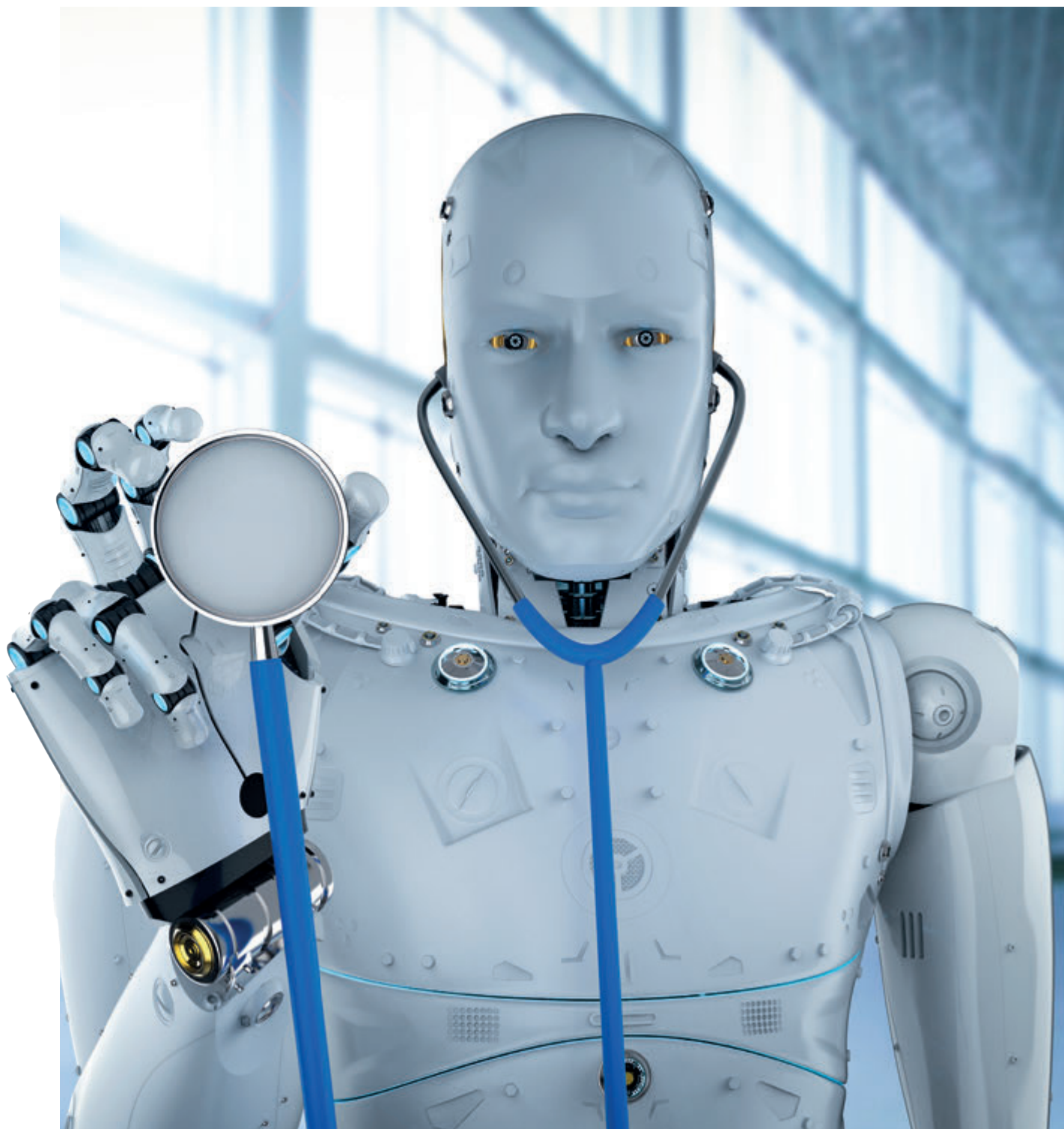


Sztuczna inteligencja i robotyka w praktyce



Fot. iStockphoto.com

GRZEGORZ GIELERAK

W ostatnich latach światowa medycyna przechodzi dynamiczną transformację dzięki sztucznej inteligencji (Artificial Intelligence – AI) i robotyce, uznawanym za ważne narzędzia, dzięki którym sprosta się globalnym wyzwaniom ochrony zdrowia – od starzejących się społeczeństw po niedobory personelu. Świadczy o tym gwałtowny wzrost inwestycji oraz intensyfikacja badań: według raportu Grand View Research globalny rynek AI w medycynie ma rosnąć średnio o 42 proc. rocznie w latach 2025–2028. Napędzają go m.in. rosnąca dostępność danych cyfrowych, presja na redukcję kosztów opieki oraz potrzeba szybszej diagnostyki i skuteczniejszych terapii. Coraz więcej szpitali wdraża systemy AI wspierające diagnostykę i zarządzanie danymi, a organy regulacyjne dopuszczają do użytku kolejne urządzenia medyczne oparte na tej technologii.

W tym kontekście konieczna staje się pogłębiona refleksja nad potencjałem oraz ograniczeniami związanymi z implementacją AI i robotyki w praktyce klinicznej – z jednej strony wiąże się ona z nadziejami na zwiększenie efektywności pracy personelu medycznego, personalizację terapii i szerszy dostęp pacjentów do wysokiej jakości świadczeń zdrowotnych, z drugiej zaś rodzi istotne pytania dotyczące bezpieczeństwa, odpowiedzialności prawnej i etycznej, ochrony prywatności danych oraz zagwarantowania, że człowiek zachowa nadrzędną rolę decyzyjną w procesie diagnostyczno-terapeutycznym.

Nie ulega wątpliwości, że doświadczamy przełomu, wyznaczającego narodziny nowej dziedziny medycyny czerpiącej z zasobów AI – jeszcze w 2016 r. pojawiały się pierwsze publikacje na ten temat (około 6,8 tys.), będące ostrożnymi próbami zrozumienia potencjału nowej technologii. W 2024 r. liczba publikacji dotyczących AI w medycynie przekroczyła 28 tys., co oznacza, że każdego dnia powstaje średnio ponad 75 nowych prac naukowych, które mogą realnie wpłynąć na sposób leczenia. Zjawisko to warto postrzegać nie tylko jako wzrost liczby publikacji, lecz przede wszystkim jako dynamiczne przesuwanie granic współczesnej medycyny – wyraz rosnącego zainteresowania AI oraz jej potencjału do trwałego przekształcania diagnostyki, terapii i organizacji systemów opieki zdrowotnej.

Stoimy u progu przełomu porównywalnego z odkryciem antybiotyków czy wynalezieniem technik obrazowania medycznego – diagnostyka i leczenie nie tylko staną się szybsze i dokładniejsze, lecz także będą oparte na zupełnie nowych regułach i wartościach. W istocie nie mamy do czynienia jedynie ze wzrostem zainteresowania technologią, lecz z fundamentalną przemianą tego, czym medycyna może się

stać dzięki interakcji między personelem medycznym a cyfrowymi systemami wspomagania decyzji. To zaproszenie do redefinicji sposobu i warunków funkcjonowania współczesnej opieki zdrowotnej, skłaniającej do refleksji nad tym, czy i dlaczego potrzebujemy tej technologii, jakie rozszerzone możliwości diagnostyczno-terapeutyczne za nią stoją oraz co jej dynamiczny rozwój mówi o naszym dążeniu do przekraczania granic poznania. Jak zauważył Arthur C. Clarke: „Każda dostatecznie zaawansowana technologia jest nieodróżnialna od magii” – a to, co dziś jawi się niczym magia, jutro może stać się standardem, o ile zadamy o odpowiedzialną implementację popartą rzetelną analizą etyczną i prawną.

