



AI OR *not to be*

fot. iStock

Blok operacyjny – jaki jest, jaki będzie

Blok operacyjny epoki robotyki i sztucznej inteligencji to nie tylko zespół sal do wykonywania zabiegów, lecz odporna, zintegrowana infrastruktura ratowania życia, która łączy człowieka, roboty, AI, dane, media techniczne, logistykę i bezpieczeństwo w jeden cyberfizyczny system opieki nad pacjentem – od decyzji o leczeniu, przez operację, aż po intensywny nadzór i powrót do zdrowia.

AI OR. To już nie pytanie „być albo nie być”, lecz „nie być albo AI”.

Blok operacyjny to maszyna. Maszyna o strategicznym dla szpitala znaczeniu. O tym, jak jest skomplikowana, przekonali się ci, którzy próbowali wprowadzić na salę półtoratonowego robota lub postanowili przerobić ją na hybrydową. Moje osobiste doświadczenia zaczęły się od pionierskich zastosowań systemu mechanicznego wspomagania krążenia POLVAD – od implantacji na sali operacyjnej po wielotygodniową opiekę pooperacyjną. Gdy kiedyś mieliśmy kilku pacjentów na raz, „odkryłem” krytyczną rolę zasilania w media – wydajność i bezawaryjność dostaw sprężonego powietrza oraz próżni stały się kluczowe dla bezpieczeństwa pacjenta. 25 lat temu rozpatrywaliśmy wszystkie warianty ustawienia robota Robin Heart – montaż na suficie, na jednej kolumnie lub wielu kolumnach oraz montaż do stołu operacyjnego. Kilkanaście lat temu opracowywałem koncept robota chirurgicznego zintegrowanego ze stołem operacyjnym i całą salą operacyjną. W automatyzacji obsługi pacjenta braliśmy również pod uwagę stanowisko perfuzjonisty i anestezjologa. Czas pokazał, że te rozwiązania do dzisiaj stanowią raczej marzenia...

i to nie wszystkich. Obecnie wchodzi do gry AI – to zupełnie zmienia wszystko.

Kiedy prof. Zbigniew Religa wezwał mnie po raz pierwszy na salę operacyjną, byłem w szoku. A potem się zachwyciłem – to niezwykle miejsce, pełne pozytywnego skupienia i wspaniałej, zrównoważonej atmosfery, gdzie każdy wie, co ma robić – oderwane od rzeczywistości. Pacjent jest w centrum, tylko on jest ważny. Wiadomo, kto przewodzi – główny chirurg, każde jego zdanie, gest, jest znakiem dla każdego z nas, wszyscy są perfekcyjni i mają wpływ na powodzenie zabiegu, od grupy chirurgów, instrumentariuszki, przez anestezjologa, perfuzjonistę, pielęgniarki do salowej włącznie – wszyscy są tylko tu, z pełną uważnością i w skupieniu. To niezwykła maszyna: energia, gazy, aparatura, ludzie i procedury działają tu w synergii niespotykanej nigdzie indziej. A inżynierowie i technicy zabezpieczający działanie tej maszyny są niezbędni, tak jak wszyscy wymienieni powyżej.

Byłem fizykiem, i to teoretykiem, bardziej oswojonym z laboratoriami i warsztatem niż z praktykowaniem medycyny. Wejście na blok operacyjny to przekroczenie granicy dwóch światów. Za drzwiami pozostał zwykły szpital – rozmowy, telefony, po- ▶

ZBIGNIEW NAWRAT

Dyrektor Kreatywny
w Fundacji Rozwoju
Kardiochirurgii im. prof.
Zbigniewa Religi

Zakład Biofizyki Katedry
Biofizyki, Wydział Nauk
Medycznych w Zabrze,
Śląski Uniwersytet
Medyczny w Katowicach

Prezydent
Międzynarodowego
Stowarzyszenia na rzecz
Robotyki Medycznej

► śpiech, codzienne problemy. Tutaj panowała zupełnie inna rzeczywistość. Czas płynął inaczej. Nie dziwię się, że zawodowcy tęsknią za tym miejscem.

Szybko zrozumiałem, że sala operacyjna jest czymś znacznie więcej niż pomieszczeniem wyposażonym w stół operacyjny i lampy. Jest jednym z najbardziej złożonych systemów, jakie stworzył człowiek. Spotykają się tu: medycyna, inżynieria, fizyka, informatyka, automatyka i psychologia pracy zespołowej. Energia elektryczna, gazy medyczne, aparatura monitorująca, urządzenia anestetyczne, systemy obrazowania, sterylizacja, logistyka, procedury i ludzie tworzą organizm, którego jedynym celem jest uratowanie życia pacjenta.

Przez ponad czterdzieści lat miałem szczęście obserwować, a później współtworzyć ewolucję tego niezwykłego miejsca – od klasycznej sali kardiochirurgicznej profesora Religi, przez rozwój robotów Robin Heart, aż do współczesnych koncepcji inteligentnych sal operacyjnych wyposażonych w sztuczną inteligencję i cyfrowe bliźniaki pacjentów. Im dłużej nad tym pracuję, tym bardziej utwierdzam się w przekonaniu, że sala operacyjna nie jest zbiorem urządzeń. Jest żywym systemem współpracy człowieka i technologii.

