
2.0.A. Organizm ludzki jako źródło sygnałów

Ryszard Tadeusiewicz

Na ciało człowieka można patrzeć z różnych punktów widzenia. Artysta dostrzeże w nim piękno godne uwiecznienia na obrazie lub w rzeźbie. Lekarz będzie widział siedlisko różnych chorób i źródło problemów. A specjalista inżynierii biomedycznej? Dla niego ciało człowieka to źródło różnych **sygnałów**.

Procesom życiowym toczącym się w różnych narządach, tkankach, a nawet pojedynczych komórkach, towarzyszą różne zjawiska fizyczne i chemiczne, które można zarejestrować, zbadać, przeanalizować, sklasyfikować, rozpoznać i wykorzystać do oceny aktualnego stanu tych narządów (diagnoza), do ustalenia, co należy robić, aby te narządy lepiej funkcjonowały (terapia) oraz do czego można te narządy doprowadzić (prognoza). Ponieważ w inżynierii biomedycznej **bardzo** nas interesuje diagnoza, terapia i prognoza, przeto specjaliści tej dyscypliny wiedzy dużą część swojego czasu poświęcają właśnie różnym działaniom dotyczącym właśnie sygnałów biomedycznych.

Jak już powiedziano wyżej, ciało człowieka jest źródłem przeróżnych sygnałów. Te najbardziej oczywiste są widoczne gołym okiem. Co wyróżnia żywy organizm wśród ogromnej liczby przedmiotów nieożywionych?

RUCH!

Człowiek żyjąc wykonuje setki ruchów, czasem świadomych, a czasem odruchowych. Również jego narządy wewnętrzne poruszają się: serce pompuje krew, jelita przemieszczają i rozdrabniają pokarm, pęcherzyki płucne napełniają się świeżym powietrzem albo wypychają dwutlenek węgla... Nawet wewnątrz komórek widać ruch organelli. Żeby był ruch, potrzebne są **siły**, które ten ruch napędzają, oraz **momenty** tych sił (gdy skutkiem ma być obrót), a ponadto widoczne są skutki ruchu – na przykład gdy poruszamy ręką albo nogą to możliwe są do zaobserwowania **przemieszczenia** wybranych punktów ciała, osiągane przez nie **prędkości**, niezbędne do nadania ruchu **przyspieszenia** itp. Z kolei gdy obserwujemy przepływ to sygnałami są ciśnienia, które zmuszają odpowiednie zasoby płynów i gazów do przemieszczania pojawiają się mierzalne (teoretycznie...) **przepływy, prędkości przepływów, charakterystyki przepływów** (turbulentny czy laminarny) – słowem cała plejada sygnałów mechanicznych, które można rejestrować, obserwować, analizować, wykorzystywać.

Zatem w inżynierii biomedycznej z całą pewnością musi być miejsce dla rejestracji, analizy i wykorzystania

sygnałów biomechanicznych. Sęk w tym, że inaczej niż w maszynach lub pojazdach, gdzie można zainstalować dowolne czujnik w dowolnym miejscu – tych pozornie prostych sygnałów biomechanicznych wcale łatwo się nie mierzy. By zacząć od przykładu najprostszego: wielu **sił** występujących w żywym organizmie nie daje się zmierzyć. Na przykład, jak zmierzyć siłę, z jaką działa mięsień biceps brachii na staw łokciowy w momencie pokazywania „gestu Kozakiewicza” Albo siłę parcia przepony na płuca podczas kaszlu. Łatwe do zmierzenia są tylko siły, jakimi organizm (człowiek) oddziałuje na otoczenie – nacisk stopy na podłogę, siłę ciosu bokserkiego, nacisk pośladków na siedzenie fotela... Jednak te siły niezbyt nas interesują – wolelibyśmy poznać naprężenie więzadła krzyżowego kolana narciarza podczas slalomu albo siły działające na łokieć tenisisty. Niestety...

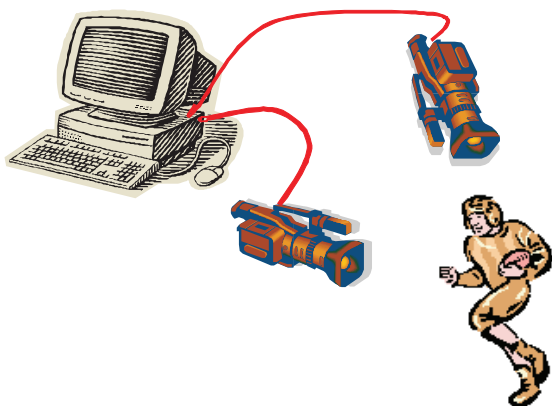
Do wielu **ciśnień** biologicznych też dostęp także jest utrudniony. W systemach technicznych sprawa jest prosta – przecina się odpowiednią rurką i instaluje manometr. W medycynie tak się nie da. Kardiolog dałby wiele, żeby się dowiedzieć, jak zmienia się ciśnienie w lewej komorze pracującego serca – ale może uzyskać tę informację wyłącznie metodą cewnikowania, czyli wprowadzania (poprzez naczynia krwionośne) specjalnego czujnika do serca pacjenta – co nie jest ani przyjemne, ani bezpieczne.

Przepływy, przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia teoretycznie można by było rejestrować, no bo przecież widać, jak się człowiek porusza – ale tu także jest ogromnie dużo kłopotów, gdy się chce przejść od teorii do praktyki [1]. Żeby precyzyjnie mierzyć zwykłe ruchy ręki albo nogi, trzeba człowieka obwiesić całą masą różnego rodzaju czujników, dźwigni, przegubów i innych urządzeń, a do tego mnóstwo sterowników, kabli, zasilaczy itd. Nie twierdzą, że to jest niemożliwe – ale bardzo niewygodne.

Co prawda, można obserwować ruchy człowieka za pomocą kamer i komputerowo rekonstruować (trójwymiarowo!) ruch poszczególnych części ciała (rys. 1), ale to jest chwilowo dosyć kłopotliwe i kosztowne.

Dlatego uwaga badaczy zajmujących się rejestracją i analizą sygnałów **biomedycznych** od lat skierowana jest głównie na sygnały bioelektryczne. Prawie każdej aktywności jakiegoś narządu ludzkiego ciała towarzyszy sygnał elektryczny. Wynika to z faktu, że żywe komórki są z reguły spolaryzowane elektrycznie (wnętrze komórki, odizolowane od otoczenia błoną komórkową zbu-

dowaną z nieprzewodzących fosfolipidów, wykazuje ujemne napięcie w stosunku do otoczenie (płynu międzykomórkowego). Można powiedzieć, że każda komórka ciała ludzkiego jest małą baterijką elektryczną, wytwarzającą całkiem pokaźne (jak na takie maleństwo) napięcie od 70 do 90 mV.



Rys. 1. Pozyskiwanie sygnałów charakteryzujących mechaniczną aktywność organizmu człowieka jest na ogół kłopotliwe

W momencie wykonywania przez narząd, w którego skład wchodzi rozważana komórka, jakiejś użytecznej pracy – ta baterijka ulega gwałtownemu rozładowaniu, co prowadzi do pojawienia się w samym narządzie (ale i na powierzchni ciała pacjenta) dającego się zarejestrować sygnału elektrycznego. W treści tego rozdziału dowiesz o wielu takich sygnałach, bo do każdego (prawie) narządu dobrano już najwłaściwszy biosygnal elektryczny: bicie serca można obserwować za pomocą sygnału EKG (elektrokardiografia), pracę mięśni podgląda EMG (elektromiografia), aktywność mózgu może być śledzona z pomocą EEG (elektroencefalografia) itd. Jest cała masa różnych elektrografii, którymi ludzie się posługują, a wszystkie one są bardzo użyteczne [2].

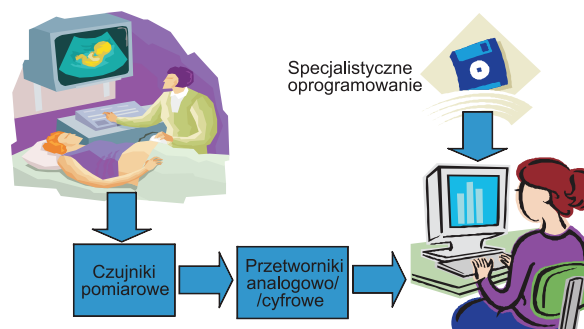
Sygnaly biomedyczne mogą dotyczyć wielu jeszcze innych zjawisk fizycznych i chemicznych zachodzących w żywym organizmie. Poza sygnałami mechanicznymi i elektrycznymi są jeszcze bardzo ciekawe zjawiska dźwiękowe (osłuchiwanie pacjentów było od zawsze sposobem na pozyskiwanie użytecznych danych diagnostycznych, np. na temat płuc i serca), globalne i lokalne badania ciepłoty ciała, przeróżne analizy chemiczne itp. Sygnaly biomedyczne mają rosnące znaczenie w medycynie, ponieważ pozwalają obiektywnie oceniać stan zdrowia pacjenta. Lekarz wyposażony w odpowiednią aparaturę nie musi polegać wyłącznie na swojej wiedzy i intuicji, ale może skorzystać z konkretnych wartości lub charakterystyk sygnałów wraz z ich odniesieniem do obszarów wartości normalnych oraz takich, które sygnalizują patologię. Ważne jest także i to, że z pomocą sygnałów biomedycznych można oceniać i śledzić stan zdrowia nawet nieprzytomnych osób (rys. 2).



Rys. 2. Aparatura rejestrująca sygnały medyczne pozwala śledzić stan zdrowia także nieprzytomnych pacjentów

Aby skutecznie korzystać z sygnałów biomedycznych, trzeba mieć odpowiednie wyposażenie (rys. 3). Po pierwsze konieczny jest czujnik pomiarowy, który będzie rejestrował odpowiednie sygnały bezpośrednio z ciała pacjenta. Następnie konieczna jest aparatura, która te sygnały odpowiednio wzmacni, oczyści z zakłóceń, znormalizuje i wprowadzi do komputera. I na koniec potrzebny jest system komputerowy z odpowiednim programem, który te sygnały odpowiednio opracuje i pomoże zinterpretować [3].

O tym wszystkim dowiesz się właśnie w tym rozdziale.



Rys. 3. Konfiguracja komputera z wyposażeniem do przetwarzania sygnałów medycznych

Literatura

- [1] Marczewski W., Tadeusiewicz R., *Antropomotoryka biocybernetyczna*, Wydawnictwo AWF, ISSN 0239-4839, Kraków 1993.
- [2] Pawlicki G., *Podstawy inżynierii medycznej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1997.
- [3] *Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna 2000 – Biopomiary*, Nałęcz M. (red.), Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2001.