

Opublikowane po zmianach i usunięciu obrazów opublikowane.

Dane do cytowania:

Pindelski M., 2017, *Nowe technologie w ochronie zdrowia*, [w:] M.Jarosiński (red.), *Współczesne wyzwania organizacji ochrony zdrowia*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa, 2017, str.91-116

Mikołaj Pindelski

Nowe technologie w ochronie zdrowia

1. Wstęp

Nauki medyczne zmieniają się dziś szybko, a zwroty w tych zmianach bywają nie tylko nieoczekiwane, ale też o różnej genezie. Ich podłożem stają się nie tylko nowe odkrycia medyczne, ale też zmiany zachodzące w szeregu innych dziedzin nauki. W efekcie, powoli, acz wyraźnie, zacierają się granice pomiędzy technologiami cyfrowymi, urządzeniami elektronicznymi, robotyką, rozwojem sieci, a tradycyjnie rozumianą, nawet bardzo szeroko, medycyną. W którym miejscu medycyny znajduje się wizyta pacjenta realizowana online ? Gdzie jest operacja zdalna, realizowana via roboty, gdzie automatyczne diagnozy chorób na podstawie dużych zbiorów danych (big data), gdzie nanoroboty diagnozujące od środka tętnice i wykonujące na nich zabiegi, a gdzie trójwymiarowy wydruk w pełni funkcjonalnych, biologicznych organów ? Nie bardzo wiadomo. Wiadomo jednak, że podobnie jak w wielu innych branżach¹, tak i tu nowe technologie wpływają na sposób funkcjonowania całych systemów. Rozmywa się sposób widzenia ról poszczególnych członków organizacji, jak np. lekarzy, pomocy medycznej, czy osób zarządzających placówkami medycznymi². Nie jest wykluczone, że zmiany te będą jeszcze bardziej widoczne w bardzo nieodległym czasie.

2. Telemedycyna i automatyzacja

Od chwili, gdy podjęto pierwsze próby opisanego przebiegu czynności organizacyjnych za pomocą procesów minęło już nieco czasu. Pierwotnie łączące ujęcie analizy wartości z lat '50

¹ Żukowska J. Pindelski M., (2015), *Competitive Advantage & core competence: How Jeronimo Martins Won The Polish Retail Market*, "Przegląd Organizacji", vol.3, iss.902, 3/2015, str.34-37.

² Mrówka R., (2011), *Hyperarchy as a New Model of Organization*, „Journal of Management and Financial Sciences”, vol.4, iss.6, str.62-72.

XXw, koncepcję łańcucha wartości Portera z lat '80 XXw. oraz podejście systemowe³. Dobrze opisane, ułożone w formie procesów z czasem obudowane zostały szeregiem metod, podejść, certyfikacji, specyfikacji, zasad itd. jak np. ISO, SCRUM, czy OTRS. Jednocześnie zaczęto podejmować próby automatyzacji jeśli nie całych procesów, to przynajmniej niektórych czynności je tworzących. O ile w przemyśle przyniosły one rozliczne oszczędności, rozwiązały szereg problemów itd.(ale też nowe problemy stworzyły), to w usługach już owe profity nie były wcale tak oczywiste. Zwłaszcza w usługach i sprzedaży mocno wrażliwej, personalizowanej, wymagającej szczególnych uwarunkowań powstających na linii wykonawcy usługi i jej nabywcy. Na dobrą sprawę, przypadków pełnej automatyzacji złożonych procesów w usługach jeszcze dekadę – dwie temu nie było wcale tak wiele. Maszyny „vendingowe” jak automaty do kawy, sprzedaży napojów chłodzących, kanapek, czy sprzedaży gazet mające zastąpić kawiarnie i punkty sprzedaży prasy. Rozwój samoobsługowych kiosków napotykał jednak na szereg trudności, jak choćby konieczność uczenia klientów ich obsługi. Nawet współczesne wdrożenia automatów w obsłudze i sprzedaży są związane zarówno z sukcesami (automaty sprzedażowe McDonalds), jak również porażki (punkt samoobsługowy Getin Point Getin Banku w galerii handlowej Złote Tarasy w Warszawie). Wymagają one przełamania bariery pozwalającej na nawiązanie jakichkolwiek, ale jednak, relacji człowieka z maszyną. W zasadzie więc, poza relatywnie prostymi w układzie procesami (choć składające się z wcale niełatwych zadań) oddawanymi w obsługę automatów, wydawało się, że nic więcej się w tym zakresie nie wydarzy.

Internet gwałtownie przyspieszył rozwój podejść procesowo – automatycznych. Zwłaszcza dostępność znacznych mocy procesorów, tanich pamięci i szerokopasmowego przesyłu danych. Standard połączeń LTE, czyli przesył danych wychodzących do 50Mb/s i przychodzących do 150Mb/s pokrywa obecnie 95% powierzchni Polski⁴. Dało to silny impuls automatyzacji obsługi wszelkich usługobiorców, a nawet klientów produktów fizycznych. Przynajmniej realizowanych za pomocą szeroko rozumianej sieci. Zaznacza się tu nie tylko tradycyjnie rozumiany internet, ale też sieci mobilne, czy szereg urządzeń będących aktywnymi tej sieci uczestnikami. Stało się dzięki temu możliwe obsługiwanie klientów i ich wsparcie techniczne za pomocą awatarów i automatycznych lub semi-automatycznych odpowiedzi przewidzianych

³ Jokić G., (2009), *Podejście procesowe w zarządzaniu – geneza i kierunki rozwoju koncepcji*, [w:] *Podejście procesowe w organizacjach*, S.Nowosielski (red.), Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu nr 52, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław, str.15-22.

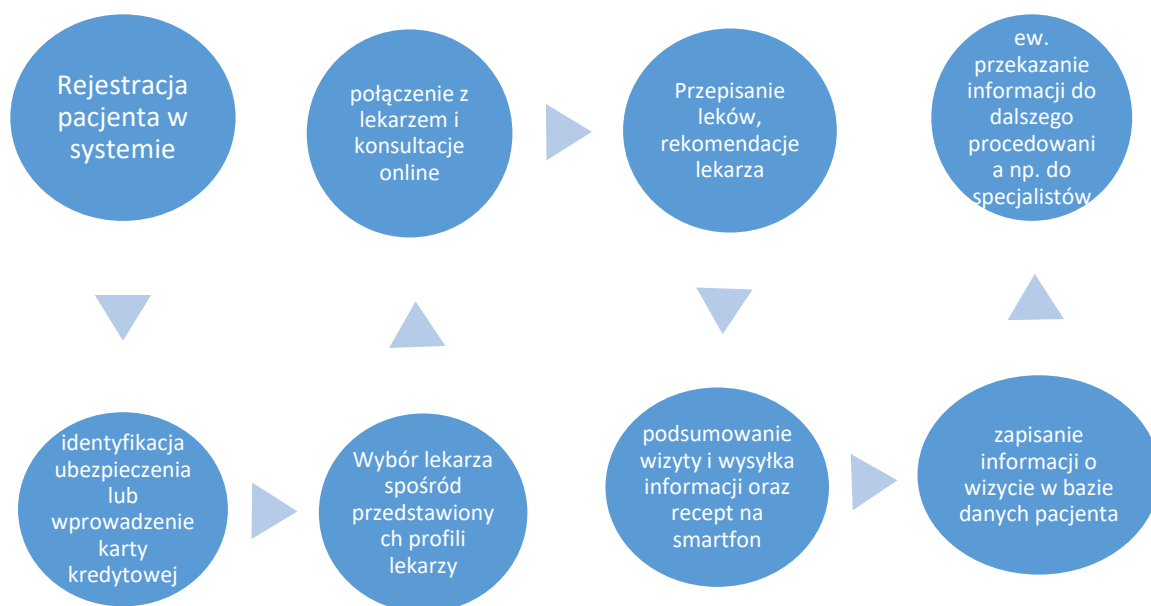
⁴ Speed Test, (2016) Raport Ranking prędkości dostawców ISP luty 2016, <http://www.speedtest.pl/wiadomosci/predkosc/ranking-predkosci-dostawcow-isp-luty-2016/> (20.10.2016)

dla poszczególnych problemów i pytań. Rozwiązania takie oferuje Zopim, Livezilla, czy Livechat. Już nie żywa osoba, ale automat może prowadzić konwersację. Do każdego napisanego pytania, czy stwierdzenia dobierana jest automatycznie odpowiedź. Kontakt z żywą osobą następuje wtedy, gdy problem jest faktycznie trudny i nie został wcześniej przewidziany przez tych, którzy skrypty rozmów tworzą. Choć nadal jednak rozmowy prowadzone przez automaty są uproszczone, to kierunek rozwoju został wyznaczony. Obecnie następuje swoista humanizacja automatu. Początkowo dodano imię i nazwisko, później zdjęcie, a teraz nawet pełne sekwencje filmów z poruszającą się osobą – niby konsultantem. W założeniu ma to dawać złudne poczucie rozmowy z żywym człowiekiem. „Human Touch” wyraźnie daje tu bardzo wiele.

Zastosowanie komunikacji człowieka z automatem związane jest z rozwojem kontekstowych analizatorów tekstu. Te zaś, jak np. SAS Text Analytics, IBM Text Analytics, Lexalytics, Smartlogic, czy Provalis wciąż nie są doskonałe. Rozliczne kombinacje słów, zwłaszcza używanych kontekstowo umykają ich uwadze, uniemożliwiając generowanie trafnych odpowiedzi. Ponadto, w zasadzie poza językiem angielskim, użycie przez nie innych języków jest wciąż w mocno wczesnej fazie rozwoju. Zwłaszcza tak trudnych języków, jak polski. Tu różnorodność końcówek uzależnionych od deklinacji, koniugacji itd. wprowadza niemałą trudność nie tylko w analizie tekstu, ale też wyławianiu przez system znaczenia poszczególnych zdań i całych wypowiedzi. Obszar ten wciąż się jednak rozwija usuwając kolejne ograniczenia i powodując rozrost możliwości stosowania tego typu rozwiązań w praktyce gospodarczej i automatyzacji kontaktów między ludźmi zastępując ich urządzeniami i odpowiednim oprogramowaniem.

