



Iloraz Sztucznej Inteligencji vol 4

Potencjał Sztucznej Inteligencji w Sektorze
Ochrony Zdrowia

RAPORT 2021

Wydanie I: Warszawa, wrzesień 2021

Wydawca:

FUNDACJA AI LAW TECH
ul. Wronia 45/U2
00-870 Warszawa
www.ailawtech.org

Autorzy raportu:

mec. Roman Bieda, lek. med. Stefan Bogusławski, dr Łukasz Bruski, dr inż. Jarosław Bułka, Piotr Burliński, lek. med. Przemysław Czuma, Tomasz Jaworski, dr hab. Grzegorz Juszczyk, dr Kamil Klepacki, dr Maciej Kawecki, dr Paweł Morkisz, dr hab. Zbigniew Nawrat, dr hab. Justyna Ożegalska-Trybalska, dr Aneta Sieradzka, prof. dr hab. Piotr H. Skarżyński, dr Robert Sroka, Joanna Szyman, prof. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz, dr Marek Tomala, dr Alicja Turczyk, dr Magdalena Wicher, dr inż. Ireneusz Wochlik, mec. Mirosław Wróblewski

Redakcja:

dr Robert Siewiorek, Marianna Lach-Kuśnierz

Projekt i opracowanie graficzne:

Karolina Przesmycka-Szustak

Ilustracje:

Antonina Janus-Szybist

Koordynator projektu:

Martyna Wićcek

Recenzent:

Michał M. Jaworski, Microsoft

Partnerzy raportu:



Microsoft Polska



Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH – Państwowy Instytut Badawczy

Partnerzy nie mieli wpływu na wymowę raportu. Opracowanie jest bezstronne.

Wszystkie prawa zastrzeżone

Spis treści

O raporcie	5
Wstęp	6
Rozdział I.	
Technologia sztucznej inteligencji	10
Uczenie maszynowe – przekrój rozwiązań	15
<i>Przykład zastosowania: automatyczne zapisywanie mowy</i>	
Rozdział II.	
Wdrażanie AI w sektorze zdrowia	20
Wybrane zastosowania AI w medycynie	
Sztuczna inteligencja w radiologii	23
<i>Przykład zastosowania: nieinwazyjna diagnostyka mózgu</i>	
Sztuczna inteligencja w kardiologii	29
<i>Przykład zastosowania: AI ratuje serca pacjentów</i>	
Otolaryngologia/narządy zmysłów	35
O robotach medycznych	39
Inne zastosowania AI w sektorze zdrowia	
Sztuczna inteligencja a zarządzanie podmiotem leczniczym	42
<i>Przykład zastosowania: sztuczna inteligencja w POChP</i>	
Zastosowanie AI w zdrowiu publicznym	47
<i>Przykład zastosowania: wartość opieki medycznej</i>	
Sztuczna inteligencja w opiece długoterminowej	53
<i>Przykład zastosowania: potrzeby seniorów</i>	
Praktyczne wykorzystanie AI w chirurgii onkologicznej	56
<i>Przykład zastosowania: diagnostyka onkologiczna</i>	
Wykorzystanie AI w ocenie technologii medycznych (HTA)	
Sztuczna inteligencja w wyrobach medycznych	

Rozdział III.

AI w obszarze badań i rozwoju – perspektywy finansowania ze środków UE i krajowych	65
---	-----------

Przykład zastosowania: na ratunek małym pacjentom

Przykład zastosowania: roboty, choroby i komary – rozwiązania problemów 10x

Rozdział IV.

Strategie Unii Europejskiej oraz Polski w zakresie wykorzystania sztucznej inteligencji (AI) w sektorze ochrony zdrowia	72
--	-----------

Wyzwania etyczne AI w sektorze zdrowia	76
---	-----------

Wyzwania prawne AI w sektorze zdrowia	80
--	-----------

Przykład zastosowania: anonimizacja dla mas

Rozdział V.

Rekomendacje	87
---------------------	-----------

Słowniczek pojęć	88
-------------------------	-----------

O Raporcie

Raport składa się ze wstępu, rozdziałów eksperckich, przykładów wdrożeń oraz rekomendacji. We wstępie i rozdziale pierwszym Czytelnik może zapoznać się z teoretycznymi założeniami sztucznej inteligencji oraz zasadami jej działania, co może pomóc w analizach treści zawartych w dalszych rozdziałach.

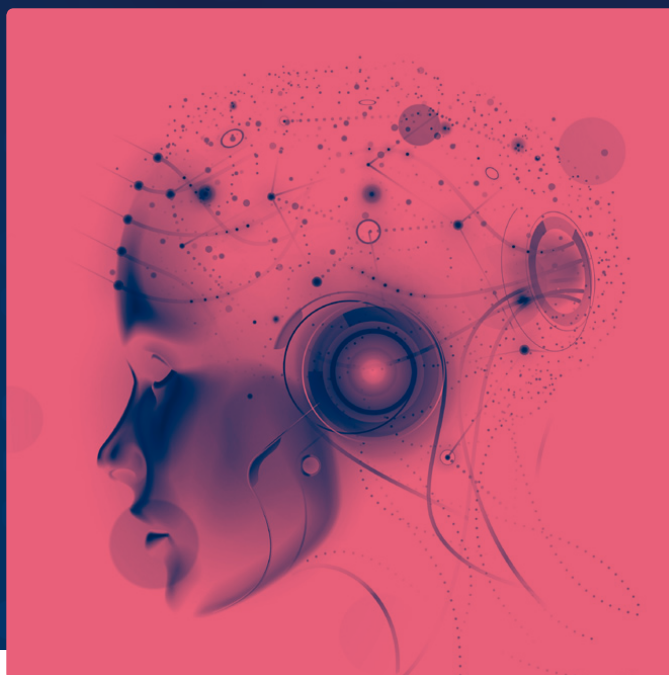
Rozdziały eksperckie zostały napisane przez niezależnych specjalistów z poszczególnych dziedzin. Przedstawiają ich poglądy na temat możliwości wykorzystania sztucznej inteligencji, a także wskazują na ryzyka z tym związane. Zagadnienia opisywane w raporcie staraliśmy się omówić w sposób możliwie najbardziej przystępny. Raport można traktować jak całość, można też czytać go jako zbiór opracowań na temat wybranych, interesujących Czytelnika dziedzin.

Rekomendacje są zbiorem sugestii oraz propozycji na temat kierunków dalszego wykorzystywania i rozwijania sztucznej inteligencji w sektorze zdrowia. Wynikają z wiedzy, przemyśleń i doświadczeń ich autorów.

Celem raportu jest zebranie opinii i rekomendacji czołowych ekspertów w danej dziedzinie: lekarzy, specjalistów, ludzi nauki. Zawiera on charakterystykę obecnych możliwości zastosowania metod AI (ang. *artificial intelligence*, AI) w danym sektorze oraz przedstawia perspektywę i koncepcje jej rozwoju w kolejnych latach.

Wstęp

RYSZARD TADEUSIEWICZ



Niniejszy raport przedstawia poglądy różnych specjalistów na temat stanu dzisiejszego i perspektyw rozwoju sztucznej inteligencji (AI) w sektorze zdrowia. Jak się wydaje, AI jest już obecna tym sektorze na dwa wyraźnie odmienne sposoby.

Pierwszy obszar związany jest z szeroko rozumianym planowaniem i zarządzaniem. Z funkcjonowaniem sektora zdrowia wiążą się liczne problemy organizacyjne, finansowe i społeczne. Niektóre są podobne do tych, z jakimi mamy do czynienia w innych sektorach, inne są wyraźnie odmienne. Jednak w całym tym obszarze ważne jest sprawne gromadzenie, porządkowanie i wykorzystywanie dużych zbiorów informacji, trafne modelowanie różnych sytuacji z możliwością prognozowania ich rozwoju oraz podejmowanie różnych decyzji. We wszystkich tych zadaniach AI powinna zostać wykorzystana i może się okazać bardzo przydatna.

Symbolicznie ten obszar zastosowań AI w sektorze zdrowia ilustruje rysunek 1, na którym osoba zaangażowana w procesy administrowania i zarządzania sektorem zdrowia korzysta z systemu komputerowego wyposażonego w programy oparte na sztucznej inteligencji – przy czym programy te symbolizuje schemat sieci neuronowej (inne metody trudniej zilustrować).

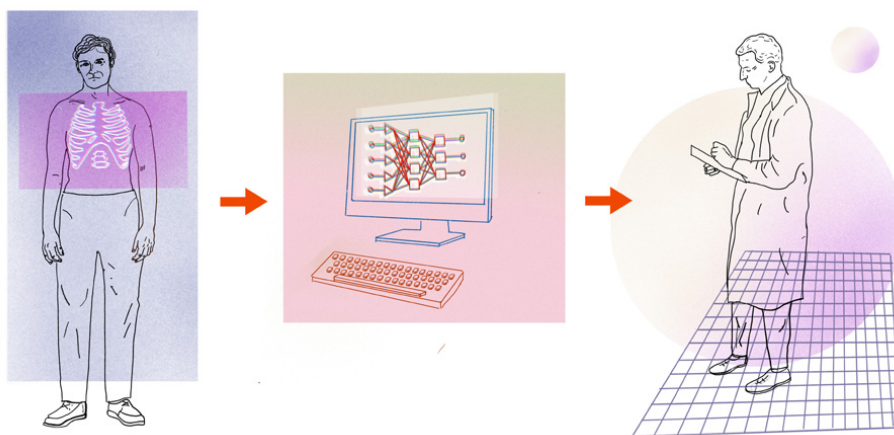
Drugim obszarem, w którym AI w sektorze zdrowia jest już obecna, ale w miarę upływu czasu będzie coraz silniej wykorzystywana, jest obszar badań i diagnozowania chorych,



Rys. 1. Symboliczne zaznaczenie miejsca AI w zarządzaniu sektorem zdrowia

leczenia i prognozowania w konkretnych przypadkach pacjentów, a także prognozowania skutków. Zadania, które w tym obszarze stoją przed sztuczną inteligencją, przedstawimy na następnych rysunkach, na których celowo wybrano inny sposób prezentacji, by wyraźnie odróżnić wspomniane zadania od tych, które symbolicznie przedstawiał rysunek 1.

Punktem wyjścia przy każdym postępowaniu medycznym jest pozyskanie informacji diagnostycznych – obrazowych (tomografia, rezonans magnetyczny, ultrasonografia, metody izotopowe), ale także bioelektrycznych (EKG, EEG, EMG),



Rys. 2. Sztuczna inteligencja wykorzystana do filtracji danych w biopomiarach

biochemicznych, biomechanicznych i wielu innych. Na tym etapie postępowania medycznego sztuczna inteligencja daje możliwość takiego (inteligentnego!) przetwarzania pozyskiwanych obrazów (i innych sygnałów), by ich interpretacja przez lekarza była znacznie łatwiejsza i trafniejsza (rys. 2).

Wyniki biopomiarów odzwierciedlających aktualny stan organizmu pacjenta stanowią ważną przesłankę, ale nie są głównym celem postępowania lekarskiego. Jest nim bowiem trafna diagnoza i skuteczna terapia. Ale sztuczna inteligencja także na tych etapach jest bardzo użyteczna.

→ **Komputer wprowadzie sam nie postawi diagnozy, bo z decyzją diagnostyczną wiąże się odpowiedzialność – to odpowiedzialność cywilna, a czasem nawet karna, więc sfera ta jest i będzie domeną ludzi.**

Natomiast sztuczna inteligencja może być bardzo przydatna jako system doradczy dla lekarza diagnosty. Może na coś zwrócić uwagę, coś zasugerować, przed czymś przestrzec (rys. 3).

Gdy decyzja diagnostyczna zostanie już podjęta, przychodzi czas na terapię. Tutaj także AI jest bardzo użyteczna

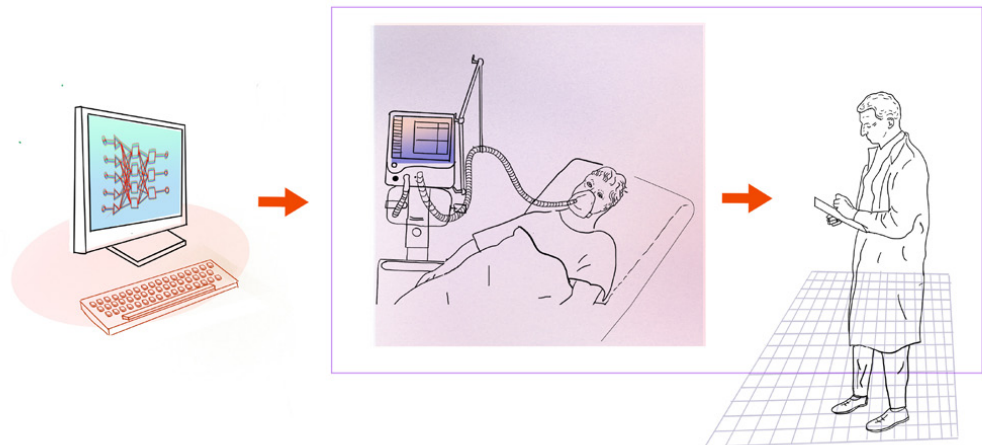
w charakterze konsultanta i doradcy (wiele systemów ekspertowych jest do tego przystosowanych), ale do tego jej użyteczność się nie ogranicza. Coraz częściej bowiem do leczenia pacjentów używa się różnych maszyn, których precyzyjne i adaptacyjne sterowanie jest i będzie wspomagane przez narzędzia i metody sztucznej inteligencji. Ma to zastosowanie przy terapii promieniowaniem jonizującym lub korpuskularnym (np. wiązki sterowanych protonów). AI znajduje zastosowanie przy sterowaniu robotów chirurgicznych, a szersze jej wykorzystanie może doprowadzić do większej dostępności tak potrzebnych obecnie respiratorów. Problemem w leczeniu COVID-19 nie jest bowiem brak respiratorów, tylko niewielka liczba lekarzy, którzy umieją je prawidłowo ustawiać i regulować. Respirator wyposażony w sztuczną inteligencję mógłby być stosowany przez mniej wykwalifikowany personel – z dużą korzyścią dla pacjentów (rys. 4).

Na koniec warto wspomnieć o wykorzystaniu przez lekarzy szeroko znanej zalety AI, którą jest możliwość prognozowania skutków określonych działań. O tym zastosowaniu była już wcześniej mowa w kontekście potrzeb wynikających z zarządzania sektorem zdrowia (na różnych szczeblach), ale to może być też narzędzie wspomagające lekarza wybierającego sposób postępowania z chorym. Dzięki możliwościom prognostycznym AI można jeszcze przed podję-

Rys. 3. Sztuczna inteligencja jako konsultant lekarza diagnosty

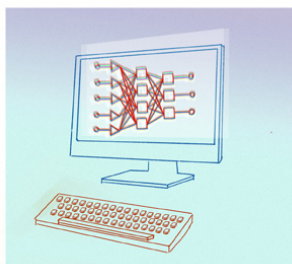


Rys. 4. Sztuczna inteligencja jako pomoc stosowaniu terapii



ciem leczenia przewidzieć, że przyniesie ono skutek, w wyniku czego uzdrowiony pacjent wyjdzie ze szpitala i pogna, by... pracować na kolejny zawał. Można też jednak przewidzieć, że leczenie nie przyniesie efektu i niezależnie od podejmowanych wysiłków finał będzie tragiczny (rys. 5).

W tym drugim przypadku najbardziej racjonalną decyzją będzie zaniechanie skazanej na niepowodzenie terapii – dla dobra pacjenta, któremu można zaoszczędzić wielu cierpień, ale także ze względu na ponoszone koszty.



Określiliśmy zakres tematyki, której poświęcony jest ten raport. Teraz przedstawimy w skrócie jego zawartość.

W pierwszym merytorycznym rozdziale zaprezentowana jest technologia AI ze wskazaniem jej najlepiej rokujących metod i dających się przewidzieć kierunków rozwoju. Rozdział drugi zawiera wybrane zastosowania sztucznej inteligencji w medycynie oraz w sektorze zdrowia w ogóle, zilustrowane przykładami, żeby można było stwierdzić, co w tej dziedzinie już zrobiono. Trzeci opisuje perspektywy finansowania badań i rozwoju AI w sektorze zdrowia w Polsce z wykorzystaniem środków krajowych i europejskich. W rozdziale czwartym omówione zostały wyzwania etyczne i prawne wykorzystania AI w sektorze zdrowia, wraz z dogłębną analizą strategii Unii Europejskiej i Polski w tym zakresie. Raport podsumowując rekomendacje.

RYSZARD TADEUSIEWICZ

Rys. 5. Sztuczna inteligencja jako narzędzie pozwalające przewidzieć skutek leczenia

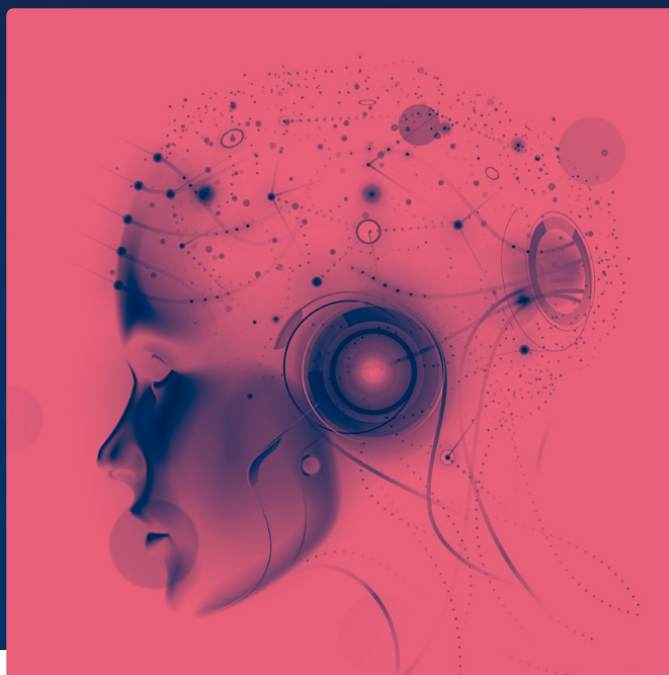


Prof. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz – profesor nauk technicznych, automatyk i informatyk, trzykrotny rektor Akademii Górniczo-Hutniczej, członek rzeczywisty PAN, członek korespondent PAU i kilku europejskich akademii nauk. Doktor honoris causa 14 uczelni krajowych i zagranicznych. Członek-założyciel i członek honorowy Polskiego Towarzystwa Informatycznego, członek-założyciel i wiceprezes Polskiego Stowarzyszenia Sztucznej Inteligencji. Obok badań naukowych i wykładów na AGH przez ponad 30 lat w Krakowie wykładał informatykę na Uniwersytecie Ekonomicznym, Uniwersytecie Pedagogicznym i Collegium Medicum UJ. Zajmował się m.in. sztuczną inteligencją, zwłaszcza sieciami neuronowymi. Wniósł duży wkład do rozwoju metod przetwarzania komputerowego, rozpoznawania i automatycznego rozumienia obrazów medycznych. Promotor kilkudziesięciu rozpraw doktorskich, recenzent kilkuset doktoratów, ponad 150 habilitacji i blisko 150 wniosków o tytuł profesorski. Autor lub współautor ponad 100 książek, redaktor ponad 50 książek, autor ponad 1100 artykułów naukowych i ponad 150 publicystycznych. Prowadzi stronę www.tadeusiewicz.pl.



Technologia sztucznej inteligencji

RYSZARD TADEUSIEWICZ



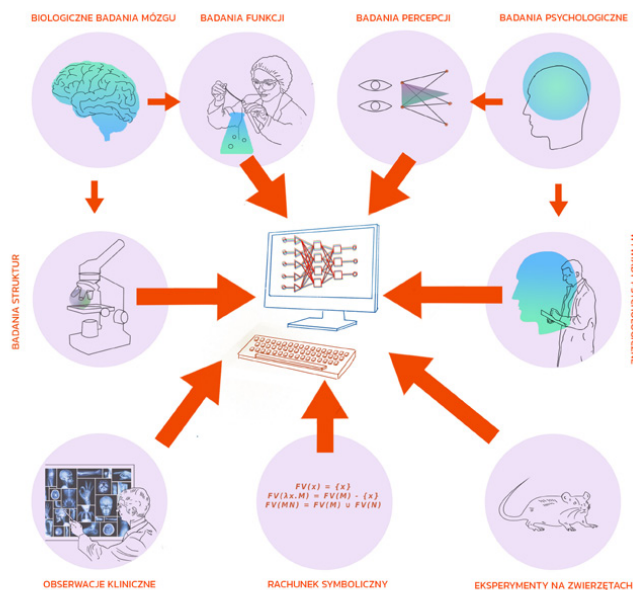
- Ogólna charakterystyka sztucznej inteligencji, jej geneza i struktura
- Omówienie dwóch grup metod sztucznej inteligencji, reprezentujących dwa odmienne podejścia: metod symbolicznych (wysoko sformalizowanych) i sieci neuronowych (intuicyjnych i opartych na modelowaniu mózgu)

Określenie „sztuczna inteligencja” (AI) mogłoby sugerować, że to dziedzina integralna. W istocie jest to zbiór bardzo różnych metod, które ludzie wymyślili w tym celu, żeby maszyny lepiej zaspokajały ich potrzeby. Te metody w większości nie mają ze sobą absolutnie nic wspólnego i nie ma łatwego sposobu przejścia od jednej z nich do innej.

W niniejszym rozdziale omówimy niektóre z tych metod, przy czym kryterium wyboru będzie możliwość ich zastosowania w sektorze zdrowia.

Powodem tego, że sztuczna inteligencja jest tak wewnętrznie skomplikowana i niejednorodna, jest jej **geneza**. Ludzie potrzebując narzędzi, które by im lepiej służyły, sięgali do różnych źródeł. Na rys. 1 pokazano wybrane źródła wiedzy, z których czerpią wzory i inspiracje twórcy sztucznej inteligencji. W istocie jest tych źródeł znacznie więcej, ale pokazano te, które – jak się wydaje – wywarły największy wpływ na powstanie i rozwój omawianej tu dziedziny.

Pierwsze próby doprowadzenia do tego, by maszyny zachowywały się inteligentnie, opierały się na wykorzystaniu **ra-**



Rys. 1. Źródła wiedzy wykorzystywanej przy tworzeniu metod sztucznej inteligencji

chunku symbolicznego (patrz: rys. 1 – centralnie u dołu). Drugie ważne podejście do tworzenia metod sztucznej inteligencji opierało się na wynikach badań mózgu (patrz: rys. 1.– lewy górny róg). Twórcy metod sztucznej inteligencji, wiedząc, że inteligencja człowieka rodzi się w mózgu, naśladują w swoich algorytmach struktury i funkcje jego elementów. Robią to tworząc i wykorzystując tak zwane **sieci neuronowe**. Po prawej stronie u góry omawianego rysunku zasignalizowane jest inne źródło wiedzy, na którym opiera się sztuczna inteligencja. Źródłem tym są **badania psychologiczne**.

→ **Nie ulega wątpliwości, że ludzkie procesy mentalne mogą być wzorem dla funkcjonowania narzędzi sztucznej inteligencji. Niektóre z tych procesów (na przykład percepcja, zapamiętywanie i rozpoznawanie różnych wzorców) można zbadać przy użyciu specjalistycznej aparatury, a inne za pomocą wywiadów.**

Wprawdzie dalecy jesteście jeszcze od uzyskania pełnej wiedzy o naturze i przebiegu procesów kognitywnych w umyśle człowieka, ale nawet te fragmenty wiedzy, które udało się pozyskać, mogą być przydatne przy budowie tak zwanych **systemów ekspertowych**.

Na omawianym rysunku są też jeszcze dwa źródła, z których sztuczna inteligencja czerpie wzory i inspiracje: to doświadczenia na zwierzętach oraz obserwacje kliniczne pacjentów z różnymi dysfunkcjami mózgu. Tych źródeł nie będziemy jednak tutaj szczegółowo omawiać.

Wiedząc o złożonym charakterze sztucznej inteligencji spróbujmy ją jednak na początku ogólnie scharakteryzować.

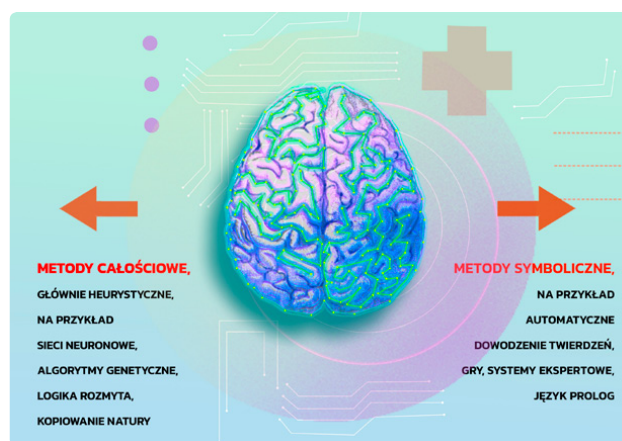
Sztuczna inteligencja jest bez wątpienia częścią informatyki, chociaż ogromna liczba programów komputerowych ze sztucznej inteligencji nie korzysta, zaś niektóre jej aspekty, na przykład badana przez psychologów i filozofów **kognitywistyka**, nie mają bezpośredniego związku z informatyką. Ob-



Rys. 2. Relacje informatyki i sztucznej inteligencji

szary informatyki i sztucznej inteligencji pokrywają się więc ze sobą w znacznym stopniu, chociaż nie całkowicie (Rys. 2).

Istnieje wiele definicji sztucznej inteligencji. Mówiąc najkrócej, ze sztuczną inteligencją mamy do czynienia wtedy, gdy maszyna (komputer albo elektronicznie sterowane urządzenie: robot, autonomiczny pojazd, samoorganizująca się sieć połączeń) przejawia zachowania, które obserwowane u człowieka powodowałyby, że bylibyśmy skłonni uznać je za skutek jego inteligencji. Generalnie AI jest rozwijana na dwa sposoby (rys. 3).



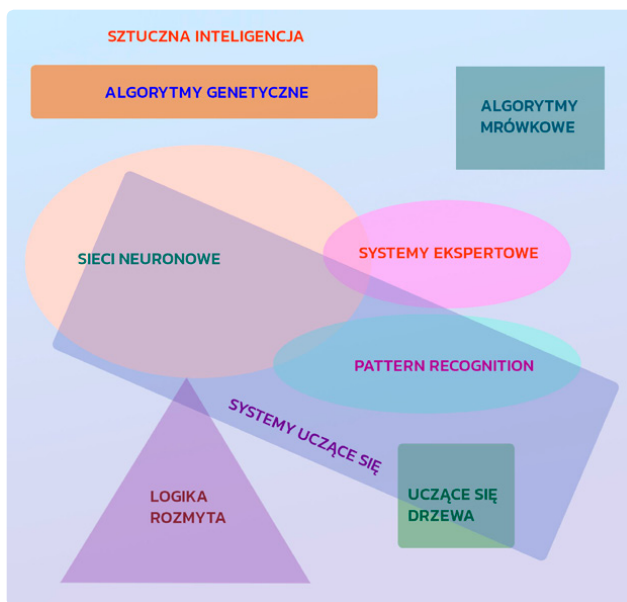
Rys. 3. Najbardziej ogólny podział metod sztucznej inteligencji

Po prawej stronie (rys. 3) są tak zwane **metody symboliczne**. Analizowany problem jest opisywany i zapisywany przy użyciu symboli, a algorytmy sztucznej inteligencji tak „mieszają” w tym zbiorze symboli, że znajdowane jest rozwiązanie – też w postaci symbolicznej. To tradycyjna – najwcześniej rozwinięta, ale funkcjonująca do dzisiaj – część sztucznej inteligencji (będzie ona dalej omawiana). Przykładem zadań, które jako pierwsze udało się rozwiązać przy wykorzystaniu metod symbolicznych, były programy automatycznie dowodzące twierdzeń matematycznych oraz grające w gry (warcaby, szachy, obecnie także w go). W sektorze zdrowia metod symbolicznych używają **systemy ekspertowe**. To programy, które wykorzystując symboliczne metody automatycznego wnioskowania odpowiadają na pytania użytkowników w podobny sposób, w jaki mógłby to czynić ludzki ekspert, czyli człowiek posiadający gruntowną wiedzę i mądrość niezbędną do tego, by na przykład stawiać dobre diagnozy.

Jednak metodami opartymi na wykorzystaniu logiki i operacji na symbolach nie udaje się osiągnąć wszystkich celów stawianych przed AI w sektorze zdrowia. Dlatego wykorzystywane jest też alternatywne podejście. Polega ono na użyciu **metod całościowych**, opartych na algorytmach heurystycznych. Istnieją różne metody heurystyczne, ale najczęściej stosowane są metody **uczenia maszynowego**, w których potrzebne rozwiązanie tworzone jest na zasadzie iteracyjnego (czyli polegającego na powtarzaniu tej samej

operacji określoną liczbę razy lub do oczekiwanego skutku) doskonalenia pewnego początkowego (niedoskonatego) rozwiązania. W pierwszej kolejności należą do tych metod bardzo popularne **sieci neuronowe**, ale używane są też uczące się drzewa decyzyjne, a także metody rozpoznawania, zwykle kojarzone z pojęciem **pattern recognition** (rozpoznawania wzorców), bogatszym treściowo niż jego polski odpowiednik **rozpoznawanie obrazów**. Do metod całosciowych zalicza się także **algorytmy genetyczne**, w których potrzebne rozwiązanie znajdowane jest w wyniku swojej „hodowli” rozwiązań, z generowaniem kolejnych „pokoleń” algorytmów. Do metod całosciowych zaliczana jest także **logika rozmyta** i teoria **zbiorów rozmytych**.

Rys. 4 przedstawia swoistą „mapę” metod całosciowych AI. Zaznaczono na niej proponowaną klasyfikację wymienionych wyżej metod. Rozmiary poszczególnych obszarów odpowiadają stopniowi wykorzystania tych metod, a wzajemne (częściowe) przekrywanie się tych obszarów – związkom, które łączą te metody.



Rys. 4. Mapa pokazująca różne sposoby klasyfikacji metod sztucznej inteligencji

Na Rys. 4 wyróżnia się duży obszar **systemów uczących się**. Trzeba podkreślić, że większość sukcesów w zastosowaniach AI wywodzi się z tego, że odpowiednie programy komputerowe potrafią doskonalić swoje działania i dostosowywać się do potrzeb w wyniku procesu uczenia się. Takimi systemami uczącymi są **drzewa decyzyjne**. Proces podejmowania decyzji sterowany jest w nich serią warunków (rozgałęzień drzewa), które trzeba sprawdzić, zanim wykona się kolejny krok zmierzający do znalezienia rozwiązania. Uczenie drzew polega na ustaleniu, jakie warunki trzeba sprawdzać, w jakiej kolejności oraz co z nich wynika. Metody *pattern recognition* polegają na automatycznej klasyfikacji różnych obiektów (obrazów, dźwięków, sygnałów EKG, syn-

dromów pacjentów itp.), przy czym reguły klasyfikacji są nieznane, ale dostępny jest zbiór przykładów prawidłowo rozpoznanych obiektów i maszyna musi nauczyć się, jak te prawidłowe decyzje zostały podjęte.

Idąc dalej, mamy sieci neuronowe (szerzej omówione w dalszej części raportu) oraz algorytmy genetyczne, o których była wzmianka powyżej. Uwidoczniona na dole logika rozmyta polega na odwzorowaniu w komputerze typowych dla ludzkiego rozumowania płynnych przejść pomiędzy prawdą i nieprawdą. Typowy algorytm radykalnie rozróżnia prawdę i fałsz. Logika rozmyta pozwala skutecznie wykorzystywać stwierdzenia częściowo prawdziwe albo częściowo fałszywe, co zbliża działanie komputera do ludzkich procesów mentalnych. Zaznaczone u góry rysunku systemy ekspertowe to programy, które łącząc wiedzę pozyskaną od ekspertów (ludzi) z metodami automatycznego wnioskowania, wywodzącymi się z symbolicznej sztucznej inteligencji, mogą pełnić rolę automatycznego doradcy dla osoby, która musi podejmować decyzje.

Ostatnia zaznaczona grupa metod to tak zwane algorytmy mrówkowe. Rozwiązują one problemy na zasadzie naśladowania zachowania mrówek, które kolektywnie potrafią inteligentnie rozwiązywać problemy, chociaż żadna pojedyncza mrówka inteligencją się nie odznacza. Algorytmy mrówkowe naśladują ową inteligencję zbiorową.

Z uwagi na charakter i ograniczone rozmiary tego raportu, omówimy niżej tylko dwie metody AI: rachunek symboliczny i sieci neuronowe.

RACHUNEK SYMBOLICZNY

Spostrzeżenie, że komputery – początkowo traktowane wyłącznie jak maszyny liczące (nazwa komputer oznacza właśnie maszynę obliczającą) – mogą także manipulować symbolami, było przełomem. Gdy wykazano, że maszyny mogą operować na abstrakcyjnych pojęciach oznaczanych symbolami tak samo jak na konkretnych liczbach, trzeba było uznać, że komputer to nie tylko szybkie liczydło. Jako że trzeba było jakoś owe symboliczne obliczenia wyodrębnić, dla tej rodzącej się dopiero dyscypliny maszynowego operowania na abstrakcjach zaproponowano nazwę „sztuczna inteligencja”. Wiadomo, gdzie i kiedy to było: podczas konferencji w Dartmouth College w 1956 roku. Natomiast do dziś trwają spory, kto był autorem tej nazwy.

Warto podkreślić, że przejście w technice komputerowej od obliczeń numerycznych do manipulacji symbolicznych miało naprawdę fundamentalne znaczenie. Obliczenia numeryczne mają to do siebie, że wykonuje się określone działania na konkretnych liczbach, uzyskuje się jakąś konkretną wartość wyników – i nic więcej z tego nie wynika. Patrząc na zapis numeryczny:

$$2 * 3 = 6$$

możemy skorzystać z wyniku (na przykład płacąc rachunek za 2 kg ziemniaków po 3 zł). Ale trudno tu o jakieś głębsze wnioski.

Natomiast patrząc na zapis symboliczny:

$$m \cdot a = F$$

widzimy jedno z fundamentalnych praw fizyki, pozwalające na wyciąganie wielu różnych wniosków. Na przykład można stwierdzić, jaką siłę (F) powinien rozwijać silnik samochodu o masie (m), żeby ten samochód uzyskał potrzebne przyspieszenie (a). Albo jaką masę (m) miał miecz kata ścinającego głowę skazańca (do czego potrzebna jest znana siła (F)), skoro przyspieszenie (a), które może rozwinąć ludzka ręka, jest ograniczone do znanej wartości. To dzięki znajomości tej formuły ludzie dotarli na Księżyc i zrozumieli, czym jest tętno.

Możliwość operowania przez komputer symbolami otworzyła drogę do maszynowego przekształcania formuł algebraicznych, mechanicznego wyprowadzania potrzebnych wzorów matematycznych, a nawet automatycznego dowodzenia twierdzeń matematycznych. Jednak w sektorze zdrowia te metody wydają się mniej przydatne, więc nie będą tu szerzej omawiane.

SZTUCZNE SIECI NEURONOWE

Dziełem AI o szerokim spektrum zastosowań są sieci neuronowe. To dzisiaj chyba najbardziej popularne metody sztucznej inteligencji. Gdy zapytałem wyszukiwarkę o ich zastosowania, otrzymałem około 129 milionów (!) pasujących wyników w ciągu zaledwie pół sekundy.

Dowodzi to, że sieci neuronowych jako narzędzia rozwiązywania różnych problemów **z powodzeniem** użyto ponad sto milionów razy. Wniosek, że użyto ich z powodzeniem, nasuwa się z takiego rozumowania: książkę, artykuł albo referat, można odnaleźć w internecie, pisze tylko ten badacz albo praktyk, który uzyskał jakiś **sukces** i go opisał. Jeśli komuś coś się nie uda – to nie pisze o tym artykułu albo nie jedzie wypłacać się na konferencji, więc liczba tych **negatywnych** prób nie może być ustalona. Ale liczba sukcesów jest doprawdy imponująca!

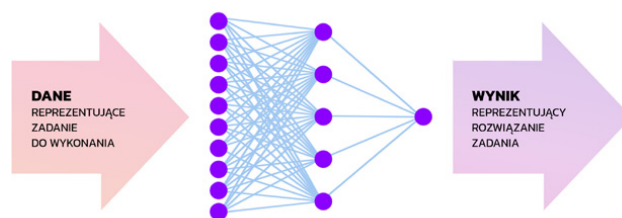
Z kolei fakt, że wyszukiwarka dostarczyła odpowiedzi w czasie pół sekundy (na podstawie zasobu ponad stu milionów dokumentów!), dowodzi, że analogiczne pytania musiało wcześniej stawiać wielu internautów i odpowiedź uzyskana na podstawie przeszukania sieci musiała być już wcześniej przygotowana. A zatem liczba osób pytających o to – czyli pewnie rozważających, jak użyć sieci neuronowych – musi być bardzo duża. To dobrze rokuje, jeśli idzie o dalszy rozwój tej metody!

Przydatność sieci neuronowych w sektorze zdrowia dokumentują między innymi te oto dwie obszerne książki:



Rys. 5. Książki opisujące zastosowania sieci neuronowych w sektorze zdrowia

Istota działania sieci neuronowej jako narzędzia AI przedstawiona jest na Rys. 6. Neurony zaznaczono tam jako czerwone kropki. Niebieskie połączenia między neuronami odwzorowują łączące je **synapsy**. To właśnie zmiany w tych synapsach stanowią istotę procesu uczenia sieci, dlatego ich stan po procesie uczenia reprezentuje **wiedzę**, jaką sieć zdobyła w procesie uczenia. Jeśli do neuronów stanowiących **wejściową** warstwę podamy dane reprezentujące to zadanie, które aktualnie sieć ma rozwiązać, to owa wiedza pozwoli na takie działanie sieci, które doprowadzi do pojawienia się na **wyjściowej** warstwie sieci (na rysunku 6 złożonej tylko z jednego neuronu, ale często mającej wiele neuronów, gdy rozwiązanie ma charakter wektorowy) wyniku będącego rozwiązaniem postawionego zadania.



Rys. 6. Ogólny sposób działania sieci neuronowej

Typowe sieci neuronowe (w szczególności te najpopularniejsze, typu **MLP** – *ang. Multilayer Perceptron*) muszą być przed wykorzystaniem ich w praktyce uczone przez „nauczyciela”. Słowo „nauczyciel” trzeba tu traktować umownie – w typowej sytuacji jest to iteracyjny program komputerowy wyposażony w bazę wiedzy o tym, co należy rozwiązywać (w sensie takim, że pokazane są dane wejściowe oraz poprawne wyniki dla przykładowych zadań), ale nie ma żadnej informacji o tym, **jak** to należy rozwiązywać. Metodę rozwiązywania sieci musi stworzyć sama, opierając się na **indukcji**, czyli przejściu od szczegółowych przykładów do ogólnej, a priori nieznannej reguły. Warto dodać, że przeciwieństwem indukcji jest częściej stosowana **dedukcja**, polegająca na tym, że znając

ogólną regułę, rozwiązuje się (korzystając z niej) wszelkie problemy szczegółowe.

Zdolna do indukcji sieć neuronowa to bardzo mocne i użyteczne narzędzie, szczególnie w zastosowaniu do zadań, dla których sami nie potrafimy zbudować algorytmu, a takich zadań w sektorze zdrowia jest sporo. Obecnie bardzo wiele zadań rozwiązuje się tak zwanymi sieciami **głębokiego uczenia**. Odbiegają one od klasycznych sieci neuronowych, ponieważ mają bardzo wiele warstw neuronów (sieci **MLP** mają maksymalnie trzy) na przemian konwolucyjnych

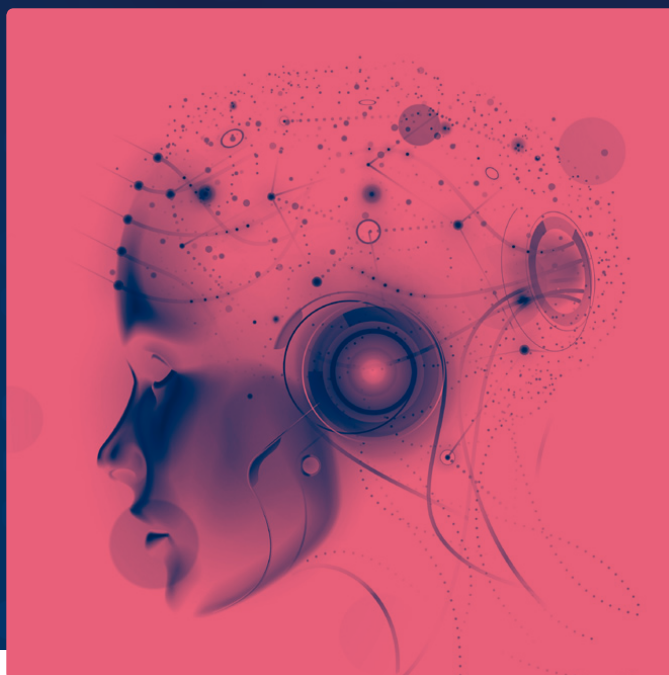
(*convolution layer*) i łączących (*pooling layer*) albo wykonujących podpróbkowanie (*subsampling layer*). Stosuje się przy tym uczenie takich sieci metodami nienadzorowanymi i nadzorowanymi („bez nauczyciela” i „z nauczycielem”). Sieci te używane są od niedawna, ale liczba trudnych problemów, jakie zostały rozwiązane przy ich pomocy, jest już bardzo duża i stale rośnie. Zdecydowanie więc warto się im uważnie przyglądać.

RYSZARD TADEUSIEWICZ

(Sylwetka autora została opisana we wstępie do Raportu.)

Uczenie maszynowe – przekrój rozwiązań

PAWEŁ MORKISZ,
IRENEUSZ WOCHLIK



- Sztuczna inteligencja obejmuje wiele niezależnych metod. Oto ich krótka charakterystyka wraz przykładami ich zastosowania
- Wyjaśnione zostaną pojęcia użyteczne w dalszym rozumieniu treści związanych z AI

Pierwszy podział metod sztucznej inteligencji to podział na:

- uczenie nadzorowane,
- uczenie nienadzorowane,
- uczenie ze wzmocnieniem.

UCZENIE NADZOROWANE

Uczenie nadzorowane (*supervised learning*) oznacza, że istnieje zbiór danych w postaci zbioru **rekordów**, dla których **znane są oczekiwane wyniki** modelu sztucznej inteligencji (opisy). Przykładowo, dla opracowania modelu, który ma z obrazka rozpoznawać napisaną odręcznie cyfrę, zbiorem tym byłyby obrazki wraz z dodatkową informacją, która cyfra jest na każdym z nich. Posiadany zbiór rekordów najczęściej jest dzielony na podzbiór treningowy oraz testowy. Pierwszy z nich używany jest w fazie trenowania modelu, a drugi pozwala na walidację dokładności modelu oraz oszacowanie wartości biznesowej działania modelu w praktyce.

Obrazową analogią mogłaby być próba nauczania tego zadania człowieka. Aby człowiek mógł nauczyć się rozpoznawać pisane cyfry, należy pokazać mu przykłady. Nato-

miast by sprawdzić, czy nauczył się ją rozpoznawać, trzeba byłoby pokazać mu takie obrazki, które nie zostały użyte w procesie uczenia.

Uczenie nadzorowane dalej dzieli się na dwie główne podkategorie:

- klasyfikacja,
- regresja.

Klasyfikacja to zadanie, w którym od algorytmu oczekuje się przypisania elementu do jednej (bądź wielu) spośród wcześniej zadanych klas. Przykłady: rozpoznawanie cyfr i liter z obrazków, rozpoznawanie jakie zwierzę jest na zdjęciu, diagnoza choroby na podstawie wyników badań czy rozpoznawanie, jaki typ dokumentu został zeskanowany. Miary dokładności dla algorytmów klasyfikacji definiowane są najczęściej na podstawie zliczanych wartości, które zostały fałszywie zaklasyfikowane. Szczególnie w przypadku danych medycznych należy pamiętać o odpowiednim dobieraniu miar dokładności; sama frakcja prawidłowo zaklasyfikowanych to często zły pomysł. Przykładowo, dla diagnozy rzadkiej choroby, występującej raz na 10 000 osób, algorytm, któ-

ry zawiera informację, że pacjent jest zdrowy, miałby 99,99 proc. dokładności, a oczywiście nie ma żadnej wartości.

Ważnym przykładem zadania klasyfikacji jest segmentacja obrazu. Polega ona na przypisaniu kategorii dla każdego piksela na podanym na wejście zdjęciu. Ma to kluczowe zastosowania w diagnostyce, gdzie umożliwia wykrywanie różnych obiektów na zdjęciach medycznych. Jest to też jeden z najważniejszych algorytmów używanych w autonomicznych pojazdach – pozwala na dokładne wykrywanie krawędzi jezdni, pasów, innych pojazdów czy pieszych.

Regresja z kolei to zadanie, w którym algorytm powinien zwrócić wartość liczbową, przykładowo: jutrzejszą cenę zamknięcia sesji dla akcji, przewidywaną długość życia maszyny, prognozowaną wielkość sprzedaży dla leku czy też przewidywaną długość trwania podróży. Z przykładów medycznych można wskazać estymację rozmiaru guza na podstawie zdjęć.

Niezwykle ważne jest, by rozumieć, że konkretne zadanie często można zamieniać z klasyfikacji na regresję – i na odwrót. Przykładowo, dla przyszłych cen akcji rzadko potrzebna jest informacja, jaka będzie dokładnie cena. Najczęściej *trader* chce wiedzieć, czy powinien akcje kupić, trzymać czy też sprzedawać. Ustalając jasne kryteria dla każdego z tych trzech zdarzeń znacząco upraszcza się zadanie dla modelu sztucznej inteligencji, a szansa poprawnego działania systemu jest znacznie większa.

UCZENIE NIENADZOROWANE

Jeśli dysponuje się dużą porcją danych, dla których nie są znane odpowiednie opisy (np. duża liczba zdjęć z badań obrazowych bez diagnozy) bądź oczekiwane wyniki z modelu sztucznej inteligencji, możliwe jest stosowanie dwóch typów algorytmów:

- detekcja anomalii,
- analiza skupień (ang. *clustering*).

→ **Algorytmy wykrywania anomalii potrafią przyswoić standardowe zachowanie się systemu bądź źródła danych, a następnie dla nowych danych ocenić, że taka sytuacja do tej pory nie występowała bądź jest wyraźnie odstająca.**

Są to szczególnie pomocne algorytmy dla potrzeby analizy holistycznej, gdzie branych pod uwagę jest bardzo wiele czynników (np. monitorowanie całych instalacji przemysłowych, wspólna analiza wielu wyników medycznych, analiza ruchu sieci komputerowych czy finansowych). W kontekście medycznym może to być np. analiza wszystkich wyników badań jednocześnie, a nie tylko patrzenie na poszczególne pojedyncze wskazania. Algorytmy te najczęściej również stosuje się z podziałem na zbiór treningowy

i testowy. Różnicę stanowi walidacja wyniku w zbiorze testowym przez eksperta dziedzinowego, tj. algorytm zwraca potencjalne informacje o znalezionych anomaliach, a rolę eksperta dziedzinowego jest ocenienie przydatności takiego algorytmu w praktyce.

Analiza skupień z kolei pozwala na odnalezienie w danych pewnych ukrytych struktur i także ma bardzo duże zastosowanie w praktyce. W szczególności często pozwala na automatyczne grupowanie względem niewidocznych na pozór cech wspólnych. Taki zautomatyzowany podział pozwala analitykowi w dalszym etapie skupiać się już na podobnych obiektach, usprawniając jego działania. Konkretnym przykładem może być automatyczne grupowanie podobnych pacjentów czy podobnych rodzajów schorzeń w kontekście tego, czy nowotwór jest złośliwy.

UCZENIE ZE WZMOCNIENIEM

Uczenie ze wzmocnieniem (*reinforcement learning*) to zupełnie odmienne podejście, które najlepiej zilustrować na przykładzie gier. Oczekując od modelu, że będzie potrafił grać np. w szachy, nie zakładamy, że o każdym ruchu można bezpośrednio powiedzieć, czy był dobry, czy zły. Najważniejsze to ocenić, czy cała sekwencja ruchów doprowadziła do porażki, zwycięstwa czy remisu. Doskonałym przykładem sukcesów tego typu algorytmów jest gra w Go. Jeszcze do roku 2015 sztuczna inteligencja przegrywała ze średniej klasy graczem. Mimo prostych zasad, liczba możliwych strategii jest tu dużo większa niż w szachach. W Go każdy ruch wpływa na wiele pionków na planszy, tym samym liczba wszystkich możliwości w najbliższych ruchach rośnie niezwykle szybko. Zastosowanie podejścia uczenia ze wzmocnieniem przez zespół DeepMind (Google) pozwoliło poradzić sobie z tym problemem i opracowany przez niego model AlphaGo wygrał z arcymistrzem Go, Lee Sedolem, w Seulu w marcu 2016 roku 4:1.

Metody uczenia ze wzmocnieniem, w przeciwieństwie do metod uczenia nadzorowanego i nienadzorowanego (ang. *unsupervised learning*), są jeszcze we wczesnej fazie wdrażania dla problemów praktycznych. Łatwo sobie jednak wyobrazić, że to właśnie ta kategoria algorytmów w przyszłości będzie dominującą, gdyż pozwala na optymalizację całego procesu decyzyjnego, a nie wyłącznie pojedynczej decyzji. Można to potencjalnie zastosować zarówno do optymalizacji procesu produkcji, prowadzenia strategii marketingowej, jak do prowadzenia procesu leczenia pacjentów.

**PAWEŁ MORKISZ,
IRENEUSZ WOCHLIK**



Dr Paweł Morkisz – doktor nauk matematycznych, ekspert w dziedzinie metod obliczeniowych i głębokiego uczenia maszynowego, badacz, programista i menedżer. Koncepty teoretyczne z matematyki obliczeniowej przenosi na grunt praktycznych zastosowań wspierających rozwiązania oparte na sztucznej inteligencji. Od 2018 adiunkt na Wydziale Matematyki Stosowanej AGH. Najbardziej istotne wyniki jego badań naukowych dotyczą zastosowania metod sztucznej inteligencji w praktycznych problemach oraz numerycznej aproksymacji równań stochastycznych.

Jako Deep Learning Algorithms Manager od 2019 roku prowadzi w NVIDIA zespół odpowiedzialny za badania i rozwój metod głębokiego uczenia oraz ich optymalizacji. Jego główne obszary zainteresowania to modele rekomendacyjne oraz analiza szeregów czasowych. Od kilku lat pełni także rolę ambasadora NVIDIA Deep Learning Institute. Obecnie również współwłaściciel spółki Aigorithmics sp. z o.o. wdrażającej projekty z zakresu sztucznej inteligencji. Wcześniej co-founder oraz CTO w technologicznym start-upie Reliability Solutions, gdzie prowadził zespół odpowiedzialny za analizę danych, w tym predykcji utrzymania ruchu z wykorzystaniem głębokiego uczenia, metod statystycznych oraz uczenia maszynowego. Uczestnik i prelegent wielu międzynarodowych konferencji naukowych, związanych głównie z metodami obliczeniowymi oraz sztuczną inteligencją.