Ewolucja randomizowanych badań klinicznych w erze sztucznej inteligencji – od „cyfrowych bliźniaków” do medycyny personalizowanej

Coraz więcej badań klinicznych, w tym randomizowanych badań kontrolowanych (RCT), potwierdza skuteczność i innowacyjny potencjał rozwiązań opartych na AI. Analiza wyników 39 RCT wykazała, że w 77 proc. przypadków zastosowanie AI przewyższało skuteczność standardowej opieki medycznej, a w 70 proc. z nich odnotowano poprawę klinicznie istotnych punktów końcowych – takich jak wczesne wykrywanie zmian patologicznych w badaniach radiologicznych czy obrazowaniu endoskopowym. Narzędzia wykorzystujące przetwarzanie języka naturalnego, takie jak TrialGPT, skróciły czas kwalifikacji pacjentów o 43 proc., analizując ponad 18 tys. adnotacji klinicznych, osiągając przy tym 87 proc. skuteczności w dopasowaniu do kryteriów włączenia. Równocześnie algorytmy głębokiego uczenia wykazały wyższą niż lekarze czułość w diagnostyce retinopatii cukrzycowej (85 proc. vs 78 proc.).

Sztuczna inteligencja wspiera badania kliniczne już od fazy projektowej, w której wykorzystuje się symulacje tzw. cyfrowych bliźniaków (digital twins), pozwalające na weryfikację protokołów in silico – co znacząco obniża koszty i ogranicza ryzyko błędów. Analiza danych historycznych dotyczących kohort pacjentów wspiera optymalizację wielkości próby badawczej. W zakresie monitorowania bezpieczeństwa systemy uczące się potrafią wykrywać do 92 proc. zdarzeń niepożądanych z wyprzedzeniem sięgającym 48 godzin w porównaniu z metodami konwencjonalnymi. Adaptacyjne projekty badań umożliwiają dynamiczną modyfikację protokołu w trakcie jego realizacji, zwiększając ich elastyczność i efektywność. W fazie analizy wyników AI wspiera automatyzację ekstrakcji danych z dokumentacji medycznej, co przekłada się na 34-procentową redukcję błędów ludzkich. Mimo

obietujących rezultatów wykorzystanie AI w badaniach klinicznych wiąże się z istotnymi wyzwaniami. Tradycyjne RCT trwają zazwyczaj od 12 do 24 miesięcy, podczas gdy udział AI może skrócić ten okres do 6–18 miesięcy. Koszt rekrutacji pacjenta spada średnio z 15–25 tys. do 8–12 tys. dol. Niemniej aż 68 proc. analizowanych badań prowadzono w pojedynczych ośrodkach, a średnia wielkość próby wynosiła zaledwie 143 uczestników. Jedynie 23 proc. projektów spełniało zasady FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) w zakresie jakości i dostępności danych treningowych, natomiast w 38 proc. przypadków stwierdzono obecność uprzedzeń algorytmicznych, co oznacza, że modele AI podejmowały decyzje w sposób systematycznie zniekształcony – na przykład faworyzując określone grupy pacjentów lub marginalizując inne ze względu na ich niedostateczną reprezentację w zbiorach treningowych.

Zastosowania sztucznej inteligencji nie ograniczają się już wyłącznie do badań klinicznych – dziś obejmują całe spektrum systemu opieki zdrowotnej: od strategicznego planowania zasobów medycznych i wsparcia procesów w farmacji po decyzje podejmowane bezpośrednio przy łóżku chorego. W przemyśle farmaceutycznym AI wspiera zaawansowane modelowanie molekularne – symulacje struktur białkowych prowadzone z wykorzystaniem komputerów kwantowych znacząco przyspieszają identyfikację kandydatów na nowe leki i rozwój terapii personalizowanych. Algorytmy monitorują łańcuchy dostaw i zarządzają strategicznymi rezerwami, umożliwiając wczesne wykrywanie zagrożeń i optymalną dystrybucję produktów w warunkach kryzysowych. Równocześnie automatyzują kolejne etapy badań klinicznych – od kwalifikacji uczestników, przez bieżący monitoring skuteczności i bezpieczeństwa, po analizę danych – co razem skraca czas wprowadzania innowacyjnych cząsteczek na rynek i wzmacnia konkurencyjność sektora działalności.

Na poziomie systemowym sztuczna inteligencja usprawnia przepływ pacjentów między poziomami referencyjnymi, wspiera analizy epidemiologiczne oraz prognozuje występowanie ognisk chorób zakaźnych. Największą wartość wnosi jednak w obszarze wspomagania decyzji klinicznych – integrując obszerne, heterogeniczne zbiory danych medycznych, umożliwia szybsze i trafniejsze rozpoznania oraz precyzyjne dostosowanie terapii do indywidualnych potrzeb pacjenta. Tego rodzaju wdrożenie przekłada się na efektywniejsze zarządzanie zasobami, poprawę dostępności i jakości świadczeń, a także zwiększenie bezpieczeństwa chorych. Co równie istotne, dzięki pełnej integracji danych, automatyzacji procesów oraz wysokiej zdolności adaptacyjnej do zmieniających się warunków otoczenia systemy oparte na AI wzmacniają odporność systemu ochrony zdrowia – zwłaszcza w kontekście dynamicznych zmian operacyjnych i sytuacji kryzysowych.

Human-in-the-loop – synergiczne partnerstwo człowieka i algorytmu w celu precyzyjnej diagnostyki i spersonalizowanej terapii

Kluczowym modelem integracji systemów AI w medycynie jest podejście human-in-the-loop (HITL), zakładające stałą współpracę człowieka i sztucznej inteligencji w procesach klinicznych. Koncepcja ta zapewnia, że zaawansowane algorytmy wspierają podejmowanie decyzji medycznych, pozostając pod nadzorem eksperta. Synergia potencjału obliczeniowego AI z doświadczeniem, intuicją i odpowiedzialnością klinicysty przekłada się na wyższą skuteczność diagnostyczną, lepsze dopasowanie terapii do indywidualnych potrzeb oraz zwiększenie bezpieczeństwa pacjentów.

W diagnostyce – szczególnie w radiologii i onkologii – algorytmy AI są w stanie błyskawicznie analizować obszerne zbiory danych medycznych, takich jak obrazy czy wyniki badań laboratoryjnych, wykrywając subtelne nieprawidłowości niewidoczne gołym okiem. Lekarz pozostaje kluczowym uczestnikiem procesu decyzyjnego – weryfikuje sugestie generowane przez system i interpretuje je w kontekście klinicznym, co pozwala nie tylko przyspieszyć rozpoznanie chorób, ale także zwiększyć trafność diagnoz, osiągając wyższą skuteczność niż działania podejmowane wyłącznie przez człowieka lub samodzielnie działający algorytm.

W obszarze terapii – m.in. w kardiologii, onkologii czy diabetologii – model HITL umożliwia optymalizację leczenia. Algorytmy prognozują skuteczność interwencji terapeutycznych lub sugerują schematy leczenia na podstawie analizy dużych baz danych, np. przy doborze leków onkologicznych czy dostosowaniu dawkowania insuliny. Ostateczna decyzja należy jednak do lekarza, który uwzględnia nie tylko dane i predykcje AI, lecz także własną wiedzę, doświadczenie oraz indywidualne potrzeby pacjenta.

Kolejnym istotnym zastosowaniem modelu HITL jest personalizacja leczenia, w której AI analizuje indywidualne cechy chorego – od profilu genetycznego po styl życia – proponując spersonalizowane strategie terapeutyczne i żywieniowe. Propozycje te są następnie weryfikowane i dostosowywane przez lekarza do szczegółowego kontekstu klinicznego, co umożliwia wdrożenie podejścia sztytgo na miarę – zarazem skutecznego i bezpiecznego. Model ten zwiększa również bezpieczeństwo kliniczne. W opiece zdalnej – na przykład u pacjentów geriatrycznych lub z cukrzycą – algorytmy monitorują parametry życiowe i błyskawicznie wykrywają niepokojące odchylenia, takie jak zaburzenia rytmu serca czy duże wahania glikemii. Połączenie ciągłej czujności systemu z reakcją lekarza umożliwia szybką interwencję i zapobieganie powikłaniom, a stała obecność człowieka w procesie decyzyjnym gwarantuje, że żadne działanie AI nie zostanie wdrożone bez uprzedniej oceny eksperta – co minimalizuje ryzyko błędów i wzmacnia zaufanie do technologii.

