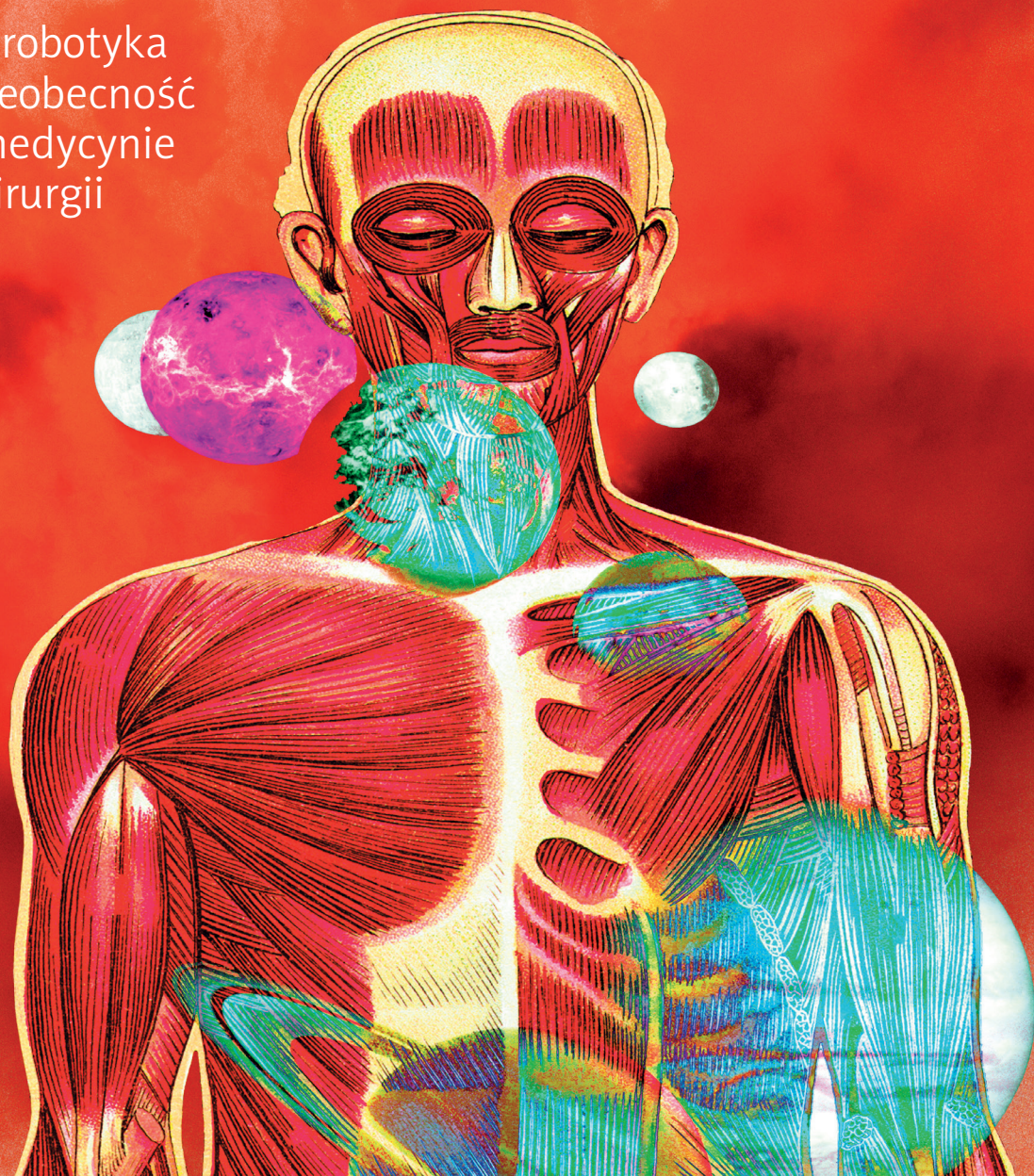


Telerobotyka
i teleobecność
w medycynie
i chirurgii



Fot. Gettyimages/Thinkstock

Medycyna kosmiczna na Ziemi

Duża część obecnej telemedycyny i wiele przetomowych odkryć mają... kosmiczne pochodzenie. Stosowane dziś w codziennej praktyce rozwiązania i procedury nierzadko opracowano w trakcie realizacji programów podboju kosmosu, np. w NASA. Jakie stoją przed nami wyzwania, co jeszcze z kosmosu trafi na operacyjne stoły – ocenia dr Agata Kołodziejczyk, ekspert Europejskiej Agencji Kosmicznej.

