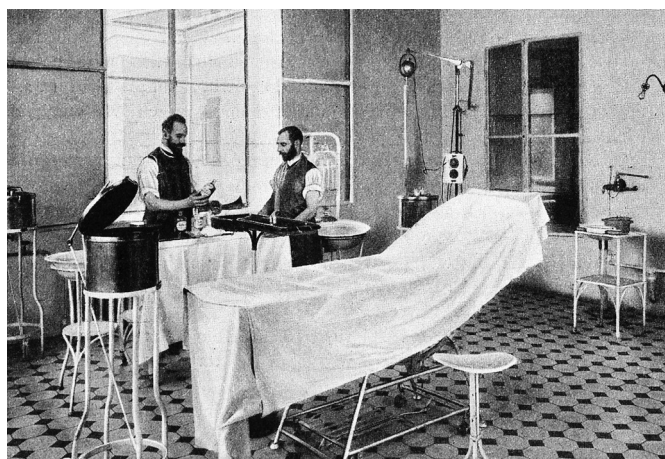


Elektronika w medycynie

Medycyna jest tą dyscypliną nauki, która nierozzerwalnie kojarzy się ze specjalistycznym instrumentarium. Bez wspomagania przyrządami, jakiegokolwiek by one były, nie byłoby możliwe wykonanie nawet najprostszych zabiegów i operacji medycznych. Zanim pojawiła się elektronika, radzono sobie różnymi, mniej lub bardziej wymyślnymi, instrumentami mechanicznymi. O ile ułatwiały one pracę lekarzom, o tyle nie przyczyniały się do rozwoju medycyny jako nauki. Stało się to możliwe dopiero po wprowadzeniu elektroniki.

Medycyna na przestrzeni wieku zmieniła się nie do poznania. Wystarczy odwiedzić skanseny, w których zachowały się gabinety lekarskie końca XIX wieku, aby naocznie się o tym przekonać. Zmieniło się wszystko: wiedza medyczna, podejście do pacjenta, metody leczenia, diagnostyka, medykamenty, wyposażenie gabinetu w instrumenty używane podczas zabiegów i operacji. Współczesny lekarz czułby się chyba nieco zagubiony i bezsilny, gdyby w tamtych czasach miał wykonać nawet względnie prostą z dzisiejszego punktu widzenia operację. Na salach operacyjnych, nie mówiąc już o zwykłych gabinetach lekarskich, nie było nawet najprostszych instrumentów diagnostycznych czy monitorujących stan pacjenta. Do najbardziej skomplikowanych urządzeń znajdujących się na sali operacyjnej należały sterylizatory i podgrzewacze elektryczne.

W Nowym Szpitalu Starozakonnym w Warszawie na sali operacyjnej znajdował się (cyt. z książki „Nowy Szpital Starozakonnym w Warszawie, Księga Pamiątkowa, Sprawozdanie Komitetu Budowy”): „...trepan elektryczny na kółkach, przeznaczony szczególnie



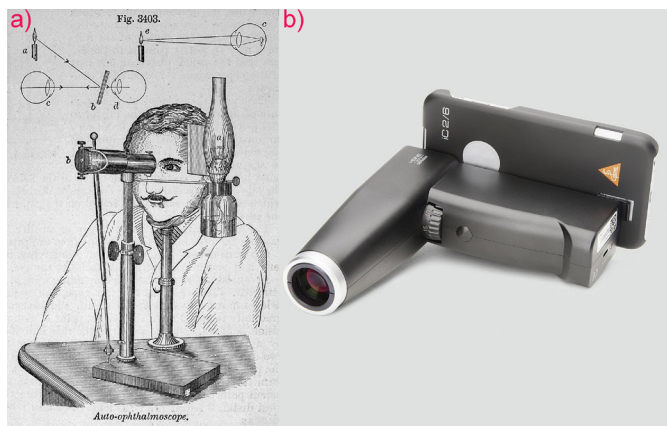
Fotografia 1. Sala operacyjna mała w Szpitalu Starozakonnym w Warszawie (źródło: <https://bit.ly/3ncF9sn>)

do trepanacji czaszki; maszyna ta wprowadzona zostaje w ruch przez połączenie z ogólnym prądem elektrycznym” (**fotografia 1**). Można tylko współczuć ówczesnym pacjentom. Ale w szpitalach były również pracownie specjalistyczne, wyposażone w bardzo wyszukaną aparaturę medyczną. Przykładem niech będzie lampa Kromayera (**rysunek 1**), która służyła do leczenia światłem, a dokładniej mówiąc promieniowaniem nadfioletowym. Lampa zawierała przezroczystą, hermetycznie zamkniętą rurkę wykonaną z kryształu górskiego zawierającą rtęć w stanie lotnym. Pod wpływem doprowadzonego prądu elektrycznego opary rtęci zaczynają emitować silne promieniowanie nadfioletowe, które jak już wówczas zauważono, ma działanie lecznicze. Choć brzmi to dość groźnie, metody leczenia ultrafioletem