To miejsce wyjątkowe. Miejsce, w którym każdy ma świadomość, że od jego wiedzy, doświadczenia i pełnej koncentracji może zależeć ludzkie życie. Teraz zmienia się po raz kolejny. I właśnie dlatego warto opowiedzieć historię jej niezwykłej ewolucji.

Blok operacyjny pod presją zmian – cyfryzacja, sztuczna inteligencja i odporność infrastruktury krytycznej

Blok operacyjny jest maszyną. Jedną z najdroższych, najbardziej skomplikowanych i najbardziej strategicznych maszyn szpitala. Przez lata postrzegaliśmy go jako miejsce, w którym chirurg wykonuje operację. Dziś trzeba go widzieć inaczej: jako złożony system techniczno-kliniczny, w którym pacjent, zespół, roboty, anestezja, perfuzja, obrazowanie, informatyka, gazy medyczne, sterylizacja, logistyka i cyberbezpieczeństwo tworzą jeden organizm.

Złożoność bloku operacyjnego ujawnia się szczególnie wtedy, gdy zabieg wymaga współdziałania wielu zaawansowanych technologii i zespołów – od robotyki chirurgicznej i śródoperacyjnego obrazowania RTG lub angiograficznego w sali hybrydowej, przez anestezję i perfuzję, po mechaniczne wspomaganie krążenia. To, co w rutynowym dniu jest niewidzialne – zasilanie, próżnia, sprężone powietrze, tlen, sieć, chłodzenie, dostępność personelu i gotowość sali pooperacyjnej – w dniu kryzysu staje się warunkiem przeżycia.

Robot chirurgiczny był pierwszym wyraźnym sygnałem, że klasyczna sala operacyjna przestaje wystarczać. Robot wymaga miejsca, stabilności, planowania ustawienia, integracji ze stołem, obrazem, personelem i procedurą. Jednak sam robot nie tworzy jeszcze zrobotyzowanej sali operacyjnej. Może być tylko bardzo

zaawansowanym narzędziem w starej organizacji pracy.

Dopiero sztuczna inteligencja zmienia perspektywę. AI może nie tylko analizować obraz pola operacyjnego, ale także przewidywać ryzyko, koordynować przepływ pacjentów, wspierać decyzje anestezjologa, ostrzegać przed błędem, kontrolować dostępność zasobów i uczyć się z tysięcy procedur. Ale AI bez danych, standardów, odpowiedzialności i odpornej infrastruktury może stać się kolejnym źródłem ryzyka.

AI OR not to be. Właściwe pytanie brzmi: kiedy blok operacyjny stanie się systemem zdolnym do bezpiecznej współpracy ludzi, robotów i algorytmów? ROR – *Robotic Operating Room* – powinien być rozumiany szerzej: jako *Resilient, Robotic, AI-ready Operating Block*. Blok odporny, zrobotyzowany i gotowy na sztuczną inteligencję.

Nie będzie to rewolucja jednego urządzenia. Będzie to przebudowa architektury pracy. Najpierw pojawi się cyfrowy zapis operacji, integracja urządzeń i AI do planowania. Potem roboty pomocnicze, inteligentne stoły, automatyczna obsługa instrumentów i systemy bezpieczeństwa. Dopiero później autonomiczne fragmenty procedur, wykonywane pod nadzorem człowieka. Automatyzacja procedury operacyjnej nie nadejdzie nagle. Powstanie z małych, dobrze zdefiniowanych i zwalidowanych modułów autonomii, z jasno określonym zakresem odpowiedzialności. Ale ten proces się już zaczął.

Od sali operacyjnej do inteligentnego systemu cyberfizycznego

Historia sali operacyjnej jest historią stopniowego przenoszenia coraz większej liczby funkcji ochronnych, kontrolnych i wykonawczych z człowieka do jego środowiska pracy. Początkowo o powodzeniu operacji decydował niemal wyłącznie chirurg. Z czasem coraz większą rolę zaczęły odgrywać organizacja, wyposażenie i procedury bezpieczeństwa. Dzisiaj wkraczamy w epokę, w której o sukcesie leczenia decyduje współpraca człowieka z zaawansowanymi urządzeniami, robotami i sztuczną inteligencją. W tej ewolucji można wyróżnić pięć generacji sal operacyjnych.