Telemedycyna, czyli medycyna na odległość, to obecnie jedna z najszybciej rozwijających się dziedzin światowego przemysłu. Powstała już w latach 60. ubiegłego wieku wraz z satelitarną siecią telekomunikacyjną łączącą amerykańskie bazy wojskowe rozrzucone na wszystkich kontynentach ze specjalistycznymi ośrodkami medycznymi USA. Duży wkład informacji wniosły NASA i pozostałe agencje kosmiczne, w których opieka medyczna i monitorowanie stanu zdrowia astronautów z natury rzeczy muszą się odbywać na odległość.

Pierwsze polskie kroki

Rzeczywisty rozwój telemedycyny w Polsce koncentruje się głównie na sprawnej organizacji baz danych i niezbędnych systemów kontroli dostępu oraz opracowywaniu i wdrażaniu systemów przesyłania sygnałów EKG i zdjęć medycznych przez telefon, intranet lub internet w celach konsultacyjnych. Od 2001 r. w naszym kraju działa Sekcja Telemedycyny Polskiego Towarzystwa Lekarskiego, której celem jest krzewienie i rozwój tej interdyscyplinarnej dziedziny łączącej medycynę z informatyką i telekomunikacją. Należą do niej znani profesorowie, dyrektorzy szpitali i klinik oraz lekarze różnych specjalności. Sekcja zorganizowała kilka interaktywnych wideokonferencji naukowo-szkoleniowych oraz teleoperacji serca w Centrum Zdrowia Dziecka w Warszawie.

Przyszłość należy do telemedycyny

Jak donosi „Forbes”, przewidywana globalna wartość rynku telemedycyny w 2018 r. wyniesie 21,5 mld dolarów, a leczenie z wykorzystaniem robotów, urządzeń mobilnych i nowych technologii zacznie wypierać klasyczne metody świadczenia usług medycznych. Przewiduje się, że liczba pacjentów korzystających z usług telezdrowia wzrośnie z 350 tys. w 2013 r. do 7 mln w 2018 r.

Prestżkowe ośrodki naukowe wspierają rozwój technologii telemedycznych. Dlaczego? Wyliczmy tylko najnowsze osiągnięcia. W tegorocznej edycji konkursu ogłoszonego przez Massachusetts Institute of Technology tytuł Innowatora Roku 2016 otrzymała Patrycja Wizińska-Socha. Polka stworzyła Pregnabit – prototyp urządzenia do monitorowania akcji serca płodu, tętna matki i innych parametrów, które są przekazywane bezprzewodowo do centrum monitoringu. Urządzenie to pozwala kobietom ciężarnym na wykonanie podstawowych badań bez wychodzenia z domu, minimalizując czas, koszty i prawdopodobieństwo zarażenia patogenami w trakcie wizyt lekarskich. Z kolei dla osób niewidomych stworzono przenośne urządzenie Matia, opisujące otaczający świat za pomocą bodźców stymulujących zmysły, m.in. przez słowa i muzykę. Inna nowość – MySpiroo – umożliwia zdalne monitorowanie pacjentów cierpiących na przewlekłe choroby układu oddechowego, np. astmę.

„Przewiduje się, że liczba pacjentów korzystających z usług telezdrowia wzrośnie z 350 tys. w 2013 r. do 7 mln w 2018 r.”

Telemedycyna to nie tylko rozwój nowych urządzeń, lecz także modyfikacja powszechnie używanych urządzeń mobilnych. Telefony komórkowe stają się podręcznymi urządzeniami monitorującymi zdrowie, prywatnymi doradcami kontroli stylu życia. Interesującym przykładem jest tu Smartphone Brain Scanner mierzący bioelektryczną aktywność mózgu celem wykrywania ataków epileptycznych i pomiaru EEG w czasie rzeczywistym.

Poza mobilnymi analizatorami parametrów fizjologicznych powstają urządzenia wpływające aktywnie na zmianę funkcji organizmu. Przykładowo ból głowy można zredukować kontrolerem przyłożonym do policzka, zintegrowanym ze stymulatorem wszczepionym w jamie ustnej nad zębami trzonowymi. Z kolei zastrzyk energii w postaci wypicia kawy można zastąpić stymulatorem przyklejanym do skroni, który wysyła impulsy elektryczne o wysokiej częstotliwości.

Niezaprzeczalne korzyści

Co na to środowiska medyczne? Na ile zastosowanie telemedycyny postrzega się jako inspirację, eksperyment, ciekawostkę czy nową formę biznesu, a na ile jako faktycznie przydatną metodę w codziennym leczeniu pacjentów? Co na to pacjenci? Czy będą w stanie zaufać leczeniu na odległość?

