urządzeniach stacjonarnych, jak i mobilnych, a

także w łączności między szpitalem i pacjentami a także pomiędzy lekarzami (rys. 10.3).



Rysunek 10.2. Rozmieszczenie na mapie świata użytkowników serwisu dostępnego w sieci Internet (Źródło: <http://earthtrends.wri.org/images/protectedareas2009.png> - sierpień 2010)

Niestety, coraz silniejsze wiązanie coraz większej liczby aplikacji medycznych z Internetem ma też swoje negatywne strony, głównie związane z kwestią bezpieczeństwa danych.



Rysunek 10.3. Internet jako narzędzie komunikacji między pacjentami i szpitalem a także między lekarzami

Przeniesienie zasobów i danych medycznych ze szpitalnych baz danych do sieci wymusiło jednak konieczność powstania zaawansowanych systemów kontroli i ochrony, mających za zadanie sprawowanie nadzoru nad tymi zasobami, w taki sposób, aby nie dostały się one w niepowołane ręce. Wymaga tego lojalność wobec pacjentów, którzy zawierzyli swoje dane szpitalowi jako instytucji zaufania publicznego i nie powinni zostać zawiedzeni w tym oczekiwaniu. Wynika to jednak także z przepisów prawa, między innymi z Ustawy o Ochronie Danych Osobowych z 29 sierpnia 1997 roku⁸

Kluczową rolę przy tworzeniu kolejnych systemów informatyki medycznej zaczęło więc odgrywać właściwe zabezpieczenie aplikacji, dające gwarancję, że tylko osoby uprawnione będą miały dostęp do odpowiednich zasobów. Celem mechanizmów zabezpieczających jest minimalizacja ryzyka związanego z wykorzystaniem zasobów oraz przechwyceniem poufnych danych przez osoby do tego nieuprawnione. Aplikacje umożliwiające dostęp do zasobów, w których są zgromadzone tak wrażliwe informacje jak dane medyczne, wymagają szczególnie wysokiego poziomu ochrony i zabezpieczeń oraz ciągłego monitorowania skuteczności tychże zabezpieczeń.

Celem niniejszego rozdziału jest przedstawienie najistotniejszych **podatności** (luk w zabezpieczeniach), jakie występują we współczesnych systemach informatyki medycznej, a zwłaszcza w ich aplikacjach internetowych. Właśnie te luki są największym zagrożeniem dla systemów medycznych i telemedycznych, gdyż często są one wykorzystywane do ataków na aplikacje umieszczone w sieci. Rozdział zawiera również zestawienie najważniejszych metod zabezpieczeń i ochrony aplikacji, a także najnowszych technik testowania.

10.2. Cechy charakterystyczne aplikacji internetowych

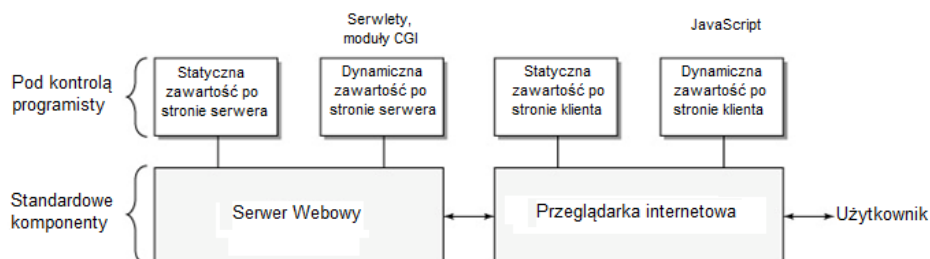
Termin „aplikacja internetowa” nie jest jednoznaczny. Najogólniej mówiąc, aplikacja internetowa jest zestawem programów, które działają na serwerze HTTP⁹. Komunikacja z użytkownikiem przebiega z użyciem przeglądarki internetowej wykorzystującej dokumenty dynamiczne, które następnie są przesyłane za pośrednictwem protokołu HTTP. Aplikacja internetowa nie jest

⁸ Ustawa o Ochronie Danych Osobowych z 29 sierpnia 1997 r., tj. DzU 2002 r., nr 101, poz. 926, ze zm.

⁹ W kontekście technologicznym, aplikacją internetową można nazwać każdą aplikację użytą w dowolnej warstwie Internetu, wykorzystującą protokoły z rodziny TCP/IP. Aplikacje internetowe mogą wykorzystywać oprogramowanie obsługujące protokół HTTP, FTP, internetowy protokół drukowania (IPP1), jak również protokół zdalnego wykonywania poleceń (na przykład TELNET). Jednakże niniejszy rozdział skupia się na aplikacjach internetowych opartych na protokole HTTP, zwanych inaczej aplikacjami WWW.

więc tylko witryną internetową, ale też nie jest typową aplikacją w kontekście zwykłych aplikacji w systemach operacyjnych. Tradycyjne aplikacje, nie pracujące w Internecie, korzystają z tak zwanego grubego klienta, czyli z obszernego oprogramowania zlokalizowanego w komputerze odbiorcy informacji, które przetwarza większość danych.

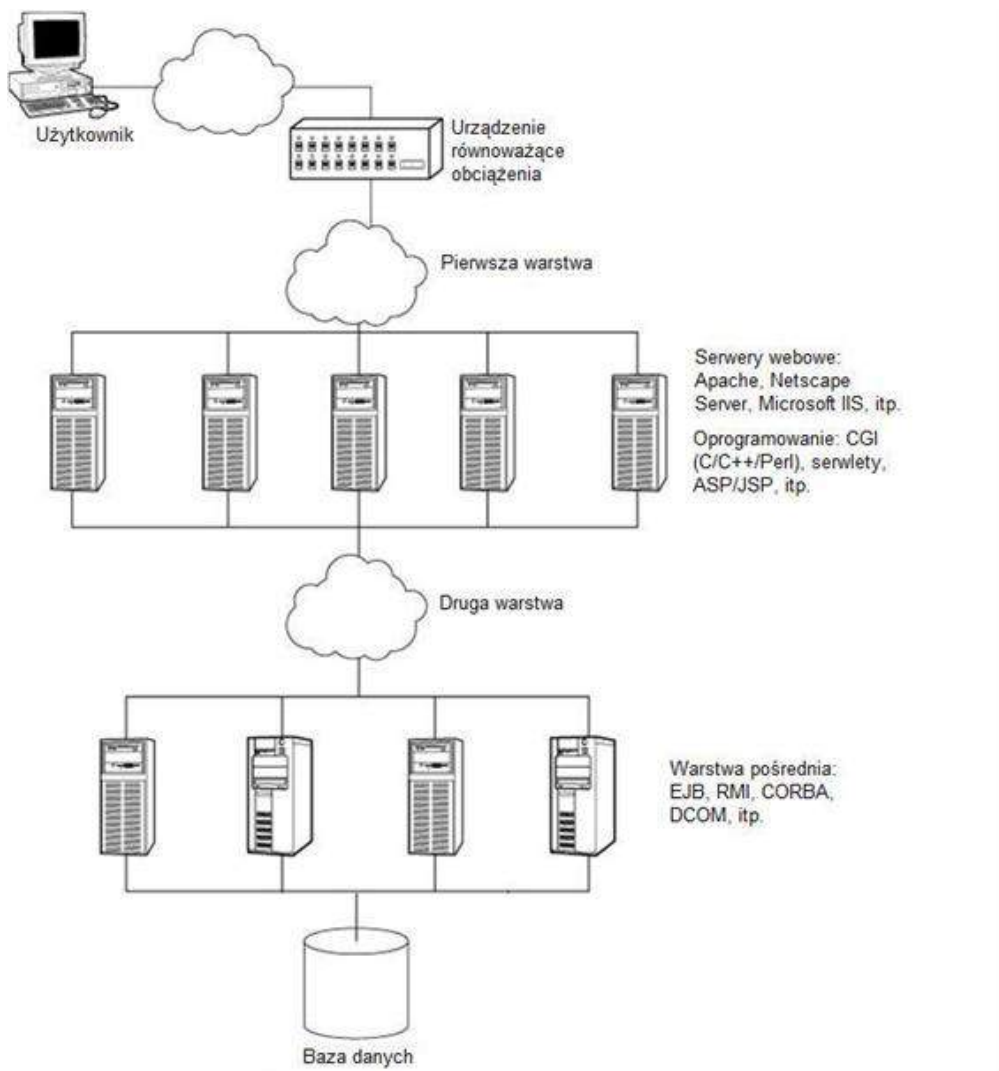
Wraz ze wzrostem ilości połączonych ze sobą komputerów, które formowały sieci oraz intranety, niska wydajność tradycyjnego oprogramowania zaczęła wymagać innego podejścia. Nastąpiło przejście od składowania kompletnej kopii aplikacji na każdej maszynie, do współdzielenia programu, który był zainstalowany tylko na jednym komputerze. Zaczęto również rozdzielać bazę danych, trzymaną na jednej maszynie, od oprogramowania obsługującego żądania, które przenoszono na wyspecjalizowane serwery, tak aby każdy użytkownik (klient) nie musiał ich obsługiwać niezależnie. Ten model, określany jako klient- serwer, zezwolił na rozwój coraz bardziej skomplikowanych programów (Rysunek 10.4).



Rysunek 10.4. Przykładowa struktura aplikacji internetowej

W typowej aplikacji typu klient- serwer, zarówno klient jak i serwer są tak stworzone, aby razem współpracować oraz są utrzymywane przez tę samą organizację. Główna różnica pomiędzy tradycyjną aplikacją a aplikacją typu klient-serwer polega na tym, że w przypadku aplikacji klient- serwer kod programu jest podzielone na dwie rozdzielne części. Oczywiście, bardziej skomplikowane aplikacje mogą wymagać wielu serwerów, jednakże deweloper zwykle kontroluje to, w jaki sposób aplikacja jest skonstruowana.

Obecnie jednak różnice między aplikacjami internetowymi a tradycyjnymi zacierają się, gdyż aplikacje internetowe wciąż ewoluują i oferują coraz szersze możliwości. Z tego właśnie powodu trudno jest aktualnie wymienić cechy, które dotyczą aplikacji internetowych, natomiast nie dotyczą klasycznych aplikacji. Dodatkowo, rozwiązania takie jak SOA (*Service Oriented Architecture* – architektura zorientowana na usługi) integrują aplikacje tradycyjne i internetowe, zacierając podział między nimi. Schemat struktury przykładowej aplikacji internetowej przedstawia rys. 10.5.



Rysunek 10.5. Schemat struktury przykładowej aplikacji internetowej. Zwraca uwagę warstwowa budowa aplikacji

Aplikacje internetowe charakteryzują się następującymi cechami:

- nie są instalowane na lokalnym komputerze, uruchamiane są jedynie za pośrednictwem przeglądarki internetowej;
- proces sterowania aplikacją internetową odbywa się za pomocą użycia rozwijalnych list wyboru, pól edycyjnych i przycisków;
- aplikacje przechowują informacje o stanie klienta, ponieważ protokół HTTP używany w komunikacji pomiędzy klientem (przeglądarką WWW) a serwerem jest protokołem bezstanowym.