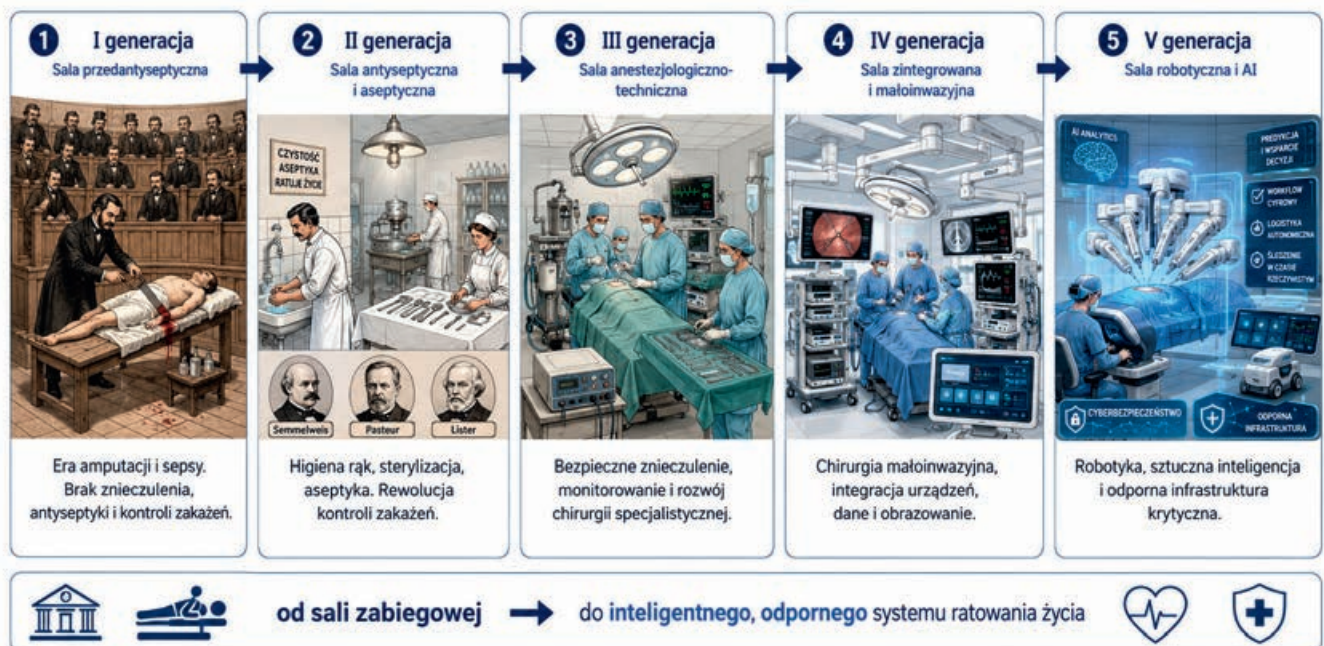
I generacja – sala chirurgocentryczna

Przez większą część historii chirurgii sala operacyjna była jedynie miejscem wykonywania zabiegu. Nie chroniła pacjenta, nie wspomagała operatora i nie kompensowała jego ograniczeń. Wszystko zależało od doświadczenia, odwagi i zręczności chirurga. Największym problemem był ból, dlatego liczyła się przede wszystkim szybkość działania. Po wprowadzeniu znieczulenia chirurg zyskał czas, ale jednocześnie ujawnił się kolejny przeciwnik – zakażenie. Sala operacyjna nadal pozostawała jednak biernym tłem dla pracy człowieka.

II generacja – sala aseptyczna

Prawdziwa rewolucja rozpoczęła się wraz z odkryciami Semmelweisa, Pasteura i Listera. Semmelweis odkrył

Pięć generacji sal operacyjnych



konieczność higieny rąk. Pasteur dał teorię drobnoustrojów. Lister stworzył z tego nowoczesną, antyseptyczną chirurgię. Punktem zwrotnym było jednak stworzenie nowoczesnego środowiska operacyjnego przez Jana Mikulicza-Radeckiego. Zrozumiano, że bezpieczeństwo pacjenta zależy nie tylko od umiejętności chirurga, ale również od jakości otaczającego go środowiska. Sterylizacja narzędzi, specjalna odzież operacyjna, maski, rękawiczki, odpowiednia wentylacja, organizacja pracy zespołu oraz wyraźny podział stref czystych i skażonych stworzyły nowy model sali operacyjnej. Kontrolowane zewnętrzne podciśnienie pozwalało otworzyć bezpiecznie klatkę piersiową. Potem wprowadzono klasyczny dziś respirator. Gdy na sali operacyjnej znalazły się oksygenatory i pompy, można było zastąpić działanie narządów – płuca i serca. Droga do serca została otwarta dla chirurgii. Po raz pierwszy architektura, technika i procedury stały się aktywnym elementem procesu leczenia. Sala operacyjna przestała być pomieszczeniem – stała się systemem bezpieczeństwa.

III–V generacja – od sali technicznej do systemu cyberfizycznego

Obecnie obserwujemy narodziny trzeciej generacji sal operacyjnych. Współczesna operacja jest wynikiem współpracy ludzi z coraz bardziej zaawansowanymi technologiami. Nad stołem operacyjnym pracują roboty chirurgiczne, systemy obrazowania śródoperacyjnego, tomografia komputerowa, rezonans magnetyczny, ultrasonografia, nawigacja chirurgiczna i inteligentne systemy monitorowania parametrów życiowych. Coraz większą rolę odgrywa sztuczna inteligencja analizująca obraz operacyjny,

przewidująca zagrożenia oraz wspomagająca podejmowanie decyzji. Następnym krokiem staje się cyfrowy bliźniak pacjenta (*digital twin*) umożliwiający planowanie zabiegu, symulację różnych strategii leczenia oraz prognozowanie wyników jeszcze przed rozpoczęciem operacji.