Algorytmy uczenia maszynowego potrafią analizować ogromne ilości danych medycznych – od wyników badań laboratoryjnych, przez sygnały biologiczne, po obrazy diagnostyczne – identyfikując wzorce niewidoczne gołym okiem. W radiologii systemy AI wspomagają interpretację obrazów, przyspieszając wykrywanie zmian patologicznych na zdjęciach RTG, tomografii komputerowej i rezonansu magnetycznego. Na przykład w randomizowanym badaniu z 2023 r. wykazano, że zastosowanie AI do analizy zdjęć klatki piersiowej ponaddwukrotnie zwiększyło wykrywalność drobnych guzków płuc o istotnym znaczeniu klinicznym w porównaniu z tradycyjnym podejściem. Podobne wyniki uzyskuje się w patologii cyfrowej, gdzie algorytmy analizy obrazu z dużą precyzją identyfikują komórki nowotworowe w preparatach histopatologicznych, wspierając patomorfologów w procesie diagnostycznym.

AI znajduje również zastosowanie w analizie danych klinicznych i prognozowaniu. W kardiologii i intensywnej terapii systemy uczące się wykorzystywane są do przewidywania ryzyka powikłań – takich jak zawał serca czy sepsa – na podstawie danych z monitoringu pacjenta. Modele predykcyjne oparte na AI analizują w czasie rzeczywistym sygnały życiowe, takie jak EKG czy pulsoksymetria, ostrzegając personel medyczny o zbliżającym się zagrożeniu, zanim pojawią się objawy kliniczne, pełniąc funkcję dodatkowych oczu i uszu czuwających nad pacjentem przez całą dobę. W literaturze fachowej wielokrotnie odnotowano przypadki, gdy algorytmy AI przewyższały klasyczne modele statystyczne w ocenie ryzyka klinicznego – na przykład w okołooperacyjnej opiece anestezjologicznej, gdzie zastosowanie uczenia maszynowego do analizy danych pacjenta umożliwia prognozowanie powikłań, takich jak nagłe spadki ciśnienia czy zaburzenia saturacji, dając zespołowi operacyjnemu cenny czas na podjęcie właściwej interwencji.

Aktualne badania potwierdzają, że algorytmy AI w diagnostyce medycznej często osiągają czułość i swoistość porównywalną z wynikami uzyskiwanymi przez lekarzy, zwłaszcza mniej doświadczonych, a w niektórych przypadkach nawet je przewyższają. Najnowsze metaanalizy wskazują, że wybrane modele – takie jak GPT-4 czy Prometheus – dorównują efektywnością diagnostyczną lekarzom ogólnym, przy czym różnice nie są statystycznie istotne. W porównaniu z doświadczonymi specjalistami AI nadal wypada nieco słabiej, ustępując im średnio o 10–15 punktów procentowych. W kilku randomizowanych badaniach klinicznych algorytmy przewyższały jednak lekarzy w rozpoznawaniu częstych chorób, co można przypisać ich konsekwentnemu stosowaniu wytycznych oraz skrupulatnej analizie kompletnych danych klinicznych. Na przykład w jednym z badań rekomendacje wygenerowane przez AI oceniono jako „optymalne”

w 77 proc. przypadków, podczas gdy lekarze osiągnęli ten wynik w 67 proc. W diagnostyce chorób rzadkich – takich jak chłoniaki nieziarnicze – systemy AI, dzięki dostępowi do globalnych baz danych, uzyskują skuteczność nawet o 30 proc. wyższą niż specjaliści. W przypadku powszechnie występujących schorzeń różnice te są jednak mniejsze – na przykład lekarz wspierany przez AI skraca czas postawienia diagnozy z 15–45 minut do 2–7 minut, poprawia wykrywalność zmian poniżej 2 mm z 68 proc. do 89 proc., a odsetek przeoczonych nieprawidłowości spada z 12 proc. do 4 proc. Co istotne, algorytmy AI nie tylko popełniały mniej potencjalnie szkodliwych błędów diagnostycznych niż lekarze, lecz także szczególnie dobrze sprawdzały się jako narzędzia wspomagające w rozpoznawaniu rzadkich lub nietypowych przypadków, w których indywidualne doświadczenie klinicysty może być niewystarczające.

Warto jednak podkreślić, że skuteczność AI nadal zależy od konkretnej specjalizacji i obszaru zastosowania klinicznego. W niektórych dziedzinach, takich jak ginekologia czy chirurgia plastyczna, systemy oparte na sztucznej inteligencji osiągają lepsze wyniki niż w bardziej złożonych obszarach, takich jak neurologia lub endokrynologia. W neurologii AI wspiera analizę obrazów mózgu, wykrywanie udarów oraz ocenę zaburzeń funkcji poznawczych, jednak jej efektywność w dużej mierze uzależniona jest od jakości danych oraz specyfiki schorzeń. Z kolei w endokrynologii sztuczna inteligencja znajduje zastosowanie w diagnostyce, prognozowaniu ryzyka oraz personalizacji terapii, choć złożoność zaburzeń metabolicznych i hormonalnych sprawia, że jej pełne wdrożenie wymaga pogłębionych badań i szerokiej walidacji klinicznej.

W ortopedii i neurochirurgii specjalistyczne roboty asystują w prowadzeniu narzędzi chirurgicznych z precyzją sięgającą milimetra, co okazuje się nieocenione przy wszczepianiu endoprotez i zabiegach na kręgosłupie. Rola sztucznej inteligencji nie kończy się jednak na etapie operacji – AI odgrywa coraz większą rolę również w okołooperacyjnym podejmowaniu decyzji. Wykorzystanie wyspecjalizowanych algorytmów do analizy danych związanych z przebiegiem zabiegu i stanem pacjenta, takich jak utrata krwi czy parametry życiowe, wspiera chirurgów i anestezjologów w podejmowaniu szybszych i trafniejszych decyzji klinicznych. Systemy wsparcia decyzji, analizując w czasie rzeczywistym dane z tysięcy porównywalnych przypadków, mogą proponować optymalne działania kliniczne – takie jak precyzyjne dawkowanie leków podczas znieczulenia – pełniąc funkcję rzeczywistego „asystenta” chirurgów i istotnie zwiększając bezpieczeństwo chorego w trakcie zabiegu. Co więcej, już dziś istnieją prototypy rozwiązań, które umożliwiają analizę obrazu z pola operacyjnego w celu rozpozna-

wania struktur anatomicznych oraz ostrzegania przed potencjalnym uszkodzeniem szczególnie wrażliwych tkanek. W nadchodzących latach można spodziewać się coraz ściślejszej integracji AI z robotyką chirurgiczną, a nawet wprowadzenia częściowo autonomicznych procedur, w których lekarz będzie pełnił przede wszystkim funkcję nadzorczą i decyzyjną.

Sztuczna inteligencja w służbie ciągłości opieki – od predykcji po personalizację terapii

Nowoczesne rozwiązania oparte na AI odgrywają coraz istotniejszą rolę w systemach opieki zdrowotnej, umożliwiając zdalne i ciągle monitorowanie stanu zdrowia pacjentów oraz personalizację interwencji terapeutycznych. Integracja AI z urządzeniami noszonymi (wearables) i aplikacjami mobilnymi umożliwia gromadzenie danych medycznych – takich jak ciśnienie tętnicze, poziom glukozy we krwi czy aktywność fizyczna – które, analizowane w czasie rzeczywistym, pozwalają na wczesne wykrywanie nieprawidłowości, natychmiastową interwencję oraz precyzyjne dostosowanie leczenia do bieżącego stanu pacjenta. Technologie te mają szczególne znaczenie w opiece nad osobami z chorobami przewlekłymi, takimi jak cukrzyca czy schorzenia układu sercowo-naczyniowego, a także w monitorowaniu stanu zdrowia osób starszych oraz pacjentów po hospitalizacji.