Jak wspomniano powyżej, aplikacje WWW wymagają obecności specjalnego środowiska uruchomieniowego nazywanego serwerem aplikacji. Serwer aplikacji stanowi część serwera HTTP lub jest z nim powiązany.

Współczesne aplikacje internetowe możemy rozpatrywać jako zbiór odrębnych warstw (rys. 10.5). Warstwowa architektura oznacza, że aplikacja jest podzielona na niezależne moduły. Każdy z tych modułów wypełnia dokładnie zdefiniowane podzadania, takie jak zarządzanie bazą danych, implementacja logiki biznesowej czy obsługa interfejsu użytkownika. Z tej perspektywy, architektura warstwowa jest podobna do programowania modularnego. To co wyróżnia architekturę warstwową to fakt, że poszczególne warstwy są niezależnymi komponentami, które nawet nie muszą działać na tej samej maszynie. Działają wspólnie, lecz nie są połączone w pojedynczą wykonywalną aplikację. Zazwyczaj niższe warstwy nie posiadają żadnej konkretnej wiedzy na temat tego, co dzieje się na wyższych warstwach. Każda warstwa może działać na innej lub na wielu maszynach, a poszczególne warstwy są często implementowane przez różne zespoły, w różnych językach, z użyciem różnych standardów.

10.3. Bezpieczeństwo aplikacji internetowych

Podczas projektowania aplikacji internetowych bardzo ważne jest, aby nie pomijać oceny ryzyka, która związana jest z działaniem aplikacji informatyki medycznej w wielodostępnym środowisku globalnej sieci. Należy pamiętać, że stosowanie nawet najlepszych zabezpieczeń nie jest w stanie całkowicie ochronić przed zagrożeniami. W przypadku dużych rozwiązań aplikacji internetowych, które mogą być podatne na celowe ataki, niezbędne jest zaprojektowanie i wdrożenie konkretnych strategii zarządzania ryzykiem związanym z działaniem aplikacji w Internecie. Stosowanie takich strategii umożliwia ograniczenie ilości incydentów mających związek z naruszeniem bezpieczeństwa aplikacji.

Firma Microsoft proponuje model ryzyka zagrożeń, który umożliwia prowadzenie analizy projektu pod kątem bezpieczeństwa, jednocześnie dostarczając mierniki pozwalające na ocenę stopnia realizacji w ramach budżetu. Powinien się on składać z następujących etapów:

1. Zdefiniowanie celów strategii bezpieczeństwa. Jasne cele pozwalają na skupienie się na modelowaniu zagrożeń i określeniu jak wiele uwagi poświęcić poszczególnym zagadnieniom.
2. Przegląd aplikacji. Wyszczególnienie kluczowych charakterystyk i aktorów w aplikacji pozwala na identyfikację istotnych zagrożeń w etapie czwartym.

3. Proces dekompozycji aplikacji. Dokładna wiedza na temat struktury aplikacji jest niezbędna do odkrycia wielu ważnych i szczegółowych zagrożeń.
4. Identyfikacja poszczególnych zagrożeń. Informacje zdobyte w etapach drugim i trzecim umożliwią identyfikację zagrożeń kluczowych dla danej aplikacji.
5. Identyfikacja luk w aplikacji i ocena stopnia zagrożenia. Konieczny jest przegląd wszystkich warstw w aplikacji, aby odnaleźć podatności związane ze znalezionymi zagrożeniami.

Identyfikację zagrożeń powinna rozpoczynać dekompozycja aplikacji, której celem jest wydzielenie modułów i komponentów, w których zapewnienie bezpieczeństwa jest kluczowe. Komponenty te należy następnie zanalizować pod kątem ich podatności. Analiza powinna być przeprowadzona w kontekście znanych zagrożeń i metod ataku.

Jedną z metodyk używanych do kategoryzacji zagrożeń jest metodyka STRIDE (skrót od *Spoofing Identify, Tampering, Repudiability, Information Disclosure, Denial of Service, Elevation of Privilege*). Przedstawia ona sześć najważniejszych grup zagrożeń oraz proponuje metody ich redukcji. Każdy wyodrębniony podczas dekompozycji moduł aplikacji powinien przejść weryfikację pod kątem wyszczególnionych w metodyce zagrożeń.

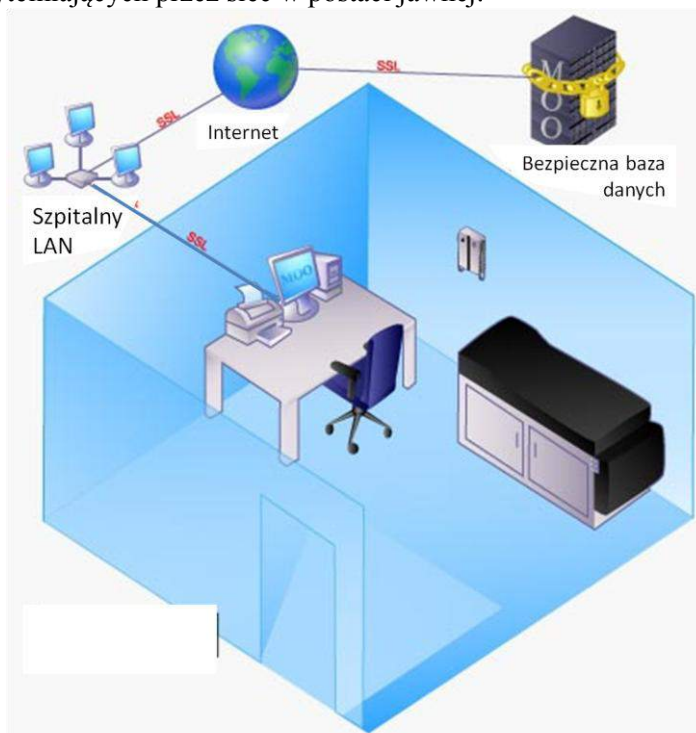
10.4. Podstawowe kategorie zagrożeń

Poniżej prezentowany jest krótki opis podstawowych kategorii zagrożeń, z jakimi możemy mieć do czynienia w systemach informatyki medycznej.

Podszywanie (*Spoofing*)- jest to jeden z podstawowych problemów w aplikacjach działających w Internecie i dostępnych dla wielu użytkowników. W sytuacji, gdy aplikacja pracuje na takich samych uprawnieniach dla wszystkich użytkowników, jest możliwość podszywania się pod tożsamość innego użytkownika, której celem jest uzyskanie dostępu do zastrzeżonych danych. Profile administracyjne są na to szczególnie narażone, ponieważ mają one najszerszy zakres uprawnień, który umożliwia np. modyfikację bazy danych. Aby zredukować to zagrożenie zaleca się używanie SSL (*Secure Sockets Layer* – rys. 10.6).

Łączność przy użyciu SSL nie zawsze musi być stosowana, na przykład jest zbędna podczas banalnej komunikacji email, ale musi być używana przy komunikacji ważnej dla bezpieczeństwa danych, na przykład przy czerpaniu lub zapisywaniu danych pacjentów, a także do przekazywania między komputerami sieci tak zwanych ciasteczek (*Cookies*) zawierających loginy, hasła, identyfikatory sesji itp. Dodatkowo w sieciach informatyki medycznej zalecane jest używanie silnych mechanizmów uwierzytelniania, nieprzechowywanie haseł

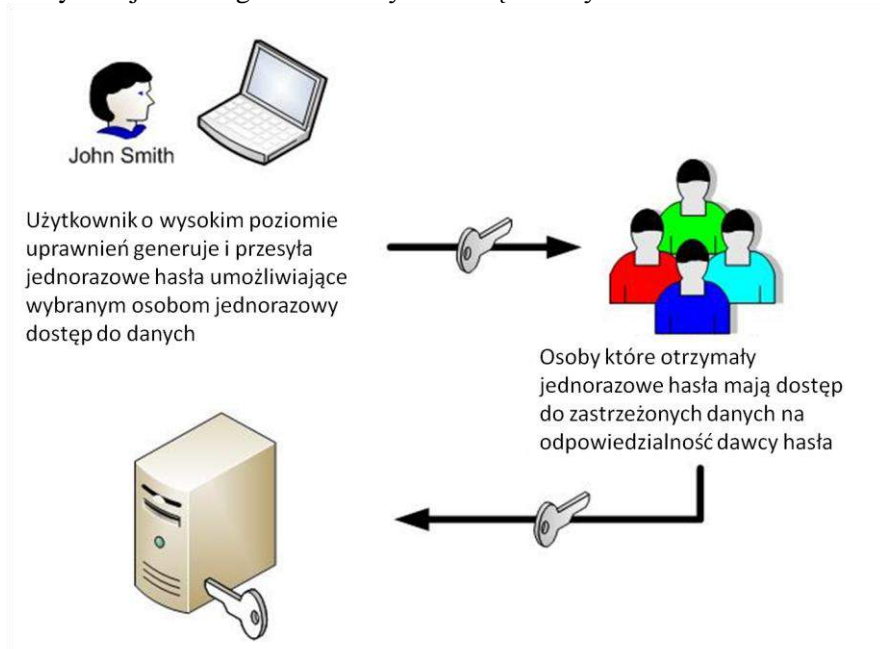
użytkowników w postaci jawnego tekstu (zaleca się szyfrowanie), kontrolowanie dostępu do profili administracyjnych oraz nieprzesyłanie informacji uwierzytelniających przez sieć w postaci jawnej.