W efekcie, tego typu rozwiązania działają w obsłudze i wsparciu technicznym, sprzedaży i szeregu innych zastosowań. Nie jest więc zaskakującym wnioskiem, iż w jakimś zakresie mogą być stosowane również w realizacji wizyt pacjentów u lekarzy. Tu co prawda automatyzacja nie jest tak łatwa, jednak wizyta online, w której z jednej strony występuje lekarz, z drugiej zaś pacjent przestaje dziwić i staje się rozwiązaniem wychodzącym z fazy testów, czy wstępnych zastosowań. Realizuje je np. LiveHealth Online (rys.1).

Rys.1 Ogólny schemat działania wizyty lekarskiej online



Źródło: opracowanie własne na podst. <http://anthemwi.tumblr.com/post/93414179463/the-doctor-will-see-you-now-on-your-computer> (2016.10.10)

Znajduje to uzasadnienie zwłaszcza podczas wizyty u lekarza pierwszego kontaktu. Jakość efektów takiej wizyty oraz wizyty w tradycyjnym gabinecie jest zbliżona⁵. Podobnie, jak przebieg takiej wizyty widziany z perspektywy jej efektów jak np. diagnoza, zalecenia po wizycie, wystawienie recept, rekomendacja leków które recept nie wymagają. Jest także istotnie lepszy aniżeli konsultacji udzielanej przez telefon i braku konsultacji medycznej⁶. Używany jest tu termin telemedycyny, jako przede wszystkim konsultacji medycznych realizowanych zdalnie za pomocą systemów audio-wizyjnych online^{7,8}.

Pierwsze przymiarki w tym względzie są mocno obiecujące. Na razie jeszcze wizyta on – line jest mieszana. Po stronie gabinetu lekarskiego występuje zarówno automat, jak i prawdziwy lekarz. W USA rynek tego typu usług się szybko rozwija, a ubezpieczyciele zaczęli wizytę wirtualną traktować tak samo jak tradycyjną. Mało tego. Okazuje się, że zastosowanie

⁵ Mehrotra A., Paone S., Martich D., Albert S.M., Shevchik G.J., (2013), *A Comparison of Care at E-visits and Physician Office Visits for Sinusitis and Urinary Tract Infection*, "Journal of American Medical Association", vol. 173, iss.1, str.72-74.

⁶ Dharmar M., Kuppermann N., Romano P.S., Yang N.H., Nesbitt T.S., Phan J., Nguyen C., Parsapour K., Marcin J.P., (2013), *Telemedicine Consultations and Medication Errors in Rural Emergency Departments*, „Pediatrics”, Vol.132, iss.6, grudzień, str.1090-1097.

⁷ Pathipati A.S., Azad T.D., Jethwani K., (2016), *Telemedical Education: Training Digital Natives in Telemedicine*, "Journal of Medical Internet Research", vol.18, iss.7, e.193.

⁸ Orel A., Gornik T., Soyer H.P., Bartenjev I., (1999), *Next Generation Telemedicine Network Service for Counselling on Diagnosis of Pigmented Skin Tumours at the Point of Care*, "Journal of Medical Internet Research", vol.1, supl.1, e.122.

automatycznej ankiety, którą wypełnia zgłaszający się do lekarza, redukuje konieczność dalszej procedury w ok. 60%-70% przypadków. Wgrane rozliczne diagnozy, opisy przypadków medycznych itd. automatyzują nie tylko samo odpytywanie o dolegliwości, ale też dają szybką diagnozę. Koszt jest znacznie niższy niż w przypadku tradycyjnego postępowania. Nawet gabinet w wielu przypadkach staje się zbędny, a lekarz może zająć się przypadkami, które faktycznie jego/jej interwencji wymagają.

Podobnie działają rozliczne aplikacje na urządzenia mobilne i programy komputerowe do diagnoz medycznych, czy raczej do dokonywania samodiagnozy przez pacjenta⁹, jak np. Isabel Syndrom Checker, Onlinediagnosis.com, Yourdiagnosis, NHS Direct udostępniony przez Brytyjską, krajową służbę zdrowia w 2011r. na systemy Iphone i Android, Symptom Navigator uzupełniony licznymi ilustracjami i filmami, czy Common Symptom Guide. Niektóre z nich są darmowe, i nawet takie umożliwiają osiągnięcie relatywnie dobrych współczynników trafności diagnozy. Jednak, jako ich ograniczenie wymieniane jest przede wszystkim to, iż obejmują niemal wyłącznie bardzo typowe schorzenia i choroby. M.McHugh¹⁰ opisuje na łamach Wired doświadczenia z Opternative, programem na urządzenia mobilne do diagnozy problemów ze wzrokiem. Automatyzacja diagnoz chorób oczu jest o tyle istotna, że może być świadczona nawet (a może przede wszystkim) tam, gdzie dostęp do okulisty jest mocno ograniczony, lub w ogóle niemożliwy¹¹. Szczególnie istotnym jest to, że w tym przypadku automat wykorzystuje urządzenia mobilne dostępne bardzo szeroko (53% populacji świata wg. raportu Digital in 2016)¹². Na niektórych rynkach, Opernatie nie tylko sprawdza wzrok i stawia diagnozy, ale może nawet wystawiać recepty (przepisywać) na okulary czy soczewki kontaktowe. Obecnie Opernatie posiada kilkadziesiąt tysięcy zarejestrowanych pacjentów¹³. Co jednak istotne, w przypadkach bardziej złożonych, zaleca kontakt z okulistą, czy lekarzem innej specjalności ze swojej bazy ekspertów. Jednak tu pierwszy kontakt także następuje online. Choć rozwiązania online i automatyzujące wizyty lekarskie dopiero zaczynają wchodzić do szerszego użycia, już wyraźne jest zainteresowanie nimi zarówno pacjentów, jak i stron finansujących wizyty i zabiegi medyczne, jak np. ubezpieczyciele. Wiele więc wskazuje na to,

⁹ Semigran H.L., Linder J.A., Gidengil C., Mehrotra A., (2015), *Evaluation of symptom checkers for self-diagnosis and triage: audit study*, "The BMJ", 8. czerwiec, vol.351, h:3480, <http://www.bmj.com/cgi/pmidlookup?view=long&pmid=26157077> (31.10.2016).

¹⁰ McHugh M., (2015), *The Eye Doctor on Your Laptop Will See You Now*, "Wired", grudzień, <https://www.wired.com/2015/10/eye-doctor-laptop-will-see-now/> (22.10.2016).

¹¹ McGlynn E.A., Asch S.M., (2003), *The Quality of Healthcare Delivered to Adults in the United States*, "New England Journal of Medicine", vol.348, str.2635-2645.

¹² Digital in 2016 Report, <http://wearesocial.com/uk/special-reports/digital-in-2016> (06.11.2016).

¹³ <https://www.opternative.com/> (06.11.2016).

że może to być istotny trend rozwoju medycyny zwłaszcza w zakresie pierwszych wizyt u lekarza.

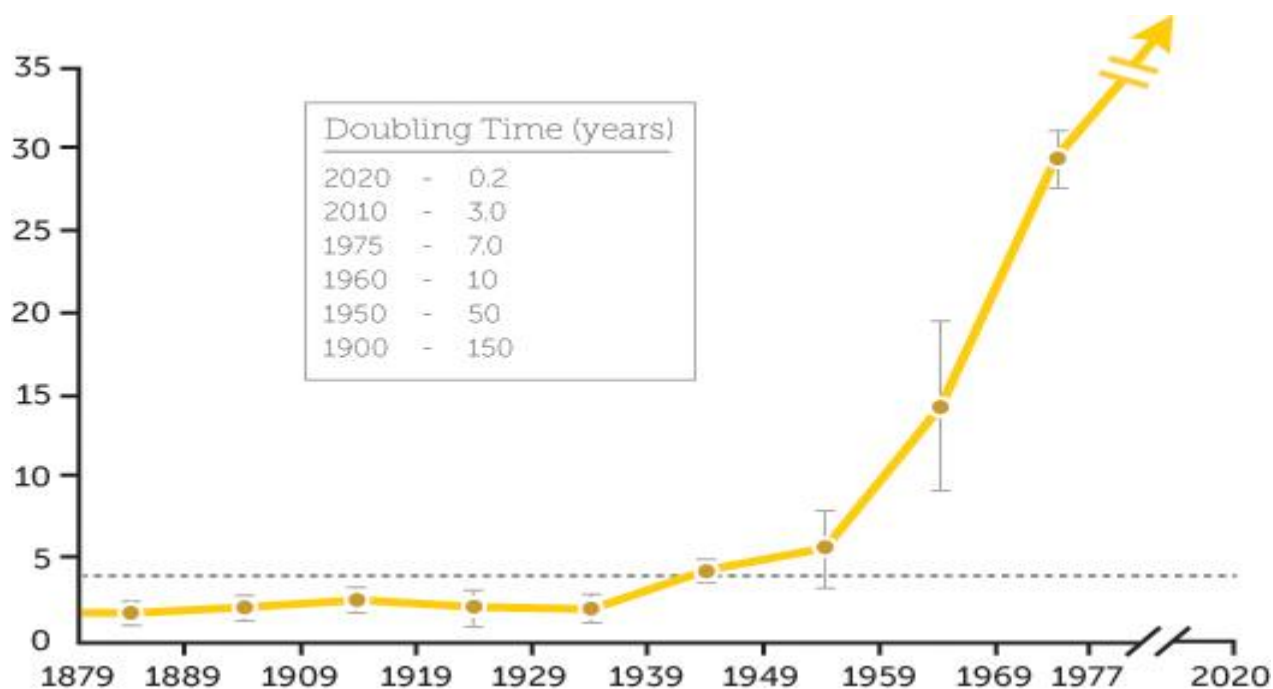
3. 50 do 80, big data i sztuczna inteligencja