Zastosowanie AI może również znacząco poprawić przestrzeganie zaleceń terapeutycznych, analizując zarówno dane behawioralne, jak i medyczne w celu identyfikacji pacjentów mających trudności z regularnym przyjmowaniem leków. W tym celu wykorzystywane są inteligentne przypomnienia, powiadomienia dla opiekunów oraz analiza wzorców zachowań chorych. Badania pokazują, że wdrożenie AI w terapii antykoagulacyjnej może zwiększyć skuteczność przyjmowania leków nawet o 50–67 proc. w porównaniu z tradycyjnymi metodami. Kolejnym istotnym aspektem jest personalizacja interwencji terapeutycznych. Algorytmy AI przewidują ryzyko nieprzestrzegania zaleceń i dostosowują strategię przypomnień do indywidualnych potrzeb pacjenta, uwzględniając m.in. rytm dobowy, nawyki oraz wcześniejsze zachowania. Badania wskazują, że tego rodzaju podejście zwiększa przestrzeganie zaleceń terapeutycznych o 30–40 proc. w porównaniu ze standardowymi metodami, jednocześnie zmniejszając liczbę hospitalizacji spowodowanych niewłaściwym leczeniem o 15–25 proc.

Sztuczna inteligencja znajduje także zastosowanie w systemach wczesnego ostrzegania przed pogorszeniem stanu zdrowia pacjenta. Algorytmy analizujące dane w czasie rzeczywistym potrafią wykrywać subtelne odchylenia w parametrach życiowych, które mogą sygnalizować rozwijające się powikłania. Dzięki temu znacząco skracają czas reakcji terapeutycznej, zmniejszając ryzyko hospitalizacji i poprawiają rokowa-

nia chorych. Dobrym przykładem są zautomatyzowane moduły, które na podstawie analizy wskaźników ryzyka natychmiast informują personel medyczny o konieczności podjęcia interwencji.

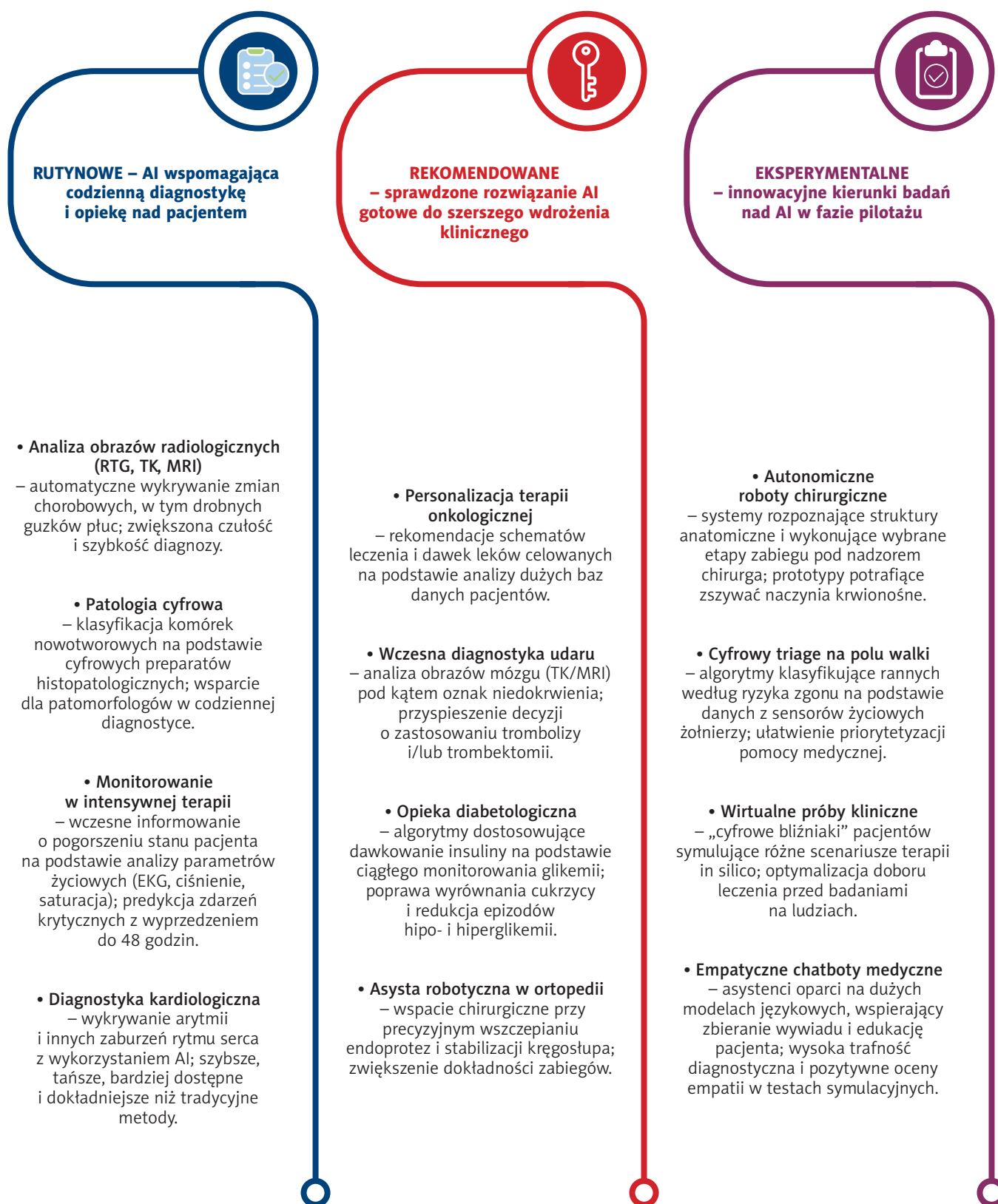
Algorytmy predykcyjne na polu walki – dynamiczne planowanie opieki medycznej w cyfrowych siłach zbrojnych

Jednym z najbardziej zaawansowanych wdrożeń AI w ochronie zdrowia, a zarazem kluczowym filarem cyfrowej transformacji wojska, jest system dynamicznego planowania opieki medycznej na polu walki, integrujący dane taktyczne z algorytmami predykcyjnymi w spójnej strukturze dowodzenia. Noszone przez żołnierzy sensory przesyłają w czasie rzeczywistym dane dotyczące parametrów życiowych i lokalizacji poszkodowanego do modułu Digital Triage Assistant, którego algorytm natychmiast klasyfikuje rannych według ryzyka zgonu, skracając czas triage i kierując zespoły ratunkowe tam, gdzie szanse na uratowanie poszkodowanego są największe.

Kolejnym poziomem jest warstwa telemedyczna. Bezpieczne łącza taktyczne umożliwiają chirurgom udzielenie zdalnego wsparcia już kilka minut po urazie, co według danych Joint Trauma System zmniejsza liczbę powikłań i redukuje odsetek niepotrzebnych ewakuacji strategicznych o kilkanaście procent. Równolegle działa moduł logistyczny wykorzystujący prognozy AI do dynamicznego korygowania planów MEDEVAC (Medical Evacuation) – analiza natężenia działań operacyjnych wojska, dostępności śmigłowców oraz stanu infrastruktury pozwoliła w symulacjach skrócić czas transportu do szpitala polowego o 26 proc., jednocześnie obniżając śmiertelność w trakcie ewakuacji.