Rysunek 10.6. Gabinet lekarski połączony łączami SSL ze szpitalnym LAN oraz Internetem (Źródło: http://www.medicalofficeonline.com/images/examining_room.jpg - sierpień 2010)

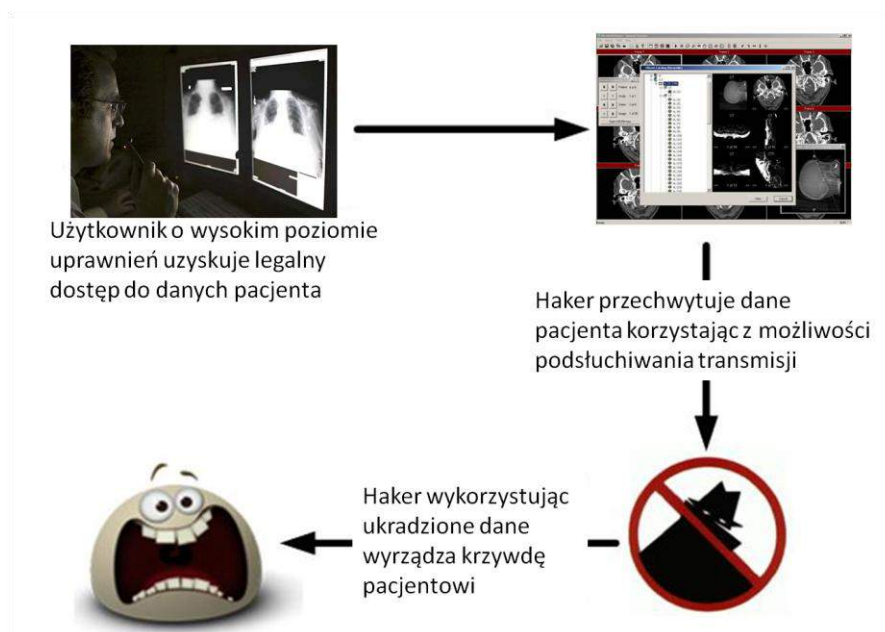
Manipulacja na danych (*Tampering with data*)- zagrożenie to może być spowodowane zbyt dużym zaufaniem dla walidacji danych, która jest przeprowadzana po stronie klienta danej aplikacji poprzez np. skrypty, JavaScript, ActiveX czy aplety Javy. Ponadto, metody GET i POST protokołu HTTP, które są wykorzystywane do przekazywania informacji od klienta mogą zostać zmodyfikowane w celu przekazania odpowiednio spreparowanych zapytań, z pomocą których niepowołane osoby mogą próbować pozyskać zastrzeżone dane (na przykład rekordy pacjentów). Możliwe jest również nadpisywanie wartości zmiennych środowiskowych serwera WWW w celu uzyskania kontroli nad aplikacją po stronie serwera. Aby zredukować to zagrożenie zaleca się zabezpieczanie warstwy danych przy pomocy protokołów, które zapewniają integralność, takich jak IPSec, używanie odpornych na manipulację protokołów komunikacyjnych, używanie elektronicznego podpisu oraz wykorzystywanie funkcji skrótu, takich jak MD5 i SHA1.

Zaprzeczenia akcji (*Repudiation*) - w zastosowaniach medycznych zapewnienie mechanizmów śledzenia i kontroli aktywności użytkowników jest konieczne, aby zapewnić bezpieczną realizację danej transakcji. Wprowadzenie mechanizmów tego typu pozwala na weryfikację przebiegu procesu modyfikacji danych dokonywanych przez użytkowników i zabezpiecza przed negowaniem faktu dokonania tych modyfikacji. Aby zredukować to zagrożenie zalecane jest używanie podpisu elektronicznego lub wykorzystywanie mechanizmu generowania jednorazowych haseł (rys. 10.7) potwierdzających dokonanie modyfikacji oraz logowanie wszystkich żądań użytkownika.



Rysunek 10.7. Mechanizm działania jednorazowych haseł (Źródło: <http://www.e-fensive.net/non-repudiation.jpg> - sierpień 2010)

Ujawnienie informacji (*Information Disclosure*) - Nieuprawnione ujawnienie informacji może nastąpić z winy aplikacji przetwarzanej po stronie serwera, jak również z powodu błędnego zachowania się przeglądarki klienta. Najbardziej narażone na to zagrożenie są aplikacje obsługujące wielu klientów, pracujących na współdzielonych bazach danych. Każda medyczna aplikacja internetowa musi zawierać silne mechanizmy kontroli dostępu do zasobów, tak aby były one dostępne tylko dla uprawnionych użytkowników (Rysunek 10.8).

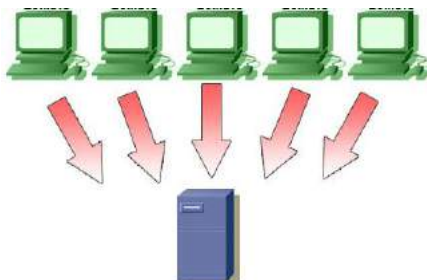


Rysunek 10.8. Mechanizm ujawnienia danych

Znane są przypadki, w których podmieniane części identyfikatora użytkownika bądź numeru transakcji prowadziło do uzyskania przez nieuprawnioną osobę wglądu do cudzych danych. Tego rodzaju problemy są spowodowane brakiem separacji pomiędzy warstwą danych a interfejsem użytkownika. Odpowiednie obiekty warstwy pośredniej powinny dbać o kontrolę dostępu do danych w kontekście ważnego (poprawnie zautoryzowanego) identyfikatora użytkownika. Przeglądarka klienta może na przykład ujawniać zastrzeżone informacje z powodu niewłaściwej obsługi dyrektyw *no-cache* protokołu http. Projektując aplikacje medyczne należy unikać przechowywania ważnych danych (nazwy użytkownika, hasła, kody dostępu itp.) po stronie klienta, ponieważ mogą się one okazać źródłem nadużyć. Aby zredukować to zagrożenie zaleca się użycie silnych mechanizmów autoryzacji, użycie silnych mechanizmów szyfrowania, zabezpieczenie warstwy komunikacji za pomocą protokołów zapewniających poufność (SSL/TLS, IPSec), unikanie przechowywania informacji o pacjentach w postaci jawnego tekstu.

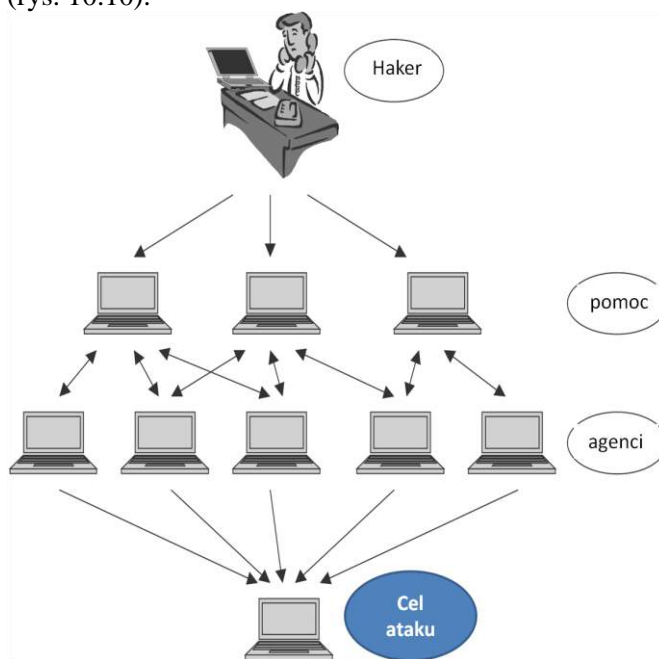
Zablokowanie dostępu do usługi (*Denial of Service*) - Zdecydowana większość środowisk aplikacyjnych, w tym także medycznych, jest podatna na ataki, które polegają na zablokowaniu dostępu do usług świadczonych przez aplikację (tak zwany atak DOS). Ataki tego typu mogą być przeprowadzane na wielu warstwach – od warstwy sieciowej aż do warstwy logiki aplikacji – i na ogół trudno się przed nimi ustrzec. Blokowanie dostępu do usługi nie przynosi atakującemu żadnej bezpośredniej korzyści, natomiast może być bardzo szkodliwe, gdy na przykład w trakcie terapii nagle utracony zostaje dostęp do

ważnych danych pacjenta. Pomysł na atak DOS jest bardzo prosty: Żaden serwer nie poradzi sobie jeśli zostanie zasypany bardzo wieloma żadaniami usługi pochodzącymi od wielu różnych użytkowników (Rysunek 10.9).



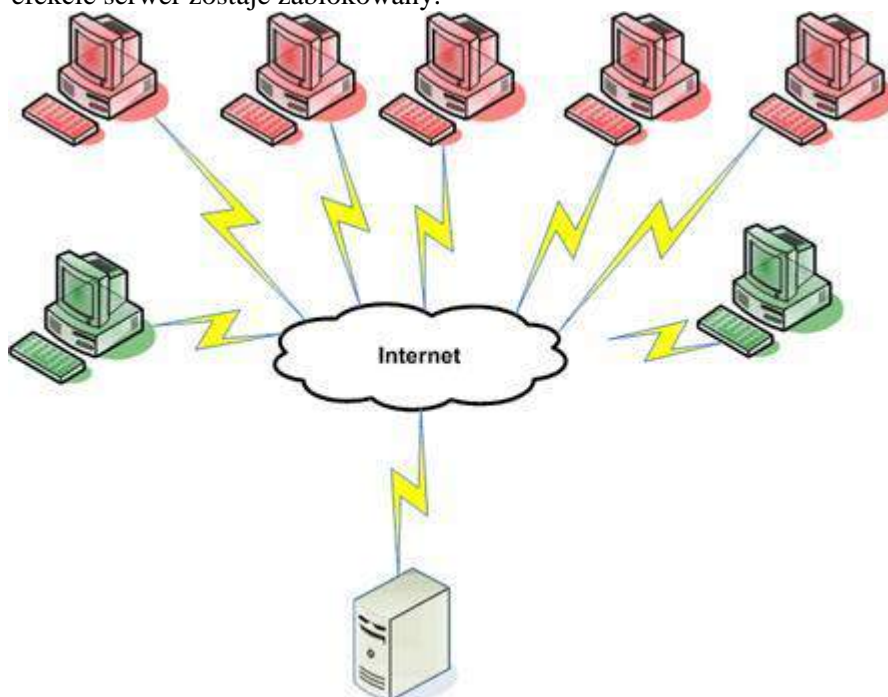
Rysunek 10.9. Istota ataku DOS – zasypanie serwera taką liczbą żądań usługi, żeby nie był w stanie nadążyć. (Źródło: <http://www.learn-networking.com/wp-content/oldimages/distributed-denial-of-service.jpg> - sierpień 2010)

Oczywiście tych licznych żądań usługi napastnik nie może wygenerować sam, z użyciem tylko swojego komputera. Dlatego haker przeprowadzający atak DOS najpierw opanowuje kilka komputerów innych użytkowników, które traktuje jako pomoc (rys. 10.10).



Rysunek 10.10. Szczegóły ataku DOS. Opis w tekście. (Źródło: http://www.emeraldinsight.com/content_images/fig/0460100501001.png - sierpień 2010)

Następnie przy użyciu kilku komputerów pomocniczych, nad którymi przejął kontrolę, uzależnia od siebie dużą liczbę dalszych komputerów, które przy ataku posłużą jako agenci (żargonowo określani mianem *zombie*). Po tych przygotowaniach na polecenie hakera wszyscy agenci równocześnie zgłaszają żądanie usługi do serwera, który stanowi cel ataku. Obok sterowanych przez hakera *zombie* usług żądają oczywiście także legalni użytkownicy (rys. 10.11). W efekcie serwer zostaje zablokowany.