Okazuje się, że obu stronom – zarówno lekarzom, jak i pacjentom – telemedycyna oferuje niezaprzeczalne korzyści ekonomiczne związane z obniżeniem wydatków na opiekę medyczną i znaczącą oszczędnością coraz cenniejszego dla ludzkości czasu. Głównym celem telemedycyny jest umożliwienie monitorowania zdrowia pacjentów w domach przy zapewnieniu komfortu psychicznego i szybkiej reakcji na problem medyczny. Monitorowanie to ma się odbywać za pośrednictwem powszechnie stosowanych urządzeń – telefonów komórkowych, tabletów czy komputerów w powiązaniu z zaawansowanymi systemami komunikacyjnymi.

Dzięki monitoringowi zmniejszą się częstotliwość i czas hospitalizacji oraz liczba wizyt lekarskich, a także prawdopodobieństwo zakażeń i rozprzestrzeniania patogennych wirusów i bakterii. Równomierny dostęp do usług telemedycznych zapewni podwyższenie jakości opieki zdrowotnej na prowincjach, a w przypadku



„Telemedycyna to nie tylko rozwój nowych narzędzi, lecz także modyfikacja powszechnie używanych urządzeń mobilnych”

nagłych wypadków, katastrof, wojen i ataków terrorystycznych znacząco ułatwi dostęp do skutecznej pomocy medycznej.

W przypadku ratownictwa medycznego pomocne okażą się interaktywne telekonsultacje w celu szybkiego diagnozowania. Informacje o aktualnym stanie pacjenta będą sprzężone z utworzonymi elektronicznymi bazami danych (*electronic medical records* – EMR). Informacje zawarte w bazach będą dotyczyły pełnej historii leczenia, wyników badań CT, RTG, MRI i USG, przebytych chorób, zabiegów, stosowanych leków, obecności alergii itd. Nauka będzie wygodniejsza i tańsza, a szkolenia lekarzy i personelu medycznego łatwiejsze i bardziej wydajne.

Możliwości techniczne

Czy jednak jakość teledycyny jest porównywalna z jakością wypracowanych przez lata metod? Zaawansowane systemy telekomunikacyjne stanowią krytyczny element w zastosowaniach teledycyńskich, a wyzwania nie należą do trywialnych. Jednym z podstawowych zadań teledycyny jest diagnostyka obrazowa umożliwiająca przesyłanie, archiwizację, przegląd i opis zdjęć RTG, MRI, CT i USG. Przesyłany obraz musi być wysokiej jakości, o rozdzielczości nie mniejszej niż 2000 × 2000 pikseli, aby telekonsultant mógł prawidłowo ocenić informacje uzyskane ze zdjęcia. Co więcej, tele-

konsultant powinien mieć jednocześnie możliwość oceny szczegółów przez powiększanie obrazu, porównanie wielu skanów, powroty do innych wyników, do historii choroby itp. Tak skomplikowaną platformę komunikacyjną umożliwia światowy standard DICOM dla cyfrowej techniki opracowywania, przesyłania i archiwizacji obrazów medycznych.

Zmieniona musi być również infrastruktura telekomunikacyjna. Wszechobecny bezprzewodowy internet z możliwością transferu dużej ilości danych ułatwi dostęp do wysokiej jakości usług medycznych w każdym zakątku świata. Ratownicze systemy alarmowe połączone będą liniami wideokomunikacyjnymi z regionalnymi ośrodkami medycznymi. W momencie wypadku ratownicy medyczni lub przeszkoleni policjanci czy strażacy będą w stanie przesłać do szpitala informacje audiowizualne. Dostarczenie lekarzom zapisów USG i EKG, zdjęć oraz istotnych sygnałów życiowych ranego jeszcze przed przetransportowaniem go do szpitala sprawi, że skrócony zostanie czas jego przyjęcia na oddział i czas przygotowania personelu do udzielenia właściwej pomocy. Dzięki interaktywnej wideokomunikacji będą możliwe również zdalne zabiegi chirurgiczne wykonywane przez ratownika na miejscu wypadku w sytuacji zagrożenia życia pacjenta pod okiem teleobecnego chirurga znajdującego się w regionalnym ośrodku medycznym.

Roboty chirurgiczne

Duże nadzieje wiąże się z rozwojem zdalnie sterowanych robotów chirurgicznych, które z niezwykłą dokładnością, niejednokrotnie większą niż ludzka, do-

konują zabiegów wymagających precyzyjnych mikro-
ruchów. W przypadku skomplikowanych operacji serca
lub mózgu niewielu jest specjalistów kardiochirurgów
lub neurochirurgów, którzy mają stosowne doświadcze-
nie i są w stanie podjąć się takiego zadania.