Diagnozy wykonywane przez wspomagane odpowiednim oprogramowaniem komputery nie tylko mogą równać się z trafnością diagnozy lekarzy i realnymi wizytami, ale przynajmniej na etapie wstępnym, są statystycznie znacznie bardziej trafne. O ile lekarz ma ok. 52% trafności diagnozy, to system nigdy nie schodzi poniżej 80%, co potwierdzają badania IBM Watson Health¹⁴. Bazując więc na tych doniesieniach, diagnozę źródeł dolegliwości pacjent powinien raczej powierzyć elektronicznej maszynie, aniżeli człowiekowi. Powstaje tu jednak wiele wątpliwości i wydaje się, że nie ma jednoznacznej wskazówki co do wyboru strony. Zapewne wiele dodatkowej wiedzy o schorzeniach może powstawać przede wszystkim przy bezpośredniej interakcji na linii lekarz – pacjent. Jednak oprogramowanie i rozwiązania, jak np. IBM Watson Health lub podobne są przyszłością, której uniknięcie wydaje się niemożliwe. Coraz bardziej niepoliczalna ilość danych zbieranych i analizowanych przez nie, znacząco wykracza poza zdolności percepcyjne i analityczne człowieka. Zwłaszcza, że podając za w/w źródłem, jedna osoba, w ciągu swojego życia generuje ok. 1 miliona gigabajtów danych związanych ze swoim zdrowiem. Czyli biliard znaków (jedyńka i piętnaście zer). A zasób danych medycznych obecnie podwaja się co ok. 3 lata, zaś szacuje się, że w roku 2020 będzie podwajać się co 73 dni¹⁵ (wykr.1).

Wykr. 1 Tempo wzrostu zasobu danych medycznych

¹⁴ <https://www.ibm.com/watson/health/> (28.10.2016).

¹⁵ University of Iowa, Carter College of Medicine, 2014, <http://www.healthcare.uiowa.edu/2020> (10.10.2016).

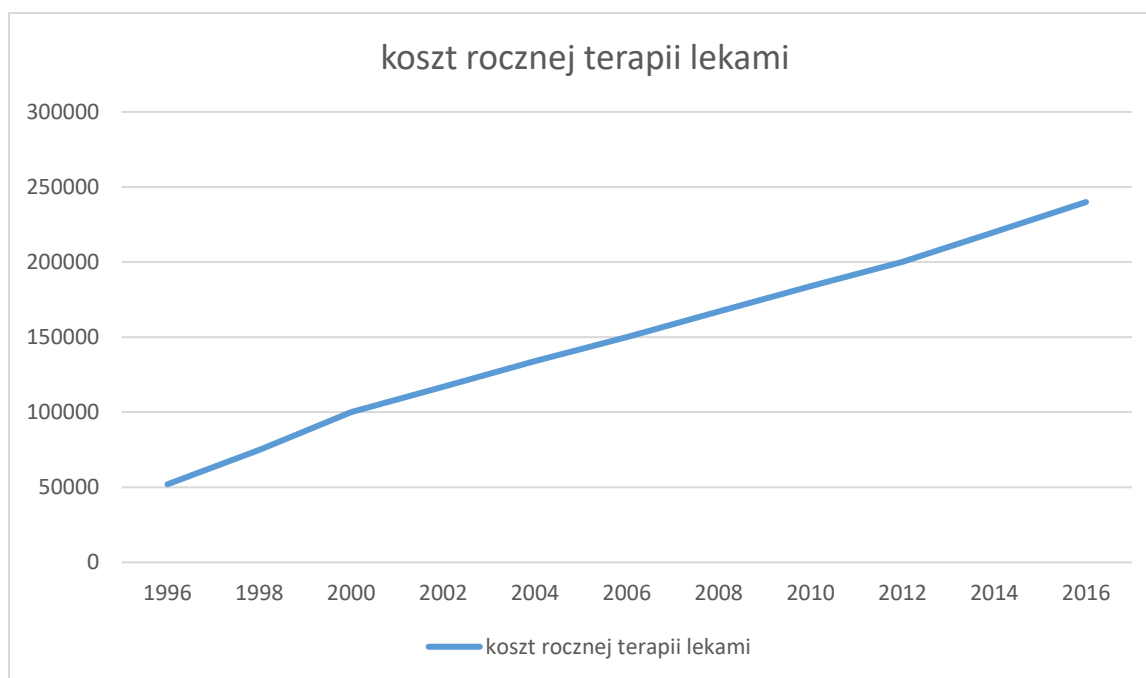


Źródło: <http://www.healthcare.uiowa.edu/2020/> (2016.10.07)

Zapamiętanie, dokonanie szybkich analiz i ustalenie wniosków wykracza znacząco poza możliwości pojedynczego człowieka. Stawianie diagnozy staje się więc ułomne w źródła w porównaniu z analityką z wykorzystaniem współczesnych procesorów, ale też sieci. Zwłaszcza, że analizy te powinny nie tylko dotyczyć poszczególnych osób, ale też odnosić się do konkretnych sytuacji i kontekstu, w jakim się one znalazły.

Systemy te równie trafnie jak stawiają diagnozy, przewidują także prawdopodobieństwo przeżycia chorych lub rannych w wypadkach. Sugerując, kogo np. ratować w pierwszej kolejności, albo w domyśle stawiają pytanie, czy ratować w ogóle. Co już jednak zaczyna poważnie wkraczać na grunt etyki i odpowiedzialności społecznej. Nadal dylematem pozostaje, czy lekarz, otrzymawszy wynik z systemu o niskim prawdopodobieństwie przeżycia pacjenta, powinien podejmować kosztowną próbę ratowania go za wszelką cenę, czy też nie. A w przypadku nieudanej próby podtrzymania życia, przy jednoczesnym wskazaniu przez system niskiego prawdopodobieństwa powodzenia, niejasnym jest, kto powinien ponosić koszty podjętych działań. Zwłaszcza, że koszt zabiegów, opieki medycznej, terapii rośnie w znacznym tempie (wykr.2).

Wykr. 2 Wzrost kosztów rocznej terapii lekami pacjentów z nowotworami (wartości w USD wyrażonych w wartościach z 2013r.).



Źródło: Howard D.H., Bach P.B., Berndt E.R., Conti R.M., (2015), Pricing in the Market for Anticancer Drugs, “Journal of Economic Perspectives”, vol.29, iss.1, str.132-162.

Wprowadzony do obrotu w 2011 roku lek Yervoy (firmy Bristol – Myers Squibb), którego działanie z dużym prawdopodobieństwem przedłużało życie chorych z nowotworami o ok. cztery miesiące, kosztował za ten właśnie okres terapii 120.000USD. Nie jest to odosobniony przypadek wskazujący na już wysokie, a wciąż przecież rosnące (wykr.2) koszty leczenia jeśli nie wszystkich, to przynajmniej znacznej części schorzeń. Zdanie się więc na dokładniejszą diagnozę prowadzące do aplikowania odpowiednich leków i terapii do faktycznego schorzenia, ale też dokładniejsze prognozowanie potencjalnych efektów są mocno pożądane. Uwzględnienie znacznych zbiorów danych, różnych diagnoz, kontekstowych, wielowymiarowych analiz dokonywanych przez odpowiednie oprogramowanie wydaje się być rozwiązaniem wpisującym się na stałe w medycynę. Wskazania te potrzebują raczej przełamania barier tkwiących w percepcji lekarzy i pacjentów, niż faktycznego uznania ich wyższości nad diagnozami stawianymi przez ludzi. Zwłaszcza, że rozwój sztucznej inteligencji umożliwia już wykonywanie przez automaty niezwykle złożonych zadań, jak np. komponowanie zupełnie nowych utworów muzycznych¹⁶. Choć nadal wymaga to znacznej ingerencji człowieka i jego (jej) kreatywności, to jednak nawet zadania twórcze powoli zaczynają przejmować procesory wsparta odpowiednimi programami.

¹⁶ <http://www.flow-machines.com/ai-makes-pop-music/> (10.11.2016)

HPC (High Performance Computing) jeszcze co prawda nie podejmuje decyzji i firmy oferujące oparte na HPC rozwiązania jak np. Caris Life Sciences nie obiecują tego, jednak już dostarczają mocno zaawansowane programy analityczne. Służą one np. do szybkich i dokładnych analiz komórek nowotworowych. Choć potężne, to jednak to wciąż tylko wsparcie pracy lekarza, który dokonuje ostatecznej decyzji i stawia diagnozę. Podobnie, jak coraz bliższe dekodowanie pełnego DNA pacjenta w ciągu doby¹⁷, choć obecnie zwykle zajmuje to ok. sześciu tygodni. Bez tego wsparcia jednak, personalizowanie środków i sposobów leczenia byłoby co najmniej trudne. Dopasowanie ich do konkretnego pacjenta i przypadku, bez szerokiego i na znaczną skalę wsparcia systemów analitycznych nie wydaje się realne. Medycyna nieodległej przyszłości, jeśli nie zautomatyzowana, będzie z pewnością oparta na rozbudowanych systemach wsparcia analitycznego HPC. Podparta analizami danych diagnoza to także zupełnie inna logika np. rekomendacji różnego rodzaju suplementów, preparatów, czy leków. Zwłaszcza, diagnoza częściowo lub w pełni zautomatyzowana. Choć leki RX zapewne nieprędko będą przepisywać automaty, to już dla OT ta droga może stać się niedługo jedną z głównych. Włączenie we wspólną sieć zarówno gabinetów, jak i pacjentów i aptek w ogóle wyeliminuje konieczność wystawiania jakichkolwiek recept w formie znanej obecnie. Elektroniczny zapis na indywidualnym koncie pacjenta będzie możliwy do realizacji w każdej z aptek.