W tej generacji sala operacyjna przestaje być zbiorem niezależnych urządzeń. Staje się zintegrowanym systemem cyberfizycznym, w którym człowiek, robot, aparatura medyczna, systemy informatyczne i sztuczna inteligencja współpracują w czasie rzeczywistym. Celem nie jest zastąpienie chirurga, lecz stworzenie środowiska, które zwiększa bezpieczeństwo pacjenta, ogranicza ryzyko błędów i pozwala podejmować trafniejsze decyzje kliniczne.

Historia sali operacyjnej pokazuje, że każdy etap jej rozwoju był odpowiedzią na konkretny problem kliniczny. Najpierw walczyło z bólem, potem z zakażeniem, następnie z krwawieniem i ograniczeniami ludzkiego wzroku oraz rąk. Dzisiaj największym wyzwaniem staje się złożoność informacji. Dlatego przyszłość sali operacyjnej będzie należała do systemów zdolnych nie tylko wykonywać polecenia chirurga, ale także integrować dane, przewidywać zagrożenia i wspierać proces podejmowania decyzji. Inteligentna sala operacyjna stanie się partnerem zespołu chirurgicznego.

Do tej pory rozwój sali operacyjnej wyglądał tak:

1. Chirurg walczy z chorobą.
2. Sala chroni pacjenta.
3. Technologia wspiera chirurga.
4. Sztuczna inteligencja pomaga podejmować decyzje.
5. Cały system staje się członkiem zespołu operacyjnego.

- Najważniejsza jest zmiana paradygmatu i filozofii. Nie „robot zastępuje chirurga”, lecz środowisko operacyjne staje się inteligentnym współpracownikiem zespołu.

I tak moje wcześniejsze koncepcje Wirtualnej Sali Operacyjnej (sprzed ponad 20 lat) i kolejnych modeli robota Robin Heart w świetle tej nowej klasyfikacji pokazują, że nie są to odrębne projekty, ale kolejne elementy jednej ewolucji.

Bezpieczeństwo

Blok operacyjny przyszłości nie może być rozpatrywany wyłącznie jako przestrzeń kliniczna. Jest jednym z końcowych węzłów infrastruktury krytycznej państwa. Do sali operacyjnej dociera nie tylko pacjent. Docierają tam: energia, woda, tlen, sprężone powietrze, próżnia, krew, leki, instrumenty, dane, łączność, personel, decyzje administracyjne, transport i zaufanie społeczne. Jeżeli którykolwiek z tych strumieni zostanie przerwany, nowoczesna medycyna zaczyna tracić swoją sprawność.

Dlatego odporność bloku operacyjnego nie oznacza tylko zabezpieczenia przed awarią aparatury. Oznacza zdolność do pracy w warunkach degradacji całego otoczenia. Blok powinien działać, gdy zawodzi system informatyczny, gdy nie ma dostępu do pełnej dokumentacji, gdy sieć szpitalna zostaje zaatakowana, gdy transport jest sparaliżowany, gdy personel nie może dotrzeć, gdy nie działa część diagnostyki, gdy trzeba operować wielu pacjentów jednocześnie, a de-

człowieka w warunkach ograniczonych, procedura ręczna w warunkach awaryjnych.

Najdalej idąca konsekwencja tego myślenia prowadzi poza szpital – do transportu, cyberprzestrzeni, pola walki, a nawet przestrzeni kosmicznej. Współczesna medycyna zależy od satelitów bardziej, niż zwykle sobie uświadamiamy: od synchronizacji czasu, łączności, nawigacji, logistyki, obserwacji pogody i sytuacji kryzysowej. Zakłócenie tej warstwy może pośrednio uderzyć także w szpital. „Wojny gwiazdne” nie muszą oznaczać operacji w kosmosie. Mogą oznaczać utratę usług kosmicznych, od których zależy ziemski blok operacyjny.

Przyszły blok operacyjny powinien więc być projektowany nie jak luksusowa sala technologiczna, ale jak centrum dowodzenia ratowaniem życia. Musi być cyfrowy, ale zdolny do pracy bez cyfryzacji. Musi być zrobotyzowany, ale możliwy do przejścia przez człowieka. Musi korzystać z AI, ale nie może być od niej całkowicie zależny. Musi być częścią sieci, ale też samodzielny. Prawdziwie nowoczesny blok operacyjny to nie ten, który działa najlepiej w idealnych warunkach. To ten, który nadal działa, kiedy warunki przestają być idealne.