Wybitni specjaliści z reguły praktykują w klini-
kach wielkich aglomeracji miejskich, a stan zdrowia
nie zawsze pozwala na przewiezienie pacjenta na duże
odległości. Rozwiązaniem jest wtedy teleoperacja wy-
konywana za pomocą zdalnie sterowanego robota chi-
rurgicznego. Jeśli taki robot znajduje się na miejscu,
miejscowy lekarz wraz z personelem medycznym przy-
gotowują salę i pacjenta do operacji, podłączają robota
i nawiązują łączność telekomunikacyjną z chirurgiem
specjalistą przebywającym w innej części świata. Ten
zajmuje miejsce przed monitorem, przejmuje kontrolę
nad robotem i wykonuje precyzyjną operację. Dzięki
interaktywnej audio- i wideokomunikacji asystujący
miejscowi lekarze i personel medyczny wykonują po-
lecenia zdalnie operującego chirurga w standardowy
sposób. Powszechna obecność sterowanych robotów
chirurgicznych ratowałaby w ten sposób setki istnień
ludzkich. Niestety, takie roboty są drogie, konieczna
byłaby też restrukturyzacja infrastruktury sal opera-
cyjnych. Jednymi z bardziej znanych systemów tele-
operacyjnych dostępnych na rynku są ZEUS (975 tys.
dolarów) i Da Vinci (1 mln dolarów).

Operacja sterowana zdalnie

W 2001 r. przeprowadzono tzw. operację Lindbergh,
stanowiącą kamień milowy telerobotyki. Chirurgom
z Nowego Jorku udało się wykonać operację woreczka
żółciowego u pacjenta przebywającego we Francji
– w odległości 6230 km. Wykorzystano w tym celu
półautonomiczny, zrobotyzowany system chirurgiczny
ZEUS, składający się z kilku ramion kontrolowanych
przez chirurga, z konsoli głównej i systemu czujników
przesyłających *feedback* do użytkownika.

Ze względu na wciąż istniejące ograniczenia tech-
nologiczne i komunikacyjne większość robotów jest
obecnie kontrolowana przez chirurgów na miejscu,
w salach operacyjnych. Roboty te pomagają specjalście
zobrazować operowane miejsce oraz wykonać precyzyj-
nie minimalne cięcia, redukując tym samym ból i czas
gojenia tkanek. W celu przeprowadzenia teleoperacji
manipulatory ulokowane są w wewnętrznych tkankach
pacjenta (w sercu, wątrobie, oku itd.). Chirurgzy ma-
nipulują tymi instrumentami, a wykonywane ruchy
weryfikują kamerami zlokalizowanymi nad miejscem
pracy (w środku serca, wątroby, oka itd.).

Dzięki teleoperacjom większość zabiegów chirur-
gicznych może być przeprowadzona minimalnie in-
wazyjnymi technikami, gdzie niewielkie nacięcie wy-
starcza do wprowadzenia manipulatorów. Tym samym
zmniejszają się poziom bólu pacjentów i trauma tkank,
a także skracają się proces regeneracji i czas ho-

spitalizacji. System ZEUS pozwala na przeprowadzenie
minimalnie inwazyjnych operacji w chirurgii ogólnej
i laparoskopowej, pod warunkiem że sterujący nim
chirurg przejdzie wymagane szkolenie. W przypad-
ku systemu ZEUS jest to superkomputer wyposażony
w wiele skomplikowanych funkcji, np. kontroli głosu,
eliminacji drżenia rąk, adaptacyjnego filtrowania zakłó-
ceń czy korekcji błędów. Z systemem ZEUS przepro-
wadzono już wiele udanych operacji, m.in. serca, pro-
staty i woreczka żółciowego. Oprócz niego istnieją też
inne sterowane roboty chirurgiczne, np. wspomniany
już system Da Vinci albo system Sokrates, wykonujące
skomplikowane operacje na mózgu czy urologiczne za-
biegi laparoskopowe.

Teleroboty są chętnie wykorzystywane do celów
edukacyjnych na odległość. Poza tym są one potrzebne
ze względu na zwiększoną autonomię ośrodków me-

„Obu stronom – zarówno
lekarzom, jak i pacjentom
– telemedycyna oferuje
niezaprzeczalne korzyści
ekonomiczne związane
z obniżeniem wydatków na
opiekę medyczną i znaczącą
oszczędnością czasu”

dycznych i coraz mniejszą mobilność lekarzy. Również
w Polsce powstają nowe, ulepszone, miniaturowe sys-
temy, które sprawiają, że telechirurgia staje się sztuką
coraz powszechniej stosowaną.