HPC znajduje także zastosowanie w zaawansowanym obrazowaniu 3D. Wymaga to nie tylko znacznych mocy obliczeniowych, ale też szybkiego dostępu do rozbudowanych pamięci¹⁸. Połączenie wielu procesorów, pamięci w chmurach, szybkiego przesyłu o dużej przepustowości umożliwi bieżące obrazowanie 3D, równoległe z faktycznymi obserwacjami dokonywanymi przez odpowiednie służby medyczne tradycyjnie będących obrazowaniem dwuwymiarowym, jak np. ultrasonograf, czy rtg. Możliwość oglądania np. narządów wewnętrznych, nowotworów, czy stanów zapalnych w rozmiarze i formie będących pełnym i dokładnym odzwierciedleniem ich faktycznego wyglądu wprowadza nową jakość do diagnoz stawianych z wykorzystywaniem tych metod. HPC tworzy też dobre podstawy do wykorzystania wirtualnej, czy bardziej łączonej – wirtualnej i realnej rzeczywistości (augmented reality).

¹⁷ Frere J., (2016), *From Cancer Research to Financial Crises, High-Performance Computing is Defining Our Future*, "Wired", <https://www.wired.com/brandlab/2016/08/cancer-research-financial-crises-high-performance-computing-defining-future/> (10.11.2016).

¹⁸ Pindelski M., Mrówka R. (2014), *Wizualizacje big data w identyfikacji problemów zarządzania*, [w:] E. Głuszek, G. Bełz (red.), *Management Forum 5*, "Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu" nr 363, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław, ISSN 1899-3192, str.27-38

4. Gaming, diagnozy crowd sourcing i spersonalizowana medycyna

Oprogramowanie do współpracy na zasadzie crowd sourcingu jest już stosunkowo dobrze rozwinięte. Choćby tak zaawansowane projekty crowd sourcingowe jak Wikipedia, czy polskie MillionYou. Również wysokie jest zainteresowanie świata biznesu tego typu rozwiązaniami. Np. w 2016r. EY (d.Ernst&Young) przejął MillionYou, polską firmę zajmującą się crowdsourcingowym marketingiem za nieujawnioną kwotę. Jednak już sam fakt zainteresowania jednej z największych firm audytorskich na świecie tego typu działalnością wskazuje na kierunki możliwego rozwoju wielu branż mogących potencjalnie wykorzystać crowd sourcing. Crowd sourcing, czyli udostępnienie szerokiemu gronu faktycznych lub potencjalnych specjalistów i uzdolnionych amatorów podstawowych składowych, rdzenia usługi lub produktu, czy np. kodu źródłowego. Dokonują oni na nim dowolnej rekonstrukcji, zmiany i rozwoju. Ogólnym założeniem jest zaangażowanie do tego niezwiązanych z firmą pasjonatów, specjalistów i wolontariuszy, którzy dobrowolnie i zazwyczaj za relatywnie niewielkim wynagrodzeniem lub nieodpłatnie będą pracowali nad rozwojem produktu bądź usługi¹⁹.

Rozwiązania crowd sourcing zaczynają być także stosowane w diagnozie medycznej. Oprogramowanie wspierające, jak np. CrowdMed's znajduje coraz szersze zastosowania. Eksperyment taki opisują np. J.L.Juusola i in.²⁰. Autorzy wykorzystali w latach 2013 - 2015 metod Novel do identyfikacji osób korzystających z crowd source w diagnozie i pomocy w leczeniu swoich schorzeń. Pacjenci ci wykorzystywali oprogramowanie CrowdMed's, zaś objawy ich schorzeń były uznane za nietypowe. Wykorzystanie tego rozwiązania w diagnozie można uznać za obiecujące jako, że po rozwiązaniu, czy przynajmniej podjęciu próby rozwiązania ich problemu, częstotliwość realizacji tradycyjnych wizyt u lekarza, w badanej grupie spadła z 1,07 wizyty miesięcznie do 0,65 wizyty w miesiącu. Podobnie koszty opieki medycznej tych osób spadły z 719,70USD/m-c do 516,79USD/m-c. Można więc domniemywać, że rozpoznanie i ew. dalsze zalecenia co do sposobów leczenia i zapobiegania rozwojowi nietypowego schorzenia były w istotnej mierze właściwe. Ma to znaczenie także dlatego, że rozpoznanie objawów nietypowych schorzeń w tradycyjnym podejściu do diagnozy

¹⁹ Aluchna M., Mierzejewska B., Mrówka R., Pindelski M., (2005), *Open Source – nowy model biznesu?*, „Zeszyty Naukowe AE Kraków”, Kraków.

²⁰ Juusola J.L., Quisel T.R., Foschini L, Lapado J.A., (2016), *The Impact of an Online Crowdsourcing Diagnostic Tool on Health Care Utilization: A Case Study Using a Novel Approach to Retrospective Claims Analysis*, “Journal of Medical Internet Research” 2016; vol.18, iss.6:e127
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4909973/> (20.10.2016).

bardzo często zawodzi²¹. Poszukiwanie faktycznych źródeł problemu prowadzi także do nadmiernego użycia niewłaściwych, niedobrych do problemu i często kosztownych metod diagnozy²². Występują tu także częste ograniczenia wynikające z geograficznej odległości odwiedzanych specjalistów w stosunku do miejsca zamieszkania pacjenta. Zazwyczaj wybierani są ci, którzy gabinety lub punkty konsultacyjne prowadzą w relatywnie niewielkim dystansie od miejsca przebywania pacjenta. Kryterium doboru jest tu więc geograficzne raczej niż merytoryczne.

Crowd sourcing można także odnaleźć w różnego rodzaju grach i platformach wykorzystujących gry (gaming), a przeznaczonych dla uczestników „crowd” i wspomagających rozwiązywanie przez nich szeregu problemów. Metody stosowane w informatyce i technologiach informatycznych, zaczynają być również stosowane w naukach przyrodniczych.

Gra FoldIt (fold.it) przypomina nieco Tetris. Wywodzi się z Washington University wprowadza użytkowników do środowiska białek, z których zbudowany jest ludzki organizm. Po kilkunastominutowym szkoleniu online, gracz bierze udział w zginaniu, łączeniu i tworzeniu białek oraz rozwiązywaniu szeregu problemów z tym związanych. Choć wszystko zamyka się dla grającego w środowisku wirtualnym, to efekty tych symulacji mogą przenieść się do świata rzeczywistego. Faktycznie zresztą tak się dzieje, a poszczególne odkrycia sieci amatorów i specjalistów znajdują zastosowanie w medycynie, biotechnologii, farmacji itd.²³. W efekcie, komputer, tablet, czy telefon komórkowy uczestnika sieci staje się terminalem obliczeniowym, zaś liczba prób podejmowanych przez kilka tysięcy osób – uczestników znacząco wykracza poza możliwości standardowego zespołu badawczego z jednego ośrodka naukowego. Można mieć nadzieję, że FoldIt i związany z nią crowdsorce przyczyni się do powstania np. lekarstw na choroby otępienne, czy nowotwory. Oprogramowanie jest pozycjonowane jako związane z medycyną, a jak twierdzi Z.Popovic, jeden z jego autorów, celem jest aby każdy mógł uczestniczyć w rozwiązywaniu problemów białkowych i stał się potencjalnym kandydatem do nagrody nobla w dziedzinie medycyny²⁴. Podobny mechanizm gry wykorzystuje EteRNA

²¹ Ball J.R., Balogh E., (2016), *Improving Diagnosis in Health Care: Highlights of a Report From the National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine*, “Annals of International Medicine”, January 5, vol.164, iss.1, str.59-61.

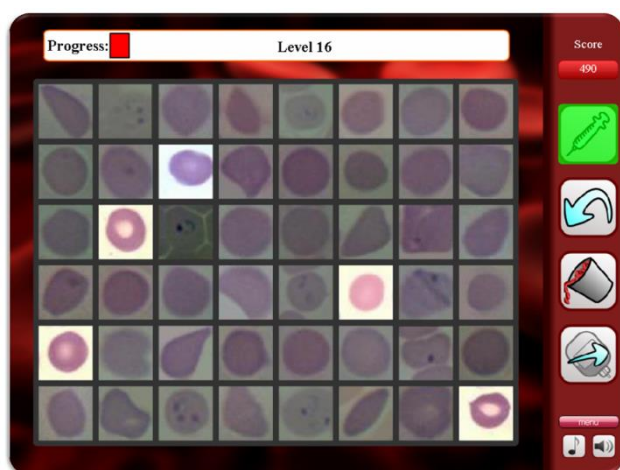
²² Croskerry P., (2005), *Diagnostic Failure: A Cognitive and Affective Approach*, [w:] Henriksen K., Battles J.B., Marks E.S., (red.), *Advances in Patient Safety: From Research to Implementation*, vol.2: Concepts and Methodology, Agency for Healthcare Research and Quality (US), Rockville (MD).

²³ Khatib F., Cooper S., Tyka M.D., Xu K., Makedon I., (2011) *Algorithm discovery by protein folding game players*, “Proceedings of the National Academy of Sciences”, vol.108, iss.7, str.18949–18953.

²⁴ Eiben Ch.B., Siegel J.B., Bale J.B., Cooper S., Khatib F., Shen B.W., Players F., Stoddard B.L., Popovic Z., Baker D., (2012), *Increased Diels-Alderase activity through backbone remodeling guided by Foldit players*, “Nature Biotechnology”, published online 22 January 2012; doi:10.1038/nbt.2109, str.1-3.

(eternagame.org), gdzie w zasadzie przypadkowi gracze zajmują się zaginaniem i formowaniem RNA. Działają zarówno indywidualnie, jak i łączą się w drużyny, zaś projektanci systemu stawiają im coraz trudniejsze zadania, jak np. poszukiwanie remedium na HIV. Mavanadi i in.²⁵ podobne rozwiązania stosują w odnajdywaniu czerwonych krwinek „zdrowych” i zarażonych zarodźcem malarii. Obrazy wymazów krwi spod profesjonalnych i amatorskich mikroskopów są wprowadzane do systemu, ten zaś wyodrębnia obraz czerwonych krwinek i udostępnia je „tłumowi” (crowd) by na podstawie własnych opinii i doświadczeń selekcjonować krwinki zdrowe (rys.2). W pierwszych poziomach gry ich wybory weryfikuje program przyznając punkty za właściwą selekcję. W kolejnych, wybory są przekazywane do laboratoriów i sprawdzane, czy faktycznie krwinki są zarażone, czy nie.

Rys.2 Obraz gry Malaria Diagnosis Game wykorzystywanej w „crowd source” przy identyfikacji czerwonych krwinek i zarodźców malarii



Źródło: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0037245.g002> (2016.10.28)

Głównym celem rozwiązań open source jest poszukiwanie trafniejszych diagnoz, wielu rozwiązań dla jednego problemu, odkrywanie rozwiązań niestandardowych itd. Wykorzystanie gier i zaangażowanie wielu osób o różnej percepcji, ocenie i oglądzie badanego zjawiska może prowadzić do zaskakujących rozwiązań. Specjalizacja ustępuje tu miejsca amatorom, fascynatom i hobbystom. Rola specjalisty ulega zmianie. Głównym zadaniem jest postawienie problem, odpowiednie przekształcenie go w formę atrakcyjną dla potencjalnych uczestników

²⁵ Mavanadi S, Dimitrov S, Feng S, Yu F, Sikora U, Yaglidere O, et al., (2012), *Distributed Medical Image Analysis and Diagnosis through Crowd-Sourced Games: A Malaria Case Study*, “PLoS ONE”, vol.7, iss.5, e37245. doi:10.1371/journal.pone.0037245.

“tłumu”, a w kolejnych krokach stworzenie systemu do adaptacji wyników do realnych działań i ich wykonawstwo.

5. Roboty

Pierwsze próby wdrażania do zadań z zakresu medycyny robotów i pół-robotów mają już stosunkowo długą historię. Zdalne operacje, pierwsze cięcia wykonywane przez uzbrojone w skalpel ramię maszyny wykorzystywane są już od pewnego czasu. Ale wciąż jeszcze, nawet podstawowe zabiegi, w mniejszym lub większym stopniu realizuje człowiek. Powoli jednak, w zakres relatywnie prostych i powtarzalnych zabiegów wkracza robotyka. Już można sobie wyobrazić zabiegi wykonywane w całości przez maszyny. Dotychczasowe doświadczenia z systemem Da Vinci do prowadzenia zabiegów chirurgicznych to jednak wciąż nie zautomatyzowane procedury wykonywane przez maszynę, a teleoperacje, w których po jednej stronie metalowego ramienia, za pulpitem sterowniczym stoi lekarz. Stosowane są coraz szerzej tego typu zdalnie sterowane urządzenia do precyzyjnego zszywania rozcięć, czy wykonywania cięć. Langone Robotic Surgery Center New York University, School of Medicine wykonuje zabiegi w ten sposób od wielu lat²⁶. Roboty wydają się już jednak być gotowe, do przejęcia i w pełni zautomatyzowania zabiegów chirurgicznych. Odnaczają się niezwykle, nieosiągalną dla człowieka precyzją działania, wykorzystują obrazowanie 3D, podgląd mikroskopowy itd. Wykonują ruchy niemożliwe dla człowieka, nawet wykorzystującego laparoskop. Docierają do miejsc, do których ludzka dłoń nie jest w stanie dotrzeć. W efekcie są w stanie wykonywać w miarę standardowe zabiegi, wyręczając w tym lekarzy, którzy mogą poświęcić się znacznie bardziej skomplikowanym problemom pacjentów. Obecny czas oczekiwania na relatywnie mało skomplikowany zabieg w zakresie soczewki (zaćma) w ramach NFZ to od ok. 20-30dni do ponad roku (na podst. danych NFZ)²⁷. Wraz z zastosowaniem robotów czas oczekiwania mógłby się w tego typu zabiegach istotnie skrócić lub w ogóle zostać wyeliminowany. Niektórzy autorzy są nawet zdania, iż w bardzo nieodległym czasie sale operacyjne zostaną przejęte przez roboty, wykonujące zdecydowaną większość zabiegów²⁸.

Aby to było możliwe, roboty muszą być zdolne do obserwacji, analizy docierających do nich informacji i podejmowania decyzji. Technologie takie są jednak dynamicznie rozwijane. Eksperymenty z robotami w obszarze wycinania zmian nowotworowych, szycia i oczyszczania ran są bardzo obiecujące. Roboty są dokładniejsze, działają precyzyjnie i jednocześnie szybciej

²⁶ <http://www.med.nyu.edu/robotic-surgery/node/32> (12.11.2016).

²⁷ <http://kolejki.nfz.gov.pl/Informator/Index/> (13.11.2016).

²⁸ Strickland E., (2016), Doc Bot Preps for the O.R., “IEEE Spectrum”, June, vol.53, iss.6, str.32-60.

niż ludzie, wymagają mniej rozbudowanej infrastruktury, związanej zwłaszcza ze wsparciem szerokiego grona wąsko wyspecjalizowanych ekspertów^{29,30}. Roboty już podejmują w pewnym zakresie autonomiczne decyzje. Przy korekcie wzroku urządzenie samo decyduje o cięciu i impulsach laserowych którymi traktuje rogówkę (np. firmy Lasik). Podobnie w przypadku rekonstrukcji stawu kolanowego, automat przecina kości na podstawie własnej oceny (np. robot firmy Think Surgical), czy przy usuwaniu nowotworów (np. robot firmy Accuray). Podobnie w przypadku transplantacji włosów, również roboty same podejmują decyzje w zakresie wykonywanych zabiegów (np. system firmy Restorian Robotics). We wszystkich wymienionych przypadkach precyzją przewyższają ręce chirurga, odciążając jednocześnie od często żmudnej pracy. Jeśli w dłuższym okresie doświadczenia te by się potwierdziły, w zasadzie nie ma możliwości by zatrzymać ekspansję robotów w salach operacyjnych.

Na razie jednak zadania przez nie wykonywane dotyczą relatywnie podobnych do siebie obszarów ludzkiego ciała. Wciąż mocno specyficzne dla każdego z pacjentów obszary wnętrza klatki piersiowej, układu pokarmowego, czy krwionośnego pozostają w sferze wczesnych prób. Tu złożoność i zróżnicowanie środowiska stanowią istotną barierę w aplikacji robota. Podobnie, jak pewną barierę stanowi opracowanie zestawu reakcji na niespodziewane wydarzenia, jak niestandardowe krwotoki, układ, czy uszkodzenia organów. W zasadzie problemy te są zbliżone do tych, które powstają przy rozwoju autonomicznych samochodów. W obu przypadkach problemem jest podejmowanie szybkich i odpowiednich decyzji na podstawie nieprzewidzianego zestawu zmiennych. Na razie więc jednak, nawet relatywnie mało skomplikowane zabiegi mogą być wykonywane przez roboty, jednak muszą one pozostawać pod nadzorem lekarzy.

Ciekawych wniosków dostarczają badania S.Sen i in.³¹. Stosowany przez badaczy robot szyjący rozcięcia okazał się bardzo skuteczny i efektywny ale tylko w przypadku braku występowania nietypowych dla niego problemów. Takimi okazały się niemożność uchwycenia płata skóry (wyślizgiwanie się krawędzi z łapy chwytaka), czy splątanie nici. W takich sytuacjach lekarz radzi sobie szybko i nie stanowią one o istotnych opóźnieniach, czy niedokładnościach w wykonywaniu tego zadania. Tu skuteczność maszyny spadała o ok. 50%.

²⁹ Vincent J., (2016), *A robot surgeon has passed a major milestone – sewing up pigs guts. The Partially autonomous bot could show the future of surgery*, "The Verge",

³⁰ Shademan A., Decker R.S., Opfermann J.D., Simon Leonard L., Axel Krieger A., Kim P.C.W., (2016), *Supervised autonomous robotic soft tissue surgery*, "Science Translational Medicine", May, vol.8, Iss.337, str.337-364.

³¹ Sen S., Garg A., Gealy D.V., McKinley S., Jen Y., Goldberg K., (2016), *Autonomous Multiple-Throw Multilateral Surgical Suturing with a Mechanical Needle Guide and Optimization based Needle Planning*, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) 2016.

Oprócz relatywnie znacznych rozmiarów robotów do zabiegów wykonywanych z zewnątrz organizmu, powstają także mikro, czy nanoroboty. Choć dotychczas są to raczej prototypy i ogólna koncepcja ich tworzenia i wykorzystania. Urządzenia o rozmiarach mierzonych w mikrometrach zdolne podróżować po np. krwioobiegu, czy układzie pokarmowym i zdalnie przekazywać informacje o jego stanie. W założeniach zdolne są dostarczać leki w bardzo konkretne, np. zainfekowane miejsca wewnątrz ciała. Miejsca te mogą zresztą same znaleźć. Mogą wykonywać także mikrooperacje, nacinając, wycinając, nawiercając, rozpuszczając itd. wszystkie tkanki, które takiej interwencji wymagają. Trudno je jednak nazywać w pełni robotami. Te przecież zdolne są do podejmowania decyzji, a nie wyłącznie automatyzowania pojedynczych zadań. Tak wykorzystywane są te, które dostarczają leki w określone obszary ciała. Nawet, jeśli zdolne są rozpoznać swoją lokalizację, to podejmują tylko uproszczoną decyzję na zasadzie np. zero (nie) – jeden (tak). Problemy jakie tu powstają pozostają wciąż nierozwiązane. A wynikają w znacznej mierze z jednak uproszczonych algorytmów, według których nanoroboty działają³². Nie są zdolne do wielowymiarowych analiz i dokonywania oceny swoich działań. W przypadku niepowodzenia kuracji, wciąż nie jest jasne, czy zawiodło rozpoznanie miejsca, w które lek miał zostać dostarczony, czy sam medykament nie okazał się dość skuteczny. Problemem jest tu też dostępność medykamentów w rozmiarach nano, które obejmują zaledwie kilka procent tych, które mogły by być przenoszone tą drogą³³.

Bez względu jednak na obecne trudności, roboty w medycynie nie wydają się już science – fiction. Zarówno roboty wykonujące zabiegi chirurgiczne czy przejmujące zadania związane z opieką nad pacjentami, jak i nanoroboty, dokonujące zabiegów wewnątrz organizmu na poziomie mikro i nanocząsteczek stały się już na tyle realne, że można dywagować na temat ich udoskonalania, nie zaś obrony przed negacją ich istnienia i zastosowania. Przyszłość w tym względzie, choć może być niejednoznaczna w ocenie, wydaje się być z robotyką ściśle powiązana. Nie jest także wykluczone, iż w przeciągu najbliższej dekady trudno będzie sobie wyobrazić nowoczesną medycynę bez udziału inteligentnych, myślących maszyn.

6. Wearable electronics

Coraz szerzej rozpowszechniają się też różnego rodzaju „wearables”, czyli elektronika wpleciona w odzież, zegarki, opaski naręczne i szereg innych gadżetów. Zbierają one

³² Eveleth R., (2015), Why There Aren't Yet Nanobot Doctors, "The Atlantic", <http://www.theatlantic.com/technology/archive/2015/08/nanobot-treatment-doctors-cancer/400613/> (10.11.2016).

³³ Douglas S.M., Bachelet I., Church G.M., (2012), *A logic-gated nanorobot for targeted transport of molecular payloads*, "Science", vol.335, iss.6070, str.831–834.

informacje o stanie zdrowia i ciała ludzi, niekoniecznie chorych. Równie dobrze mogą to być zdrowe osoby świadome konieczności monitorowania swojego stanu zdrowia. Informacje te natychmiast są, lub przynajmniej mogą być, przekazywane do np. aplikacji w telefonie komórkowym analizującej parametry stanowiące o stanie kondycji i zdrowia. Ale równie dobrze mogą być transmitowane do ogólnego centrum dla tego typu danych. Dokonywane tam analizy nie tylko dają odpowiedź, jakie działania można, czy należy podjąć, ale też mogą np. podpowiadać, kiedy i jakiego rodzaju leki lub suplementy diety byłyby wskazane. Zarówno może to więc wzbogacać wiedzę lekarza o stanie zdrowia pacjenta, jak i automatyzować wskazania co do stosowania diet, czy suplementów.

Najważniejszą zmianą jednak, jakie niosą ze sobą urządzenia do ciągłego monitorowania różnych funkcji organizmu, jest przeniesienie odpowiedzialności za monitoring stanu zdrowia z lekarza i instytucji do tego powołanych, na pacjenta. De facto, urządzenia te czynią każdego odpowiedzialnym za obserwacje określonych, istotnych dla zdrowia mierników. Ok. 39% użytkowników tego typu urządzeń w USA stwierdza, że pomogły im one w prowadzeniu zdrowszego trybu życia, a 45%, że dzięki nim regularniej podejmują ćwiczenia fizyczne³⁴.

Raport Soreon³⁵ wskazuje, że rynek dla tego typu urządzeń osobistych w roku 2014 wynosił 2mld USD i rośnie w tempie 60% rocznie. Problemem jest jednak konsekwencja w ich użytkowaniu. Znaczna część nabywców zarzuca monitorowanie po ok. sześciu miesiącach³⁶. Nużące i w efekcie zniechęcające zarówno lekarzy, jak i noszące urządzenia osoby są zalew danych oraz jednak zazwyczaj dość monotonne wyniki. Zakładając np. ustawową liczbę pacjentów w Polsce jako 2750 osób przypadających na jednego lekarza rodzinnego, zbiór danych z nieustannego monitoringu może być nie tylko trudny do analizy, ale wręcz niemożliwy w przypadku założenia, że lekarz będzie na bieżąco aktualizował swoją wiedzę o stanie zdrowia. W zasadzie tak działa znaczny odsetek najbardziej obecnie zaawansowanych urządzeń „wearable” i wspierających ich platform internetowych, jak np. H2 Care’s, czy Qualcomm. Wymagane do dalszego rozwoju byłyby więc systemy automatycznych gromadzenia i analizy danych z jednoczesnym przekazywaniem lekarzowi jedynie np. alertów o złej kondycji pacjenta. Problemem może też być standaryzacja zarówno mierników, sposobów pomiaru, jak i samych danych i ich struktury wysyłanych do wspólnej bazy danych. Trudno sobie wyobrazić specjalistę podejmującego decyzje odnośnie podjęcia leczenia

³⁴ Ledger D., (2016), Inside Wearables part 3. The Rocky Path Towards Personalized, Insightful Wearables, Endeavour Partners, Cambridge, MA,

³⁵ Soreon Research Report, (2014), Wearable Health Report. How Smart Wearables Disrupt The Healthcare Sector, Soreon Research, 1st ed., October, Genewa.

³⁶ Ledger D., (2016), Inside... ibidem.

pacjenta na podstawie danych przesłanych z dowolnego urządzenia, założonego i noszonego w dowolny sposób, bez zachowania odpowiednich wytycznych. Mogą one być nie tylko mało miarodajne, ale też mylące i prowadzące do błędnych diagnoz. Próbę narzucenia wiarygodnego standardu podjęła Chino Valley Medical Center z Kalifornii, USA. Wprowadziła urządzenia Leaf przyklejane do ciała pacjenta i zbierające informacje o jego ruchach, wykonanych skłonach itd. Urządzenie zdalnie przekazuje do bazy dane, które są analizowane i przede wszystkim informują o konieczności podjęcia działań przez personel medyczny. W efekcie ma to prowadzić do zapobiegania powstawaniu odleżyn. Choć zakres działania jest więc ograniczony, to jednak faktycznie zainteresowanie środowiska efektami tego eksperymentu jest znaczne³⁷. Zwłaszcza, że 81% lekarzy uważa, że mobilny dostęp do danych o pacjencie pomaga w ich leczeniu, a 58% jest skłonnych stosować opiekę wirtualną, zdalną powiązaną z urządzeniami mobilnymi i „wearables”³⁸.

Przyglądając się jednak rozwojowi urządzeń „wearable”, może nastąpić przesunięcie środka ciężkości z leczenia, na monitoring i prewencję. Przyszłość medycyny będzie zapewne nadal podążała w kierunku personalizacji opieki w pełni wypierając nie tylko usługi, ale i leki stworzone aplikowane wszystkim spełniającym uproszczone kryteria, jak np. objawy konkretnej choroby.

Wyraźnie także zaznaczają swoją obecność w branży medycznej przedsiębiorstwa związane dotychczas z informatyką, czy produkcją elektroniki użytkowej. Strefa wspólna dla medycyny i szeroko rozumianego IT wyraźnie się rozrasta, zacierając granice pomiędzy branżami. To zaś nie tylko wymusza zmiany w IT, ale także zmienia wymagania stawiane służbie medycznej. Tworzy też zapewne nowe obszary zawodowe dotychczas niezagospodarowane przez żadną z tych dziedzin.

7. Wirtualna rzeczywistość

Rzeczywistość wirtualną w medycynie należałoby rozdzielić na fatycznie wirtualną oraz połączoną realną i wirtualną, czyli rzeczywistość poszerzoną (ang. augmented reality). To nie tylko hologramy umożliwiające wniknięcie w obrazowanie wnętrza ciał pacjentów w 3D, ale też np. zdalne podpowiedzi, jakie działania wykonać lub przekazać robotom do wykonania, by zabieg stał się jeszcze lepszy. Przyglądając się coraz szerszemu włączaniu rzeczywistości

³⁷ PwC, (2015a), *Top Health Industry Issues of 2016, Thriving in the New Economy*, December, PwC Health Research Institute.

³⁸ PwC, (2015b), *Clinician Workforce Survey, HRI & PwC Consumer Survey*, PwC Health Research Institute.

wirtualnej w ochronę zdrowia, można wskazać przynajmniej niektóre obszary zastosowania, jak np.:

- szkolenie personelu medycznego,
- wsparcie skomplikowanych zabiegów, zwłaszcza operacji, ale też stomatologii,
- leczenie pacjentów z fobiami,
- zwalczanie bólu,
- poprawa jakości długotrwałego pobytu pacjentów w szpitalach,
- wsparcie leczenia pacjentów z chorobami otępiennymi,
- wsparcie rehabilitacji pacjentów niepełnosprawnych,
- wizualne projekcje efektów podjętych zabiegów,
- wizualizacje w radioterapii, czy endoskopii.

Fot. 1. Sensorama, symulator wirtualny Mortona Heiliga z 1962r.



Źródło: <https://www.engadget.com/2014/02/16/morton-heiligs-sensorama-simulator/>
(18.11.2016)

Trening lekarzy chirurgów wspierają rozwiązania firm np. Immersive Touch, Osso VR, czy Medical Realities. Rozwiązania te znacząco się różnią od pionierskiego symulatora Sensorama z 1962r. Zwłaszcza, że zarówno świadomość pacjentów, jak i odpowiedzialność lekarzy są bez porównania z ich poziomem sprzed pół wieku. Niełatwo byłoby zapewne znaleźć ochotników służących za pierwszych pacjentów początkujących chirurgów. Tymczasem symulatory „force feedback” oferowane przez np. Medical Realities, czy Immersive Touch nie tylko oferują obraz

w technologii 3D, ale też dają możliwość fizycznego odczuwania przez lekarza oporu, dotyku itd. realistycznie oddających odczucia podczas wykonywania prawdziwego zabiegu. Symulacje kinestetyczne (z gr. haptic) wykorzystują wibracje, ucisk, czy elektryczne impulsy. Szkolenia z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości to przyszłość szkoleń w medycynie³⁹. Oprócz oczywistych niemal korzyści obrazowania 3D, systemy szkoleń umożliwiają śledzenie i zapamiętywanie każdego ruchu lekarza, wskazując jednocześnie ich ewentualne korekty.

Jeszcze bliższa faktycznej jest rzeczywistość poszerzona (ang. augmented reality). Tu rzeczywistość wirtualna jest nałożona na realny obraz otoczenia. Wykorzystywane są tu zazwyczaj okulary zbliżone do Hololens Microsoft. Umożliwiają one nałożenie obrazu wirtualnego, na obraz realnego otoczenia. Powstaje połączona rzeczywistość i wirtualność, czyli rzeczywistość poszerzona - „augmented reality”. Wyświetlające się na wewnętrznej stronie szkieł informacje, obrazy, zabarwienia itd. uzupełniają świat o dodatkowe elementy. Podobnie jak dodatkowe efekty wizualne uatrakcyjniające np. spędzanie czasu wolnego, tego typu urządzenia mogą wyświetlać porady dla lekarza, jaka diagnoza jest najtrafniejsza, jakie dysfunkcje są dostrzegalne, jakie cięcie ma wykonać chirurg, uzupełniając o wyświetlające się informacje o np. temperaturze ciała pacjenta, tętnie i wielu innych. Ponadto, mogą także wyświetlać podpowiedzi, jakie leki mogą pomóc, dokonywać na bieżąco przeglądu stanu aptecznych zapasów itp. Lekarz natychmiast jest więc w stanie przekazać informacje o odpowiedniej terapii.

8. Druk 3d

Druk 3d obejmuje już zarówno obiekty niezwykle małe, mierzone w rozmiarach nano, jak i duże, jak np. domy, czy sporych rozmiarów urządzenia. Wykorzystuje różne materiały, o różnej konsystencji, elastyczne, sztywne, utwardzalne i nie. Szczególnie istotny okazał się tu rozwój polimerów. Zaczyna też dotyczyć wielu branż i obszarów życia ludzi. Wychodzi dalece poza ciekawostkę, czy atrakcję. Np. większość firmowych sklepów Hershey's, amerykańskiej firmy produkującej czekoladę, została wyposażona w drukarki 3D zdolne wydrukować czekoladki w kształtach, formach i smakach, niemal takich, jakich sobie zażyczy klient. Jest krokiem dalej w stosunku do wizualizacji 3d. Czerpie z wiedzy na ten temat, by przekształcić komputerowe obrazy w rzeczywiste przedmioty.

³⁹ Gupta S.K., Anand D.K., Brough J.E., Schwartz M., Kavetsky R.A., (2008), *Training in Virtual Environments. A Safe, Cost-Effectiv, and Engaging Approach to Training*, Calce EPSC Press, University of Maryland, College Park, Maryland.

Druk 3d wychodzi więc z garażowych, laboratoryjnych i raczej pionierskich zastosowań i wyraźnie wkracza do coraz szerszego użytku. Jedną z branż będących jednocześnie beneficjentem i zapewne nieco także ofiarą rozwoju tej technologii jest medycyna. Nie tylko chodzi o zdolność do skanowania 3D, przełożenia na projekt i wydrukowania z odpowiedniego materiału np. implantu zęba, czy stawu biodrowego, ale rozwija się także możliwość drukowania np. spersonalizowanych leków, czy nawet organów do przeszczepów. Druk 3d nie tylko umożliwia więc samo tworzenie fizycznych przedmiotów w dowolnym miejscu, ale też dokładne ich dopasowanie do wymagań konkretnego pacjenta. Medycyna personalna dostępna dla szerokiej grupy pacjentów staje się wyraźnym trendem. Świadczy o tym choćby rosnąca liczba artykułów naukowych o zastosowaniu i rozwoju druku 3d w medycynie i jej kustomizacji⁴⁰. Drukowane są implanty kośćczaste bardzo dobrze odwzorowujące ubytek. Zastosowanie druku 3d intensywnie rośnie w szkoleniu i edukacji lekarzy, szczególnie w chirurgii⁴¹. Tworzenie modeli z trójwymiarowych obrazów pozwala na uniknięcie niektórych zabiegów inwazyjnych bądź lepszego ich zaplanowania, a także zwiększenia skuteczności leczenia. Stosowanie różnych materiałów, jak plastik, polimer, guma, żywice itd. pozwalają utrzymać nie tylko kształt analizowanej części ciała w skali 1:1, ale również jej mechanikę, giętkość itd. Dobrze też można odwzorować indywidualne cechy charakterystyczne dla pacjenta. Co tym bardziej podnosi jakość zarówno przygotowania do zabiegu, jak i opartego na analizie przypadków szkolenia. Podobnie, stworzone dla indywidualnego pacjenta przyrządy do rehabilitacji podnoszą skuteczność zabiegów ortopedycznych oraz znacząco poprawiają ich efekty. Powstają w ten sposób dopasowane do konkretnej osoby ortozy^{42,43}. Najpierw skanowana jest trójwymiarowo stopa, nadgarstek, czy całe kończyny by następnie wydrukowana została spersonalizowana ortozą. Nowe możliwości tworzy rozwój różnych materiałów używanych w druku 3d, a tym także biomateriałów, łączących żywe komórki z materiałami syntetycznymi. To wprowadza protezy, czy implanty na jeszcze wyższy poziom

⁴⁰ Giannopoulos A.A., Leonid C., Adnan S., Aili W., Wilfred D., Ekin A., Chris H., Nicole W., Todd P., Dydzinski P.B., Rybicki D.M.F.J., (2015), *3D printed ventricular septal defect patch: a primer for the 2015 Radiological Society of North America (RSNA) hands-on course in 3D printing*, [in:] *3D Printing in Medicine*, vol.1, iss.3.

⁴¹ Malik H.H., Darwood A.R., Shaunak S., Kulatilake P., Abdulrahman A., Mulki O., Baskaradas A., (2015), *Three-dimensional printing in surgery: a review of current surgical applications*, *Journal of Surgery Research*, vol.199, iss.2, str.512–522.

⁴² Mavroidis C., Ranky R.G., Sivak M.L., Patrilli B.L., DiPisa J., Caddle A., Gilhooly K., Govoni L., Sivak S., Lancia M., (2011), *Patient specific ankle-foot orthoses using rapid prototyping*, *Journal of Neuroengineering Rehabilitation*, vol.1, iss.1.

⁴³ Dombroski C.E., Balsdon M.E., Froats A., (2014), *The use of a low cost 3D scanning and printing tool in the manufacture of custom-made foot orthoses: a preliminary study*, *BMC research notes*, vol.7, iss.1, str.443.

personalizacji, czego przykładem mogą być wydrukowane wszczepy odwzorowujące indywidualne np. tętnice wieńcowe.

Daje to możliwość drukowania indywidualnych leków. Już nie zuniformizowanych ale takich, jakie zaordynuje np. system badający bieżący stan zdrowia. Spersonalizowanych co do milionowych części grama. Drukarki 3D są bowiem zdolne drukować także obiekty rozmiarów pojedynczych komórek. Zmieni się charakter dystrybucji leków i suplementów z gotowych do ich komponentów. A być może, przynajmniej w jakiejś części, apteki staną się niepotrzebne, a drukarki takie będzie można wstawić w gabinecie lekarskim.

Szczególne możliwości tworzy połączenie technik druku 3d z konstruowaniem tkanek. Bioprinting, czyli drukowanie z żywych komórek wysuwa się współcześnie na czoło innowacyjnych zastosowań druku. BioBots, Inkredible i drukarki innych marek nanoszą warstwowo lub łącząc kolejne komórki materiał biologiczny tworząc kompletną strukturę. Choć wciąż problemem pozostaje łączenie różnych typów komórek i budowanie kompletnych, potencjalnie przynajmniej funkcjonujących narządów, to jednak i w tym względzie następuje wyraźny postęp. Pojawiają się pierwsze, pionierskie wydruki organów, jak np. w pełni sprawnej i zdolnej przetrwać w określonych warunkach wątroby (Organovo), czy fragmentów układu krwionośnego (Harvard University) wykonujących wszystkie funkcje organów powstałych w sposób naturalny.

Pomimo jednak relatywnie szybkiego rozwoju i znacznego potencjału druku 3d w medycynie, wciąż zastosowania tej technologii nie są ani powszechne, ani częste. Wynikać to może z wciąż relatywnie znacznych kosztów i stosunkowo długiego czasu, jaki jest potrzebny na trójwymiarowe obrazowanie, zapis informatyczny i wydruk. Choć zainteresowanie rozwojem jest nie tylko po stronie akademickiej, ale także biznesu, to jednak w wielu państwach występują problemy z refundacją przez ubezpieczycieli, czy fundusze publiczne.

9. Podsumowanie

Przedstawione rozwiązania, kierunki badań, technologie i trendy dotyczą nie tylko medycyny, ale w zasadzie wszystkich nauk. Z pewnością nie są to także wszystkie współczesne zmiany w technologiach, które medycy dotyczą. Granice zdają się tu zacierać i coraz trudniejszym zadaniem staje się jednoznaczna ocena, jakich dziedzin życia, czy nauk np. dana technologia dotyczy lub będzie dotyczyć. Być może, część z przedstawionych nie sprawdzi się w medycynie, część nie przyjmie, a część rozwinie w zupełnie niespodziewanym dziś kierunku. Bez wątplenia jednak, jeśli nawet niewielka ich część faktycznie zostanie zaadaptowana na stałe w leczeniu, to może oznaczać to zupełną rewolucję. Nie tylko w sposobie postrzegania

medycyny w ogóle, ale też pełnego cyklu, od rozpoznania dolegliwości, przez terapię, diagnozę, dostawę leku i sprzętu, po ostateczną ocenę wyniku leczenia.

Literatura

1. Aluchna M., Mierzejewska B., Mrówka R., Pindelski M., (2005), *Open Source – nowy model biznesu?*, „Zeszyty Naukowe AE Kraków”, Kraków.
2. Ball J.R., Balogh E., (2016), *Improving Diagnosis in Health Care: Highlights of a Report From the National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine*, “Annals of International Medicine”, January 5, vol.164, iss.1, str.59-61.
3. Croskerry P., (2005), *Diagnostic Failure: A Cognitive and Affective Approach*, [w:] Henriksen K., Battles J.B., Marks E.S., (red.), *Advances in Patient Safety: From Research to Implementation*, vol.2: Concepts and Methodology, Agency for Healthcare Research and Quality (US), Rockville (MD).
4. Dharmar M., Kuppermann N., Romano P.S., Yang N.H., Nesbitt T.S., Phan J., Nguyen C., Parsapour K., Marcin J.P., (2013), *Telemedicine Consultations and Medication Errors in Rural Emergency Departments*, „Pediatrics”, Vol.132, iss.6, grudzień, str.1090-1097.
5. Digital in 2016 Report, <http://wearesocial.com/uk/special-reports/digital-in-2016> (06.11.2016).
6. Dombroski C.E., Balsdon M.E., Froats A., (2014), *The use of a low cost 3D scanning and printing tool in the manufacture of custom-made foot orthoses: a preliminary study*, BMC research notes, vol.7, iss.1, str.443.
7. Douglas S.M., Bachelet I., Church G.M., (2012), *A logic-gated nanorobot for targeted transport of molecular payloads*, “Science”, vol.335, iss.6070, str.831–834.
8. Eiben Ch.B., Siegel J.B., Bale J.B., Cooper S., Khatib F., Shen B.W., Players F., Stoddard B.L., Popovic Z., Baker D., (2012), *Increased Diels-Alderase activity through backbone remodeling guided by Foldit players*, “Nature Biotechnology”, published online 22 January 2012; doi:10.1038/nbt.2109, str.1-3.
9. Eveleth R., (2015), *Why There Aren't Yet Nanobot Doctors*, “The Atlantic”, <http://www.theatlantic.com/technology/archive/2015/08/nanobot-treatment-doctors-cancer/400613/> (10.11.2016).
10. Frere J., (2016), *From Cancer Research to Financial Crises, High-Performance Computing is Defining Our Future*, “Wired”,

- <https://www.wired.com/brandlab/2016/08/cancer-research-financial-crises-high-performance-computing-defining-future/> (10.11.2016).
11. Giannopoulos A.A., Leonid C., Adnan S., Aili W., Wilfred D., Ekin A., Chris H., Nicole W., Todd P., Dydynski P.B., Rybicki D.M.F.J., (2015), *3D printed ventricular septal defect patch: a primer for the 2015 Radiological Society of North America (RSNA) hands-on course in 3D printing*, [in:] *3D Printing in Medicine*, vol.1, iss.3.
 12. Gupta S.K., Anand D.K., Brough J.E., Schwartz M., Kavetsky R.A., (2008), *Training in Virtual Environments. A Safe, Cost-Effectiv, and Engaging Approach to Training*, Calce EPSC Press, University of Maryland, College Park, Maryland.
 13. Jokiel G., (2009), *Podejście procesowe w zarządzaniu – geneza i kierunki rozwoju koncepcji*, [w:] *Podejście procesowe w organizacjach*, S.Nowosielski (red.), Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu nr 52, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław, str.15-22.
 14. Juusola J.L., Quisel T.R., Foschini L, Lapado J.A., (2016), *The Impact of an Online Crowdsourcing Diagnostic Tool on Health Care Utilization: A Case Study Using a Novel Approach to Retrospective Claims Analysis*, “*Journal of Medical Internet Research*” 2016; vol.18, iss.6:e127
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4909973/> (20.10.2016).
 15. Khatib F., Cooper S., Tyka M.D., Xu K, Makedon I, (2011) *Algorithm discovery by protein folding game players*, “*Proceedings of the National Academy of Sciences*”, vol.108, iss.7, str.18949–18953.
 16. Ledger D., (2016), *Inside Wearables part 3. The Rocky Path Towards Personalized, Insightful Wearables*, Endeavour Partners, Cambridge, MA,
 17. Malik H.H., Darwood A.R., Shaunak S., Kulatilake P., Abdulrahman A., Mulki O., Baskaradas A., (2015), *Three-dimensional printing in surgery: a review of current surgical applications*, :*Journal of Surgery Research*”, vol.199, iss.2, str.512–522.
 18. Mavandadi S, Dimitrov S, Feng S, Yu F, Sikora U, Yaglidere O, et al., (2012), *Distributed Medical Image Analysis and Diagnosis through Crowd-Sourced Games: A Malaria Case Study*, “*PLoS ONE*”, vol.7, iss.5, e37245. doi:10.1371/journal.pone.0037245.
 19. Mavroidis C., Ranky R.G., Sivak M.L., Patritti B.L., DiPisa J., Caddle A., Gilhooly K., Govoni L., Sivak S., Lancia M., (2011), *Patient specific ankle-foot orthoses using rapid prototyping*, “*Journal of Neuroengineering Rehabilitation*”, vol.1, iss.1.

20. McGlynn E.A., Asch S.M., (2003), *The Quality of Healthcare Delivered to Adults in the United States*, "New England Journal of Medicine", vol.348, str.2635-2645.
21. McHugh M., (2015), *The Eye Doctor on Your Laptop Will See You Now*, "Wired", grudzień,, <https://www.wired.com/2015/10/eye-doctor-laptop-will-see-now/> (22.10.2016).
22. Mehrotra A., Paone S., Martich D., Albert S.M., Shevchik G.J., (2013), *A Comparison of Care at E-visits and Physician Office Visits for Sinusitis and Urinary Tract Infection*, "Journal of American Medical Association", vol. 173, iss.1, str.72-74.
23. Mrówka R., (2011), *Hyperarchy as a New Model of Organization*, „Journal of Management and Financial Sciences”, vol.4, iss.6, str.62-72.
24. Orel.A., Gornik T., Soyer H.P., Bartenjev I., (1999), *Next Generation Telemedicine Network Service for Counselling on Diagnosis of Pigmented Skin Tumours at the Point of Care*, "Journal of Medical Internet Research", vol.1, supl.1, e.122.
25. Pathipati A.S., Azad T.D., Jethwani K., (2016), *Telemedical Education: Training Digital Natives in Telemedicine*, "Journal of Medical Internet Research", vol.18, iss.7, e.193.
26. Pindelski M., Mrówka R. (2014), *Wizualizacje big data w identyfikacji problemów zarządzania*, [w:] E. Głuszek, G. Bełz (red.), *Management Forum 5*, "Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu" nr 363, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław, ISSN 1899-3192, str.27-38
27. PwC, (2015a), *Top Health Industry Issues of 2016, Thriving in the New Economy*, December, PwC Health Research Institute.
28. PwC, (2015b), *Clinician Workforce Survey*, HRI & PwC Consumer Survey, PwC Health Research Institute.
29. Semigran H.L., Linder J.A., Gidengil C., Mehrotra A., (2015), *Evaluation of symptom checkers for self-diagnosis and triage: audit study*, "The BMJ", 8. czerwiec, vol.351, h:3480, <http://www.bmj.com/cgi/pmidlookup?view=long&pmid=26157077> (31.10.2016).
30. Sen S., Garg A., Gealy D.V., McKinley S., Jen Y., Goldberg K., (2016), *Autonomous Multiple-Throw Multilateral Surgical Suturing with a Mechanical Needle Guide and Optimization based Needle Planning*, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) 2016.

31. Shademan A., Decker R.S., Opfermann J.D., Simon Leonard L., Axel Krieger A., Kim P.C.W., (2016), *Supervised autonomous robotic soft tissue surgery*, “Science Translational Medicine”, May, vol.8, Iss.337, str.337-364.
32. Soreon Research Report, (2014), *Wearable Health Report. How Smart Wearables Disrupt The Healthcare Sector*, Soreon Research, 1st ed., October, Genewa.
33. Speed Test, (2016) *Raport Ranking prędkości dostawców ISP luty 2016*, <http://www.speedtest.pl/wiadomosci/predkosc/ranking-predkosci-dostawcow-isp-luty-2016/>
34. Strickland E., (2016), *Doc Bot Preps for the O.R.*, “IEEE Spectrum”, June, vol.53, iss.6, str.32-60.
35. Vincent J., (2016), *A robot surgeon has passed a major milestone – sewing up pigs guts. The Partially autonomous bot could show the future of surgery*, “The Verge”,
36. Żukowska J. Pindelski M., (2015), *Competitive Advantage & core competence: How Jeronimo Martins Won The Polish Retail Market*, “Przegląd Organizacji”, vol.3, iss.902, 3/2015, str.34-37.

Źródła internetowe

1. <http://www.med.nyu.edu/robotic-surgery/node/32>
2. <http://www.eternagame.org>
3. <http://kolejki.nfz.gov.pl/Informator/Index/>
4. <https://www.opternative.com/>
5. <https://www.ibm.com/watson/health/>
6. University of Iowa, Carter College of Medicine, 2014, <http://www.healthcare.uiowa.edu/2020> (10.10.2016).
7. <http://www.flow-machines.com/ai-makes-pop-music/>