Na etapie leczenia szpitalnego system rejestruje pełną ścieżkę danych klinicznych od momentu urazu – algorytmy automatycznie wykrywają krwotoki wewnątrzczaszkowe na obrazach CT i prognozują destabilizację hemodynamiczną, co według badań symulacyjnych pozwoliło skrócić czas podjęcia decyzji operacyjnej z 18 do 7 minut. Kluczowym efektem jest nie tylko zwiększenie przeżywalności, lecz także wzmocnienie odporności całej infrastruktury medycznej – redundancja łączności, interoperacyjne standardy danych oraz zdolność do przedłużonej opieki w warunkach utraty przewagi w powietrzu istotnie ograniczają ryzyko niewydolności systemu podczas operacji hybrydowych.

Wyniki analiz są równolegle udostępniane służbom cywilnym, co umożliwia dynamiczne przekierowywanie zasobów – od zapasów krwi po mobilne zespoły intensywnej terapii – i wzmacnia ogólnospołeczną odporność. Tym samym model oparty na predykcji deficytów kadrowo-materiałowych oraz ciągłym uczeniu się na podstawie danych operacyjnych przekształca



Rycina 1. Wybrane zastosowania sztucznej inteligencji w medycynie, uporządkowane według stopnia zaawansowania klinicznego – od rozwiązań rutynowo używanych w codziennej praktyce, przez rekomendowane technologie gotowe do szerokiego wdrożenia, po innowacyjne podejścia będące przedmiotem badań pilotażowych. Zestawienie odzwierciedla aktualny stan integracji AI w systemie ochrony zdrowia oraz wskazuje możliwe kierunki jej dalszego rozwoju

logistykę opieki nad rannymi z reaktywnej w proaktywną i predykcyjną, realizując ideę ciągłego doskonalenia zabezpieczenia medycznego (ryc. 1).

Od wsparcia do współodpowiedzialności, czyli jak AI zmienia relacje w opiece zdrowotnej XXI w.

AI w relacji lekarz – pacjent: nowe wyzwania i perspektywy

Badanie zespołu Google DeepMind, obejmujące 149 scenariuszy klinicznych z udziałem 20 symulowanych pacjentów oraz 20 lekarzy pierwszego kontaktu – przy czym ani pacjenci, ani konsultanci nie wiedzieli, czy rozmawiają z człowiekiem, czy algorytmem – wykazało, że sztuczna inteligencja może skutecznie konkurować z lekarzami pod względem empatii i jakości komunikacji z chorymi. Eksperymentalny chatbot medyczny, oparty na zaawansowanym modelu językowym (large language model – LLM) i nazwany Articulate Medical Intelligence Explorer (AMIE), osiągnął w symulacjach wyraźnie lepsze wyniki niż lekarze podstawowej opieki zdrowotnej. AMIE wykazał

się większą precyzją diagnostyczną – szczególnie w przypadkach chorób układu oddechowego i krążenia – oraz uzyskiwał porównywalną liczbę istotnych informacji klinicznych. Co więcej, system AI prezentował znacząco wyższy poziom empatii, oceniany w takich aspektach, jak uprzejmość, uspokajanie pacjenta, uważne słuchanie, klarowne wyjaśnianie diagnozy i terapii oraz budowanie zaufania. Analiza wyników pokazała, że AI nie tylko dorównuje lekarzom pod względem trafności diagnostycznej, lecz także znacząco przewyższa ich w jakości komunikacji – chatbot uzyskiwał lepsze oceny w większości badanych kategorii, a jego wypowiedzi były bardziej szczegółowe, co pacjenci odbierali jako większe zaangażowanie i indywidualne podejście. Autorzy badania zastrzegają jednak, że wysoka skuteczność AI w prowadzeniu wywiadów nie oznacza, że przewyższa ona lekarzy w ogólnym ujęciu. Na wyniki mogły wpłynąć m.in. brak doświadczenia lekarzy w konsultacjach tekstowych oraz przewaga technologiczna AI – polegająca na szybkim generowaniu obszernych odpowiedzi, korzystaniu z rozległej bazy wiedzy medycznej i utrzymywaniu stałego poziomu uprzejmości bez oznak zmęczenia. Ekspertsi podkreślają, że medycyna to nie tylko przekazywanie informacji, ale przede



Rycina 2. Postawy respondentów wobec AI. Opracowanie własne na podstawie [<https://x.com/jduyan/status/1746968587963682958>]

wszystkim relacje międzyludzkie i zrozumienie kontekstu – czego AI, przynajmniej na obecnym etapie, nie może w pełni zastąpić.

Wyniki badania mają też ważne implikacje praktyczne – odpowiednio zaprojektowane systemy AI mogą realnie wspierać lekarzy, zapewniając pacjentom dostęp do rzetelnych informacji i empatycznej komunikacji, co staje się szczególnie cenne w warunkach ekstremalnych, takich jak np. medycyna taktyczna. W praktyce oznacza to, że w środowiskach silnie obciążonych – takich jak wojskowe działania operacyjne, gdzie czas, wyczerpanie personelu i ograniczenia w dostępności zasobów limitują możliwości reagowania – wykorzystanie AI może usprawnić proces podejmowania decyzji klinicznych, zwiększając ich trafność i tempo. Sztuczna inteligencja może pełnić funkcję wsparcia w zakresie prowadzenia wywiadu medycznego, oceny priorytetów leczenia (triage) oraz udzielania podstawowej pomocy psychologicznej, co łącznie może wydatnie podnieść skuteczność i ciągłość opieki medycznej na polu walki.

Wprowadzenie empatycznych modeli językowych do medycyny niewątpliwie przysporzy sporo potencjalnych korzyści, takich jak zwiększenie satysfakcji i zaangażowania pacjentów, odciążenie personelu dzięki automatyzacji rutynowych zadań, poprawa dostępności opieki w trudno osiągalnych lokalizacjach oraz standaryzacja jakości komunikacji. Jednocześnie implementacja tych rozwiązań niesie wyzwania, wśród których najważniejsze to ryzyko błędów diagnostycznych (tzw. halucynacje AI), niejasności prawne w zakresie odpowiedzialności, możliwość dyskryminacji wynikającej z uprzedzeń algorytmicznych, potrzeba skutecznej ochrony danych osobowych oraz dylematy etyczne dotyczące relacji pacjent – AI (ryc. 2).

Najnowsze badania zespołów z uniwersytetów Stanforda i Harvarda potwierdzają, że sztuczna inteligencja wykazuje ponadprzeciętne zdolności diagnostyczne oraz zaawansowane rozumowanie kliniczne, nierzadko przewyższając lekarzy wykonujących rutynowe zadania medyczne. Odkrycie to otwiera więc nowe perspektywy dla przyszłości systemów ochrony zdrowia. Autorzy badań podkreślają, że szczególnym obszarem przewagi AI jest diagnostyka różnicowa – kreatywny i asocjacyjny proces formułowania możliwych rozpoznań na podstawie zgłaszanych objawów. Co istotne, pacjenci coraz częściej samodzielnie korzystają z narzędzi opartych na sztucznej inteligencji do wstępnej oceny stanu zdrowia jeszcze przed wizytą u lekarza. Trend ten rodzi jednak istotne pytania dotyczące jego dalszych konsekwencji. Czy rozwój AI sprawi, że np. pielęgniarki posiadające specjalizację będą mogły świadczyć opiekę medyczną na poziomie porównywalnym z lekarzami? Taki scenariusz mógłby znacząco zwiększyć dostępność świadczeń zdrowotnych i jednocześnie odciążyć lekarzy, przyczyniając

„ Jeszcze w 2016 r. pojawiały się pierwsze publikacje na ten temat (około 6,8 tys.), będące ostrożnymi próbami zrozumienia potencjału nowej technologii. W 2024 r. liczba publikacji dotyczących AI w medycynie przekroczyła 28 tys. ”

się do ograniczenia zjawiska wypalenia zawodowego. Alternatywnie, możliwy jest model, w którym systemy AI – działając pod nadzorem lekarzy – przejmą część obowiązków dotychczas będących w gestii personelu pielęgniarskiego. Niezależnie od przyjętego kierunku autorzy badań zgodnie podkreślają, że wyzwania związane z wdrażaniem AI w medycynie mają charakter nie tylko technologiczny, lecz przede wszystkim organizacyjny i etyczny. Kluczowe będzie wypracowanie skutecznych modeli nadzoru oraz jasne określenie granic autonomii systemów AI – kiedy mogą działać samodzielnie, a kiedy wymagana jest interwencja człowieka. Rozstrzygnięcie tych kwestii okaże się decydujące dla bezpiecznego i odpowiedzialnego wykorzystania AI w praktyce klinicznej.