Wyzwania na przyszłość

Wykorzystanie technologii telerobotycznych w me-
dycynie i chirurgii zależy ściśle od wyników badań
i równoległego rozwoju w zakresie pięciu głównych
obszarów: funkcjonalności, środowiska, ograniczeń
fizycznych, komunikacji i bezpieczeństwa. Zastosowa-
nie kliniczne zautomatyzowanej technologii w dzie-
dzinie mikrochirurgii, chirurgii ortopedycznej i chi-
rurgii małoinwazyjnej przyniosło obiecujące wyniki,
motywując naukowców do dalszego rozwoju chirurgii
komputerowej oraz systemów diagnostycznych i mi-
krorobotów. Telemanipulatory, technologie interfejsu,
czujniki, systemy wizyjne, rzeczywistość wirtualna
i integracja funkcji – wszystko to narzuca konieczność
przeprojektowywania sal operacyjnych. Niezbędne są
tutaj niezawodność i precyzja maszyn wraz z bezbłęd-
ną, zsynchronizowaną w czasie komunikacją.



Fot. gettyimages/Oliver Burston

„ Głównym celem telemedycyny jest umożliwienie monitorowania zdrowia pacjentów w domach przy zapewnieniu komfortu psychicznego lekarzom i pacjentom oraz szybkiej reakcji na problem medyczny ”

Kontrola robotów odbywa się obecnie głównie przez sieci bezprzewodowe typu Wi-Fi, Bluetooth albo Deep Space Network. Problemy przekazu informacji wokalne, wizualnej, tekstowej i liczbowej rozwiązywane są za pośrednictwem komunikacji kablowej bądź satelitarnej lub transmisji laserowej. Bezpieczeństwo i poufność danych mają tu kluczowe znaczenie. Aspekt obrazowania 2D na monitorze może być problematyczny. Chirurg musi zmieniać kąt spojrzenia i na nowo rozumieć obraz monitora. Powoduje to opóźnienie reakcji operującego. Brak trójwymiarowej projekcji nie daje głębi, przez co chirurg nie jest w stanie prawidłowo zlokalizować manipulatorów. Dodatkowym problemem dla operującego jest koordynacja osi oko–ręka. Z pomocą przychodzi tu *head mounted display* (HMD) – hełm ze sparowanymi wyświetleniami monitorów przed oczami, dający wrażenie trójwymiarowości obrazu. Dopasowanie projekcji wideo w powiązaniu z ręką chirurga, skoordynowaną

z manipulatorem, redukuje problem koordynacji ręka–oko. Ponieważ ciągle używanie hełmu w trakcie wielogodzinnych operacji może być męczące, projektuje się hełmy z lekkich materiałów, co niweluje napięcie mięśni, umożliwiające momentalne przejście do otaczającej przestrzeni, z eliminowaniem kondensacji pary wodnej w polu widzenia.

Ze względu na ograniczenia w zakresie chirurgicznym wymagana jest miniaturyzacja kamer i manipulatorów, oparta na mikromechanice krzemowej, mikroinżynierii powierzchniowej i technologii LIGA. Wdrażane są nanotechnologie, materiały inteligentne i superelastyczne. Na koniec dochodzi problem adaptacji pracy systemu robotycznego do dynamiki środowiska operacyjnego i koordynacji procesów w czasie rzeczywistym. Prosty interfejs do obsługi telerobota, oparty na systemie MMK (monitor, mysz, klawiatura), wykorzystuje się do teleoperacji internetowych. Cenną modyfikacją MMK jest joystick zapewniający bardziej intuicyjny system nawigacji dla ruchów telerobota, natomiast przyszłe interfejsy będą w pełni scalone z wirtualną rzeczywistością.

Projekcja wewnętrznych organów pacjenta na ekranie pozwala uczestnikom operacji na śledzenie jej przebiegu, co pomaga w podejmowaniu krytycznych decyzji, ułatwiając nagłą interwencję i konsultacje. Zarówno w sali operacyjnej, jak i na zajęciach chirurgii teleoperacje dają możliwość śledzenia procesu krok po kroku i powtarzania procedur, usprawniając jakość treningu przyszłych lekarzy.

Agata Kołodziejczyk
Autorka jest członkiem Advanced Concepts Team
Europejskiej Agencji Kosmicznej.