Dr inż. Ireneusz Wochlik – biocybernetyk, specjalista w dziedzinie sztucznej inteligencji, doktor nauk technicznych. Współzałożyciel i CEO Aigorithmics sp. z o.o., członek zarządu Fundacji AI LAW TECH, pełnomocnik dyrektora ds. transformacji cyfrowej Narodowego Instytutu Zdrowia Publicznego – Państwowego Zakładu Higieny. Wykładowca studiów podyplomowych Biznes.AI: Technologia, Prawo, Zastosowanie Sztucznej Inteligencji oraz współtwórca studiów podyplomowych Zarządzanie Cyberbezpieczeństwem, prowadzonych przez Akademię Leona Koźmińskiego.

W latach 1997–2016 adiunkt Akademii Górniczo-Hutniczej na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej. Autor ponad 50 publikacji naukowych, współautor patentu PL224517B1 „System for recording and processing of signals for the diagnostics of hearing system and method of recording and processing of signals for the diagnostics of hearing system”.

Jeden z pierwszych przedsiębiorców w kraju tworzących profesjonalne, w pełni certyfikowane medycznie (wg normy ISO 13485) rozwiązania wykorzystujące technologie ICT i AI w projektach telemedycznych. Od ponad 20 lat zajmuje się analizą danych i tworzeniem inteligentnych rozwiązań dla biznesu. Specjalizuje się w transformacji cyfrowej i zaawansowanej analizie danych. Prelegent konferencji naukowych i biznesowych.

Przykład zastosowania

Automatyczne zapisywanie mowy

Tomasz Jaworski

→ Systemy rozpoznawania głosu to jedno z podstawowych zastosowań AI w ochronie zdrowia

Automatyczne zapisywanie mowy to pojęcie opisujące różnorodne zastosowania oprogramowania NEWTON Dictate, służącego do transkrypcji mowy na tekst. W medycynie oprogramowanie to jest wykorzystywane przy tworzeniu protokołów badań, w tym badań podmiotowych, uzupełnianiu dokumentacji medycznej oraz w opisie próbek.

Program wyposażony jest w specjalistyczne słowniki zawierające branżowe słownictwo różnych specjalizacji medycznych, np. dotyczące radiologii czy histopatologii.

Oprogramowanie NEWTON Dictate wykorzystywane jest na Oddziale Patologii szpitala w Hradcu Králové, gdzie codziennie przeprowadza się aż 2000 badań laboratoryjnych. Lekarze dyktują swoje ustalenia, które muszą być jak najszybciej zapisane i przesłane do systemu informatycznego. Oznacza to duże obciążenie pracą wszystkich zaangażowanych. Po wprowadzeniu NEWTON Dictate nie tylko znacznie wzrosła

efektywność działań lekarzy, ale także zmniejszyła się liczba błędów w porównaniu z błędami w transkrypcjach ręcznych.

Lekarze używają najnowszych dyktafonów cyfrowych Philips SpeechAir do dyktowania wyników, po czym nagrania są automatycznie pobierane, a oprogramowanie NEWTON Dictate konwertuje mowę na tekst. Ten tekst jest przenoszony do laboratoryjnego systemu informatycznego. Jedyne, co pozostaje do zrobienia, to ostateczna kontrola. „Większość poprawek to tylko trywialne błędy lub podstawienia, ponieważ automatyczna transkrypcja jest bardzo dokładna dzięki specjalistycznemu słownikowi” – mówi prof. dr hab. Ales Ryska¹.

ŁATWE ZWYCIĘSTWO

Systemy rozpoznawania głosu są jednym z najbardziej konsekwentnych zastosowań sztucznej inteligencji w ochronie zdrowia. Wiele badań wskazuje na znaczny wzrost satysfak-

cji pacjentów i personelu, jakości dokumentacji i wydajności procesów dzięki zastosowaniu rozpoznawania mowy w medycynie. Lepsze doświadczenia lekarzy i personelu medycznego idą w parze z:

- 81-procentową redukcją kosztów tworzenia dokumentacji medycznej;
- przyswojeniem procesu i standardów tworzenia Elektronicznej Dokumentacji Medycznej (EDM) na poziomie 77 proc. (w porównaniu do 20 proc. przy ręcznym tworzeniu wpisów do EDM);
- 74-procentowym wskaźnikiem akceptacji rozwiązań automatycznej transkrypcji mowy (dane własne partnera Microsoft z ankietowych badań satysfakcji klienta).

Oprogramowanie NEWTON Dictate uwzględnienia specyfikę fleksji języków słowiańskich, dlatego zostało bardzo dobrze przyjęte we wdrożeniach w Czechach (Oddział Patologii szpitala w Hradcu Králové, szpital Thomayerova Nemocnice w Pradze i ponad 30 innych szpitali), w Chorwacji (Klinički Bolnički Centar oraz Poliklinika Sveti Rok w Zagrzebiu), na Słowacji (prywatna Pro Diagnostic Group oraz szpital uniwersytecki Fakultná Nemocnica F.D. Roosevelta w Bańskiej Bystrzycy), a także w przypadku jednego z wiodących polskich prywatnych świadczeniodawców (Grupa LUX MED).

DE-PAPIERYZACJA

Ochrona zdrowia podąża z pewnym opóźnieniem za bankowością, telekomunikacją czy handlem internetowym, jeśli chodzi o wdrażanie rozwiązań z dziedziny AI. Tymczasem niektóre rozwiązania z innych branż w zakresie odbiurokratyzowania i przejścia na wygodniejszą formę dokumentacji

warte są szerokiego wdrożenia. Do tego typu rozwiązań należy nie tylko transkrypcja mowy na tekst, ale także szersze wykorzystanie komunikacji głosowej i wielokanałowej (ang. *multichannel, omnichannel*), jak również posługiwanie się cyfrową tożsamością i elektronicznym podpisem.

Rozwiązania umożliwiające automatyczną transkrypcję mowy na tekst NEWTON Dictate z powodzeniem mogą być zastosowane w „stenotypowaniu” teleporad, co zapobiegłoby utracie bardzo istotnej części dokumentacji, dotyczącej kontaktów lekarza z pacjentem. Dzisiaj ze względu na brak mechanizmów, które byłyby zaakceptowane w systemie teleporad, to powszechny problem. Dzięki zastosowaniu transkrypcji mowy na tekst przebieg teleporady mógłby nie tylko być właściwie udokumentowany, ale też informacje na ten temat byłyby łatwo indeksowane i wyszukiwane w systemach płatnika. Natomiast po automatycznym sporządzeniu „notatka” z przebiegu teleporady mogłaby być niemal natychmiast przedstawiona lekarzowi, pacjentowi lub płatnikowi jako dokumentacja w postaci elektronicznej. Możliwe byłoby również opatrzenie takiego protokołu podpisem elektronicznym, co w sytuacjach nagłych lub niosących duże ryzyko odpowiedzialności cywilnej lub karnej wprowadziłoby dodatkowy poziom bezpieczeństwa dla wszystkich korzystających z tych rozwiązań.

TOMASZ JAWORSKI

Przypisy:

1. Por.: Klimeš O., „*NEWTON dictate helps save time and lower your error rate*”, Newton Technologies, 28.08.2019, <https://www.newtontech.net/en/blog/10159-newton-dictate-helps-save-time-and-lower-your-error-rate/>



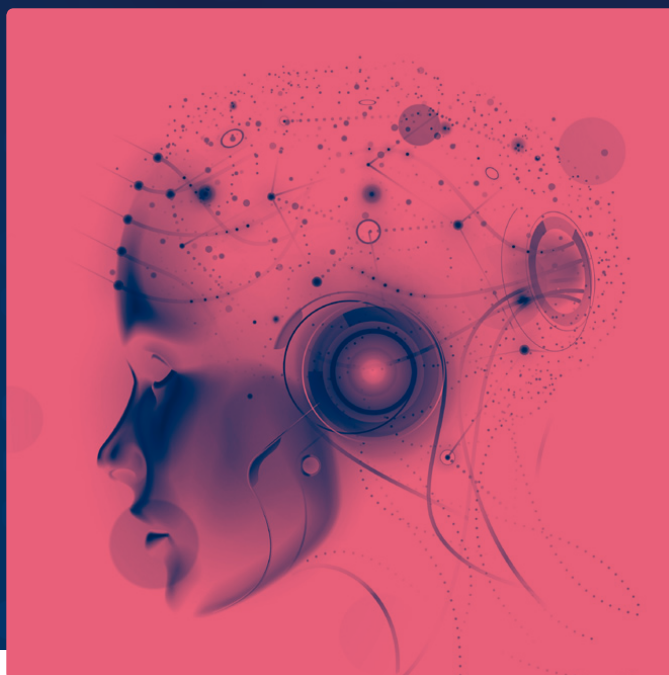
Tomasz Jaworski – Dyrektor Transformacji Cyfrowej Sektora Publicznego w Microsoft Polska. Ma ponad 20-letnie doświadczenie w doradztwie w strategicznych inicjatywach transformacji cyfrowej współcześnie realizowanych z użyciem sztucznej inteligencji, dzięki przetwarzaniu w chmurze, blockchain, zrobotyzowanej automatyzacji procesów, internetowi rzeczy i cyberbezpieczeństwu. Jako ekspert w dziedzinie cyfrowej polityki zdrowotnej w unikalny sposób łączy wiedzę informatyczną, biznesową i ekonomiczną z umiejętnościami przywódczymi. Doradza administracji publicznej i dużym przedsiębiorstwom w osiąganiu celów biznesowych poprzez stosowanie rozwiązań wykorzystujących wysokie technologie, angażując stronę biznesową i technologiczną. Uznany prelegent branżowy i wykładowca akademicki Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, Krajowej Szkoły Administracji Publicznej, Politechniki Warszawskiej i Akademii Leona Koźmińskiego, aktywnie uczestniczy w wymianie wiedzy i doświadczeń na wielu forach branżowych, pozytywnie motywując różne środowiska do współpracy.



Rozdział II.

Wdrażanie AI w sektorze zdrowia

JAROSŁAW BUŁKA,
PAWEŁ MORKISZ,
IRENEUSZ WOCHLIK



Powszechne określenie „sektor zdrowia” kryje w sobie różnorodne obszary dziedzinowe i modele biznesowe, w ramach których świadczone są usługi związane z profilaktyką, diagnostyką, terapią, rehabilitacją, badaniami i rozwojem nowych leków i terapii czy szeroko rozumianym zdrowiem publicznym. Modele te charakteryzują się często złożonymi wymaganiami legislacyjnymi, odrębnymi wytycznymi etycznymi oraz zróżnicowanym poziomem ryzyka związanego z wdrażaniem rozwiązań bazujących na algorytmach sztucznej inteligencji.

Ten niezwykle rozległy, składający się z wielu dziedzin obszar obejmuje zarówno kwestie ekonomiki i zarządzania w ochronie zdrowia, efektywnego tworzenia strategii rozwojowych tych podmiotów, makroanalizy finansowej konkretnych procedur medycznych – na zdrowiu publicznym kończąc. Szczególnie ostatni aspekt jest niezwykle ciekawy z punktu widzenia implementacji algorytmów AI, ponieważ właśnie te technologie dają niezwykle efektywne narzędzia tworzenia i analizy wielowymiarowych map potrzeb zdrowotnych, a także modelowania dynamiki czy predykcji zachorowań.

Implementacja AI w diagnostyce jest osobną kwestią, niezwykle istotną dla poprawy jej jakości, a także przyspieszenia rozwoju. To właśnie w diagnostyce medycznej możemy najczęściej obserwować, jak sztuczna inteligencja w spektakularny sposób wspiera lekarzy w podejmowaniu decyzji diagnostycznych czy w procesach terapeutycznych, jak buduje zupełnie nową jakość w medycynie personalizowanej,

a także jak wspiera prowadzenie zaawansowanych badań klinicznych oraz tworzenie nowych leków.

Sama technologia określana jako sztuczna inteligencja będzie bardzo zbliżona, a wielu przypadkach wręcz taka sama, ale stawiane dla niej cele będą różne i drogi do ich osiągnięcia będą w znacznym stopniu uzależnione od obszarów, w których te rozwiązania będą implementowane.

WYBRANE OBSZARY W SEKTORZE ZDROWIA I ŁATWOŚĆ IMPLEMENTOWANIA ROZWIĄZAŃ BAZUJĄCYCH NA SZTUCZNEJ INTELIGENCJI

Obszar zarządczy w ochronie zdrowia, rozważany zarówno na poziomie krajowym, jak pojedynczej placówki, daje szerokie możliwości wdrażania rozwiązań wykorzystujących sztuczną inteligencję i w obszarach formalnych nie odbiega od wymagań stawianych takim wdrożeniom w innych sektorach gospodarki. Możliwe są tu do zastosowania modele analityki prognostycznej oraz modele optymalizacyjne, które pozwolą na podejmowanie lepszych decyzji. Stosowane mogą być zarówno klasyczne modele regresji, klasyfikacji, jak uczenia ze wzmocnieniem (*reinforcement learning*).

Zdrowie publiczne jest już obszarem o zwiększonej wrażliwości na wyniki działania rozwiązań sztucznej inteligencji. Wykorzystanie rekomendacji czy predykcji stworzonych przez algorytmy sztucznej inteligencji, np. do tworzenia map potrzeb zdrowotnych czy modelowania dynamiki rozwoju epidemii lub chorób przewlekłych, może mieć znaczący wpływ na de-

czyje strategiczne na poziomie kraju. W bezpośredni sposób będzie się to przekładać na gotowość służby zdrowia do zapewnienia obywatelom odpowiedniej opieki medycznej.

Idąc dalej, błędy wygenerowane przez sztuczną inteligencję mogą mieć pośredni wpływ na możliwość zagwarantowania konkretnej osobie właściwych procedur medycznych, pozwalających na jak najlepszą ochronę jej zdrowia i życia. Biorąc pod uwagę ogromne możliwości, jakie oferuje nam sztuczna inteligencja, nie możemy zapominać o tym, że źle przygotowane dane, niewłaściwie dobrane algorytmy, nieprawidłowo wygenerowane modele mogą stwarzać ryzyko.

→ **Istotnym dla tego sektora może się okazać *federated learning*, tj. świeży trend, pozwalający na odpowiednią ochronę danych przez trenowanie modeli w sposób rozproszony, bez potrzeby przesyłania i agregowania wszystkich wrażliwych danych, a poprzez wyłącznie przesyłanie aktualizacji wag w postaci zaszyfrowanej.**

Diagnostyka jest jednym z najbardziej wymagających obszarów związanych z bezpośrednimi decyzjami dotyczącymi pacjenta i konsekwencjami tych działań. Algorytmy sztucznej inteligencji mogą być implementowane bezpośrednio w urządzeniach medycznych, jak też w oprogramowaniu służącym do wspierania lekarzy w procesie diagnostycznym. Bez względu na to, czy mamy do czynienia z urządzeniem, czy też z oprogramowaniem, które generują informacje wykorzystywane przy podejmowaniu decyzji diagnostycznych, mamy do czynienia w wyrobach medycznych. Wyroby medyczne są odpowiednio klasyfikowane. Ta klasyfikacja narzuca kolejne wymagania, które muszą zostać spełnione przed wdrożeniem rozwiązania do powszechnego użytku. Sztuczna inteligencja w wyrobach medycznych jest stosunkowo nowym zagadnieniem dla obszaru legislacji i certyfikacji, dlatego należy ze szczególną uwagą śledzić pojawiające się wytyczne oraz konkretne wymagania związane z tym obszarem. Stosowanie tego typu rozwiązań wydaje się jednak bardzo naturalnym kierunkiem rozwoju – obecnie opracowane metody segmentacji czy klasyfikacji mają dokładność i szybkość działania nieporównywalnie lepsze niż analizy wykonywane manualnie poprzez lekarzy czy diagnostów (przykładowo – modele wykrywające wczesne stadium raka skóry na podstawie zdjęć wykonanych telefonami komórkowymi).

Procesy terapeutyczne i medycyna personalizowana wiążą się z decyzjami dotyczącymi konkretnych działań oraz stosowaniem konkretnych leków w określonych dawkach i czasie w stosunku do konkretnego pacjenta. Tutaj również rekomendacje generowane przez sztuczną inteligencję dotyczą bezpośrednich działań w stosunku do pacjenta. Wiąże się to z odpowiednią klasyfikacją takich rozwiązań w katalogu wyrobów medycznych i zastosowania odpowiedniego podejścia do procesu wdrażania na rynek tego typu rozwiązań. Stosowanie modeli sztucznej inteligencji pozwala na

pełną personalizację tego procesu poprzez wykorzystanie modeli o dużej liczbie parametrów. Mają one możliwość absorpcji wielu stopni swobody i zdolność generalizacji, która umożliwia tworzenie właściwych rekomendacji dla nowych pacjentów.

Tworzenie nowych leków z wykorzystaniem rozwiązań wykorzystujących sztuczną inteligencję jest obszarem stosunkowo nowym, ale o dużym potencjale i pierwszych, konkretnych sukcesach. W ostatnich miesiącach do badań klinicznych trafił lek, który bazuje na nowej molekuole opracowanej przez sztuczną inteligencję. Wytypowanie odpowiednich składników do jej stworzenia zajęło algorytmom AI rok. Szacuje się, że z wykorzystaniem tradycyjnej procedury badawczej proces ten trwałby pięć razy dłużej. To przykład pokazujący możliwości, jakie daje sztuczna inteligencja i to, jak zaczyna ona wpływać na sektor zdrowia. Sam proces tworzenia nowych leków jest ściśle regulowany, a sztuczna inteligencja idealnie wpasowała się w początkowy etap R&D i zaprojektowała nową molekułę w czasie nieosiągalnym przy dotychczasowym podejściu badawczym.

Aspekty technologiczne związane z procesem wdrażania sztucznej inteligencji w sektorze zdrowia w ostatnich czasach przestały być barierą i dużym wyzwaniem dla instytucji czy firm chcących wykorzystywać tę technologię. Coraz mocniej upowszechniająca się chmura publiczna oraz jej dynamiczny rozwój w obszarze narzędzi i platform wspierających rozwiązania sztucznej inteligencji sprawiają, że rozpoczęcie prac nad rozwiązaniami bazującymi na algorytmach AI nie wiąże się obecnie z długim czasem ani dużymi nakładami finansowymi.

Proces wdrażania rozwiązań AI w sektorze zdrowia, poza wskazanymi powyżej charakterystycznymi uwarunkowaniami, będzie zbliżony do wdrażania tego typu rozwiązań w innych dziedzinach gospodarki. W celu minimalizacji ryzyka i błędów związanych z wyborem konkretnych zagadnień, które planuje się wesprzeć sztuczną inteligencją, warto proces wdrożeniowy podzielić na etapy, które pozwolą na monitorowanie wdrożenia. Poniżej przykład etapów oraz zagadnień, które sugeruje się przeprowadzić.

Strategia – po podjęciu decyzji o wdrażaniu rozwiązań bazujących na sztucznej inteligencji warto przygotować strategię dotyczącą tego, jak takie rozwiązania będą wprowadzane do organizacji i jakie działania organizacyjne należy wykonać, aby takie wdrożenia były łatwo adaptowalne do codziennej pracy. Na tym etapie warto również podjąć decyzję o wyborze środowiska wdrożenia oraz decyzję dotyczącą docelowego modelu wdrażania tego typu rozwiązań (np. chmura hybrydowa, chmura publiczna). Strategia dotycząca wdrażania rozwiązań AI powinna uwzględniać powołanie specjalisty (zespołu specjalistów) ds. odpowiedzialności AI.

Warsztaty – są doskonałym narzędziem do wytypowania konkretnych obszarów w organizacji, których wsparcie roz-

wiązaniami sztucznej inteligencji może przynieść wartość dodaną. Analiza mechanizmów i procesów własnej organizacji, jej działalności, potrzeb, potencjału pozwala na świadome wytypowanie miejsc, gdzie istnieje uzasadnienie do wykorzystania sztucznej inteligencji.

Analiza – to niezwykle istotne działanie, szczególnie gdy mamy do czynienia z sektorem zdrowia. Na tym etapie powinno być przygotowane studium wykonalności uwzględniające aspekty technologiczne, prawne oraz ocenę ryzyka. Przed startem z implementacją technologiczną warto zwrócić uwagę m.in. na możliwości prawne wykorzystania danych, weryfikację licencji, klasyfikację certyfikacyjną (o ile tego dotyczy), czystość patentową oraz wartość biznesową rozwiązania i kryteria sukcesu (minimalna dokładność algorytmów, maksymalne opóźnienia systemu itp.).

Wdrożenie – na tym etapie, poza samą implementacją technologiczną, ważnymi elementami są licencje na aplikacje i bazy danych, umowy wdrożeniowe, umowy na wykorzystanie usług chmurowych, ubezpieczenia, Prawo Zamówień Publicznych (dla instytucji, których ono dotyczy).

Utrzymanie – ten etap, poza czysto technicznymi aspektami, takimi jak utrzymanie środowiska i modeli AI, monitorowanie ich jakości oraz prowadzenie procesu trenowania, powinien obejmować również monitoring zmian prawa związanych z tym konkretnym zastosowaniem. Jest to o tyle istotne, że obecnie zagadnienia związane z prawem, etyką, prawami człowieka w obszarze sztucznej inteligencji są w trakcie bardzo intensywnych prac zarówno na poziomie Unii Europejskiej, jak poszczególnych krajów członkowskich.

WNIOSKI

Wdrażanie AI w sektorze zdrowia w wielu miejscach wymaga większej uwagi i ostrożności niż w przypadku innych sektorów gospodarki. Tak jak wcześniej wspomniano, sama technologia oraz możliwości jej implementacji nie odbiegają od ogólnych trendów. Jednak dziedzina, z którą mamy do czynienia, wymaga szerszego spojrzenia i monitorowania dodatkowych aspektów legislacyjnych i certyfikacyjnych. Fakt ten nie powinien jednak zniechęcać do sięgania po to, co sztuczna inteligencja oferuje nam obecnie i co będzie oferowała w niedalekiej przyszłości. To dziedzina, która rewolucyjnie wkracza praktycznie w każdą sferę naszego życia i pomijanie jej w sektorze zdrowia byłoby ogromnym błędem, tym bardziej że już dzisiaj widzimy ogromny potencjał i fantastyczne rezultaty stosowania tego typu narzędzi.

Dynamika rozwoju AI na świecie oraz pojawiające się coraz to nowe wytyczne i regulacje mogą powodować ostudzenie zapału do sięgania po tę technologię. Jako że temat wdrażania rozwiązań sztucznej inteligencji w sektorze zdrowia jest wielowymiarowy, w sytuacji gdy dany podmiot nie ma wystarczających kompetencji, pozwalających na stworzenie bezpiecznych standardów dotyczących rozwiązań AI, zawsze można wesprzeć się organizacjami, które posiadają w swoich szeregach specjalistów „pokrywających” kompetencyjnie wszystkie przytoczone wyżej obszary. Takie wsparcie może pozwolić na przyspieszenie procesu skutecznego wykorzystywania rozwiązań sztucznej inteligencji oraz budowania wiedzy z przedmiotowego obszaru wewnątrz organizacji.

JAROSŁAW BUŁKA,
PAWEŁ MORKISZ,
IRENEUSZ WOCHLIK

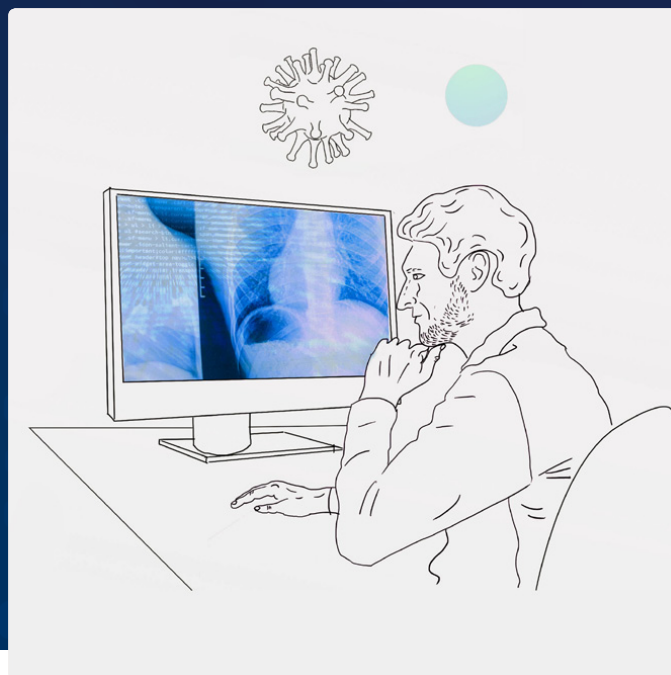
(Sylwetki Pawła Morkisza i Ireneusza Wochlika zostały opisane w Rozdziale I.)



Dr inż. Jarosław Bułka – biocybernetyk z 20-letnim stażem akademickim w Katedrze Automatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH. Autor ponad 50 publikacji z obszarów AI, sieci neuronowych, telemedycyny, telediagnostyki i inżynierii biomedycznej. Współorganizator konferencji branżowych, panelista i popularyzator działalności badawczo-rozwojowej oraz transferu wiedzy z nauki do biznesu. Od 2002 sekretarz Komisji Akredytacyjnej Uczelni Technicznych; ekspert technologiczny Związku Powiatów Polskich oraz Krakowskiego Parku Technologicznego. Członek Małopolskiej Rady Innowacji, Rady Społeczeństwa Informacyjnego przy Marszałku Województwa Małopolskiego i Rady Naukowej Małopolskiego Ośrodka Medycyny Translacyjnej, pełnomocnik Prezydenta Miasta Krakowa ds. Transformacji Cyfrowej. Do 2018 dyrektor Działu Nowych Technologii Krajowego Instytutu Gospodarki Senioralnej oraz członek Rady Fundacji Klastra Life Science. Organizator i realizator wielu innowacyjnych projektów R&D. Jeden z pierwszych przedsiębiorców w kraju tworzących profesjonalne, w pełni certyfikowane medycznie (wg normy ISO 13485) rozwiązania wykorzystujące technologie ICT i AI w projektach telemedycznych. Obecnie współwłaściciel i prezes firmy MedDataSolution.

Sztuczna inteligencja w radiologii

PRZEMYSŁAW CZUMA



- Sztuczną inteligencję wykorzystuje się w analizie obrazów medycznych i wspieraniu diagnostyki
- Intensywnym pracom badawczym towarzyszy coraz więcej ofert komercyjnego zastosowania AI

„Będąc radiologiem jesteś jak kot z kreskówki – wisisz już nad przepaścią, ale jeszcze nie spojrzalesz w dół. (...) To zupełnie oczywiste, że powinniśmy już przestać szkolić radiologów”.

Te kontrowersyjne słowa, które odbiły się szerokim echem w środowiskach nie tylko bezpośrednio związanych z ochroną zdrowia, wypowiedział w 2016 r. Geoffrey Hinton¹, specjalista uznawany za jednego z „ojców chrzestnych” uczenia maszynowego (choć ściśle rzecz biorąc, pojęcie „sztuczna inteligencja” ma nieco szersze znaczenie niż „uczenie maszynowe”, w poniższym opracowaniu dla przejrzystości terminy te będą używane zamiennie).

WIELKI SKOK

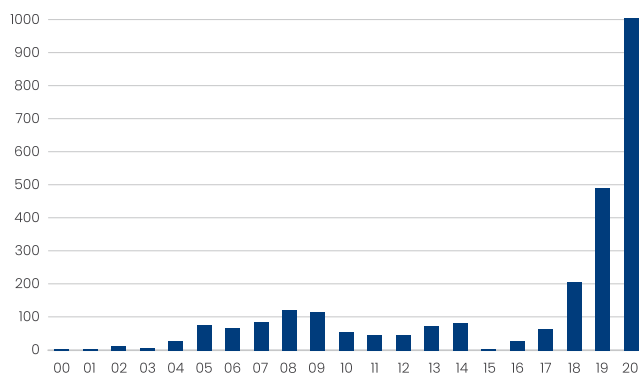
Czy prowokacyjne twierdzenia Hinton’a znajdują pokrycie w rzeczywistości? A może są kolejnym w historii sztucznej inteligencji przykładem niepoprawnego optymizmu, który już po wielokroć w przeszłości okazywał się nieuzasadniony?

Nie ulega wątpliwości, iż ostatnie dziesięciolecie przyniosło gwałtowny rozwój AI w wielu często odległych dziedzinach. Uważa się ją za główną siłę napędową IV rewolucji przemysłowej². Szeroko pojęta medycyna należy do sfer, w których rozwój ów przebiega szczególnie burzliwie.

Za sprawą głębokiego uczenia (*deep learning* – DL) – kategorii uczenia maszynowego wykorzystującego sieci neuronowe – polem, na którym postępy AI rysują się szczególnie wyraźnie, są zadania polegające na komputerowej analizie obrazu (*computer vision*).

- Radiologia jako dyscyplina oparta w znacznej mierze na interpretacji cyfrowych obrazów ludzkiego ciała nieprzypadkowo jest w awangardzie medycznych zastosowań algorytmów AI.

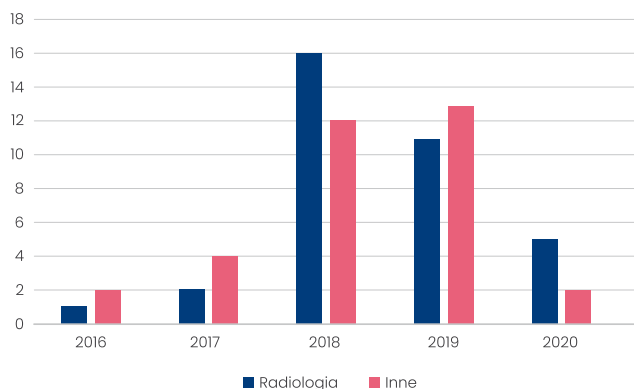
Tezę o dynamicznym rozwoju AI w radiologii potwierdza wyraźnie m. in. niemal wykładniczy wzrost liczby publikacji naukowych w ostatnich latach (rys. 1).



Rys. 1. Liczba publikacji naukowych zawierających słowa *radiology* i *artificial intelligence* w latach 2000–2020 (Źródło: medpub.gov)

ALGORYTMY W PRAKTYCE KLINICZNEJ

Intensywnym pracom badawczym towarzyszy coraz więcej ofert komercyjnego zastosowania AI – prawdopodobnie jeszcze czulszy papierek lakmusowy potencjału użytkowego AI w praktyce klinicznej. I tak, pierwszy komercyjny algorytm AI został zatwierdzony do użytku klinicznego przez amerykański Urząd d.s. Żywności i Leków (Food&Drug Administration – FDA) w 2016 roku³. Do chwili obecnej takich rozwiązań zarejestrowano kilkadziesiąt, przy czym zdecydowana większość dotyczy metod obrazowania stosowanych w radiologii oraz kardiologii (rys. 2).



Rys.2 Liczba narzędzi wykorzystujących AI zatwierdzonych przez FDA wg lat (źródło: medicalfuturist.com)

Choć nie jest to przedmiotem niniejszego opracowania, warto zauważyć w tym miejscu nowe wyzwania regulacyjne powstające przed legislatorami. Coraz więcej algorytmów ma charakter „adaptacyjny”, tj. mogący ulegać modyfikacji (w domyśle: doskonaleniu) na podstawie danych dostarczanych w trakcie użytkowania. Zatem w przeciwieństwie do dotychczas stosowanych „analogowych” instrumentów diagnostycznych nie można ich efektywności traktować jak wartości statycznej, danej „raz na zawsze”.

Przegląd radiologicznych zastosowań AI, które uzyskały aprobatę FDA, dobrze oddaje zarówno kierunek ewolucji, jak

spektrum owych metod. Pozwala także pokusić się o klasyfikację.

Najprostsze i najbardziej oczywiste podziały uwzględniają rodzaj badania radiologicznego, które ma być wspomagane przez AI: radiogram (RTG), tomografię komputerową (TK), rezonans magnetyczny (MR), ultrasonografię (USG) – i/lub badaną okolicę ciała/narząd (głowa i szyja, klatka piersiowa, serce, brzuch itd.).

PIĘĆ POZIOMÓW SAMODZIELNOŚCI

Nieco innym, ciekawym podejściem do zagadnienia jest klasyfikacja zainspirowana oceną „samodzielności” autonomicznych pojazdów mechanicznych⁴:

Poziom 0 to systemy przetwarzające obraz, nieposiadające jednak możliwości wspomaganie diagnozy. Ich podstawowym zadaniem jest poprawa jakości danych dostarczanych radiologowi, co zwiększa szansę na szybką i trafną interpretację.

Dodatkową niebagatelną zaletą tego typu rozwiązań jest ograniczenie czasu trwania badania i związane z tym zmniejszenie ekspozycji pacjenta na potencjalnie szkodliwe czynniki (promieniowanie jonizujące, środki kontrastujące). Należy tu m.in. zarejestrowany przez FDA w 2019 roku system Advanced intelligent Clear-IQ Engine (AiCE), poprawiający rozdzielczość, zmniejszający szum obrazów tomografii komputerowej oraz rezonansu magnetycznego.

Poziom 1 to algorytmy ukierunkowane na rozpoznanie jednej konkretnej anomalii, poczynając od złamania kości udowej czy nadgarstka (OsteoDetect), przez odmę płuczną (HealthPNX), po udar mózgu (ContaCT).

Oprogramowanie polskiej firmy Brainscan oparte na AI pozwala na wykrycie różnych typów krwawienia śródczaszkowego z bardzo wysoką skutecznością.

Szczególnie obiecujące wydaje się zastosowanie tego typu rozwiązań w sytuacjach wymagających szybkiego wdrożenia leczenia, np. u ofiar wypadków komunikacyjnych. Ich rola polegałaby przede wszystkim na skróceniu czasu od badania do wyniku, m.in. poprzez informowanie radiologa jeszcze przed ukończeniem badania, że może mieć do czynienia ze stanem potencjalnie zagrażającym zdrowiu i życiu.

Pandemia COVID-19 okazała się niezwykle silnym bodźcem do rozwoju instrumentów opartych na AI, których zadaniem jest wczesne wykrycie zmian w płucach w przebiegu infekcji SARS-Cov-2. Powstało ich co najmniej kilkanaście w różnych miejscach świata. Należy do nich rodzimy system Circa, stworzony przez specjalistów z Politechniki Śląskiej⁵.

Poziom 2 obejmuje bardziej rozbudowane algorytmy, potrafiące rozpoznawać nie jedną, a wiele różnych patologii w obrębie jednego lub wielu organów. Komercyjnym przykładem takiego rozwiązania jest oprogramowanie Icobrain belgijskiej firmy Icometrix, pozwalające na diagnostykę i ocenę nasilenia szeregu schorzeń neurologicznych, takich jak stwardnienie rozsiane, zespoły otępienne, padaczka, udary.

Interesującym, a na dodatek zupełnie darmowym narzędziem z tej grupy jest Chester⁶ – „inteligentny asystent radiologiczny” (z ang. *chest* – klatka piersiowa). Pozwala on na kompleksową, uwzględniającą aż czternaście parametrów ocenę zdjęcia rentgenowskiego klatki piersiowej – najczęściej wykonywanego na świecie badania radiologicznego – z poziomu przeglądarki internetowej (rys. 3).

Poziom 3 i 4 to, odpowiednio, oprogramowanie o umiejętnościach na poziomie wyszkolonego radiologa oraz przekraczające je.

Na razie buńczuczne zapowiedzi Geoffreya Hinton’a sprzed pięciu lat pozostają bliżej pogranicza futuryzmu i *science fiction* niż tego, co przyniesie najbliższa przyszłość. Szczególnie jeśli uświadomimy sobie, iż poziom złożoności pracy radiologa znacznie przekracza „identyfikację wzorów”, czyli „opisywanie zdjęć”. Rzecz, która wydawałaby się prostsza, czyli prawidłowe przeprowadzenie badania USG jamy brzusznej, pozostaje poza zasięgiem najbardziej zaawansowanych systemów robotycznych.

Oczywiście trudno nie zauważyć ogólnikowości przytoczonego podziału.

WIĘCEJ MOŻLIWOŚCI

Możliwości zastosowania AI w klasyfikacji obrazów radiologicznych są znacznie szersze niż mniej lub bardziej autonomiczne postawienie diagnozy. Cyfrowa obróbka obrazu z pomocą AI pozwala na błyskawiczną analizę ilościową, już teraz nieosiągalną dla ludzkich zmysłów i umysłu.

→ **Wspomniany system Icobrain umożliwia wykrycie nawet subtelnych ubytków objętości struktur mózgu w początkowej fazie choroby Alzheimera czy zobiektywizowane ilościowe śledzenie rozwoju stwardnienia rozsianego na podstawie badania TK.**

Powstają narzędzia oparte o AI, które już obecnie przewyższają swych ludzkich odpowiedników w ocenie stopnia zagrożenia rozwojem nowotworu na podstawie mammografii⁷.

W wielu szpitalach w Indiach, kraju o jednym z najwyższych wskaźników występowania COVID-19, stosowane jest oprogramowanie qXR, będące nie tylko testem przesiewowym, który błyskawicznie wykrywa chorobę na podstawie RTG, ale

także pozwala śledzić jej postęp w sposób zautomatyzowany⁸. Co więcej, qXR umożliwia identyfikację chorych podwyższonego ryzyka, zagrożonych ciężkim przebiegiem infekcji, umożliwiając zapewnienie im odpowiedniej opieki medycznej, zanim ich stan ulegnie pogorszeniu⁹.

Przed pandemią algorytm qXR służył jako narzędzie do wykrywania gruźlicy – szacuje się, że jego wykorzystanie obniżyło koszty rozpoznawania tej choroby o 45–55 proc..

Wróćmy na chwilę do „przypadku” Chestera – darmowego „asystenta radiologicznego”, który trafił „pod strzechy”, by przyrzeć się kilku ciekawym aspektom udostępnienia tego typu instrumentów *on-line*.

Chester pozwala na wstępną, dość „fachową” ocenę wyniku badania RTG klatki piersiowej bez udziału radiologa. W dobie ogólnoswiatowego problemu niedoboru personelu medycznego takie rozwiązanie może poprawić opiekę nad chorymi szczególnie tam, gdzie braki te są najbardziej dotkliwe (np. w krajach rozwijających się), choć nie wyłącznie.

LEKARZ KONTRA AI

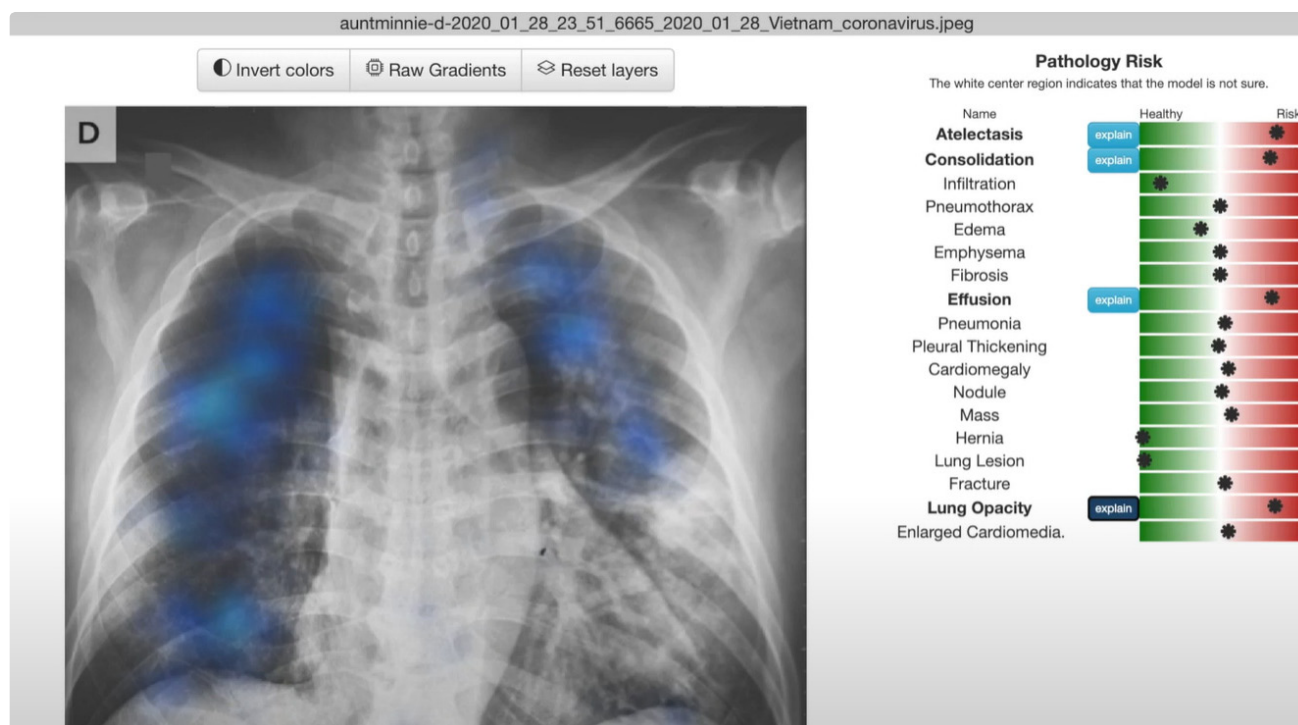
Niewątpliwie w miejscach o dobrym dostępie do opieki medycznej też znajdują się pacjenci, którzy zapragną skonfrontować opis radiologa z tym, co wykaże analiza przeprowadzona przez algorytm. Wykrycie ewentualnych ludzkich przeoczeń z jednej strony zwiększy szansę na odpowiednie leczenie, z drugiej jednak w niektórych sytuacjach może stać się źródłem sporów, w tym prawnych.

Istnieje kilka scenariuszy konfliktu „człowiek lekarz kontra AI”, które nieuchronnie prowadzą do zagadnienia *black box*, czyli trudności z wytłumaczeniem nawet przez twórców algorytmu, skąd taki, a nie inny wynik. Zbyt to jednak obszerny temat, by choćby pobieżnie rozwinąć go w niniejszym opracowaniu.

Oczywiście działalność radiologa nie polega wyłącznie na interpretacji uzyskanych obrazów. Czynność ta, choć kluczowa, zajmuje jedynie około 50 proc. czasu poświęconego na pracę¹⁰. Resztę pochłaniają inne, równie niezbędne obowiązki: selekcja i przygotowanie pacjentów, dobór odpowiedniego badania i jego przeprowadzenie, opisanie i przekazanie wyniku, aktywność badawczo-naukowa. Każde z tych zadań może być usprawnione z pomocą AI, przyczyniając się do zwiększenia efektywności i wydłużenia czasu, który radiolog będzie mógł poświęcić na analizę badań.

Z uwagi na to, iż większość tego rodzaju zastosowań AI jest mniej specyficzna dla radiologii, zostaną one wspomniane jedynie pokrótce.

Zastosowanie głębokiego uczenia pomaga m.in. podjąć decyzję, czy konieczne jest zastosowanie środka kontrastującego podczas badania rezonansu magnetycznego^{11,12}.



Rys. 3. Interfejs użytkownika programu Chester (źródło: <https://mlmed.org/>)

Rozwiązania wykorzystujące syntezę mowy oraz przetwarzanie języka naturalnego (NLP), które w Polsce oferuje m.in. spółka Techmo, mogą posłużyć do usprawnienia rejestracji pacjentów „pod postacią” voicebotów, pomagać w automatyzacji opisywania badań, jak też ułatwiać przeglądanie baz danych w celach statystyczno-badawczych.

ALGORYTM NIE ZASTĄPI RADIOLOGA

Przedstawione powyżej aplikacje AI w radiologii są jedynie wąskim wycinkiem całości. Niemal każdego dnia pojawiają się kolejne doniesienia o wykorzystaniu uczenia maszynowego w tej dziedzinie.

Czy rzeczywiście oznacza to, że dni radiologów są policzone? Czy jak twierdzi Geoffrey Hinton, lekarze tej specjalności są jak koty nad przepaścią i zaraz znikną z horyzontu medycyny za sprawą sztucznej inteligencji¹³?

Curtis P. Langlotz, radiolog z Uniwersytetu Stanforda, trafnie rozwiązał te obawy: AI nie zastąpi radiologa – to radiolog korzystający ze sztucznej inteligencji zastąpi specjalistę, który tego nie zrobi¹⁴.

Autor niniejszego tekstu w pełni podziela ów pogląd. W bliskiej i średniej perspektywie sztuczna inteligencja przyczyni się do znacznej poprawy efektywności pracy z badaniami obrazowymi – radiolodzy, forpocztą medycznych zastosowań uczenia maszynowego, staną się nie „kojotami”, ale prawdziwymi „strusiami pędziwiatrów” ochrony zdrowia.

PRZEMYSŁAW CZUMA

Przypisy:

- Mukherjee, S. M.D. versus A.I. The New Yorker Magazine. 2017, April 3.
- <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>
- Benjamins, S., Dhunoo, P. & Mesko, B. The state of artificial intelligence-based FDA-approved medical devices and algorithms: an online database. *npj Digit. Med.* 3, 118 (2020).
- Nakata N, Recent technical development of artificial intelligence for diagnostic medical imaging. *Jpn J Radiol.* 2019 Feb;37(2):103-108. doi: 10.1007/s11604-018-0804-6. Epub 2019 Jan 31. PMID: 30706381.
- <https://covid.aei.polsl.pl/>
- <https://mlmed.org/tools/xray-v1/>
- McKinney, S.M., Sieniek, M., Godbole, V. et al. International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature* 577, 89–94 (2020)
- Pankhania M, Artificial intelligence and radiology: Combating the COVID-19 conundrum. *Indian J Radiol Imaging* 2021;31, Suppl S1:4-10.
- Bora G. Qure.ai can detect Covid-19 lung infections in less than a minute, help triage patients. *Economic Times.* 2020, April 30.
- Kulkarni S., Seneviratne N., Baig MS., Khan AHA. Artificial Intelligence in Medicine: Where Are We Now? *Acad Radiol.* 2020 Jan;27(1):62-70. doi: 10.1016/j.acra.2019.10.001. Epub 2019 Oct 19. PMID: 31636002.
- Lee, Y.H. Efficiency Improvement in a Busy Radiology Practice: Determination of Musculoskeletal Magnetic Resonance Imaging Protocol Using Deep-Learning Convolutional Neural Networks. *J Digit Imaging* 31, 604–610 (2018).
- Trivedi, H., Mesterhazy, J., Laguna, B., Vu, T., Sohn, J.H. Automatic determination of the need for intravenous contrast in musculoskeletal MRI examinations using IBM Watson's natural language processing algorithm. *J Digit Imaging.*
- Mukherjee S., Algorytm cię teraz zobacz, 03.04.2017, <https://www.newyorker.com/magazine/2017/04/03/ai-versus-md>
- Langlotz C.P., Will Artificial Intelligence replace radiologists? *Radiol. Artif. Intell.* 2019;1:e190058. doi: 10.1148/ryai.2019190058.



Lek. med. Przemysław Czuma – chirurg-praktyk, specjalista ortopedii i traumatologii zajmujący się m.in. endoprotezoplastyką stawów z wykorzystaniem najnowszych osiągnięć implantologii oraz rekonstrukcją złożonego mechanizmu ludzkiej stopy; twórca małoinwazyjnej metody stabilizacji kości udowej. Aktywny uczestnik i prelegent wielu konferencji medycznych oraz wydarzeń dotyczących wdrażania nowych technologii ze szczególnym uwzględnieniem medycznego zastosowania sztucznej inteligencji. Pomysłodawca i organizator nowo powstałego Polskiego Stowarzyszenia „Sztuczna Inteligencja w Medycynie” – platformy porozumienia różnych środowisk zainteresowanych rozwojem medycznej AI w Polsce (www.inteligencja.org.pl). Futurysta, wielbiciel prozy Stanisława Lema oraz umiarkowany zwolennik hipotezy symulacji – na te tematy publikował w „Filozofuj!” – ogólnopolskim periodyku filozoficznym.

Przykład zastosowania

Nieinwazyjna diagnostyka mózgu

Tomasz Jaworski

→ Opracowano bardzo zaawansowaną sieć neuronową, wyspecjalizowaną i zaprojektowaną do wykrywania i segmentacji FCD

Z subtelnych zmian w budowie tkanki nerwowej mogą wynikać bardzo poważne konsekwencje dla życia ludzi. Taką chorobą jest ogniskowa dysplazja korowa (*focal cortical dysplasia*, FCD), wada w budowie tkanki nerwowej i w zakresie dojrzewania komórek w obrębie kory mózgowej, będąca częstą przyczyną lekoopornej padaczki u dzieci i dorosłych. Istnieje kilka podtypów FCD. Uważa się, że wszystkie formy ogniskowej dysplazji korowej objawiają się zaburzeniami w budowie neuronów, np. dysmorfii i występowaniem komórek „balonowych”, to jest takich, które wykazują cechy zarówno komórek glejowych, jak nerwowych.

Największą w Niemczech stacją monitorującą do kompleksowej diagnostyki padaczki posiada Hamburg Epilepsy Centre. Placówka ta jest jednym z najważniejszych ośrodków wykrywania i leczenia padaczki w Europie.

W przypadku FCD obszary zmienione chorobowo mogą różnić się lokalizacją, rozmiarem oraz kształtem i zwykle są wtórnie w otaczające tkanki bez wyraźnych, zdefiniowanych granic. Ich wykrywanie jest bardzo trudne również dla lekarzy, a niezawodne wykrycie FCD wymaga oceny doświadczonego epileptologa. To powoduje, że wiele FCD jako źródeł padaczki pozostaje niewykrytych. Tymczasem wykryte FCD mogą być operowane, a pacjent może zostać uwolniony od napadów padaczkowych.

SIEĆ NEURONOWA DO WYKRYWANIA FCD

Ekspersi Epilepsy Hamburg Centre wraz z partnerem, Microsoft theBlueAI, postanowili wykorzystać możliwości sztucznej inteligencji do automatycznego wykrywania i rozpoznawania położenia FCD w obrazach medycznych. Opracowano bardzo zaawansowaną sieć neuronową, wyspecjalizowaną i zaprojektowaną do wykrywania i segmenta-

cji FCD. Zapewnia ona wyższą czułość w wykrywaniu FCD niż jakiegokolwiek konwencjonalne analizy wizualne.

W lutym 2021 roku w prestiżowym specjalistycznym czasopiśmie medycznym „Epilepsy Research” ukazała się praca naukowa podsumowująca osiągnięcia zespołu badawczego¹. Opracowany model jest uważany przez ekspertów za przydatny w badaniach przesiewowych w kierunku FCD w praktyce klinicznej. Użycie sztucznej inteligencji pozwala na przeprowadzenie diagnostyki większej liczby pacjentów, pozwala ustandaryzować badania przesiewowe, ponieważ AI z każdym analizowanym obrazem jest coraz bardziej dokładna. Zgodnie z zaleceniami Unii Europejskiej („Wytyczne w Zakresie Etyki Dotyczące Godnej Zaufania Sztucznej Inteligencji”²) opracowane rozwiązanie ma jedynie wspierać autonomiczne decyzje lekarza, umożliwiać sprawowanie pełnego nadzoru przez upoważnioną personel, a w szczególności pozwalać analizować źródłowe obrazy diagnostyczne pozyskane z rezonansu magnetycznego.