Od wizji do odpowiedzialnej praktyki

Sztuczna inteligencja stanowi przełomowy czynnik transformacji współczesnej medycyny – porównywalny pod względem znaczenia do odkrycia promieni rentgenowskich czy sekwencjonowania ludzkiego genomu – oferując potencjał istotnej poprawy diagnostyki, personalizacji terapii oraz efektywności systemów opieki zdrowotnej. Jak każda rewolucja technologiczna wdrożenie AI w medycynie rodzi jednak poważne pytania i wątpliwości, szczególnie w kontekście wpływu na zdrowie i życie pacjentów. Kluczowym wyzwaniem pozostaje zatem stworzenie odpowiednich ram prawnych i etycznych, które zagwarantują bezpieczne i skuteczne wykorzystanie tej technologii w praktyce klinicznej. Po stronie legislacyjnej oznacza to konieczność opracowania przejrzystych regulacji chroniących prywatność danych pacjentów oraz jednoznacznie określających odpowiedzialność za decyzje podejmowane przez algorytmy. Równie istotne jest zapewnienie bezpieczeństwa etycznego – systemy AI powinny respektować fundamentalne wartości opieki zdrowotnej, w tym zasadę *primum non nocere*, oraz być wolne od algorytmicznych uprzedzeń i dyskryminacji. Wymagana jest od nich pełna transparentność działania oraz możliwość weryfikacji decyzji przez specjalistów, co

buduje zaufanie zarówno wśród lekarzy, jak i pacjentów. W praktyce oznacza to, że rozwiązania oparte na AI powinny promować równość, sprawiedliwość i odpowiedzialność – zarówno po stronie twórców technologii, jak i jej użytkowników.

W obliczu dynamicznego rozwoju sztucznej inteligencji, która coraz wyraźniej wpływa na współczesną praktykę kliniczną, konieczne jest zachowanie równowagi między innowacyjnością a odpowiedzialnością. Lekarz jako rzeczywisty „czynnik leczniczy”, powinien nie tylko rozumieć możliwości i ograniczenia systemów AI, ale także sprawować nad nimi świadomy nadzór, oparty na wiedzy, etyce zawodowej i obowiązującym prawie. Tym bardziej że – mimo niewątpliwego potencjału AI w usprawnianiu procesów rutynowych i odciążaniu zespołów medycznych – znaczna część lekarzy, podobnie jak pacjentów, nadal podchodzi do jej wdrażania z ostrożnością. Sytuacja ta wskazuje na pilną potrzebę pogłębienia kompetencji cyfrowych oraz szerszej refleksji nad relacją człowiek – technologia, która w dobie społeczeństwa cyfrowego zyskuje nie tylko praktyczny, ale także głęboko egzystencjalny wymiar – akcentując znaczenie prywatności, bezpieczeństwa danych i nienaruszalności ludzkiej godności jako fundamentów odpowiedzialnego wykorzystania AI w medycynie.

Nie sposób pominąć również systemowego wymiaru zagadnienia. Upowszechnienie AI w ochronie zdrowia wymaga równoczesnego przygotowania zarówno infrastruktury, jak i personelu – od wdrożenia zaawansowanych zabezpieczeń cyfrowych i standardów cyberbezpieczeństwa po szkolenia zespołów klinicznych, które muszą nauczyć się efektywnej współpracy z inteligentnymi narzędziami. Konieczne jest opracowanie procedur integrujących algorytmy z procesami klinicznymi przy zachowaniu stałego nadzoru specjalistów, aby decyzje generowane przez systemy AI pozostawały pod świadomą kontrolą człowieka – szczególnie w newralgicznych obszarach, takich jak diagnostyka i terapia. Międzynarodowe instytucje – z WHO na czele – podkreślają potrzebę stworzenia globalnych ram regulacyjnych i wzmocnienia międzynarodowej współpracy, aby nadążyć za tempem rozwoju technologicznego i ujednolicić standardy bezpieczeństwa. Tylko skoordynowana współpraca lekarzy, naukowców, prawników i decydentów może zapewnić trwałe zaufanie do sztucznej inteligencji jako integralnej części systemu ochrony zdrowia, ponieważ warunkiem jej skutecznej integracji jest świadome, odpowiedzialne i etyczne wykorzystanie tej technologii.

Perspektywy rozwoju i rekomendacje

Współpraca lekarzy z systemami AI stanowi dynamicznie rozwijającą się perspektywę interpretacyjną, wymagającą operacyjnego i strategicznego dostosowania struktur systemu ochrony zdrowia. Obecnie AI osiąga 97 proc. czułości w analizie standaryzowanych danych diagnostycznych, szczególnie w kardiologii

i radiologii, jednak jej skuteczność maleje w przypadku interpretacji subiektywnych objawów lub danych o niejednorodnej strukturze. Kluczowym wyzwaniem pozostaje optymalizacja interfejsu człowiek – maszyna. Badania wskazują, że lekarze działający pod presją czasu popełniają o 23–26 proc. więcej błędów przy nietrafionych rekomendacjach AI, natomiast prawidłowe wskazania systemu zwiększają trafność diagnostyczną do 93 proc.

W kontekście wykorzystania AI w ochronie zdrowia stwierdzenie „redystrybucja zadań klinicznych wymaga podejścia systemowego” podkreśla konieczność całościowej reorganizacji procesów medycznych. AI może przejąć znaczną część powtarzalnych zadań diagnostycznych i administracyjnych, jednak skuteczne wdrożenie tej zmiany będzie wymagać skoordynowanych działań w wielu obszarach. Systemowe podejście zakłada jednocześnie uwzględnienie wielu aspektów organizacyjnych – obejmujących restrukturyzację procesów opieki zdrowotnej, redefinicję ról zespołów medycznych, inwestycje w cyfrową infrastrukturę oraz zarządzanie zmianą – edukacyjnych, takich jak przygotowanie personelu do pracy z narzędziami AI i rozwój kompetencji nowych kadr, a także regulacyjnych, związanych z odpowiedzialnością prawną za wspomagane algorytmicznie decyzje. Tego rodzaju kompleksowe podejście jest niezbędne, aby integracja AI nie zakłóciła ciągłości ani jakości opieki, lecz realnie je usprawniła – szczególnie w warunkach niedoboru personelu i rosnącego zapotrzebowania na świadczenia opieki zdrowotnej.

Przejęcie przez AI nawet do 80 proc. rutynowych analiz obrazowych i laboratoryjnych może uwolnić zasoby ludzkie, umożliwiając skoncentrowanie ich na kompleksowej opiece nad pacjentem. Wykorzystanie tego potencjału wymaga jednak stworzenia nowych ról zawodowych, takich jak np. koordynator ds. zastosowań AI w medycynie klinicznej – specjalista odpowiedzialny za integrację rekomendacji algorytmów z indywidualnym kontekstem klinicznym, co zapewnia spójne włączenie danych generowanych przez AI w proces terapeutyczny. Personalizacja medycyny, oparta na analizie danych genomicznych, stylu życia i historii chorób, osiąga już 94 proc. trafności w tworzeniu indywidualnych profili ryzyka, co otwiera drogę do prewencyjnych modeli opieki. Istotną barierą pozostaje nadal nierówny dostęp do technologii, pogłębiany przez tzw. skrzywienia populacyjne w modelach AI, wynikające z niedostatecznej reprezentacji niektórych grup etnicznych lub demograficznych w danych treningowych, co oznacza konieczność ujednolicenia procesu gromadzenia danych oraz wdrożenia mechanizmów korekty błędów systemowych.