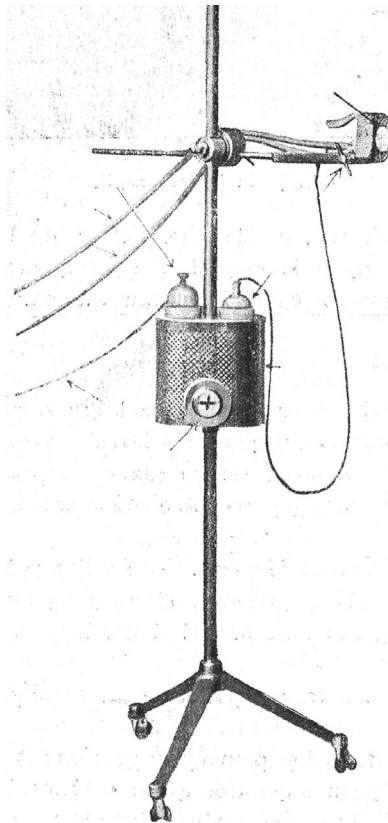
i nadfioletem są stosowane do dziś. Współczesna aparatura służąca do tego typu terapii wygląda już jednak zgoła odmiennie. A jeśli już jesteśmy przy leczeniu światłem, to przecież niezwykle popularne obecnie zabiegi laserowe są niczym innym, jak leczeniem światłem. W XIX wieku, a tym bardziej do połowy XX wiedza z dziedziny fizyki światła była już wystarczająca do tego, aby myśleć o laserach w medycynie. Niestety, jeszcze nie pozwalała na to technologia. Dziś trudno byłoby sobie wyobrazić pracę lekarzy bez laserów, które znalazły zastosowanie na salach operacyjnych jako sprzęt chirurgiczny w gabinetach medycyny estetycznej.

Medycyna bez choćby najprostszego oprzyrządowania nie mogłaby istnieć. W czasach, gdy nie było jeszcze elektroniki, radzono sobie, konstruując bardzo prymitywne z dzisiejszego punktu widzenia, ale wówczas jednak bardzo pomocne przyrządy elektryczne i mechaniczne. Znajdowały one zastosowanie w tych dziedzinach, które wymagają dużej precyzji. Do takiej grupy zaliczana jest niewątpliwie okulistyka. Sporą grupę stanowiły więc instrumenty dla okulistów. Prymitywne oftalmoskopy (**fotografia 2**) służące do wziernikowania dna oka po gruntownych modernizacjach technicznych są stosowane do dziś.

Do najbardziej skomplikowanych urządzeń medycznych minionej epoki należała aparatura rentgenowska. Na **fotografii 3** pokazano urządzenie pracujące od roku 1921 aż do połowy lat 90. XX wieku. Ciekawe, czy współczesne urządzenia też będą działały 70 lat? Dziś aparaty rentgenowskie zapewniają dużo większą precyzję kierowania wiązki promieniowania X i optymalnego sterowania jej natężeniem. Są to urządzenia bezpieczniejsze dla personelu obsługującego



Fotografia 2. Oftalmoskop: a) wersja dziewiętnastowieczna (źródło: <https://bit.ly/3pnLRgQ>), b) wersja współczesna (źródło: <https://bit.ly/38AZ93B>)



Rysunek 1. Dziewiętnastowieczna lampa Kromayera do nasświetlania w nadfiolecie (źródło: <https://bit.ly/3ncF9sn>)



Fotografia 3. Aparatura rentgenowska z roku 1921 (źródło: <https://bit.ly/2GR5dCT>)

i samych pacjentów. Lekarz dostaje niemal natychmiast cyfrowy obraz prześwietlenia, może go łatwo archiwizować i przekazywać innym lekarzom.

Elektronika w gabinetach lekarskich

Elektroniczny sprzęt spotykany w gabinetach medycznych to najczęściej względnie proste przyrządy służące do pomiaru podstawowych parametrów, takich jak temperatura, tętno, ciśnienie krwi. Należy też wspomnieć, że coraz częściej parametry te są kontrolowane na bieżąco przez użytkowników zegarków naręcznych (smartwatchy i zegarków sportowych). Rewolucja w pomiarach temperatury i ciśnienia krwi nastąpiła w chwili ogłoszenia zakazu używania instrumentów zawierających rtęć, a więc termometrów rtęciowych i klasycznych ciśnieniomierzy. Bardzo szybko pojawiły się przyrządy elektroniczne, które oprócz wyeliminowania szkodliwej substancji uprościły pomiar i na ogół zwiększyły dokładność. Coraz większą popularnością cieszą się termometry bezdotykowe (**fotografia 4**), jednak jak to zwykle bywa w przypadku nowości, mają one zarówno szerokie grono entuzjastów, jak i przeciwników. Przeciwnicy zarzucają im przede wszystkim małą powtarzalność pomiarów, często kwestionują też