Jednak uzyskanie spektakularnych rezultatów badań przesiewowych nie byłoby możliwe bez zastosowania zautomatyzowanej analizy próbek, nadzorowanej przez lekarza. Jak wynika ze wspomnianej wyżej pracy naukowej, dokładność wstępnej diagnostyki jest nie do przecenienia. Wstępna diagnoza nie stoi na przeszkodzie dalszym badaniom; takie jest zresztą rutynowe działanie w diagnostyce neurologicznej. Biorąc pod uwagę dysproporcję między rosnącymi potrzebami pacjentów a liczbą wykwalifikowanych lekarzy specjalistów trzeba stwierdzić, że dodatkowe narzędzie w postaci sztucznej inteligencji ma istotny wpływ na zdrowie publiczne, bezpieczeństwo chorych na epilepsję i komfort życia ich rodzin.

WYZWANIA

Rozpoznawanie FCD jest zadaniem znacznie bardziej skomplikowanym niż wiele innych zastosowań AI, na przykład w radiologii, takich jak segmentacja tkanek mózgu czy wykrywanie guzów. Istotną trudność w przypadku zastosowań AI jest spowodowana tym, że FCD różnią się znacznie pod względem lokalizacji, rozmiaru i kształtu, a przy tym przeważnie wtapiają się w otaczającą tkankę bez tworzenia wyraźnych, definiowalnych granic. Analiza MRI przeprowadzana przez ekspertów jest czasochłonna, wymaga specjalistycznej wiedzy, a w niektórych przypadkach pozostaje subiektywna. Utrudnia to zebranie zestawu wiarygodnych danych do szkolenia sztucznej inteligencji.

→ **Dzięki szeroko zakrojonym badaniom technologicznym i wielkiej pracy lekarzy z Hamburg Epilepsy Centre udało się stworzyć największy zbiór danych MRI z dotychczas zebranych obrazów diagnostycznych FCD i osiągnąć wysokie wyniki w detekcji FCD.**

Wykrywanie ogniskowej dysplazji korowej jest najbardziej zaawansowanym przykładem wykorzystania wielu technologii opracowanych przez theBlueAI. Rozwiązania Blue Diagnostics³, takie jak segmentacja i detekcja, są też wykorzystywane bezpośrednio w innym wszechstronnym rozwiązaniu: VSI Holomedicine. Służy ono do identyfikacji i wizualnej segmentacji różnorodnych struktur anatomicznych, np.:

- wizualnej segmentacji kości;
- kielichów nerkowych;
- wykrywaniu i segmentacji guzów mózgu;
- segmentacji naczyń krwionośnych;
- mózgu (istota biała, istota szara, płyn mózgowo-rdzeniowy);
- złożone wykrywanie i segmentacja neuropatologii.

VSI Holomedicine i zastosowania sztucznej inteligencji wspierają lekarzy, zwiększają bezpieczeństwo pacjentów, zmniejszają ilość żmudnej pracy ręcznej diagnostów, oszczędzają zasoby, pozwalają odzyskać czas na ważniejsze zadania i zapewniają szybką ocenę stanu zdrowia pacjenta dzięki zautomatyzowanym procesom.

TOMASZ JAWORSKI

(Sylwetka autora została opisana w Rozdziale I.)

Przypisy:

1. House P.M., Kopelyan M., Braniewska N., Silski B., Chudzińska A., Holst B., Sauvigny T., Stodiek S., Pelzl S., „Automated detection and segmentation of focal cortical dysplasias (FCDs) with artificial intelligence: Presentation of a novel convolutional neural network and its prospective clinical validation”, maj 2021, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0920121121000474?via%3Dihub>
2. Grupa Ekspertów Wysokiego Szczebla ds. Sztucznej Inteligencji, „Wytoczne w zakresie etyki dotyczące godnej zaufania sztucznej inteligencji”, kwiecień 2019 r., https://www.europarl.europa.eu/meet-docs/2014_2019/plmrep/COMMITTEES/JURI/DV/2019/11-06/Ethics-guidelines-AI_PL.pdf
3. Blue Diagnostics (właśc. Blue Healthcare Diagnostics) to platforma różnorodnych narzędzi i zastosowań wykorzystujących sztuczną inteligencję w obszarze ochrony zdrowia.

Sztuczna inteligencja w kardiologii

MAREK TOMALA



- **Sztuczna inteligencja w kardiologii jest wykorzystywana w dwóch głównych nurtach: informatycznym i fizycznym (robotycznym)**
- **Informatyka kognitywna znalazła zastosowanie m.in. w analizie obrazów medycznych, uczeniu maszynowym oraz zautomatyzowanych systemach wspomagania decyzji klinicznych**

Obecnie diagnostyka schorzeń układu sercowo-naczyniowego oparta jest o analizę dostępnej dokumentacji medycznej, obrazowania, wyników biomarkerów oraz badania fizykalnego poszczególnych pacjentów, które są interpretowane zgodnie z osobistym doświadczeniem kardiologa. Każdy indywidualny przypadek kliniczny jest dopasowywany do tradycyjnej taksonomii schorzeń i podlega subiektywnej interpretacji przez literaturę medyczną oraz leczeniu zalecanemu w wytycznych dla określonej grupy pacjentów. Coraz częściej okazuje się, że tak stosowane procedury są nieefektywne i podatne na błędy, trudno je dostosować do leczenia nietypowych pacjentów, jak również ograniczają spersonalizowanie terapii. Jednocześnie coraz większego znaczenia nabiera poprawa efektywności pracy lekarzy oraz systemów opieki zdrowotnej. W odpowiedzi na postęp technologiczny zwiększają się wymagania pacjentów, którzy oczekują większej dostępności bardziej spersonalizowanej i indywidualnie dostosowanej opieki (*individual treatment – IT*)¹. Lekarze interpretują na co dzień coraz większą ilość coraz bardziej złożonych danych. Towarzyszy temu oczekiwanie bardziej wydajnego działania, co powoduje postępują-

ce ograniczenie dostępu do odpowiedniej opieki specjalistycznej. Ocena badań obrazowych, takich jak tomografia komputerowa, oraz ich pilna interpretacja niejednokrotnie potrzebna jest w warunkach ostrego dyżuru w ośrodkach o różnych poziomach referencji, często niedysponujących dostępem do konsultacji specjalistycznych.

Potencjalnym rozwiązaniem tych problemów jest wprowadzenie uczenia maszynowego (*machine learning – ML*), które może usprawnić każdy etap opieki nad pacjentem od zebrania wywiadu przez diagnozę po wybór terapii. W rezultacie praktyka kliniczna dzięki zastosowaniu sztucznej inteligencji (*artificial intelligence – AI*) może okazać się wydajniejsza, wygodniejsza, powszechnie dostępna i bardziej spersonalizowana. Ponadto w przyszłości możliwe będzie przechowywanie zasobów w chmurze². Staną się fuzją strumienia danych biomedycznych, zbieranych na bieżąco i automatycznie dostarczanych przez mobilne czujniki, smartfony itp., oraz zasobów informacyjnych gromadzonych przez system opieki zdrowotnej w formie dotychczas stosowanej.

AI W KARDIOLOGII: DWA NURTY

Sztuczna inteligencja w kardiologii jest wykorzystywana w dwóch głównych nurtach: informatycznym i fizycznym (robotycznym)³. Informatyka kognitywna pozwala na usprawnienie kontrolowania systemów zarządzania służbą zdrowia, tj. elektroniczną dokumentacją medyczną (*electronic medical record* – EMR). Jest również wykorzystywana w oprogramowaniu służącym do analizy obrazów medycznych, jak np. angiografia, echokardiografia, tomografia komputerowa, rezonans magnetyczny serca, ultrasonografia wewnątrznaczyniowa, oraz w uczeniu maszynowym, uczeniu głębokim (*deep learning* – DL), przetwarzaniu języka naturalnego (*natural language processing* – NLP), jak również w zautomatyzowanych systemach wspomagania decyzji klinicznych⁴.

Jeżeli chodzi o ramię robotyczne, to w kardiologii interwencyjnej na etapie klinicznego wdrożenia są obecnie stosowane maszyny wykonujące przeszłone zabiegi na tętnicach wieńcowych (*robotic assisted PCI* – R-PCI), takie jak np. CorPath 200 lub Robocath System⁵. Za ich pomocą można wykonać nawet zaawansowane przeszłone zabiegi na tętnicach wieńcowych. Kardiolog interwencyjny, sterujący urządzeniem bezpośrednio wykonującym zabieg, może znajdować się w osobnym pomieszczeniu, bez konieczności zakładania ciężkiej odzieży ochronnej, narażania się na promieniowanie oraz urazy ortopedyczne. W powszechnym użyciu jest robot da Vinci, za pomocą którego możliwe stało się przeprowadzanie zabiegów kardiochirurgicznych pomostowania aortalno-wieńcowego oraz naprawy zastawki mitralnej⁶.

AI I ML A BADANIA STATYSTYCZNE

Wykorzystywane w kardiologii wnioskowanie oparte o metody statystyczne w coraz większym stopniu zastępowane jest przez algorytmy sztucznej inteligencji. Uczenie maszynowe identyfikuje cechy na podstawie danych, wykonuje predykcje oraz zapewnia narzędzia i algorytmy pozwalające zrozumieć wzorce pochodzące z dużych, złożonych i heterogenicznych zbiorów danych.

Dodatkowo algorytmy ML opierają się na mniejszej liczbie założeń i mogą w niektórych przypadkach zapewnić lepsze i bardziej solidne prognozy. Za przykład może posłużyć próba przewidzenia prawdopodobieństwa ponownego przyjęcia do szpitala z powodu zaostrzenia niewydolności krążenia w okresie 30 dni od wypisu. AI umożliwia wykorzystanie obszernego, ale nieuporządkowanego zbioru danych dotyczących elektronicznej dokumentacji medycznej obejmującej różne zmienne, jak kody rozliczeń z Międzynarodowej Klasyfikacji ICD, recepty na leki, wyniki badań laboratoryjnych, badania obrazowe, notatki z wizyt. Trudno zdecydować a priori, które z nich powinny zostać uwzględnione w modelu predykcyjnym. Tradycyjnie metody statystyczne oparte na re-

gresji są ograniczone przez możliwość wykorzystania ograniczonej ilości predyktorów, które działają w ten sam sposób na wszystkie zmienne z jednorodnością w całym swoim zakresie. Dopasowanie modelu regresji logistycznej jest w rzeczywistości niemożliwe algebraicznie, gdy istnieje więcej zmiennych niezależnych niż obserwacji, ponieważ nie jest możliwe stworzenie funkcji, która opisywałaby taką zależność. Ponadto interakcje pomiędzy ocenianymi czynnikami w procesach fizjologicznych mogą być zbyt skomplikowane, aby można je było uchwycić przy użyciu powszechnie używanych technik regresji. Przykładem jest stworzenie algorytmu pozwalającego na ustalenie, u których pacjentów ze wstrząsem kardiogenym celowe jest zastosowanie mechanicznego wspomaganie krążenia. Ilość i jakość interakcji, które zachodzą równocześnie i podlegają dynamicznym zmianom dla takiego przypadku, jest trudna do zaklasyfikowania przy pomocy metod tradycyjnych. Dzięki ML możliwe jest stworzenie algorytmu wykorzystującego te złożone relacje zachodzące w czasie⁷.

Zastosowanie uogólnionej wzmocnionej regresji (podejście ML) polega na tym, że w każdym kolejnym kroku algorytm poprawia wcześniejsze błędy, po każdym przebiegu przeprowadzana jest próba dopasowania nowego, ulepszonego predyktora do błędu resztkowego popełnionego w poprzednim cyklu (walidacja). Działająca wg. tego algorytmu metoda wzmocnienia gradientowego (ang. *gradient boosting*) została wykorzystana w pilotażowym badaniu klinicznym przeprowadzonym w Szwecji w latach 2011–2013, gdzie w oparciu o dane z 2485 wizyt w oddziale ratunkowym u pacjenta z bólem w klatce piersiowej możliwe stało się przewidzenie zawału serca z dokładnością sięgającą 94 proc.⁸. Ta sama metoda została wykorzystana do określenia tego, czy rodzaj środka kontrastowego był niezależnym czynnikiem predykcyjnym ostrego uszkodzenia nerek wywołanego podaniem kontrastu po przeszłonej interwencji wieńcowej⁹.

Zastosowanie metody klastrow hierarchicznych, która w założeniu umożliwia wychwycenie wspólnych cechy pomiędzy różnymi grupami obserwowanej populacji u pacjentów przyjętych do szpitala z powodu ostrej niewydolności serca, pozwoliło wyizolować trzy odrębne grupy pacjentów z różnym nasileniem dysfunkcji rozkurczowej i wzrostu ciśnienia napełniania LV (oba parametry służą do określenia stopnia zaburzeń rozkurczania LK). Przełożyło się to na różnice w przebiegu klinicznym, leczeniu oraz rokowaniu w każdej z wyodrębnionych grup¹⁰.

Zastosowanie ML obejmuje uczenie nadzorowane (ang. *supervised learning*), uczenie nienadzorowane (ang. *unsupervised learning*) oraz uczenie ze wzmocnieniem (ang. *reinforcement learning*)¹¹. Modele te są stosowane jednocześnie, ich zastosowania przenikają się. Uczenie głębokie jest poddziedziną ML i charakteryzuje się zastosowaniem algorytmów inspirowanych pracą ludzkiego mózgu, w tym klasy algorytmów zwanych sieciami neuronowymi¹².

UCZENIE NADZOROWANE

To rodzaj ML, w którym komputer uczony jest poprzez wprowadzanie zbiorów danych z określonymi etykietami lub adnotacjami. Tworzone są w ten sposób modele, które mogą służyć do przewidywania lub klasyfikowania przyszłych zdarzeń – albo wyszukiwania zmiennych istotnych dla określonego wyniku. Często obejmuje ono klasyfikację obserwacji do jednej lub więcej kategorii lub wyników (np.: „Czy EKG reprezentuje zawał mięśnia sercowego, czy jest to zawał mięśnia sercowego z uniesieniem odcinka ST?”).

Uczenie nadzorowane wymaga wprowadzenia dużej ilości danych i jest czasochłonne, ponieważ dane źródłowe muszą być oznakowane przez ludzi (wprowadzenie i opisanie zapisów EKG, badania echokardiograficznego, angiogramów, wyników badań rezonansu magnetycznego serca, scyntygrafii¹³). Udało się wykazać wysoką skuteczność modeli automatycznej diagnostyki choroby wieńcowej, oceny obecności przewężeń w tętnicach wieńcowych i przewidywania wystąpienia poważnych zdarzeń sercowych w oparciu o badanie scyntygraficzne¹⁴.

UCZENIE NIENADZOROWANE

Uczenie maszynowe nienadzorowane ma na celu odkrycie podstawowej struktury lub relacji między zmiennymi w zbiorze danych. Uczenie modelu przy wykorzystaniu zbioru danych jest przeprowadzane bez określonych etykiet, a algorytm grupuje dane w celu ujawnienia podstawowych wzorców. Ma ono na celu zidentyfikowanie nowych mechanizmów chorobowych, genotypów lub fenotypów¹⁵.

→ **Algorytmy uczenia nienadzorowanego, w tym sztuczne sieci neuronowe analizujące, okazały się przydatne w automatycznym odróżnianiu kardiomiopatii przerostowej (dziedzicznego przerostu mięśnia lewej komory serca) od przerostu fizjologicznego mięśnia lewej komory serca, obserwowanego u sportowców¹⁶.**

Dzięki zastosowaniu aglomeracyjnego hierarchicznego grupowania na podstawie zgromadzonych danych fenotypowych możliwe było stworzenie nowatorskiej klasyfikacji niewydolności serca z zachowaną frakcją wyrzutową – parametrem oceniającym czynność skurczową lewej komory¹⁷. Uczenie nienadzorowane koncentruje się na odkrywaniu podstawowej struktury lub relacji między zmiennymi w zbiorze danych.

UCZENIE SIĘ ZE WZMOCNIENIEM

Uczenie to, oparte na psychologii behawioralnej, wykorzystuje alternatywne podejście, w którym program działa w z góry określonym środowisku, aby zmaksymalizować nagrodę. W ten sposób program identyfikuje właściwe zachowanie

za pomocą „kryteriów nagrody”, by wpłynąć na proces decyzyjny. Próbuje wykonać zadanie (np. wyciąganie wniosków medycznych), ucząc się na własnych sukcesach i porażkach. Głównym celem uczenia się przez wzmacnianie jest maksymalizacja dokładności algorytmów za pomocą prób i błędów. Wiele problemów klinicznych można sformatować tak, aby pasowały do formatu problemu uczenia się przez wzmacnianie. W związku z tym algorytmy uczenia się ze wzmocnieniem mogą być wykorzystywane do wspomagania podejmowania decyzji klinicznych, inteligentnego segmentowania danych z obrazowania medycznego i wybierania spersonalizowanych leków. Zastosowanie uczenia się przez wzmacnianie w medycynie i kardiologii było dotychczas ograniczone. Badania dały obiecujące wyniki: dzięki wzmocnionemu uczeniu się w optymalizacji decyzji terapeutycznych w przypadku chorób przewlekłych i zalecaniu protokołów mechanicznego odłączania respiratora doprowadziły do lepszych wyników klinicznych.

GŁĘBOKIE UCZENIE

Zastosowanie modelu konwolucyjnej sieci neuronowej polega na takim wyuczeniu zestawu filtrów, aby możliwe było wydobycie potrzebnej informacji z dostarczonego obrazu. Sieć neuronalna warstwa po warstwie przeprowadza analizę danych wejściowych, rozkłada je na cechy, które są następnie wyszukiwane wśród rekordów o bliskim sąsiedztwie. Umożliwia to wydobycie kolejnych, bardziej ogólnych własności danych, które są zorganizowane jako punkty na płaszczyźnie o określonej topologii. Ten rodzaj uczenia jest platformą do zastosowań rozpoznawania obrazów, które mogą być wykorzystywane w metodach obrazowania układu krążenia (np. angiografii, echokardiografii, tomografii komputerowej, rezonansie magnetycznym serca, ultrasonografii wewnątrzczaszki i optycznej koherentnej tomografii¹⁸).

PODSUMOWANIE

Sztuczna inteligencja zapoczątkowała zmianę paradygmatu w opiece zdrowotnej dzięki zaawansowanym technikom analitycznym. Potencjalne zastosowania AI w chorobach serca i naczyń to automatyczna analiza obrazu i zapisu wideo, pozwalająca na szybkie i niezawodne diagnozowanie, ocenę rokowania, pomoc w podejmowaniu decyzji klinicznych (np. o hospitalizacji z powodu podejrzenia zawału serca, decyzji o wykonaniu koronarografii), nowatorskie podejście do organizacji i analizy klinicznej bazy danych oraz pomoc robotów w przezskórnych procedurach wieńcowych czy zabiegach kardiochirurgicznych. Sztuczna inteligencja nie tylko osiągnie punkt, w którym do wykrywania chorób będzie wykorzystywać skany wykonywane w czasie rzeczywistym, ale także będzie interpretować niejednoznaczne sytuacje kliniczne, precyzyjnie diagnozować choroby złożone pod względem fenotypowym i podejmować decyzje medyczne, w tym proponować leczenie spersonalizowane.

MAREK TOMALA

Przypisy:

- Schork N.J., *Artificial Intelligence and Personalized Medicine*, w: Von Hoff D. D., Han H., redaktorzy, *Precision Medicine in Cancer Therapy* [Internet], Cham: Springer International Publishing; 2019 [cytowane 29 marzec 2021], s. 265–83. (Cancer Treatment and Research; t. 178), http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-16391-4_11
- Johnson K.W., Torres Soto J., Glicksberg B.S., Shameer K., Miotto R., Ali M. i in., *Artificial Intelligence in Cardiology*. J Am Coll Cardiol, czerwiec 2018;71(23):2668–79.
- Schork N. J., *Artificial Intelligence and Personalized Medicine*, jak wyżej.
- Bizopoulos P., Koutsouris D., *Deep Learning in Cardiology*, IEEE Rev Bio-med Eng., 2019;12:168–93.
- Sardar P., Abbott J.D., Kundu A., Aronow H.D., Granada J.F., Giri J., *Impact of Artificial Intelligence on Interventional Cardiology*, JACC Cardiovasc Interv., lipiec 2019;12(14):1293–303.
- Kroczyk K., Kroczyk P., Nawrat Z., *Medical robots in cardiac surgery – application and perspectives*, Pol J Cardio-Thorac Surg., 2017;1:79–83.
- Aushev A., Ripoll V. R., Vellido A., Aletti F., Pinto B. B., Herpain A. i in., *Feature selection for the accurate prediction of septic and cardiogenic shock ICU mortality in the acute phase*, Mortazavi B., redaktor. PLOS ONE, 20 listopad 2018;13(11):e0199089.
- Lindholm D., Holzmann M., *MACHINE LEARNING FOR IMPROVED DETECTION OF MYOCARDIAL INFARCTION IN PATIENTS PRESENTING WITH CHEST PAIN IN THE EMERGENCY DEPARTMENT*, J Am Coll Cardiol, marzec 2018;71(11):A225.
- Azzalini L., Spagnoli V., Ly H. Q., *Contrast-Induced Nephropathy: From Pathophysiology to Preventive Strategies*, Can J Cardiol, luty 2016;32(2):247–55.
- Horiuchi Y., Tanimoto S., Latif A.H.M.M., Urayama K.Y., Aoki J., Yahagi K. i in., *Identifying novel phenotypes of acute heart failure using cluster analysis of clinical variables*, Int J Cardiol, lipiec 2018;262:57–63.
- Szerzej kwestie techniczne zostały omówione Rozdziale I. „Technologia sztucznej inteligencji” Ryszarda Tadeusiewicza oraz „Uczenie maszynowe – przekrój rozwiązań” Pawła Morkisza i Ireneusza Wochlika.
- Bizopoulos P., Koutsouris D., *Deep Learning in Cardiology*, jak wyżej.
- Badanie echokardiograficzne** – to dwuwymiarowe obrazy mięśnia sercowego w drodze przekłatkowych badań ultrasonograficznych. **Angiografia** to badanie obrazowe z wykorzystaniem kontrastu i promieniowania rentgenowskiego, które służy do oceny naczyń krwionośnych, np. tętnic wieńcowych. **Rezonans magnetyczny serca** to metoda obrazowania wykorzystująca do tworzenia obrazu sygnał emitowany przez wibrujące w polu magnetycznym jądra wodoru zawarte w cząsteczkach wody w ciele ludzkim. Rejestrowana energia jest emitowana jako fala radiowa i przetwarzana w obraz tkanki, umożliwiając rozpoznanie patologii we wcześniejszym niż inne metody stadium. **Scyntygrafia** to technika badania obrazowego wykorzystująca radioizotopy do oceny ukrwienia mięśnia lewej komory serca, najczęściej w spoczynku oraz w wysiłku.
- Slomka P.J., Betancur J., Liang J.X., Otaki Y., Hu L.-H., Sharir T. i in., *Rationale and design of the Registry of Fast Myocardial Perfusion Imaging with Next generation SPECT (REFINE SPECT)*, J Nucl Cardiol, czerwiec 2020;27(3):1010–21.
- Fenotyp to wygląd zewnętrzny, cechy anatomiczne i fizjologiczne danego organu, np. serca, będące zewnętrznym przejawem aktywności genów, czyli genotypu.
- Narula S., Shameer K., Salem Omar A.M., Dudley J.T., Sengupta P.P., *Machine-Learning Algorithms to Automate Morphological and Functional Assessments in 2D Echocardiography*, J Am Coll Cardiol, listopad 2016;68(21):2287–95.
- Johnson K.W., Torres Soto J., Glicksberg B.S., Shameer K., Miotto R., Ali M. i in., *Artificial Intelligence in Cardiology*, jak wyżej. **Aglomeracyjne hierarchiczne grupowanie** to powtarzające się scalać grupy w taki sposób, by różnica wewnątrz grupy była możliwie najmniejsza, a różnica pomiędzy grupami możliwie duża.
- Dey D., Slomka P.J., Leeson P., Comaniciu D., Shrestha S., Sengupta P.P. i in., *Artificial Intelligence in Cardiovascular Imaging*, J Am Coll Cardiol, marzec 2019;73(11):1317–35. **Optyczna koherentna tomografia** to metoda obrazowania tętnic wieńcowych oparta na analizie odbitej wiązki światła widzialnego, która emitowana jest przez światłowód umieszczony w tętnicy wieńcowej.



Dr Marek Tomala – specjalista chorób wewnętrznych, specjalista kardiolog, doktor nauk medycznych od 2012 r. (tytuł pracy doktorskiej: „Ocena stopnia uszkodzenia i czynności prawej komory serca u pacjentów z zawałem ściany dolnej leżonych interwencyjnie”). Zawodowo interesuje się: ostrą niewydolnością krążenia, wstrząsem kardiogenym, interwencyjnym leczeniem zawału serca. Jest autorem i współautorem kilkunastu oryginalnych publikacji naukowych, a na co dzień koordynatorem pracy na Pododdziale Intensywnej Terapii Kardiologicznej w Oddziale Klinicznym Kardiologii Interwencyjnej Krakowskiego Szpitala Specjalistycznego im. Jana Pawła II Instytutu Kardiologii Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego, gdzie leczeni są pacjenci bezpośrednio po zabiegach interwencyjnych w ostrej fazie zawału mięśnia sercowego.

Przykład zastosowania

AI ratuje serca pacjentów

Tomasz Jaworski

→ W 2017 roku na choroby niedokrwienne serca chorowało w Polsce 1,6 mln osób. To 4,2 proc. populacji, więcej niż w Unii Europejskiej

Choroba wieńcowa (*Coronary Artery Disease, CAD*) jest główną przyczyną zgonów na świecie i w Polsce. Choć nowoczesne narzędzia diagnostyczne ratują życie pacjentów dotkniętych popularną „wieńcówką”, nadal istnieje znaczne ryzyko związane z inwazyjnymi procedurami

diagnostycznymi. LifeFlow, polski start-up z branży Med-Tech, wykorzystuje środowisko Microsoft Azure (uczenie maszynowe i dużą moc obliczeniową) do tworzenia trójwymiarowych modeli tętnic i symulacji przepływu krwi. Natomiast dane są przechowywane na bardzo bezpiecz-

nej platformie chmurowej Azure. W rezultacie jako jedna z dwóch firm na świecie LifeFlow opracował rozwiązanie do obrazowania, które umożliwia nieinwazyjną diagnostykę CAD i może być szeroko dostępne dla ratowania życia na całym świecie.

→ **Angażując się w poprawę jakości życia pacjentów dotkniętych chorobą wieńcową, LifeFlow wspiera kardiologów technologią diagnostyczną, która może znacznie zmniejszyć potrzebę stosowania inwazyjnych angiografii, pociągających za sobą ryzyko – od uszkodzenia nerek po zawały serca i udary. Co ważne, cena tej technologii jest bardzo przystępna.**

DIAGNOSTYKA NIEINWAZYJNA I BEZ RYZYKA

Sposób działania tej bazującej na AI diagnostyki jest prosty: kardiolodzy przesyłają dane pacjentów, w tym obrazy tomografii komputerowej serca i sygnały ciśnienia krwi, za pośrednictwem wygodnej platformy do bardzo bezpiecznej usługi Microsoft Azure Blob Storage. Dane te są następnie przekazywane do modelowania ukazującego tętnice i symulacje przepływu krwi – trójwymiarowe modelowanie i przetwarzanie danych diagnostycznych byłoby niemożliwe bez wykorzystania sztucznej inteligencji i dużej mocy obliczeniowej Azure. „Kardiolodzy mogą badać działanie naczyń wieńcowych za pomocą trójwymiarowej rekonstrukcji tętnic. Mogą dokonywać pomiarów w środowisku wirtualnym bez ryzyka dla pacjenta i presji czasu. To zupełnie inny sposób postawienia diagnozy, który eliminuje niepotrzebne

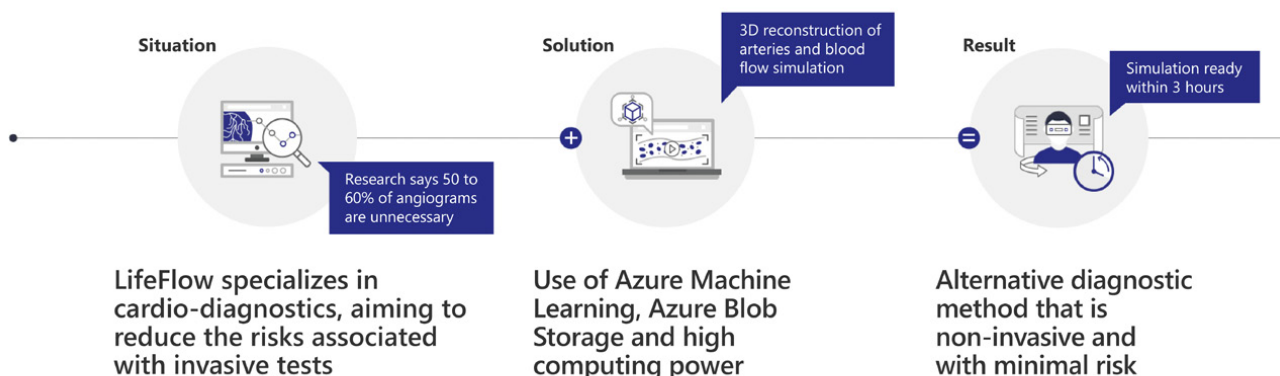
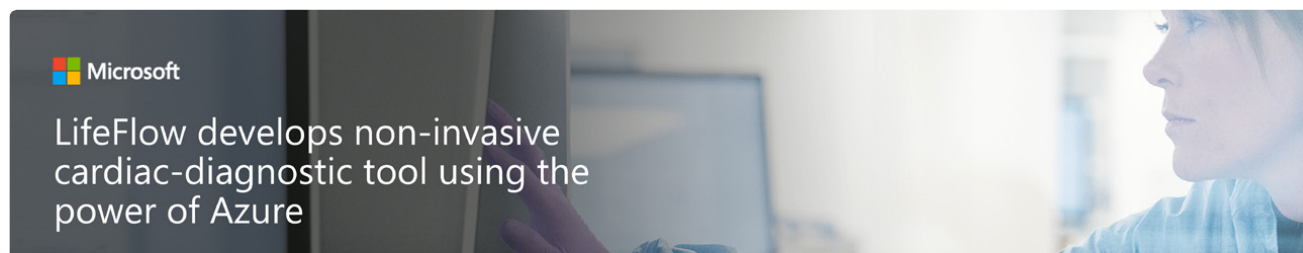
i kosztowne dla pacjenta procedury inwazyjne” – mówi dr inż. Wojciech Tarnawski, CEO LifeFlow¹.

„Jako firma staramy się wywrzeć duży wpływ na sposób, w jaki pacjenci są traktowani na całym świecie. Rozwiązania sprzętowe wymagałyby od nas skonfigurowania naszych serwerów w szpitalach, a dotarcie do każdego, kto tego potrzebuje, może zająć lata. Wiedzieliśmy, że jeśli chcemy, aby rozwiązanie było szeroko dostępne i pomogło ratować życie, musieliśmy je opracować za pośrednictwem chmury i z doświadczonym partnerem, który rozumie opiekę zdrowotną. Microsoft nam to zapewnia” – wyjaśnia Piotr Koryl, dyrektor operacyjny w LifeFlow².

Aby pomóc na dużą skalę, najlepszym rozwiązaniem jest usługa diagnostyczna w chmurze obliczeniowej.

„Najbardziej obciążającą obliczeniowo częścią naszego produktu jest symulacja komputerowa przepływu krwi, więc potrzebowaliśmy jej jak najszybciej. Microsoft Azure pozwala nam szybciej dostarczać wyniki, udostępniając na żądanie skalowalne maszyny wirtualne na całym świecie. W przypadku platformy Azure nie ma żadnych ograniczeń dotyczących mocy obliczeniowej i pamięci” – dodaje Koryl.

Wojciech Tarnawski zaznacza z kolei, że przed użyciem chmury symulowanie przepływu krwi pacjenta zajmowało kilka dni. „Przechodząc na Azure, skróciliśmy ten czas do około trzech godzin – dodaje. – Co więcej, ponieważ wszystko działa w chmurze, firma nie musi martwić się o lokal-



AKA.MS/LIFEFLOW_EN

Customer
LifeFlow

Country
Poland

Industry
Manufacturing

Customer size
Small
(1 - 49 employees)

Products and Services
Azure, Azure Blob Storage,
Azure Machine Learning

LIFEFLOW

ny sprzęt, gdziekolwiek by się nie znajdował. Skalowalność przetwarzania w chmurze jest naturalnym wyborem w przypadku złożonej obliczeniowej dynamiki płynów”.

Dzięki wsparciu Microsoftu firma zyskała przewagę.

„Od samego początku korzystaliśmy z Microsoft for Start-ups – trzyletniego programu Microsoft, który oferuje wiedzę i wsparcie w postaci licencji na używanie produktów Microsoft. Stworzyło to ścieżkę, która pozwoliła nam opracować nasze rozwiązanie do diagnozowania miażdżycy poprzez wirtualną symulację przepływu krwi pacjenta. (...) Kardiolodzy mogą badać naczynia wieńcowe poprzez wirtualną, trójwymiarową rekonstrukcję tętnic. (...) To zupełnie inny sposób postawienia diagnozy, który eliminuje niepotrzebne i kosztowne dla pacjenta procedury inwazyjne” – podsumowuje dr Tarnawski.

CHOROBA NIEDOKRWIENNA SERCA W POLSCE

Każdego roku ponad 100 tys. Polaków umiera z powodu choroby niedokrwiennej serca (ChNS)³. W 90 proc. przypadków pojawia się ona u osób z nadciśnieniem, cukrzycą, nadwagą albo takich, które nadużywają alkoholu i niezdrowo się odżywiają. Często więc występuje w następstwie tego, na co pacjenci mają wpływ.

Opierając się na raporcie NFZ przedstawionym 24 kwietnia 2020 r., płatnik w swojej strategii na lata 2019–2023 uwzględnił przede wszystkim profilaktykę choroby niedokrwiennej serca. Obejmuje ona:

- zwiększanie dostępności pacjentów do wczesnej rehabilitacji kardiologicznej;
- profilaktykę dotyczącą modyfikowalnych czynników ryzyka ChNS.

Do roku 2020 dla realizowania powyższych punktów NFZ wprowadził program KOS–zawał, a także program profilaktyki chorób układu krążenia (ChUK)⁴. W przypadku programu ChUK od stycznia 2020 r. działa mechanizm płacenia za wynik, który ma zapewnić dodatkowe premie w podstawowej opiece zdrowotnej, gdy programem zostanie objęta wystarczająca część populacji⁵.

Bazując na sztucznej inteligencji rozwiązanie LifeFlow pozwala zwiększyć dostępność wczesnej diagnostyki oraz profilaktyki choroby niedokrwiennej serca dla szerszych grup pacjentów, dostarczając pełnej informacji diagnostycznej o charakterze anatomiczno–czynnościowym. Obecnie można ją uzyskać tylko w czasie procedur wysoko inwazyjnych, tj. koronarografii. Jako że diagnostyka LifeFlow jest nieinwazyjna, pacjenci chętniej uczestniczą w programach profilaktycznych. Automatyzacja pozwala wstępnie opracować obrazy i dane pozyskane w wyniku badań diagnostycznych. Dzięki temu lekarz ma większy komfort oceny wyników badań i może pomóc większej liczbie pacjentów. Oba wymienione zjawiska przekładają się z kolei na wyższy poziom zdrowia publicznego, niższe koszty, ze względu na możliwość diagnozowania choroby, zanim w pełni się rozwinie, i różnorodne zyski, zgodnie z praktyką płacenia za wynik (*Value Based Healthcare*, VBHC).

→ Według danych Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) w 2017 roku na ChNS chorowało w Polsce 1,6 mln osób (4,2 proc. populacji, co jest odsetkiem wyższym niż w Unii Europejskiej)⁶. Potencjał do uzyskania poprawy zdrowia i wyników istotnych dla lekarzy, obywateli i polityków jest więc ogromny.

TOMASZ JAWORSKI

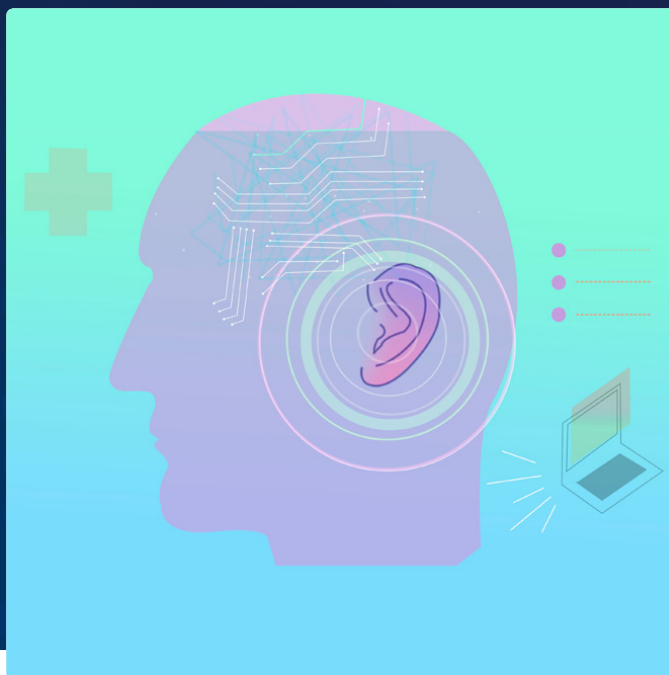
(Sylwetka autora została opisana w Rozdziale I.)

Przypisy:

1. Tarnawski W. CEO LifeFlow, Polska firma MedTech LifeFlow opracowuje innowacyjne narzędzie do diagnostyki kardiologicznej 3D z wykorzystaniem AI, Microsoft, 12.11.2020, https://customers.microsoft.com/en-us/story/853705-lifeflow-health-provider-azure-en-poland?_lsrc=24b674df-67cb-497c-8bde-95b39e07a418
2. *Ibidem*.
3. NFZ o zdrowiu. Choroba niedokrwiennej serca, Narodowy Fundusz Zdrowia, Warszawa, 24 kwietnia 2020, s. 6.
4. Kostyńska M., Raport NFZ: choroba niedokrwiennej serca w Polsce i Europie, <https://www.medonet.pl/zdrowie/zdrowie-dla-kazdego,raport-nfz--choroba-niedokrwiennej-serca-w-polsce-i-europie,artykul,73116080.html>, 30.04.2020.
5. *Ibidem*.
6. *Ibidem*.

Otolaryngologia /narządy zmysłów

PIOTR H. SKARŻYŃSKI



- **Sztuczna inteligencja jest przyszłościowym rozwiązaniem w otorynolaryngologii, nie tylko w diagnostyce i leczeniu, ale też rehabilitacji narządów zmysłów**
- **AI może mieć zastosowanie szczególnie w szeroko rozumianych badaniach przesiewowych słuchu, głosu i mowy, e-zdrowiu oraz w zakresie chorób otoneurologicznych**

Rozwiązania z wykorzystaniem sztucznej inteligencji (AI) w obszarze otorynolaryngologii¹, w tym w diagnostyce narządów zmysłów, są coraz popularniejsze i stanowią wartościową bazę do przygotowania nowych opracowań i wdrożeń. Można tu wyróżnić trzy główne obszary:

1. badania przesiewowe słuchu na czterech kontynentach (Europa, Afryka, Azja i Ameryka Południowa);
2. rozwiązania telemedyczne z uwzględnieniem zdalnych badań ABR² oraz zdalnego dopasowania procesora dźwięku – telefittingu;
3. zaburzenia otoneurologiczne.

Według danych Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) ok. 466 milionów ludzi na świecie ma uszkodzenie słuchu, z czego aż 34 miliony stanowią dzieci³. Te same statystyki pozwalają oszacować, iż liczba osób z ubytkiem słuchu systematycznie rośnie i w 2025 roku takie problemy może mieć ponad 900 mln ludzi. Najnowsze dane epidemiologiczne dowodzą też, że zaburzenia otoneurologiczne⁴, takie jak zawroty głowy i zaburzenia równowagi, dotyczą 15–20 proc. populacji dorosłych. Szereg badań pokazuje, jak ważne jest wczesne rozpoznawa-

nie zaburzeń słuchu u dzieci oraz diagnostyka otoneurologiczna, a także wdrażanie odpowiedniego leczenia i rehabilitacji.

Obecna opieka audiologiczna⁵ nie jest w stanie sprostać globalnemu obciążeniu, jakim jest ubytek słuchu, ze względu na istniejące bariery, tj. brak wyszkolonych specjalistów, koszty sprzętu, wymaganą wiedzę specjalistyczną itp. Dzieci, a nawet dorośli często nie są w ogóle diagnozowani. Powodem może być małe zainteresowanie rodziców i niedostrzeżenie problemów ze słuchem u dziecka czy konieczność pokonywania dużych odległości lub wysokie koszty podróży w celu odbycia diagnostyki. Te bariery mogą zostać pokonane dzięki zastosowaniu rozwiązań telemedycznych i sztucznej inteligencji, co przełoży się na zapewnienie wysokiej jakości opieki medycznej pacjentom bez względu na miejsce zamieszkania czy możliwości finansowe.

BADANIA PRZESIEWOWE SŁUCHU

Infekcje ucha są jedną z najczęstszych przyczyn wizyt pediatrycznych⁶, dlatego też podejście uczenia maszynowe-

go może być zastosowane m.in. w analizie obrazu otoskopii błony bębenkowej (ocena drożności przewodu słuchowego oraz struktury ucha zewnętrznego) lub tympanometrii (ocena ruchomości błony bębenkowej). Justin Chan i współpracownicy⁷ opracowali system do wykrywania płynu w uchu środkowym, który wykorzystuje mikrofon i głośnik smartfona do emitowania dźwięku i analizowania jego odbicia (echa) od błony bębenkowej. Podobnie jak w przypadku wielu narzędzi przesiewowych, interpretacja wyników wymaga odpowiedniego kontekstu klinicznego, a dodatnie wyniki powinny skłonić do dalszej oceny klinicznej w celu potencjalnej błędnej klasyfikacji.

Obecnie sztuczną inteligencję wykorzystuje się także w badaniach przesiewowych słuchu w krajach rozwijających się⁸, w których dzieci zwykle nie mają dostępu do tego typu badań. Projekt wykorzystujący *AI assistance* (algorytmy i techniki modelowania oparte na danych, w tym uczenie maszynowe do generowania wniosków diagnostycznych) oferuje badania przesiewowe, diagnozę i skierowania w społecznościach o niedostatecznym dostępie do opieki medycznej.

→ **Badania przesiewowe przeprowadza się za pomocą automatycznego testu – przesiewowej audiometrii tonalnej⁹, którą można wykonać za pomocą smartfona u dzieci w wieku 3–4 lat.**

Jeśli dziecko nie przejdzie testu przesiewowego, z portalu zarządzania danymi generowany jest automatyczny raport, wysyłany do opiekunów za pomocą wiadomości SMS lub e-mail. Ten system wspomagania decyzji klinicznych pomaga lokalnym opiekunom w diagnozowaniu ubytku słuchu i kierowaniu do specjalistycznej opieki.

Opracowanie procedur zdalnych badań przesiewowych opartych na AI oraz rozsądne włączenie w te procedury personelu nielekarzkiego (np. pielęgniarek, rodziców), który może być bardziej dostępny, jest przyszłościowym rozwiązaniem.

ROZWIĄZANIA TELEMEDYCZNE – ABR I TELEFITTING

W dobie pandemii ze względu na kwestie bezpieczeństwa wiele świadczeń wykonuje się na odległość. Nie jest to jednak rozwiązanie nowe. Krajowa Sieć Teleaudiologii funkcjonuje w Polsce już od 2007 roku, pozwalając na wykorzystanie metody zdalnej w diagnostyce, leczeniu i rehabilitacji otorynolaryngologicznej, przeprowadzając zdalne, obiektywne badania słuchu (ABR) w miejscach, gdzie dostęp do takich usług jest ograniczony lub gdzie całkowicie go brak. W badaniu ABR sprawdzana jest reakcja układu słuchowego na dźwięk, a na podstawie uzyskanych zapisów odpowiedzi można rozpoznać rodzaj i wielkość zaburzeń słuchu. Badanie to z sukcesem można przeprowadzić zdalnie: technicy w odległej lokalizacji przygotowują pacjenta do badania, a drugi (bardziej doświadczony) technik w centrum medycznym za pomocą programu do współ-

pracy online zdalnie przechwytuje pulpit komputera pomiarowego.

Istnieje też możliwość wspierania przeszkolonego „zdalnego personelu” podczas diagnozowania pacjentów oraz obserwowania praktyki pracowników, a tym samym kontroli jakości świadczonych usług i standardów opieki nad pacjentem w placówkach o odległej lokalizacji. Obecnie badania diagnostyczne ABR wykonywane są przez techników audiologicznych, a opisu uzyskanych wyników dokonują lekarze audiolodzy lub neurologi. Ocena oparta jest na wzrokowej interpretacji przebiegów ABR. W celu wyeliminowania subiektywizmu w ocenie badania ABR zostały zainicjowane prace nad wykorzystaniem dostępnych metod AI i związanym z nią uczeniem maszynowym dla opracowania automatycznego analizatora przebiegów ABR na podstawie surowych danych. Na podstawie analizy danych algorytm byłby w stanie wskazać, czy na podstawie dostępnych zapisów, wartości latencji i amplitudy wynik pokazuje pewne predykatory do normy, czy raczej do patologii. W tym rozwiązaniu upatruje się wielki potencjał, jednakże czułość i specyficzność takiej procedury musi być bardzo wysoka i opierać się na zoptymalizowanym zbiorze potencjalnych cech dystynktywnych danych schorzeń otolaryngologicznych¹⁰.

Wartościowym rozwiązaniem jest też telefitting (zdalne dopasowanie procesora dźwięku). Każdy pacjent korzystający z implantu powinien być objęty kilkuletnią opieką pooperacyjną, by rehabilitacja słuchowa przebiegała w sposób optymalny. To z kolei wiąże się z koniecznością regularnego przyjeżdżania do klinik, co dla wielu osób może stanowić utrudnienie.

Problem ten można jednak wyeliminować dzięki wykorzystaniu najnowszych technologii informatycznych – wdrażając do codziennej praktyki telefitting. Przebieg konsultacji w ramach telefittingu jest analogiczny do tradycyjnej wizyty w ośrodku. Specjalista z centrum telemedycznego przeprowadza wideokonferencję z placówką, w której świadczone są usługi medyczne. Dzięki zapewnieniu kontaktu wzrokowego i słuchowego możliwe jest komunikowanie się z personelem pomocniczym, koordynowanie i weryfikowanie poprawności wykonywanych przez niego czynności, a przede wszystkim obserwacja pacjenta. Z kolei przeprowadzenie pomiarów oraz programowanie procesora dźwięku realizowane jest poprzez przejęcie przez inżyniera klinicznego kontroli nad odległym komputerem za pomocą dedykowanego oprogramowania.

Doświadczone kliniki, świadczące na co dzień usługi zdalnego dopasowania, mogłyby zaangażować do współpracy większą liczbę ośrodków, by zwiększyć dostępność owego rozwiązania dla pacjentów i tym samym – wykorzystując najnowsze rozwiązania technologiczne – wpłynąć na poprawę poziomu systemu ochrony zdrowia w zakresie opieki pooperacyjnej po wszczępieniu implantu słuchowego.

ZABURZENIA OTONEUROLOGICZNE

W procesie diagnostyki zaburzeń otoneurologicznych, w tym zawrotów głowy, klinicysta posługuje się unikalnym wzorcem językowym, który odpowiada precyzyjnemu opisaniu dolegliwości w celu przypisania ich do jednostki chorobowej. W tej kwestii AI nie pozostaje obojętna i pozwala na pogrupowanie objawów i przypisanie ich do często występujących jednostek chorobowych, jak m.in. łagodne położeniowe zawroty głowy (BPPV), zawroty głowy pochodzenia centralnego czy migrena przedsionkowa. Silne zachowanie spójności objawów przedsionkowych i właściwe ukierunkowanie na określenie zaburzenia znacznie wspomaga decyzje kliniczne i ułatwia diagnostykę w warunkach ambulatoryjnych. Ponadto zastosowanie modelu binarnego poprawia moc predykcyjną i możliwość oceny krzyżowej dla przeprowadzenia diagnozy związanej z więcej niż jedną jednostką chorobową.

→ **Dla dokładniejszej praktyki klinicznej można stworzyć bardziej kompleksowy model, który będzie uwzględniał trzy i więcej symptomów jako wskaźnik konkretnego zaburzenia równowagi.**

Machine learning można wykorzystać jako narzędzie do podsumowania najważniejszych parametrów i ułatwienia interpretacji ogólnych wyników – przez wzgląd na długie oczekiwanie na interpretację wyników przez lekarza to z pewnością oszczędza czas konsultacji oraz w trafny sposób przedstawia stan rzeczywisty. Sztuczna inteligencja ma zastosowanie w badaniach elektrofizjologicznych, obrazowaniu biomedycznym (m.in. w diagnostyce choroby Meniere’a i zaburzeń równowagi wynikających ze zmian strukturalnych w centralnym układzie nerwowym) czy w radiologii (w określaniu wielkości guza nerwu przedsionkowo-ślimakowego).

Warto tu wskazać także na technologię profilowania mikro-RNA (miRNA) przychłonki, która była pobrana podczas operacji i może służyć jako odpowiednik „płynnej biopsji”. Z płynu wyizolowano RNA, a następnie wyodrębniono mikro-RNA, aby przeprowadzić sekwencjonowanie i zbadać profil ekspresji. Następnie profile zostały porównane u osób z chorobą Meniere’a, z otosklerozą oraz czuciowo-nerwową utratą słuchu. W badaniu zastosowano *machine learning* (4 rodzaje modeli klasyfikacji). W rezultacie dwie klasy chorób były zidentyfikowane ze stuprocentową dokładnością przez wszystkie modele. Modele dotyczące wodniaka błędnika wykazały unikalne cechy w porównaniu z otosklerozą¹¹², co wskazuje na możliwość zbudowania modeli predykcyjnych dla choroby Meniere’a. Prace nad mikroRNA we współpracy z *machine learning* powinny być kontynuowane ze względu na możliwość znalezienia etiologii choroby, wczesnego rozpoznania i wczesnej interwencji.

Jednym z rozwiązań w dziedzinie otoneurologii jest też diagnostyka bazująca na wirtualnej rzeczywistości, tj. subiek-

tywnej wizualizacji pionowej (*Subjective Visual Vertical, SVV*). Pacjent korzysta z okularów przedstawiających trójwymiarowy obraz i ustawia go w pionie za pomocą joysticka – pozycja pacjenta ulega odchyleniu o 30° i 45° podczas całego badania. Niedawne badania dowiodły, że istnieje bardzo wysoka korelacja między stroną odchylenia w SVV a chorem uchem u pacjentów z chorobą Meniere’a. Opisane badanie z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości ma potencjał, by zostać wdrożonym do codziennej praktyki poza oddziałami otoneurologicznymi – wszędzie tam, gdzie znajdują się pacjenci wymagający szybkiej weryfikacji zaburzeń obwodowych i ośrodkowych związanych z zaburzeniami postawy i zawrotami głowy¹³.