W latach 2026–2030 przewiduje się wdrożenie drugiej generacji systemów sztucznej inteligencji, opartych na analizie zależności przyczynowo-skutkowych zamiast dotychczasowych korelacji statystycznych. To jakościowy

przełom – tego rodzaju algorytmy nie tylko identyfikują wzorce w danych medycznych, lecz także próbują zrozumieć rzeczywiste mechanizmy chorób. Dla klinicysty oznacza to, że AI nowej generacji potrafi odróżnić czynniki współwystępujące z chorobą od tych, które rzeczywiście wpływają na jej przebieg. Na przykład w onkologii system przyczynowy może wskazać, które mutacje genetyczne są rzeczywistymi „silnikami” rozwoju guza, a nie jedynie biernymi markerami, co ułatwia dobór terapii celowanej do indywidualnego profilu pacjenta.

Podobnie w projektowaniu leków: AI ukierunkowana na przyczynowość pomoże spośród tysięcy interakcji molekularnych wyselekcjonować kluczowe dla danej jednostki chorobowej, naprowadzając badaczy na najbardziej obiecujące cele terapeutyczne. Obecnie trwają już eksperymenty z tzw. wirtualnymi próbami klinicznymi, w których modele przyczynowe symulują wpływ zmiany leku lub jego dawki u konkretnego pacjenta jeszcze przed jej zastosowaniem w praktyce – podejście to może zrewolucjonizować proces podejmowania decyzji klinicznych. Po 2030 r. przewiduje się integrację AI z komputerami kwantowymi, co otworzy nowy rozdział w medycynie obliczeniowej, umożliwiając prowadzenie złożonych symulacji molekularnych niemal w czasie rzeczywistym dzięki zdolności tych maszyn do równoległego przetwarzania ogromnych ilości danych. Oznacza to, że procesy takie jak testowanie setek tysięcy związków pod kątem ich powinowactwa do wybranych białek czy symulacja złożonych szlaków biochemicznych w komórce będą mogły odbywać się błyskawicznie – w środowisku cyfrowym, zamiast trwać latami w warunkach laboratoryjnych. W efekcie czas opracowywania nowych terapii może skrócić się z lat do miesięcy.

Pojawiają się już pierwsze przykłady tego przełomu – start-up Polaris Quantum Biotech, łącząc sztuczną inteligencję z technologią kwantową, w ciągu kilku miesięcy zidentyfikował obiecujące cząsteczki przeciw wirusowi dengi, co wcześniej zajmowało niemal dziesięć lat. Z kolei Cleveland Clinic w USA, we współpracy z firmą IBM, uruchomiła pierwsze na świecie centrum wykorzystujące komputer kwantowy w badaniach biomedycznych – z nadzieją na przełom m.in. w odkrywaniu nowych leków i rozwoju medycyny personalizowanej.

Aby w pełni wykorzystać potencjał AI w ochronie zdrowia, a zarazem zapewnić jej bezpieczne, sprawiedliwe i etyczne zastosowanie, konieczne jest podjęcie skoordynowanych działań systemowych, które wyznaczą kierunek odpowiedzialnej transformacji cyfrowej w medycynie:

- Wdrożenie standardów walidacji algorytmów medycznych, uwzględniających różnorodność populacyjną.
- Rozwój programów szkoleniowych z zakresu interpretacji rekomendacji AI dla personelu medycznego.
- Utworzenie międzyresortowych zespołów ds. etyki AI, monitorujących kwestie odpowiedzialności prawnej i transparentności systemów.

„W latach 2026–2030 przewiduje się wdrożenie drugiej generacji systemów sztucznej inteligencji, opartych na analizie zależności przyczynowo-skutkowych, zamiast dotychczasowych korelacji statystycznych. To jakościowy przełom”

- Inwestycje w cyfrową infrastrukturę placówek medycznych w celu zmniejszenia dysproporcji dostępu do nowoczesnej diagnostyki.

Synergia ludzkiej intuicji klinicznej z mocą obliczeniową AI – która już dziś może zwiększyć skuteczność diagnozy nawet o 142 proc. w porównaniu z działaniem człowieka lub systemu AI w izolacji – wymaga jednak zachowania nadrzędnej roli lekarza w procesie decyzyjnym. Niezwykle istotne więc będzie wypracowanie modeli zarządzania, które połączą innowacyjność z ochroną praw pacjentów oraz wysokimi standardami profesjonalizmu medycznego.

Współczesna medycyna zmierza w stronę podejścia prewencyjnego – prognozy wskazują, że nawet 70 proc. diagnoz będzie stawianych na etapie przedklinicznym, jednak mimo postępu technologicznego rola człowieka w procesie decyzyjnym pozostanie kluczowa, zwłaszcza w zakresie oceny klinicznej, odpowiedzialności zawodowej oraz etyki i budowania zaufania pacjentów (ryc. 3).

Miedzy nadzieją a ostrożnością: sztuczna inteligencja w medycynie jako wyzwanie poznawcze i etyczne

W obliczu szybkiego postępu AI w medycynie warto przyjąć postawę intelektualnego adwersarza – krytyczną, lecz konstruktywną – zaczynając od istotnego pytania: czy nie ulegamy zbyt łatwo przekonaniu, że algorytmy są obiektywne i nieomyłne? W rzeczywistości każdy system AI opiera się na danych, które bywają fragmentaryczne, niereprezentatywne lub odzwierciedlają uprzedzenia zakorzenione w historycznych wzorcach leczenia i dokumentacji medycznej. Modele uczą się na podstawie danych, które im dostarczamy, a nie tego, co jest obiektywnie prawdziwe czy sprawiedliwe, dlatego brak tej świadomości łatwo prowadzi do zatarcia granicy między narzędziem wspierającym decyzje a autorytetem, który przestajemy kwestionować.

Krytyczne podejście nie oznacza odrzucenia AI, lecz przeciwnie – traktowanie jej z należytą odpowiedzialnością. Euforia technologiczna potrafi osłabić koniecz-

Obszar zastosowania AI	Przykładowe narzędzia/technologie	Opis zastosowania
 Diagnostyka obrazowa	Enlitic Curie™ Aidoc, BioMind	Automatyczna analiza obrazów RTG, CT, MRI, preparatów mikroskopowych
 Predykcja ryzyka i wsparcie decyzji klinicznych	C2-Ai, systemy predykcyjne	Analiza danych klinicznych, przewidywanie powikłań, personalizacja terapii
 Automatyzacja dokumentacji	DeepScribe, systemy NLP	Automatyczna transkrypcja rozmów lekarz–pacjent, generowanie dokumentacji medycznej
 Diagnostyka i monitorowanie w neurologii	BioMind, systemy analizy obrazów mózgu	Wczesne wykrywanie udarów, guzów, chorób neurodegeneracyjnych
 Telemedycyna i zdalny monitoring	Platformy AI, systemy IoT	Zdalne monitorowanie parametrów zdrowotnych, analiza wyników, konsultacje online
 Personalizacja leczenia	Systemy AI analizujące dane pacjenta	Dobór leków i terapii na podstawie danych genetycznych, historii chorób, stylu życia
 Wczesne rozpoznanie i profilaktyka	Systemy predykcyjne, analityka big data	Identyfikacja pacjentów z grup ryzyka, wdrażanie działań profilaktycznych
 Optymalizacja pracy personelu	Automatyzacja procesów, systemy wspierające decyzje	Wsparcie w analizie danych, automatyzacja powtarzalnych zadań
 Zarządzanie danymi medycznymi	Systemy AI do analizy big data, blockchain	Bezpieczne gromadzenie, analiza i wymiana danych medycznych

Rycina 3. Zastosowanie technologii sztucznej inteligencji w wybranych obszarach systemu ochrony zdrowia wraz z przykładami narzędzi rozszerzających funkcjonalności systemów medycznych

naą czujność poznawczą – naukową ostrożność, z jaką należy traktować „wiedzę” generowaną przez modele AI. Należy pamiętać, że systemy uczące się operują na danych historycznych i korelacjach, a ich wnioski nie zawsze oddają złożoność rzeczywistości klinicznej, dlatego każdy wynik wygenerowany przez AI powinien być poddany krytycznej ocenie, zgodnie z zasadami medycyny opartej na faktach: weryfikowany i konfrontowany z właściwym kontekstem klinicznym.