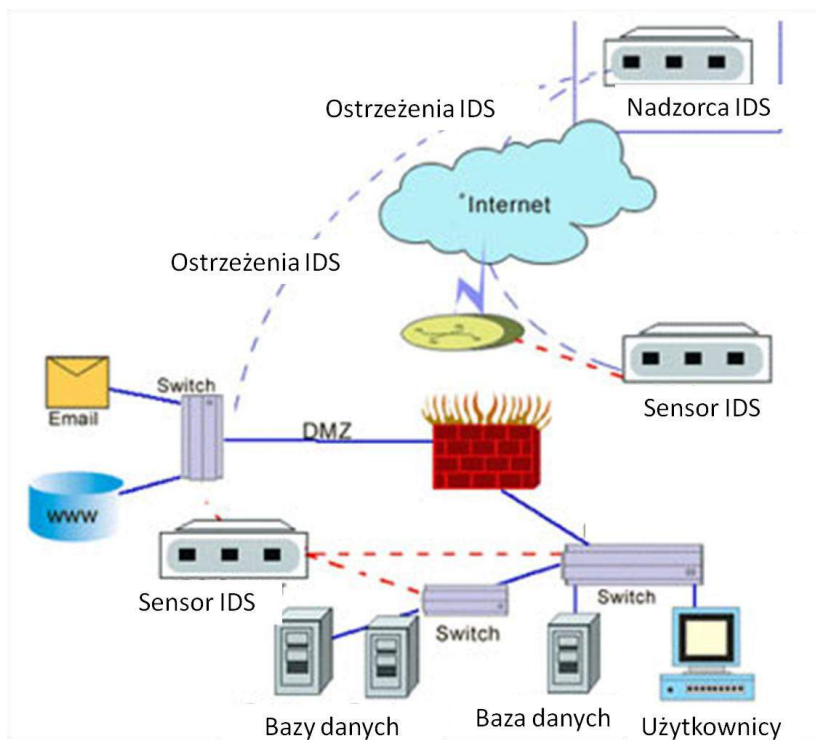


Rysunek 10.11. Podczas ataku DOS żądania do serwera wysyłają też legalni użytkownicy (Źródło: <http://www.gohacking.com/wp-content/uploads/2008/12/ddos-attack.jpg> - sierpień 2010)

Istnieje wiele form tego rodzaju ataków. Mogą to być ataki typu SYN Flood lub też ataki wykorzystujące brak kontroli nad zasobami takimi jak pamięć, ilość procesów itp. Pretekstem do ataku może być brak separacji pomiędzy różnymi serwisami na tym samym serwerze oraz inne nieostrożności. Najważniejszą kwestią w przypadku tego zagrożenia jest umiejętność rozróżniania w serwerze, czy wzrost zapytań do aplikacji jest spowodowany standardowym wzrostem zainteresowania rzeczywistych użytkowników, czy atakiem, którego celem jest zablokowanie dostępu do aplikacji, a nawet całego serwera. Aby skutecznie zabezpieczyć się od tego typu zagrożenia zalecane jest stosowanie mechanizmów na wielu poziomach. Jest to z pewnością zadanie trudne, wymagające między innymi: hardeningu¹⁰ ustawień sieciowych systemów

¹⁰ Hardening – proces zabezpieczania systemów poprzez zmniejszenie liczby

operacyjnych, kontroli zasobów takich jak pamięć, sieć, procesy, systemy plików itp. systemu operacyjnego, kontroli ruchu sieciowego oraz stosowanie systemów IDS (*Intrusion Detection System*- system wykrywania włamań – rys. 10.12) oraz IPS (*Intrusion Prevention System*- system zapobiegania włamaniom).



Rysunek 1.12. Schemat systemu IDS (Źródło: http://www.tech-faq.com/images/Article_Images/Intrusion-Detection-System.jpg - sierpień 2010)

Nieuprawnione uzyskanie większych przywilejów (*Elevation of Privilege*). W każdej aplikacji, w której istnieje system podziału uprawnień i ról, może pojawić się zagrożenie pozyskania przez nieupoważnioną osobę zwiększonych uprawnień. Aby zminimalizować to zagrożenie należy stosować mechanizmy kontrolujące zakres przyznanego uprawnień. Bardzo często zdarza się, że aplikacje nie są odporne na proste ataki typu XSS, które dają możliwość wykonywania kodu, który w imieniu administratora serwisu może przyznać prawa administracyjne określonym użytkownikom i dzieje się bez wiedzy administratora. W celu redukcji tego zagrożenia należy kontrolować poziomy uprawnień, jakie są przyznawane w aplikacji, kierując się zasadą przyznawania

potencjalnych podatności, obejmuje np. usuwanie zbędnego oprogramowania, wyłączanie zbędnych usług czy też usuwanie nieużywanych loginów.

najmniejszych wymaganych uprawnień do działania danej aplikacji oraz stosować mechanizmy separacji procesów i wirtualizację serwerów.

10.5. Analiza zagrożeń

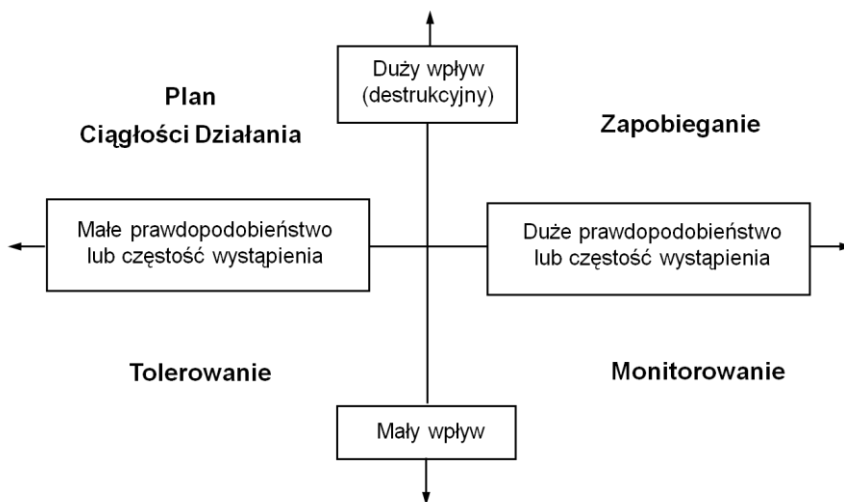
Wymienione wyżej zagrożenia (a także inne zagrożenia, bo wciąż powstają nowe) powinny być przedmiotem wnikliwej analizy ze strony wszystkich, którzy zajmują się informatyką medyczną. Po prawidłowo przeprowadzonej analizie w wyniku otrzymuje się zidentyfikowane zagrożenia, na które jest narażony rozważany system. Trzeba przy tym odróżniać zagrożenia, które są związane z wewnętrzną strukturą aplikacji oraz związane z zewnętrznymi i wewnętrznymi przepływami danych. Następnym krokiem powinna być identyfikacja luk w systemie obrony. Identyfikacja rzeczywistych luk aplikacji internetowej odbywa się poprzez analizę każdej z wyodrębnionych wcześniej warstw pod kątem zidentyfikowanych kategorii zagrożeń.

Następnie należy ocenić stopień ryzyka, np. metodą DREAD (skrót od: *Damage*, *Reproductibility*, *Affected Users*, *Discoverability* – pojęcia te będą omówione niżej). Należy tu zdefiniować pięć głównych charakterystyk zagrożeń. Każdą z nich należy ocenić w skali 0-10, gdzie 0 oznacza najniższe zagrożenie spowodowane odkrytą luką, natomiast 10 oznacza wysoki stopień zagrożenia i znaczne ryzyko dla bezpieczeństwa systemu. Rodzaje i stopień zagrożeń aplikacji w metodyce DREAD są następujące:

1. Poziom zniszczeń (*Damage Potential*) w przypadku skutecznego ataku
 - 0 – praktycznie brak zniszczeń
 - 5 – ujawnienie poufnych informacji pojedynczych użytkowników
 - 10 – całkowite zniszczenie systemu i utrata danych
2. Stopień trudności w odtworzeniu stanu systemu sprzed ataku (*Reproductibility*)
 - 0 – niemożliwy lub niezwykle trudny do odtworzenia, nawet dla administratorów systemu
 - 5 – możliwy do odtworzenia, jednak wymaga dodatkowych warunków
 - 10 – bardzo prosty do odtworzenia, do odtworzenia wystarczy przeglądarka internetowa
3. Łatwość wykorzystania luki (*Exploitability*)
 - 0 – wymaga zaawansowanej wiedzy sieciowej i programistycznej, jak również zaawansowanych narzędzi do ataku
 - 5 – możliwy do wykorzystania z użyciem dostępnych narzędzi
 - 10 – nawet osoba bez specjalnych kompetencji jest w stanie przeprowadzić atak
4. Ilość zagrożonych użytkowników (*Affected Users*)
 - 0 – bliska zeru
 - 5 – część użytkowników, lecz nie wszyscy

- 10 – praktycznie wszyscy użytkownicy
5. Poziom trudności w zlokalizowaniu luki (*Discoverability*)
- 0 – niemożliwa lub bardzo trudna do zlokalizowania, często tylko z posiadaniem uprawnień administratora lub wglądem do kodu źródłowego
 - 5 – może być zlokalizowana podczas monitorowania sieci
 - 10 – łatwa do zlokalizowania nawet dla użytkowników bez żadnej specjalistycznej wiedzy

Metodyka DREAD bywa czasami w uproszczeniu przedstawiana jak na rysunku 10.13, pokazującym kategoryzację zagrożeń i sposobów reagowania na nie.



Rysunek 10.13. Rodzaje postępowania w zapewnianiu bezpieczeństwa

Tak naprawdę trzeba zapamiętać i stosować jedną regułę: Jedynie ciągle modelowanie bezpieczeństwa na każdym etapie projektowania, a następnie implementacji i użytkowania aplikacji pozwala osiągnąć pozytywne rezultaty w postaci aplikacji odpornych na zagrożenia. Odpowiednie działania należy prowadzić zgodnie z normami:

- **PN-I-07799-2:2005 (BS-7799-2)**
- **PN ISO/IEC 17799:2003 (BS-7799-1)**

z uwzględnieniem najnowszych rewizji wspomnianych norm, czyli:

- **ISO/IEC 27001:2005**
- **ISO/IEC 17799:2005**

Niezależnie od wszystkich uwag podanych wyżej aplikacje internetowe stanowią znaczne wyzwanie w zakresie zapewniania bezpieczeństwa. Wynika to ze złożoności technologii tworzenia aplikacji oraz specyfiki środowiska wykonania. Bezstanowy charakter protokołu HTTP powoduje konieczność dynamicznego zarządzania sesjami użytkowników, co w połączeniu z możliwością podsłuchu (*sniffing*) wymaga zabezpieczenia transmisji danych na niższej warstwie.

Protokół HTTP zawiera wiele metod, które potencjalnie mogą zostać wykorzystane w celu oszukania aplikacji internetowej. Istnieje możliwość dowolnego spreparowania praktycznie każdej części zapytania HTTP, np. adresu URL, parametrów zapytania, nagłówków, ciasteczek, pól formularza, pól ukrytych- wszystko w celu oszukania podstawowych mechanizmów zabezpieczeń. Brak właściwej kontroli nad strumieniem danych napływających do aplikacji może prowadzić do powstawania poważnych luk umożliwiających zastosowanie ataków typu: XSS, przepełnienie bufora, manipulacja ukrytymi polami formularzy, nieuprawniona modyfikacja zapytań SQL wykonywanych przez serwer itd.

Brak ścisłej kontroli danych wejściowych jest jednym z najczęściej popełnianych błędów. Należy sprawdzać wszystkie dane wejściowe pod kątem oczekiwanych wartości i odrzucać wszystko, co nie spełnia założonych kryteriów. Ma to szczególne znaczenie w przypadku aplikacji stworzonych w językach, które nie stosują silnego typowania (PHP, Perl). Brak mechanizmów kontroli zapytań ułatwia przekazywanie do aplikacji potencjalnie niebezpiecznych zapytań. W przypadku języków stosujących silne typowanie podstawowe mechanizmy kontroli są dostarczane przez samo narzędzie (C#, Java).

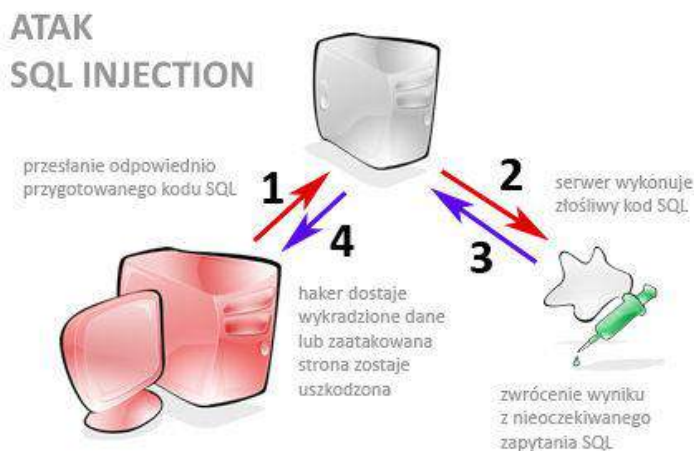
Bardzo duże znaczenie ma tu również uwierzytelnianie (identyfikacja użytkownika) oraz autoryzacja (kontrola uprawnień i zakres dostępu do aplikacji) oraz zarządzanie sesją użytkownika.

10.6. Dziesiątka największych zagrożeń

Co kilka lat organizacja OWASP przygotowuje specjalny raport na temat największych aktualnych zagrożeń. W roku 2010 przygotowano kolejny taki raport. Zawiera on wyszczególnienie dziesięciu najbardziej krytycznych zagrożeń, na które podatne są aplikacje. Każde z tych zagrożeń jest obszernie opisane z przykładami, prawdopodobieństwem wystąpienia, a także praktycznymi poradami, jak uchronić się od konkretnych zagrożeń. Grupą docelową opisanego wyżej raportu są programiści, projektanci oraz organizacje, które są odpowiedzialne za jakość i odpowiednie zabezpieczenie powstających aplikacji.

Dziesięć największych zagrożeń we współczesnych aplikacjach internetowych według tego raportu to:

1. **Wstrzykiwanie (*Injection*)** – do błędów wstrzyknięcia możemy zaliczyć SQL, OS i LDAP Injections. Polegają one na tym, że specjalnie spreparowane dane są przesyłane do interpretera jako część standardowego zapytania lub polecenia i przez to traktowane są one jak osobne polecenia. Taki atak może sprawić, że interpreter wywoła niepożądane metody bądź też udzieli dostępu do zastrzeżonych (poufnych) danych (rys. 10.14).



Rysunek 10.14. Atak typu SQL Injection. (Źródło: http://www.php-fusion.pl/images/articles/atak_sql-injection_milka.jpg - sierpień 2010)

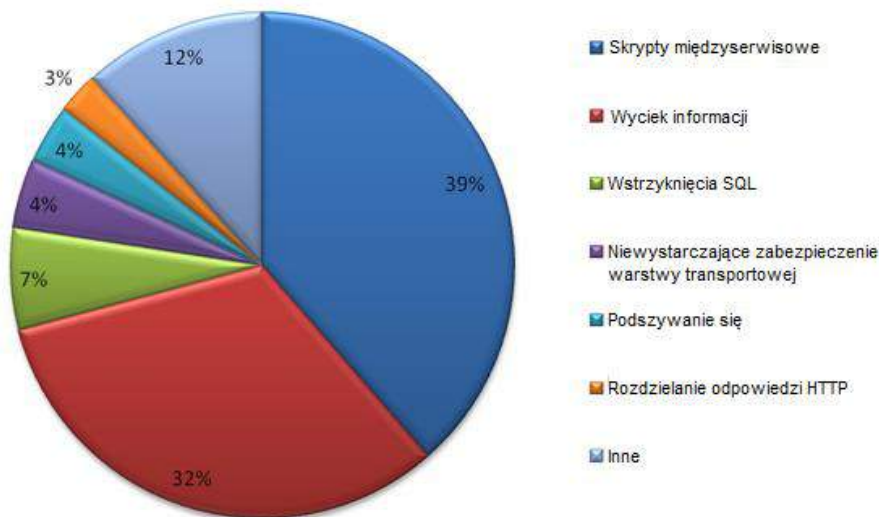
2. **Skrypty międzyserwisowe (XSS- *Cross-Site Scripting*)** – ataki tego typu mają miejsce, gdy specjalnie spreparowane dane są przyjmowane przez przeglądarkę internetową bez odpowiedniej walidacji i filtrowania. Umożliwia to atakującemu uruchomienie skryptów w przeglądarce ofiary, co może skutkować przejęciem sesji, przekierowaniem użytkownika na strony zawierające złośliwe oprogramowanie lub podmianą zawartości serwisu.
3. **Niepoprawna obsługa uwierzytelniania sesji (*Broken Authentication and Session Management*)** – funkcje aplikacji związane z uwierzytelnianiem oraz zarządzaniem sesją użytkownika często są niepoprawnie zaimplementowane, co pozwala atakującemu na przechwytywanie haseł i tokenów¹¹ sesji czy też wykonywanie poleceń na prawach zalogowanego użytkownika.

¹¹ Token - wygenerowany losowo ciąg liter i cyfr służący uwierzytelnianiu sesji

4. **Niezabezpieczone, bezpośrednie odwołanie do obiektu (*Insecure Direct Object References*)** – z bezpośrednią referencją do obiektu mamy do czynienia wówczas, gdy zostaje ujawnione odwołanie do obiektu wewnętrznego, takiego jak na przykład plik, katalog czy klucz bazodanowy. Bez odpowiedniej kontroli dostępu i ochrony osoba atakująca może manipulować tymi odwołaniami w celu uzyskania dostępu do poufnych informacji.
5. **Falszowanie żądań (*CSRF - Cross Site Request Forgery*)** – atak typu CSRF polega na wymuszeniu na przeglądarce użytkownika wysłania sfałszowanego żądania HTTP, w którym zawarte jest na przykład ciasteczko sesji oraz inne zastrzeżone informacje, do podatnej aplikacji internetowej. Rezultat tego ataku będzie taki, że aplikacja wykona to żądanie tak jakby było ono poprawnym żądaniem użytkownika.
6. **Niepoprawne ustawienia (*Security Misconfiguration*)** – bardzo ważną kwestią w zakresie bezpieczeństwa jest zapewnienie bezpiecznej konfiguracji dla aplikacji, serwerów oraz platformy sprzętowej. Wszelkie te ustawienia powinny być zdefiniowane, zaimplementowane oraz utrzymywane przez administratorów aplikacji, ponieważ domyślne ustawienia wymienionych wyżej komponentów zwykle nie zapewniają odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa aplikacji.
7. **Brak zabezpieczeń dostępu przez URL (*Failure to Restrict URL Access*)** – wiele aplikacji internetowych sprawdza prawa dostępu do danych adresów URL przed wygenerowaniem odnośników oraz przycisków na danej stronie. Jednakże często zapomina się o podobnej kontroli w przypadku próby dostępu bezpośrednio z adresu URL, przez co osoba atakująca może łatwo spreparować adres i uzyskać dostęp do poufnych zasobów.
8. **Brak walidacji przekierowań (*Unvalidated Redirects and Forwards*)** – W aplikacjach internetowych często możemy się spotkać z przekierowywaniem i przenoszeniem użytkowników na inne strony z wykorzystaniem niezaufanych danych, które są wykorzystywane w celu określenia adresu docelowego przekierowania. Bez odpowiedniej walidacji możliwe jest przekierowanie użytkowników na strony ze złośliwym oprogramowaniem czy też uzyskiwanie dostępu do poufnych danych.
9. **Błędy w szyfrowaniu danych (*Insecure Cryptographic Storage*)** – wiele aplikacji internetowych niewystarczająco ochrania ważne dane, takie jak dane medyczne oraz dane osobowe pacjentów. Należy pamiętać o odpowiednim szyfrowaniu poufnych danych, gdyż w przeciwnym przypadku osoba atakująca może uzyskać do nich dostęp, co następnie skutkuje kradzieżą danych lub ich fałszowaniem.
10. **Niewystarczające zabezpieczenia wymiany danych (*Insufficient Transport Layer Protection*)** – aplikacje webowe często stosują niewystarczające zabezpieczenia podczas przesyłania danych. Używają

słabych algorytmów, wygasłych lub niepoprawnych certyfikatów, nie korzystają z szyfrowanego połączenia.

Powyższy raport uzupełnić można statystyką częstości praktycznego występowania wymienionych zagrożeń (rys. 10.15).

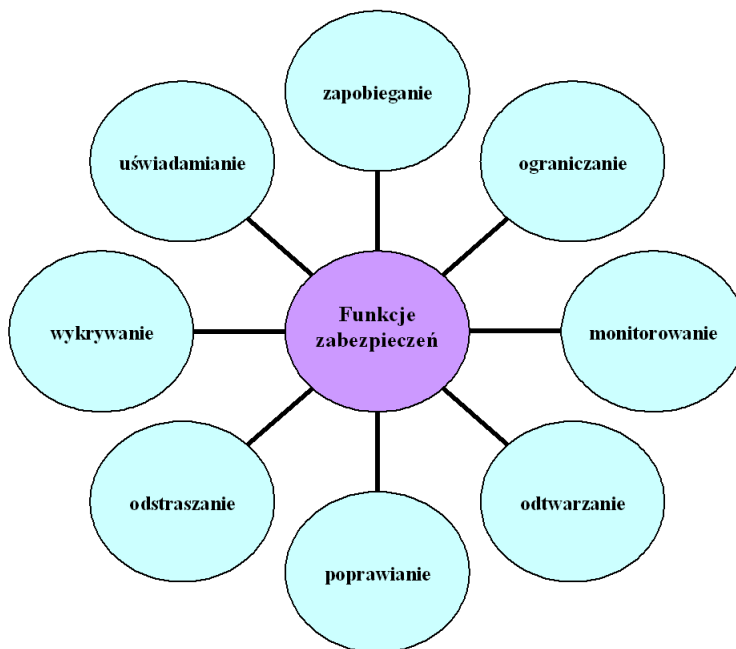


Rysunek 10.15. Statystyka częstości występowania różnych zagrożeń. (Źródło: WASC, WASC Web Application Security Statistics)

Przytoczona analiza pokazuje, na jak wiele zagrożeń jest narażona aplikacja medyczna umieszczona w sieci. Osoby atakujące mogą wykorzystać wiele różnych środków, aby zaszkodzić danej aplikacji, czy to poprzez przejęcie poufnych danych, czy uszkodzenie aplikacji tak, że niemożliwe jest korzystanie z niej przez normalnych użytkowników. Dlatego też projektanci, a następnie programiści i testerzy muszą dokładać wszelkich starań, żeby tworzone przez nich aplikacje były bezpieczne i w jak największym stopniu odporne na ataki i zagrożenia. Ponadto, bardzo ważnym czynnikiem jest stały monitoring już działającej aplikacji, w celu natychmiastowego wychwytywanie ewentualnych ataków oraz szybkiej reakcji na nie.