Doświadczenie Ukrainy zmienia sposób myślenia o bloku operacyjnym. Wojna pokazała, że infrastruktura krytyczna ochrony zdrowia nie jest abstrakcyjnym pojęciem administracyjnym. Jest warunkiem przeżycia konkretnego pacjenta na stole operacyjnym. Jeżeli nie ma prądu, nie działa respirator, pompa, ssak, lampa, sterylizacja, system obrazowania, dokumentacja elektroniczna ani łączność. Jeżeli nie działa transport, nie dociera krew, implant, zespół, pacjent ani paliwo do agregatu. Jeżeli nie działa sieć, znika dokumentacja, konsultacja, obraz, koordynacja i możliwość przekazania pacjenta dalej.

Dlatego przyszły blok operacyjny powinien być projektowany nie tylko jako przestrzeń wysokiej technologii, ale jako odporna infrastruktura ratowania życia. Robotyka i sztuczna inteligencja pozostają ważne, ale muszą być podporządkowane zasadzie ciągłości działania. Robot chirurgiczny ma sens wtedy, gdy można go bezpiecznie zatrzymać, przejąć ręcznie, ominąć lub wykorzystać w trybie uproszczonym. AI ma sens wtedy, gdy pomaga także w warunkach niepełnych danych, przeciążenia personelu i ograniczonej łączności, a nie tylko w idealnym środowisku demonstracyjnym.

Nowa sala operacyjna musi więc mieć dwa oblicza. W czasie pokoju powinna być inteligentna, zintegrowana, zrobotyzowana, zdolna do analizy danych i optymalizacji procesu leczenia. W czasie kryzysu musi stać się prosta, odporna, lokalna, możliwa do obsługi ręcznej i zdolna do pracy w izolacji. Dzisiaj miarą nowoczesności jest zdolność do przejścia z trybu cyfrowego komfortu do trybu klinicznego przetrwania.

Sala operacyjna, która nie przewiduje awarii energii, cyberataku, braku transportu, masowego napływu rannych i utraty łączności czy epidemii wirusowej, jest salą zaprojektowaną dla świata, który właśnie przestał istnieć. ►

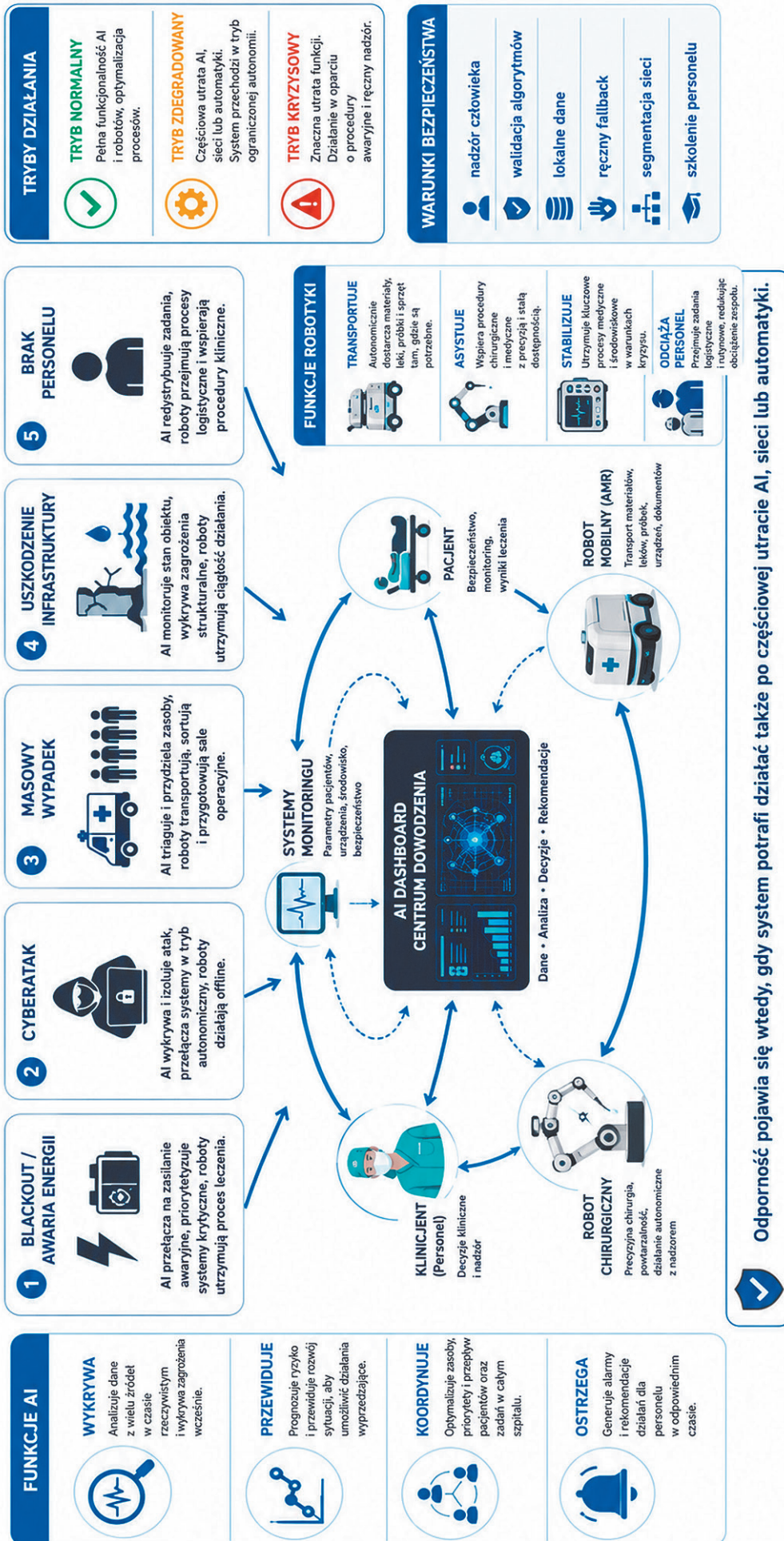
Odporność bloku operacyjnego nie oznacza tylko zabezpieczenia przed awarią aparatury. Oznacza zdolność do pracy w warunkach degradacji całego otoczenia

cyzje muszą być podejmowane szybciej niż zwykle.

W tym sensie sala operacyjna staje się miejscem, w którym spotykają się: medycyna cywilna, medycyna pola walki i infrastruktura strategiczna. W czasie pokoju blok optymalizuje jakość, efektywność i bezpieczeństwo procedury. W czasie kryzysu musi utrzymywać minimalną zdolność ratowania życia. W czasie wojny staje się elementem odporności państwa.

Roboty i sztuczna inteligencja mogą tę odporność wzmocnić, ale mogą też stworzyć nowe podatności. Robot wymagający idealnych warunków, stałego serwisu, zamkniętego ekosystemu narzędzi i nieprzerwanej łączności może w chwili kryzysu stać się bezużyteczny. Podobnie AI zależna od chmury, pełnych danych i stabilnej sieci. Dlatego przyszły ROR musi być projektowany jako system wielotrybowy: pełna automatyzacja w warunkach normalnych, wspomaganie

AI i robotyka a odporność bloku operacyjnego



► Współczesna wojna zmienia paradygmat ochrony medycznej. Przez ponad sto lat znaki ochronne międzynarodowego prawa humanitarnego – czerwony krzyż, czerwony półksiężyc, a od 2005 r. także czerwony kryształ – miały oznaczać ludzi i miejsca, które powinny być chronione przed działaniami wojennymi. Był to znak nie tylko organizacyjny, ale moralny: nawet wojna ma granice, a rannych i tych, którzy ich ratują, należy chronić.

Doświadczenia wojny w Ukrainie i innych współczesnych konfliktów pokazują jednak dramatyczną zmianę. Jeżeli przeciwnik nie respektuje prawa humanitarnego, znak ochronny może przestać być tarczą, a stać się znacznikiem celu. Atak na ochronę zdrowia nie jest wtedy skutkiem ubocznym wojny, lecz staje się narzędziem jej prowadzenia. Niszczy nie tylko karetkę, szpital czy ratownika. Niszczy także zaufanie żołnierza i cywila do tego, że w chwili zranienia pomoc nadejdzie.

Dlaczego nie podejmujemy tego tematu? Dlaczego tak łatwo, w imię ekonomii wojny i polityki, godzimy się na utratę tego ostatniego znaku naszego człowieczeństwa? Co się z nami stało, ludzie? Przepraszam – to oczywiście nie jest temat tego artykułu, ale nie mogę się powstrzymać od choć śladu buntu. Jeśli doskonale technologie wykorzystują niedoskonalych ludzi, pojawiają się problemy, które musimy rozwiązać, z nami będzie za późno.

Szczególnie brutalnym przykładem jest mechanizm drugiego uderzenia. Pierwszy atak rani i niszczy. Drugi następuje wtedy, gdy na miejscu pojawiają się ratownicy, strażacy, medycy, wolontariusze i ludzie próbujący wydobywać ofiary. Celem staje się nie tylko pierwotny obiekt, lecz sama reakcja ratunkowa. Taka taktyka ma wymiar ekonomiczny i psychologiczny: niewielkim kosztem militarnym można sparaliżować akcję ratunkową, zwiększyć liczbę ofiar, opóźnić leczenie i zaszcześcić strach, że niesienie pomocy również jest śmiertelnym ryzykiem.

Dla projektowania nowego bloku operacyjnego jest to wniosek fundamentalny. Sala operacyjna przyszłości nie może być rozumiana wyłącznie jako miejsce wysokiej technologii. Musi być końcowym elementem odpornego, rozproszonego i – gdy wymaga tego sytuacja – możliwego do ukrycia systemu ratowania życia. Jej zadaniem nie jest tylko wykonanie zabiegu w idealnych warunkach. Jej zadaniem jest podtrzymanie zdolności leczenia wtedy, gdy przeciwnik próbuje przerwać cały łańcuch: od sanitariusza, przez transport, hub medyczny i bank krwi, aż po blok operacyjny i intensywną terapię.

Roboty i sztuczna inteligencja mają w takim systemie sens tylko wtedy, gdy zwiększają odporność, a nie zależność. Robot nie może być wyłącznie symbolem luksusowej chirurgii. Powinien być modułowy, możliwy do szybkiego uruchomienia, przejęcia ręcznego i wykorzystania w warunkach zdegradowanych. AI nie może być tylko narzędziem optymalizacji grafiku operacyjnego. Powinna wspierać *triage*, ocenę ryzyka transportu, alokację krwi, gotowość sal, prognozowanie przeciążenia OIT i decyzję, kiedy system ma przejść z trybu rutynowego w tryb wojenny.

W tym sensie nowoczesność bloku operacyjnego po doświadczeniu Ukrainy nie polega na tym, że wszystko jest widoczne, połączone i inteligentne. Polega na tym, że system potrafi ratować życie mimo utraty widoczności, łączności, komfortu i poczucia bezpieczeństwa.

AI i robotyka zwiększają odporność tylko wtedy, gdy system potrafi działać również po ich częściowej utracie.

Czyli nowoczesny szpital musi mieć dwa tryby:

- **tryb inteligentny** – pełna integracja, AI, roboty, predykcja, automatyzacja;
- **tryb zdegradowany** – mniej danych, mniej automatyki, więcej procedur ręcznych, ale nadal bezpieczne leczenie.

AI i robotyka zwiększają odporność usług szpitalnych nie przez zastąpienie ludzi, ale przez zwiększenie zdolności systemu do przewidywania, przełączania i utrzymywania działania mimo zakłóceń. Ich największa wartość pojawia się w punktach przeciążenia: *triage*, logistyce, farmacji, sterylizacji, bloku operacyjnym, OIT i zarządzaniu kryzysowym. Największe ryzyko pojawia się wtedy, gdy automatyzacja tworzy nowe zależności: od danych, sieci, chmury, dostawcy, algorytmu i serwisu. Dlatego przyszły szpital powinien być jednocześnie inteligentny i odporny – zdolny do pracy z AI, ale także zdolny do bezpiecznego działania bez niej.

Definicja

Jaka jest definicja bloku operacyjnego? W polskich przepisach nie ma jednej legalnej definicji „bloku operacyjnego” w postaci jednego zdania. Rozporządzenia ministra zdrowia określają przede wszystkim **wymagania funkcjonalne, sanitarne i techniczne**, jakie blok operacyjny musi spełniać, ale nie podają klasycznej definicji słownikowej.

Na podstawie obowiązujących wymagań architektonicznych i organizacyjnych można zaproponować następującą definicję roboczą:

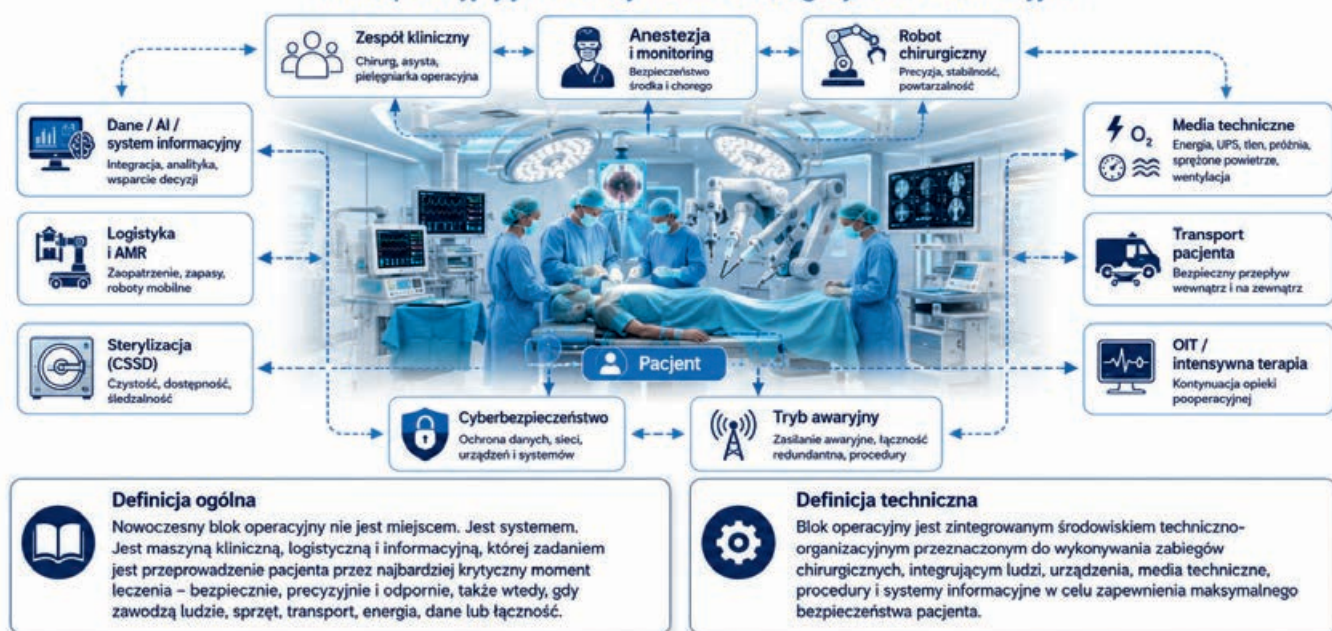
„Blok operacyjny jest wydzieloną funkcjonalnie częścią szpitala, obejmującą sale operacyjne oraz pomieszczenia i instalacje niezbędne do bezpiecznego wykonywania zabiegów chirurgicznych, zorganizowaną w sposób zapewniający odpowiednie warunki aseptyki, bezpieczeństwa pacjenta i sprawnego funkcjonowania zespołu operacyjnego”.

Taka definicja wynika z przepisów dotyczących projektowania podmiotów leczniczych oraz organizacji działalności leczniczej. Warto zatem zapoznać się np. z takimi źródłami jak:

1. *Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 26 marca 2019 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać pomieszczenia i urządzenia podmiotu wykonującego działalność leczniczą* (z późniejszymi zmianami) – podstawowy akt określający wymagania dla bloków operacyjnych.
2. *Association of Perioperative Registered Nurses – Guidelines for Perioperative Practice* – standardy organizacji nowoczesnego bloku operacyjnego.

Nowoczesny blok operacyjny nie jest miejscem. Jest systemem.

Blok operacyjny jako maszyna kliniczna, logistyczna i informacyjna



Od sali operacyjnej do odpornego systemu ratowania życia

- 3. Association for the Advancement of Medical Instrumentation oraz normy International Organization for Standardization dotyczące projektowania i bezpieczeństwa środowiska operacyjnego.

Nowa definicja bloku operacyjnego

Dotychczas blok operacyjny definiowano przede wszystkim jako wydzieloną przestrzeń architektoniczną szpitala. W rzeczywistości XXI wieku jest on jednak zintegrowanym systemem cyberfizycznym, którego granice wyznacza już nie ściana budynku, lecz przepływ informacji, energii i odpowiedzialności.

Jest maszyną szpitala o znaczeniu strategicznym, w której pacjent, zespół medyczny, roboty chirurgiczne, anestezja, perfuzja, obrazowanie, sterylizacja, bank krwi, leki, transport, intensywna terapia, dane, sztuczna inteligencja, energia, gazy medyczne, woda, chłodzenie, łączność i cyberbezpieczeństwo tworzą jeden organizm.

Nowoczesny blok operacyjny można więc zdefiniować jako odporny, zintegrowany cyberfizyczny system ratowania życia, zdolny do planowania, wykonania, monitorowania i uczenia się procedur zabiegowych, w którym człowiek, roboty i sztuczna inteligencja współdziałają w celu zapewnienia pacjentowi maksymalnego bezpieczeństwa, skuteczności leczenia i ciągłości opieki.

Nie jest to już tylko przestrzeń chirurgii. To centrum dowodzenia procesem ratowania życia.

Blok operacyjny epoki robotyki i sztucznej inteligencji to nie tylko zespół sal do wykonywania zabiegów, lecz odporna, zintegrowana infrastruktura ratowania życia, która łączy człowieka, roboty, AI, dane, media techniczne, logistykę i bezpieczeństwo w jeden cy-

berfizyczny system opieki nad pacjentem – od decyzji o leczeniu, przez operację, aż po intensywny nadzór i powrót do zdrowia.

Nowoczesny blok operacyjny nie jest miejscem. Jest systemem. Jest maszyną kliniczną, logistyczną i informacyjną, której zadaniem jest przeprowadzenie pacjenta przez najbardziej krytyczny moment leczenia – bezpiecznie i precyzyjnie, także wtedy, gdy zawodzą ludzie, sprzęt, transport, energia, dane lub łączność.

W ujęciu technicznym blok operacyjny jest zintegrowanym środowiskiem techniczno-organizacyjnym przeznaczonym do wykonywania zabiegów chirurgicznych, integrującym ludzi, urządzenia, media techniczne, procedury i systemy informacyjne w celu zapewnienia maksymalnego bezpieczeństwa pacjenta.

Na koniec

Na koniec warto napisać, że to... nie koniec. Historię sali operacyjnych tworzymy, podejmując decyzje polityczne, techniczne, naukowe i rynkowe. Jednak dla mnie blok operacyjny wciąż pozostaje przede wszystkim miejscem ludzi niezwykłych – odważnych, sprawnych, inteligentnych i humanitarnych, w znaczeniu, którego dosłowności i piękna trudno szukać gdziekolwiek indziej.

Adnotacja o wykorzystaniu narzędzi AI

W przygotowaniu niniejszego artykułu wykorzystałem narzędzia sztucznej inteligencji, w tym model językowy ChatGPT, jako wsparcie w redakcji tekstu i przygotowaniu ilustracji. Ostateczna treść, dobór tez, interpretacje, decyzje merytoryczne oraz odpowiedzialność za publikację należą do autora.