Niestety, zagrożenia, o jakich mowa, nie są jedynie hipotetyczne. Błędy algorytmiczne i stronniczość danych już dziś prowadzą do realnych konsekwencji – od fałszywych diagnoz po utrwalanie systemowych nierówności w dostępie do opieki. Modele trenowane na niekompletnych zbiorach danych mogą nieświadomie dyskryminować całe grupy chorych, zwłaszcza te niedostatecznie reprezentowane. Jak podkreśla WHO, nie można przeceniać korzyści płynących z AI kosztem podstawowych zasad ochrony praw pacjenta. Brak przejrzystości działania tzw. czarnych skrzynek utrud-

nia zrozumienie podstaw decyzji algorytmu, a niejasność w zakresie odpowiedzialności za błędy tworzy poważną lukę etyczną i prawną. Kto ponosi odpowiedzialność za błędną decyzję – twórca modelu, szpital czy lekarz? To pytanie wciąż pozostaje bez jednoznacznej odpowiedzi. Symulowane rozumowanie maszynowe, choć skuteczne w realizacji wyspecjalizowanych zadań, takich jak analiza obrazów diagnostycznych, ujawnia swoje ograniczenia w złożonym kontekście klinicznym, gdzie często nie dostrzega subtelnych, ale istotnych niuansów decydujących o trafności diagnozy i skuteczności leczenia. Maszyna, operująca zero-jedynkową logiką i statystyką, nie uwzględnia społecznych implikacji, indywidualnych wartości ani unikatowej historii pacjenta. Medycyna nadal bowiem pozostaje sztuką rozpoznawania oraz reagowania na indywidualne, często niepowtarzalne konfiguracje objawów i warunkowań – tymczasem algorytmy, opierające się na uogólnieniach oraz statystycznych wzorcach, z natury mogą pomijać subtelne, lecz kluczowe sygnały klinicz-

Korzyści kliniczne i systemowe

Przewagi konkurencyjne/inspiracje

- Szybsza i dokładniejsza diagnoza
- Wczesne wykrywanie nowotworów, udarów, uszkodzeń tkanek
- Redukcja błędów diagnostycznych

- AI wykrywa zmiany niewidoczne dla człowieka
- Umożliwia powszechne badania przesiewowe

- Lepsze planowanie zabiegów
- Redukcja powikłań pooperacyjnych
- Optymalizacja ścieżki leczenia

- AI integruje dane genetyczne, styl życia, historię chorób
- Wspiera medycynę personalizowaną

- Odciążenie personelu z obowiązków administracyjnych
- Redukcja błędów w dokumentacji medycznej

- Szybszy obieg informacji
- Lepsza jakość danych medycznych

- Szybka interwencja
- Zmniejszenie trwałych skutków dla zdrowia
- Poprawa rokowania pacjentów

- AI analizuje subtelne zmiany w obrazach
- Umożliwia personalizację opieki neurologicznej

- Dostęp do opieki bez względu na miejsce zamieszkania
- Szybka reakcja na pogorszenie stanu zdrowia

- Wzrost dostępności usług medycznych
- Wsparcie opieki długoterminowej

- Zwiększenie skuteczności leczenia
- Mniejsze ryzyko działań niepożądanych
- Optymalizacja kosztów terapii

- Rozwój farmakogenomiki
- AI wspiera terapie celowane

- Ograniczenie ryzyka rozwoju poważnych schorzeń
- Zmniejszenie kosztów leczenia
- Wydłużenie życia i poprawa jego jakości

- AI analizuje trendy populacyjne
- Umożliwia prewencję na szeroką skalę

- Zwiększenie efektywności pracy
- Redukcja wypalenia zawodowego
- Skupienie się na opiece nad pacjentem

- AI jako narzędzie wspierające, a nie zastępujące funkcje i zadania personelu
- Usprawnienie logistyki szpitalnej

- Lepsza koordynacja opieki
- Szybszy dostęp do informacji
- Ochrona prywatności pacjenta

- AI wspiera interoperacyjność szpitalnych systemów informatycznych
- Umożliwia analizę danych na poziomie populacyjnym

ne, które w praktyce przesądzą o trafności diagnozy i skuteczności terapii.

Wobec tych wyzwań potrzebujemy redefinicji paradygmatu AI – nie jako narzędzia, lecz współdecydującego aktora w systemie ochrony zdrowia. Sztuczna inteligencja coraz częściej uczestniczy w podejmowaniu decyzji dotyczących rokowania i leczenia, dlatego już dziś konieczne jest projektowanie modeli opieki, które uwzględniają obecność „cyfrowego partnera”. Nie chodzi o zastępowanie medyka, lecz o stworzenie klarownych mechanizmów integracji AI z procesem klinicznym. Realizacja takiej wizji wymaga skoordynowanych działań: od wprowadzenia regulacji i standardów, przez inwestycje w edukację kadr medycznych, po budowanie świadomości związanych z tym ryzyk – bez tego innowacje technologiczne mogą przynieść skutki odwrotne do zamierzonych.

W obliczu tych dylematów jedno pozostaje niezmiennie: człowiek musi pozostać ośrodkiem decyzyjnym. To lekarz – kierując się empatią, doświadczeniem i etyczną refleksją – ponosi odpowiedzialność za zdrowie i życie chorego. Jak zauważył Joseph Weizenbaum, pionier informatyki: „Komputery mogą być potężne, ale nigdy nie będą współczujące ani mądre”. W du-

chu tej przestrogi – oraz zgodnie z wytycznymi WHO – musimy budować przyszłość, w której technologia wspiera medycynę, ale nie definiuje jej zasad. Czy potrafimy wykorzystać potencjał sztucznej inteligencji, nie tracąc humanistycznego wymiaru leczenia? To pytanie pozostaje otwarte. Pewne jest jednak, że tylko zachowując czujność poznawczą i moralną, zdołamy zbudować system, w którym technologia pozostaje w służbie człowieka – a nie odwrotnie.

Jak trafnie zauważyła Maria Skłodowska-Curie: „Niczego w życiu nie należy się bać, trzeba to tylko zrozumieć. Teraz jest czas, aby zrozumieć więcej, abyśmy mniej się bali”. Jeśli podejmiemy do sztucznej inteligencji z odwagą poznawczą, nie rezygnując przy tym z nadrzędnej roli etyki i bezpieczeństwa pacjenta, może ona stać się jednym z kluczowych sojuszników współczesnej ochrony zdrowia. Przed nami otwiera się szansa na nową erę – czas, w którym technologia i człowiek współdziałają dla dobra pacjenta, nieustannie i jednocześnie szybciej niż kiedykolwiek wcześniej przesuując granice możliwości diagnostyki i leczenia.

gen. broni prof. dr hab. n. med. Grzegorz Gielera
Wojskowy Instytut Medyczny – Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie