

Zbigniew NAWRAT

## MEDYCYNĄ I ETHOS ROBOTÓW

*Wszystkie stosowane kliniczne systemy informatyczne powinny osiągać odpowiedni poziom integracji: niezawodność, użyteczność, interoperacyjność. Tylko wtedy będą mogły być skutecznie stosowane, aby odciążać lekarzy w trybie on-line, dostarczając wiarygodnych informacji i kontrolując działania w czasie wykonywanej procedury, wykorzystując protokoły, które mogą być wymieniane „ze zrozumieniem” przez ważne w tym procesie urządzenia. Pomimo postępów we wnioskowaniu przyczynowym AI nie „wyczuwa” jednak skutków podjętych decyzji dla pacjenta.*

O tym, że świat się składa z atomów, dowiedzieliśmy się od filozofów starożytnych, roboty stworzyli artyści, a pomysłodawcami Internetu byli twórcy powieści fantastycznych. Trudno urzeczywistnić to, co powstało w wyobraźni, ale właśnie dzięki innowacyjności, wyobraźni i pracy odnieśliśmy sukces jako gatunek ludzki. Postęp wiedzy związany z techniką prowadzi do zmian cywilizacyjnych. Sposób realizacji celów pracy zmienił się od czasu, kiedy udało nam się zdigitalizować treści zapisane wcześniej w sposób analogowy, a obliczenia sprowadzić do operacji zerojedynkowych, czyli skomputeryzować. Obecnie praca lekarza zmienia się, przechodzi od naturalnej ludzkiej inteligencji i pracy manualnej do wykorzystania sztucznej inteligencji i pracy robota. Robot medyczny staje się coraz częściej partnerem realizacji usług medycznych. To sprawia, że rodzi się potrzeba określenia etosu robota medycznego. To kolejny etap ewolucji człowieka i jego narzędzi.

Definiowanie pracy jako procesu złożonej aktywności fizyczno-umysłowej, której celem jest przekształcenie szeroko rozumianego środowiska w ten sposób, by zwiększyć szanse przeżycia gatunku ludzkiego<sup>1</sup>, jest dobrym jak opisem działalności lekarza, która dotyczy środowiska – człowieka (pacjenta).

Praca lekarza polega na udzielaniu świadczeń zdrowotnych, w szczególności: badaniu stanu zdrowia, rozpoznawaniu chorób i zapobieganiu im, leczeniu i rehabilitacji chorych, udzielaniu porad, a także wydawaniu opinii i orzeczeń lekarskich<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Zob. hasło „Praca”, w: *Encyklopedia Polskiego Wydawnictwa Naukowego*, <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/praca;3961600.html>.

<sup>2</sup> Zob. *[Wykonywanie zawodu lekarza] – Zawody lekarza i lekarza dentystry*, Dz.U.2023.1516, art. 2. <https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzu-dziennik-ustaw/zawody-lekarza-i-lekarza-dentystry-16798282/art-2>.

Człowiek może wykonywać usługę medyczną w postaci pracy intelektualnej i działań mechanicznych za pomocą narzędzi oraz aparatury medycznej, z wykorzystaniem różnych zjawisk fizycznych. Jednak najczęściej praca lekarza to proces analizowania danych i podejmowania decyzji. Praca chirurga polega na inwazyjnym wtargnięciu w ludzki organizm, zadawaniu ran i leczeniu. To sztuka tworzenia chwilowych, kontrolowanych w danym obszarze organizmu sytuacji.

Roboty z powodzeniem są obecnie wykorzystywane jako: (1) roboty diagnostyczne, czyli roboty służące do nowoczesnej, cyfrowej, na przykład wykonanej w 3D diagnostyki obrazowej; (2) roboty chirurgiczne (narzędzia zwiększające jakość, precyzję interwencji chirurgicznej i często zmniejszające inwazyjność operacji); (3) roboty opiekuńcze, maszyny socjalne, które zwiększają jakość życia ludzi starszych, zniedołężniałych, z niewydolnymi narządami ruchu, ich wykorzystanie zwiększa samodzielność podopiecznych; (4) roboty rehabilitacyjne, czyli roboty służące do terapii, treningu, rehabilitacji przez kontrolowany ruch rehabilitowanych narządów ruchu; (5) roboty ratunkowe (roboty wykorzystywane zdalnie lub autonomicznie do akcji ratunkowych w różnym środowisku i różnych warunkach zagrożenia życia); (6) sztuczne narządy, zrobotyzowane elementy zastępcze uzupełniające działanie niektórych narządów organizmu człowieka; (7) bioroboty (roboty naukowe naśladujące ludzi lub zwierzęta, roboty wykorzystywane do celów poznawczych – neurofizjologii, patologii mózgu czy samoorganizacji społecznej); (8) edukacyjne roboty medyczne, roboty wykorzystywane do nauki zawodu lekarza, pielęgniarza czy ratownika, symulatory pacjenta.

Największe sukcesy robotyka medyczna odniosła do tej pory w zakresie robotów chirurgicznych i rehabilitacyjnych. W maju 2018 roku robot kardiologii inwazyjnej o nazwie Corindus Vascular Robotics otrzymał zgodę wydaną przez amerykańską Agencję ds. Żywności i Leków (U.S. Food and Drug Administration, FDA) na pierwszy zautomatyzowany ruch robotyczny zaprojektowany dla platformy CorPath GRX. Zastrzeżona funkcja oprogramowania, „Rotate on Retract” (RoR), jest pierwszym zautomatyzowanym mechanizmem robota, który umożliwia operatorowi szybką nawigację do docelowej zmiany anatomicznej przez automatyczne obracanie prowadnika podczas cofania joysticka<sup>3</sup>.

To dzięki wdrożeniu technologii produkcji seryjnej, automatyzacji i robotyzacji możliwy jest obecny wysoki poziom jakości ludzkiego życia. Medycyna, borykająca się z problemami kadrowymi, rosnącymi oczekiwaniami

---

<sup>3</sup> Por. Z. N a w r a t, *Roboty medyczne w systemach teleinformatycznych*, w: *Informatyka w medycynie*, red. M. Kurzyński i in., Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit, Warszawa 2019, s. 727-760.

społecznymi i kosztami przekraczającymi możliwości ekonomiczne, potrzebuje robotyzacji. Ponad sto lat temu wprowadzone maszyny, automaty, roboty zmieniły manufaktury w zakłady przemysłowe, wpływając na politykę i relacje społeczne przełomu dziewiętnastego i dwudziestego wieku. Podobnie wprowadzane innowacje w medycynie poprawiają efektywność i zmieniają formy wykonywania usług medycznych oraz relacje pomiędzy wszystkimi uczestnikami procesu leczenia.

Przekonanie autora artykułu o znaczącej roli robotów dla dobra człowieka zostało ukształtowane przez lata pracy w zespole znakomitego, innowacyjnego kardiochirurga – prof. Zbigniewa Religi. Autor uczestniczył w opracowaniu i wdrożeniu systemu mechanicznego wspomaganie serca oraz prowadził prace nad robotem chirurgicznym Robin Heart.

Sztuczne narządy i AI są elementami robotyki medycznej. Obecnie stosowane urządzenia nie są samodzielne, ale prowadzone są prace, które mają na celu przekazanie części obowiązków decyzyjnych tym maszynom. To jest konieczne (ze względu na bezpieczeństwo pacjenta), jeśli chcemy rozwijać teleoperacje (zdalnie sterowane operacje za pomocą robotów na odległość zagrożone jest utratą komunikacji pomiędzy operatorem robotem) lub pozwolić pacjentom ze sztucznymi narządami przebywać w warunkach domowych. Tysiące pacjentów na świecie, żyjących dzięki sztuczным narządom, rehabilitowanych i poruszających się dzięki robotom, półtora miliona operacji rocznie wykonywanych z pomocą robotów – trudno o bardziej przekonujące dowody, że już dzisiaj roboty ratują życie, dbają o jego jakość i zmieniają standardy wykonywania pracy.

#### AI JAKO ALGORYTM

AI zwykle przetwarza informacje, stosując pewien zestaw reguł, instrukcji, czyli algorytmy. Na wejściu wprowadzana informacja „zamienia” się w wyniku procesu opartego na algorytmach na informację wyjściową – wynik. System może być nadzorowany przez programistę, można też stworzyć proces, zestaw algorytmów, w którym nie będzie potrzebna interwencja programisty do aktualizacji oprogramowania. Taki system określa umiejętność rozwiązywania problemów przez „uczenie się” na podstawie poprzednich wyników. Działając na dostarczonych danych i oceniając efekty (czy są one zbliżone do spodziewanej odpowiedzi), program może sam poszukiwać wzorców i doskonalić się. Tym właśnie zajmuje się uczenie maszynowe (ang. machine learning, ML). Algorytm to aspekt techniki matematycznej, a stosując algorytm uczenia maszynowego pobierane są dane wejściowe i wyjściowe, aby w trakcie działania (proces treningowy) przygotować się lepiej do pracy nad nowymi

danymi wejściowymi. Podobnie fizyka stosuje matematykę jako narzędzie opisu rzeczywistości. Nie każde rozwiązanie matematyczne ma jednak sens fizyczny. Ucząca się AI próbuje naśladować za pomocą narzędzi matematycznych działanie neuronów naszego mózgu, wytwarza rozwiązania. W procesie treningowym, na każdym poziomie dokonywania wyborów, w trakcie analizowania danych wejściowych nadawane są wagi, wyróżniające dobre rozwiązania, czyli takie, które zmierzają do wyjściowej informacji, zgodnej z obserwacją rzeczywistością.

Systemy AI są sprawne w szukaniu korelacji, powiązań faktów czy powtarzających się wzorców (pikseli na obrazach), znajdują ich więcej i szybciej niż ludzie, ale większość z nich nie jest zrozumiała dla człowieka. Działa to w pewnym stopniu jak wprowadzanie uważnego hobbysty do zespołu profesjonalistów, który przez naśladowanie i praktykowanie może osiągnąć wysoki poziom skuteczności działania. Inteligencja jest jak „spryt” – powoduje, że we właściwy (bezpieczny, określony przez kod kulturowy sposób) reagujemy na bodźce zmysłowe. Rozumność to umiejętność wykorzystania abstrakcyjnych modeli do rozwiązywania rzeczywistych zadań. Wystarczy inteligencja, by widząc fotografię sporządzoną przez mikroskop sił atomowych, uzyskać przekonanie o tym, że świat się składa z atomów. Dwa i pół tysiąca lat wcześniej rozumowanie doprowadziło też do takiego przekonania Demokryta z Abdery.

Można podać wiele przykładów, pokazujących, jak sztuczna inteligencja „sprytnie” omija „rozwiązywanie” problemu, optymalizując ekonomicznie obciążenie i czas pracy komputera. Na przykład poszukując przypadków gruźlicy na podstawie analizowanych zdjęć RTG, szybko odnajdzie na wybranych zdjęciach notatkę, że pochodzi ono ze szpitala gruźliczego, więc nada mu rangę zwiększonego ryzyka, skracając czas, omijając „faktyczne” analizowanie zdjęcia pod kątem wystąpienia zmian właściwych gruźlicy. Podobnie jak u ludzi, tak i tu wszystko zależy od metod kształcenia, szkolenia. Obecnie prowadzone są intensywne badania umożliwiające kontrolowanie decyzji na każdym etapie „pracy AI”. Potrzebujemy nowego typu uczenia. AI uczy się tworząc wzorce przez analizowanie przypadków, podobnie jak znachor, który zwykle nie ma pogłębionej wiedzy teoretycznej. Wybiera podobne przypadki, opisane na podstawie określonych badań, które powodują podobne skutki chorobowe. Stąd wnosi o podobnych przyczynach, wskazuje na podobne przewidywania i sugeruje podobny sposób leczenia. Przez analogię, taki system uczenia sprawdza w prawie amerykańskim opartym na *casusach* lub w projektowaniu akcji reklamowych opartych na wzorcach socjologicznych. Ma to jednak mniejsze zastosowanie w medycynie. Kilka tysięcy lat zajęło nam doskonalenie systemu edukacji, przez szkoły, uniwersytety, podręczniki i wynalezienie metod naukowych, abyśmy mogli w pewnym przybliżeniu poznać proces podejmowania decyzji przez innych ludzi. Metody AI rozwijają się od

prostego Perceptronu, przez skomplikowane sieci neuronowe i kolejne inspiracje biologiczne (działanie mózgu). Szybki rozwój możliwości obliczeniowych procesorów i komputerów spowodował, że możemy sobie pozwolić na wielokrotne powtarzanie procesu uczenia, opierając się na dużych zbiorach danych, by w ten sposób uzyskać, pomimo prostoty algorytmu, oczekiwane rezultaty. Jeśli chcemy wykorzystywać sztuczną inteligencję (AI) w różnych obszarach medycyny, które wiążą się z wysokim ryzykiem, konieczne jest opracowanie specjalnych technik uczenia sieci neuronowych. Inspiracją w tym zakresie może być sukces, jaki odniesiono poprzez zwiększenie bezpieczeństwa i efektywności świadczenia usług medycznych, dzięki standaryzacji procedur opartych na konkretnych wytycznych. Wytyczne te, stosowane w określonych dziedzinach i procedurach medycznych, są aktualizowane w oparciu o wnioski płynące z publikowanych badań naukowych. Transparentność metodologii ich tworzenia pozwala na identyfikację ograniczeń w ich stosowaniu oraz stwarza możliwość udoskonalania leczenia poprzez wdrożenie procesu ciągłego doskonalenia opartego na faktach.

### ŚWIAT WARTOŚCI W PRACY AI

Wszystkie stosowane kliniczne systemy informatyczne, szczególnie w infrastrukturze szpitala wyposażonego w roboty i urządzenia automatyczne, powinny osiągać odpowiedni poziom integracji: niezawodność, użyteczność, interoperacyjność (ang. reliability, usability, interoperability). Tylko wtedy będą mogły być skutecznie stosowane, aby odciążyć lekarzy w trybie on-line, dostarczając wiarygodne informacje i kontrolując działania w czasie wykonywanej procedury, wykorzystując protokoły, które mogą być wymieniane „ze zrozumieniem” przez ważne w tym procesie urządzenia. Pomimo postępów we wnioskowaniu przyczynowym AI nie „wyczuwa” skutków decyzji podjętych dla pacjenta. Wielopłaszczyznowa, wieloparametrowa analiza dokonana przez człowieka zawsze będzie konieczna do adekwatnej oceny przypadku chorobowego. Dla pacjenta czy lekarza decyzja robota może mieć wymiar nie tylko prawdy czy fałszu, ale też wyroku bądź wygranej w walce z chorobą.

Wykorzystanie technik ML wiąże się też z wątpliwościami. Ludzie pragną zrozumieć sposób podejmowania decyzji i udoskonalają procesy. To jest zgodne z zasadą bezpieczeństwa – nasze osiągnięcia w zakresie bezpieczeństwa są w znacznej mierze skutkiem jawności i wprowadzanych standardów – algorytmów sukcesu. Wszystkie systemy jakościowe ISO działają na zasadzie otwartości, dokumentowania, przejrzystości. Postęp nie byłby możliwy, gdyby nie możliwość nadzorowania (na każdym etapie) realizacji celów kolejnych zadań. Intuicyjnie czujemy potrzebę uwidocznienia każdego elementu łańcucha, aby uwierzyć, że spełni nasze oczekiwania.

Potrzeba zwrócenia uwagi na problemy etyczne, regulacji i standaryzacji wynika z oceny skutków, czyli ryzyka wprowadzania AI i robotów w medycynie. W tym obszarze organizacje pozarządowe czy redakcje czasopism specjalistycznych zwykle wyprzedzają prawo. Autor artykułu jest zaangażowany w te działania w ramach European Society for Artificial Organs, Międzynarodowego Stowarzyszenia na rzecz Robotyki Medycznej, Polskiego Stowarzyszenia „Sztuczna inteligencja w Medycynie”, Fundacji AI LAW TECH, Digital Innovation Hub Healthcare Robotics HERO i czasopism „AI Surgery” oraz „Medical Robotics Reports”. Na potrzeby tego opracowania warto zacytować rekomendacje opublikowane 22 maja 2019 roku przez Organizację Współpracy Gospodarczej i Rozwoju, (Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD): *Recommendation of the Council on Artificial Intelligence*<sup>4</sup>. Celem ogłaszania rekomendacji jest promowanie odpowiedzialnego zarządzania oraz poszanowanie praw człowieka i wartości demokratycznych, wspieranie innowacji i budowanie zaufania do sztucznej inteligencji, czyli dbałość o jej twórców i użytkowników. Szczegółowe zalecenia obejmują:

(1) **R o z w ó j A I d l a d o b r o b y t u i z r ó w n o w a ż o n e g o r o z w o j u**: sztuczna inteligencja powinna zapewniać dobrobyt ludzkości i przynosić korzyści planecie; zwiększać ludzkie możliwości, rozwijać kreatywność, umożliwiać integrację grup wykluczonych, minimalizować nierówności gospodarcze, społeczne, płciowe i inne.

(2) **K o n c e n t r a c j a n a w a r t o ś c i a c h i c z ł o w i e k u**: oznacza respektowanie praworządności, praw człowieka i wartości demokratycznych (poszanowanie wolności, prywatności, godności człowieka, z uwzględnieniem ochrony danych, sprawiedliwości i równości społecznej).

(3) **T r a n s p a r e n t n o ś ć**: umożliwia uzyskanie przez użytkownika informacji o sposobach działania systemu, logice podejmowania decyzji przez algorytm i czynnikach wpływających na tę decyzję.

(4) **B e z p i e c z e ń s t w o**: AI nie tylko ma zapewnić bezpieczeństwo użytkownikowi, ale także przeciwdziałać wykorzystywaniu jej do nieodpowiednich celów.

(5) **O d p o w i e d z i a l n o ś ć**: twórcy sztucznej inteligencji są odpowiedzialni za prawidłowe funkcjonowanie systemów AI i przestrzeganie zasad etyki<sup>5</sup>.

OECD podkreśla rolę AI dla rozwoju cywilizacji, ale też i ograniczenia wynikające z potrzeby bezpieczeństwa wszystkich uczestników procesu,

<sup>4</sup> Zob. Organisation for Economic Cooperation and Development, *Recommendation of the Council on Artificial Intelligence*, OECD Legal Instruments, <https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/oecd-legal-0449>.

<sup>5</sup> Zob. tamże.

w których jest ona stosowana. Eksperti zalecają, aby systemy miały zabezpieczenia umożliwiające ludziom przejęcie kontroli nad maszyną, gdy zajdzie taka potrzeba. Ważne, aby użytkownikowi przysługiwało prawo wglądu w historię podejmowanych przez algorytmy decyzji oraz zakwestionowania decyzji podjętej przez maszynę.

AI pozwala na poszerzenie wiedzy pacjentów na temat stanu ich zdrowia. Demokratyzacja ochrony zdrowia dzięki technologii jest możliwa, ale związana jest ze zmianami systemowymi i utratą monopolu własności danych przez lekarzy. Rozwój AI wymaga dostępu do wyczerpujących danych, które dzisiaj są rozproszone. Scentralizowany polski system medyczny posiada duży potencjał w tym zakresie. Paradoksalnie jednak zwiększona liczba danych z urzędzeń domowych kontrolujących pacjentów może również zwiększać potrzeby realnych konsultacji (o tym informowali lekarze z MayoClinic, oceniając wzrost „fałszywie?” pozytywnych wykryć migotania przedsionków przez zegarki Apple).

Urządzenia wyposażone w AI są po to, by wspierać personel medyczny. Rosnąca różnica między podażą usług zdrowia a potrzebami tworzy permanentny stan kryzysowy, który objawia się zarówno zmniejszeniem satysfakcji z wykonywanego zawodu przez lekarzy, jak i niepokojącą liczbą błędów medycznych. Ociążenie ich przez outsourcing zadań administracyjnych i analizę danych przez maszyny daje lekarzom szansę na przywrócenie medycynie empatii. Relacje między wykonywaniem usług przez człowieka a rozwojem metod sztucznej inteligencji ujął Eric Topol, wprowadzając pojęcia głębokiej i płytkiej medycyny. „Płytką medycynę” charakteryzuje pośpiech i błędy spowodowane powierzchowną analizą informacji. Właśnie w zakresie analizy informacji AI może znacząco pomóc lekarzom. „Głęboka medycyna”, według Topola, to medycyna skupiona na pełnym, dogłębnym zrozumieniu każdego pacjenta, które trudno osiągnąć bez wsparcia AI<sup>6</sup>.

W modelu medycyny pogłębionej najważniejsza jest empatia, polegająca na utrzymaniu więzi między pacjentem i lekarzami. Wbrew powszechnym opiniom AI może przywrócić czynnik humanistyczny w praktyce medycznej. Właśnie to zrozumienie, wynikające ze wsparcia AI i lekarskiego wywiadu, możliwość nawiązania odpowiednio bliskich i rozłożonych w czasie relacji między człowiekiem-specjalistą a człowiekiem-pacjentem, może zwiększyć empatię lekarza. Choć jednak swoim studentom autor, dla ich bezpieczeństwa i zdrowia zaleca postawę współczucia (zamiast empatii) w relacjach z pacjentem. Zrozumienie drugiego człowieka to coś więcej niż wynik analizy danych pomiarowych.

---

<sup>6</sup> Zob. E. Topol, *Medycyna głęboka. Jak sztuczna inteligencja może ponownie uczynić opiekę zdrowotną ludzką*, red. A. Horzyk, T. Stompór, tłum. A. Boniszewska, ITEM Publishing, Warszawa 2020.

„Eric Topol przypomina, że gdy tworzone przez nas maszyny stają się coraz mądrzejsze i niebawem przejmą od nas większą liczbę zadań, my musimy jeszcze bardziej rozwijać w sobie człowieczeństwo i humanitarność, aby to zrównoważyć. Najgenialniejsze narzędzia AI pomogą nam dowiedzieć się o sobie – o naszych ciałach i umysłach – więcej, niż nam się kiedykolwiek wydawało, ale nie będą empatyczne w stosunku do pacjentów”<sup>7</sup> – podsumował Garry Kasparov (autor książki *Deep Thinking*, mistrz szachowy, który grał z komputerem Deep Blue), komentując książkę Topola.

### AI JAKO INFORMACJA

Żyjemy w przestrzeni informacji, czyli określonym punktom w czasie i przestrzeni możemy przypisać pewne dane, historię. Powracając do inteligencji – jest to nasze osobiste urządzenie do optymalizacji podejmowanych decyzji w wielowymiarowej przestrzeni informacji. Człowieka można również ująć jako zbiór informacji (około 1 terabajt danych w ciągu roku). Jeśli ktoś choruje na cukrzycę czy serce, informacji jest więcej. Analiza danych (ang. big data) odnosi spektakularne sukcesy (i porażki), analizując wpływ leków, diety czy zachowań na skuteczność procesu leczenia. Tam, gdzie kończy się nasza możliwość analizy przyczynowo-skutkowej, stosowania i weryfikowania teorii, ścisłych algorytmów, otwiera się pole dla zastosowania wielowarstwowych, komputerowych sieci neuronowych, samouczenia, czyli sztucznej inteligencji. Jeśli pacjent jest scharakteryzowany przez wyniki badań diagnostycznych oraz opis przebiegu i sposobu leczenia w sposób cyfrowy, to można wykorzystać metody sztucznej inteligencji dla optymalizacji procesu leczenia. Wprowadza się wiele programów doradczych analizujących dane i wspomagających podejmowanie decyzji przez lekarzy. Dzisiaj standardem jest takie wyposażenie programowe do każdej aparatury diagnostycznej. To już stanowi sukces. Jednak nawet superkomputer Watson firmy IBM, który z powodzeniem wygrał kilka popularnych gier i teleturniejów (czyli jest inteligentny), nie wykazał, w sposób jednoznaczny, swojej niezwyklej użyteczności jako diagnostyczne narzędzie doradcze dla celów medycznych. Oznacza to, że ciągle mamy do czynienia ze wspomaganiami przez AI procesu decyzyjnego, a nie zastąpieniem diagnostyki przez oprogramowanie.

W przypadku wątpliwości polegamy nadal na wiedzy i doświadczeniu lekarzy diagnostów. Sztuczna inteligencja powstała po to, aby komunikować maszyny, komputery z ludzką inteligencją. Skoro do tej pory nie mamy

<sup>7</sup> Wypowiedź Garry’ego Kasparova, Księgarnia Internetowa PWN, <https://ksiegarnia.pwn.pl/Medycyna-gleboka,871732290,p.html>.



możliwości użycia sztucznej inteligencji zamiast ludzkiej, to nie możemy usamodzielniać robotów i są one stosowane przez chirurga jako narzędzia chirurgiczne, czyli telemanipulatory. AI „poszerza” jego zmysły, co pozwala mu podejmować trafniejsze decyzje. Chirurg, lekarz, operator jest jednak niezbędnym elementem pętli procesu decyzyjnego.

Sztuczna inteligencja jest testowana w warunkach komunikacji i rywalizacji z człowiekiem. Gra według określonych reguł i kreatywność, związana ze stosowaniem reguł, stanowią idealne środowisko badania stopnia zaawansowania AI. Ada Lovelace, którą uznaje się za pierwszą programistkę i wizjonerkę AI, zwróciła uwagę, że „maszyna analityczna nie ma pretensji do dawania początku czemukolwiek, bo wykonuje wszystko, co jej polecimy”, a „kreatywność to dążenie do czegoś nowego, zaskakującego i wartościowego”, i „łatwo jest stworzyć coś nowego [...] trudniej stworzyć zaskoczenie i wartość”<sup>8</sup>. Lovelace znana jest przede wszystkim z publikacji na temat mechanicznego komputera Charlesa Babbage’a. Pierwsze programy matematyczne służyły do programowania maszyn włókienniczych. Anglia, uznawana za kolebkę przemysłu, była miejscem powstania pierwszych programów kontrolujących maszyny.

Kreatywność wymaga ryzyka i poniesienia skutków błędów. Dlatego gra między maszyną a człowiekiem wydaje się obiektywnym ringiem, miejscem starcia sztucznej i naturalnej inteligencji. W 1997 roku program Deep Blue firmy IBM pokonał mistrza szachowego. W 2016 roku AlphaGo firmy DeepMind pokonał mistrza gry w go Lee Sedola. Nowy program AlphaZero to wszechstronny algorytm uczący się od zera. Z kolei zespół Google’a (firma zakupiła w 2014 roku DeepMind) skupił się na projekcie MIZAR, którego celem jest zbudowanie biblioteki dowodów zapisanych w formalnym języku, który komputer mógłby zrozumieć i sprawdzić. Pomysłodawcą tego projektu jest polski matematyk Andrzej Trybulec<sup>9</sup>.

## AI I BADANIA MÓZGU

Komputery lepiej radzą sobie z dowodzeniem twierdzeń matematycznych niż rozpoznawaniem obrazu; z logiką niż kojarzeniem obrazów, logika bowiem oparta jest na prostym zbiorze reguł. Człowiek znajduje wyjście z zaskakującego problemu na podstawie generalizacji wcześniejszych doświadczeń. Pierwsze programy ekspertowe (na przykład MYCIN rozpoznający bakterie odpowiedzialne za choroby zakaźne czy CYC, którego celem było skodyfi-

<sup>8</sup> Cyt. za: M. du Sautoy, *Kod kreatywności. Sztuka i innowacje w epoce sztucznej inteligencji*, tłum. T. Chawziuk, Copernicus Center Press Kraków 2020, s. 8, 13.

<sup>9</sup> Por. tamże, s. 46, 258-261, 276.

kowanie ludzkiego rozsądku, opierały się na zbiorze reguł. Ekspert musieli dostarczyć informacji na temat faktów i reguł. System musiał być uaktualniany na podstawie nowych faktów, był nieskalowalny. W latach pięćdziesiątych dwudziestego wieku rozpoczęto badania mózgu. Pionierskie prace Alana Hodgkina, Andrew Huxleya (przepływ impulsów „albo nic”) oraz Bernarda Katza (działanie synaps w komunikacji neuronów oparte na przetwarzaniu sygnałów elektrycznych na sygnały chemiczne) tworzyły bazę wiedzy o mózgu. W latach osiemdziesiątych dwudziestego wieku obok grupy zajmującej się sztuczną inteligencją opartą na logice (funkcjonalizm) pojawiła się grupa matematyków i inżynierów inspirowana biologiczną budową mózgu oraz koncepcją „sieci neuronowych”, równoległego przetwarzania rozproszonego, logiki rozmytej. Do tej ostatniej należał Terrence Sejnowski<sup>10</sup>.

Sejnowski jest w gronie fizyków usiłujących wykorzystać prawa teorii kwantowej do badania tajemnic mózgu. Nasza inteligencja tworzyła się w procesie ewolucji. Każda istotna reakcja w komórce wykształciła enzym, którego celem jest katalizowanie tej reakcji. W naturze występuje pewien zakres inteligentnych zachowań, na których przykładzie mogą uczyć się sztuczne systemy – tym zajmuje się biologia algorytmiczna. Głębokie uczenie polega na optymalizowaniu funkcji strat. Odwrotność funkcji strat w ewolucji nazywa się dostosowaniem. W mózgu to potrzeba pożywienia, ciepła, bezpieczeństwa, tlenu czy rozmnażania pełni właśnie taką rolę przyrodzonej funkcji strat. W uczeniu ze wzmocnieniem podejmuje się działania w celu zoptymalizowania przyszłych nagród. Dopiero wprowadzenie tych rozwiązań przyczyniło się do rozwoju rozpoznawania obrazów (wzorców) przez automaty<sup>11</sup>.

## AI I MODELOWANIE

Kosmos i medycyna są obszarami badań, w których modelowanie, symulacje odgrywają ważną rolę, a często są jedyną możliwością. Próbuje się odtworzyć najistotniejsze cechy układu rzeczywistego w postaci modelu matematycznego lub fizycznego (modelowanie). Na tej podstawie możemy też tworzyć symulatory służące do badań. Obecnie najpopularniejsze są symulacje komputerowe (symulatory w postaci programów komputerowych). Z drugiej strony ze względu na oczywistą trudność w eksperymentowaniu na żywym organizmie opieramy dzisiaj standardy i wytyczne medyczne w dużej mierze na badaniach statystycznych.

<sup>10</sup> Por. T. J. S e j n o w s k i, *Deep Learning. Głęboka rewolucja*, tłum. P. Cypryański, Wydawnictwo Poltext, Warszawa 2019, s. 47-49.

<sup>11</sup> Por. tamże, s. 43-102.

Metody sztucznej inteligencji przetwarzające informacje, sygnały, obrazy są w jakimś sensie modelem funkcjonalnym mózgu, w większym lub mniejszym uproszczeniu. Znane są ograniczenia stosowania modeli, również sieci neuronowe i AI mają swoje ograniczenia. Idea modelowania zyskała określenie „testu na bliźniaku pacjenta”, ponieważ dostępne dane diagnostyczne pozwalają na budowanie, w znacznej mierze przybliżonych do oryginału, modeli spersonalizowanych, konkretnego pacjenta. „Działając na nim”, możemy otrzymać nie ogólne, ale szczegółowe rozwiązanie, dopasowane do danych pozyskanych od konkretnej osoby.

W przyszłości jako potencjalni pacjenci będziemy mieli swój model, symulator, czyli swojego „bliźniaka” obejmującego genotyp, fenotyp, historię i skutki chorób czy urazów. Lekarze będą mogli testować na tym modelu – bliźniaku – potencjalne korzyści i niebezpieczeństwa wynikające ze stosowania różnych metod leczenia, stosowania leków, a przeprowadzenie operacji na bliźniaku ułatwi odpowiednie zaplanowanie operacji właściwej. Będzie można dokładnie rozplanować wybór materiałów i urządzeń, a nawet zespołu medycznego oraz przećwiczyć konkretne ruchy i czynności chirurgiczne podczas zabiegu.

Modelowanie fizyczne i symulacje komputerowe były podstawowymi narzędziami weryfikacji poprawności realizacji założeń dotyczących tworzenia sztucznego serca i robota chirurgicznego w ramach prowadzonych projektów przez autora. Projektowana konsola sterowania telemanipulatorem chirurgicznym zawierała monitor z funkcją bierną i aktywną doradztwa. Bierna rada to oczywiście dostęp do danych diagnostycznych, odpowiednio mapowanych na obraz pola operacyjnego, a aktywna – to próba oceny skutku, prognozy, odpowiedniego ruchu oraz czynności narzędzia chirurgicznego. Wirtualna sala operacyjna służy do planowania operacji. Chirurg przyszłości będzie mógł pracować, obserwując nie naturalny widok pola operacji, ale przetworzony, w którym każdy punkt jest aktualizowanym zbiorem informacji diagnostycznych, fizycznych i geometrycznych. Chirurg robotyczny wyposażony w AI będzie pracował jak pilot, który nie potrzebuje bezpośredniego dostępu do naturalnego widoku lotniska, żeby bezpiecznie wylądować.

Sztuczna inteligencja jest elementem robotyki. Pojęcie robota wywodzi się z pragnienia upodobnienia maszyny do człowieka. Warto tu wspomnieć o nowej dziedzinie o nazwie robonomika (połączenie dwóch wyrazów: robotyka i ekonomika), która zajmuje się robotami rozumianymi jako oprogramowanie (ang. software). Chodzi o automatyzację określonych czynności wykonywanych przez mózg człowieka, niejako na wzór aktywności mechanicznej (na przykład zdolności związanych ze sterowaniem pojazdem przez człowieka).

Człowiek nie tylko wykorzystuje technologię, ale jest też uwikłany w technologiczne związki. Telemedycyna, czyli technika przesyłania informacji na

odległość o treści medycznej staje się niezbędnym elementem świadczenia usług ochrony zdrowia. Nie dyskutując z wagą informacji we właściwym miejscu i czasie, trzeba jednak dodać, że informacja nie leczy. Jednak zła informacja, błędna, jest niebezpieczna i w konsekwencji przyczynia się do szkody pacjenta. Terapia wymaga zastosowania leków lub czynności, zabiegów medycznych, aby można było wykonywać zabiegi medyczne, potrzebne są narzędzia i maszyny.

Jednym z ciekawych aspektów w zakresie relacji człowiek–maszyna jest robot chirurgiczny. To nowe narzędzie w ręku chirurga. Zanim zacznie być samodzielny, autonomiczny, pozostaje telemanipulatorem w ludzkich rękach. Ingerując w ciało pacjenta chirurg próbuje usunąć skutki choroby albo urazu, naprawić lub usprawnić działanie narządów pacjenta. Chirurg posiada i stosuje narzędzia powodujące zwykle skutki nieodwracalne. Tego rodzaju działanie to uboczna konsekwencja działalności lekarza. Jednak w przypadku porażki chirurga, na etapie decyzyjnym lub na etapie wykonania, lekarz wpływa negatywnie na los pacjenta. Każda ingerencja w standardy chirurgii, w tym wprowadzanie autonomiczności narzędzi decyzyjnych (AI), a tym bardziej wykonawczych (MR AI), jest działaniem o najwyższym stopniu ryzyka. Im mniejsza inwazyjność operacji, tym częściej decydujemy się na operowanie z mniejszym dostępem do informacji i mniejszym zakresem możliwości bezpośredniego oddziaływania na całe pole operacji. Dlatego w chirurgii mini-inwazyjnej rola stosowanych narzędzi jest kluczowa, zarówno narzędzi do operowania, jak i narzędzi umożliwiających decydowanie o podjęciu lub zaniechaniu określonych działań chirurgicznych.

Człowiek, operator robota chirurgicznego, może być traktowany jako element systemu sterowania powiązany przez system informatyczny i działanie układu elektromechanicznego robota z narzędziem wykonawczym. Bierzymy tu pod uwagę zarówno przetwarzanie informacji w mózgu, jak i zależną od niego koordynację ruchową precyzyjnego sterowania poprzez interfejsy robota<sup>12</sup>.

Według Richarda Satavy robot chirurgiczny to dziś bardziej narzędzie informatyczne, aniżeli mechaniczne. Robot nie jest maszyną, lecz urządzeniem informatycznym i stwarza duże możliwości integracji całego systemu diagnostycznego z wykonawcą<sup>13</sup>. „Przyszłość technologii i medycyny nie leży w krwi i jelitach, ale w bitach i bajtach”<sup>14</sup>. W ten sposób Richard Satava, chirurg

<sup>12</sup> Por. Nawrat, dz. cyt., s. 727-760.

<sup>13</sup> Por. R.M. Satava, *Future Directions in Robotic Surgery*, w: *Surgical Robotics: Systems Applications and Visions*, red. J. Rosen, B. Hannaford, R.M. Satava, Springer, New York – Dordrecht – Heidelberg – London 2011, s. 3-11.

<sup>14</sup> R.T. Sant'Anna i in., *Robotic Systems in Cardiovascular Surgery*, „Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular” 19(2004) nr 2, s. 171 (<https://www.scielo.br/j/rbcecv/a/GDNJJkcTGxDZVc-fj8cxhxgR/?lang=en>). Tłum. fragm. – Z.N.

z Uniwersytetu Waszyngtońskiego, który kierował pierwszym projektem robota chirurgicznego finansowanym przez Agencję Zaawansowanych Projektów Badawczych Obrony USA (The Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA), podsumował swoje wieloletnie doświadczenie i wizje przyszłości chirurgii.

Kevin Warwick, nazywany przez dziennikarzy „pierwszym cyborgiem”, jako pierwszy człowiek wszczepił sobie pod skórę mikronadajnik, prowadzi również badania nad bezpośrednim połączeniem człowieka z maszyną, czyli robotami z biologicznymi mózgzami. Ludzkie ciało może przy wsparciu takiej technologii pokonać kolejne ograniczenia i zrealizować bardziej zaawansowane cele. Jednak Warwick zwraca uwagę, że zwykli ludzie „zostaną w tyle” w konkurencji z cyborgami<sup>15</sup>.

AI jest elementem lub zarządcą systemu sterowania, oprogramowania kontrolującego robota. Przy tworzeniu oprogramowania powinny być zastosowane zasady ergonomii, których celem jest zapewnienie skuteczności, wydajności i zadowolenia użytkownika.

Omawiając relacje człowiek–robot, należy wspomnieć o robotach ubieralnych, egzoszkieletach, stosowanych w rehabilitacji. Kolejną grupą robotów budowanych z myślą o uczestniczeniu w powszednim dniu człowieka są roboty socjalne, opiekuńcze. Dobry robot „rozumie” intencje użytkownika, uczy się, wykorzystując różne drogi komunikacji (sensory jak zmysły). Sztuczna inteligencja pełni niezbędną rolę protezy cybernetycznej. W tym ujęciu cybernetyka to nauka o sterowaniu, pozyskiwaniu i przekształcaniu informacji w człowieku i w urządzeniu. Tym bardziej istotna, gdy człowiek zespolony jest fizycznie z urządzeniem.

## ETYKA ROBOTÓW

Sto lat temu czeski pisarz Karel Čapek w sztuce *R.U.R. Rossum's Universal Robots* po raz pierwszy użył słowa „robot”<sup>16</sup>. Roboty pojawiły się na literackiej scenie, aby prowokować pytania dotyczące przyszłości świata i odpowiedzialności człowieka (za ten świat oraz jego mieszkańców). Sformułowane siedemdziesiąt lat temu przez Isaaca Asimova prawa robotyki wskazywały jako naczelną zasadę nadrzędności człowieka nad robotem, a w przypadku konfliktu nadrzędność wykonania zadania przez robota mniej „inteligentnego”

<sup>15</sup> Por. K. Warwick, *The Diminishing Human-Machine Interface*, „Medical Robotics Reports” 2(2013), s. 4-11.

<sup>16</sup> Zob. K. Čapek, *R.U.R. Rossum's Universal Robots*, tłum. M.M. Lemańczyk, Fundacja Nowoczesna Polska, Warszawa 2021.

w stosunku do robota wyposażonego w pełniejszy system oceny środowiska pracy. Moglibyśmy przyjąć za regułę główną zasadę nadrzędności człowieka nad AI. Niepokoi jednak – znana w relacjach międzyludzkich (nawet politycznych) – optymalizacja ryzyka, kwestia zachowania bezpieczeństwa, „obrona pokoju” przez danie pierwszeństwa mniej inteligentnym systemom<sup>17</sup>.

Etyka milcząco zakłada bezpośredni kontakt człowieka z człowiekiem. Nasze sumienie, empatia inaczej w sytuacji braku bezpośredniego kontaktu z bliźnim. Posiadane środki techniczne będą pozwalały na coraz większy wpływ na otoczenie, mnożąc możliwości, ale również ryzyko. Dzięki robotyzacji procesu leczenia możliwe jest leczenie na odległość. Na otrzymany efekt ma wpływ cały wielu ludzi (na przykład inżynierów, administratorów, ekonomistów) i zdarzeń losowych. Jakie będą skutki powiązania długości i jakości ludzkiego życia ze środkami technicznymi? Niegdyś oceniano jakość życia miarą dostępności do dobrej wody i pożywienia, dzisiaj dodajemy do tego dostęp do energii elektrycznej i informacji. Wiemy, że jednostka jest silnie powiązana z otoczeniem społecznym (globalnym) i technicznym. Obiektywne, proste modele symulacyjne podpowiadają, jak istotne w skali istnienia cywilizacji są obecnie podejmowane decyzje na poziomie domu, firmy, państwa. Poszukując mistrzów i prawd ułatwiających orientację w tej sytuacji, warto wrócić do Immanuela Kanta. Zaproponowany przez niego imperatyw kategoryczny nie stracił na aktualności: „Postępuj wedle takiej tylko maksymy, dzięki której możesz zarazem chcieć, żeby stała się powszechnym prawem”<sup>18</sup>. Podobnie jak praktyczne rozwinięcie imperatywu: „Postępuj tak, byś człowieczeństwa tak w twej osobie, jako też w osobie każdego innego używał zawsze zarazem jako celu, nigdy tylko jako środka”<sup>19</sup>. Poszanowanie godności człowieka, człowieczeństwo powinny być uwzględniane zarówno w rachunku ekonomicznym, jak i w praktyce społecznej, nawet wtedy lub szczególnie wtedy, gdy mamy do czynienia z informatyzacją i robotyzacją praktycznej działalności ludzkiej.

Dzięki harmonijnemu rozwojowi nauk technicznych i biologicznych oraz ich rozsądnemu wdrażaniu możemy wpływać na ewolucję gatunków i jakość życia na Ziemi. Sztuczna inteligencja jest częścią tej ewolucji. Skoro jest to element zarządzania na poziomie organów, organizmu, procedur medycznych na ciele, zarządzania szpitalem czy państwem – należy wprowadzić kryteria etyczne uzgodnione ze wszystkimi ludźmi<sup>20</sup>. Roboty muszą szanować prawa,

<sup>17</sup> Z. N a w r a t, *Etyka ery sztucznych narządów*, w: *Etyka wobec współczesnych wyzwań*, red. A. Bobko, Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów 2013, s. 39-50.

<sup>18</sup> I. K a n t, *Uzasadnienie metafizyki moralności*, tłum. M. Wartenberg, PWN, Warszawa 1981, s. 50.

<sup>19</sup> Tamże, s. 62.

<sup>20</sup> Por. Z. N a w r a t, *The Ethics of Artificial Organs*, w: *Implant Expert*, red. Z. Nawrat, M-Studio, Zabrze 2011, s. 127-135.

które zostaną im wskazane. Robot „żyje” w ignorancji (o co podejrzewał też ludzi już Sokrates i Platon), ale w szczególnej sytuacji możemy sobie wyobrazić, że „jego” „decyzje” mogą nam pomóc. W końcu wielu z nas będzie mogło liczyć za jakiś czas tylko na pomoc opiekuńczego robota. Czy robot może wyróżniać się niektórymi cnotami? Czy powinniśmy budować świadomość robota, aby kontrolowała proces decyzji? Kant uważał, że życzliwość człowieka nie zależy od efektów jego działań, ponieważ istnieje zbyt wiele czynników, które na te działania wpływają, a na które nie mamy wpływu. Rozwój dobrej woli jest najważniejszym celem człowieka. Natomiast ocena robota zależy wyłącznie od efektów jego działań. Celem działania maszyny jest najlepsze dopasowanie do potrzeb człowieka, dostosowane i zoptymalizowane do konkretnych zadań. Działanie zgodne z etyką utylitaryzmu oznacza, że tylko wyniki lub konsekwencje danego czynu decydują o jego wartości moralnej. Roboty nie są ani bardziej, ani mniej moralne niż ich twórcy. Wydaje się, że etyka sytuacyjna podpowiada najprostsze rozwiązanie – podejmowanie decyzji powinno opierać się na przewidywaniu konsekwencji danego czynu<sup>21</sup>. W końcu predykcyjność jest jednym z podstawowych zadań dla AI.

Czy jesteśmy gotowi mieć wokół siebie roboty? Czy możemy im ufać bardziej niż naszym ludzkim sąsiadom? Obecnie testowane są na drogach autonomiczne pojazdy w USA. Testowane są też kryteria odpowiedzialności. W robotyce medycznej ważny jest fakt bezpośredniego kontaktu z ciałem pacjenta, bezpośredni wpływ na życie człowieka, którym opiekuje się robot. Daje to zestaw wyzwań projektowych i wyzwań komunikacyjnych. Komunikacja i możliwość popełniania błędów prowokują do stawiania pytań. Odpowiedzi wymagają analizy pod względem etycznym. Wizja, w której roboty mogłyby być partnerami starszych i niedołączonych pacjentów, bardzo nas fascynuje. Robot osobisty powinien zapewniać bezpieczeństwo i poziom wolności człowieka<sup>22</sup>. Populacja świata sięga już ośmiu miliardów. Towarzyszy nam niezliczona liczba żywych organizmów i kilka milionów coraz bardziej inteligentnych robotów. Robotyka medyczna będzie odgrywać kluczową rolę w przyszłości społeczeństw. Jednak rola ta nie jest pozbawiona wielu wątpliwości i kontrowersji. Inteligentne i samoświadome roboty niedługo staną się członkami (elementami) ludzkiego społeczeństwa<sup>23</sup>.

<sup>21</sup> Z. Nawrat, M. Kawałski, *Questions about a New Ethics – Ethics of Medical Robots Era*, „Medical Robotics Reports” 2(2013), s. 22-25.

<sup>22</sup> Zob. Z. Nawrat, M. Kawałski, *Ethics – Challenges and Questions in Personal and Medical Robotics*, w: *Etyka wobec współczesnych wyzwań*, red. A. Bobko, Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów 2013, s. 61-70.

<sup>23</sup> Por. Nawrat, *The Ethics of Artificial Organs*, s. 127-135.

## ROBOTY MEDYCZNE

Można z powodzeniem opisać historię człowieka przez historię jego narzędzi. Wyobraźmy sobie, że obiektem analizowanym jest człowiek z narzędziem w dłoni. Taka hybryda biologiczno-techniczna. Roboty i AI to po prostu kolejny krok w ewolucji. Czy człowiek musi się oswajać ze swoimi wytworami? AI powstało z inspiracji naturą i obecnie rozwija się, kontynuując naśladowanie pracy mózgu. Algorytmy genetyczne i sztuczna ewolucja próbują zastosować teorię ewolucji Karola Darwina do AI. Sztuczna ewolucja działa na populacji żywotnych genotypów (chromosomów), które są krzyżowane pod presją selekcyjną, podobnie jak w standardowej genetyce. W rezultacie pojawiają się bardziej ewolucyjnie uprzywilejowane architektury sterowania. Połączenie tych innowacyjnych technik spowoduje rozwój robotów, które uczą się, pamiętają, podlegają ewolucji.

Jeśli tylko uda się rozbić każde z zadań usług medycznych na proste, powtarzalne czynności czy decyzje i będziemy potrafili je zalgorytmizować, to będzie można zlecić te zadania urządzeniom, komputerom, robotom. Trzeba dobrze zrozumieć składowe procesy wykonywania danej usługi medycznej i obiektywnie opisać „ścieżki realizacji” – będziemy musieli tego nauczyć sztuczną inteligencję. Przez praktykowanie w relacji mistrz–uczeń, przez próby dążenia do doskonałości, uzyskuje się odpowiednie kwalifikacje. Uczucie maszynowe może pełnić podobną rolę jak doskonalenie studenta-praktykanta w czasie szkolenia w szpitalu. Nie należy się tego bać, ponieważ podobnie jak w przypadku szkolenia ludzi, tak i w przypadku ML oraz AI możemy, jeśli nie spełniają zdefiniowanych standardów, wykluczyć je z systemu. To człowiek włącza i wyłącza AI. Przynajmniej tak powinno być.

Do tej pory urządzenia i narzędzia medycyny były zorientowane na wykonawców usług, czyli na lekarzy i pielęgniarki. Obecnie mogą być zorientowane na pacjenta. To zmiana sposobu wykonywania usług medycznych. To także inne podejście projektowe – zasada ergonomicznego dopasowania narzędzia do użytkownika. Tarka do prania jest zorientowana na człowieka (musi być ergonomiczna i dobrana do praczki, czyli człowieka pracującego przy jej pomocy), zaś pralka automatyczna (posiadająca algorytmy sterowania oparte na AI śledzi nasze przyzwyczajenia, sama dobiera wagę i procedurę do materiału) jest zorientowana na pranie. W ten sposób wchodzimy w realizację nowego paradygmatu wykonywania usług medycznych. Od pacjent<math>\leftrightarrow</math>lekarz, przez pacjent>technologia>lekarz, do pacjent>technologia zdrowia, w którym to systemie lekarz pełni jedynie rolę kontrolną i innowacyjną. Wyzwania przyszłości nie będą wcale mniejsze niż te, które spotkały nasze pokolenie. Kreatywność, nauka będą niezbędne dla utrzymania dobrostanu jak największej liczby ludzi oraz rozwoju usług medycznych i opiekuńczych. Brakuje milionów pracow-



ników usług zdrowia, by utrzymać obecny poziom sprawowanej pomocy medycznej. Oczekiwania i potrzeby są znacznie większe. Kontakt kompetentnego pracownika z pacjentem, czyli relacja człowieka z człowiekiem ciągle jest wyznacznikiem komfortu w czasie, gdy mamy problemy zdrowotne. Automatyzacja sprzyja medycynie, bo uwalnia zasoby ludzkie do pełnienia chyba najważniejszej roli – udzielania pomocy człowiekowi i sprawowania opieki medycznej. Już w niedalekiej przyszłości większość zatrudnionych będzie pracowała w usługach zdrowia. Bo rzeczy naprawdę wielkie robimy z ciekawości, a rzeczy ważne – z potrzeby pomocy drugiemu człowiekowi. Lecząc chorego, przywracając go do życia i odczuwania radości, dajemy „wolność pominiętym”<sup>24</sup>. W medycynie nie chodzi o to, by żyć najdłużej, tylko by każdy miał szansę je przeżyć – wbrew chorobom, wypadkom czy innym zdarzeniom losowym. Stąd konieczność prowadzenia prac nad rozwojem robotów w medycynie.

To, co tworzymy, powinno spełniać zarówno kryteria piękna (sztuka), dobra (działalność publiczna), prawdy (nauka), jak i użyteczności (wynalazczość). Lekarz podejmuje decyzje, posiadając ograniczony zasób wiedzy dotyczący danego pacjenta. Dzięki wsparciu diagnozy i aktualizowanym analizom danych podczas zabiegu przez systemy AI zmniejszy się ryzyko popełnienia błędu. Medycyna oparta na AI i faktach będzie z założenia spersonalizowana (albo przez AI skolonizowana). Im mniejszy dostęp do informacji, im przykładowo mniejsza inwazyjność operacji, tym bardziej wzrasta rola sztucznej inteligencji.

Roboty medyczne stanowią jedyną szansę na spełnienie w niedalekiej przyszłości szerokiego, demokratycznego dostępu do dobrej jakości usług w zakresie opieki zdrowia. Zachodzące zmiany demograficzne, brak właściwej liczby personelu medycznego i konieczność podnoszenia standardów wykonywanych usług w szpitalach, przychodniach oraz w domach potrzebujących pomocy, to trendy światowe, które wymuszają większe zaangażowanie w dziedzinę robotyki medycznej, w tym w rozwój sztucznej inteligencji. Dzięki harmonijnemu rozwojowi nauk technicznych i biologicznych oraz ich rozsądnemu wdrażaniu będzie możliwość wpływania na ewolucję gatunków i jakość życia na Ziemi. Roboty i sztuczna inteligencja to tylko kolejne przystanki (techno)ewolucji. W znacznej mierze o jakości naszego życia już dzisiaj decydują roboty (roboty przemysłowe). Jednak wszystko wskazuje na to, że roboty medyczne (w tym sztuczna inteligencja) są niezbędne dla człowieka w przyszłości. R o b o t y

---

<sup>24</sup> Z. N a w r a t, *Dlaczego rzeczy naprawdę wielkie robimy z ciekawości, a rzeczy naprawdę ważne z potrzeby pomocy drugiemu człowiekowi?*, w: *Wystąpienia i wykłady inauguracyjne rok akademicki 2020/2021*, Instytut Problemów Współczesnej Cywilizacji im. Marka Dietricha, Warszawa 2021, s. 112-113.

będą stróżami jakości naszego życia. Staną się niezbędne jak bieżąca woda i Internet; będą gwarancją bezpiecznej przyszłości homo sapiens. Dlatego, w odpowiedzi na pojawiające się wyzwania, medycyna jest sceną pojawienia się (wykluwania) i tworzenia (wykuwania) się etosu robotów. Mogą one stać się dla nas szansą na uwolnienie się od wielu ograniczeń człowieka zdrowego i chorego. Roboty – czy też ogólnie: innowacje – powstają, aby pomnażać wolność człowieka.

Na zakończenie można się odnieść do myśli Jana Pawła II na temat efektów ludzkiej pracy. Jeżeli traktować usługę medyczną jako przejaw miłości bliźniego (zarówno jako cel pracy, jak i sposób jej realizacji), to tworzenie narzędzi podnoszących jakość i ułatwiających dostęp do pomocy medycznej jest ze wszech miar godnym pracy celem. Zgodnie z duchem i słowem encykliki *Laborem exercens* odślaniamy nowe znaczenia pracy ludzkiej w kontekście wykorzystania AI. Znajdziemy ślady prognozujące sposób przyjęcia, akceptacji, tych nowych narzędzi człowieka w słowach Jana Pawła II, bo roboty są najbardziej zaawansowanym osiągnięciem techniki, a ona stanowi przecież „zrodzony z myśli ludzkiej sprzymierzeniec pracy człowieka”<sup>25</sup>. „Technika rozumiana w tym wypadku nie jako podmiotowa umiejętność czy sprawność pracy, ale jako zespół narzędzi, którymi człowiek posługuje się przy pracy, jest niewątpliwie sprzymierzeńcem człowieka. Ułatwia mu pracę, usprawnia ją, przyspiesza i zwielokrotnia [...] Tak więc owocem pracy jest wszystko to, co ma służyć pracy, co stanowi – przy dzisiejszym stanie techniki – jej rozbudowane «narzędzie»”<sup>26</sup>. Wszystkie nadzieje i ryzyka związane z upowszechnieniem i nadaniem specjalnej roli robotyce i AI są związane z tym, że wykonują one realną pracę, a „praca ludzka stanowi klucz, i to chyba najistotniejszy klucz, do całej kwestii społecznej, jeżeli staramy się ją widzieć naprawdę pod kątem dobra człowieka”. Jan Paweł II zwrócił uwagę, że problem pracy musi być ciągle uwspółcześniany, bo decyduje o godności i warunkach życia człowieka (tu i teraz). Robot (w tym sztuczna inteligencja) jest narzędziem, wybitnym osiągnięciem ludzkiej pracy i jego niezwykłość, ryzyko, polega na tym, że może wykonywać pracę samodzielnie. Czyli ma nie tylko czysto praktyczne znaczenie (profesjonalne) ale również społeczne (socjologiczne i filozoficzne). Stoi przed nami zatem obecnie wyzwanie: jak umiejętnie korzystać z narzędzi, które wiążą się z robotami medycznymi i AI.

<sup>25</sup> Jan Paweł II, Encyklika *Laborem exercens*, nr 5, [https://www.vatican.va/content/john-paul-ii/pl/encyclicals/documents/hf\\_jp-ii\\_enc\\_14091981\\_laborem-exercens.html](https://www.vatican.va/content/john-paul-ii/pl/encyclicals/documents/hf_jp-ii_enc_14091981_laborem-exercens.html).

<sup>26</sup> Tamże.

## BIBLIOGRAFIA / BIBLIOGRAPHY

- Čapek, Karel. *R.U.R.: Rossum's Universal Robots*. Translated by Martyna M. Le-  
mańczyk. Warszawa: Fundacja Nowoczesna Polska, 2021.
- Encyklopedia Polskiego Wydawnictwa Naukowego*, s.v. "Praca." <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/praca;3961600.html>.
- Jan Paweł II. Encyklika *Laborem exercens*. [https://www.vatican.va/content/john-paul-ii/pl/encyclicals/documents/hf\\_jp-ii\\_enc\\_14091981\\_laborem-exercens.html](https://www.vatican.va/content/john-paul-ii/pl/encyclicals/documents/hf_jp-ii_enc_14091981_laborem-exercens.html).
- Kant, Immanuel. *Uzasadnienie metafizyki moralności*. Translated by Mściśław War-  
tenberg. Warszawa: PWN, 1953.
- Kaku, Michio. *Wizje czyli jak nauka zmieni świat w XXI w.* Warszawa: Prószyński  
i S-ka, 2000.
- Nawrat, Zbigniew. "Dlaczego rzeczy naprawdę wielkie robimy z ciekawości, a rzeczy  
naprawdę ważne z potrzeby pomocy drugiemu człowiekowi?" In: *Wystąpienia  
i wykłady inauguracyjne: rok akademicki 2020/2021*. Warszawa: Instytut Proble-  
mów Współczesnej Cywilizacji im. Marka Dietricha, 2021.
- . "Etyka ery sztucznych narządów." In: *Etyka wobec współczesnych wyzwań*.  
Edited by Aleksander Bobko. Rzeszów: Uniwersytet Rzeszowski, 2013.
- . "Roboty medyczne w systemach teleinformatycznych." In *Informatyka  
w medycynie*. Edited by Marek Kurzyński et al. Warszawa: Akademicka Oficyna  
Wydawnicza Exit, 2019.
- . "The Ethics of Artificial Organs." In *Implant Expert*. Edited by Zbigniew  
Nawrat. Zabrze: M-Studio 2011.
- Nawrat, Zbigniew, and Marcin Kawalski. "Ethics – Challenges and Questions in Per-  
sonal and Medical Robotics." In *Etyka wobec współczesnych wyzwań*. Edited by  
Aleksander Bobko. Rzeszów: Uniwersytet Rzeszowski, 2013.
- . "Questions about a New Ethics – Ethics of Medical Robots Era." *Medical  
Robotics Report* 2(2013): 22–25.
- Organisation for Economic Cooperation and Development. *Recommendation of the  
Council on Artificial Intelligence*. OECD Legal Instruments. <https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/oecd-legal-0449>.
- Raporty OECD. [https://www.oecd-ilibrary.org/\\_Etyczna-Sztuczna-Inteligencja-rekomendacje-OECD.pdf](https://www.oecd-ilibrary.org/_Etyczna-Sztuczna-Inteligencja-rekomendacje-OECD.pdf).
- Sant'Anna, Roberto T., et al. *Robotic Systems in Cardiovascular Surgery*. "Revista  
Brasileira de Cirurgia Cardiovascular" 19, no. 2 (2004): 171–8. <https://www.scielo.br/j/rbccv/a/GDNJJkcTGxDZVcfj8cxhxgR/?lang=en>.
- Satava, Richard M. "Future Direction in Robotic Surgery." In *Surgical Robotics.  
System application and Visions*. Edited by Jacob Rosen, Blake Hannaford, and  
Richard M. Satava. New York, Dordrecht, Heidelberg and London: Springer,  
2011.
- du Sautoy, Marcus. *Kod kreatywności: Sztuka i innowacje w epoce sztucznej inteli-  
gencji*. Kraków: Copernicus Center Press, 2020.

- Sejnowski, Terrence J. *Deep Learning: Głęboka rewolucja*. Translated by Piotr Cypriański. Warszawa: Wydawnictwo Poltext, 2019.
- Topol, Eric. *Medycyna głęboka: Jak sztuczna inteligencja może ponownie uczynić opiekę zdrowotną ludzką*. Edited by Adrian Horzyk and Tomasz Stompór. Translated by Anna Boniszewska, Warszawa: ITEM Publishing, 2020.
- Warwick, Kevin. "The Diminishing Human-Machine Interface." *Medical Robotics Reports* 2 (2013): 4–11.
- [*Wykonywanie zawodu lekarza*] – *Zawody lekarza i lekarza dentystry*. Dz.U.2021.790 Art. 2. <https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzu-dziennik-ustaw/zawody-lekarza-i-lekara-dentystry-16798282/art-2>.

## ABSTRAKT / ABSTRACT

Zbigniew NAWRAT – Medycyna i ethos robotów

DOI 10.12887/36-2023-4-144-12

W artykule autor analizuje zagadnienie medycyny innowacyjnej opartej na inteligentnych urządzeniach oraz relacjach między głównymi bohaterami tych (r)ewolucyjnych zmian: sztucznej inteligencji i robotyce. Do tej pory urządzenia i narzędzia medycyny były zorientowane na wykonawców usług. Obecnie urządzenia są elementem bezpośredniej relacji między lekarzem i pacjentem. W przyszłości będzie to relacja między pacjentem a robotem. Robot (w tym sztuczna inteligencja) jest narzędziem, które jest ważnym osiągnięciem ludzkiej pracy. Ryzyko związane z jego działaniem wiąże się z tym, że może on wykonywać pracę samodzielnie. Wykorzystanie robotów medycznych daje szansę na spełnienie (w niedalekiej przyszłości) szerokiego, demokratycznego dostępu do dobrej jakości usług w zakresie terapii i szybkiego powrotu do zdrowia. We współczesnej medycynie w coraz większym stopniu docenia się rolę robotów. Roboty poszerzają zakres ludzkiej wolności.

Słowa kluczowe: sztuczna inteligencja (AI), uczenie maszynowe (ML), roboty, roboty medyczne (MR)

Kontakt: Zakład Biofizyki, Wydział Nauk Medycznych w Zabrze, Śląski Uniwersytet Medyczny, Katowice, ul. H. Jordana 19, 41-808 Zabrze; Fundacja Rozwoju Kardiologii im. prof. Zbigniewa Religi, ul. Wolności 345a, 41-800 Zabrze  
E-mail: znawrat@sum.edu.pl; nawrat@frk.pl  
Tel. 32 3735626  
ORCID: 0000-0003-0638-3789

Zbigniew NAWRAT, *Medicine and the Robotic Ethos*

DOI 10.12887/36-2023-4-144-12

In the article, the author analyses the issue of innovative medicine based on intelligent devices and the relationship between the main protagonists of these (r)evolutionary changes: artificial intelligence and robotics. Until now, medical devices and tools have been oriented towards service providers. Currently, devices are part of the direct relationship between the doctor and the patient. In the future, it will be the relationship between the patient and the robot. A robot (including artificial intelligence) is a tool, an outstanding achievement of human work. One of the risks related to robots is their ability to work autonomously. The use of medical robots creates a chance to achieve (in the near future) broad, democratic access to good quality services in the field of therapy and recovery. Medicine is an area where the robotic ethos is developed. Robots, or innovations in general, are created to increase human freedom.

Keywords: artificial intelligence (AI), machine learning (ML), robots, medical robots (MR)

Contact: Zakład Biofizyki, Wydział Nauk Medycznych w Zabrze, Śląski Uniwersytet Medyczny, Katowice, ul. H. Jordana 19, 41-808 Zabrze, Poland; Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii im. prof. Zbigniewa Religi, ul. Wolności 345a, 41-800 Zabrze, Poland

E-mail: znawrat@sum.edu.pl; nawrat@frk.pl

Phone: +48 32 3735626

ORCID: 0000-0003-0638-3789