Telezdrowie za pośrednictwem smartfona, przy wykorzystaniu AI oraz rozwiązania w zakresie diagnostyki zaburzeń otoneurologicznych z AI, ma duże szanse na pokonanie wielu barier, w tym terytorialnych, ekonomicznych i społecznych, w dostępie do usług zdrowotnych. W krajach rozwijających się odsetek osób używających smartfonów przekracza obecnie 80 proc., a niedrogie urządzenia i solidne procedury testowe stają się dostępne do wykonywania audiometrycznych¹⁴ i otologicznych pomiarów diagnostycznych o akceptowalnym poziomie jakości i odtwarzalności. Przekształcając tani sprzęt i wyposażając go w oprogramowanie (oparte na AI), kraje o niskich dochodach mogą korzystać z zaawansowanych, zautomatyzowanych narzędzi diagnostycznych i interwencji w zakresie ubytków słuchu.

PIOTR H. SKARŻYŃSKI

Przypisy:

- Otorinolaryngologia to dziedzina medycyny zajmująca się rozpoznawaniem i leczeniem chorób ucha, nosa, krtani i gardła.
- Badanie ABR (badanie BERA) to specjalistyczne badanie pozwalające sprawdzić, jak mózg reaguje na dźwięk, a także określić próg słyszenia oraz stopień i rodzaj niedosłuchu.
- WHO (2019), *Deafness and hearing loss*, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>
- Otoneurologia to gałąź otolaryngologii koncentrująca się na patologiach związanych z zaburzeniami równowagi i nieprawidłowym funkcjonowaniem nerwów w obrębie czaszki.
- Audiologia to dziedzina medycyny zajmująca się chorobami narządu słuchu.
- Liese J.G. et al. (2014), *Incidence and clinical presentation of acute otitis media in children aged <6 years in European medical practices*, *Epidemiology and Infection*, 142(8), 1778–1788, <https://doi.org/10.1017/S0950268813002744>
- Chan J. et al. (2019), *Detecting middle ear fluid using smartphones*, *Science Translational Medicine*, 11 (492), eaav1102, <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aav1102>
- Swanepoel D.W., Clark J.L. (2019), *Hearing healthcare in remote or resource-constrained environments*. *The Journal of Laryngology & Otology*, 133(1), 11–17 <https://doi.org/10.1017/S0022215118001159>
- Audiometria tonalna to metoda subiektywnego badania słuchu, której głównym celem jest ocena progu słyszenia.
- Tomczykiewicz K. et al. (2016), *Classification of auditory brainstem response using wavelet decomposition and SVM network*, 10.1016/j.bbe.2016.01.003.

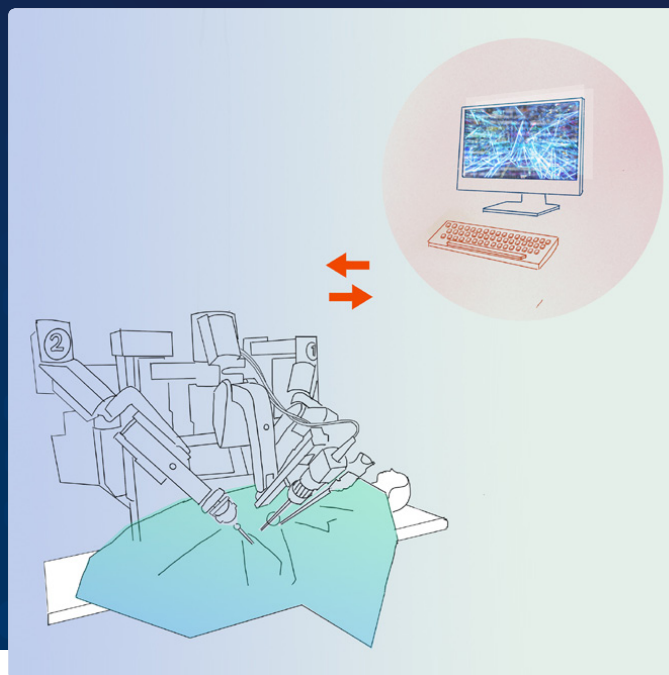
11. Otoskleroza to dolegliwość tkanki kostnej ucha środkowego, która objawia się postępującym niedosłuchem, szumami usznymi oraz zawrotami głowy.
12. Shew M. et al. (2021), *MicroRNA Profiling as a Methodology to Diagnose Ménière's Disease: Potential Application of Machine Learning*, *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 164(2):399–406. doi:10.1177/0194599820940649.
13. Chiarovano E. et al. (2018), *Subjective visual vertical in virtual reality (Curator SVV): validation and normative data*. *Virtual Reality* 22, 315–320, (<https://doi.org/10.1007/s10055-018-0336-5>).
14. Potgieter J.-M., Swanepoel D.W., Smits C. (2018), *Evaluating a smart-phone digits-in-noise test as part of the audiometric test battery*. *The South African Journal of Communication Disorders*, 65(1), e1–e6, (<https://doi.org/10.4102/sajcd.v65i1.574>).



Prof. dr hab. n. med. i n. o zdr. mgr zarz. Piotr H. Skarżyński – specjalista otorynolaryngolog, otorynolaryngolog dziecięcy, audiolog i foniatra. Dyrektor ds. nauki i rozwoju w Instytucie Narządów Zmysłów, z-ca kierownika Zakładu Teleaudiologii i Badań Przesiewowych w Instytucie Fizjologii i Patologii Słuchu, asystent dydaktyczny Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego. M.in. członek-współzałożyciel Światowego Forum Słuchu przy Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), audytor w Europejskiej Federacji Towarzystw Audiologicznych (EFAS), członek Grupy Doradczej Ekspertów ds. Zdrowia Cyfrowego WHO, członek Komisji ds. Kongresów i Warsztatów Europejskiej Akademii Otologii i Neurootologii (EAONO), wiceprzewodniczący Międzynarodowego Towarzystwa Telemedycyny i e-Zdrowia (ISfTeH), Reprezentant Regionu Europy w Międzynarodowym Towarzystwie Audiologii (ISA), Sekretarz Zarządu Towarzystwa Otorynolaryngologów, Foniatrów i Audiologów Polskich (TOFAP). Autor lub współautor blisko 1900 wystąpień oraz ponad 970 publikacji. Koordynuje wieloaspektową procedurę zdalnego dopasowania systemów implantów słuchowych we współpracy z oddziałami w kraju i za granicą (Ukraina, Kirgistan, Białoruś, Kazachstan, Senegal). Członek grupy badawczej Krajowej Sieci Teleaudiologii.

O robotach medycznych

ZBIGNIEW NAWRAT



- Po postępach telekomunikacji, czyli przesyłania na odległość informacji, czas na rozwój teleakcji, czyli przesyłania na odległość działania. Do tego niezbędne są roboty
- Roboty medyczne pozostawione bez nadzoru, mające otwarty dostęp do danych i własny system sensoryczny, powinny już wkrótce udowodnić swoją użyteczność dzięki postępom AI i IoT

Innowacje medyczne muszą służyć podnoszeniu standardów, upowszechnianiu dostępu do usług i wprowadzaniu personalnej optymalizacji opieki, leczenia oraz rehabilitacji pacjentów. Odpowiadają na wyzwania demograficzne, wzrost potrzeb i oczekiwań społecznych. Każdy dzień przynosi nowe wyzwania – nowe choroby ograniczające komfort i czas życia, a czasem, jak w przypadku pandemii, zagrożające istnieniu naszej populacji. Usługa medyczna powinna być wykonana perfekcyjnie, w odpowiednim czasie i miejscu. Potrzebne są zarówno innowacje organizacyjne, jak techniczne. Rozwój robotyki medycznej stanowi szansę na rozwiązanie znacznej części tych problemów.

ROBOTY MEDYCZNE

Robot, w odróżnieniu od automatu, to inteligentne połączenie percepcji (sensorów) z działaniem (pracą mechaniczną). Aby roboty mogły podejmować decyzje, muszą mieć dostęp do informacji i umiejętność jej analizowania. Roboty medyczne stosowane są w diagnostyce, rehabilitacji i terapii. Zauto-

matyzowane urządzenia diagnostyczne (np. tomografy, NMR – spektroskopia magnetycznego rezonansu jądrowego) czy radioterapeutyczne stanowią już dobrze rozpowszechniony standard. Inne zastosowania robotów, np. roboty rehabilitacyjne lub – tak jak roboty chirurgiczne – zdalnego sterowania, wymagają kontroli, bezpośredniego nadzoru. Roboty wykorzystywane są z powodzeniem do przygotowywania spersonalizowanych leków, w logistyce medycznej i pielęgniarstwie, gdzie pomagają personelowi, wykonując proste zadania, np. transportowe czy dezynfekując pomieszczenia.

Na świecie głównymi producentami takich urządzeń są: Intuitive Surgical, Inc. (USA), Stryker Corporation (USA), Mazor Robotics Ltd. (Izrael), Hocoma AG (Szwajcaria), Hansen Medical Inc. (USA), Accuray Incorporated (USA), Omnicell, Inc. (USA), Ekso Bionics Holdings, Inc. (USA), ARxIUM (USA) i Kirby Lester LLC (US), Houston Medical Robotics (USA), Otto Bock Healthcare, Kinova robotics, Varian Medical Systems, Hocoma AG, Vecna Robotics, Globus Medical, IRobot Corporation, Titan Medical, Inc, KB Medical S.A.

W Polsce roboty chirurgiczne tworzą: Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii im. prof. Zbigniewa Religi (chirurgiczny Robin Heart), ACCREA Engineering Poland (robot treningowy).

Z kolei roboty rehabilitacyjne to u nas domena: Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytutu Techniki i Aparatury Medycznej ITAM, Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów PIAP, PRODromus (ProdRobot zautomatyzowany trener chodu), MiDmed (projekty tworzenia robotów do rehabilitacji poudarowej i onkologicznej). W tym gronie mieszczą się też firmy oferujące komercyjne roboty rehabilitacyjne i prowadzące oryginalne prace badawcze: EGZOTECH, PHU Technomex, Meden-Inmed.

Jeśli chodzi o roboty diagnostyczne, to specjalizują się w nich: Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Techniki i Aparatury Medycznej ITAM z Politechniką Śląską; ACCREA Engineering Poland (tele-USG).

Osobny sektor to robotyczna apteka, która przygotowuje dawki leków w indywidualnych zestawach dla pacjentów szpitalnych. Taką rolę spełnia UniDoseOne Quizit (to zautomatyzowane systemy wydające leki dla pacjentów szpitalnych).

Roboty opiekuńcze, socjalne, są domeną: ACCREA Engineering Poland, AssisTech, HealthUp i Politechniki Śląskiej z APA sp. z o.o.

Pozostają jeszcze roboty dezynfekcyjne, w których specjalizuje się ACCREA Engineering Poland, sztuczne narzędzia, zagospodarowane przez: vBionic (drukowana sztuczna ręka/dłoń) oraz Fundację Rozwoju Kardiochirurgii im. prof. Zbigniewa Religi (sztuczne serce i systemy wspomagania krążenia Religa Heart)¹².

→ **W Europie tworzy się w tej dziedzinie szanse dla małych i większych przedsiębiorców. Służy temu na przykład wsparcie projektami ze strony hubów takich jak Digital Innovation Hub Healthcare Robotics HERO.**

Sztuczna inteligencja jest działem robotyki. Źródłem słowa „robot” jest sztuka czeskiego pisarza Karel Čapka pt. „R.U.R.” (*Rossumovi Univerzální Roboti, Roboty Univerzalne Rossuma*) z 1920 roku, w której oznaczało ono sztucznego człowieka. Jak wiadomo, człowiek to nie tylko praca, ale i myślenie, lekarz zaś to najpierw podejmowanie decyzji. Inteligencja wiąże się z właściwą reakcją na bodźce. Kluczem dla wprowadzenia inteligencji do urządzeń robotyki jest więc pozyskiwanie informacji (sensory, rozpoznawanie mowy i obrazu) i jej umiejętne wykorzystanie dla działania.

Roboty socjalne, roboty usługowe wymagają kooperacji z człowiekiem, a sztuczna inteligencja powstała właśnie po to, by komunikować się z ludzką inteligencją. Aby roboty medyczne odegrały w pełni swoją rolę wobec wyzwań związa-

nych ze wzrostem zapotrzebowania na coraz lepsze usługi, muszą zostać wkrótce usamodzielnione. Roboty samodzielne powinny działać w sieci informacyjnej, z dostępem do wszystkich informacji potrzebnych dla optymalizowania działania w każdej chwili i w każdej sytuacji.

Autonomiczność robotów medycznych może być mierzona w pięciostopniowej skali wzorowanej na normie SAE J3016 (znajduje się ona w publikacji). Poziom 1 posiadają już takie roboty jak da Vinci amerykańskiej firmy Intuitive Surgical czy nasze prototypowe Robin Heart. Poziom 3 lub 4 osiągają np. tomografy komputerowe czy CyberKnife. Żaden z robotów medycznych nie osiągnął jednak jeszcze poziomu 5 (praca w pełni zautomatyzowana). W maju 2018 roku Corindus (robot dla inwazyjnego kardiologa) otrzymał pozwolenie amerykańskiej Agencji ds. Żywności i Leków (FDA) na pierwszy zautomatyzowany ruch robota (platforma CorPath GRX) – *Rotate on Retract* (RoR). To **pierwsza półautomatyczna procedura robotyczna dopuszczona do stosowania klinicznego**. Drzwi zostały uchylone.

PERSPEKTYWY

Najnowszy raport Statzon „Global Surgical Industry Report 2021” pokazuje, że na świecie rynek robotyki chirurgicznej rozwijać się będzie w latach 2020–2028 w tempie ok. 14 proc. (najszybciej w Indiach). Obecnie USA zagospodarowuje ok. 57 proc. tego rynku, a EU 20 proc.

Wprowadzony przez Intuitive Surgical system premiuje zyskowość sprzedaży narzędzi: 49 proc. rynku. Zapewne to koszt narzędzi spowodował, że rośnie liczba aplikacji w specjalnościach niewymagających dużej (jak np. w kardiochirurgii) liczby różnych narzędzi podczas operacji: chirurgia ogólna 35 proc., ginekologia 25 proc., urologia 19 proc. W USA większość operacji urologicznych wykonuje się już od dawna za pomocą robotów da Vinci.

Poszukiwania kolejnych aplikacji są czasem przełomowe. Rośnie zainteresowanie stosowaniem cybernoża do operacji serca. W 2020 r. w Centrum Onkologii w Gliwicach zespół dr. Jacka Bednarka zastosował robota CyberKnife do wykonania radioabblacji serca (abblacja to metoda leczenia arytmii), czyli precyzyjnego wytworzenia blizny (mikromartwicy) w miejscu, gdzie znajduje się tzw. substrat arytmogenny, przez naświetlanie za pomocą przyspieszacza fotonowego. Technika pozwala na tzw. abblację transmuralną, czyli abblację, która obejmuje całą ścianę mięśnia sercowego.

Roboty chirurgiczne **mogą się uczyć**. Sztuczna inteligencja odnosi sukcesy od czasu wprowadzenia głębokiego uczenia maszynowego. Amerykańscy uczeni w projekcie Motion2Vec udowodnili, że można nauczyć robota da Vinci szycia chirurgicznego, analizując filmy z YouTube (w oparciu o konfigurację głębokich sieci neuronowych, zwanych syjamskimi). **AI**, a konkretnie kanadyjska platforma BlueDot,

jako pierwsza, bo już 31 grudnia 2019 r., **ostrzegła** przed pandemią COVID-19.

Roboty z funkcjami społecznymi (social robots) coraz lepiej **rozpoznają nasze emocje i reagują** na nie. A niektóre, jak ulubiona przez chorych na Alzheimera i demencję foczka PARO, **zyskują nasze zaufanie**. Z kolei japoński awatar Garbox interesuje się tym, jak nam minął dzień.

To rozwój sztucznej inteligencji pozwala na ewoluowanie robotów towarzyszących – mogą uczyć się naszych zwyczajów i dopasowywać działanie do naszych potrzeb. W modelu inteligentnej lub pogłębionej ochrony zdrowia (*smart, deep care*) roboty **wyřęczają** personel w fizycznych czynnościach, by zyskać możliwość pogłębionej, ludzkiej, empatycznej komunikacji z pacjentem. Uprawianie medycyny znowu stanie się fantastyczną sztuką pełną wyzwań, ale z rozłożonymi obciążeniami – w znacznej części przeniesionymi na roboty zarówno w sferze wykonywanej pracy mechanicznej, jak w sferze umysłowej.

Głębiej: możemy coraz głębiej wnikać do mózgu (np. Neuralink). **Szybciej:** sieci 5G umożliwiają pobieranie i wysyłanie danych z prędkością do 20 Gb/s, obsługują nawet milion urządzeń na kilometr kwadratowy. Dzięki temu opóźnienia podczas teleoperacji mogą się zmniejszyć nawet 20 razy. Jednego z pierwszych dowodów dostarczył chiński eksperyment w 2019 r. Za pomocą robota KangDuo przeprowadzono operację zwierzęcej wątroby z odległości 50 km.

WNIOSKI

Robot medyczny to dziś bardziej narzędzie informatyczne niż mechaniczne. Lekarz zazwyczaj podejmuje decyzje, posia-

dając ograniczony zasób wiedzy na temat danego pacjenta. Dzięki wsparciu diagnozy i aktualizowanym analizom danych podczas zabiegu przez systemy AI zmniejszyśmy ryzyko popełnienia błędu. Medycyna oparta na AI będzie z założenia spersonalizowana. Im mniejszy dostęp do informacji, im mniejsza inwazyjność operacji, tym rola sztucznej inteligencji będzie bardziej istotna³. Roboty medyczne stanowią jedyną szansę na spełnienie w niedalekiej przyszłości postulatów szerokiego, demokratycznego dostępu do usług dobrej jakości w zakresie opieki zdrowia. Zachodzące zmiany demograficzne, brak właściwej liczby personelu medycznego i konieczność podnoszenia standardów wykonywanych usług w szpitalach, przychodniach i domach opieki to trendy światowe, które wymuszają większe zaangażowanie w dziedzinę robotyki medycznej (w tym w rozwój sztucznej inteligencji). Polska w związku z tymi wyzwaniami może być liczącym się producentem robotów medycznych.

ZBIGNIEW NAWRAT

Przypisy:

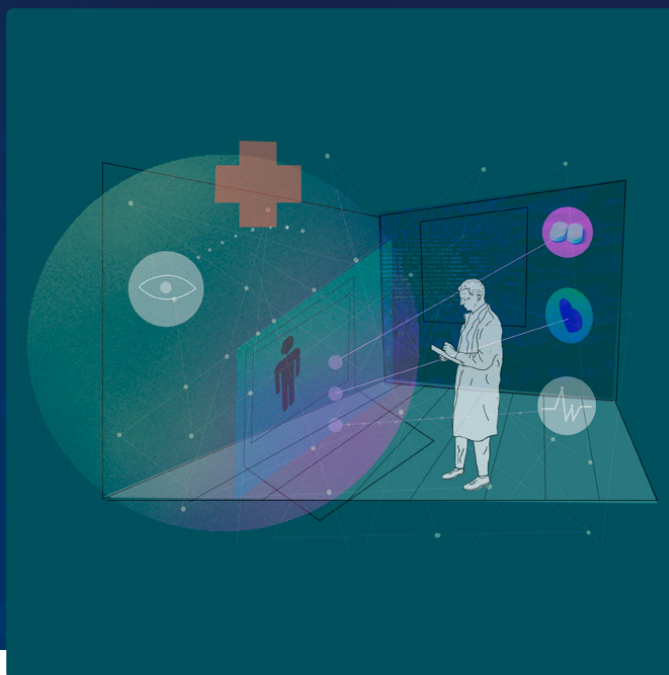
1. Nawrat Z., *Roboty Medyczne w systemach teleinformatycznych. Inżynieria Biomedyczna Podstawy i Zastosowania*, pod red: W. Torbicz, R. Maniewski, A. Liebert. Tom 7. Informatyka w medycynie. Red tomu: M. Kurzyński, L. Bobrowski, A. Nowakowski, J. Rumiński, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2019, s. 727–760.
2. Nawrat Z., Krawczyk D., *HEALTHCARE ROBOTICS 2020 & HERO*, Medical Robotics Reports 8–9 (2019–2020), s. 8–14.
3. Nawrat Z., *MIS AI – artificial intelligence application in minimally invasive surgery*, Mini-invasive Surg 2020, 4:28.



Dr hab. n. med. Zbigniew Nawrat – naukowiec, wynalazca, nauczyciel, wizjoner, wielokrotnie nagradzany pionier robotyki medycznej. Wprowadził do badań naukowych medyczne zastosowania technologii wirtualnej przestrzeni oraz metody symulacji operacji chirurgicznych, które rozwija wraz ze swym zespołem. Ekspert w dziedzinie sztucznych narzędzi. Zaprojektowane przez niego komory wspomagania serca POLVAD od 1993 r. ratują pacjentów. Jest nazywany ojcem robota Robin Heart – pierwszego europejskiego robota chirurgicznego, który wkrótce ma szansę na wdrożenie kliniczne. Współtworzył podstawy projektu polskiego sztucznego serca oraz Instytut Protez Serca Fundacji Rozwoju Kardiologii im. Prof. Zbigniewa Religi IPS FRK, którym kierował od 2008 do 2020 r. (obecnie dyrektor kreatywny). Adiunkt w Katedrze Biofizyki Śląskiego Uniwersytetu Medycznego, założyciel i prezydent Międzynarodowego Stowarzyszenia na Rzecz Robotyki Medycznej (www.medicalrobots.eu). Organizator konferencji i spotkań naukowych oraz warsztatów chirurgicznych. Współautor i autor książek oraz patentów, kilkuset artykułów naukowych, redaktor czasopisma „Medical Robotics Reports”.

Sztuczna inteligencja a zarządzanie podmiotem leczniczym

ŁUKASZ BRUSKI



- **Sztuczna inteligencja w zarządzaniu podmiotem leczniczym jest szansą na usprawnienia i zmiany w zarządzaniu, organizacji i kwestiach finansowych**
- **Zastosowanie AI przełoży się na poprawę jakości pracy personelu i świadczeń dla pacjentów placówek medycznych**

Komputery i maszyny liczące już od dawna są wykorzystywane zarówno w szpitalach, jak w całej szeroko rozumianej służbie zdrowia. Poczynając od wykonywania prostych obliczeń matematycznych, inteligentne technologie ewoluowały do dostępnych obecnie wielomodułowych szpitalnych systemów informatycznych, których najważniejsze zadania z zakresu zarządzania można streścić do poniższych zakresów:

- poprawa jakości opieki nad pacjentem;
- polepszenie jakości zarządzania, a tym samym usprawnienie oraz redukcja kosztów funkcjonowania szpitala;
- ograniczenie pracy administracyjnej;
- dostarczenie informacji służących opracowaniu analiz gospodarczych, finansowych oraz kontroli jakości i badań naukowych.

Tak rozbudowane systemy wymagają od osób zarządzających placówkami medycznymi znaczących inwestycji w niezbędne wyposażenie, jak serwery, urządzenia wspomagające oraz infrastruktura sieci kablowych i bezprzewodowych. Dodatkowym elementem, o którym nie możemy zapomnieć, jest zapewnienie dla tego rodzaju sieci bezpieczeństwa nie tylko „fizycznego”, ale także bezpieczeństwa

od strony użytkowanego oprogramowania i gromadzonych danych. Niemniej są to inwestycje, które, jeżeli przeprowadzone są w sposób zaplanowany, procentują dzięki znaczącej poprawie jakości i szybkości pracy.

Gromadzenie w wersji cyfrowej tak dużych ilości danych medycznych i zarządczych umożliwiło wdrożenie i szybki rozwój sztucznej inteligencji w medycynie. Poniżej przedstawione są przykłady jej praktycznego wdrożenia w służbie zdrowia, w przypadku których uzyskano poprawę procesów realizowanych w placówkach medycznych.

POPRAWA JAKOŚCI PRACY Z DOKUMENTACJĄ MEDYCZNĄ – REKORDAMI MEDYCZNYMI

Sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe mogą w sposób bezpośredni wpływać na zarządzanie danymi medycznymi. Oba te rozwiązania umożliwiają lekarzom i personelowi administracyjnemu skuteczniejsze wykorzystanie gromadzonej dokumentacji i danych. Dane, takie jak np. opisy i jednostki chorobowe, wyniki badań, ilość zrealizowanych procedur, wystawione recepty, faktury, paragony i zwolnienia,

były najczęściej przechowywane w sposób niezorganizowany i utrudniający ich łatwą i efektywną analizę.

Zmieniło to zastosowanie sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego, umożliwiając użytkownikom szybki dostęp do potrzebnych danych, ich odpowiednie uporządkowanie, przypisanie do konkretnych analiz oraz raportów. Ponadto stworzyło możliwości samodzielnego wnioskowania na temat zachodzących w placówkach medycznych procesów, występujących między nimi powiązań, dając ogromne pole do usprawnień, a także działań poprawiających efektywność zarządzającą. Osobną do opisania kwestią jest umożliwienie lekarzom szybszego dostępu do rekordów medycznych, które w przetworzonej już formie mogą stanowić podstawę do podejmowania szybszych decyzji o zastosowaniu celowanego leczenia, zwiększającego skuteczność zastosowanych terapii, co przekłada się na zadowolenie i jakość życia pacjentów.

AUTOMATYZACJA PROCESÓW ODPOWIEDZIALNYCH ZA ZARZĄDZANIE RELACJAMI Z PACJENTEM

Każdy z nas ma za sobą doświadczenia związane z koniecznością kontaktu z rejestracją i zespołem obsługi pacjenta. Trudności z dodzwonieniem się, uzyskaniem odpowiedzi na pytania czy brak reakcji na wysłane wiadomości nie ominęły nikogo. Bardzo często jest to związane z wielością zadań realizowanych przez zatrudnione w tych komórkach organizacyjnych osoby oraz brakami kadrowymi.

Dlatego na tym polu występuje olbrzymi potencjał do zastosowania sztucznej inteligencji. W obsłudze pacjenta mamy do czynienia z dużą ilością prostych, powtarzalnych procesów, które można łatwo zautomatyzować, i to bez użycia AI. Jednak zastosowanie sztucznej inteligencji pozwala m.in. zrozumieć zapytania kierowane przez pacjentów i przygotować dla nich poprawne odpowiedzi. Można zaprogramować wymianę informacji, umawianie wizyt, dalsze postępowanie związane z organizacją wizyty lub pobytu, a także udzielanie informacji na temat samej placówki medycznej i zatrudnionego w niej personelu.

→ **Obecnie stosowane chatboty, wykorzystując sztuczną inteligencję, współpracują z systemami takimi jak np. CRM¹, opierając się na zgromadzonych wcześniej danych pochodzących z zadawanych pytań oraz udzielanych odpowiedzi.**

Budowanie tych bibliotek wiedzy to jedno z wielu wyzwań, jakie stoją przed podmiotami leczniczymi, by to rozwiązanie znalazło zastosowanie na masową skalę.

AUTOMATYZACJA CONTROLLINGU FINANSOWEGO

Duże podmioty lecznicze, jak i sieci przychodni i gabinetów lekarskich, w swojej codziennej pracy realizują tysiące procesów niemedycznych, takich jak np. prowadzenie księgowości czy

obsługa administracyjna. Codziennie trafiają do nich faktury, rachunki, umowy, urzędowe pisma. Poprzez digitalizację wpływających do nich dokumentów finansowych, ich automatyczne wprowadzanie do dedykowanych systemów (np. księgowych), a także zastosowanie sztucznej inteligencji uzyskujemy możliwość jeszcze skuteczniejszego prowadzenia bieżącego controllingu finansowego. Skutkuje on optymalizacją struktury kosztów, pełną kontrolą nad przepływami pieniężnymi, stworzeniem optymalnej struktury organizacyjnej, prowadzeniem właściwej polityki inwestycyjnej i pozwala na osiąganie satysfakcjonujących wyników finansowych w krótkich okresach rozliczeniowych. Pozwala także na sygnalizowanie z wyprzedzeniem niepożądanych zdarzeń mogących mieć wpływ na bezpieczeństwo finansowe podmiotu leczniczego.

POPRAWIENIE EFEKTYWNOŚCI POZAMEDYCZNYCH PROCEDUR SZPITALNYCH

Sztuczna inteligencja umożliwia podmiotom leczniczym korzystanie z analiz predykcyjnych w celu poprawienia efektywności procedur szpitalnych. Wykorzystywane są do tego rozwiązania z IoT (*Internet of Things* – internet rzeczy), takie jak np. znaczniki RFID (ang. *Radio Frequency Identification*), umożliwiające lokalizację pracowników szpitala, urządzeń czy wyrobów medycznych. Zainstalowanie w pomieszczeniach podmiotu leczniczego koniecznej infrastruktury technologicznej daje możliwość zgromadzenia niezbędnych danych, które, poddane analizie AI, jako efekt końcowy przedstawiają rozwiązania usprawniające wiele procedur, w tym dotyczące wewnętrznej logistyki, efektywnego rozmieszczenia zasobów szpitala czy optymalnego wykorzystania zasobów ludzkich wraz z ich alokacją.

Jednym z ważniejszych procesów występujących w każdej placówce medycznej jest proces związany z nadzorem nad sprzętem medycznym i wyrobami medycznymi. Jest on uregulowany w różnych przepisach prawa i wymaga zaangażowania wielu pracowników. W przypadku zastosowania rozwiązań IoT oraz AI szpital w sposób automatyczny jest w stanie zidentyfikować swoje potrzeby związane z obsługą tego sprzętu, koniecznością realizacji wymaganych przeglądów oraz serwisów, a także lepszym wykorzystaniem jego możliwości diagnostycznych. Finalnie ma to przełożenie na zwiększenie liczby przyjmowanych pacjentów, lepszy ich dostęp do usług medycznych, a tym samym na zrealizowane przychody.

POPRAWA JAKOŚCI GROMADZONEJ DOKUMENTACJI MEDYCZNEJ

W służbie zdrowia widoczny jest trend polegający na zwiększaniu obciążeń administracyjnych w gabinecie lekarza i placówkach medycznych. Wynika to z wielu przyczyn, np. z konieczności rozliczenia i otrzymania płatności za zrealizowane na zlecenie płatnika procedury medyczne, gdy organizacje powołane do dystrybucji środków przeznaczo-

nych na publiczną/prywatną służbę zdrowia są zobligowane do weryfikowania przepływów pieniężnych. W tym celu organizacje te nakładają na lekarzy obowiązek starannego udokumentowania realizowanych procedur medycznych. Tym samym lekarze są zobligowani do wykonania opisów i wypełniania wielorakich formularzy.

Podobnie regulator w postaci Ministerstwa Zdrowia poprzez rozporządzenia nakłada kolejne obowiązki związane z prowadzeniem szczegółowej dokumentacji medycznej dla zabezpieczenia i ochrony praw pacjentów. Skutkuje to wydłużeniem czasu, który lekarz spędza „wpisując” tekst do komputera i bardzo często powielając wielokrotnie te same dane w różnych formularzach oraz systemach komputerowych – zamiast poświęcać ten czas na opiekę nad pacjentem. Zastosowanie rozwiązań sztucznej inteligencji pozwala oszczędzać czas medyków i pracowników administracyjnych, automatycznie łącząc wprowadzane w jednym miejscu dane z pozostałymi formularzami i dokumentami medycznymi, wymaganymi podczas procesu leczenia pacjenta, jak i narzuconymi przez obowiązujące przepisy prawne.

AUTOMATYZACJA GOSPODARKI MAGAZYNOWEJ

Placówki medyczne, podobnie jak wszystkie przedsiębiorstwa, muszą posiadać zaplecze materiałów niezbędnych do codziennego funkcjonowania: leków, wyrobów medycznych używanych np. podczas zabiegów chirurgicznych, środków opatrunkowych czy zużywalnych akcesoriów do urządzeń medycznych. Ze względu na obowiązujące przepisy prawne z tymi środkami wiążą się różne wymagania dotyczące sposobu i miejsca ich przechowywania, transportu, okresu przydatności. Bardzo często każdy z oddziałów szpitalnych lub innych komórek organizacyjnych podmiotu leczniczego prowadzi własny magazyn. Skutkuje to niestety nieefektywną gospodarką magazynową, generującą niepotrzebne koszty i problemy organizacyjne.

Na tym polu doskonale sprawdza się sztuczna inteligencja, mogąca połączyć informacje na temat aktualnych stanów magazynów, sposobów przechowywania i terminów ważności z zaplanowanymi zabiegami medycznymi i ilością pacjentów – i przełożyć to na konieczne do zrobienia zakupy (wysyłając do dostawców odpowiednie zamówienia lub dokonując przesunięć magazynowych między komórkami organizacyjnymi). Efektem tych działań jest zmniejszenie stanów w magazynach placówek medycznych, a także praktycznie zlikwidowanie materiałów, które należałoby zutylizować ze względu na utratę przez nie przydatności do użycia. Są to działania bardzo szybko przynoszące wymierne odzwierciedlenie w raportach finansowych.

SYSTEMY TRANSKRYPCJI

Przetwarzanie języka naturalnego (*NLP, Natural Language Processing*) często jest uważane za jeden z działów sztucz-

nej inteligencji. Ze względu na wymogi prawne, nakazujące bardzo dokładne dokumentowanie przebiegu wizyt i czynności medycznych względem pacjenta, zastosowanie tej technologii ma bardzo duży potencjał w codziennej pracy lekarzy. Odciążenie medyków od konieczności samodzielnego wpisywania tekstu za pomocą klawiatury, znacząco wpływa na poprawę jakości obsługi pacjentów, a także na efektywność pracy. Dlatego wykorzystanie automatycznych systemów transkrypcji korzystających z NLP wydaje się być naturalnym i oczekiwanym efektem wdrożenia sztucznej inteligencji w placówkach medycznych.

INTELIGENTNY BUDYNEK SZPITALA CZY PRZYCHODNI

Zarządzanie nieruchomościami, w których zlokalizowane są placówki medyczne, to kolejny obszar, w którym doskonale sprawdza się sztuczna inteligencja. Zarządzanie ogrzewaniem, klimatyzacją, gazami medycznymi, oświetleniem, wodą, odpadami medycznymi i komunalnymi, nadzór nad urządzeniami i systemami niezbędnymi do prawidłowego i bezpiecznego funkcjonowania placówki – to tylko najważniejsze przykłady. Dzięki zainstalowaniu czujników i połączeniu urządzeń do jednego systemu uzyskujemy możliwość kompleksowego zarządzania nieruchomościami, bieżącego nadzoru nad jej funkcjonowaniem i spełnienia obowiązujących wymogów. Oczywistym efektem jest zmniejszenie kosztów związanych z jej obsługą.

Z przedstawionych przykładów wynika, jak AI może być lub jest wykorzystywana w codziennej pracy przychodni i szpitali. Potencjał zastosowania tej technologii w zarządzaniu podmiotami leczniczymi jest olbrzymi i wciąż rośnie. Zwiększająca się ilość nowych metod diagnostycznych i kosztochłonnych urządzeń, rosnące koszty funkcjonowania placówek medycznych, rosnące obciążenia administracyjne przy jednoczesnym niedoborze specjalistów – to wszystko stwarza idealne warunki do wykorzystania rozwiązań z tego zakresu. Do najbardziej perspektywicznych należą systemy umożliwiające autonomiczną optymalizację procesów związanych z funkcjonowaniem placówek medycznych. Dotyczą one zarówno posiadanej infrastruktury, jak jej wykorzystania, gospodarki magazynowej, zasobów ludzkich oraz wyrobów medycznych. Uruchomienie w gabinecie cyfrowego asystenta odciąża lekarza od konieczności samodzielnego przygotowywania dokumentacji medycznej, umożliwiając pełne skupienie uwagi na pacjencie i procedurach medycznych. Ma to również przełożenie na lepsze prowadzenie rekordów medycznych, a w konsekwencji na dalszą poprawę procesów diagnostycznych, leczniczych i rehabilitacyjnych.

Wykorzystanie IoT oraz AI otwiera zupełnie nowe możliwości usprawnień, zmieniających funkcjonowanie placówek medycznych w zakresie zarządczym, finansowym oraz organizacyjnym. Sukcesywne zwiększanie ilości gromadzonych danych i monitorowanych parametrów oraz ich późniejsza wieloaspektowa analiza przy wykorzystaniu AI będzie skut-

kowała jedynie korzyściami dla pracy placówki i świadczo-
nych w niej usług medycznych. Będzie to miało bezpośredni
wpływ na efekty lecznicze, zwiększy zadowolenie pacjentów
i podniesie jakość życia. Co oczywiste, pozytywnie wpłynie
też na wyniki finansowe placówek medycznych.

ŁUKASZ BRUSKI



Dr n. o. mgr inż. Łukasz Bruski – od ponad 20 lat związany z medycyną, obecnie prezes zarządu Centrum Słuchu i Mowy Sp. z o.o., zatrudniony też w Instytucie Narządów Zmysłów Sp. z o.o. Absolwent Politechniki Warszawskiej, Szkoły Głównej Handlowej oraz podyplomowych studiów „Zarządzanie Zakładami Opieki Zdrowotnej” na SGH. Pracę doktorską pt. „Ocena klinicznej i ekonomicznej efektywności metody telefittingu stosowanej dla pacjentów z wszczepionym implantem słuchowym” obronił na drugim Wydziale Lekarskim Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego. Uczestnik studiów Canadian Executive MBA na University of Quebec. Autor i współautor wielu publikacji i prezentacji na temat zastosowania nowoczesnych technologii w medycynie. W dorobku ma publikacje w recenzowanych czasopismach krajowych i zagranicznych. Brał udział w wielu kongresach, szkoleniach, konferencjach i spotkaniach krajowych i zagranicznych. Od 2006 r. występował z wykładami swojego autorstwa lub współautorstwa na ponad 60 wydarzeniach krajowych i zagranicznych. Kierownik lub koordynator wielu projektów dofinansowanych z funduszy UE, w tym projektów B+R, zakończonych wdrożeniami w działalności medycznej i gospodarczej.

Przypisy:

1. System CRM (*Customer Relationship Management*) – system zarządzania kontaktami z klientem, archiwizujący i porządkujący doświadczenia firmy, co ułatwia tworzenie bardziej skutecznych strategii jej rozwoju.

Przykład zastosowania

Sztuczna inteligencja w POChP

Tomasz Jaworski

→ Personalizowana opieka w POChP pozwala uzyskać lepsze wyniki leczenia i oszczędności. Kluczem jest wykorzystanie sztucznej inteligencji

Do 2030 roku POChP, czyli przewlekła obturacyjna choroba płuc, stanie się trzecią najczęstszą przyczyną zgonów na świecie. WHO szacuje, że choruje na nią ponad 250 mln ludzi, a z danych Ministerstwa Zdrowia wynika, że w Polsce takich osób jest blisko 2 miliony. Szybka diagnostyka i wdrożenie właściwego leczenia jest wyzwaniem, z którym system ochrony zdrowia w Polsce (podobnie jak systemy na świecie) nadal nie do końca sobie radzi. Objawy POChP są niespecyficzne, wielu pacjentów je bagatelizuje lub myli z objawami infekcji dróg oddechowych, astmy, chorób serca lub starzenia się. Według Polskiego Towarzystwa Ftyzjopneumonologicznego wyróżnia się cztery stadia zaawansowania POChP. Objaw, który ze względu na swoją dokuczliwość alarmuje chorych, pojawia się późno, gdy nieodwracalnie zniszczone zostaje około połowy powierzchni wentylacyjnej płuc.

PRZYPADEK PIERWSZY: POPRAWA WYNIKÓW LECZENIA. OSZCZĘDNOŚCI NHS

NHS Greater Glasgow & Clyde¹ testuje pionierskie zastosowanie sztucznej inteligencji w celu wykrycia trendów u pacjentów cierpiących na choroby przewlekłe, takie jak przewlekła obturacyjna choroba płuc. Ponieważ każda nieplanowana wizyta w szpitalu kosztuje ponad 30 tys. zł (ok. 6 tys. funtów), technologia może odegrać ogromną rolę w zmniejszaniu wydatków NHS, wymaganych do zarządzania planami opieki nad osobami przewlekle chorymi.

Jak podkreśla dr Chris Carlin, konsultant lekarz chorób układu oddechowego w NHS Greater Glasgow & Clyde¹: „Nasze szpitale są przepełnione i zmagamy się z niedoborami zasobów niezbędnych do zarządzania rosnącą liczbą przyjęć do szpitali, dlatego musimy przyjrzeć się strategiom, które mogą rozwiązać ten problem zarówno z punktu widzenia pacjenta, jak prawidłowej organizacji opieki zdrowotnej”².

Głównymi celami programu, który obejmuje 400 pacjentów, są:

- Poprawa wyników leczenia: „POChP dotyka 1,2 miliona pacjentów w Wielkiej Brytanii. Przewidując potencjalny rozwój sytuacji można dostosować plan opieki dla pacjentów, tak aby mogli uniknąć hospitalizacji” (dr Chris Carlin)³;
- Oszczędności dla NHS: „Jeśli uda nam się zapewnić opiekę 400 pacjentom, oznaczałoby to oszczędność kosztów NHS w wysokości 1,2 miliona funtów rocznie” (dr David Lowe, konsultant medycyny ratunkowej, NHS Greater Glasgow & Clyde)⁴;
- Angażowanie pacjentów do współpracy: „Równie ważna jest samokontrola: zdolność pacjenta do monitorowania własnych objawów i profilaktycznego, uprzedzającego zaostrezenie objawów, radzenia sobie ze swoim stanem” (dr David Lowe, konsultant medycyny ratunkowej, NHS Greater Glasgow & Clyde)⁵.

Wdrożenie NHS Glasgow & Clyde realizowane jest we współpracy z firmą partnerską KenSci i wykorzystuje gotowe rozwiązania Microsoft AI, zapewniające zgodność z obowiązującymi regulacjami i wysoki poziom cyberbezpieczeństwa.

WYKORZYSTANIE AI W CHOROBYCH PRZEWLEKŁYCH

Badanie obecnie prowadzone w NHS koncentruje się na POChP. Jednak dostępna literatura pozwala przypuszczać, że sztuczna inteligencja może okazać się również przydatna w postępowaniu z chorymi na inne choroby przewlekłe, takie jak cukrzyca i rak. Cytowany już wcześniej dr Carlin podsumowuje: „Możemy ocenić indywidualne korzyści dla pacjenta, mamy realną możliwość zapewnienia dostosowanego leczenia, widzimy poprawę jakości życia, widzimy dobre zmiany dla NHS a także działamy z wizją przyszłości”⁶.

PRZYPADEK DRUGI: TELEMEDYCYNĄ W BADANIACH PRZESIEWOWYCH W POLSCE

→ W Polsce ponad 300 lekarzy i klinik używa systemu AioCare⁷. To profesjonalny system do diagnostyki i monitorowania chorób układu oddechowego, złożony z urządzenia medycznego (przenośnego spirometru), aplikacji mobilnej i panelu online do odczytu pomiarów.

Certyfikowane urządzenie medyczne pozwala wykonać pełne badanie spirometryczne wraz z próbą rozkurczową. Algoritmy diagnostyczne oparte o AI pomagają w prosty i przejrzysty sposób zinterpretować pomiary oraz automatycznie wykryć kaszel podczas badania.

Dzięki AioCare monitorowanie stanu zdrowia pacjentów, wykrycie wczesnych objawów chorób, takich jak astma czy POChP, oraz kontrola nad przyjmowaniem leków są bardzo proste. Pacjenci mogą używać AioCare w domu, a lekarz śledzi wyniki na bieżąco i może je konsultować. Spirometria bez wychodzenia z domu, szybki wynik badania oraz konsul-

tacja telefoniczna lub video z lekarzem zostały bardzo wysoko ocenione zarówno przez pacjentów, jak lekarzy.

AioCare angażuje pacjenta, pozwalając w codziennych warunkach monitorować stan zdrowia, objawy choroby i przyjmowane leki. Lekarz widzi dane na bieżąco w swoim panelu. Dzięki organizacji opieki w oparciu o telemedycynę i AI pacjent może unikać przykrych zaostrzeń chorobowych za sprawą indywidualnego leczenia opartego o rzeczywiste wyniki. Terapia pacjentów z niewydolnością oddechową (POChP, zespół hipowentylacji otyłych ZHO, choroby nerwo-mięśniowe) lub z zaburzeniami oddychania podczas snu (obturacyjny bezdech senny) może być z powodzeniem prowadzona w modelu telemedycznym dzięki domowej wentylacji mechanicznej (WM) lub tzw. terapii dodatnimi ciśnieniami (CPAP). Opieka w takim modelu realizowana jest we Francji przez firmę Philips, przyczyniając się do lepszych wyników medycznych pacjentów oraz oszczędności płatnika.

Badania są realizowane wspólnie z Polską Federacją Stowarzyszeń Chorych na Astmę, Alergię i POChP. AioCare, jako partner Microsoftu, wykorzystuje technologię Azure i uczenie maszynowe (ML) do wstępnej oceny wyników spirometrii oraz rozwija zaawansowane metody predykcji.

TOMASZ JAWORSKI

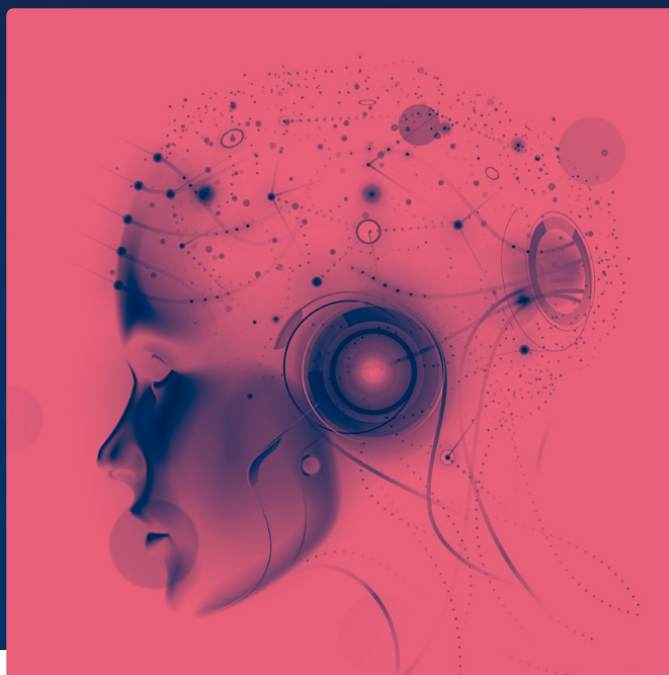
(Sylwetka autora została opisana w Rozdziale I.)

Przypisy:

1. NHS Glasgow & Clyde, zarząd NHS w zachodniej i środkowej Szkocji. NHS – National Health Service – to wspólna nazwa dla trzech z czterech systemów służby zdrowia w Wielkiej Brytanii.
2. NHS Glasgow & Clyde uses Microsoft Artificial Intelligence to transform care for patients, <https://customers.microsoft.com/en-US/story/nhs-glasgow-clyde-uses-microsoft-ai>, <https://aiocare.com/spirometria-domowa/>
3. *Ibidem*.
4. *Ibidem*.
5. *Ibidem*.
6. *Ibidem*.
7. Już ponad 300 lekarzy, 18.01.2019, <https://aiocare.com/exercising-with-atrial-fibrillation-2/>

Zastosowanie AI w zdrowiu publicznym

GRZEGORZ JUSZCZYK,
STEFAN BOGUSŁAWSKI,
PIOTR BURLIŃSKI



- **Rosnąca szczegółowość i zakres dostępnych danych pozwolą wykorzystać metody AI do analizowania stanu zdrowia ludności na poziomie lokalnym i globalnym**
- **Systemy analityczne oparte o AI w najbliższej przyszłości będą raczej uzupełniały niż zastępowały tradycyjne analizy jako podstawa podejmowania decyzji w zakresie zdrowia publicznego**

Informatyzacja systemu ochrony zdrowia jest zjawiskiem, którego dynamika stale przyspiesza i w przewidywalnej przyszłości ilość gromadzonych danych będzie rosła. Elektronizacja dokumentacji medycznej, zbieranie danych o stylach życia populacji, czynnikach środowiskowych i klimatycznych, rozwój technologii monitorujących, wsparty przez wdrożenie technologii sieciowej 5G i IoT oraz ogólne dążenie do podejmowania decyzji opartych o dane pozwalają zakładać, że wzrost ich ilości będzie miał nadal charakter wykładniczy. Tak duża ilość danych pozwala analizować zdrowie publiczne w zupełnie nowy sposób, przy użyciu wielowymiarowych i wieloczynnikowych analiz.

Pełne wykorzystanie tego potencjału przekracza jednak analityczne możliwości człowieka i wymaga zastosowania technologii wspierających, takich jak szeroko rozumiana sztuczna inteligencja (AI). Rozwój wykorzystania AI w obszarach opisanych poniżej oraz pokonywanie istniejących wyzwań będą określały główne kierunki rozwoju analityki w obszarze zdrowia publicznego w kolejnej dekadzie.

ZASTOSOWANIA AI W OBSZARZE ZDROWIA PUBLICZNEGO

WYKRYWANIE I PROGNOZOWANIE EPIDEMII

Na świecie podejmowane są liczne próby wykorzystania AI w analizie zachorowalności. Można rozróżnić dwa ich główne nurty:

Wykrywanie epidemii (*nowcasting*) – wykorzystanie AI do analizy danych bieżących (dostarczanych z możliwie małym opóźnieniem) w celu wykrywania powstających ognisk epidemii oraz do oceny jej aktualnej skali, również jeszcze przed jakimkolwiek zarejestrowaniem jej w systemie ochrony zdrowia, jako system wczesnego ostrzegania. Jest to możliwe dzięki automatycznej analizie danych, takich jak: ruch internetowy i wyszukiwania, automatyczne analizowanie treści artykułów i komentarzy, lokalne zakupy leków, mobilność osób.

Prognozowanie przebiegu epidemii (*forecasting*) – wykorzystanie zdolności AI do uwzględniania w prognozie zjawisk niewidocznych dla człowieka, by przewidywać rozwój epidemii na poziomie globalnym i lokalnym, pozwalając na przygotowanie odpowiedzi w sposób celowany (*precision medicine*). Dane możliwe do wykorzystania to przede wszystkim informacje o świadczeniach, zakupach leków, prognozy pogody, informacje o dystrybucji i ruchach ludności. Badania wykazują dużą skuteczność prognozowania przebiegu epidemii przez AI w krótkiej perspektywie czasowej (2 tygodnie)².

ANALIZA CZYNNIKÓW KSZTAŁTUJĄCYCH ZDROWIE PUBLICZNE

Równoległa, automatyczna analiza wielu zbiorów danych może pozwolić na wykrywanie zależności, które nie znalazłyby się w sferze hipotez tradycyjnych analiz. Pomiary stanu zdrowia mogą być analizowane w kontekście stylów życia (w tym diety), zmian klimatu, zanieczyszczeń środowiska, dostępu do opieki zdrowotnej, edukacji, zamożności, migracji ludności i dowolnych innych zjawisk środowiskowo-ekonomiczno-społecznych³.

Polskim tego przykładem jest realizacja przez Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny projektu Profibaza, za pomocą którego udostępniane będą dane z zakresu sytuacji zdrowotnej ludności oraz realizacji programów zdrowotnych dla potrzeb profilaktyki chorób i promocji zdrowia w Polsce. Algorytmy AI mają pozwolić na ocenę efektywności programów profilaktyki chorób i promocji zdrowia w zapobieganiu i zmniejszaniu rozpowszechnienia chorób przewlekłych, opierając analizę o dane historyczne sięgające 2006 roku. Inne obszary, w których wykorzystanie AI jest rozważane, to modelowanie wpływu zmian klimatu na lokalne występowanie niektórych chorób przenoszonych przez owady czy ocena efektów diety na podstawie danych zebranych z dużych populacji.

WZBOGACANIE ZBIORÓW DANYCH ZA POMOCĄ AUTOMATYCZNEJ ANALIZY DOKUMENTACJI MEDYCZNEJ

Kolejnym obszarem jest wykorzystanie AI do poprawiania i wzbogacania zbiorów danych z wykorzystaniem analizy języka naturalnego (*Natural Language Processing*). Automatyczna analiza treści dokumentacji medycznej wraz z klasyfikacją symptomów i procedur otworzyłaby drzwi do analizy rzeczywistego przebiegu chorób i sposobu ich leczenia, dalece szerszego niż podlegający dziś ręcznej systematyzacji. Potencjalnie rozwój tej technologii pozwoliłby również na zredukowanie części obowiązków administracyjnych ciążyących na świadczeniodawcach, jednocześnie znacząco wzbogacając bazy danych do analiz zdrowia publicznego. Obszar ten obejmuje również wzbogacanie informacji dodatkowej o pacjencie, mogącej znaleźć się w dokumentacji, a nawet w zapisach rozmów ratow-

ników medycznych (np. wykrywanie tła społecznego interwencji⁴).

KLUCZOWE WYZWANIA OGRANICZAJĄCE WYKORZYSTANIE AI W OBSZARZE ZDROWIA PUBLICZNEGO

Wykorzystanie szansy, jaką obiektywnie stanowi rozwój technologii AI w obszarze zdrowia publicznego, ograniczone jest przez szereg wyzwań. Część z nich związana jest z samym charakterem technologii AI i stawienie im czoła może wymagać zmiany niektórych paradygmatów analitycznych.

Tego typu wyzwaniem jest **skomplikowany proces uzasadniania** otrzymanego wyniku (AI to w dużej mierze tzw. *black box*, w którym szczegóły procesu obliczeniowego nie są praktycznie możliwe do prześledzenia)⁵.

→ **Bezrefleksyjne wykorzystanie AI może rodzić w przyszłości wyzwania prawne i etyczne, np. w przypadku podejmowania decyzji o kierunkach wydatkowania środków publicznych lub wyznaczaniu grup ryzyka.**

Rozszerzeniem tego wyzwania jest również niemożliwość przewidzenia rezultat **ewolucji zakresu i jakości wykorzystywanych danych**, który może prowadzić do skokowych zmian wyników analiz wykonywanych w trybie ciągłym. **Zła jakość danych i krótki dostępny zakres czasowy** ograniczają skuteczność algorytmu uczącego – oba te czynniki występują w polskim systemie statystyki medycznej. **Krótką historią stosowania metod AI** do prognozowania sprawia, że ich średnio- i długoterminowa skuteczność musi być dopiero sprawdzona.

Ostatnim, lecz nie najmniej ważnym czynnikiem jest możliwość **dyskryminacji przez AI subpopulacji niereprezentowanych lub źle reprezentowanych w zbiorach danych** (co może być spowodowane różnymi przyczynami)⁶. W takim przypadku decyzje podejmowane w oparciu o wyniki mogą mieć charakter dyskryminacyjny (a analiza tych przypadków utrudniona będzie przez opisany mechanizm *black box*).

Powyższe wyzwania wskazują na konieczność zachowania dużej ostrożności przy wykorzystaniu metod AI. Należy się spodziewać, że w przewidywalnej przyszłości konieczne będzie walidowanie metod AI za pomocą równoległe wykonywanych klasycznych analiz, które stopniowo osiągną charakter analiz kontrolnych.

PERSPEKTYWY

W perspektywie kolejnej dekady kluczowe dla rozwoju zastosowań AI w obszarze zdrowia publicznego będą integracja i systematyzacja dostępnych źródeł danych zarówno w obszarze stanu zdrowia ludności, jak możliwych efektów

zewnątrznych je kształtujących. Kluczowe jest zapewnienie stałej poprawy jakości zbieranych danych oraz rozwój zespołów analitycznych potrafiących je interpretować. Istotne jest też maksymalne skracanie czasu dostępu do danych przy poszerzaniu ich zakresu.

Równolegle powinny być prowadzone ciągłe badania i próby wykorzystania AI we wskazanych obszarach zdrowia publicznego. Korzystną sytuacją byłoby wypracowanie zwyczaju wykonywania analiz opartych o AI jako dodatku do analiz wykonywanych metodami tradycyjnymi. Pozwoliłoby to na rozpowszechnianie wśród badaczy zastosowań AI, zapewnienie im bezpiecznego środowiska do rozwijania tych metod przy zachowaniu możliwości porównywania osiągniętych rezultatów obiema metodami.

WNIOSKI

Rozwój metod analitycznych opartych o AI jest przyszłością badań w obszarze zdrowia publicznego. Nie jest jednak jasne czy, kiedy i po spełnieniu jakich warunków systemy te będą w stanie całkowicie zastąpić alternatywne metody jako podstawa do podejmowania decyzji. Możliwe, że na pierwszym etapie metody AI będą skuteczniejsze i bezpieczniejsze jako podstawa do podejmowania wielu mało istotnych decyzji. Ogranicza to ich użyteczność we wspieraniu decyzji w obszarze zdrowia publicznego, gdzie z reguły podejmowana jest niewielka liczba istotnych decyzji. Warunkami rozwoju metod AI są dostęp do zintegrowanych danych i rozwój wykwalifikowanej, odważnej kadry badawczej.



Dr hab. n. o zdr. Grzegorz Juszczyk – ekspert w dziedzinie zdrowia publicznego, od 2017 r. dyrektor Narodowego Instytutu Zdrowia Publicznego, prowadzącego badania w obszarze monitorowania i analiz stanu zdrowia populacji, promocji zdrowia i profilaktyki chorób zakaźnych oraz przewlekłych, bezpieczeństwa żywności oraz środowiska. W 2019 r. kierował procesem połączenia NIZP-PZH oraz Instytutu Żywności i Żywienia, który zakończył się 1 lutego 2020 i umożliwił rozszerzenie zespołu naukowego i działalności NIZP-PZH o badania sposobu odżywiania i prowadzenie edukacji żywieniowej. Członek Krajowej Rady ds. Onkologii; wykładowca akademicki Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego.



Lek. Stefan Bogusławski – Główny Specjalista w Zakładzie Monitorowania i Analiz Stanu Zdrowia Ludności Narodowego Instytutu Zdrowia Publicznego – Państwowego Zakładu Higieny. Od prawie 30 lat zajmuje się w badaniami i doradztwem w ochronie zdrowia. Jego doświadczenie zawodowe obejmuje wieloletnie kierowanie Sequence i PEX PharmaSequence – polskimi firmami doradczo-badawczymi, a także oddziałem polskim oraz regionem Europy Środkowej w IMS Health (obecnie IQVIA), firmy dostarczającej informacje, usługi i technologie dla branży medycznej. Uczestnik szeregu polskich i zagranicznych kursów oraz szkoleń w zakresie zarządzania ogólnego, badań rynku i metod analitycznych. Autor szeregu wystąpień na wielu konferencjach w Polsce i za granicą, publikacji w prasie ogólnej oraz fachowej dotyczących polskiego rynku zdrowia, a w szczególności rynku leków.



Piotr Burliński – ekspert rynku ochrony zdrowia, specjalizujący się w projektowaniu i wykonywaniu zaawansowanych analiz biznesowych, opracowywaniu strategii oraz strukturyzowaniu informacji. Posiada kilkunastoletnie doświadczenie biznesowe w obszarze rynku farmaceutycznego, dystrybucji produktów leczniczych oraz fuzji i przejęć. Rozwija się w obszarze teorii ekonomiki zdrowia, badania nierówności w dostępie do opieki zdrowotnej oraz zasad organizacji i utrzymywania baz wiedzy.

→ **Pandemia Covid-19 uwypukliła globalne nieprzygotowanie systemów informatycznych w obszarze ochrony zdrowia do monitorowania i przewidywania rozprzestrzeniania się chorób zakaźnych.**

Pokonywanie dzisiejszych wyzwań ograniczających rozwój technologii AI w obszarze monitorowania zdrowia populacji stanowi jeden z elementów przygotowywania się do skutecznej walki z możliwymi pandemiemi przyszłości.

**GRZEGORZ JUSZCZYK,
STEFAN BOGUSŁAWSKI,
PIOTR BURLIŃSKI**

Przypisy:

1. Zeng D., Cao Z., Neill D.B., *Artificial intelligence-enabled public health surveillance—from local detection to global epidemic monitoring and control*, *Artificial Intelligence in Medicine*, 2021;437–453. doi:10.1016/B978-0-12-821259-2.00022-3.
2. *Ibidem*.
3. Siordia C., Khoury MD. Review of CDC scientists works in AI/ML in public health surveillance and research. Centers for Disease Control and Prevention, 2020–09–17, <https://blogs.cdc.gov/genomics/2020/09/17/artificial-intelligence/>
4. *Ibidem*.
5. Khader K., *Machine Learning Systems in Epidemics: In the AI of the Storm*, *International Journal of Computer Applications*, 2020; 29–36. doi: 10.5120/ijca2020920323.
6. Benke K., Benke G., *Artificial Intelligence and big data in Public Health*, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2018, 15(12), 2796; <https://doi.org/10.3390/ijerph15122796>.

Przykład zastosowania

Wartość opieki medycznej

Tomasz Jaworski

→ Wartość w opiece zdrowotnej można określić jako jakość opieki obserwowaną przez chorego

„Opieka zdrowotna jest towarem — czymś, za co płacimy. Coraz większa jest świadomość, że — jak w przypadku innych produktów — należy się skoncentrować na uzyskaniu najlepszego „zwrotu inwestycji” z opieki medycznej, której ostatecznym celem jest poprawa stanu zdrowia” — czytamy w artykule pt. „Określenie wartości opieki medycznej w nowotworach głowy i szyi”, opublikowanym na łamach „Oncology in Clinical Practice”.

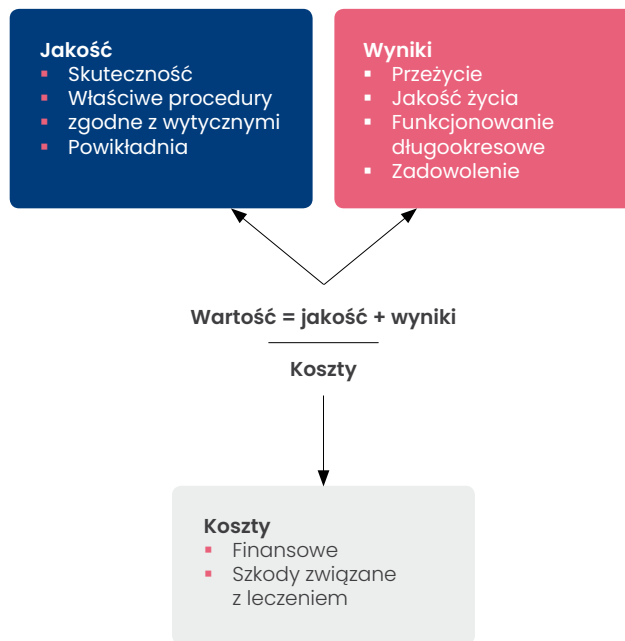
U niejednego przedstawiciela zawodów medycznych te dwa zdania mogą wzbudzić zakłopotanie albo nawet sprzeciw, choć pochodzą z prestiżowego periodyku medycznego. Również w polskim systemie ochrony zdrowia od lat, przez szkolenia i zmiany organizacyjne, promowane jest nowoczesne zarządzanie organizacjami świadczeniodawców. Dzieje się tak dzięki uwzględnieniu spostrzeżeń Michaela E. Portera² i Avedisa Donabediana³ dotyczących jakości ochrony zdrowia.

Według klasycznej teorii Avedisa Donabediana jakość w ochronie zdrowia można postrzegać i mierzyć w trzech wymiarach:

- struktury (narzędzia, zasoby, fizyczne i organizacyjne warunki pracy);
- procesu (czynności, procedury, działania zachodzące u usługodawców oraz między nimi a pacjentami);
- wyniku (uzyskany efekt zdrowotny, stan zdrowia, samopoczucie pacjenta itp.).

Wartość w opiece zdrowotnej można określić jako jakość opieki obserwowaną przez chorego (rys. 1, licznik). Na jakość wpływ mają wyniki działań podejmowanych wobec pacjenta przez personel medyczny oraz wydajność procesów obsługi, w ramach których udzielane są świadczenia. Równanie wartości może być swoistą mapą do osiągnięcia celu. Ukierunkowanie działań i skoncentrowanie się na elementach wartości, które świadczeniodawca może kontrolować, może przynieść znaczną poprawę świadczonej opieki medycznej.

W Polsce obok systemu ochrony zdrowia finansowanego ze środków publicznych dynamicznie rozwija się system prywatnych świadczeniodawców. Równanie jakości Donabediana oraz oczekiwanie „zwrotu z inwestycji” są naturalnym wymaganiami stawianym przez klientów korporacyjnych takim świadczeniodawcom jak Telemedico.



Rys. 1. Elementy równania wartości

AI W TELEMEDICO

Sztuczna inteligencja już ponad 4 lata temu została wprowadzona przez firmę Telemedicin sp. z o.o. (dalej Telemedico) – największego (działa w 14 krajach) dostawcę usług telemedycznych w Europie centralnej, za której pośrednictwem lekarze z kilku kontynentów prowadzą ponad 100 tys. konsultacji miesięcznie. Aktualnie firma stosuje i rozwija narzędzia AI w obsłudze dwóch procesów: ankiety objawów (ang. *symptom checker*) oraz wsparcia diagnostyki.

Symptom checker analizuje symptomy wprowadzone przez pacjenta na etapie umawiania konsultacji z lekarzem. Zanim pacjent dokona wyboru specjalizacji i terminu odpowiedzi dla niego konsultacji, rozpoczyna się proces zautomatyzowanego wywiadu lekarskiego, którego wyniki są następnie przekazane do systemu Telemedico w wygodny dla pacjenta sposób. Pacjent otrzymuje informację zwrotną o tym, czy problem kwalifikuje się do oceny zdalnej, czy jednak powinien być zweryfikowany przez lekarza w ramach wizyty stacjonarnej w placówce medycznej.

Co nie mniej ważne, sztuczna inteligencja podpowiada, do jakiego specjalisty pacjent powinien być przekierowany, aby jego schorzenie zostało trafnie i szybko rozpoznane i zaadresowane.

W zastosowaniu są dwa typy weryfikacji z podziałem na krótki i bardziej pogłębiony wywiad. Ten drugi umożliwia doprecyzowanie, uszczegółowienie problemu i stanowi wsad do dokumentacji medycznej pacjenta jako wywiad wstępny z nim.

Główne zalety symptom checker.

- usprawnienia/redukcja czasu zamawiania wizyty przed konsultacją;
- ułatwienie zamówienia właściwej konsultacji ze specjalistą medycznym przez formularz interaktywnego „triażu” (inaczej: *triage* – to procedura stosowana w medycynie ratunkowej, która pozwala służbom medycznym na segregację chorych wymagających pomocy w zależności od ciężkości schorzeń bądź obrażeń)⁴, pozwalający ustalić, czy dany przypadek, symptomy chorobowe kwalifikują się do telemedycyny (telekonsultacji);
- podpowiadanie specjalizacji lekarskiej, do której pacjent powinien się zwrócić na podstawie wcześniej zgłoszonych objawów – rodzaj specjalności adekwatny do zestawu symptomów zebranych w ramach „triażu”;
- „uczenie się organizacji” – objawy zgłaszane przez pacjentów, przypisanie do pacjenta do specjalisty oraz uzyskane wyniki leczenia pozwalają w sposób ciągły doskonalić procesy.

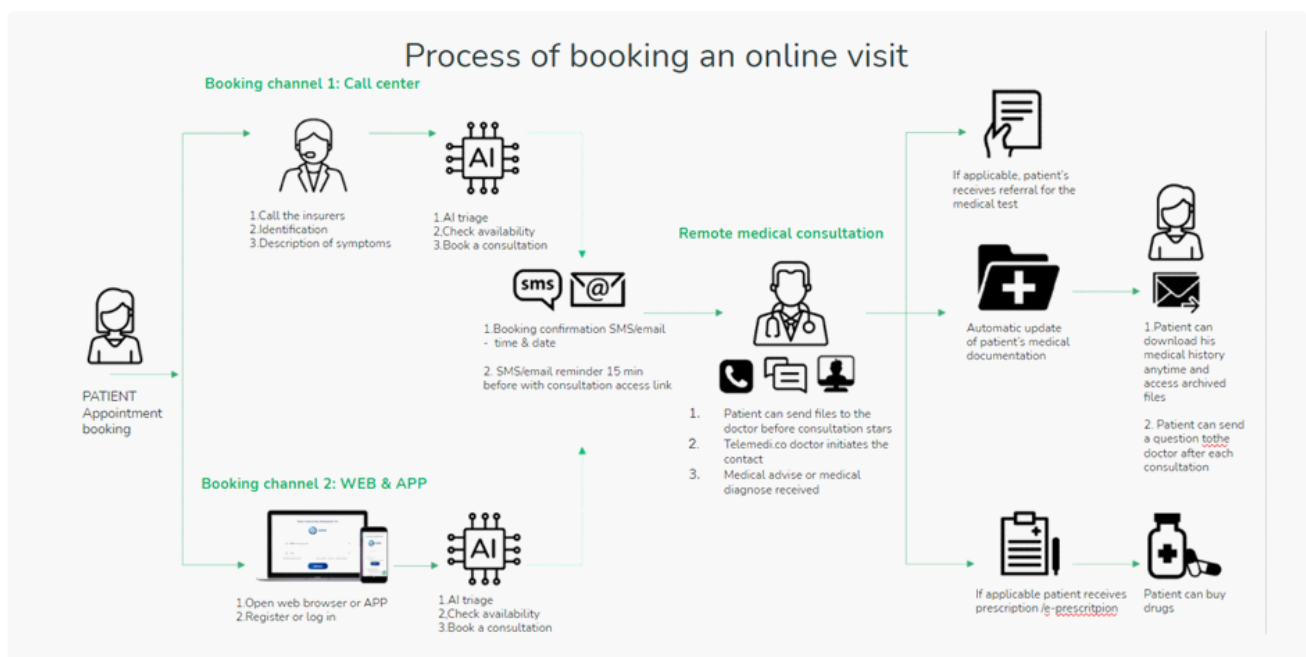
Drugim zastosowaniem sztucznej inteligencji w Telemedico jest interaktywna pomoc lekarzowi przy weryfikacji symptomów u pacjenta, postawieniu diagnozy oraz wypełnianiu zaleceń medycznych odnośnie do postępowania terapeutycznego.

Platforma Telemedico udziela lekarzom zaleceń w oparciu o objawy zgłaszane przez pacjenta, a także udziela porad dotyczących leczenia czy dodatkowych informacji na temat diagnozy. Dzięki temu o 22 proc. skraca się czas konsultacji z lekarzem. Średnio na godzinę lekarze wykonują jedną konsultację więcej.

Główne zalety procesu diagnozowania pacjentów przez specjalistów:

- podpowiadanie specjalistom medycznym jednostek chorobowych, które pasują do zbioru informacji zebranych od pacjenta w ramach „triażu” oraz pogłębionego wywiadu lekarskiego;
- podpowiadanie zaleceń lekarskich mających największy wpływ na dalsze leczenie pacjenta, w tym e-skierowania, e-recepty i inne zaświadczenia lekarskie;
- standaryzacja procesów i procedur umożliwia uzyskanie lepszych wyników, a jednocześnie wysokiej wydajności obsługi pacjenta.

To, że każda osoba mająca styczność z platformą indywidualnie określa zakres danych medycznych wprowadzanych do systemu i ich brzmienie, może powodować sytuację, w której te same dane będą miały różne znaczenia. Działanie algorytmu i jakość predykcji w dużej mierze zależą od danych, które stopniowo są dodawane do platformy. Podpowiedzi dla lekarzy wspierają ich w diagnozowaniu pacjenta i prawidłowym wypełnianiu dokumentacji. Gdy lekarz nie zgadza się podpowiedzią, wprowadza własne informacje, które trafiają do algorytmu i są weryfikowane przez kolejnych lekarzy pod kątem prawidłowości. Poniżej przedstawiony został cały proces zamawiania i odbywania konsultacji z wykorzystaniem sztucznej inteligencji w Telemedico.



Warto zaznaczyć, że lista jednostek chorobowych i symptomów wykorzystywanych w systemie zawiera także opis tego, jakiej płci i przedziału wiekowego dotyczy dany symptom/choroba.

Baza zawiera definicję zakresów wyników popularnych badań pozwalających określić, czy wynik jest prawidłowy, czy też poniżej/powyżej normy.

STRUKTURA, PROCES, WYNIKI

W praktyce polskiego systemu ochrony zdrowia największą wagę przypisuje się pierwszemu z wymienionych elementów teorii jakości Donabediana – strukturze⁵. Takie tradycyjne podejście wynika z łatwości ustalenia miar (np. przez pryzmat dostępnych urządzeń medycznych, formalnych kompetencji pracowników, czyli np. specjalizacji lekarzy). W wielu krajach uznaje się, że większą wagę należy przypisać ocenie procesu oraz samego wyniku.

W perspektywie strategicznej wskaźniki procesu umożliwiają lepsze zarządzanie ochroną zdrowia – pozwalają stale poprawiać jakość i nie są, jak wskaźniki wyniku, narażone na manipulacje. Wskaźniki wyniku, mierzące dokładnie interwencje medyczne, niosą bowiem ze sobą poważne ryzyko selekcji pacjentów przyjmowanych do placówki (im zdrowsi pacjenci, tym lepsze wyniki ich leczenia) lub zaniechania działań niosących większe ryzyko niepowodzenia⁶.

Telemedico realizuje świadczenia w modelu B2B, oferując je klientom korporacyjnym. Przykładowo, firmy ubezpieczeniowe rozszerzają swoją ofertę o usługi medyczne. Wśród 50 klientów korporacyjnych Telemedico znajdują się przede wszystkim firmy ubezpieczeniowe, m.in. Allianz, AXA, Compensa, Metrorred, PZU i Tu Zdrowie. W Polsce Telemedico oferuje też konsultacje dla pacjentów w ramach podstawowej opieki zdrowotnej, finansowanej przez Narodowy Fundusz Zdrowia⁷. Zarządzanie jakością przez procesy i oparcie się na sztucznej inteligencji jest kluczowe w budowaniu wartości dla klientów, którzy potrafią liczyć pieniądze (takich jak ubezpieczyciele). Uruchomienie platformy (oferowanej w modelu *white-label*⁸) dla nowego klienta korporacyjnego ma zajmować przeciętnie 48 godzin.

Platforma zapewnia dostęp do konsultacji lekarskich online, systemu gromadzenia i zabezpieczania dokumentacji medycznej, zapisów i organizacji wizyt, umawiania badań lekarskich, a także narzędzia do automatycznego triażu i wstępnej diagnozy medycznej.

Klienci korporacyjni Telemedico mają dostęp do sieci ponad 600 lekarzy mówiących w 10 językach (m.in. po polsku, angielsku, hiszpańsku, portugalsku, rosyjsku, turecku i arabsku).

TOMASZ JAWORSKI

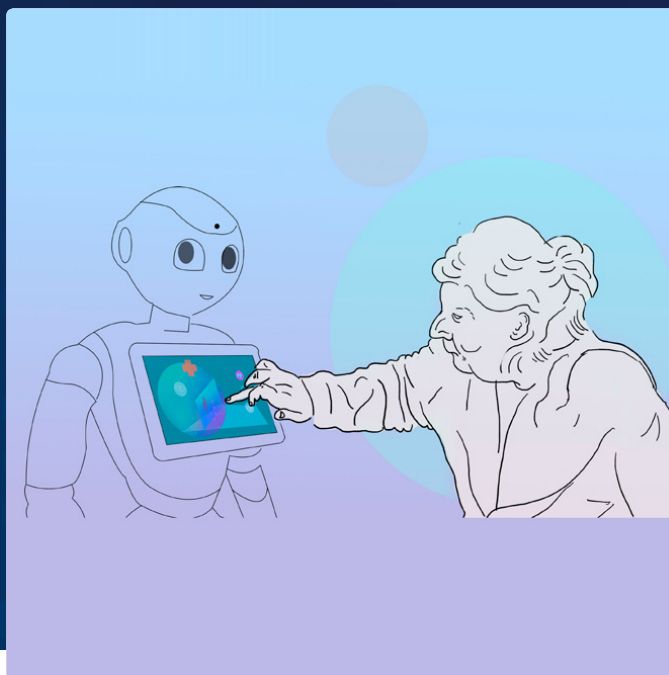
(Sylwetka autora została opisana w Rozdziale I.)

Przypisy:

1. Roman B.R., Awad M.I., Patel S.G., *Określenie wartości opieki medycznej w nowotworach głowy i szyi*, przedruk za: ViaMedica, za zgodą Curr. Oncol. Rep. 2015; 17: 424.
2. Michael E. Porter – amerykański ekonomista, profesor prestiżowej Harvard Business School, twórca koncepcji Value Based Health Care. Za: *Kim jest profesor Michael E. Porter, twórca koncepcji Value Based Health Care?*, Gazeta dla Lekarzy, 06.01.2020, <https://gazeta-dla-lekarzy.com/index.php/wazniejsze-nowosci/865-kim-jest-profesor-michael-e-porter-tworca-koncepcji-value-based-health-care>
3. Avedis Donabedian – lekarz, z pochodzenia Ormianin, większość życia zawodowego pracujący na uniwersytetach amerykańskich, twórca modelu oceny jakości ochrony zdrowia zwanego modelem Donabediana, najpowszechniej używanego do oceny jakości ochrony zdrowia krajach wysokorozwiniętych, wielokrotnie cytowany w Polsce.
4. Definicja za: Zuzanna Pujanek, *Triage – na czym polega? Jakie są zasady segregacji medycznej chorych?* <https://www.hellozdrowie.pl/czym-jest-procedura-triage-dowiedz-sie-jakie-sa-zasady-segregacji-chorych-wymagajacych-pomocy-medycznej/>
5. Kozierekiewicz A., *Restrukturyzacja zakładów opieki zdrowotnej w Polsce*, Warszawa 2011, <https://www.ppp.gov.pl/file.php?i=przegladarka-plikow/05032013-Restrukturyzacja-zakladow-opieki-zdrowotnej.pdf>, str. 31.
6. *Ibidem*, str. 32.
7. PAP MediaRoom, 25 mln zł dla Telemedico na światową ekspansję platformy telemedycznej, <https://www.pap.pl/mediaroom/806575%2-C25-mln-zl-dla-telemedico-na-swiatowa-ekspansje-platformy-telemedycznej.html>
8. *White label* oznacza produkt lub usługę wyprodukowaną przez jedną firmę (producenta), którą inne firmy (marketerzy) oferują pod swoją marką, dostosowując jej wygląd tak, jak by to oni ją stworzyli. Należy wywodzić się od białej etykiety (white label) na opakowaniu, którą można wypełnić adresem handlowym marketera.

Sztuczna inteligencja w opiece długoterminowej

ALICJA TURCZYK



→ Seniorzy objęci obecnie opieką długoterminową nie są pokoleniem *smart*, jednak w przyszłości to się zmieni

Środowisko osób zaangażowanych w rozwój opieki długoterminowej upatruje potencjał sztucznej inteligencji między innymi w rozwiązaniach związanych z **monitoringiem stanu pacjenta**. Właściwa i szybka ocena stanu pacjenta jest niezbędna, lecz obecnie utrudniona, co wiąże się z niedoborem kadr w zespołach pielęgniarsko-opiekuńczych. Zakładając, że niedobory personelu będą się jeszcze pogłębiać w związku z obecną sytuacją epidemiczną w Polsce i przesunięciami kadr medycznych m.in. z sektora opiekuńczego do oddziałów dedykowanych walce z Covid-19, należy przyjąć, że stosowanie rozwiązań ułatwiających pracę zespołu opieki długoterminowej jest bardzo pożądane. Zastąpi ono po części potrzebę monitorowania osobistego i dostarczy medykom wiedzy dotyczącej parametrów pacjenta. Z wielkim zainteresowaniem obserwuję rozwój technologii *smart* wbudowanych w łóżka i infrastrukturę oddziałów dedykowanych seniorom. Liczę na to, że na rynku na szeroką skalę wdrożone zostaną nie tylko proste funkcjonalności, ale również wysoko zaawansowane funkcje zbierające dane o pacjencie i wyciągające wnioski potrzebne medykom do właściwej opieki i szybkiej reakcji na sytuacje niepożądane.

Obecne pokolenie seniorów objętych opieką długoterminową nie jest „pokoleniem *smart*”. Sztuczna inteligencja nie

zastąpi im kontaktu werbalnego z drugą osobą, z fizjoterapeutą, terapeutą zajęciowym czy opiekunem. Jednak **kolejne pokolenia coraz śmielej będą korzystać z rozwoju AI** i z większą łatwością akceptować, że to urządzenia, a nie ludzie, będą je wspierać w codziennym funkcjonowaniu. Nie jestem zwolenniczką zastępowania ludzi sztuczną inteligencją, ale warto przygotować się na takie rozwiązania, zwłaszcza że opieka długoterminowa stanęła przed kolejnym wyzwaniem: zabezpieczenia potrzeb opiekuńczych seniorów w okresie pandemii, a tym samym – izolacji. Równolegle z rozwojem tej myśli należałoby przedsięwziąć kroki służące wykorzystaniu sztucznej inteligencji w szeroko pojętej **re-edukacji i kompensowaniu ograniczenia funkcji**. Droga do wykorzystania sztucznej inteligencji szeroko otwiera się w dziedzinie rehabilitacji zarówno ruchowej, jak i rehabilitacji/terapii funkcji poznawczych. Człowiek zaczyna być zależny od drugiej osoby, gdy przestaje radzić sobie w swym środowisku. Jeśli udałooby się stworzyć takie rozwiązania technologiczne, które będą **zastępować tracone funkcje oraz modyfikować środowisko w taki sposób, by dana osoba nadal mogła sobie w nim radzić**, wydłuży się okres samodzielności i niezależności seniora, a potrzeba objęcia opieką długoterminową znacznie się opóźni, co będzie korzystne zarówno dla seniora, jego rodziny i bliskich, jak dla całego systemu opieki zdrowotnej.



Dr Alicja Turczyk – doktor nauk o kulturze fizycznej (doktorat z dziedziny rehabilitacji neurologicznej), absolwentka Fizjoterapii (AWF Kraków), Zarządzania w Ochronie Zdrowia (Uniwersytet Warszawski) i Terapii Zajęciowej. Dyrektor ds. Rozwoju NZOZ Pasternik Maluty sp.j., gdzie zajmuje się rozpoznawaniem i wdrażaniem optymalnych rozwiązań służących opiece długoterminowej i rehabilitacji osób starszych i niepełnosprawnych. Współwłaścicielka POZ obejmującego opieką nad ponad 6500 pacjentów. Koordynatorka projektów infrastrukturalnych i społecznych finansowanych ze środków UE. Dla partnerów biznesowych konsultuje rozwiązania służące optymalizacji działań w zakresie zarządzania w podmiotach leczniczych oraz realizacji i wdrożenia prac badawczo-rozwojowych. Ekspertka Narodowego Centrum Badań i Rozwoju do oceny projektów badawczo-rozwojowych w dziedzinie profilaktyki senioralnej, rehabilitacji i geriatry. W 2016 roku powołała Fundację Na Rzecz Rehabilitacji i Opieki Długoterminowej ReAktywacja, w której jest obecnie prezesem zarządu.

Przykład zastosowania

Potrzeby seniorów

Tomasz Jaworski

→ Objęcie skuteczną opieką medyczną niemal 10 mln seniorów, z których połowa mieszka poza dużymi miastami, coraz częściej jest możliwe dzięki technologii

Ponad 25 proc. obywateli naszego kraju to seniorzy, czyli osoby w wieku 60 lat i więcej. Istnieje wiele dobrych powodów, aby potrzeby tej grupy Polaków zostały dostrzeżone – od zwykłej wdzięczności za to, co zawdzięczamy seniorom, aż po ich potencjał polityczny i ekonomiczny. Gdzieś pomiędzy różnymi powodami dostrzegania seniorów znajdują się też te związane z potrzebami ochrony ich zdrowia i specyfiką tych potrzeb.

Nie dziwi więc, że seniorzy doczekali się specjalnej ustawy¹, zgodnie z którą co roku rząd opracowuje diagnozę bieżącej sytuacji oraz ich potrzeb i oczekiwań². Seniorzy są także objęci stosowną polityką społeczną³, której cele wyznaczono aż do roku 2030 w trzech głównych obszarach: bezpieczeństwa, uczestnictwa i solidarności. Aktywny udział seniorów w życiu społecznym jest też przedmiotem finansowania projektów z Europejskiego Funduszu Społecznego.

Jedną z charakterystycznych cech seniorów jest to, że potrzebują skutecznej, planowej opieki zdrowotnej. W 2019 r. prawie dwie trzecie⁴ osób w wieku 60 lat i więcej wskazało na długotrwałe problemy zdrowotne lub choroby przewlekłe (czyli takie, które trwają lub przewidywano, że będą trwały co najmniej 6 miesięcy). Według badań około połowy seniorów mieszka w niewielkich miejscowościach (na wsi lub w małych miastach).

Objęcie skuteczną opieką medyczną niemal 10 mln seniorów, z których połowa mieszka poza dużymi ośrodkami miejskimi, stanowi wyzwanie organizacyjne i finansowe. Temu wyzwaniu coraz częściej udaje się sprostać dzięki zastosowaniu technologii.

SKUTECZNE ROZWIĄZANIE OPIEKI SENIORALNEJ

Telemedycyna Polska S.A., partner Microsoft, współrealizuje z gminą miejską Częstochowa finansowany ze środków

UE projekt „W ochronie zdrowia i życia”⁵. Usługi opieki medycznej i społecznej obejmują 300 samotnych mieszkańców Częstochowy w wieku powyżej 65 lat. Przedsięwzięcie to jest kontynuacją cieszącego się dużym powodzeniem projektu „Bezpiecznie we własnym domu – usługi teleopiekuńcze”. Był on realizowany od 2017 roku przez dwa lata. Wsparcie otrzymało wtedy 200 mieszkań i mieszkańców Częstochowy. Projekt docenili nie tylko sami seniorzy, ale również niezależne gremia. Dwa lata temu został wpisany do „Złotej Księgi Dobrych Praktyk na Rzecz Społecznego Uczestnictwa Osób Starszych” Biura Rzecznika Praw Obywatelskich⁵.

Projekt obejmuje badania przesiewowe i wsparcie w zakresie najczęstszych dolegliwości typowych dla seniorów: kardiologii, diabetologii, chorób neurodegeneracyjnych (ryzyk zachorowań na chorobę Alzheimera czy Parkinsona) oraz zdalne poradnictwo psychologiczne. Urządzenia teleinformatyczne dostarczane przez firmę Telemedycyna Polska S.A. pozwalają na 24-godzinny kontakt z pracownikami zdalnej opieki, którzy pomagają w przypadku zagrożenia życia i zdrowia, ale także w razie stwierdzenia podwyższonego poziomu stresu, lęku, samotności. Profesjonalista medyczny zdalnie analizuje sytuację, wspiera podopiecznego i kontaktuje się automatycznie ze służbami ratunkowymi lub stworzoną w projekcie siecią pomocową (sąsiadami, opiekunami, rodziną podopiecznego, pielęgniarką czy NZOZ).

Podobnych projektów opieki senioralnej jest więcej – jak choćby realizowany we Wrocławiu pilotaż dla 110 seniorów. Projekt składa się z pakietu kardiologicznego, diabetologicznego oraz teleopieki senioralnej. Pacjenci kardiologiczni otrzymują przenośne urządzenie EKG (produkt medyczny), połączone z centrum telemedycznym monitorującym zapisy pochodzące z urządzenia działającego w trybie 24/7.

Badanie EKG pacjent może inicjować samodzielnie i wykonywać w nielimitowanej ilości, a także każdorazowo konsultować wynik badania z telecentrum. Z pakietu korzystają w pierwszej kolejności seniorzy z arytmia, ponieważ w ich przypadku bardzo ważna jest częstotliwość badań⁶.

Jak widać, wyjście naprzeciw potrzebom licznej grupy seniorów jest możliwe dzięki odpowiedniemu wykorzystaniu technologii, rozwiązań organizacyjnych oraz takiemu ułożeniu procesu realizacji świadczeń, by mogli współpracować ze sobą profesjonaliści medyczni różnych specjalności, logistycy i pracownicy telecentrum. Elektroniczne sensory (np. holter cardio), pracując w trybie 24/7, dostarczają ogromnych ilości danych, które mogłyby zagrozić realizacji celów projektów – gdyby nie sztuczna inteligencja.

AI: DODATKOWY, NIEZMORDOWANY PERSONEL

Wraz ze wzrostem ilości realizowanych świadczeń Telemedycyna Polska S.A. dostrzega wysoki potencjał w nowoczesnych technologiach, opartych na analizie danych medycznych z wykorzystaniem AI. Spółka stale monitoruje rynek w poszukiwaniu nowych sensorów, mogących dostarczać istotne klinicznie informacje z domu pacjenta oraz oprogramowania do analizy danych medycznych. Z uzyskiwanych przez nią informacji wynika, że kluczowym czynnikiem rozwoju telemedycyny w najbliższych latach będzie *data science*. W związku z wielką ilością napływających danych oraz ogromnymi potencjalnymi korzyściami wynikającymi z ich szybkiej oceny kluczowe jest wsparcie centrum telemedycznego za pomocą algorytmów sztucznej inteligencji.

Aktualnie z zachowaniem wszystkich procedur ostrożnościowych wdrażane są algorytmy AI umożliwiające wstępną automatyczną klasyfikację rytmu serca na podstawie zapisu EKG oraz algorytmy pozwalające na wykrycie badania nienadającego się do oceny.

Pozwala to na znacznie szybszą analizę i wykonanie opisu EKG, co przekłada się na niższy koszt końcowy telemonitoringu, a także możliwość obsłużenia w tym samym czasie znacznie większej liczby pacjentów. Dzięki temu lekarz czy ratownik będzie mógł znacznie szybciej zareagować na niepokojące wyniki badania oraz nie będzie musiał poświęcać czasu na te badania, które np. zostały zakłócone ruchem pacjenta.

„Pierwszym obszarem, który będzie w ten sposób wspierany, są prowadzone przez nas programy opieki zdrowotnej dla osób indywidualnych i podmiotów medycznych. Wsparcie zdalnej opieki algorytmami sztucznej inteligencji pozwoli nam na znaczne zwiększenie ilości osób objętych opieką przy zachowaniu odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa.

Kolejnym obszarem, gdzie planujemy zastosować wstępną, automatyczną klasyfikację rytmu serca, są organizowane przez nas akcje przesiewowe, gdzie zastosowanie takiego systemu pozwoli na screening znacznie większej ilości ludzi.” – mówi Mikołaj Basza, Doradca Zarządu ds. Nowych Technologii w Telemedycyna Polska S.A.

Firma ta przetwarza ogromne ilości danych, które planuje wykorzystywać do dalszej automatyzacji procesów opieki nad pacjentem. Wykorzystywane dane pochodzą z różnych urzędzeń i systemów, a duża część z nich jest nieustrukturyzowana. Uporządkowanie danych, strukturyzacja danych tekstowych, a także etykietowanie pozwalają na ich wykorzystanie do treningu modeli uczenia maszynowego. Ze względu na charakter i typ danych jest to skomplikowany proces, wymagający współpracy i zaangażowania analityków danych, informatyków i lekarzy specjalistów. W procesie istotną rolę odgrywają NER (*named entity recognition* – rozpoznawanie nazwanych przedmiotów) i NLP (*neuro-linguistic programming* – programowanie neuro-lingwistyczne), które pozwalają ustrukturyzować duże ilości danych tekstowych.

→ **Dzięki wykorzystaniu gotowych rozwiązań i bibliotek umożliwiających automatyzację etykietowania danych oraz współpracy z ekspertami i wykorzystaniu technologii Microsoft możliwe jest zrealizowanie koniecznych prac szybciej i taniej. Jednak zawsze ostatecznym uzasadnieniem wszystkich tych działań może być tylko jakość realizowanych świadczeń i ich dostępność cenowa – czyli *finis coronat opus*: celem jest dobro pacjenta.**

TOMASZ JAWORSKI

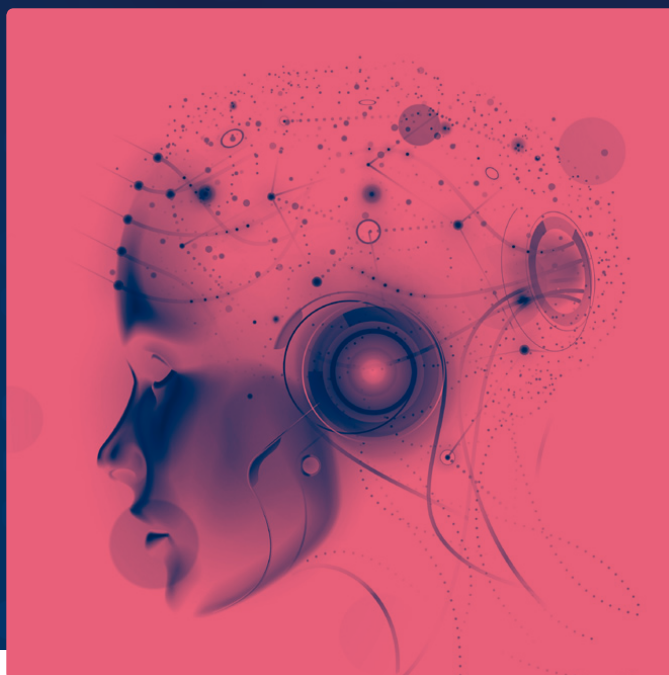
(Sylwetka autora została opisana w Rozdziale I.)

Przypisy:

1. Ustawa z dnia 11 września 2015 r. o osobach starszych (Dz. U. poz. 1705)
2. Ministerstwo Rodziny i Polityki Społecznej, Informacja o sytuacji osób starszych w Polsce, <https://das.mpips.gov.pl/source/2020/Informacja%20za%202019%20r.%2027.10.2020%20r.pdf>
3. Uchwała nr 161 Rady Ministrów z dnia 26 października 2018 r. w sprawie przyjęcia dokumentu Polityka społeczna wobec osób starszych 2030, BEZPIECZEŃSTWO – UCZESTNICTWO – SOLIDARNOŚĆ, M.P. 2018 r. poz. 1169.
4. Badanie EU-SILC 2019 r. GUS.
5. Informacja prasowa, Projekt teleopieki medycznej, Zdrowa Częstochowa, 24.09.2020, <https://zdrowaczestochowa.pl/article/projekt-teleopieki-medycznej/>
6. Dubec M., Wołodko M., *Telemedycyna – trwają zapisy do pilotażowego projektu miasta*, Wrocław.pl, 23.07.2020, <https://www.wroclaw.pl/teleopieka-i-telemedycyna-pilotazowy-projekt-we-wroclawiu>

Praktyczne wykorzystanie sztucznej inteligencji w chirurgii onkologicznej

JOANNA SZYMAN



- **Dziś w badaniach naukowych na rzecz walki z rakiem stawką jest to, by przekształcać śmiertelną chorobę nowotworową w chorobę przewlekłą**
- **AI i roboty medyczne przynoszą w ochronie zdrowia zmianę na miarę przewrotu kopernikańskiego**

Już przed wybuchem pandemii COVID-19 lista wyzwań, z którymi mierzył się sektor ochrony zdrowia krajów wysoko rozwiniętych, była długa. Wśród nich główne problemy to: starzejące się społeczeństwo, deficyt kadry medycznej, nierówności w dostępie do opieki medycznej oraz rosnące jej koszty.

Problemy te jak w soczewce skupiają się w onkologii. Rak jest podobnym zjawiskiem globalnym jak pandemia koronawirusa. Europejczycy stanowią mniej niż 10 proc. ludności świata, ale aż jedna czwarta wszystkich przypadków zachorowań na raka przypada właśnie na Europę.

Ten fakt dobitnie obrazuje, jak dużym zagrożeniem dla naszego społeczeństwa są nowotwory. Koszt wpływu chorób nowotworowych na gospodarkę w Europie szacuje się na 100 mld euro rocznie. W Polsce nowotwory stanowią drugą przyczynę zgonów, a w ciągu kolejnych lat staną się pierwszą.

Tymczasem nawet 40 proc. tych zgonów można by uniknąć, gdyby diagnozę postawiono wcześniej lub gdyby chory miał lepszy dostęp do najnowszych metod leczenia. Dlatego powstał Europejski Plan Walki z Rakiem. Będzie on realizowany

z wykorzystaniem pełnego wachlarza instrumentów finansowania Komisji Europejskiej, których wartość wyniesie 4 mld euro. Wśród narzędzi wspierających plan z walki z rakiem nie zabraknie rozwiązań wykorzystujących sztuczną inteligencję. Zaangażowanie AI przynosi w medycynie zmianę technologiczną na miarę przewrotu kopernikańskiego. Komputerowe modelowanie inteligentnych zachowań z minimalną interwencją człowieka, algorytmy sztucznej inteligencji, *deep learning*, które same tworzą kryteria klasyfikacji informacji na podstawie pozyskanych danych w procesie programowania, mogą zostać wykorzystane w każdym z czterech obszarów zdefiniowanych jako priorytety w walce z rakiem:

- **profilaktyka** chorób nowotworowych, szczepienia, stymulowanie prozdrowotnych zachowań i eliminacja czynników ryzyka;
- **wczesne wykrywanie** nowotworów;
- **diagnostyka i leczenie** poprzez działania mające na celu zapewnienie bardziej zintegrowanej i kompleksowej opieki nad chorymi na raka, inicjatywy dotyczące obrazowania raka oraz wsparcie rozwiązań w zakresie medycyny personalizowanej;

- **poprawa jakości życia** pacjentów chorych na raka i osób wyleczonych, w tym rehabilitacja oraz środki wspierające integrację społeczną i w miejscu pracy¹.

Wraz z dostarczaniem kolejnych danych systemy poprawiają precyzję i zwiększają zakres analityczny. Kluczowe argumenty na rzecz rewolucji technologicznej opartej o sztuczną inteligencję w medycynie są takie, że algorytmy pomagają szybciej podejmować decyzje i nie pozwalają wpływać emocjom na osąd czy jakość przeprowadzanych procedur. Efektem może być wyższa dokładność zabiegów i mniej błędów medycznych. Wykorzystanie sztucznej inteligencji to również lepszy dobór leków, bardziej skuteczne e-terapię, zapobieganie chorobom i redukcja kosztów leczenia².

TELEMEDYCYNĄ I MONITORING ZDROWIA WSPIERANE ALGORYTMAMI AI

Najpopularniejszą formą wykorzystania sztucznej inteligencji są rozwiązania z obszaru telemedycyny.

- **Amerykańska firma badawcza Global Market Insights przewiduje, że do 2026 roku globalny rynek telemedycyny będzie rósł o niemal 20 proc. rocznie³.**

Najbardziej popularne zastosowanie to kontakt pacjenta z placówką ochrony zdrowia wspierany przez rozwiązania z obszaru AI. W NEO Hospital wykorzystujemy konsultacje online w procesie wstępnych kwalifikacji do zabiegów onkologicznych, po wcześniejszym uzyskaniu danych diagnostycznych. Inną bardziej zaawansowaną formą takiej usługi jest zdalny monitoring stanu zdrowia pacjentów za pomocą określonych urządzeń. Przykładem może być technologia CarnaLife System, pozwalająca bezpiecznie gromadzić dane medyczne i rejestrować wyniki badań w czasie rzeczywistym w chmurze Azure oraz interpretować je przy użyciu algorytmów sztucznej inteligencji. Duże znaczenie w obszarze onkologii ma teleradiologia i możliwość zdalnego kontaktu i przetwarzania danych obrazowych.

INTELENTNA TECHNOLOGIA TRÓJWYMIAROWEJ WIZUALIZACJI OBRAZOWYCH DANYCH MEDYCZNYCH

Kolejnym rozwiązaniem wykorzystującym sztuczną inteligencję są narzędzia do planowania skomplikowanych operacji, np. system CarnaLife Holo. Z użyciem tego systemu w NEO Hospital przeprowadzamy zabiegi onkologiczne w obrębie nieresekcyjnych guzów pierwotnych wątroby. System daje możliwość przeanalizowania danych obrazowych pacjenta zarówno w klasycznym ujęciu, jak w postaci wizualizacji trójwymiarowej w różnych trybach. Dostęp do danych i wizualizacji możliwy jest na każdym etapie leczenia zarówno podczas planowania zabiegu, jak w trakcie jego wykonywania. Technologia pozwala operatorowi na dokładne zobrazowanie i zlokalizowanie zmian, co ma wpływ

na bezpieczeństwo zabiegu, możliwość przeprowadzenia go w krótkim czasie oraz wykonanie procedury celowanej.

- **NEO Hospital wykorzystuje technologię trójwymiarowej wizualizacji obrazowych danych medycznych CarnaLife Holo również przy realizacji projektu badawczo-rozwojowego w dziedzinie ginekologii onkologicznej.**

Jego celem jest opracowanie nowej metody operacyjnego leczenia nowotworów trzonu macicy i szyjki macicy. Wspomniany program badawczo-rozwojowy w dziedzinie ginekologii onkologicznej jest przedsięwzięciem unikalnym w skali Polski – to pierwsze badanie komercyjne w dziedzinie chirurgii robotycznej w naszym kraju. W ramach projektu wykonanych zostanie 200 zabiegów z wykorzystaniem systemu da Vinci. Prace badawczo-rozwojowe na rzecz walki z rakiem są bardzo potrzebne, aby przekształcić chorobę nowotworową w chorobę przewlekłą, a nie śmiertelną. Innowacje medyczne, odkrycia naukowe i nowe terapie z tej dziedziny mogą umożliwić chorym przeżycie wielu lat.

ROBOTYKA CHIRURGICZNA – UNIKALNY POTENCJAŁ DO IMPLEMENTACJI ROZWIĄZAŃ OPARTYCH NA AI

Właśnie zaangażowanie robotów chirurgicznych w obszarze chirurgii onkologicznej stanowi prawdziwy przełom, tworzący nowy potencjał do implementacji rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji. Chirurgia robotyczna już przed wybuchem pandemii była jedną z najszybciej rozwijających się gałęzi medycyny na świecie⁴. Dane za 2020 r. przedstawione w prezentacji J.P. Morgan Healthcare Conference 2021 wskazują ponad 1,2 mln operacji wykonanych z użyciem robota da Vinci. W sumie na świecie przeprowadzono już 8,5 mln takich operacji. Z kolei liczba systemów znajdujących się w użyciu klinicznym wynosi już ponad 6 tys. Godne uwagi jest to, że dynamicznie rośnie udział ośrodków wykorzystujących coraz więcej systemów w jednej lokalizacji. Globalnie takich ośrodków (stosujących od 7 wzwyż takich systemów) jest już 20 proc.

Również na polskim rynku dokonuje się rewolucja jakościowa w obszarze chirurgii, będąca udziałem naszego szpitala. W NEO Hospital na co dzień wykorzystujemy robota da Vinci zabiegach z zakresu urologii, ginekologii oraz chirurgii. W 2020 r., pomimo COVID-19, liczba zabiegów chirurgicznych wykonanych w asyście systemu robotycznego wzrosła blisko dwukrotnie w zestawieniu z analogicznym okresem sprzed roku.

Obecnie robot da Vinci jest najpopularniejszym systemem chirurgicznym na świecie. Operacje i procedury, które kiedyś wymagały dużych nacięć i tygodni rekonwalescencji, są teraz minimalnie inwazyjne, bardziej precyzyjne i pozwalają pacjentom na powrót do normalnej aktywności życiowej w znacznie krótszym czasie.

System chirurgiczny z ramionami robota

Ramiona robota wyposażone w mikroinstrumenty chirurgiczne, zaprojektowane tak, aby naśladować ruch ludzkich dłoni, nadgarstków i palców, umożliwiające chirurgowi szeroki zakres ruchów i większą precyzję.

Kamera 3D

Kamera 3D zapewniająca chirurgowi trójwymiarowy widok pola operacyjnego, w tym głębię pola, ponad 10-krotne powiększenie i wysoką rozdzielczość. System da Vinci tłumaczy każdy ruch ręki wykonywany przez chirurga w czasie rzeczywistym na obraz monitora.



Konsola

Konsola sterująca, która pozwala chirurgowi kierować narzędziami przekładając naturalne ruchy dłoni i nadgarstka chirurga na odpowiednie, precyzyjne i skalowane ruchy ramion robota.

W Centrum Chirurgii Robotycznej w NEO Hospital wykorzystujemy system robotyczny czwartej generacji da Vinci X, który pozwala usprawnić przebieg operacji.

Pierwszym elementem usprawniającym jest układ telemetryczny pozwalający na zdalną kontrolę narzędzi chirurgicznych. Chirurg pracuje w wygodnej, ergonomicznej pozycji za konsolą. Kolejnym elementem jest system wizyjny, który pozwala na przesyłanie do operatora obrazu z kamery umieszczonej na ramieniu robota. Dzięki wykorzystaniu najnowszych technologii możliwe jest zastosowanie obrazowania 3D w jakości HD oraz modulowanie głębi pola operacyjnego, co w konsekwencji daje operatorowi zdolność bardzo dokładnego rozróżniania struktur anatomicznych, na których wykonuje się operacje. Kamera endoskopowa pozwala na 10-krotne powiększenie optyczne oraz 4-krotne powiększenie cyfrowe obrazu. Robot operacyjny da Vinci X posiada cztery uniwersalne ramiona, które umożliwiają zmianę narzędzi chirurgicznych stosownie do etapu i rodzaju wykonywanych zabiegów operacyjnych. Umożliwiają one repositionowanie kamery endoskopowej w celu dokładniejszego obserwowania przestrzeni roboczej i ustalanie kąta obserwacji w zależności od potrzeb operatora⁵.

Bardzo ważnym elementem systemu jest technologia EndoWrist, która zastępuje w trakcie operacji dłoń chirurga⁶. EndoWrist zapewnia kilkakrotnie większy zakres ruchu niż jego biologiczny odpowiednik oraz ma siedem stopni swobody (zmienną pozwalającą opisać położenie obiektu), podczas gdy ludzki nadgarstek ma tylko trzy.

WZROST KONKURENCJI NA RYNKU CHIRURGII ROBOTYCZNEJ

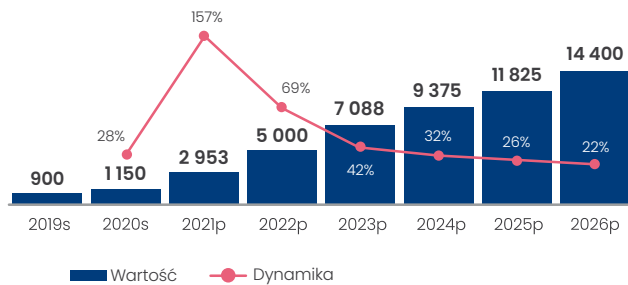
Producent robota da Vinci Intuitive Surgical przeznacza każdego roku potężne środki na badania i rozwój. W 2019 roku było to 557,3 mln dolarów, co stanowiło 32 proc. wszystkich wydatków operacyjnych tej firmy. Intuitive Surgical powołał dedykowany innowacyjnym rozwiązaniom fundusz Intuitive Ventures, który na inwestycje w narzędzia cyfrowe, precyzyjną diagnostykę, terapię ogniskową i technologie przeznaczy 100 mln dolarów.

O rynek zaczęli już jednak walczyć poważni konkurenci Intuitive Surgical, w tym Medtronic oraz konsorcjum Johnson & Johnson wraz z Google, którzy pracują nad własnymi systemami robotycznymi. Trwają również przejęcia w sektorze rozwiązań istotnych dla rozwoju rynku robotyki chirurgicznej. W lutym 2020 r. dwóch znaczących graczy ogłosiło przejęcia mniejszych spółek z sektora medycznego⁷. Lider rynku Intuitive Surgical kupił Orpheus Medical, producenta platformy do przechowywania i archiwizowania nagrań zabiegów chirurgicznych⁸. Z kolei notowana w Dublinie spółka Medtronic ogłosiła przejęcie twórcy interaktywnego symulatora chirurgicznego Touch Surgery, brytyjską spółkę True Digital Surgery. Medtronic uważa, że dzięki nowemu nabytkowi przyspieszy prace nad rozwojem robota chirurgii miękkotkankowej.

WIELKOŚĆ RYNKU CHIRURGII ROBOTYCZNEJ I PROGNOZY ROZWOJU W POLSCE

Z szacunków opartych na wynikach badania przeprowadzonego specjalnie na potrzeby raportu PMR Market Expert

i Upper Finance Group wynika, że w kraju o wielkości Polski powinno być około 40–50 robotów.



s – szacunek

p – prognoza

Rys. 1. Liczba procedur i dynamika na rynku robotyki chirurgicznej w Polsce, 2019–2026. Źródło: Upper Finance, PMR, 2021

Biorąc pod uwagę stopień rozwoju rynku, sposób finansowania opieki zdrowotnej oraz warunki makroekonomiczne, możemy spodziewać się w sumie około 40 instalacji do końca roku 2025⁹. Warto zaznaczyć, że dynamika rynku byłaby jeszcze wyższa, gdyby doszło do wprowadzenia osobnego programu finansowania tych procedur przez NFZ.

BOOM NA ROBOTYCZNĄ CHIRURGIE MAŁOINWAZYJNĄ W DOBIE KORONAWIRUSA

Pandemia pokazała dobitnie, jak ważne są wartości związane z chirurgią małoinwazyjną. Pod jej wpływem szpitale zmieniły schematy działania i zwracają uwagę na nowe wartości. Jednym z kluczowych elementów bezpieczeństwa stała się możliwość skrócenia czasu hospitalizacji pacjenta oraz zmniejszenie zaangażowania infrastruktury łóżkowej, w szczególności w odniesieniu do intensywnej terapii. W tym kontekście szczególnego znaczenia nabierają takie wartości chirurgii małoinwazyjnej jak:

- większa precyzja operacji i krótszy czas ich trwania;
- ograniczenie urazu operacyjnego (małe nacięcia, szybsze gojenie ran, mniejszy ból pooperacyjny, mniejsze zużycie krwi, a przede wszystkim mniejsze ryzyko infekcji);

- skrócenie czasu hospitalizacji, ograniczenie powikłań, szybsza rekonwalescencja pacjenta.

NOWY MODEL KSZTAŁCENIA CHIRURGÓW Z WYKORZYSTANIEM SZTUCZNEJ INTELIGENCJI

Sztuczna inteligencja może pomóc w rozwiązaniu problemów związanych z deficytem kadr medycznych między innymi z uwagi na zmianę modelu kształcenia kadr. Dzięki rozwojowi AI powstały dedykowane centra szkoleniowe, w których dzięki symulatorom (analogicznym do stosowanych m.in. w lotnictwie), możemy przeprowadzać wirtualne operacje i symulować poszczególne etapy operacji, w tym komplikacje. Taki model skraca krzywą kształcenia, ale także pozwala na standaryzację procesu i lepsze przygotowanie do zabiegów. Przekłada się to bezpośrednio na korzyści dla pacjentów.

JOANNA SZYMAN

Przypisy:

1. Pokonać raka, Oficjalna Strona Internetowa Komisji Europejskiej, Przedstawicielstwo w Polsce, 03.02.2021, https://ec.europa.eu/poland/news/210203_cancer_pl
2. Hamet P., Tremblay J., *Artificial intelligence in medicine, Metabolism*, vol. 69, pp. S36–S40, 04. 2017, doi: 10.1016/j.metabol.2017.01.011.
3. Telemedycyna – rynek który ekspressem rośnie w pandemii, Telemedyka, 28.10.2020, <https://biznestuba.pl/biznes-na-zywo/bezpieczenstwo-2/telemedycyna-rynek-ktory-ekspressem-rosnie-w-pandemii/>
4. Zawody przyszłości – raport, Forbes, Redakcja Forbes Woman, 15.04.2021, <https://www.forbes.pl/forbeswomen/kogo-szukaja-dzis-pracodawcy-raport-o-zawodach-przyszlosci/wlqrr6n>
5. Wątorok F., *Robot daVinci – doskonałe narzędzie w rękach chirurga*, Szpital na Klinach, Grupa NeoHospital, 8.03.2021, <https://www.szpitalnaklinach.pl/blog/robot-da-vinci-doskonale-narzedzie-w-rekach-chirurga/>
6. *Ibidem*.
7. *Robotyka chirurgiczna w dobie epidemii*, 17.04.2020, <https://dlaaszpitali.pl/strefa-wiedzy/robotyka-chirurgiczna-operacje-w-czasie-epidemii/>
8. *Ibidem*.
9. *Raport PMR i Upper Finance: 40 robotów da Vinci do końca 2025*, 2.11.2020, <https://healthcaremarketexperts.com/aktualnosci/rynek-trendy/raport-pmr-i-upper-finance-40-robotow-da-vinci-w-2025-r/>



Joanna Szyman – menedżer i ekspert z 17-letnim doświadczeniem w branży medycznej oraz ubezpieczeniowej. Prezes Zarządu Grupy NEO Hospital, wiceprezes zarządu w Grupie Upper Finance oraz członek Rady Naczelnej Federacji Szpitali Polskich. Pełniła funkcje w zarządach i radach nadzorczych największych spółek medycznych w Polsce, w tym w Grupie Scanmed, Polskiej Grupie Medycznej, Klinikach Kardiologii Allenort, Sport Kliniki w Żorach, Weiss Klinik, Gastromed w Lublinie. Zarządzała licznymi procesami M&A (ok. 50 procesów na rynku medycznym o łącznej wartości ponad 1 mld zł) oraz procesami integracji przejmowanych podmiotów. Ma kompetencje z zakresu budowania kapitału ludzkiego, zarządzania poprzez jakość, zarządzania ryzykiem w podmiotach medycznych oraz restrukturyzacji i optymalizacji przedsiębiorstw medycznych. Doradzała jako ekspert branżowy funduszom private equity (m.in. Bridgepoint, Innova, CEE Equity, PENTA). Za swoje osiągnięcia w dziedzinie zarządzania wielokrotnie wyróżniana i nagradzana.

Przykład zastosowania

Diagnostyka onkologiczna

Tomasz Jaworski

→ Sztuczna inteligencja jest dziś wdrażana w pięciu obszarach onkologii

Najprostsze skojarzenie dotyczące zastosowania sztucznej inteligencji w medycynie zwykle wiąże się z rozpoznawaniem obrazów. A ikoną diagnostyki obrazowej jest dla pacjentów obraz RTG, na przykład z prześwietlenia klatki piersiowej. I rzeczywiście niemal połowa patentów¹ z obszaru sztucznej inteligencji na świecie dotyczy obecnie automatycznego przetwarzania obrazów. Algorytm może wykrywać i wstępnie identyfikować obszary zmienione chorobowo, „przyglądając się” dowolnym obrazom – zdjęciom rentgenowskim, filmom z kamer endoskopowych, obrazom tomografii komputerowej, mikroskopowym obrazom preparatów histopatologicznych itp. Zastosowaniem AI do tego typu zadań zajmuje się wielu polskich partnerów, którzy dysponują rozwiązaniami na najwyższym światowym poziomie.

CEL: BY RAK PRZESTAŁ ZABIJAĆ

Nowotwory są w Polsce drugą co do częstości przyczyną zgonów. Z kolei najczęstszy wśród przyczyn onkologicznych

zgonów w naszym kraju jest rak płuc – notuje się tu niemal tyle przypadków zgonów (46 proc.), ile jest łącznie zgonów w przypadku trzech kolejnych najczęstszych nowotworów: jelita grubego, piersi i prostaty (w sumie 49 proc.). Gdyby udało się skrócić czas wykrycia choroby nowotworowej, mogłaby ona dzisiaj być chorobą przewlekłą, a nie śmiertelną².

Według autorów raportu „Innowacyjna onkologia. Potrzeby. Możliwości. System”, stworzonego pod redakcją naukową Barbary Więckowskiej i Adama Maciejczyka³, innowacją, która może znacząco przyczynić się do poprawy efektywności terapii i jakości życia pacjentów, jest lepsza organizacja polskiej onkologii. Autorzy wskazują 5 kierunków działania:

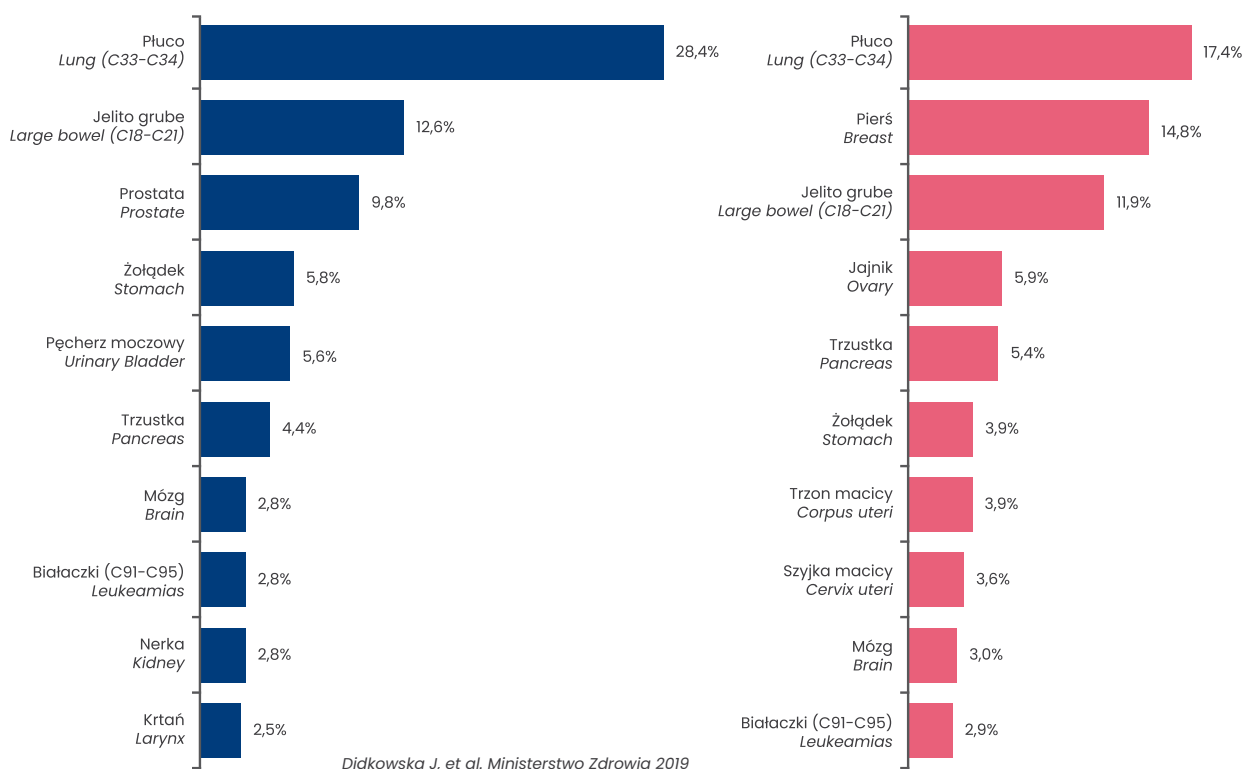
Kierunek 1 – Koordynowana Opieka Zdrowotna,

Kierunek 2 – Narodowa Strategia Onkologiczna,

Kierunek 3 – wybór koordynatora leczenia i opieki,

Kierunek 4 – wsparcie psychologiczne i społeczne,

Kierunek 5 – rehabilitacja onkologiczna,



Rys. 1. Struktura zgonów na nowotwory złośliwe w Polsce, 2017

w których sztuczna inteligencja i wykrywanie informacji w dużych zbiorach danych (*big data*) znajdują zastosowanie do koordynacji działań i podejmowania decyzji w oparciu o dane.

Aby możliwe było wczesne wykrycie każdej choroby nowotworowej, konieczne jest zredukowanie opóźnień w tzw. ścieżce pacjenta. Chodzi o takie zorganizowanie opieki nad pacjentami, aby, jak w zgranej orkiestrze, współpracowały ze sobą:

- **świadomość pacjenta** – unikanie ryzykownych zachowań (np. palenia papierosów) i stosowanie się do zaleceń lekarza,
- **badania profilaktyczne** w jak najszerszej populacji osób narażonych (np. badania genetyczne pozwalające wykryć obciążenia dziedziczne),
- **realizowana w POZ** opieka dostosowana do pacjenta (standaryzowany wywiad medyczny w oparciu o ankiety, stratyfikacja populacji i podział na grupy dyspenseryjne, indywidualne plany opieki, bilanse),
- **opieka specjalistyczna** – diagnostyka i terapia w ośrodkach specjalistycznych mających dostęp do zaawansowanych technologii.

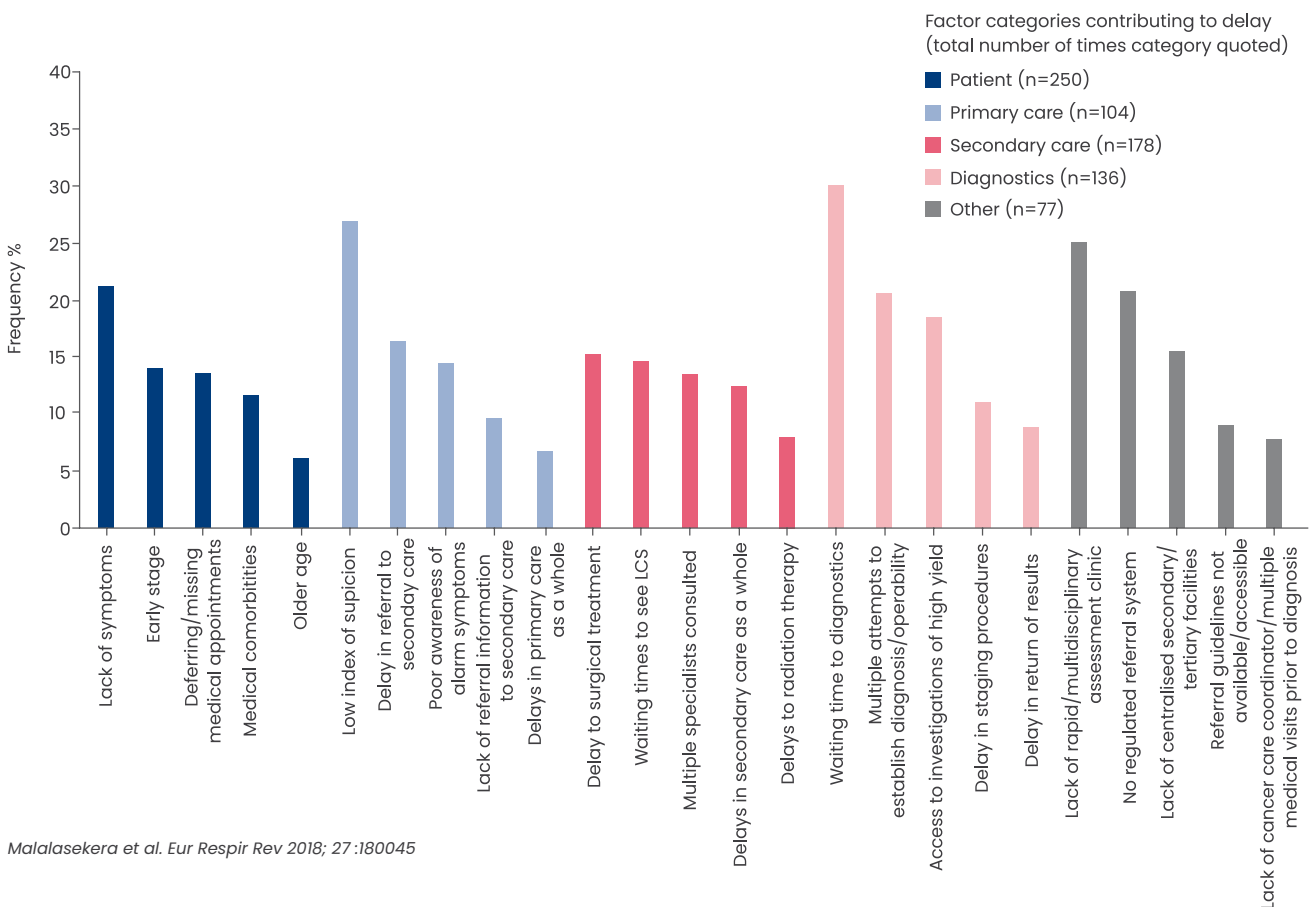
Rysunek poniżej pokazuje poszczególne kroki procesu, w których mogą nastąpić opóźnienia.

Od analizy do decyzji

Przykłady wdrożeń sztucznej inteligencji w onkologii dotyczą kilku obszarów. Jednym z nich jest wsparcie szybkiej analizy danych zebranych w ramach tzw. *symptom checkerów*. W przypadku analizy tego typu wywiadu pod kątem wskazanych wyżej 15 nowotworów, będących najczęstszymi przyczynami zgonów w Polsce, nie jest to jednak rzecz prosta.

→ **Drugim obszarem jest możliwość wsparcia diagnostyki obrazowej. W projekcie POZ+ zastosowano bazujące na ML i *deep learningu* rozwiązanie polskiej firmy Digitmed, w celu zwiększenia dostępności profilaktycznych cytologii ginekologicznych oraz podniesienia jakości oceny cytologii.**

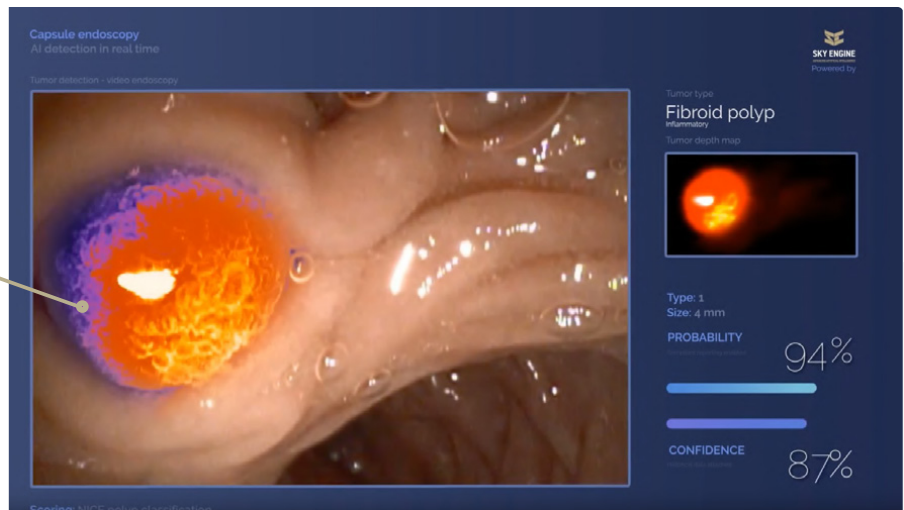
Na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu w ramach grantu Microsoft Research zrealizowano projekt OvaExpert, który pozwala na wsparcie lekarza w procesie prognozowania charakteru złośliwości guzów jajnika. Firma SkyEngine rozpoznaje zmiany chorobowe w nagraniach endoskopii kapsułkowej, co pozwala skrócić czas oceny materiału diagnostycznego przez lekarza 18-krotnie (z 3 godzin do 10 minut). Wszędzie, gdzie zastosowanie



Malalasekera et al. Eur Respir Rev 2018; 27:180045

Rys. 2. Waga czynników opóźniających diagnostykę i leczenie

Sky Engine AI cancer detection on real-time endoscopy video



Synthetic intestines

AI może poprawić szybkość diagnozy, odpowiednie narzędzia są już bardzo rozwinięte – najbardziej zaawansowanym projektem tego typu jest Microsoft InnerEye⁴.

Trzecim obszarem jest koordynacja opieki – kluczową rolę odgrywają tu koordynatorki, które kontaktując się z pacjentami dbają, by ci nie „wypadli z systemu”. Kolejne etapy diagnostyki powinny być zrealizowane jak najszybciej. Na tym etapie kluczową rolę odgrywać powinno nowoczesne *contact center* (infolinia, chatboty, voiceboty, speech-to-text, scenariusze rozmów), wyposażone w bieżący terminarz umożliwiający umawianie wizyt w odpowiednich placówkach diagnostycznych. To element niezbędny, którego brak jest bardzo widoczny w statystykach. Tymczasowym sposobem poradzenia sobie z brakiem takiego systemowego rozeznania jest karta diagnostyki i leczenia onkologicznego (potocznie zwana kartą DILO), uprawniająca do szybkiej terapii onkologicznej. Sztuczna inteligencja może pomóc wykonać kolejny krok.

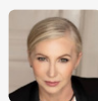
Czwartym obszarem onkologii, w którym sztuczna inteligencja znajduje zastosowanie, jest obrazowanie 3D. Wiele polskich firm udostępnia rozwiązania oparte o gogle rozszerzonej rzeczywistości Microsoft HoloLens, które umożliwiają pracę lekarzy i pacjentów z trójwymiarowym modelem organów i struktur anatomicznych. Pozwala to na planowanie zabiegów, zdalne konsylia, zaawansowane uczenie się, a nawet redukcja stresu pacjenta dzięki możliwości zaprezentowania przez lekarza planowanego zabiegu.

I piąty obszar zastosowań AI: wykorzystanie danych do podejmowania decyzji strategicznych i operacyjnych przez lekarzy – decydentów. Oprogramowanie Microsoft PowerBI wyposażone jest w bazujące na AI mechanizmy pobierania i ładowania danych ze zróżnicowanych systemów szpitalnych. AI umożliwia także tworzenie szybkich zestawień i wizualizacji danych zgodnie z zasadą, że „jeden obraz wart jest tysiąca słów”. Także w tym obszarze decyzji opartych na da-

Wykorzystanie AI w ocenie technologii medycznych (HTA)

Justyna Ożegalska-Trybalska

Sztuczna inteligencja (AI) może stanowić strategiczne narzędzie poprawy dostępu, jakości, rentowności i wydolności systemów opieki zdrowotnej, w szczególności poprzez wykorzystanie oceny technologii medycznych (*health technology assessment*, HTA). W tym multidyscyplinarnym procesie, który podsumowuje informacje na temat kwestii medycznych, społecznych, ekonomicznych i etycznych związanych z korzystaniem z danej technologii medycznej, kluczowe znaczenie ma przetwarzanie informacji potrzebnych do opracowywania bezpiecznych i skutecznych polityk zdrowotnych. Odpowiednio zaprojektowane technologie z zakresu AI mogą wspierać dokonywanie takiej oceny w systematyczny, przejrzysty, bezstronny i wiarygodny. W konsekwencji zaś mogą wspomagać decyzje dotyczące wyboru najcenniejszych technologii, w które należy inwestować z korzyścią dla opieki zdrowotnej, oraz optymalnego wykorzystania środków przeznaczonych na ten cel. Ma to kardynalne znaczenie dla funkcjonowania systemów opieki zdrowotnej na świecie, coraz mocniej obciążonych, a nawet niewydolnych na skutek walki z pandemią COVID-19. Aby skutecznie wykorzystać AI w ocenie technologii medycznych, należy stworzyć nie tylko odpowiednie warunki technologiczne dla innowacji w tej dziedzinie, ale także warunki regulacyjne i prawne, m.in. w obszarze prawa własności intelektualnej. Dyskusja i przyszłe inicjatywy ustawodawcze w tym zakresie powinny objąć kilka kwestii. Po pierwsze, rozważenie szybkiej ścieżki patentowania AI wykorzystywanych dla ochrony zdrowia lub oceny technologii medycznych. Po drugie, wprowadzenie wyjątku badawczego związanego z oceną technologii medycznych, w tych wykorzystujących AI, pozwalającego uniknąć angażowania czasu i pieniędzy na identyfikowanie patentów, które mogą zostać naruszone w związku z prowadzeniem badań i oceny technologii.



Dr hab. Justyna Ożegalska-Trybalska – pracownik naukowy Katedry Prawa Własności Intelektualnej Uniwersytetu Jagiellońskiego, ekspert z zakresu prawa własności intelektualnej, autorka krajowych i zagranicznych publikacji z tej dziedziny, koordynatorka międzynarodowych studiów „Intellectual Property and New Technologies”, realizowanych przez UJ we współpracy ze Światową Organizacją Własności Intelektualnej.

nych mieszczą się trwające obecnie prace związane z wykorzystaniem danych na temat różnorodnych czynników populacyjnych skorelowanych ze stylem życia, jakością żywności i zasobów środowiska, które pozwolą lepiej adresować programy profilaktyczne w zakresie onkologii.

TOMASZ JAWORSKI

(Sylwetka autora została opisana w Rozdziale I.)

Przypisy:

1. Por. raport World Intellectual Property Organisation, *WIPO Technology Trends 2019 – Sztuczna Inteligencja*, "Computer vision represents 49 percent of patent families related to a functional application", str. 45, <https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4386>

Sztuczna inteligencja w wyrobach medycznych

Magdalena Wicher

Sztuczna inteligencja w urządzeniach medycznych to stosunkowo nowa technologia, która stale się rozwija i stanowi duże wyzwanie dla organów regulacyjnych. Dyrektywy i rozporządzenia UE (np. MDD¹, MDR²) oraz normy zharmonizowane (np. [PN-EN 62304:2010/A1:2015-II](#)) nie mają konkretnych wytycznych dotyczących wyrobów medycznych, które zawierają AI i ML. Natomiast istniejące ogólne wymagania regulacyjne dla takich urządzeń obejmują:

- wykazanie bezpieczeństwa i działania wyrobu medycznego (zasady klasyfikacji stanowiące VIII załącznik MDR). Producent powinien pamiętać, że klasa wyrobu medycznego określa jego klasę bezpieczeństwa, a zastosowanie AI z pewnością podwyższy tę klasę;
- urządzenia muszą być walidowane pod kątem zamierzonego celu i wymagań oraz weryfikowane pod kątem specyfikacji (MDR załącznik I 17.2);
- muszą one zagwarantować, że oprogramowanie zostało opracowane w sposób zapewniający powtarzalność, niezawodność i wydajność (MDR, załącznik I 17.1);
- jeżeli ocena kliniczna jest oparta na urządzeniu porównywalnym, to wyrób ten musi być wystarczająco równoważny technicznie, co wyraźnie obejmuje ocenę algorytmów oprogramowania (MDR załącznik XIV, część A, pkt 3);
- wytwórcy muszą przeprowadzać i aktualizować analizę ryzyka zgodnie z normą PN-EN ISO 14971:2020-05 oraz z przewodnikiem ISO/TR 24971:2020;
- przed opracowaniem dokumentacji producenci muszą określić i zapewnić kompetencje zaangażowanych osób (PN-EN ISO 13485:2016-04 7.3.2 f).

Bardzo ważnym aspektem jest także bezpieczeństwo badań, których wyniki są przechowywane w chmurze. Oprócz wyżej wymienionych przepisów należy tu również zwrócić uwagę na wymagania ISO / IEC 27018: 2019 – Technika informatyczna – Techniki bezpieczeństwa – Kodeks postępowania w zakresie ochrony danych osobowych (PII) w chmurach publicznych działających jako procesory umożli-

2. Ministerstwo Zdrowia, Program profilaktyki raka płuc, red. Centrum e-zdrowia, 15.04.2019, <https://pacjent.gov.pl/programy-profilaktyczne/profilaktyka-raka-pluca>
3. Leśniewski B., *Pięć filarów, na których powinna się oprzeć organizacja polskiej onkologii*, za: TRENDY, 30.09.2020, <https://www.mzdrowie.pl/trendy/piec-filarow-na-ktorych-powinna-sie-oprzec-organizacja-polskiej-onkologii/>
4. Reporter Microsoft, *Narzędzie Microsoft AI pomaga przyspieszyć leczenie raka – a Addenbrooke będzie pierwszym szpitalem na świecie, który z niego skorzysta*, Microsoft, 9.12.2020, <https://news.microsoft.com/en-gb/2020/12/09/a-microsoft-ai-tool-is-helping-to-speed-up-cancer-treatment-and-addenbrookes-will-be-the-first-hospital-in-the-world-to-use-it/>

wiające identyfikację osoby. Dokument ten określa wytyczne oparte na ISO/IEC 27002, biorąc pod uwagę wymogi regulacyjne dotyczące ochrony danych osobowych, które mogą mieć zastosowanie w kontekście środowiska (środowisk) ryzyka związanego z bezpieczeństwem informacji dostawcy usług chmury [1],[2],[3].



Dr Magdalena Wicher – doktor nauk fizycznych, audytor i ekspert techniczny TÜV NORD Polska, pasjonatka fizyki medycznej i obrazowania diagnostycznego, które wykorzystuje podczas wdrożeń, audytów, konsultacji i szkoleń z zakresu wyrobów medycznych. Od 2020 właścicielka firmy Quality Power Magdalena Wicher (<https://www.qualitypowermwicher.com/>; <https://www.linkedin.com/in/magdalena-wicher-16544165/>)

Przypisy:

1. *Medical Device Directive* – dyrektywa dla wyrobów medycznych, Council Directive 93/42/EEC of 14 June 1993 concerning medical devices (OJ L 169, 12.7.1993, p. 1).
2. *Medical Device Regulation* – rozporządzenie w sprawie wyrobów medycznych (Regulation (EU) 2017/ 745 of the European Parliament and of the Council – of 5 April 2017 – on medical devices, amending Directive 2001/ 83/ EC, Regulation (EC) No 178/ 2002 and Regulation (EC) No 1223/ 2009 and repealing Council Directives 90/ 385/ EEC and 93/ 42/ EEC, (medical-device-regulation.eu).

Źródła:

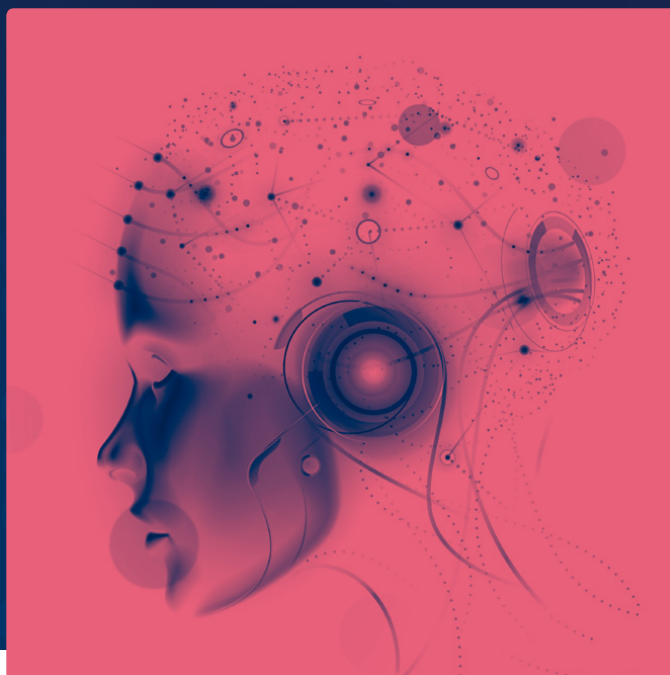
- [1] *REGULATION (EU) 2017/ 745 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL – of 5 April 2017 – on medical devices*, amending Directive 2001/ 83/ EC, Regulation (EC) No 178/ 2002 and Regulation (EC) No 1223/ 2009 and repealing Council Directives 90/ 385/ EEC and 93/ 42/ EEC (medical-device-regulation.eu) – w tekście opisano załączniki z podanego rozporządzenia.
- [2] Polski Komitet Normalizacyjny (PKN) – w tekście podano numery norm i ich edycji zgodnie z danymi podanym przez PKN: PN-EN ISO 13485: 2016-04, [PN-EN 62304:2010/A1:2015-II](#) oraz PN-EN ISO 14971:2020-05.
- [3] ISO – *International Organization for Standardization* – w tekście podano numer normy i zakres: ISO / IEC 27018: 2019 [tytuł oryginalny: *Information technology – Security techniques – Code of practice for protection of personally identifiable information (PII) in public clouds acting as PII processors*] oraz ISO/TR 24971:2020 [tytuł oryginalny: *Medical devices – Guidance on the application of ISO 14971*].



Rozdział III.

AI w obszarze badań i rozwoju – perspektywy finansowania ze środków UE i krajowych

KAMIL KLEPACKI



- Środki z funduszy strukturalnych i programów ramowych dają możliwość finansowania wielu działań z obszaru AI w sektorze ochrony zdrowia
- Polityka AI oraz perspektywa finansowa na lata 2021–2027 pozwalają oczekiwać systematycznego wzrostu wydatków na badania i rozwój również w sektorze ochrony zdrowia

INSTRUMENTY FINANSOWANIA AI ZE ŚRODKÓW UNIJNYCH I KRAJOWYCH W POLSCE

1. STRATEGIA DLA POLSKI

Uchwałą Rady Ministrów z 28 grudnia 2020 r. ustanowiono w Polsce Politykę dla rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce od roku 2020 (dalej jako „Polityka AI”)¹, która określa m.in. źródła finansowania AI. W tym zakresie w Polityce AI wskazano, że z uwagi na małą liczbę dużych przedsiębiorstw prywatnych konieczne jest zaangażowanie także sektora publicznego i największych spółek Skarbu Państwa w finansowanie projektów AI. W Polityce AI wymieniono również główne programy publiczne, wspierające rozwój innowacji, w tym także w zakresie sztucznej inteligencji². Programami takimi są np. „Doktorat wdrożeniowy II – sztuczna inteligencja” organizowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, w ramach którego wspierana jest działalność naukowa w zakresie wykorzystania sztucznej inteligencji w procesach technologicznych lub społecznych. To również programy Polskiego Funduszu Rozwoju (np. PFR Starter FIZ, PFR Otwarte In-

nowacje FIZ), obejmujące wsparcie funduszy *venture capital* inwestujących w nowoczesne technologie zarówno na wczesnym, jak i późniejszym etapie. W ramach tych programów możliwym jest także wsparcie AI w sektorze ochrony zdrowia.

Poza środkami krajowymi jednym z celów Polski jest aktywne lobbowanie uwzględnienia finansowania AI w perspektywie finansowej Unii Europejskiej na lata 2021–2027. Warto w tym miejscu wskazać, że Unia Europejska dystrybuuje środki m.in. za pośrednictwem funduszy strukturalnych i programów ramowych. Pieniądze z funduszy strukturalnych przyznawane są przez właściwe instytucje na poziomie państw członkowskich. Finansowanie z programów ramowych przyznawane jest z kolei na poziomie centralnym Unii Europejskiej. Polska w Polityce AI zobowiązała się postulować o uwzględnienie wyodrębnionych instrumentów, wspierających działania w obszarze badań oraz wdrożenia AI w ramach Funduszu Spójności, Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, Europejskiego Funduszu Społecznego Plus (fundusze strukturalne) oraz programów Cyfrowa Europa, Horyzont Europa,

łącząc Europę w obszarze telekomunikacji (programy ramowe). Polska zobligowała się również do popierania tworzenia osobnych, dedykowanych mechanizmów finansowego wsparcia rozwoju AI w krajach członkowskich³. W ramach wskazanych programów możliwe jest także finansowanie projektów związanych z rozwojem i wdrażaniem AI w sektorze ochrony zdrowia.

2. PERSPEKTYWA FINANSOWA NA LATA 2021–2027

Fundusze Europejskie na lata 2021–2027 to około 76 miliardów euro, które mają zostać przeznaczone m.in. na realizację inwestycji w innowacje, przedsiębiorczość, cyfryzację, infrastrukturę czy np. ochronę środowiska. Podobnie jak w latach 2014–2020, również w nowej perspektywie 60 proc. funduszy z polityki spójności ma trafić do programów realizowanych na poziomie krajowym. Pozostałe 40 proc. ma być przeznaczone na programy regionalne⁴. Na poziomie krajowym środki mają zostać rozdysponowane w ramach następujących programów: Fundusze Europejskie dla Nowoczesnej Gospodarki (FENG), Fundusze Europejskie na rzecz Infrastruktury, Klimatu, Środowiska (FenIKS), Fundusze Europejskie na Rozwój Cyfrowy (FERC), Fundusze Europejskie dla Polski Wschodniej (FEPW), Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego (FERS), Pomoc Techniczna dla Funduszy Europejskich oraz Fundusz na rzecz Sprawiedliwej Transformacji.

3. KRAJOWE INTELIGENTNE SPECJALIZACJE (KIS)

Ważnym aspektem przy przyznawaniu środków z funduszy unijnych jest lista określonych branż, zawartych w Krajowych Inteligentnych Specjalizacjach (KIS)⁵. Branże te są preferowane przy rozdysponowywaniu tych środków. Przygotowując wniosek o dofinansowanie w danym działaniu warto przeanalizować, czy proponowany projekt skupia się na inwestycji na badania, rozwój i innowacyjność (B+R+I), tj. w obszarach o największym potencjale innowacyjnym i konkurencyjnym kraju, bo to właśnie one są preferowane przy rozdysponowywaniu środków europejskich z poszczególnych programów.

4. FUNDUSZE EUROPEJSKIE DLA NOWOCZESNEJ GOSPODARKI (FENG) ORAZ FUNDUSZE EUROPEJSKIE NA RZECZ INFRASTRUKTURY, KLIMATU, ŚRODOWISKA (FENIKS)

FENG ma wspierać innowacyjne projekty badawczo-rozwojowe m.in. w ramach KIS „Zdrowe społeczeństwo”. Ta specjalizacja dotyczy nowych produktów i technologii, takich jak np. badania nad nowymi terapiami chorób cywilizacyjnych, oparte o innowacyjne technologie medycyny spersonalizowanej (z dziedziny genomiki, transkryptomiki, epigenomiki, proteomiki, metabolomiki). To również projekty związane z rozwojem publicznej infrastruktury badawczo-rozwojowej w obszarze zdrowia, realizowane przez organizacje badawcze, w tym uczelnie medyczne, takie jak np. projekty badawcze nad nowatorskim wykorzystaniem komórek macierzystych, progenitorowych lub innych komórek czy tkanek.

W ramach FENG wspierane mają być także start-upy, oferujące rozwiązania w obszarze ochrony zdrowia (m.in. nowoczesne technologie i produkty medyczne). Wypracowane w ten sposób innowacyjne rozwiązania w sektorze ochrony zdrowia mogą następnie zostać upowszechnione w ramach FenIKS, w projektach obejmujących np. zakup wyspecjalistycznej aparatury medycznej, która może służyć diagnostyce, lecznictwu czy też ratownictwu. Przejawia się więc tutaj komplementarność programów FENG i FenIKS m.in. w obszarze tematycznym „zdrowie”⁶.

5. Fundusze Europejskie na Rozwój Cyfrowy (FERC)

Celem programu FERC jest transformacja cyfrowa kraju. W ramach zakładanych interwencji można również odnaleźć takie, które dotyczyć mają sztucznej inteligencji w sektorze ochrony zdrowia. Wśród działań w ramach priorytetów FERC, do których zaliczono zaawansowane usługi cyfrowe, ma być zapewnienie wysokiej jakości i dostępności e-usług publicznych, w tym projekty dotyczące e-zdrowia. Interwencją mają zostać objęte rozwój i optymalizacja e-usług dla obywateli oraz wdrożenie innowacyjnych rozwiązań w ochronie zdrowia, m.in. wykorzystujących rozwiązania z zakresu sztucznej inteligencji i dużych zbiorów danych. Wsparcie będą mogły uzyskać także inwestycje, dotyczące rozwoju elektronicznej dokumentacji medycznej i telemedycyny oraz projekty zmierzające do stworzenia spójnej i efektywnej architektury informacyjnej w ochronie zdrowia⁷.

6. Pozostałe programy

Działania, poprzez które możliwe będzie wsparcie dla projektów związanych z AI w sektorze ochrony zdrowia, możemy odnaleźć również w innych programach. W ramach FERS dofinansowaniu będą mogły podlegać inicjatywy obejmujące m.in. analizę możliwości wykorzystania sztucznej inteligencji w obszarze danego badania i zapewniania dostępności cyfrowej, opracowanie narzędzi w zakresie dostępności cyfrowej, bazujących na analizie problemów i rozwiązań oraz wsparcie użytkowników oparte na AI⁸. Otrzymanie dofinansowania ze środków unijnych będzie także możliwe w ramach wskazanych wcześniej programów ramowych (np. programu „Horyzont Europa” w zakresie badań naukowych i innowacji), czy też regionalnych programów operacyjnych, które są przyjmowane przez zarządy wszystkich województw (każde województwo, podobnie jak w perspektywie finansowej na lata 2014–2020, będzie miało swój program). Również tutaj istotne znaczenie będą miały Regionalne Inteligentne Specjalizacje (każde z województw, podobnie jak to jest obecnie, będzie miało osobną listę w tym zakresie).

Poszczególne programy strukturalne będą prowadzone przez właściwe instytucje zarządzające lub wyznaczone instytucje pośredniczące w wydatkowaniu środków europejskich⁹. To m.in. na stronach tych instytucji będzie moż-

na znaleźć szczegółowe informacje dotyczące danego programu, możliwości dofinansowania projektu, niezbędne dokumenty, czy też prawa i obowiązki beneficjenta. Pozostaje mieć nadzieję, że przedstawione instrumenty finansowania AI będą cieszyły się dużym zainteresowaniem, co w konsekwencji przełoży się bezpośrednio na rozwój sektora ochrony zdrowia w tym zakresie. Za jedną z najpilniejszych systemowych potrzeb, których sfinansowanie warto rozważyć w oparciu o dostępne fundusze unijne przeznaczone na badania i rozwój, należy uznać stworzenie odpowiednio zabezpieczonych baz danych klinicznych – przykłady takich baz¹⁰ istnieją w wiodących ośrodkach na świecie. Powstanie tego typu infrastruktury umożliwi podjęcie w Polsce badań zgodnych z tzw. regułą 10X¹¹.

KAMIL KLEPACKI

Przypisy:

1. Uchwała Nr 196 Rady Ministrów z dnia 28 grudnia 2020 r. w sprawie ustanowienia „Polityki dla rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce od roku 2020”, (M. P. z 2021 r. poz. 23 z dnia 12 stycznia 2021 r.), tekst dostępny na stronie [M20210023.pdf](https://m20210023.pdf) (sejm.gov.pl).
2. *Ibidem*, s. 17–21.
3. *Ibidem*, s. 21–22.
4. Zob. informacje zawarte na stronie internetowej <https://www.funduszeuropejskie.gov.pl/strony/o-funduszach/fundusze-na-lata-2021-2027/dowiedz-sie-wiecej-o-funduszach-europejskich-na-lata-2021-2027/>
5. Zostały one określone w Programie Rozwoju Przedsiębiorstw opracowanym przez Ministerstwo Rozwoju i przyjętym przez Radę Ministrów 8 kwietnia 2021 r. (ostatnia aktualizacja pochodzi ze stycznia 2021 r. i jest dostępna na stronie internetowej https://smart.gov.pl/images/Opisy_KIS__werja_6_FINAL_01012020.pdf. Zakłada się, że w nowej perspektywie finansowej na lata 2021–2027 pozostaną one co do zasady w obecnym kształcie. Regionalne Inteligentne Specjalizacje (RIS) określone są zaś na poziomie poszczególnych województw, stanowią instrument wspomagający osiągnięcie celów Regionalnych Strategii Innowacji dla danego województwa.
6. Zob. informacje zawarte w projekcie programu Fundusze Europejskie dla Nowoczesnej Gospodarki Program na lata 2021–2027 (następca Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014–2020), <https://www.poir.gov.pl/media/99306/feng.pdf> s. 36 oraz KIS „Zdrowe Społeczeństwo” dostępne na stronie internetowej https://smart.gov.pl/images/Opisy_KIS__werja_6_FINAL_01012020.pdf.
7. Zob. informacje zawarte w projekcie do programu Fundusze Europejskie na Rozwój Cyfrowy 2021–2027 <https://www.polskacyfrowa.gov.pl/media/100367/FERC.pdf>, s. 35–36.
8. Zob. Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego. Program na lata 2021–2027 (następca Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój 2014–2020), https://www.power.gov.pl/media/101410/FERS_projekt_do_konsultacji_01_06.pdf, s. 131.
9. Zob. art. 71 ust. 3 oraz art. 72 ust. 1 Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2021/1060 z dnia 24 czerwca 2021 r. ustanawiające wspólne przepisy dotyczące Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, Europejskiego Funduszu Społecznego Plus, Funduszu Spójności, Funduszu na rzecz Sprawiedliwej Transformacji i Europejskiego Funduszu Morskiego, Rybackiego i Akwakultury, a także przepisy finansowe na potrzeby tych funduszy oraz na potrzeby Funduszu Azylu, Migracji i Integracji, Funduszu Bezpieczeństwa Wewnętrznego i Instrumentu Wsparcia Finansowego na rzecz Zarządzania Granicami i Polityki Wizowej (Dz. U. UE L 231 z 30 czerwca 2021 r., s. 159).
10. Przykładami są amerykański CDC Nhanes, brytyjski Biobank czy St. Jude Cloud.
11. Grant Cardone „Reguła 10X”, Wydawnictwo Złote Myśli, 2017.



dr Kamil Klepacki – dr nauk prawnych, adwokat, legislator. Specjalizuje się w zakresie funduszy unijnych, pomocy publicznej oraz w prawie administracyjnym. Od kwietnia 2019 r. jest dyrektorem Departamentu Prawnego w Centrum Projektów Polska Cyfrowa, gdzie kieruje wydziałem prawnym i wydziałem zamówień publicznych, zapewniając kompleksową obsługę prawną jednostki i wspierając beneficjentów w realizacji projektów unijnych. Pracę zawodową łączy z praktyką naukową: jest wykładowcą na studiach podyplomowych Biznes AI Technologia Prawo Zastosowania Sztucznej Inteligencji, prowadzonych przez Akademię Leona Koźmińskiego w Warszawie. Wcześniej wykładał m.in. na Uniwersytecie Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie. Autor publikacji naukowych w zakresie ww. specjalizacji oraz uczestnik międzynarodowych projektów badawczych.

Przykład zastosowania

Na ratunek małym pacjentom

Tomasz Jaworski

→ W nadchodzącej dekadzie wykorzystanie informacji genomycznych stanie się kluczowe dla wspomagania decyzji klinicznych i świadczenia opieki zdrowotnej

W St. Jude Children’s Research Hospital w USA realizowane są zaawansowane badania łączące sekwencjonowanie DNA z analizą danych fenotypowych (tj. obserwowanymi cechami organizmu i zdrowia pacjentów). Dzięki wykorzystaniu zaawansowanej technologii Microsoft i firmy partnerskiej DNAnexus możliwe jest poszukiwanie skutecznych

terapii i metod diagnostycznych pozwalających lekarzom walczyć z nowotworami u dzieci.

Amerykański St. Jude Children’s Research Hospital gromadzi w tym celu wysokiej jakości dane kliniczne i genetyczne dotyczące chorób dziecięcych. W chmurze danych szpitala

la znajduje się obecnie m.in. 10 tysięcy kompletnych wzorców DNA (całych genomów, eksomów i sekwencji RNA) nowotworów i innych groźnych chorób wieku dziecięcego.

Od czasu uruchomienia St. Jude Cloud w 2018 r. z platformy skorzystało ponad 50 tysięcy naukowców z całego świata, w tym ponad tysiąc zarejestrowanych użytkowników z 49 instytucji w 15 krajach. Te wysiłki badawcze już teraz mają wpływ na pomoc dzieciom z chorobami rzadkimi.

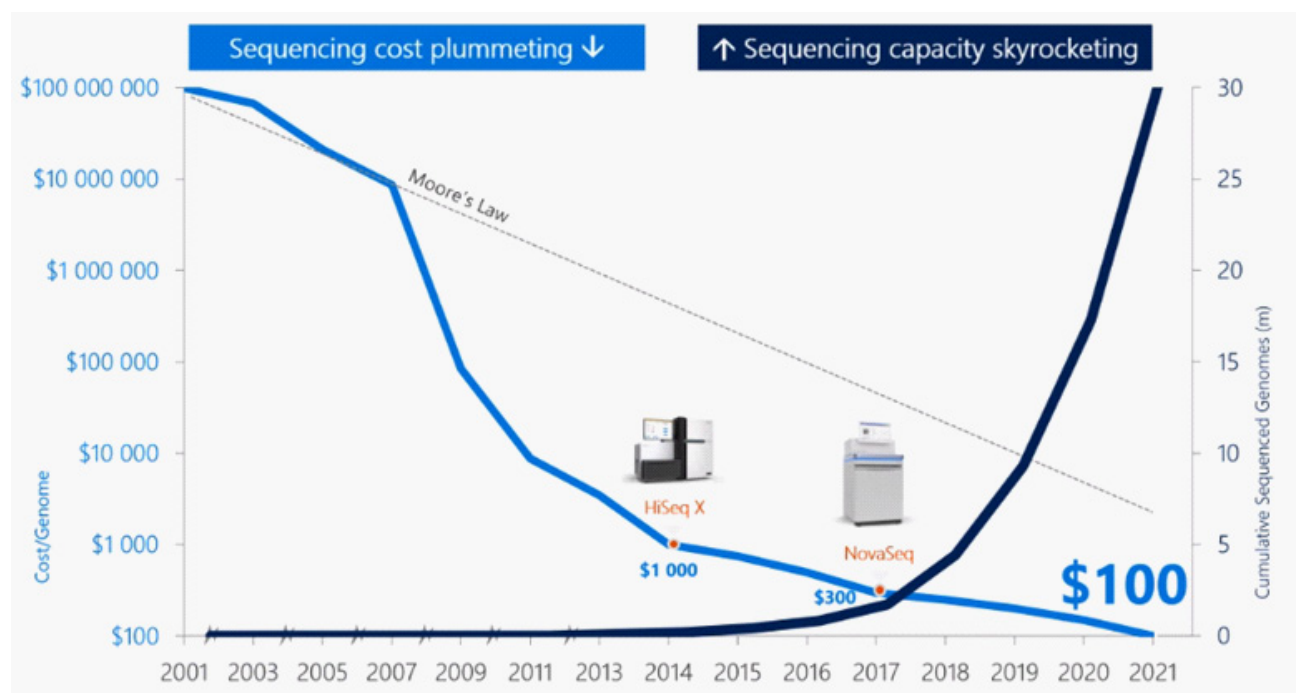
Zależność pomiędzy cechami genetycznymi organizmu (genotypem) a obserwowanymi cechami (fenotypem) jest bardzo złożona¹. Związane z nią badania są bardzo obiecujące, dlatego podejmuje się je także w ramach projektów finansowanych ze środków UE i w wiodących placówkach w Polsce – genomika jest podstawą rozwoju terapii celowanych i medycyny precyzyjnej. Postępy w technologiach sekwencjonowania DNA doprowadziły do rewolucji w badaniach opartych na genomice i pomagają w lepszym zrozumieniu biologii człowieka oraz mechanizmów rozwoju chorób. Ta poszerzona wiedza prowadzi do rozprzestrzeniania się strategii medycyny spersonalizowanej, aby zapobiegać chorobom, diagnozować je i leczyć. W nadchodzącej dekadzie tendencja będzie się nadal nasilać, ponieważ wykorzystanie informacji genomicznych stanie się kluczowym elementem wspomagania decyzji klinicznych i świadczenia opieki zdrowotnej.

SZUKANIE IGŁY W STOGU SIANA

Sekwencjonowanie genomów na poziomie populacji będzie potrzebne do rozszyfrowania ukrytego w DNA „odcisku palca” choroby, przewidywania możliwej jej progresji i odpow-

wiedzi na leczenie oraz opracowania modeli wspomagania decyzji klinicznych. Wynikiem będzie nie tylko możliwość leczenia chorób, wobec których dzisiaj jesteśmy bezradni, ale także eksplozja danych genetycznych i wzrost zapotrzebowania na moce obliczeniowe wymagane do analizy (dziesiątki eksabajtów i biliony godzin pracy w ciągu najbliższych pięciu lat²). Jeśli znalezienie skutecznej terapii będzie przysłowiowym poszukiwaniem igły w stogu siana (danych), to przetwarzanie tych ogromnych ilości danych będzie wymagało sprawności, łatwiejszego zarządzania nimi, zapewnienia bezpieczeństwa oraz dostępu do przestrzeni składowania i mocy obliczeniowej. Wszystko to musi być dostępne z ekonomicznego punktu widzenia.

Aby wesprzeć wysiłki lekarzy i przyspieszyć postęp środowisko medyczne i naukowe buduje bazy danych, takie jak St. Jude Cloud, amerykańska CDC Nhanes³ czy brytyjska Biobank⁴. Z kolei Microsoft Genomics udostępnia publicznie projekty zgodnie z podejściem oprogramowania otwartego (*open source*) w serwisie GitHub, umożliwiające wykonywanie bardzo zaawansowanych analiz⁵. Zarządzanie pracą i przepływem zadań związanych z sekwencjonowaniem DNA możliwe jest dzięki dobrze rozpoznawalnej w świecie nauki platformie Cromwell – udostępnienie tego rozwiązania na platformie Azure pozwala korzystać z niej w bardzo wygodny sposób. Jupyter Notebooks i Genomics Notebooks to gotowe do wykorzystania scenariusze wykrywania wariantów i zmian DNA, filtrowania, adnotacji oraz transformacji danych genotypowych, fenotypowych i klinicznych w multimodalne zestawy (ramki) danych wykorzystywane do budowania modeli uczenia maszynowego. Bogaty zestaw narzędzi pozwalających naukowcom skupić się na weryfikowaniu hipotez badawczych uzupełnia zestaw technologii Biocon-



ductor, wstępnie przygotowanych w postaci gotowych do wykorzystania maszyn wirtualnych.

Według badań przeprowadzonych przez partnera Microsoft, firmę DNAnexus, ilość operacji sekwencjonowania genomów rośnie jeszcze szybciej niż moc obliczeniowa komputerów (co pokazuje wykres powyżej). Autorzy badania przewidują, że na koniec 2021 roku na świecie zsekwencjonowanych będzie 30 milionów genomów. Przełoży się to na ponad 700 petabajtów danych i 1,3 mld godzin obliczeniowych komputerów.

Inicjatywa Microsoft Genomics udostępnia potrzebne narzędzia i moc obliczeniową na skalę niespotykaną – badania genetyczne i łączenie ich z danymi fenotypowymi demokratyzują się. Naukowcy i eksperci różnych specjalności medycznych w Polsce mogą dzięki temu bez przeszkód korzystać z najnowszych zdobyczy genetyki i prowadzić zaawansowane badania dla dobra polskich pacjentów, a także „wielkiej rodziny ludzkiej” zamieszkującej Błękitną Planetę.

Czy jednak uda się polskim medykom uzyskać dostęp do wysokiej jakości danych polskich pacjentów zgodnie z prawem, bezpiecznie, z gwarancją tajemnicy i anonimowości?

TOMASZ JAWORSKI

(Sylwetka autora została opisana w Rozdziale I.)

Przypisy:

1. Projekt EVOLGA, *Zależności między genotypem a fenotypem*, Koordynator CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE CNRS, Identyfikator umowy o grant: 256507, 31.08.2013, <https://cordis.europa.eu/article/id/150760-the-genotypephenotype-connection/pl>
2. Stephens Z. D., Lee S. Y., Faghri F., Campbell R. H., Zhai C., Efron M.J., Iyer R., Schatz M.C., Sinh S., Robinson G. E., *big data: Astrological or Genomic?*, PLOS Biology, 7.7.2015, <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002195>
3. *National Health and Nutrition Examination Survey*, Centres for Diseases Control and Prevention CDC/National Center for Health Statistics, <https://www.cdc.gov/nchs/nhanes/>
4. UK Biobank, <https://www.ukbiobank.ac.uk/>, UK Biobank Limited 2021, aktualizacja 03.2021.
5. Microsoft Genomics, Microsoft 2021, <https://www.microsoft.com/en-us/genomics/>

Przykład zastosowania

Roboty, choroby i komary – rozwiązania problemów 10x¹

Tomasz Jaworski

→ Celem projektu Microsoft Premonition jest skalowalne monitorowanie środowiska dla wczesnego wykrywania zagrożeń chorobami przy użyciu robotyki i genomiki

Komary to „latające strzykawki”. Masowo na rozległych terenach pobierają krew swoich żywicieli, a wraz z nią patogeny – wirusy i bakterie. Gdyby komary mogły opowiedzieć, skąd pobrały jaki zarazek, moglibyśmy zobaczyć interesującą mapę zagrożeń i być może odpowiednio wcześniej dowiedzieć się o rozprzestrzeniającej się na jakimś obszarze chorobie. Zaraz, zaraz... przecież komary mogą udzielić nam informacji! Tylko jak ją od nich pozyskać?

NASZE ZDROWIE ZALEŻY OD AKTUALNYCH DANYCH O PATOGENACH

Epidemie wpłynęły na każde społeczeństwo i każdą gospodarkę w historii ludzkości. Kluczem do ograniczenia przyszłych epidemii jest wczesne wykrywanie potencjalnych patogenów, zanim stworzą duże ogniska choroby. Daje to naukowcom czas na opracowanie nowych metod leczenia, organizacjom zdrowia publicznego na przygotowanie odpowiedzi, a jednostkom – na zminimalizowanie ryzyka zachorowania.

Jednak wykrywanie patogenów, zanim wywołają epidemię, nie jest łatwym zadaniem. Patogeny przemieszczają się w środowisku w skomplikowany sposób, trudny do monitorowania tradycyjnymi metodami. Szacuje się, że 60–75 proc.

pojawiających się chorób zakaźnych jest wywoływanych przez patogeny, które przenoszą się ze zwierząt na ludzi. Wirus Zika, wirus dengi i wirus Zachodniego Nilu przemieszczają się między ludźmi, zwierzętami i komarami w złożonych cyklach. Dysponujemy już jednak ograniczonymi technologiami i możliwościami monitorowania potencjalnych patogenów przemieszczających się w środowisku.

Celem Microsoft Premonition jest skalowalne monitorowanie środowiska w celu wczesnego wykrywania zagrożeń chorobami przy użyciu robotyki i genomiki. Nasze robotyczne inteligentne pułapki stale monitorują otoczenie pod kątem ważnych typów owadów, takich jak komary, które przenoszą patogeny i pobierają próbki krwi od innych zwierząt. W międzyczasie nasze analizy genomiczne w skali chmury próbują zidentyfikować wszystkie gatunki organizmów i wirusów w próbkach środowiskowych, aby wykryć nowe wzorce przenoszenia.

ROBOTY ŁAPIĄ KOMARY

Najliczniejszy w gatunki typ zwierząt na świecie to stawonogi (np. owady, pajęczaki, skorupiaki). Są niezbędne dla naszych ekosystemów (jako zapylacze upraw, pożywienie dla większych zwierząt, drapieżniki dla mniejszych stawonogów

i zwierzęta usuwające odpady). Jednak stawonogi takie jak komary są jednymi z najważniejszych przekazywaczy patogenów wywołujących choroby u ludzi. Monitorowanie populacji komarów i przewidywanie ich rozmieszczenia jest niezbędne do przewidywania przyszłych ognisk choroby.

Zrobotyzowane inteligentne pułapki Microsoft Premonition zostały zaprojektowane w celu adaptacyjnego wabienia, identyfikacji i selektywnego chwytania docelowych gatunków komarów w środowisku. Uważamy, że robotyka ma potencjał, aby radykalnie skalować monitorowanie tych głównych nosicieli chorób. Ponieważ znamy tysiące gatunków komarów, identyfikujemy je wykorzystując sztuczną inteligencję, opracowujemy nowatorskie projekty robotycznych pułapek i projektujemy nowe badania realizowane na wielu gatunkach komarów.

PRACA Z PARTNERAMI

Opracowywanie skalowalnych rozwiązań monitorujących dla bogatej rzeczywistości i natury wokół nas to interdyscyplinarny wysiłek wymagający zróżnicowanego zestawu partnerów. Zespół projektu badawczego Microsoft Premonition współpracuje z partnerami akademickimi, rządowymi i przemysłowymi, którzy pomagają wdrażać i oceniać nasze technologie w złożonych ekosystemach. Skoncentrował on działania terenowe na odpowiedziach na kilka powiązanych pytań naukowych:

- 1) Ile rodzajów stawonogów odwiedzi robota i jak trudno mu będzie je sklasyfikować?
- 2) Czy niezależnie zebrane dane można wykorzystać do tworzenia lepszych prognoz ryzyka chorób i czy prognozy te mogą być wykorzystane do lepszej ochrony zdrowia ludzi?
- 3) Jak niezawodnie można odzyskać drobnoustroje, wirusy i inne DNA środowiskowe z próbek pobranych za pomocą robotów w środowiskach miejskich i wiejskich?

We współpracy z Harris County Public Health (lokalny wydział zdrowia w amerykańskim hrabstwie Harris) zespół projektu Microsoft Premonition przetestował technologie w Houston w Teksasie podczas szczytu zagrożenia transmisją Zika w 2016 r. Udowodnił, że pracujące w terenie roboty można wytrenować do identyfikowania i selektywnego chwytania komarów istotnych z medycznego punktu widzenia z dużą dokładnością (> 90 proc.). Roboty Microsoft Premonition były również w stanie utrwalić cyfrowo zapis zachowań komarów w obrazach o wysokiej rozdzielczości, co pozwoliło nam lepiej zrozumieć, w jaki sposób poruszają się one w środowisku. Analizy genomiczne projektu umożliwiły wykrycie mikroorganizmów i wirusów w okazach komarów oraz zidentyfikowanie rodzajów zwierząt, którymi się żywiły. Od tego czasu w ramach Microsoft Premonition zbadano różnorodne siedliska, od południowego krańca Florydy po odległe lasy Tanzanii. Po drodze nadal zespół badaczy systematycznie odkrywał, w jaki sposób zastosowane technologie i zbiory da-

nych mogą pomóc różnorodnym partnerom projektu w ich podstawowych misjach związanych ze zdrowiem ludzkim.

WYKRYWANIE POTENCJALNYCH PATOGENÓW ZA POMOCĄ SEKWENCJONOWANIA DNA

Monitorowanie środowiska pod kątem patogenów jest trudne, ponieważ wykrywanie mikroorganizmów i wirusów zwykle wymaga ukierunkowanych testów chemicznych (lub szeregu testów chemicznych). Może być niejasne, które testy należy uruchomić na próbce, a testy ukierunkowane, dla danego przypadku, mogą nie istnieć. Na szczęście sekwencjonowanie DNA otwiera drzwi do nowych podejść o szerokim spektrum. Konwertując materiał genetyczny próbki środowiskowej na dane cyfrowe możemy zeskanować próbkę obliczeniowo przy użyciu bilionów sygnatur genetycznych, aby rozpoznać wirusy, bakterie, grzyby i życie wyższego rzędu w próbce.

Microsoft Premonition szacuje organizmy i wirusy w zsekwenconowanej próbce środowiskowej (metagenomie²) przy użyciu uczenia maszynowego w chmurze i dużej bazy danych genomów referencyjnych obejmujących drzewo życia. Technika ta pozwala na testowanie wszystkich znanych patogenów zsekwenconowanych, a także na wykrywanie pokrewnych wirusów i bakterii. Jako że skanujemy również pod kątem śladów DNA organizmów wyżej zorganizowanych, możemy szukać złożonych powiązań między potencjalnymi patogenami a ich potencjalnymi gospodarzami. Na przykład potencjalnie możliwe będzie wykrycie nowego, nieznanego wirusa, który zmutował lub przekroczył barierę gatunkową – np. jeśli ślad DNA takiego wirusa pojawi się w próbkach metagenomu komarów, które jednocześnie będą miały ślady DNA dowodzące, że ich żywicielem były zarówno ptaki, jak i ludzie. Będzie to sygnał, że wirus z organizmu ptaków za pośrednictwem komarów przeniół się na ludzi. Możliwe będzie dalsze badanie ewentualnej szkodliwości takiego wirusa dla ludzi i podjęcie z wyprzedzeniem skutecznego przeciwdziałania dzięki dostępnym dziś metodom medycyny.

TOMASZ JAWORSKI

(Sylwetka autora została opisana w Rozdziale I.)

Przypisy:

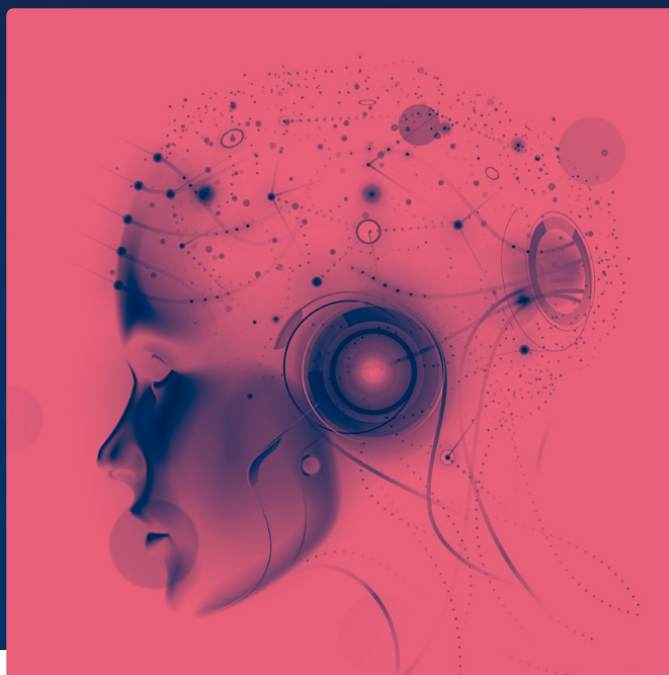
1. W idei rozwiązywania tzw. "problemów 10x" chodzi o to, aby zdystansować się od obecnego sposobu myślenia o rozwiązywaniu problemów i podchodzić do rozwiązania ustawiając go w skali o rząd wielkości większej. Na przykład zamiast przeprowadzać testy pojedynczych osób na obecność pojedynczego patogenu pomyślimy, jak przebadать wszystkich ludzi na obecność wszystkich patogenów. Nie chodzi o to, aby szukać rozwiązania bardziej skomplikowanego niż to, które faktycznie jest potrzebne, ale by po prostu zbadać rozwiązania z perspektywy 10X. Podejście to zostało zaproponowane, omówione i poparte przykładami w książce "The TenX Rule" Cardone'a Granta.
2. Nazwę metagenom po raz pierwszy zastosowała Jo Handelsman (Handelsman, J.; Rondon, M. R.; Brady, S. F.; Clardy, J.; Goodman, R. M. (1998), *Molecular biological access to the chemistry of unknown soil microbes: A new frontier for natural products*, Chemistry & Biology 5 (10): R245.). Metagenom to pula DNA organizmów zamieszkujących dane środowisko (np. metagenom z próbki gleby).



Rozdział IV.

Strategiczne kierunki rozwoju sztucznej inteligencji w sektorze ochrony zdrowia w UE

ROMAN BIEDA,
MIROSŁAW WRÓBLEWSKI



- Unia Europejska przygotowała obszerny pakiet regulacyjny oraz programowy, zawierający plany wielu działań dla mechanizmów AI w sektorze ochrony zdrowia
- Należy oczekiwać, że słuszne założenia dotyczące ochrony zdrowia w polskiej strategii na rzecz AI zostaną przekute w konkretne działania dla dobra pacjenta i całego sektora

SZTUCZNA INTELIGENCJA DLA EUROPY

W kwietniu 2018 r. Komisja Europejska opublikowała komunikat pod tytułem „Sztuczna inteligencja dla Europy”¹. W dokumencie tym omówiono szanse i wyzwania związane z rozwojem AI w Unii Europejskiej, kładąc szczególny nacisk na badania i rozwój w tym zakresie, tworzenie sieci badawczych i centrów doskonałości, finansowanie inwestycji i innowacji na rzecz AI, w tym w obszarze systemów ochrony zdrowia państw członkowskich. Podkreślając kluczowe znaczenie zapewnienia odpowiedniej jakości i ilości danych dla skutecznego funkcjonowania AI, Komisja zapowiedziała podjęcie szeregu działań zarówno regulacyjnych, jak inwestycyjnych na rzecz poszerzenia europejskiej przestrzeni danych. W odniesieniu do sztucznej inteligencji w sektorze ochrony zdrowia na szczególną uwagę zasługuje europejska strategia danych wraz z projektem aktu w sprawie zarządzania danymi.

SKOORDYNOWANY PLAN I BIAŁA KSIĘGA W SPRAWIE SZTUCZNEJ INTELIGENCJI

Realizując strategię na rzecz sztucznej inteligencji przyjętą w kwietniu 2018 r., w grudniu 2018 r. Komisja przedstawiła opracowany wspólnie z państwami członkowskimi UE skoordynowany plan wspierania rozwoju i stosowania sztucznej inteligencji w Europie². Zaproponowano w nim około 70 wspólnych działań na rzecz ściślejszej i skuteczniejszej współpracy między państwami członkowskimi a Komisją w kluczowych obszarach dotyczących AI.

W strategicznym dokumencie „Biała Księga na rzecz AI”, przyjętym 19 lutego 2020 r., Komisja Europejska wskazała na priorytetowe kierunki działań w Unii. Wśród sześciu działań o charakterze strategicznym znalazły się takie, jak stworzenia centrów badawczych i centrów doskonałości AI oraz sieci wiodących uniwersytetów w ramach programu „Cyfrowa Europa”, utworzenie co najmniej jednego krajowego ośrodka innowacji cyfrowych czy promocja partnerstwa publiczno-prywatnego w obszarze AI, danych i robotyki. Choć praktycznie każde z tych działań przyczynia się do rozwoju AI w sektorze ochrony zdrowia, w działaniu nr 6 priorytetem uczyniono opiekę zdrowotną. Warto zauważyć, że w „Białej

Księdze” konieczność stworzenia nowych ram prawnych dla funkcjonowania AI w Unii Europejskiej bądź też aktualizację już obowiązujących regulacji prawnych.

EUROPEJSKA STRATEGIA W ZAKRESIE DANYCH

Sztuczna inteligencja nie ma szans na rozwój bez przetwarzania ogromnej liczby danych (*big data*). W sferze ochrony zdrowia konieczne jest więc wykorzystanie danych zdrowotnych na wielką skalę, aby osiągnąć postęp w prewencji chorób, diagnostyce i leczeniu. Dlatego też świadoma istniejących barier w dostępie do danych i ich przepływie Komisja Europejska 19 lutego 2020 r. ogłosiła „Europejską strategię w zakresie danych”³. Komisja podniosła, że Unia Europejska będzie w stanie wykorzystać potencjał cyfrowych innowacji tylko wówczas, gdy zapewniony zostanie dostęp badaczy i przedsiębiorstw do danych. Kwestia ta ma szczególne znaczenie dla budowy mechanizmów AI mających zastosowanie w ochronie zdrowia, w którym to obszarze partykularyzm rozwiązań krajowych uniemożliwia pacjentom m.in. dostęp do swoich danych medycznych (dokumentacji medycznej) w każdym państwie członkowskim, a przez to ogranicza m.in. potencjał sztucznej inteligencji. W europejskiej strategii danych Komisja zapowiedziała stworzenie – jako jednego z dziewięciu priorytetów – wspólnej europejskiej przestrzeni danych dotyczących zdrowia. KE uznała bowiem, że taka przestrzeń jest niezbędna do osiągnięcia realnych postępów w zapobieganiu chorobom, ich wykrywaniu i leczeniu, a także do podejmowania świadomych, opartych na dowodach, decyzji z myślą o poprawie dostępności, skuteczności i stabilności systemów opieki zdrowotnej. W tym celu Komisja zadeklarowała opracowanie środków ustawodawczych i innych na potrzeby europejskiej przestrzeni danych dotyczących zdrowia, budowę infrastruktury danych oraz narzędzi obliczeniowych na potrzeby wspomnianej przestrzeni danych. Uznano także, że konieczne jest rozwinięcie transgranicznej wymiany danych w UE dotyczących zdrowia oraz połączenie i wykorzystanie za pośrednictwem bezpiecznych repozytoriów informacji dotyczących zdrowia, takich jak elektroniczne karty zdrowia, informacje genomiczne oraz cyfrowe obrazy medyczne.

Komisja planuje umożliwić do 2022 r. wymianę elektronicznych kartotek pacjentów i recept elektronicznych między 22 państwami członkowskimi uczestniczącymi w europejskiej infrastrukturze usług cyfrowych w dziedzinie e-zdrowia (eHDSI), rozpoczęcie transgranicznej elektronicznej wymiany obrazów medycznych, których baza tworzona jest od 2020 r. przy wsparciu programu Horizon (zwłaszcza baza obrazów dotyczących wykrywania i leczenia nowotworów), wyników badań laboratoryjnych i raportów na zakończenie opieki.

Komisja Europejska będzie także wspierać projekty w dziedzinie dużych zbiorów danych. Działania te będą wspierać profilaktykę, diagnostykę i leczenie (w szczególności w odniesieniu do chorób nowotworowych, chorób rzadkich oraz

chorób powszechnych i złożonych), badania naukowe i innowacje oraz kształtowanie polityki i działania regulacyjne w państwach członkowskich UE w obszarze zdrowia publicznego. Mając na względzie rewelacyjne wyniki diagnostyczne, jeśli chodzi np. o wykrywanie raka skóry⁴, postęp w tej dziedzinie może zrewolucjonizować co najmniej niektóre dziedziny medycyny.

AKT W SPRAWIE DANYCH

25 listopada 2020 r. Komisja Europejska przedstawiła projekt aktu w sprawie zarządzania danymi⁵ jako element realizacji europejskiej strategii danych. W tym wniosku ustawodawczym Komisja podkreśliła, że jednolity rynek danych powinien zapewniać możliwość dostępu do danych pochodzących z sektora publicznego, od przedsiębiorstw i od obywateli oraz możliwość korzystania z tych danych w sposób jak najbardziej skuteczny i odpowiedzialny – przy jednoczesnym zachowaniu przez przedsiębiorstwa i obywateli kontroli nad generowanymi przez nich danymi i zabezpieczeniu inwestycji związanych z ich gromadzeniem. Jednocześnie projekt aktu podkreśla konieczność poszanowania w realizacji tych celów praw podstawowych, w tym w szczególności prawa do prywatności i ochrony danych osobowych. Zapewnienie takie jest szczególnie potrzebne w zakresie dotyczącym danych medycznych (danych o stanie zdrowia). W odniesieniu do przetwarzania danych osobowych przez mechanizmy AI są bowiem podnoszone różnego rodzaju wątpliwości, np. dotyczące zgodności z zasadami minimalizacji czy ograniczenia celu zawartymi w RODO⁶. W projekcie aktu określono wykorzystywanie danych udostępnionych dobrowolnie do celów interesu ogólnego przez osoby, których dane dotyczą, na podstawie ich zgody lub – w przypadku danych nieosobowych – udostępnionych przez osoby prawne. Za cele interesu ogólnego uznano w szczególności wsparcie badań naukowych, obejmujące m.in. rozwój technologiczny, badania podstawowe, badania stosowane oraz badania finansowane ze środków prywatnych. W tym kontekście celem rozporządzenia jest przyczynienie się do powstania puli danych udostępnianych na podstawie altruistycznego podejścia do danych, mających wielkość wystarczającą do umożliwienia analizy danych i uczenia się maszyn, w tym również w kontekście transgranicznym w Unii Europejskiej.

AKT W SPRAWIE SZTUCZNEJ INTELIGENCJI

W kwietniu 2021 r. Komisja Europejska przedstawiła projekt rozporządzenia – Aktu w sprawie sztucznej inteligencji⁷. W ten sposób Unia Europejska przechodzi od fazy planowania działań względem sztucznej inteligencji do etapu regulacji prawnej, pokazując, że priorytetowo i serio traktuje ten dynamicznie rozwijający się sektor aktywności. Jednym z najważniejszych obszarów tej aktywności jest sektor ochrony zdrowia, w którym wykorzystanie AI jest oceniane jako mające ogromny potencjał zarówno dla całego sys-

temu opieki zdrowotnej, jak przede wszystkim dla samych pacjentów (np. w diagnostyce lub medycynie spersonalizowanej, czy też w zwalczaniu epidemii). Warto przy tym podkreślić, że projektodawca postrzega sztuczną inteligencję w obszarze ochrony zdrowia zarówno jako ogromną szansę na poprawę skuteczności medycyny (np. w szybkim zwalczaniu epidemii⁸), jak i dostrzega zagrożenia, które jej stosowanie może powodować (AI wysokiego ryzyka⁹). Z tego powodu działania regulacyjne na poziomie unijnym wydają się niezbędne, szczególnie zważywszy na dynamicznie rosnącą liczbę zastosowań i wpływu AI na sektor medyczny¹⁰. Konieczne jest bowiem budowanie zaufania do sztucznej inteligencji na różnych poziomach¹¹.

SEKTOR OCHRONY ZDROWIA W STRATEGII AI DLA POLSKI

W styczniu 2021 r. Rada Ministrów przyjęła „Politykę dla rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce od roku 2020”¹², niekiedy nazywaną potocznie „strategią AI”. W generalnym ujęciu dokument ten opisuje cele oraz działania, jakie powinny zostać zrealizowane w celu rozwoju polskiego społeczeństwa, gospodarki i nauki w obszarze sztucznej inteligencji. Polityka AI wyodrębnia następujące obszary:

- AI i społeczeństwo,
- AI i innowacyjne firmy,
- AI i nauka,
- AI i edukacja,
- AI i współpraca międzynarodowa,
- AI i sektor publiczny.

W ramach każdego z tych obszarów wyznaczone zostały cele oraz narzędzia służące ich realizacji, z podziałem na perspektywę krótkoterminową, średnioterminową oraz długoterminową. W każdym z obszarów wskazano również na strategicznych partnerów zapewniających realizację wyznaczonych celów.

Podobnie jak w dokumentach przyjmowanych na poziomie UE, w polityce AI dla Polski zwraca się uwagę na istotność wykorzystania sztucznej inteligencji w sektorze medycznym. Został on wymieniony pośród sektorów priorytetowych, w których rozwój i wdrożenie sztucznej inteligencji przyniesie największe korzyści dla całej polskiej gospodarki¹³. Zwraca się uwagę, że wykorzystanie sztucznej inteligencji może się przyczynić do zapewnienia wysokiej jakości usług medycznych, zoptymalizowania czasu, kosztów i skuteczności leczenia¹⁴. Podkreśla się również możliwości wykorzystania sztucznej inteligencji w przewidywaniu rozwoju epidemii oraz wykrywaniu nadużyć¹⁵.

Uwzględniając rolę danych dla rozwoju sztucznej inteligencji, w polityce AI zwraca się szczególną uwagę na różne aspekty zapewnienia dostępu do danych oraz ich wymiany. W tym zakresie jako jedno z narzędzi służących eliminacji barier legislacyjnych dla nowych przedsiębiorców zajmu-

jących się sztuczną inteligencją przewiduje się aktualizację „prawa w zakresie zapewnienia dostępu do danych, w tym danych wrażliwych (np. danych medycznych) oraz warunków funkcjonowania zaufanych przestrzeni do dzielenia się tymi danymi z uwzględnieniem ochrony prywatności i danych osobowych”¹⁶.

Z kolei w ramach obszaru AI i sektor publiczny jako jeden z celów krótkoterminowych (tj. realizowanych do 2023 r.) wskazuje się „wykorzystanie potencjału badawczego danych medycznych w celu poprawy zdrowia obywateli, z uwzględnieniem ochrony prywatności i danych osobowych przy wykorzystaniu technik tej ochrony (np. anonimizacji lub pseudonimizacji) albo bez wykorzystania tych technik w przypadkach wyraźnej zgody osoby uprawnionej”¹⁷. Realizacja powyższego celu odbywać ma się przy wykorzystaniu takich narzędzi jak:

- pilotażowe programy składowania zanonimizowanych danych medycznych;
- wsparcie rozwoju narzędzi i rozwiązań wykorzystujących dane medyczne, w tym szczególnie rozwiązań z zakresu telemedycyny i e-zdrowia;
- analiza danych dotyczących zdarzeń medycznych (usług medycznych), która może przyczynić się do skuteczności działań profilaktycznych;
- działania optymalizacyjne w sektorze ochrony zdrowia na podstawie analizy danych, takich jak m.in. mapy potrzeb, podaź i popyt na świadczenia, wykorzystanie zasobów, dane z usług cyfrowych;
- udostępnianie danych medycznych służące tworzeniu bardziej skutecznych leków i metod leczenia¹⁸.

Szereg innych celów oraz narzędzi opisanych w poszczególnych obszarach wykorzystania AI dotyczy również sektora medycznego i będzie mieć wpływ na rozwój czy wykorzystanie sztucznej inteligencji w medycynie i szeroko rozumianej opiece zdrowotnej. Przykładowo, zwróćmy uwagę na działania proponowane w zakresie zapewnienia rozwoju i wykorzystania AI w sposób zgodny z zasadami etyki, zapewnienia bezpieczeństwa i zbudowania zaufania społecznego do rozwiązań AI, ułatwienia i zachęty dla firm tworzących systemy AI czy rozwoju edukacji w zakresie AI.

W polityce AI podkreśla się, że wykorzystanie przez polskie społeczeństwo i gospodarkę szans związanych ze sztuczną inteligencją wymaga skoordynowania działań wszystkich uczestników polskiego ekosystemu AI¹⁹. Wskazuje się przy tym, iż konieczne jest współdziałanie między innymi w zakresie wspierania projektów dotyczących e-zdrowia, a szczególnie projektów związanych z opieką nad osobami starszymi, przeciwdziałaniem epidemii i zwalczaniem jej skutków²⁰.

Należy podkreślić, że polityka AI ma stanowić żywy dokument, który będzie podlegał przeglądowi i dostosowaniu do zmian w sektorze nowych technologii, w szczególności z uwagi na rozwój sztucznej inteligencji. Rekomendować nale-

ży również przyjęcie odrębnej, szczegółowej strategii dotyczącej wykorzystania sztucznej inteligencji w sektorze zdrowia.

Należy podkreślić, że polityka AI ma stanowić żywy dokument, który będzie podlegał przeglądowi i dostosowaniu do zmian w sektorze nowych technologii, w szczególności z uwagi na rozwój sztucznej inteligencji. Rekomendować należy również przyjęcie odrębnej, szczegółowej strategii dotyczącej wykorzystania sztucznej inteligencji w sektorze zdrowia.

**ROMAN BIEDA,
MIROSŁAW WRÓBLEWSKI**

Przypisy:

1. COM(2018) 237 final.
2. *Skoordynowany plan w sprawie sztucznej inteligencji*, COM(2018) 795 final.
3. COM(2020) 66 final.
4. Zob. <https://www.theguardian.com/society/2018/may/29/skin-cancer-computer-learns-to-detect-skin-cancer-more-accurately-than-a-doctor>
5. Wniosek Komisji Europejskiej – Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie europejskiego zarządzania danymi (akt w sprawie zarządzania danymi) COM(2020) 767 final.
6. Zob. *Assessment of the EU Member States' rules on health data in the light of GDPR*, Specific Contract No SC 2019 70 02 in the context of the Single Framework Contract Chafea/2018/Health/03, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2021.
7. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council laying down harmonized rules on Artificial Intelligence (Artificial Intelligence Act) and amending certain Union legislative acts, Brussels 21.4.2021, COM(2021) 206 final.
8. Zob. *AI and control of Covid-19 coronavirus*, opracowanie Rady Europy, dostępne online: <https://www.coe.int/en/web/artificial-intelligence/ai-and-control-of-covid-19-coronavirus>
9. Zob. tytuł III projektu rozporządzenia COM(2021) 206 final.
10. Zob. E. Gómez-González, E. Gómez, *Artificial Intelligence in Medicine and Healthcare: applications, availability and societal impact*, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020.
11. COM(2018) 237 final.
12. Uchwała Nr 196 Rady Ministrów z dnia 28 grudnia 2020 r. w sprawie ustanowienia „Polityki dla rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce od roku 2020”, tekst dostępny na stronie [M20210023.pdf](https://sejm.gov.pl/M20210023.pdf) (sejm.gov.pl).
13. Polityka dla rozwoju... j.w., s. 14.
14. Polityka dla rozwoju... j.w., s. 33.
15. Polityka dla rozwoju... j.w., s. 33.
16. Polityka dla rozwoju... j.w., s. 29.
17. Polityka dla rozwoju... j.w., s. 60.
18. Polityka dla rozwoju... j.w., s. 60.
19. Polityka dla rozwoju... j.w., s. 63.
20. Polityka dla rozwoju... j.w., s. 64.



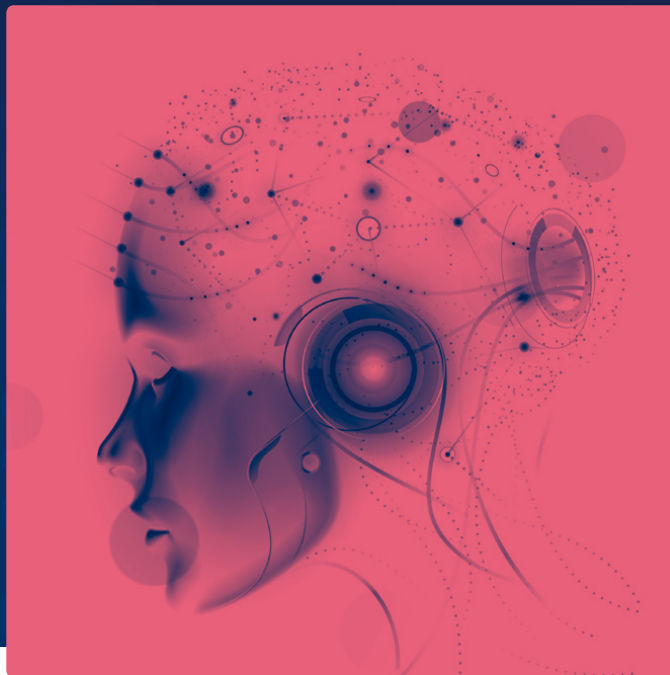
Roman Bieda – radca prawny i rzecznik patentowy. Od prawie 20 lat specjalizuje się w szeroko rozumianym prawie nowych technologii. Kieruje praktyką prawnych aspektów sztucznej inteligencji („AI Desk”) w Kancelarii Radców Prawnych Maruta Wachta. Współpracownik Centrum Prawnych Problemów Techniki i Nowych Technologii Uniwersytetu Opolskiego. Członek Wirtualnej Katedry Etyki i Prawa. Wchodził w skład Rady ds. Cyfryzacji drugiej kadencji, powołanej przez Ministra Cyfryzacji. Przewodniczący podgrupy ds. prawnych aspektów AI w zespole eksperckim Ministerstwa Cyfryzacji ds. programu działań w zakresie AI. W ramach prac zespołu brał udział w przygotowaniu „Założeń do strategii AI dla Polski”. Aktualnie kieruje pracami grupy roboczej ds. etycznych i prawnych aspektów sztucznej inteligencji powołanej przy KPRM. Członek komitetu sterującego Szczytu Cyfrowego Internet Governance Forum 2021 (ONZ), członek Sektorowej Rady ds. Kompetencji Telekomunikacja i Cyberbezpieczeństwo, członek Komisji ds. Nowych Technologii w OIRP Kraków. Pracę zawodową łączy z praktyką naukową. Jest opiekunem merytorycznym oraz wykładowcą na studiach podyplomowych Prawo Nowoczesnych Technologii oraz studiów podyplomowych Biznes.AI Technologia Prawo Zastosowania Sztucznej Inteligencji, prowadzonych przez Akademię Leona Koźmińskiego. Jest również współtwórcą programu i wykładowcą na studiach podyplomowych Zarządzanie Cyberbezpieczeństwem prowadzonym przez ALK. Pełni funkcję kierownika studiów podyplomowych Inspektor Ochrony Danych prowadzonych przez Górnośląską Wyższą Szkołę Handlową w Katowicach.



Mirosław Wróblewski – radca prawny. Specjalizuje się w ochronie praw podstawowych, w szczególności prawa do prywatności i danych osobowych, a bioetyce, prawie UE oraz niektórych aspektach prawa nowoczesnych technologii. Członek założyciel Rady Naukowej Wirtualnej Katedry Prawa i Etyki. Jako ekspert ds. praw człowieka w zakresie AI był konsultantem „Polityki dla rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce od roku 2020”. W 2020 r. znalazł się na liście 100 osób, które przyczyniły się do rozwoju w Polsce umiejętności cyfrowych w rankingu Szereckiego Porozumienia na rzecz Rozwoju Umiejętności Cyfrowych. Od 2007 r. kieruje Zespołem Prawa Konstytucyjnego, Międzynarodowego i Europejskiego w Biurze Rzecznika Praw Obywatelskich. W latach 2012–2017 był członkiem zarządu Agencji Praw Podstawowych UE (FRA). Od marca 2019 r. jest członkiem zarządu European Network of National Human Rights Institutions (ENNHRI). Jest certyfikowanym trenerem programu szkoleń „HELP” Rady Europy, pełniąc jednocześnie rolę krajowego punktu kontaktowego w Krajowej Izbie Radców Prawnych. Od 2016 r. członek Komisji Praw Człowieka przy Krajowej Izbie Radców Prawnych, wybrany ponownie na 4-letnią kadencję do 2025 r. Autor, współautor bądź redaktor 70 książek, artykułów, komentarzy i innych prawniczych publikacji naukowych.

Wyzwania etyczne AI w sektorze zdrowia

ROBERT SROKA



- Bioetyka była odpowiedzią na postęp techniki, który wyprzedzał regulacje prawne i nierzadko naruszał normy etyczne, ale otwierał drzwi do lepszych rozwiązań ratujących życie i zdrowie
- AI w sektorze zdrowia niesie ze sobą wielką obietnicę, natomiast napotyka podobne etyczne wyzwania, których rozwiązanie wymaga połączenia wiedzy z zakresu etyki AI, etyki lekarskiej oraz bioetyki i całego sektora

Już teraz dostrzegamy, że systemy sztucznej inteligencji odgrywają coraz ważniejszą rolę w sektorze zdrowia, zarówno w zakresie funkcjonowania całego systemu, zarządzania placówkami medycznymi, jak i leczenia pacjentów. AI niewątpliwie może wnieść wiele dobrego do sektora zdrowia, ale czy zdobędzie społeczną akceptację, będzie zależało zarówno od jej technicznej efektywności, jak i od etyczności. Dlatego zagadnienie etyki systemów sztucznej inteligencji w sektorze zdrowia jest tak istotne. Jednocześnie jest niezwykle trudnym wyzwaniem. Po pierwsze dlatego, że bezpośrednio dotyczy fundamentalnych wartości, jakimi są życie i zdrowie człowieka. Po drugie wymaga interdyscyplinarnego połączenia co najmniej trzech obszarów etycznych, jakimi są etyka sztucznej inteligencji, etyka lekarska i bioetyka. Ta ostatnia wydaje się być szczególnie ważna, nie tylko ze względu na przedmiot badań, ale przede wszystkim z uwagi na wypracowaną przez ostatnie dekady metodę uzgadniania stanowisk etycznych. W wielu przypadkach, ze względu na specyfikę sztucznej inteligencji, do jej oceny etycznej warto zastosować procedury wykorzystywane w bioetyce.

W krótkim artykule nie jest możliwe szczegółowe omówienie ogromu wyzwań etycznych, jakie towarzyszą wykorzystaniu systemów AI w sektorze zdrowia. Dlatego jedynie skrótowo zasygnalizuję wybrane wątki, które są istotne i warto dalszej analizy. Najpierw zostaną przybliżone najważniejsze zagadnienia etyczne związane z AI oraz dokumenty przygotowywane przez międzynarodowe i krajowe instytucje, wyznaczające ramy dla etyki sztucznej inteligencji. Następnie wskażę kluczowe obszary etyki lekarskiej i bioetyki, o których nie powinno się zapominać przy okazji rozstrzygania dylematów etycznych, związanych zastosowaniem AI w sektorze zdrowia.

WYBRANE WYZWANIA ETYCZNE

Zintensyfikowany rozwój badań nad AI w ciągu ostatnich kilkunastu lat zaowocował rozwiązaniami, które już teraz w niewyobrażalnie szybki i głęboki sposób wpływają na to, co myślimy i jak budujemy relacje społeczne. W wielu przypadkach jest to wpływ, którego sobie nie uświadamiamy,

choćby w zakresie podejmowania decyzji zakupowych, czyli głównie w biznesie, ale też w edukacji, nauce, kulturze i środkach komunikacji, ze szczególnym uwzględnieniem mediów społecznościowych. W wielu przypadkach ten wpływ jest tak silny, że dotyka kluczowych etycznych wartości, jakimi są prawa człowieka ufundowane na kategorii godności. Żeby lepiej zrozumieć wyzwania etyczne AI w sektorze zdrowia, warto przyrzeć się najważniejszym problemom etycznym związanym z zastosowaniem systemów AI w ogóle.

Jednym z najczęściej wykorzystywanych metod w szeroko rozumianych systemach AI jest uczenie maszynowe. Jego odmianą, uczenie nadzorowane, polegające na doskonaleniu modeli statystycznych w oparciu o duże zbiory danych, zawiera zadania i ich rozwiązania. Na podstawie danych treningowych model statystyczny „uczy się” zależności między zadaniami a rozwiązaniami. Te techniki, w szczególności regresje liniowe, są od dawna wykorzystywane w medycynie. Pewną nowością w uczeniu maszynowym jest zastosowanie sieci neuronowych, które umożliwiają m.in. tworzenie nowych rozwiązań na bazie istniejących danych. Problem w tym, że do wytrenowania sieci neuronowej potrzebna jest duża liczba przykładów o dużej różnorodności, które pozwalałyby wykryć zależności. Jeśli ten warunek nie zostanie spełniony, dochodzi do powstawania błędnych wyników. Systemy AI zależą zatem od jakości danych wejściowych, a ich wiarygodność od tego, czy wiemy na jakiej podstawie trenowane modele wykorzystujące nowe dane podejmują decyzje. Jeśli na danych treningowych model nauczył się rozpoznawania błędnych zależności, to przy wykorzystaniu nowych danych będzie popełniał błędy, które w medycynie mogą prowadzić do narażenia pacjentów na niebezpieczeństwo. Przykładem takiego błędu dyskryminacyjnego był system AI stosowany w amerykańskich szpitalach. Miał zakwalifikować pacjentów do specjalistycznych programów leczenia i brał pod uwagę roczne koszty leczenia danej osoby. Decydując się na ten zbiór danych projektanci systemu nie uwzględnili faktu, że w Stanach Zjednoczonych wydatki na leczenie osób czarnoskórych są statystycznie niższe niż osób białych, cierpiących równie poważnie na tę samą chorobę. W efekcie system powielił schemat wynikający z nierówności ekonomicznych, klasyfikując osoby czarnoskóre jako „mniej chore”, niż były w rzeczywistości. Zatem już sama jakość danych i wiarygodność wyników są kategoriami etycznymi. Okazuje się również, że wytrenowane modele często mylą się w ocenie rzeczywistych przypadków. Zatem trafność podejmowanych decyzji jest kolejną kategorią etyczną, a nie jedynie prakseologiczną czy ekonomiczną. Podsumowując tę jedną z najważniejszych kwestii w etyce AI posłużę się analogią: tak jak mózg potrzebuje tlenu, sztuczna inteligencja potrzebuje danych. Jeśli mieszanka powietrza jest zatruta lub nieodpowiednia, to zatrutą mózg lub powoduje urojenia prowadzące do zaburzeń w postrzeganiu otaczającego świata. Podobnie jest z systemami AI: zły jakości danych powodują zniekształcenia wyników pracy systemów sztucznej inteligencji. Przy szerokim za-

stosowaniu w sektorze zdrowia może to prowadzić do negatywnych skutków na szeroką dużą skalę.

Innym olbrzymim zbiorem wyzwań etycznych szczególnie w sektorze zdrowia jest pozyskiwanie danych i związane z tym zagadnienia prywatności, bezpieczeństwa danych i sposobu ich wykorzystywania.

KODEKSY ETYKI SYSTEMÓW AI

Ze względu na szybki rozwój, głęboki wpływ na poszczególne dziedziny życia oraz szeroki zasięg systemów sztucznej inteligencji poszczególne kraje oraz organizacje międzynarodowe podejmują się wypracowania zasad etycznych dla AI.

→ **Warto zauważyć, że trwa swego rodzaju wyścig na narzucenie narracji etycznej dla sztucznej inteligencji. Robią to zarówno takie kraje, jak: Kanada, Francja, Australia, Wielka Brytania, Japonia, Chiny, ale też Indie. Czynią to również międzynarodowe organizacje. Szczególną uwagę warto zwrócić na prace prowadzone przez OECD, UNESCO i Unię Europejską.**

W 2019 r. Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD) opublikowała pierwsze międzyrządowe standardy rozwoju Sztucznej Inteligencji *“Recommendation of the Council on Artificial Intelligence”*. OECD w swoim dokumencie podkreśla, że sztuczna inteligencja powinna przynosić korzyści ludziom i planecie, napędzając wzrost sprzyjający włączeniu społecznemu, zrównoważony rozwój i dobrobyt. OECD zwraca uwagę, że systemy AI powinny być zaprojektowane tak, by uwzględniać praworządność, prawa człowieka, wartości demokratyczne i różnorodność. Powinny też obejmować odpowiednie zabezpieczenia, umożliwiające ludzką interwencję tam, gdzie to konieczne, w celu zapewnienia sprawiedliwego społeczeństwa. W dokumencie uwzględniono również kwestię odpowiedzialności, wskazując zgodnie z powyższymi zasadami, że organizacje i osoby rozwijające, wdrażające lub obsługujące systemy sztucznej inteligencji powinny być pociągane do odpowiedzialności za ich prawidłowe funkcjonowanie.

Globalny zasięg prac nad etyką AI mają również działania UNESCO. Propozycja etyczna tej organizacji oparta jest na takich wartościach, jak godność każdej osoby, prawa człowieka oraz podstawowe wolności. W dokumencie podkreśla się podstawową zasadę nieszkodzenia zarówno w wymiarze fizycznym, jak ekonomicznym, socjalnym, politycznym czy psychicznym w każdej fazie „cyklu życia” sztucznej inteligencji. Omawiając zastosowanie AI w sektorze zdrowia warto wspomnieć, że przy promowaniu i rozwijaniu zasad etycznych dla AI UNESCO ściśle współpracuje z International Bioethics Committee (Międzynarodowa Komisja Bioetyczna) oraz Intergovernmental Bioethics Committee (Międzyrządowa Komisja Bioetyczna).

Inną ważną inicjatywą w zakresie etyki AI są Wytyczne Etyczne dla Godnej Zaufania AI (Ethics Guidelines for Trustworthy AI), opublikowane przez Komisję Europejską, a przygotowane przez Grupę Ekspertów Wysokiego Szczebla ds. Sztucznej Inteligencji. Autorom dokumentu przyświecało przede wszystkim podejście, w którym człowiek stoi w centrum refleksji etycznej (*Human-Centric AI*). Zgodnie z tą propozycją sztuczna inteligencja powinna być przede wszystkim zgodna z prawem, etyczna, czyli zgodna z zasadami i wartościami etycznymi oraz solidna, rzetelna, wytrzymała w sensie społecznym i technicznym.

W kwietniu 2021 roku został natomiast przedstawiony Wniosek Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiający zharmonizowane przepisy dotyczące sztucznej inteligencji. Jest to wynik prac legislacyjnych, których celem jest utrzymanie wiodącej pozycji UE w zakresie technologii przy jednoczesnym zapewnieniu, że Europejczycy mogą korzystać z nowych technologii opracowywanych i funkcjonujących zgodnie z unijnymi wartościami, prawami podstawowymi i zasadami. Celem tego aktu jest zaproponowanie ekosystemu dla budowania godnej zaufania sztucznej inteligencji. Warto podkreślić, że jako ostateczny cel dla sztucznej inteligencji wskazano zwiększanie dobrostanu człowieka. Wyznaczono główne ramy etycznej sztucznej inteligencji, jakimi są: bezpieczeństwo, zgodność z prawem i zgodność z poszanowaniem praw podstawowych oraz z unijnymi wartościami. Spośród katalogu praw podstawowych szczególną uwagę zwraca się na zapewnienie godności człowieka, poszanowanie życia prywatnego i ochronę danych osobowych, niedyskryminację oraz równość kobiet i mężczyzn. Regulacje te mają również zapobiegać ograniczeniu prawa do wolności wypowiedzi i wolności gromadzenia się. Dlatego zaproponowano zakaz stosowania niektórych szczególnie szkodliwych praktyk z wykorzystaniem AI, które są sprzeczne z unijnymi wartościami. Wprowadzono również metodykę oceniania systemów sztucznej inteligencji, tak aby zidentyfikować te, które wiążą się z dużym ryzykiem i stanowią znaczne zagrożenie dla zdrowia i bezpieczeństwa lub praw podstawowych człowieka. Dla tej kategorii systemów AI zostały przewidziane specjalne procedury oceny i nadzoru.

Pod koniec 2020 roku Polska przyjęła własną politykę rozwoju sztucznej inteligencji, w której wielokrotnie podkreślono znaczenie etyki. W dokumencie możemy przeczytać, że kluczowe jest to, żeby tworzone rozwiązania AI zawsze służyły człowiekowi, na pierwszym miejscu stawiając jego godność i prawa. W dokumencie podkreślono ambicję Polski jako aktywnego uczestnika światowej debaty na temat etyki sztucznej inteligencji.

SPECYFIKA ETYKI AI W SEKTORZE ZDROWIA

Etyczna refleksja na temat zastosowania systemów sztucznej inteligencji w sektorze medycznym nie może ograniczać się jedynie do obecnego stanu wiedzy na temat etyki AI. Po-

winna uwzględniać perspektywę etyki medycznej i bioetyki. Twórcy systemów sztucznej inteligencji dla sektora zdrowia powinni brać pod uwagę uwarunkowania kształtujące etyczne ramy pracy lekarza, do których należą takie zasady, jak dobro pacjenta, jego autonomia i sprawiedliwość społeczna. Zasada nadrzędności dobra pacjenta nie może zostać przekroczona pod wpływem racji biznesowych, wymagań administracyjnych czy korzystania z niesprawdzonych albo nietransparentnych technologii. Również zasada autonomii pacjenta, czyli możliwość podejmowania przez niego świadomych decyzji dotyczących leczenia, może zostać zaburzona przez nowe technologie w medycynie, oparte o systemy sztucznej inteligencji, których twórcy na etapie tworzenia nie przewidzieli możliwości urzeczywistnienia zasady autonomii chorego. Trzecią z ważnych zasad w etyce medycznej jest zasada sprawiedliwości społecznej, która odnosi się do sprawiedliwej dystrybucji zasobów i eliminowania dyskryminacji w ochronie zdrowia. Jak pokazuje wiele przeanalizowanych już przykładów zastosowania systemów sztucznej inteligencji, problem stronniczości algorytmów AI (*algorithmic bias*) należy do poważniejszych, prowadzących do niebezpiecznych przypadków dyskryminacji. Innym ważnym wyzwaniem pozostaje również problem przestrzegania tajemnicy zawodowej, co przy systemach sztucznej inteligencji, które „żyją” z danych, jest dużym zagadnieniem i wyzwaniem.

Nie wolno zapominać, że AI jest kolejnym ważnym etapem rozwoju technologii, która była przyczyną powstania nowej dziedziny etyki stosowanej. To bioetyka, rozumiana jako formułowanie ocen i norm odnoszących się do biomedycznych ingerencji związanych z zapoczątkowaniem ludzkiego życia, jego trwaniem i śmiercią². Zainteresowanie bioetyką bierze się z potrzeby namysłu nad życiem i śmiercią w warunkach współczesnej cywilizacji technicznej, a także konieczności przyjęcia zasad, pozwalających na podejmowanie decyzji w sytuacjach granicznych i spornych. Dyskusje i spory bioetyczne sięgają do problemu relacji między postępem cywilizacyjnym a moralnością. Jak dotąd postęp nauki i techniki wyprzedzał istniejące unormowania prawne oraz naruszał normy moralne. Jednak dawniej rozbieżność między praktyką a zasadami moralnymi nie miała tak daleko idących konsekwencji, jak to widzimy obecnie. Niekontrolowane etycznie zastosowanie możliwości technicznych rodzi, szczególnie w medycynie, nowe problemy, których kiedyś nie było, a które musimy rozstrzygnąć³. Dlatego właśnie etyka systemów sztucznej inteligencji jest tak ważna i moim zdaniem powinna czerpać z dokonań metodycznych bioetyki. Ponadto na gruncie medycznym etyka sztucznej inteligencji będzie musiała mierzyć się z głównym, wciąż toczącym się sporem bioetycznym, w którym konkurują ze sobą wartość i jakość życia.

Myśląc o rozwoju etyki AI w sektorze zdrowia warto mieć na uwadze kilka elementów, ważnych dla tego procesu:

- Systemy AI będą na tyle etyczne, na ile etyczni są ich twórcy. Dlatego szczególna uwaga w etyce systemów sztucz-

nej inteligencji w sektorze zdrowia powinna skupiać się na twórcach tych systemów.

- W etyce AI ważne są przewidywanie konsekwencji i szybka reakcja. Dlatego potrzebujemy nowych instytucjonalnych mechanizmów oceny systemów AI pod kątem etycznym, które będą charakteryzować się: interdyscyplinarnością, refleksem, systematycznością i sprawczością. W przypadku sektora zdrowia warto wykorzystać doświadczenia komisji bioetycznych, których głównym celem jest ochrona godności człowieka.
- W etyce AI powinniśmy być szczególnie uważni na różnicę pomiędzy jedynie poczuciem, że coś jest etyczne, a tym, czy rzeczywiście takie jest.

- Podobnie jak w medycynie, w AI lepiej zapobiegać, niż leczyć, dlatego tak ważne będzie skuteczne pilnowanie, aby nowe formy AI trenować w tzw. *sandboxach*, czyli sprawdzać w izolacji, zanim zostaną zastosowane w sektorze zdrowia.

ROBERT SROKA

Przypisy:

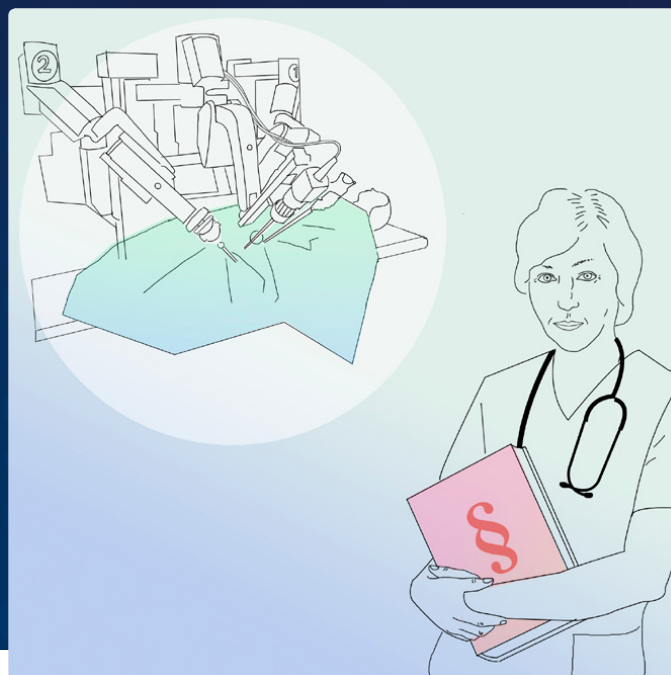
1. Obem A., Szymielewicz K., *Sztuczna inteligencja non-fiction*, Fundacja Panopticon, <https://panoptikon.org/sztuczna-inteligencja-non-fiction>
2. Chyrowicz B., *Etyka stosowana. Metody i problemy*, Towarzystwo Naukowe KUL, s. 45.
3. Ślęczek-Czakon D., *Problem wartości i jakości życia w sporach bioetycznych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice 2004, s. 10.



Dr Robert Sroka – dyrektor ds. odpowiedzialnego inwestowania (ESG) na Europę Środkową w funduszu Abris Capital Partners oraz współpracownik Katedry Przedsiębiorczości i Etyki w Biznesie w Akademii Leona Koźmińskiego. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z problematyką etyki biznesu, etyki nowych technologii oraz uwzględniania aspektów środowiskowych, pracowniczych i społecznych w podejmowaniu decyzji inwestycyjnych. Wcześniej pracował w Zespole Zarządzania Ryzykiem Nadużyć oraz Zespole Zmian Klimatu i Zrównoważonego Rozwoju EY. W latach 2009–2014 stał na czele Grupy Roboczej ds. Odpowiedzialnych Inwestycji w Zespole Opiniodawczo-Doradczym Prezesa Rady Ministrów ds. CSR. Przewodniczył również pracom Grupy Roboczej ds. Etyki i Standardów Odpowiedzialnego Prowadzenia Biznesu w ramach Zespołu ds. Zrównoważonego Rozwoju i Społecznej Odpowiedzialności Przedsiębiorstw w Ministerstwie Rozwoju. Brał udział w pracach Grupy Roboczej ds. Sztucznej Inteligencji, która działa w Ministerstwie Cyfryzacji. Jest członkiem Grupy Roboczej ds. Sztucznej Inteligencji przy KPRM. Autor oraz redaktor licznych publikacji książkowych, raportów i przewodników dotyczących etyki biznesu, w tym książek: „Nieodkryci przywódcy współczesnej etyki biznesu” oraz „Etyka i prawa człowieka w biznesie. W poszukiwaniu metody”.

Wyzwania prawne AI w sektorze zdrowia

ANETA SIERADZKA



- **Niezbędne są prace legislacyjne dotyczące sztucznej inteligencji w medycynie, by zintegrować ją z systemem ochrony zdrowia**
- **Trzeba usunąć z przepisów bariery i ustalić, za co odpowiada lekarz, pacjent, osoby zajmujące się obsługą techniczną – a za co placówka medyczna**

Nowe technologie na naszych oczach zmieniają świat. Ułatwiają nam pracę, przenoszą relacje do sieci, a jednocześnie przetwarzają ogromne ilości danych, w tym danych o zdrowiu – szacuje się, że 30 proc. przechowywanych na świecie danych dotyczy właśnie zdrowia. Powszechne wykorzystanie rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji na świecie staje się standardem, choć nadal pozostaje poza zasięgiem większości placówek medycznych w Polsce. Tu potencjał AI nie jest wykorzystywany, aby usprawniać system ochrony zdrowia, ułatwiać dostęp do lepszych świadczeń zdrowotnych oraz wspomagać pracę lekarzy personelu administracyjnego placówek medycznych. Analiza potężnych zbiorów danych wymaga zmiany myślenia w środowisku medycznym, a przede wszystkim powstania właściwego zaplecza prawnego, które będzie podążać za rozwojem technologii w medycynie. Bo kluczowe jest zapewnienie zgodności AI z przepisami prawa.

OBCENE MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA AI W MEDYCYNIE

Rozwój medycyny jest nie do zatrzymania, a to oznacza, że normy prawne powinny podążać za potrzebami medycy-

ny, szczególnie w obszarze nowych technologii. Płaszczyzn z zastosowaniem AI, gdzie proces udzielania świadczeń staje się łatwiejszy, dostępniejszy i szybszy, przybywa z każdym rokiem. Sztuczna inteligencja może usprawnić procesy na kilku poziomach w placówce medycznej, od działów HR czy prawnych, po umawianie wizyt przez pacjenta za pomocą rozwiązań AI – obsłuży ona pacjenta w rejestracji, przypominając mu także o wizycie czy przygotowaniu się do wizyty lub badania. Pierwszy kontakt pacjenta z placówką medyczną może odbywać się za pomocą AI. Niekoniecznie musi to być kontakt z człowiekiem, by skutecznie umówić się na wizytę lekarską lub dowiedzieć się, że nie jest ona konieczna. Ze statystyk wynika, że tylko jedna na trzy wizyty u lekarza podstawowej opieki zdrowotnej jest uzasadniona problemami zdrowotnymi. Oznacza to, że potrzebne są rozwiązania, które będą na tym etapie kwalifikować potrzeby pacjenta. Koronną rolę AI odgrywa w diagnostyce i profilaktyce, co ma niebagatelne znaczenie dla starzejącego się społeczeństwa, wydłużonej długości życia, a tym samym dłuższego korzystania ze świadczeń zdrowotnych i coraz większej liczby pacjentów geriatrycznych.

Digitalizacja i analiza danych o zdrowiu stwarzają wymierne korzyści dla systemu oraz obywateli. Pośród wielu możliwości zastosowania AI w sektorze zdrowia można wskazać takie obszary medycyny jak medycyna personalizowana (dobieranie leków do pacjenta według profilu genetycznego), transplantologia (typowanie pacjentów do przeszczepów w stacjach dializ, dopasowanie dawcy z biorcą, delegowanie administracyjnych zadań koordynatora transplantacyjnego sztucznej inteligencji), onkologia (przewidywanie zachorowania), genetyka, kardiologia, dietetyka (dobór diety odpowiedniej do schorzeń), a także obszar badań klinicznych i leków, zarządzanie danymi i definiowanie potrzeb pacjentów zarówno przed, jak po zabiegach, także w medycynie estetycznej i obszarze *beauty*.

Nadejście pandemii COVID-19 na niespotykaną dotychczas skalę uruchomiło potrzebę korzystania z narzędzi diagnostycznych w postaci testów na obecność wirusa zespołu ciężkiej, ostrej niewydolności oddechowej (SARS-CoV-2). Pandemia koronawirusa zmusiła nie tylko decydentów, ale i placówki medyczne do szukania skutecznych i efektywnych rozwiązań. Na przykład instytut badawczy Damo Academy, należący do chińskiego giganta e-commerce Alibaba, opracował algorytm sztucznej inteligencji, który z aż 96-procentową skutecznością pozwala wykryć zakażenie koronawirusem. Algorytm przeanalizował dane pięciu tysięcy osób z pozytywnym wynikiem testu, a cały proces trwał zaledwie 20 sekund. Skuteczne wykorzystanie nowego narzędzia umożliwia lekarzom jeszcze szybsze diagnozowanie pacjentów. Algorytm po raz pierwszy zastosowano w nowo wybudowanym szpitalu Qiboshan w Zhengzhou w prowincji Henan.

PERSPEKTYWA ROZWOJU AI NA KOLEJNE LATA

Polski system ochrony zdrowia, zmagający się z licznymi problemami natury organizacyjnej, finansowej, zarządczej, ale też prawnej, stanowi korzystny grunt dla rozwoju nowych technologii w medycynie. AI wspiera i uskutecznia bowiem te procesy, z którymi nie radzi sobie człowiek. Sztuczna inteligencja w polskim sektorze zdrowia ma ogromny potencjał, aby stać się integralną częścią systemu ochrony zdrowia. Dla rozwoju AI niezwykle ważna jest świadomość tego wśród decydentów, ustawodawcy, a także samych medyków i pacjentów, którzy będą korzystać z cyfrowych rozwiązań.

Wskazując kierunki rozwoju oraz wymieniając korzyści, które są obopólne dla wszystkich funkcjonujących w systemie ochrony zdrowia, trzeba też przewidywać ryzyka i zagrożenia, które niesie ze sobą AI. Dobre zdefiniowanie obszarów ryzyka pozwoli stworzyć miarodajne korzyści, jakie będą przynosić rozwiązania AI. Dlatego tak ważne jest, aby cyfryzacja uwzględniała pacjentów wykluczonych cyfrowo (ze względu na wiek, status społeczny, wykształcenie, dostęp do internetu), zaś dedykowane rozwiązania prawne zapewniły pacjentom równość, a nie dyskryminowały ich.

Stworzenie spójnej koncepcji na najbliższe lata dla rozwoju AI w systemie ochrony zdrowia wymaga przezebraania wielu rozwiązań na gruncie prawnym. Tworzone są w Polsce rozwiązania, które mają pacjentom ułatwiać dostęp do świadczeń, ale dzieje się to niekiedy bezrefleksyjnie, bez uwzględnienia realiów życia milionów Polaków. Tymczasem znajomość potrzeb i możliwości pacjentów jest ważna, aby można było konstruować rozwiązania skuteczne i społecznie użyteczne.

Warto zwrócić uwagę na brak definicji legalnej dokumentacji medycznej, co w praktyce nastrocza problemów zarówno lekarzom, jak pacjentom. Kolejna kwestia to wyeliminowanie takich problemów jak trudności związane ze sposobami weryfikacji tożsamości pacjenta, przedstawiciela ustawowego (zwłaszcza gdy rodzic ma inne nazwisko niż dziecko) czy ograniczenie dostępu do dokumentacji medycznej pacjenta przez jego życiowego partnera, co przy braku regulacji ustawy o związkach partnerskich w praktyce tworzy zbędne bariery. Rozwiązania prawne mają służyć medynom, pacjentom, a nie stanowić niepotrzebne bariery. W systemie prawnym takich barier jest sporo i trzeba je wyeliminować.

Niewątpliwie koniecznym jest stworzenie ogólnopolskiej strategii rozwoju AI dla sektora zdrowia, która będzie stanowić merytoryczny drogowskaz dla projektowanych i wdrażanych zmian. Musi je cechować spójność, a nie chaos. Jednym z obszarów strategii powinien być audyt przepisów prawa regulujących udzielanie świadczeń zdrowotnych, celem wskazania zmian w poszczególnych ustawach i rozporządzeniach, by nie były ze sobą sprzeczne. Dalej – wskazanie nowych rozwiązań i instytucji prawnych, które podlegałyby unormowaniu zwłaszcza w obszarze ponoszonej odpowiedzialności w związku ze stosowaniem AI z kilku perspektyw: placówki medycznej, lekarza, pracownika ds. technicznych AI, ale i pacjenta. Na styku nowych technologii i zdrowia oraz życia pacjenta nie sposób nie objąć pacjenta współodpowiedzialnością dla jego bezpieczeństwa.

Tworzenie eksperckich gremiów doradczych przy organach centralnych (Ministerstwo Zdrowia, Rzecznik Praw Pacjenta) do spraw AI w sektorze zdrowia stanowi kolejny istotny krok w tworzeniu gruntu do sprawnego wdrażania sztucznej inteligencji. Polski sektor zdrowia poczynił już milowy krok w podejściu do prywatności, w tym do ochrony danych medycznych, stosowanych zabezpieczeń, ale też lepszej świadomości wśród personelu medycznego oraz samych pacjentów w związku z wejściem w życie unijnego rozporządzenia RODO¹. To proces, bo bezpieczeństwo danych medycznych oznacza nowe wyzwania, jakie stawiają nowe technologie⁴. Trwający trend wdrażania rozwiązań cyfrowych, w tym EDM², IKP³, a także szereg narzędzi e-zdrowia, jak e-recepty czy e-skierowania, a także przyspieszony rozwój telemedycyny w okresie pandemii – to wszystko utwierdza w przekonaniu, że zarówno środowisko medyczne, jak sami pacjenci czę-

ściej i chętniej sięgają po dobrodziejstwa nowych technologii w sprawach dotyczących zdrowia.

Ten społeczny i rynkowy potencjał wymaga dokonania analiz oraz zgodności projektowanych zmian na rzecz zsynchronizowania sztucznej inteligencji z licznymi normami prawnymi, poczynsz od fundamentalnych praw człowieka – po regulacje międzynarodowe, unijne, ale też krajowe. Wymaga on rozwiązań zgodnych z Konstytucją RP (zasadami państwa prawa, sprawiedliwości społecznej, wolności praw i człowieka, zasadą pomocniczości) oraz przepisami sektorowymi – ustawami dedykowanymi poszczególnym zawodom medycznym oraz przepisami regulującymi działalność m.in. placówek medycznych, firm farmaceutycznych, aptek i producentów wyrobów medycznych oraz innych podmiotów biorących udział w procesie udzielania świadczeń zdrowotnych.

Nie bez znaczenia przy stosowaniu AI jest dostęp do tajemnicy medycznej, co w obliczu rozwoju AI wymagałoby wzmocnienia tej instytucji w trosce o bezpieczeństwo lekarza i pacjenta⁵.

Kolejny obszar działania wiąże się z obecnym brakiem dostatecznych regulacji w zakresie badań genetycznych. To sprawa ogromnej wagi, bo sekwencjonowanie DNA wskazuje np. na ryzyko zachorowania na dane choroby, co ma niebagatelne znaczenie dla profilaktyki oraz w definiowaniu chorób populacyjnych za pomocą AI. Przepisy prawa medycznego w Polsce sukcesywnie są dostosowywane do potrzeb medycyny, a wyznaczanie nowych kierunków poprzez opracowanie strategii i tworzenie hybrydowych gremiów ekspertów AI w sektorze zdrowia pozwoli tworzyć skuteczne i bezpieczne rozwiązania, które wzmocnią i ułatwią proces udzielania świadczeń zdrowotnych.

AI A CZYNNIK LUDZKI I REMEDIUM NA BRAK PERSONELU

Czynnik ludzki jest zawodny i obciążony ryzykiem błędów. W medycynie przyczyną błędów ludzkich są najczęściej zmęczenie i rutyna. Błędy te są powodowane przemęczeniem, emocjami, brakiem koncentracji, zapominaniem czy niezadowolaniem z warunków pracy i płacy. Sztuczna inteligencja to transparentność, przejrzystość procesów, eliminowanie nieprawidłowości, za którymi stoi człowiek. AI oznacza eliminację nieetycznych ludzkich zachowań, ale też ewentualnych działań korupcyjnych w dostępie do świadczeń zdrowotnych, zwłaszcza tych wysokospecjalistycznych, na które czas oczekiwania jest długi.

AI to remedium na braki w kadrach medycznych, ponieważ łatwiej stworzyć dobre algorytmy, niż wyczarować tysiące brakujących medyków. Oczywiście AI nie wyeliminuje lekarza z procesu leczenia, jednak może za niego wykonać wiele czasochłonnych czynności. AI zwiększa szanse pacjentów na lepszą jakość świadczeń medycznych – szybszą, transparentną, komunikatywną. Sztuczna inteligencja to nade wszystko szansa dla systemu ochrony zdrowia, który mogą

uleczyć właśnie algorytmy. Owszem, algorytmy są pozbawione empatii, ale człowiek też nie gwarantuje współodczuwania w każdej sytuacji.

BŁĘDY MEDYCZNE I ODPOWIEDZIALNOŚĆ

Odpowiedzialność za błędy medyczne przy stosowaniu AI jest szczególnie ważną kwestią. Należałoby stworzyć nowe, szczegółowe zasady odpowiedzialności za błędy popełniane przez sztuczną inteligencję. Nie sposób bowiem sobie wyobrazić, aby odpowiedzialność za błąd algorytmu spoczywała na lekarzu na zasadach, na jakich dzisiaj ponosi ją lekarz, czyli w ramach odpowiedzialności zawodowej. Odpowiedzialność za błędy AI powinna spoczywać na placówce medycznej, która udziela świadczeń zdrowotnych (to szczególnie ważne w kontekście międzynarodowej telemedycyny, transferów danych medycznych poza UE i błędów w diagnostyce) za pomocą sztucznej inteligencji. Należy przy tym uwzględniać odpowiedzialność cywilną, sankcje administracyjne czy nawet koncesyjne – jeśli stosowanie AI objęte byłoby koncesją w wybranym obszarze. Należy zatem postawić granice odpowiedzialności pomiędzy lekarzem, placówką medyczną, a także pracownikiem obsługującym systemy teleinformatyczne. W przypadku tych ostatnich, zważywszy na duży zakres odpowiedzialności, zasady ogólne ponoszonej dziś odpowiedzialności mogą być nieadekwatne do wielkości ewentualnych szkód. Trzeba by więc uszczegółowić zasady odpowiedzialności pracowników IT oraz wprowadzić obowiązek posiadania ubezpieczenia OC.

Konstruując zasady odpowiedzialności AI nie można pominąć odpowiedzialności pacjenta, który został systemowo wyposażony w katalog praw. Niezbędne jest więc obciążenie pacjenta obowiązkiem zapoznania się z zasadami, na jakich udzielane jest świadczenie przy stosowaniu AI (kwestia obowiązku informacyjnego i świadomej zgody z rozszerzeniem na AI). Trzeba także nałożyć na pacjenta odpowiedzialność za rażące nieprzestrzeganie zasad, np. niepoinformowanie o odwołaniu wizyty. W przypadku tradycyjnych wizyt pacjenci nawet dziś zapominają, że nie stosując się do zaleceń lekarskich, wyrządzają sobie krzywdę. Przypominać o takich zaleceniach może AI.

Świadczenie zdrowotne w epoce e-zdrowia może być hybrydą kontaktu z żywym lekarzem oraz algorytmem, a to wymaga wyznaczenia zarówno przejrzystych zasad organizacyjnych, jak praw oraz obowiązków obu stron procesu. Odpowiedzialność to także nadzór oraz monitorowanie stosowania AI w publicznych i prywatnych placówkach medycznych przez niezależny i bezstronny organ. Uważam, że należy to w przyszłości ukonstytuować, aby AI podlegała kontroli. Ma to bowiem także ważny walor, jeśli spojrzeć na sprawę z perspektywy bezpieczeństwa narodowego i potencjalnych cyberzagrożeń.

ANETA SIERADZKA

Przypisy:

1. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/679 z dnia 27 kwietnia 2016 r. w sprawie ochrony osób fizycznych w związku z przetwarzaniem danych osobowych i w sprawie swobodnego przepływu takich danych oraz uchylenia dyrektywy 95/46/WE (ogólne rozporządzenie o ochronie danych).
2. Elektroniczna Dokumentacja Medyczna.
3. Internetowe Konto Pacjenta.
4. Sieradzka A., *Dokumentacja RODO w placówkach medycznych*, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa 2019.
5. Sieradzka A., *Ochrona danych osobowych medycznych*, Wydawnictwo C.H. Beck, Wydanie 2, Warszawa 2018.



Dr Aneta Sieradzka – prawniczka, naukowiec, pełni funkcję Compliance Officer i Inspektora Ochrony Danych w podmiotach medycznych, Founding Partner w firmie prawniczej Sieradzka&Partners. Specjalizuje się w obsłudze prawnej podmiotów gospodarczych ze szczególnym ukierunkowaniem na sektor medyczny, farmaceutyczny i stowarzyszenia branżowe. Autorka blisko 50 publikacji naukowych, w tym międzynarodowych z zakresu ochrony danych osobowych, prawa medycznego i prawa konstytucyjnego. Prelegentka na międzynarodowych konferencjach, autorka bloga „Prawo w transplantacji”, członek międzynarodowych gremiów naukowych oraz autorka licznych wykładów i szkoleń. W 2015 r. otrzymała wyróżnienie Dziennika „Rzeczpospolita” w kategorii Prawnik Pro Bono. W 2016 r. „Dziennik Gazeta Prawna” zaliczył ją do 30 najbardziej obiecujących prawników młodego pokolenia w konkursie Rising Stars – Prawnicy Liderzy Jutra. Za działalność na rzecz rozwoju transplantologii w 2017 r. otrzymała Honorową Nagrodę Fundacji im. Hanki Bożyk.

W ciągu ostatnich tygodni spotkałem się z kilkunastoma polskimi przedsiębiorcami technologicznymi oferującymi rozwiązania sztucznej inteligencji w diagnostyce medycznej. Jednym z największych wyzwań dla tego sektora okazuje się dzisiaj możliwość legalnego pozyskiwania danych medycznych niezbędnych do kształtowania algorytmów, co bezpośrednio wpływa na ich skuteczność. Rzetelne przetwarzanie takich danych wymaga świadomości po stronie pacjentów, która z uwagi na niewystarczający poziom zaufania do cyfryzacji wciąż jest na niskim poziomie. Bez dostępu do lokalnych, dużych i dobrze zagregowanych baz danych wykorzystywanie mecha-

nizmów AI w sektorze medycznym nigdy nie będzie w pełni możliwe. Stosowanie tutaj zasobów informacji pochodzących z innych części świata może okazać się niewystarczające.



Dr Maciej Kawecki – prezes Instytutu Lema, dziekan Wydziału Innowacji i Przedsiębiorczości Wyższej Szkoły Bankowej w Warszawie, of counsel w Kancelarii Maruta Wachta, prowadzący program „Technicznie Rzecz Biorąc” redakcji Onet i Komputer Świat oraz autor cyklu technologicznego w programie Dzień Dobry TVN.

Przykład zastosowania**Anonimizacja dla mas**

Tomasz Jaworski

→ Rozwiązanie dostarczone przez BlueAI (Blue.GDPR) wykorzystuje sztuczną inteligencję (AI), która automatycznie rozpoznaje i anonimizuje dane pacjenta

Sieć Tirol Kliniken (do 24 czerwca 2015 TILAK – Tiroler Landeskrankenanstalten GmbH) została założona w 1991 roku i jest największym i najbardziej zróżnicowanym świadczeniodawcą w zachodniej Austrii. W jej skład wchodzi różne obiekty, w których zapewnione są najważniejsze świadczenia w Tyrolu. Jako nadzorca grupy, Tirol Kliniken GmbH obsługuje i koordynuje pracę poszczególnych klinik.

Tirol Kliniken GmbH zatrudnia prawie 8550 pracowników, realizuje 115 tys. świadczeń szpitalnych i 1,1 mln ambulatoryjnych, wykonuje też 65,8 tys. indywidualnych operacji rocznie. Klinika dysponuje 2500 łóżkami przy średnim obłożeniu 80 proc. Przy takiej skali działania powstaje ogromna ilość danych medycznych i diagnostycznych, a te muszą być łatwo dostępne dla uprawnionych osób i ściśle chronione przed nieuprawnionym dostępem – jako dane wrażliwe pacjentów.

Dane medyczne są zarazem podstawowym zasobem pozwalającym na prowadzenie badań naukowych i udział w grantach badawczych. Przy tym większość danych identyfikujących pacjenta nie jest konieczna w przypadku poszukiwania zależności populacyjnych i statystycznych – do celów naukowych dokumentacja medyczna poddawana jest tzw. anonimizacji.

DANE MEDYCZNE W POLSCE

W połowie 2021 r. prezes UODO przyjął „Kodeks branżowy dla sektora ochrony zdrowia”, przedstawiony przez Polską Federację Szpitali¹. Opisuje on zasady udostępniania danych osobowych pacjentów zawartych w dokumentacji medycznej zgodnie z RODO. Dzięki niemu stosowanie rozporządzenia ma być łatwiejsze i dostosowane do specyfiki ochrony zdro-

wia. Przedmiotem kodeksu są postanowienia dopasowujące obowiązki administratorów i podmiotów przetwarzających dane wynikające z RODO do ryzyka naruszenia prawa lub wolności osób fizycznych, które może powodować przetwarzanie tych danych.

Wskazówki zawarte w kodeksie wynikają wprost z postulatów środowiska naukowego, oczekującego umożliwienia badań, uczestnictwa w grantach i współpracy w oparciu o dane.

Poznanie doświadczeń Tirol Kliniken jest istotne, aby możliwe było praktyczne zrealizowanie zaleceń kodeksu w zgodzie z RODO. Postanowienia kodeksu są prostymi wskazówkami, jednak nakład pracy wymagany do anonimizacji dokumentacji medycznej może być niewspółmierny w stosunku do posiadanych zasobów i kadry.

UPROSZCZONE PROCESY DZIĘKI BLUE.GDPR

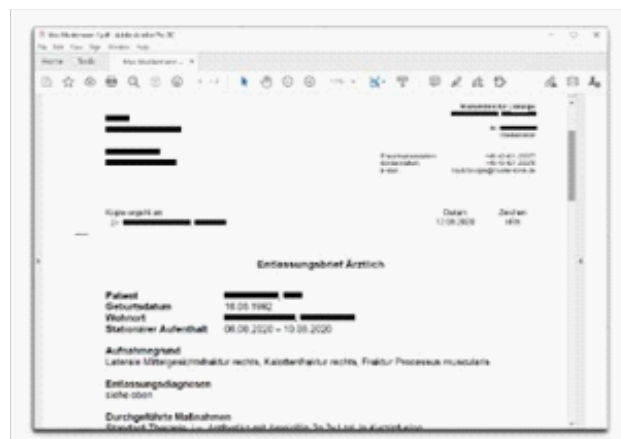
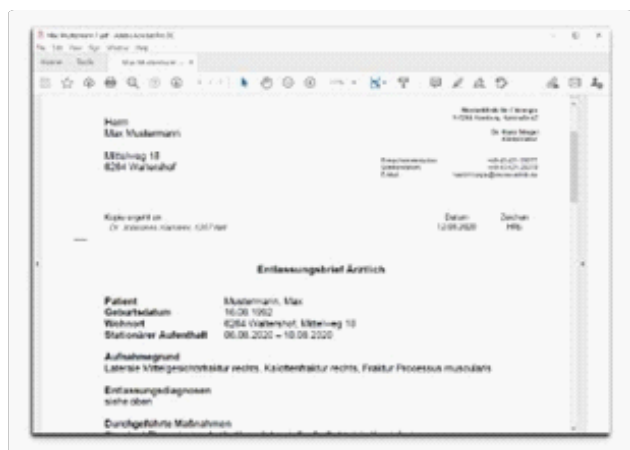
Rozwiązanie dostarczone przez BlueAI (Blue.GDPR) wykorzystuje sztuczną inteligencję, która automatycznie rozpoznaje i anonimizuje dane pacjenta.

Dzięki zastosowaniu wszechstronnie wyszkolonego, ale stale uczącego się algorytmu Blue.GDPR bardzo dokładnie rozpoznaje dane pacjenta i czyni je nierozpoznawalnymi. Dokumenty medyczne, takie jak np. wypis ze szpitala, dane osobowe pacjenta, lekarzy i personelu oraz raporty diagnostyczne, nie są już anonimizowane ręcznie, ale automatycznie.

W ten sposób można zachować standard TGF (Tyrolskiego Funduszu Zdrowia, Tiroler Gesundheitsfonds) i chronić prywatność pacjenta.

Rozwiązanie umożliwia anonimizowanie wszystkich wykorzystywanych w dokumentacji medycznej rodzajów danych: dokumentów, obrazów, wideo, DICOM-ów², notatek i plików audio.

Oto przykład działania sztucznej inteligencji Blue.GDPR w zakresie automatycznej anonimizacji dokumentów, tekstu czy obrazów:



Dane wrażliwe w plikach wideo i obrazach także mogą być anonimizowane. Przykład poniżej pokazuje, jak automat zamazuje twarze widoczne na zdjęciu. Zachowanie oryginału pozwala na dotarcie *ex post* do danych źródłowych, o ile są one konieczne. Jednak szybka wymiana danych w ramach współpracujących zespołów nie jest spowolniona ze względu na konieczność sprostania RODO. Wymagania RODO są spełnione, a dane mogą być udostępniane z zachowaniem wszelkich procedur i przepisów prawa.



WYZWANIA I KORZYŚCI

Tirol Kliniken określiło szczegółowe wymagania, dla spełnienia których trzeba było wyszkolić sztuczną inteligencję, aby anonimizowała tylko wybrane dane pacjentów i ignorowała pewne ważne informacje w taki sposób, by pozostały widoczne. Ponieważ były to dokumenty medyczne, ważne było również odpowiednie przeszkolenie algorytmu pod kątem specyfiki, np. określonej terminologii medycznej. Jak powiedział Pietro Lucillo, kierownik projektów IT w Tirol Kliniken: „Stale rosnąca potrzeba anonimizacji skutkowałą bardzo czasochłonnym procesem manualnym. Dzięki inteligentnemu rozwiązaniu programowemu Blue.GDPR możemy wydajniej sprostać tym specjalnym wymaganiom, a tym samym odciążyć nasz personel”³.

Do korzyści należy zaliczyć oszczędność czasu pracy o ok. 40 godzin w przypadku anonimizacji 100 dokumentów, o 60 proc. większą dokładność anonimizacji w porównaniu do

procesu manualnego, a co za tym idzie – mniejsze ryzyko ujawnienia danych wrażliwych.

Bazując na sztucznej inteligencji rozwiązanie Blue.GDPR może być stosowane do masowej anonimizacji między innymi w następujących przypadkach:

- anonimizacja dokumentów w raportach do instytucji nadzoru;
- wymiana danych między podmiotami badawczymi lub świadczeniodawcami;
- udostępnianie dokumentacji medycznej, np. nagrań, na życzenie pacjenta z zachowaniem prywatności innych;
- analiza dużych zbiorów danych (*big data*) i użycie sztucznej inteligencji z zapewnieniem prywatności i ochrony danych wrażliwych pacjenta.

Personel zaangażowany w opracowanie i udostępnianie dokumentacji medycznej przyjął rozwiązanie z dużą satysfakcją, ponieważ odciążyło pracowników od uciążliwych i żmudnych zadań. Zwrot z inwestycji został określony na 6 miesięcy.

Technologia Blue.GDPR jest wykorzystywana także w rozwiązaniu trójwymiarowej wizualizacji VSI Holomedicine

– w ten sposób anonimizowane są m.in. dane pacjentów z plików DICOM. Rozwiązanie to zostało bardzo wysoko ocenione przez ekspertów organizowanej w Polsce sieci Centrów Wsparcia Badań Klinicznych.

TOMASZ JAWORSKI

(Sylwetka autora została opisana w Rozdziale I.)

Przypisy:

1. Polska Federacja Szpitali, *Kodeks postępowania dla sektora ochrony zdrowia* wydany zgodnie z art. 40 RODO dotyczący podmiotów wykonujących działalność leczniczą i podmiotów przetwarzających, Warszawa, 13.11.2018, https://zozwadowice.pl/wp-content/uploads/Inne/Ochrona_danych_osobowych/Kodeks-bran%C5%BCowy-RODO-w-Medycynie-.pdf
2. DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) to standard, który określa format i sposób transmisji danych obrazowych między urządzeniami obrazującymi (np. cyfrowe angiografy czy cyfrowe aparaty rentgenowskie) a jednostkami służącymi do ich analizy i wtórnego przetwarzania (diagnostyczne stanowiska opisowe), czy systemami archiwizacji.
3. Tirol Kliniken, The Blue AI, BLUE.GDPR SUCCESSFULLY SUPPORTS TIROL KLINIKEN INNSBRUCK, Client Story, 10.2020, https://theblue.ai/wp-content/uploads/2020/10/Client-Story_TirolKliniken_download.pdf



Rozdział V.

Rekomendacje

Kluczowe zalecenia inicjatyw na rzecz zwiększenia wykorzystania potencjału sztucznej inteligencji, robotyki i powiązanych z nimi technologii w ochronie zdrowia:

- zapewnienie odpowiednich i proporcjonalnych ram regulacyjnych w celu promowania pewności prawa i zachęcania do innowacji poprzez albo opracowanie projektu ustawy o AI w sektorze zdrowia, która kompleksowo regulowałaby zasady oraz granice korzystania z niej, ujednolicając tym samym rozproszone normy prawne w różnych aktach prawnych, albo kompleksowe zmiany legislacyjne: opracowanie planu równoczesnej nowelizacji ustaw dostosowującej regulację do potrzeb AI (m.in.: ust. o prawach pacjenta i Rzeczniku Praw Pacjenta, ust. o zawodzie lekarza i lekarza dentysty, ust. o działalności leczniczej, ust. o udzielaniu świadczeń finansowanych ze środków publicznych, ust. o informatyzacji w ochronie zdrowia oraz szereg innych regulacji odnoszących się do udzielania świadczeń zdrowotnych),
- tworzenie regulacji dla telemedycyny, w tym do zdalnego monitorowania,
- pomoc przedsiębiorstwom w ocenie i pewnym reagowaniu na wymogi regulacyjne oraz ocenie ryzyka w trakcie wdrażania innowacji i rozwoju działalności gospodarczej w oparciu o innowacje minimalizujące obciążenia i biurokrację,
- zwiększenie dostępności źródeł finansowania oraz elastycznych instrumentów finansowych wspierających innowacje, a także zapewnienie narzędzi do oceny efektywności innowacji i wdrożenie mechanizmów refundacyjnych dla zapewnienia powszechnego i równego dostępu do tych rozwiązań,
- tworzenie programów pilotażowych AI dla placówek medycznych z sektora publicznego oraz prywatnego,
- powołanie stałej i niezależnej rady doradczej ds. AI w sektorze zdrowia przy Ministrze Zdrowia, jako ciała doradczego i konsultacyjnego złożonego z ekspertów praktyków wielu dziedzin,
- stworzenie komórki ds. AI i praw pacjentów przy Rzeczniku Praw Pacjenta oraz wytycznych dla RPP (sztuczna inteligencja to potencjalne naruszenia praw pacjentów w obszarze cyfrowym, np. prawa pacjenta do poszanowania jego godności, prawa do poufności, równości, dostępu do informacji i dokumentacji dla niego czy osób przez niego upoważnionych; AI to jednak także ryzyko nadużyć dostępu do informacji o pacjencie przez nieuprawnione organy i służby),
- nowelizacja Kodeksu Etyki Lekarskiej, a także zaangażowanie organizacji pozarządowych (NGO-sów) ds. pacjentów w proces budowania świadomości cyfrowej pacjentów,
- zaangażowanie biznesu w budowanie świadomości cyfrowej e-zdrowia Polaków w ramach CSR (ang. *corporate social responsibility*),
- budowanie zaufania społeczeństwa do sztucznej inteligencji, robotyki i powiązanych z nimi technologii oraz promowanie zarządzania opieką medyczną w oparciu o innowacje technologiczne, procesowe i organizacyjne, wykorzystujące zaawansowane technologie cyfrowe i metody obliczeniowe,
- zmiany w programach kształcenia studentów medycyny i lekarzy na specjalizacjach oraz w programach pozostałych zawodów medycznych, uwzględniające przedmiot e-zdrowia z takimi zagadnieniami jak AI, big data, cyberbezpieczeństwo, RODO; dzisiaj edukacja prawna medyków jest na znikomym poziomie i w żaden sposób nie uwzględnia potrzeb oraz wyzwań, z którymi zmagają się praktykujący lekarze w erze e-zdrowia,
- podnoszenie świadomości prawnej lekarzy oraz innych grup zawodowych medyków: programy informacyjne oraz szkoleniowe dla medyków z zakresu e-zdrowia (praw i obowiązków lekarza, pacjenta, placówki, zasad bezpiecznego korzystania z cyfrowych narzędzi przy hospitalizacji pacjentów),
- opracowanie kodeksu dobrych praktyk dla lekarza w cyberprzestrzeni (aktywność lekarzy w ramach teleporad, spotkań i wykładów *on-line* oraz działania w mediach społecznościowych związane są z licznymi potencjalnymi naruszeniami w obszarze etyki oraz tajemnicy zawodowej; obecne prawodawstwo w tym zakresie i świadomość prawna medyków nie są wystarczające),
- wzmocnienie bezpieczeństwa danych o zdrowiu w aspekcie zakazów dostępu dla sektora ubezpieczeniowego oraz pracodawców,
- budowanie partnerstwa strategicznego z dostawcami usług cyfrowych.
- opracowanie ogólnopolskiej strategii dotyczącej rozwoju i wdrażania AI w sektorze zdrowia na najbliższe lata,

Słowniczek pojęć

Sztuczna inteligencja – naśladowanie przez maszyny, zwłaszcza systemy komputerowe, procesów decydujących o inteligencji człowieka. Inaczej mówiąc, sztuczna inteligencja to nauka o tym, jak produkować maszyny wyposażone w niektóre cechy ludzkiego umysłu, takie jak umiejętność rozumienia języka, rozpoznawania obrazów, rozwiązywania problemów i uczenia się¹.

Model ekonometryczny – formalny opis zależności wyróżnionej wielkości, zjawiska lub przebiegu procesu ekonomicznego od czynników, które je kształtują, wyrażony w formie pojedynczego równania bądź układu równań².

Modele statystyczne – hipoteza lub układ hipotez, sformułowanych w sposób matematyczny (odpowiednio w postaci równania lub układu równań), który przedstawia zasadnicze powiązania występujące pomiędzy rozpatrywanymi zjawiskami rzeczywistymi. [wiki]

Uczenie maszynowe – gałąź sztucznej inteligencji, w której programy automatycznie modyfikują swoją wiedzę i procedury, by poprawić swoją wydajność. Programy działają tu w oparciu o wyraźne instrukcje od nauczyciela, przykłady ze szkoleń, doświadczenia lub eksperymenty generowane przez program. Uczenie maszynowe pozwala komputerom radzić sobie z nowymi sytuacjami dzięki analizie, samokształceniu, obserwacji i zdobywaniu doświadczeń³.

Uczenie głębokie – to podzestaw uczenia maszynowego oparty na sztucznych sieciach neuronowych. Proces *uczenia jest głęboki, ponieważ* struktura sztucznych sieci neuronowych składa się z wielu warstw wejściowych, wyjściowych i ukrytych. Każda warstwa zawiera jednostki, które przekształcają dane wejściowe w informacje, których następne warstwy mogą używać do wykonania pewnego zadania predykcyjnego. Dzięki tej strukturze maszyna może uczyć się za pomocą własnego przetwarzania danych⁴.

Sieci neuronowe – struktury składające się z neuronów połączonych synapsami. Sztuczne sieci neuronowe składają się z trzech typów warstw: wejściowej (zbiera dane i przekazuje je dalej), ukrytej (tu szukane są powiązania między neuronami, czyli zachodzi proces uczenia się) i wyjściowej (gromadzi wnioski, wyniki analizy). Sieć neuronowa może składać się z dowolnej liczby warstw. Technologia sieci neuronowych ma wiele praktycznych zastosowań. Używa się jej m.in. do rozpoznawania pisma ręcznego w celu przetwarzania czeków, transkrypcji mowy na tekst, prognozowania pogody czy rozpoznawania twarzy⁵.

Uczenie nadzorowane – rodzaj uczenia się, w którym instruktor – człowiek zapewnia przykłady do szkolenia i odpowiada za ich prawidłowe klasyfikowanie⁶.

Uczenie nienadzorowane – rodzaj uczenia, w którym punkty danych nie mają etykiet – algorytm samodzielnie oznacza je etykietami, porządkując dane lub opisując ich strukturę⁶.

Uczenie ze wzmocnieniem – dziedzina sztucznej inteligencji, w której chodzi o osiągnięcie celu w niepewnym, potencjalnie złożonym środowisku. Sztuczna inteligencja staje tu przed sytuacją podobną do gry: w drodze prób i błędów komputer szuka rozwiązania danego problemu. By maszyna mogła robić to, czego oczekuje od niej programista, za działania, które wykonuje, jest karana albo nagradzana. Poza karami i nagrodami programista nie udziela jej jednak żadnych wskazówek ani sugestii⁷.

Regresja – rodzaj uczenia nadzorowanego, gdzie algorytm regresji przewidują wartość nowego punktu danych na podstawie danych historycznych⁸.

Klasyfikacja – rodzaj uczenia nadzorowanego, gdzie algorytmy klasyfikacji używają obliczeń predykcyjnych do przypisywania danych do wstępnie ustawionych kategorii⁸.

Przypisy:

1. Definicja za: Słownik, *Sztuczna Inteligencja*, <https://www.sztucznainteligencja.org.pl/definicja/sztuczna-inteligencja/>
2. Definicja za: Słownik, *Uczenie maszynowe*, <https://www.sztucznainteligencja.org.pl/definicja/uczenie-maszynowe/>
3. Por.: *Uczenie głębokie a uczenie maszynowe w Azure Machine Learning*, <https://docs.microsoft.com/pl-pl/azure/machine-learning/concept-deep-learning-vs-machine-learning>
4. Definicja za: Słownik, *Sieci neuronowe*, <https://www.sztucznainteligencja.org.pl/definicja/sieci-neuronowe/>
5. Definicja za: Słownik, *Uczenie nadzorowane*, <https://www.sztucznainteligencja.org.pl/definicja/uczenie-nadzorowane/>
6. Definicja za: *Techniki uczenia maszynowego*, <https://azure.microsoft.com/pl-pl/overview/machine-learning-algorithms/#techniques>
7. Definicja za: Słownik, *Sztuczna inteligencja, Uczenie ze wzmocnieniem* <https://www.sztucznainteligencja.org.pl/definicja/uczenie-wzmocnieniem/>
8. Definicja za: *Przykłady algorytmów uczenia maszynowego*, <https://azure.microsoft.com/pl-pl/overview/machine-learning-algorithms/#techniques>



ailawtech.org
microsoft.com