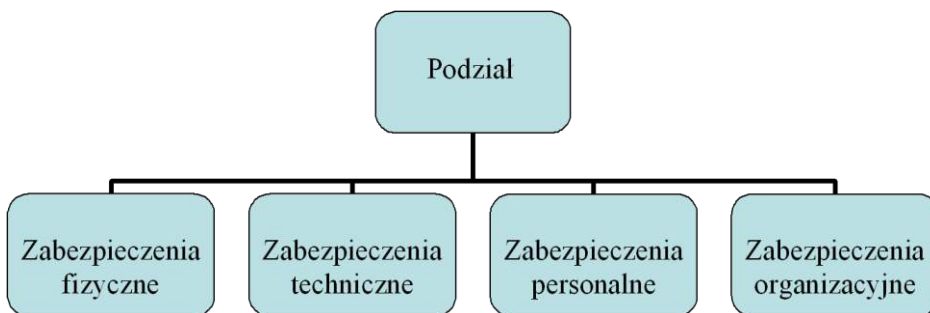
10.7. Podstawowe metody ochrony

Zabezpieczenia realizują jedną lub wiele funkcji, pokazanych zbiorczo na rysunku 10.16.



Rysunek 10.16. Funkcje zabezpieczeń w systemie informatyki medycznej

Problem ochrony systemów medycznych podzielić można na cztery podklasy zagadnień (rys. 10.17).



Rysunek 10.17. Podział zabezpieczeń

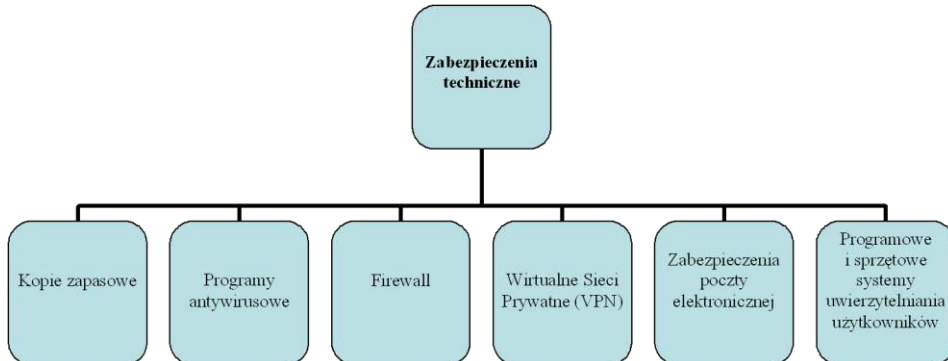
Zabezpieczenia fizyczne polegają na tym, żeby chronić pomieszczenia w których znajdują się komputery przed dostępem osób niepowołanych (porządne drzwi, zakratowane okna, elektroniczne zamki, weryfikacja osób przez domofon

itp.) a stacje robocze oraz (zwłaszcza!) laptopy przed ewentualną kradzieżą (rys. 10.18).



Rysunek 10.18. Ważną rolę odgrywa zabezpieczenie fizyczne komputerów
(Źródło: <http://www.medicalpracticetrends.com/wp/wp-content/uploads/2009/03/computer-hack.jpg> - sierpień 2010)

Kolejną sprawą jest zabezpieczenie techniczne. W jego skład wchodzi liczne zagadnienia, pokazane zbiorczo na rysunku 10.19.



Rysunek 10.19. Przykładowe metody działania składające się na zabezpieczenie techniczne systemu informatyki medycznej

Na każdy z wymienionych na rysunku 10.19 tematów można by było napisać całą książkę, jednak w tym rozdziale pewne zagadnienia będą jedynie wzmiankowane.

10.8. Kopie zapasowe

W każdym systemie informatyki medycznej nawet po krótkim czasie jego eksploatacji gromadzą się dane, których wartość wielokrotnie przekracza wartość samego komputera. Dane te, zgromadzone w formie elektronicznej, narażone są na niebezpieczeństwo utraty. Utrata może nastąpić w wyniku różnych przyczyn: awarii technicznej systemu przechowującego dane, błędu personelu obsługującego system oraz ataku zewnętrznego hakera. Niezależnie jednak od tego, jaki jest powód utraty danych – jedynym naprawdę skutecznym remedium jest posiadanie tak zwanej kopii zapasowej (ang. *backup*).

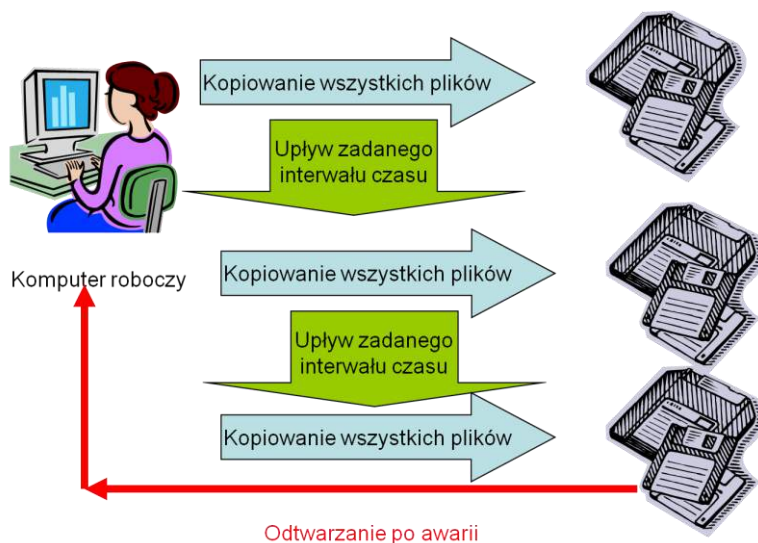
Kopie zapasowe można podzielić ze względu na strategię dodawania plików do tworzonej kopii:

- Kopia pełna
- Kopia przyrostowa
- Kopia różnicowa

Kopia pełna – kopiowaniu podlegają wszystkie pliki, niezależnie od daty ich ostatniej modyfikacji (rys. 10.20).

Wada: wykonywania kopii jest czasochłonne.

Zaleta: odzyskiwanie danych jest szybkie

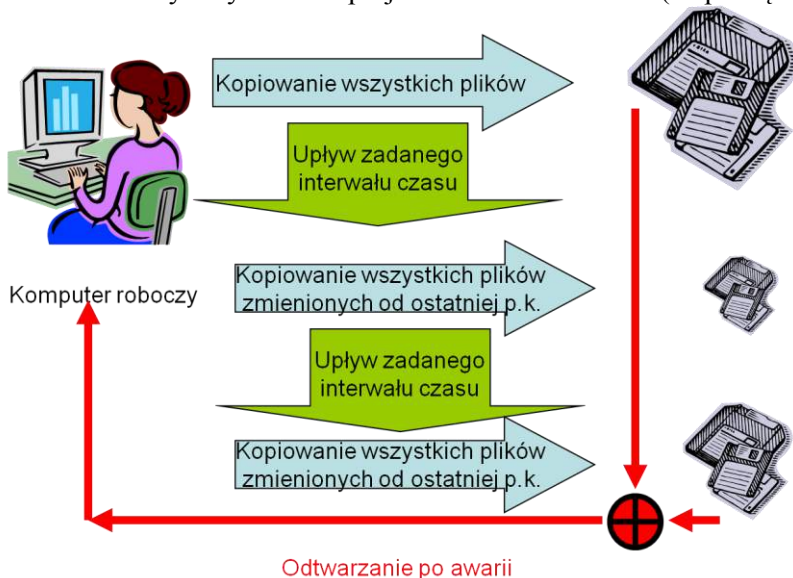


Rysunek 10.20. Zabezpieczenie danych metodą tworzenia kopii pełnej

Kopia różnicowa – kopiowane są pliki, które zostały zmodyfikowane od czasu utworzenia ostatniej pełnej kopii (rys. 10.21).

Wada: odtworzenie danych wymaga odtworzenia ostatniego pełnego backupu oraz ostatniej kopii różnicowej

Zaletą: czas wykonywania kopii jest stosunkowo krótki (na początku!)

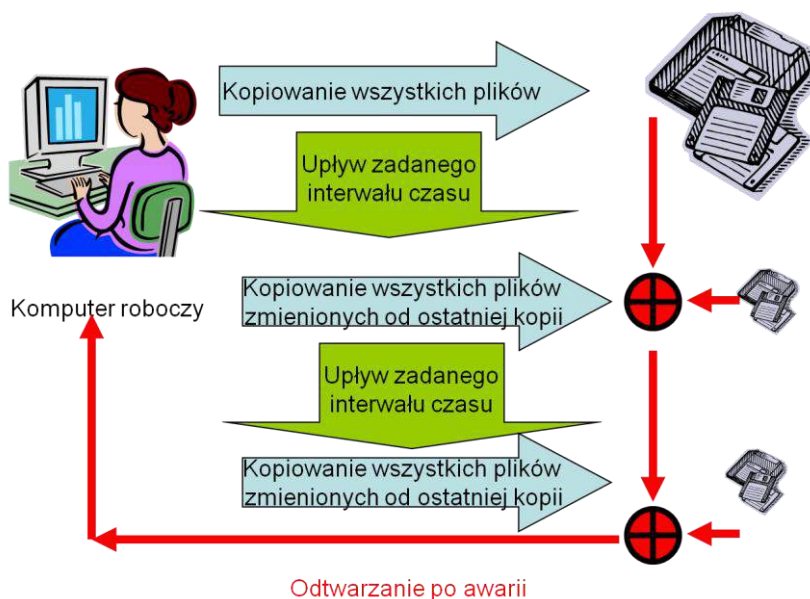


Rysunek 10.21. Zabezpieczenie danych metodą tworzenia kopii różnicowej

Kopia przyrostowa – kopiowane są jedynie pliki, które zostały zmodyfikowane od czasu tworzenia ostatniej pełnej lub przyrostowej kopii (Rysunek 10.22).

Wada: przed zrobieniem tej kopii należy wykonać kopie pełną oraz odtworzenie danych wymaga odtworzenia ostatniego pełnego backupu oraz wszystkich kopii przyrostowych

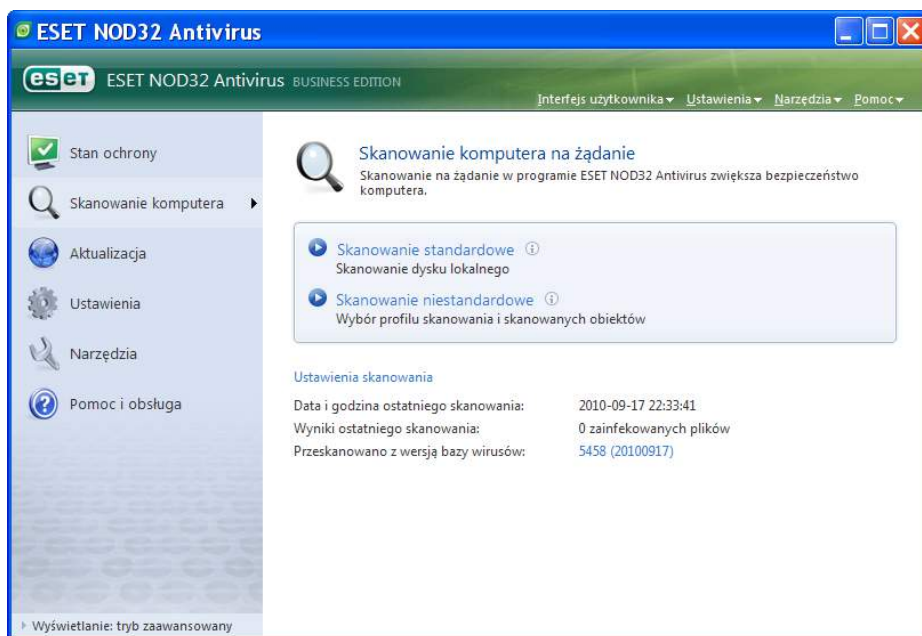
Zaletą: czas wykonywania kopii jest dość krótki



Rysunek 10.22. Zabezpieczenie danych metodą tworzenia kopii przyrostowej

10.9. Programy antywirusowe

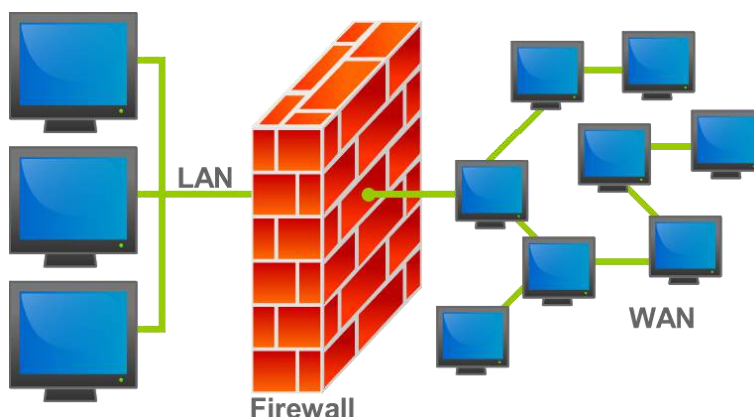
Zagrożenie, jakie stanowią złośliwe programy, tak zwane wirusy komputerowe (a także inne złośliwe programy: trojany, robaki, określane łącznie jako *malware* - z ang. *malicious software*) stosunkowo łatwo opanować, ponieważ dostępne są obecnie bardzo skuteczne programy antywirusowe (rys. 10.23). Jedyne, na co trzeba przy tym zwracać uwagę to systematyczna aktualizacja bazy tak zwanych sygnatur wirusów. Jest to potrzebne, ponieważ złośliwi twórcy wirusów nie próżnują i wciąż pojawiają się nowe generacje tych destrukcyjnych programów, których wykrywanie i niszczenie jest możliwe wyłącznie wtedy, gdy program antywirusowy posiada informację o tym, jak je rozpoznawać i jak je zwalczać. Nie jest to jednak istotna niewygodą, ponieważ dobre firmy oferujące oprogramowanie antywirusowe gwarantują stałą (nawet kilka razy dziennie przeprowadzaną) automatyczną aktualizację (poprzez Internet) stanu wiedzy wyprodukowanych przez siebie programów.



Rysunek 10.23. Przykładowe okno komunikacyjne programu antywirusowego

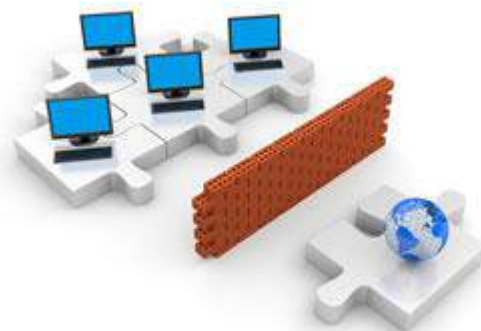
10.10. Tak zwane „ściany ogniowe” *firewall*

Bardzo ważnym składnikiem bezpieczeństwa systemów informatyki medycznej są tak zwane „ściany ogniowe” (*firewall*), które odgradzają wewnętrzny system szpitala oparty na sieci LAN od świata zewnętrznego, reprezentowanego przez sieć WAN (najczęściej jest to Internet – patrz rozdział 8). Idea firewall pokazana jest na rysunku 10.24, przy czym oczywiście wyobrażenie „muru” jest tu czysto umowne – w rzeczywistości firewall to komputer, który odbiera wszystkie pakiety informacji przychodzące z zewnętrznego świata i wpuszcza do sieci LAN jedynie te pakiety, co do których jest pewne, że nie zawierają one szkodliwych elementów (na przykład wirusów).



Rysunek 10.24. Idea chroniącej system informatyczny „ściany ogniowej”
(Źródło: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5b/Firewall.png> - sierpień 2010)

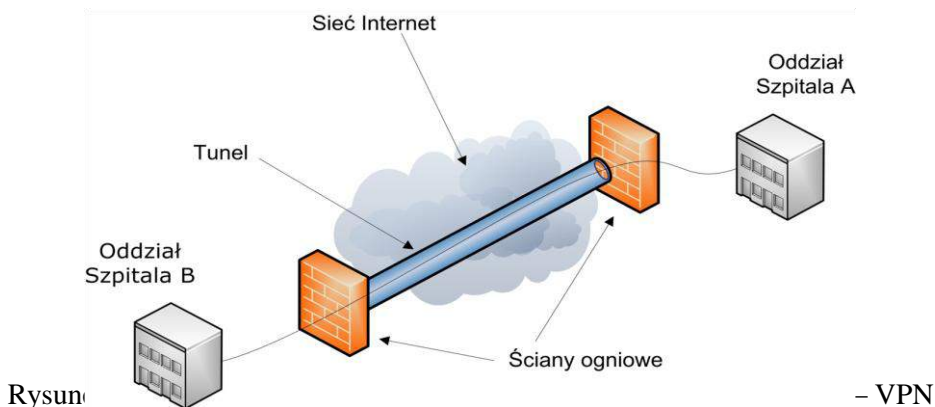
Po dwóch stronach rozważanego „muru” jest odpowiednio wewnętrzna sieć informatyczna rozważanego szpitala oraz – cały świat (Rysunek 10.25)



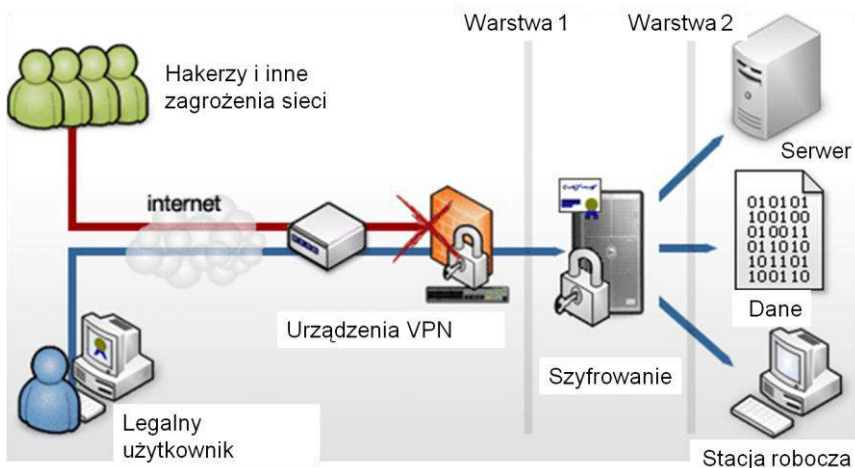
Rysunek 10.25. Firewall chroni wewnętrzną sieć komputerową przed całym światem (Źródło: http://www.securenetmd.com/App_Themes/images/firewall.jpg - sierpień 2010)

10.11. Wirtualne sieci prywatne – VPN

Technika ścian ogniowych w połączeniu z możliwościami współczesnej kryptografii pozwalają na utworzenie w niebezpiecznym środowisku komunikacyjnym, jakim jest Internet, bezpiecznego „tunelu”, którym przesyłane dane mogą być przekazywane na przykład pomiędzy szpitalami bez ryzyka, że zostaną przechwycone lub zniekształcone (rys. 10.26).



Przy dobrze zbudowanym VPN legalni użytkownicy korzystają bez ograniczeń z zasobów chronionego systemu także wtedy, gdy znajdują się w dużej odległości od niego i komunikują się za pomocą Internetu, natomiast wszyscy hakerzy napotykają przeszkody nie do pokonania i ich sygnały nie wnikają do wnętrza (rys. 10.27).



Rysunek 10.27. Dzięki stosowaniu techniki VPN legalny użytkownik nie napotyka żadnych przeszkód przy komunikacji z systemem, natomiast wnętrze systemu jest całkowicie niedostępne dla hakerów.

Specyficznym zagrożeniem w przypadku poczty elektronicznej są tak zwane spamy. Są to niepotrzebne wiadomości, które są masowo rozsyłane do skrzynek

wielu abonentów, utrudniające wyszukanie rzeczywiście ważnych i aktualnych listów. Ponieważ jednak zagrożenie to w przypadku informatyki medycznej ma marginalny charakter, przeto nie będziemy go w tym rozdziale szczegółowo omawiali.

10.12. Uwierzytelnianie użytkowników

We wszelkich systemach informatycznych niezwykle ważna jest identyfikacja i uwierzytelnianie użytkowników. W systemach informatyki medycznej sprawa ta jest szczególnie ważna, gdyż role poszczególnych użytkowników tych systemów są silnie zróżnicowane, a w ślad za tym silnie zróżnicowane są ich uprawnienia w systemie. Każdy użytkownik, zależnie od zajmowanego stanowiska i związku (lub braku związku) z leczeniem konkretnego pacjenta ma prawo do korzystania z różnych danych, przy czym niektóre dane może tylko czytać, inne także aktualizować, a jeszcze inne także kasować.

Aby cały ten system prawidłowo działał konieczne jest identyfikowanie, kim jest użytkownik. Identyfikacja taka możliwa jest na trzech zasadach:

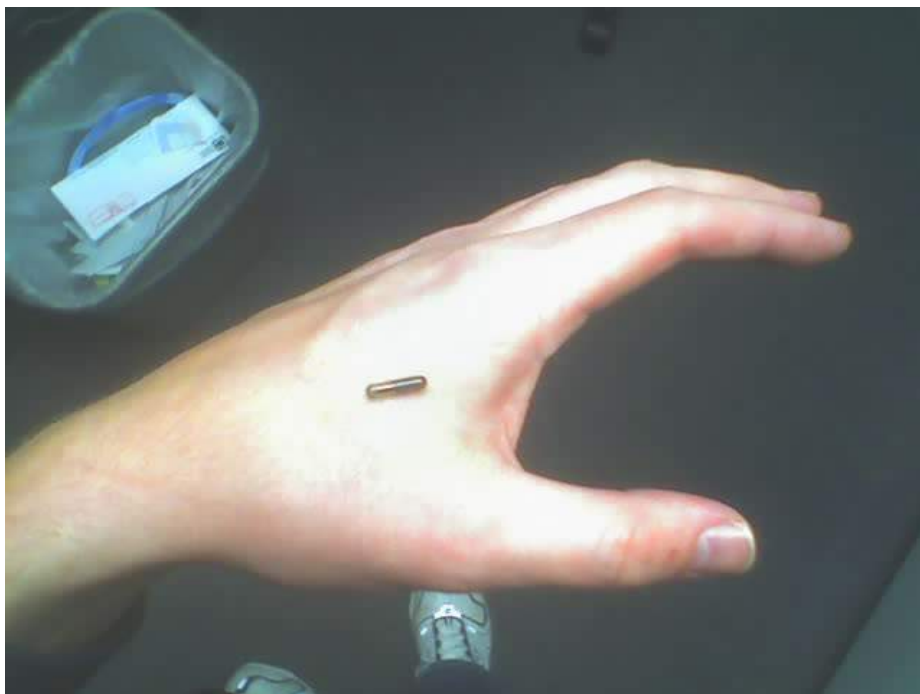
- „coś, co wiesz” – PIN, hasła, poufne dane
- „coś, czym jesteś” – metody biometryczne
- „coś, co masz” – klucze, karty magnetyczne

Weryfikacja metodą „coś co wiesz” jest ogólnie niewygodna (trzeba pamiętać wiele haseł, PIN-kodów albo innych danych identyfikacyjnych) więc mimo prostej realizacji programowej w systemach informatyki medycznej powinna być raczej unikana.

Bardzo nowoczesne (wręcz awangardowe) i w innych zastosowaniach preferowane metody biometryczne – także o dziwo w informatyce medycznej nie wydają się rozwiązaniami optymalnymi. Wynika to ze specyfiki pracy personelu medycznego, który bardzo często musi wykonywać swoje zadania w lateksowych rękawiczkach, więc ulubiona technika identyfikacji biometrycznej na podstawie linii papilarnych (elektronicznie skanowany odcisk palca) – jest niemożliwa do zastosowania. Z kolei maski chirurgiczne i inne elementy wyposażenia noszone na głowie (na przykład lampy lokowane na czole używane przez laryngologów) – uniemożliwiają podejmowanie prób identyfikacji osób na podstawie wizerunku ich twarzy. Ogólnie więc modna obecnie tendencja coraz szerszego stosowania biometrycznych metod identyfikacji użytkowników – w systemach informatyki medycznej nie znajduje tak szerokiego zastosowania, jak by można było oczekiwać.

Natomiast techniką, która może naprawdę podnieść poziom bezpieczeństwa systemów informatyki medycznej jest metoda identyfikacji osób określana jako

RFID. Metoda ta, której nazwa pochodzi od angielskiego opisu zasady działania (*Radio Frequency IDentification*) funkcjonuje w oparciu o zdalny, poprzez fale radiowe, odczyt danych zawartych w identyfikatorach mających formę specjalnych układów elektronicznych. Identyfikatory RFID są bardzo lekkie, nie wymagają zasilania i mogą być tak miniaturowe, że stosuje się (jeszcze nie na masową skalę, ale wszystko jest tu możliwe) wszczepianie ich ludziom pod skórę – na przykład dłoni (rys. 10.28).



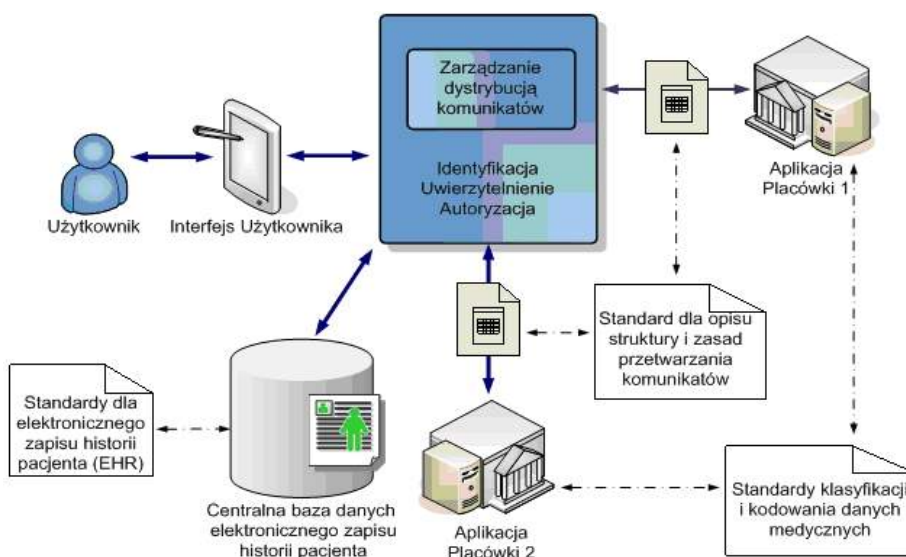
Rys 10.28. Identyfikator RFID przeznaczony do wszczepienia (Źródło: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/99/RFID_hand_1.jpg – sierpień 2010)

O możliwościach związanych z użyciem identyfikatorów RFID była już mowa w rozdziale 1 tego skryptu (patrz np. rys. 1.15), więc nie będziemy tutaj tego tematu dalej rozwijać, podkreślając jedynie raz jeszcze to, jak bardzo ważne są w informatyce medycznej kwestie pewnej i jednocześnie maksymalnie wygodnej identyfikacji osób.

10.13. Zabezpieczenia personalne i organizacyjne

Opisane wyżej techniki i metody zapewnienia bezpieczeństwa w systemach informatyki medycznej są nastawione głównie na ochronę przed zagrożeniami zewnętrznymi (atak hakera) albo technicznymi (awaria komputera). Tymczasem

badania prowadzone na całym świecie dowodzą, że częstym źródłem zagrożenia dla systemów informatyki i dla zawartych w nich danych są pracownicy, którzy korzystają z komputerów legalnie i całkowicie poprawnie, ale niestety bywają nieostrożni. Na nic się zda najdoskonalszy nawet system identyfikacji użytkowników, jeśli posiadacze odpowiednich identyfikatorów będą je przechowywali w miejscu łatwo dostępnym dla osób postronnych. Niewiele pożytku będzie z doskonałego nawet systemu archiwizacji danych jeśli administrator systemu zaniedba obowiązku wykonywania regularnie kopii bezpieczeństwa. W związku z tym pamiętać trzeba o tym, by tworząc i wdrażając systemy informatyczne dla potrzeb medycyny – zadbać także o właściwe szkolenie pracowników. Przedmiotem szkolenia musi być oczywiście umiejętność korzystania z odpowiednich udogodnień merytorycznych oferowanych przez rozważany system, ale konieczne jest także poświęcenie na szkoleniu odpowiedniej ilości czasu dla nauczania zasad bezpieczeństwa pracy z tym systemem.



Rysunek 10.29. Bezpiecznie zorganizowany dostęp do danych w systemie informatyki medycznej (Źródło: <http://ezdrowie.wdfiles.com/local--files/admin.manage/Standardy%20eZdrowia-1> – sierpień 2010)

Ważną rolę w organizacyjnych rozwiązaniach gwarantujących bezpieczne użytkowanie systemów informatyki medycznej odgrywają różne standardy (rys. 10.29)

Dodatkowo odpowiednie rozwiązania organizacyjne także muszą sprzyjać stałej dbałości o poziom bezpieczeństwa używanego systemu informatycznego, zaś regulaminy obsługi sytuacji wyjątkowych (na przykład atak hakera lub dostanie

się do systemu złośliwego wirusa komputerowego) powinny być wcześniej opracowane i dostępne dla personelu. Dla większości użytkowników systemów informatyki medycznej strona techniczna tych systemów jest mało zrozumiała i nieco tajemnicza. W tej sytuacji gdy owa strona techniczna zaczyna zachowywać się nieprawidłowo (co jest pierwszym symptomem pojawiającego się zagrożenia) – działania personelu mogą być nacechowane nerwowością, złością a nawet paniką. Dla zapobieżenia zwiększonym szkodom, jakie mogą powstać w następstwie chaotycznych i nerwowych działań pozornie zaradczych, a w rzeczywistości szkodliwych – trzeba mieć dla każdego możliwego zagrożenia dokładny scenariusz działań z dokładnie określonymi rolami wszystkich wchodzących w rachubę osób.



Rysunek 10.30. Czynniki składające się na bezpieczeństwo systemu informatyki medycznej

Dopiero triada (rys. 10.30): właściwe zabezpieczenia techniczne, właściwy poziom wyszkolenia pracowników oraz właściwe rozwiązania organizacyjne może być rękojmą bezpieczeństwa każdego systemu informatyki medycznej.

BIBLIOGRAFIA

R. Zajdel, E. Kącki, P.S. Szczepaniak, M. Kurzyński, „Kompedium informatyki medycznej”, Alfa-medica Press, Bielsko-Biała, 2003

E.H. Shortliffe, G.O. Barnett, Medical Data: Their Acquisition, Storage, and Use, w Edward H. Shortliffe Leslie E. Perreault, Medical Informatics. Computer Applications in Health Care and Biomedicine, Second Edition, Springer, 2001

J. H. Van Bommel, M.A. Musen, Handbook of Medical Informatics, Springer 1997

The Computer-based Patient Record, pod red. Richard S. Dick i inn., National Academy Press, Washington 1997

M.J. Ball, D.W. Simborg, J.W. Albright, J.V. Douglas, Systemy zarządzania informacją w opiece zdrowotnej, Springer PWN, 1997

W. Trąbka, W. Komnata, L. Stalmach, A. Koziarkiewicz, Szpitalne systemy informatyczne, Vesalius, 1997

A. Romaszewski, W. Trąbka, System informacyjny opieki zdrowotnej, Wydawnictwo „Zdrowie i Zarządzanie”, 2011