Fotografia 4. Termometr bezdotykowy



Fotografia 5. Pulsoksymetr

dokładność. Tymczasem większość problemów wiąże się, jak zwykle, z nieprzeczytaniem instrukcji obsługi lub niedoczytaniem zawartych w niej informacji. Okazuje się, że do zapewnienia deklarowanych parametrów przyrządu wymagane jest dość ściśle przestrzeganie warunków opisanych w dokumentacji. Na przykład, jeśli producent zadeklarował konieczność kierowania pomiarowej wiązki podczerwonej na skroń, to nie powinno się mierzyć temperatury na czole albo pod pachą. Mierząc temperaturę na czole, należy bezwzględnie pamiętać o odsłonięciu włosów, gdyż stanowią one bardzo dobrą warstwę izolacyjną mogącą zakłócić wynik nawet o kilka stopni. Konieczne jest też utrzymywanie termometru w stabilnych warunkach temperatury przed i w trakcie wykonywania pomiaru. Nawet niewielki przeciąg w pomieszczeniu może niekorzystnie wpłynąć na wyniki pomiaru. Nie mniej istotne jest utrzymanie określonej w przepisach odległości termometru od ciała w trakcie pomiaru. Nie wypada już nawet wspominać o zachowaniu dbałości o czystość przyrządu i o dobry stan baterii zasilających.

Obecnie, w dobie pandemii COVID-19, pomiar temperatury ciała jest pierwszym, jaki wykonuje się w celach diagnostycznych. Od prawidłowości wyniku mogą zależeć dalsze metody postępowania. Drugim objawem charakterystycznym dla tej choroby są problemy oddechowe, z czym związane jest obniżone nasycenie krwi tlenem – saturacja. Zanim osoba chora zacznie je wyraźnie odczuwać, może je zdiagnozować nawet we własnym zakresie przez nieinwazyjny pomiar saturacji krwi. Służą do tego miniaturowe pulsoksymetry (fotografia 5), które stają się już tak popularne, jak termometry elektroniczne i można je nawet kupić w aptece. Do pomiaru saturacji krwi wykorzystywane są dwie wiązki: czerwona i podczerwona. Pierwsza z nich jest stała, druga natomiast jest pulsująca. Światło jest pochłaniane przez hemoglobinę wykazującą zdolność pochłaniania zależną od stopnia wysycenia krwi tlenem. Na podstawie pomiarów natężenia obu wiązek docierających do detektorów znajdujących się po drugiej stronie klipsa zakładanego na palec, obliczany jest procentowy stopień saturacji. Prawidłowe wartości powinny zawierać się w przedziale 95...99%. Dodatkową korzyścią pomiaru saturacji jest informacja o tętnie.

W gabinecie lekarskim nie brakuje zwykle również miernika ciśnienia krwi. Czy są to takie same przyrządy, jak te, które użytkują indywidualnie pacjenci w domach? Tu ocieramy się o zagadnienie dużo poważniejsze, niż można by sądzić. Okazuje się, że dość dużym problemem jest tzw. nadciśnienie „białego fartucha”. Każdy, kto choć raz miał mierzone ciśnienie przez lekarza w gabinecie, wie, o co chodzi. Taki pomiar jest dość stresujący, gdyż zwykle zdajemy sobie sprawę z konsekwencji niekorzystnego wyniku. Już sama myśl o tym, jaki on będzie, podnosi w sposób niekontrolowany ciśnienie u pacjenta, i to w stopniu zauważalnym. Pomiar w gabinecie lekarskim jest dokonywany w przypadkowej porze dnia, często bez zachowania odpowiednich warunków (zapewnienie kilkuminutowej



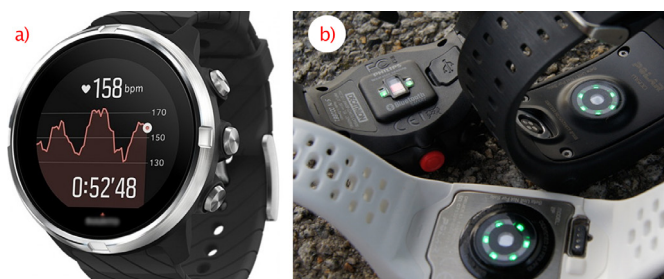
Fotografia 6. Całodobowy monitor ciśnienia krwi (źródło: <https://bit.ly/32xGMj1>)

ciszy i spokoju przed badaniem). Nie uwzględnia dobowych wahań ciśnienia. Stosując tylko taką metodykę bez innych kroków, dość trudne może być diagnozowanie chorób związanych z nadciśnieniem tętniczym. Szacuje się, że nadciśnienie „białego fartucha” obejmuje ok. 20 procent pacjentów, u których pomiary gabinetowe wykazały przekroczenie prawidłowych wartości. Nowym podejściem w badaniu ciśnienia krwi jest ABMP (*ambulatory blood pressure monitoring*) oznaczający automatyczny pomiar ciśnienia bez kontaktu z lekarzem. Mimo to, pomiar ABMP nie likwiduje w pełni stresu u pacjenta i nadal uzyskany wynik, chociaż lepszy niż uzyskany metodą tradycyjną (z udziałem lekarza), może nie być w pełni wiarygodny. Jeszcze lepsza metoda polega na całodobowym monitorowaniu ciśnienia. Wymaga to jednak zupełnie innego rodzaju oprzyrządowania. Przykład takiego miernika pokazano na fotografii 6. Miernik ten odznacza się wieloma zaletami. Jak widać, pomiar odbywa się bez użycia fartucha, co umożliwia rejestrację parametrów bez nadmiernego ograniczania ruchowego pacjenta. Oprócz pomiaru skurczowego i rozkurczowego ciśnienia krwi dodatkową korzyścią jest 3-kanalowe badanie holterowskie, aktygrafia, badanie bezdechów sennych i oznaczanie PWV – wskaźnika sztywności naczyń.

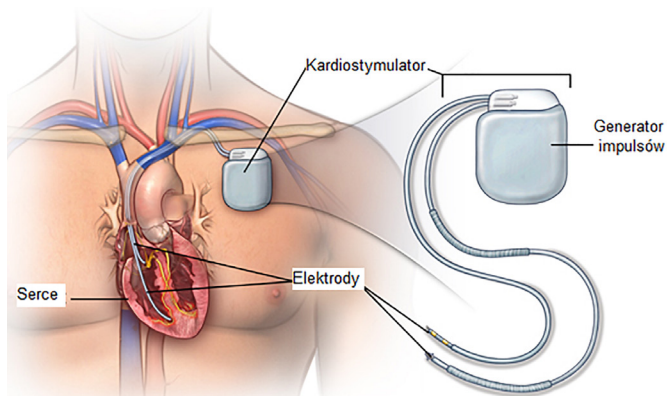
Elektronika paramedyczna u każdego

Jak już było wspomniane, duża część opisanych wyżej pomiarów jest możliwa do wykonania bez konieczności odbywania wizyty w gabinecie lekarskim. Niezwykłą popularność zdobywają w ostatnim czasie smartwatche i zegarki sportowe z funkcją pulsometru, za pomocą których indywidualny użytkownik może mierzyć takie parametry jak tętno. Spotykane są również zegarki z funkcją pomiaru ciśnienia krwi. Należy jednak traktować te urządzenia raczej jako wskaźniki niż wiarygodne przyrządy pomiarowe. Odczytywane z nich, powtarzające się wyniki przekraczające normy powinny natomiast stanowić pretekst do poddania się dokładniejszemu badaniu.

Większość urządzeń tego typu działa na zasadzie pomiaru światła kierowanego np. na nadgarstek. Nadajnik oraz detektor jest więc umieszczany w spodniej części koperty (fotografia 7). Detektor wykrywa zmiany parametrów optycznych krwi przepływającej przez naczynia krwionośne, które wynikają z pracy serca, i na tej podstawie wyznaczany jest puls, a nawet ciśnienie krwi. Biorąc pod uwagę fakt, że praca serca zależy od wysiłku, na podstawie takich pomiarów można wyciągać również wnioski dotyczące wysiłku. Smartwatche mają możliwość komunikowania się ze smartfonami lub



Fotografia 7. Smartwatch z pomiarem tętna: a) wyświetlacz, b) czujniki pomiaru tętna (źródło: <https://bit.ly/38AZeUX>)



Rysunek 2. Stymulator serca (źródło: <https://bit.ly/36rs87B>)

komputerami, na których za pomocą zainstalowanego zwykle oprogramowania możliwe jest prowadzenie bardziej skomplikowanych analiz. Aplikacje zliczają np. wysiłek dzienny, oceniają jakość i głębokość snu, mierzą przebyte dystans itd.

Metody nadgarstkowego pomiaru tętna są stale rozwijane i udoskonalane. Nadal nie są jednak tak dokładne, jak pomiary wykonywane z użyciem pasów napiersiowych. Nie nadają się też do wszystkich zastosowań sportowych. Na przykład u osób wykonujących intensywne ruchy ręką (tenisiści) należy liczyć się ze sporymi błędami. W pasach napiersiowych stosowana jest inna metoda pomiarowa niż w smartwatchach. Czujnik wykrywa sygnały aktywności elektrycznej serca (EKG).

Profesjonalna elektronika osobista i szpitalna

Rozpoczynamy wątek, który ma początek i nie ma końca. Elektronika znajduje zastosowanie dosłownie w każdej dziedzinie medycyny, nie sposób więc omówić dokładnie wszystkiego, co jest związane z tą tematyką. Siłą rzeczy zostaną tu zaprezentowane tylko przykłady medycznych przyrządów elektronicznych.

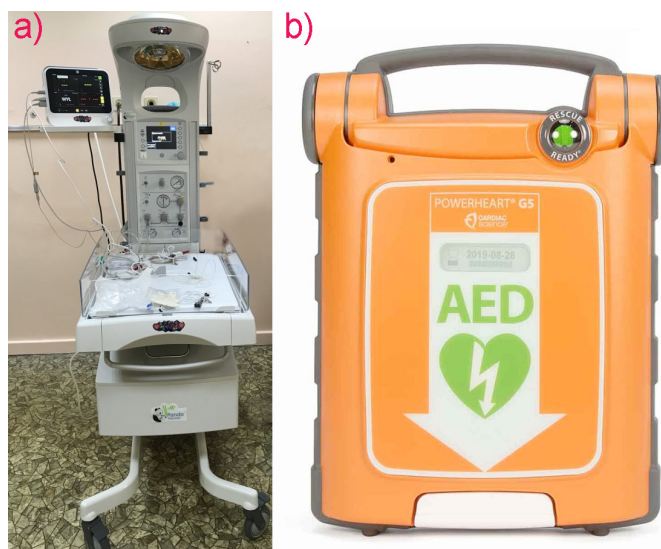
Zaczynamy od urządzeń osobistych. Do tej grupy są zaliczane m.in. **stymulatory serca**, popularnie zwane rozrusznikami (**rysunek 2**). Wspomagają one pracę węzła zatokowo-przedsionkowego odpowiedzialnego za generowanie impulsów elektrycznych wywołujących skurcze. Konieczność wszycia stymulatora powstaje wtedy, gdy naturalna częstość tych impulsów staje się zbyt mała. Konsekwencją tego mogłaby być zbyt mała ilość krwi przepompowywanej przez serce. Kardiostymulator to urządzenie względnie proste. Jest to generator impulsów o napięciu od 0,5 V do 5 V i czasie trwania ok. 1 ms. Największym wyzwaniem technicznym dla konstruktorów i producentów jest zapewnienie bardzo długiego czasu pracy. Obecnie urządzenia te mogą działać prawidłowo na baterii wszywanej razem ze stymulatorem od 5 do 15 lat. Na szczęście operacja wszycia i ewentualnej wymiany baterii nie jest bardzo skomplikowana, trwa ok. godziny. Osoba z wszytym rozrusznikiem musi unikać pól magnetycznych i radiowych, nie może też poddawać się badaniu rezonansem magnetycznym.

Innym urządzeniem elektronicznym osobistego użytku jest **aparat słuchowy**. Trudno uwierzyć, że pierwsze urządzenie tego typu powstało już w roku 1901. Oczywiście nie miało ono nic wspólnego z konstrukcjami współczesnymi, a nawet tymi, które pamiętamy. Jeśli ktoś kojarzy te urządzenia z topornymi tranzystorowymi rozwiązaniami sprzed kilkunastu, kilkudziesięciu lat, to może być nieźle zaskoczony, gdy pozna możliwości współczesnych aparatów słuchowych. Obecnie są to urządzenia cyfrowe, często z wbudowanym interfejsem Bluetooth, pozwalającym przekierowywać dźwięk z telewizora czy smartfonu bezpośrednio do ucha. A nie jest to jeszcze koniec możliwości. Istnieją na przykład aparaty, które mogą być podpinane do pętli indukcyjnych w salach konferencyjnych, przez co możliwe staje się kierowanie głosu prelegenta bezpośrednio do słuchacza. Bardzo wygodną funkcją dla użytkownika jest automatyczna regulacja głośności, znacznie zwiększająca komfort odsłuchu.



Fotografia 8. Respirator (źródło: <https://bit.ly/2Ip0I9Y>)

Ciężkie czasy, jakie przeżywają ludzie na całej kuli ziemskiej związane z pandemią COVID-19, powodują, że wszystkim dobrze jest już znany termin **respirator (fotografia 8)**. Rzeczywiście, jest to urządzenie ratujące życie wielu chorym. I w tym przypadku różnica między pierwszym egzemplarzem użytym w 1928 roku a urządzeniami współczesnymi jest kolosalna. Zmieniła się też zasada działania. Generalnie, zadaniem respiratora jest wspomaganie układu oddechowego człowieka. W pierwszym urządzeniu pacjent był zamykany w metalowej, szczelnej obudowie tak, że tylko wystawała mu głowa. Dwie pompy dołączone do komory wytwarzały w niej podciśnienie wymuszające pogłębiony oddech chorego. Respirator był wielki, ciężki i pewnie dość głośno pracował. Obecne konstrukcje działają na zupełnie innej zasadzie. Pacjent nie jest zamykany w żadnej komorze, a działanie respiratora ogranicza się do kontrolowanego włączania odpowiednio nagrzanego i nawilżonego powietrza do płuc przez rurkę intubacyjną lub tracheotomię. Sterowanie odbywa się mikroprocesorowo z zapewnieniem dużej precyzji. W każdym przypadku leczenie do przyjemnych nie należy, ale bywa ostatnią metodą utrzymania człowieka przy życiu. Gabaryty współczesnych respiratorów są na tyle małe, że mogą być używane nawet w warunkach domowych. Czynnikiem zaporowym jest jednak zwykle cena kształtująca się w okolicach 20...30 tysięcy złotych.



Fotografia 9. Urządzenia do resuscytacji: a) stanowisko stacjonarne, b) defibrylator przenośny

Kolejnym instrumentem ratującym życie jest **stacjonarne stanowisko do resuscytacji (fotografia 9a)** instalowane w warunkach szpitalnych. Resuscytacja polega na prowadzeniu masażu serca i sztucznego oddychania z zachowaniem odpowiedniego tempa tych czynności (30 uciśnień/2 oddechy). Akcja może być wspomagana dodatkowymi impulsami generowanymi przez **defibrylator (fotografia 9b)**. Oba urządzenia są używane do ratowania osób, u których wystąpiło nagłe zatrzymanie krążenia. Dostępne są modele defibrylatorów w pełni automatyczne lub półautomatyczne. Urządzenia przenośne są instalowane w wielu obiektach użyteczności publicznej. Szczegółowa instrukcja głosowa umożliwia obsługiwanie ich nawet przez osoby nieprzeszkolone, które znalazły się przypadkowo w pobliżu zdarzenia. Każda minuta opóźnienia użycia tego instrumentu znacząco zmniejsza szanse przeżycia osoby z zatrzymaną akcją serca.

Podczas leczenia szpitalnego bardzo często zachodzi konieczność podawania precyzyjnych dawek leków rozłożonego w czasie. Lek w postaci płynnej jest w takich przypadkach umieszczany w specjalnej strzykawce zakładanej do **pompy infuzyjnej (fotografia 10)**. Znajdujący się w niej siłownik bardzo powoli i precyzyjnie naciska na tłok strzykawki, dawkując odpowiednio lek. Urządzenia te znajdują się w salach intensywnej terapii w każdym szpitalu, a nawet w karetkach reanimacyjnych.

Była już mowa o badaniu światłem, przyszła kolej na badanie dźwiękiem. Termin USG jest zapewne dobrze znany każdemu, nawet temu kto nie interesuje się medycyną czy nawet ogólnie techniką. USG to **ultrasonograf (fotografia 11)**, czyli urządzenie wykorzystujące fale dźwiękowe o dużej częstotliwości do „prześwietlenia” wnętrza ciała. Ciało prześwietliliśmy już promieniami rentgenowskimi, ale wszyscy dobrze wiedzą, że jest to metoda pozostawiająca pewien ślad w organizmie człowieka w postaci szkodliwych dawek promieniotwórczych. Liczba przyjętych w całym życiu takich dawek jest ograniczona, pracowano więc intensywnie nad metodami pozwalającymi zajrzeć do wnętrza organizmu przy użyciu metod nieinwazyjnych. Od kilkudziesięciu już lat w powszechnym użyciu znalazły się ultrasonografy. Urządzenia te emitują za pomocą odpowiedniej sondy fale ultradźwiękowe, które po odbiciu od organów wewnętrznych trafiają z powrotem do sondy zawierającej również detektor piezoelektryczny. Zasada działania ultrasonografu opiera się na wyznaczonej i stałej prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w tkance ludzkiej. Dzięki temu, mierząc czas powrotu, echa można określić odległość od danego fragmentu tkanki do detektora, i na tej podstawie sporządzić obraz wnętrza. Należy jednak pamiętać o tym, że ultradźwięków nie przepuszcza tkanka kostna ani powietrze w przewodach pokarmowych. Do ich badania technika USG, nie nadaje się.

Ostatnim urządzeniem tej grupy opisanym w artykule jest bilirubinometr (**fotografia 12**). Jest to urządzenie do bezinwazyjnego oznaczania poziomu bilirubiny u noworodków. Pomiar jest związany z naturalnie występującą żółtaczką u większości noworodków w drugiej dobie po urodzeniu. Tradycyjna metoda pomiaru wymaga wielokrotnego nakłuwania, co nie jest ani przyjemne, ani bezpieczne, gdyż może powodować powikłania, np. zakażenia. Choroba najczęściej ustępuje sama, ale zdarzają się przypadki wymagające ingerencji lekarskiej, dlatego oznaczanie bilirubiny jest tak ważne. Elektroniczny bilirubinometr wykonuje ten pomiar przez skórę, bezboleśnie i szybko. Oznaczenie poziomu bilirubiny polega na skierowaniu wiązki białego światła na skórę niemowlaka i pomiarze natężenia odbitych promieni o określonej długości. Metoda tradycyjna wymaga pobrania próbki krwi, a następnie laboratoryjnego jej badania po uprzednim odwirowaniu.

Sprzęt do rehabilitacji

Na podstawie wcześniejszych opisów medycznej aparatury pomiarowej można wyciągnąć wniosek, że nierzadko są to przyrządy o bardzo złożonej budowie. Wiele z nich składa się z bloków mechanicznych uzupełnianych o skomplikowane sterowniki elektroniczne, systemy akwizycji danych, elektroniczne rejestratory i elementy zobrazowania wyników. Urządzenia te muszą spełniać najwyższe standardy jakości



Fotografia 10. Pompa infuzyjna (źródło: <https://bit.ly/2GY5bjG>)

i bezpieczeństwa użytkowania. To między innymi dlatego ceny tych przyrządów są tak wysokie.

Do grupy urządzeń medycznych można zaliczyć również systemy używane w rehabilitacji. Są to zwykle bardzo złożone pod względem mechanicznym stanowiska, w których elektronika pełni jedynie funkcję pomocniczą. Bardzo często obsługę wielkiego na pół sali zestawu zapewnia urządzenie elektroniczne mieszczące się na dłoni.

Rehabilitacja zajmuje się badaniem zespołów mięśniowych i kostnych, a także przywracaniem ich sprawności po odniesionych kontuzjach i urazach. Ćwiczenia

i pomiary przebiegają na stanowiskach pomiarowych o specjalnych konstrukcjach wynikających z rodzaju pomiaru. Na przykład do pomiaru charakterystyki mechanicznej kończyn dolnych w wyskoku pionowym jest stosowana tensometryczna 4-podporowa platforma wyskokowa, współpracująca z 4-kanalowym wzmacniaczem tensometrycznym i komputerem (**fotografia 13**). Dane są przesyłane ze wzmacniacza umieszczonego w ramie platformy do oddalonego od niej komputera, na którym realizowane jest opracowanie i zobrazowanie wyników. Parametry siłowe rozwijane przez osobę badaną są mierzone na zasadzie badania reakcji podłoża. Zastosowanie czterech tensometrów umożliwia obliczenie nie tylko siły całkowitej, ale też rozkładu sił na powierzchni platformy. Cecha ta jest



Fotografia 11. Ultrasonograf



Fotografia 12. Bilirubinometr (źródło: <https://bit.ly/3nkvG1Z>)



Fotografia 13. Tensometryczna platforma wyskokowa

wykorzystywana w pomiarach stabilograficznych, w których osoba badana staje na środku platformy i ma obowiązek utrzymania nieruchomej pozycji w określonym czasie. Specjalne oprogramowanie oblicza mimowolne ruchy środka masy i wyznacza jego trajektorię. Istnieją też rozwiązania pozwalające mierzyć zdolność do zachowania równowagi w warunkach niestabilnego podłoża, a to z kolei pozwala oceniać sprawność mięśni. Wykrywane tą metodą nieprawidłowości służą do oceny postępów rehabilitacji, ale mogą też wykrywać różnego rodzaju kontuzje.

Znacznie bardziej jest rozbudowane stanowisko służące do pomiarów momentów sił zginaczy i prostowników rozwijanych w stawie łokciowym i ramieniowym (fotografia 14). Konstrukcja zapewnia prawidłową stabilizację obręczy barkowej i łokcia. Istotne elementy są regulowane tak, aby zapewnić optymalne dopasowanie do osoby badanej. Najważniejszym elementem stanowiska jest tensometryczna głowica momentomierza.

O czym nie powiedziano

W artykule nawet nie wspomniano o wielu instrumentach medycznych, których istotną część stanowi elektronika. Dla porządku należy choćby wymienić te najważniejsze.

Rezonans magnetyczny – to jedno z najbardziej skomplikowanych urządzeń medycznych. Jest to kolejny przyrząd służący do nieinwazyjnego badania narządów wewnętrznych we wszystkich płaszczyznach. Pacjent jest wprowadzany do olbrzymiej cewki generującej



Fotografia 14. Stanowisko do badania momentów sił zginaczy i prostowników kończyn górnych

silne pole magnetyczne, a także fale radiowe. Specjalne detektory badają to pole po przejściu przez ciało pacjenta i na tej podstawie jest sporządzany obraz. Bardzo ważne jest zachowanie pełnej izolacji od obcych pól elektromagnetycznych. Tą metodą są badane takie części ciała, jak: głowa, kręgosłup, kolana, nadgarstki, barki i stawy biodrowe i skokowe oraz stopy.

Tomografia komputerowa, (CT, TK). Urządzenie wykonuje serię prześwietleń (najczęściej mózgu) wykonując jednocześnie ruch posuwisty i obrotowy. W ten sposób powstaje seria obrazów przedstawiających wnętrze mózgu tak, jakby był krojony na plasterki. Obraz nie jest tworzony wprost z sygnałów odbieranych przez detektory promieniowania X, musi być obliczony komputerowo. Współczesne tomografy wykonują do 2 milionów projekcji w czasie jednego pomiaru, dzięki czemu uzyskiwana jest niewyobrażalna rozdzielczość rzędu dziesiątek mikrometrów.

Elektroencefalograf (EEG). Aparatura służąca do badania tzw. fal mózgowych. Są to sygnały elektryczne o bardzo małych częstotliwościach rzędu 0,5...35 Hz odczytywane za pośrednictwem zespołu składającego się z 24 sond umieszczanych na głowie pacjenta. Elektroencefalografia jest użyteczna w diagnozowaniu chorób ośrodkowego układu nerwowego, jak również w diagnozowaniu zaburzeń snu. W wyniku badania powstaje kolekcja zapisów uzyskiwanych z każdej sondy. Na ich podstawie lekarz specjalista wyciąga wnioski o stanie osoby badanej i podejmuje ewentualne środki lecznicze. Badanie trwa około 20 minut i musi przebiegać w spokojnym, cichym pomieszczeniu, tak aby nic nie rozpraszało pacjenta. EEG jest jednym z podstawowych badań w leczeniu padaczki.

Specyficzną odmianą EEG jest zapoczątkowany w latach 60. XX wieku **biofeedback**. W tym przypadku nie można jednak mówić o diagnostyce i leczeniu, a raczej o treningu mózgu. Termin ten w dosłownym tłumaczeniu oznacza biologiczne sprzężenie zwrotne. I rzeczywiście jest to specjalne urządzenie elektroniczne, które w czasie rzeczywistym bada aktywność mózgu i sygnalizuje ją osobie badanej z rozróżnieniem na poszczególne fale mózgowie. W ten sposób osoba ta uczy się własnych reakcji na określone bodźce i stara się odpowiednio zmieniać reakcje swojego mózgu. Trening biofeedback ułatwia wychodzenie ze stanów depresji.

Do badania schorzeń układu nerwowego oprócz EEG stosowana jest też metoda **EMG, czyli elektromiografia**. Obiektem badań nie jest jednak mózg, lecz mięśnie i nerwy. Jest to metoda elektrofizjologiczna, badania takiego powinny więc unikać osoby z wszczepionym rozrusznikiem serca. Metodą EMG są diagnozowane liczne schorzenia układu mięśniowo-nerwowego, takie jak: dystrofia mięśniowa, stwardnienie boczne zanikowe, rdzeniowy zanik mięśni, jak również zespół cieśni nadgarstka, zespół cieśni kanału ściepu oraz chorób złącza nerwowo-mięśniowego, np. miastenii. Badanie jest dość złożone, składa się z czterech, w zasadzie niezależnych badań, jak: elektroneurografia (badanie przewodnictwa w nerwach obwodowych), badanie mięśni, badanie transmisji nerwowo-mięśniowej i badanie nadpobudliwości nerwowo-mięśniowej.

Robot chirurgiczny Da Vinci. Jedno z najbardziej spektakularnych urządzeń medycznych, jakie są w dyspozycji polskich chirurgów. Użytkowany od 2017 roku robot umożliwia wykonywanie bardzo skomplikowanych operacji chirurgicznych przede wszystkim w leczeniu raka prostaty. Robot korzysta z kamery dającej 10-krotne powiększenie 3-wymiarowego obrazu. 7 stopni swobody ramion robota zapewnia precyzję ruchów nieosiągalną w operacjach prowadzonych metodami klasycznymi. Wyeliminowano naturalne drżenie rąk człowieka. Precyzja wykonywania czynności może w przypadku leczenia raka prostaty decydować o sukcesie lub porażce operacji ze względu na położone bardzo blisko siebie zwieracz cewki moczowej i pęczki naczyniowo-nerwowe. Ich przypadkowe uszkodzenie prowadzi do bardzo przykrych dla pacjenta konsekwencji. Jest tylko jeden problem – całkowity koszt operacji to ok. 35000 zł.

Jarostaw Doliński, EP