

Robotyka w medycynie zabiegowej – szanse i wyzwania w kształceniu lekarzy

Robotics in interventional medicine – opportunities and challenges in doctors education

Artykuł recenzowany

KRZYSZTOF STARSZAK¹
MICHAŁ SMO CZOK¹
WERONIKA STARSZAK¹

¹ Śląski Uniwersytet Medyczny
w Katowicach

Słowa kluczowe:
chirurgia, roboty medyczne,
narzędzia chirurgiczne,
edukacja medyczna

Keywords:
surgery, medical robots,
surgical instruments,
medical education

Streszczenie

Chirurgia robotyczna jest wdrażana w coraz większej liczbie ośrodków ochrony zdrowia na całym świecie. Szczególnie chętnie z robotów korzystają urolodzy, ginekolodzy, chirurdzy ogólni, kardiochirurdzy, neurochirurdzy. Poszukuje się dowodów skuteczności zastosowania robotów w kolejnych dziedzinach. Na rynku pojawiają się nowe rodzaje robotów stosowanych w chirurgii: roboty toru wizyjnego, manipulatory chirurgiczne, roboty nawigacyjne czynne i bierne, roboty biochirurgiczne. Rosnąca popularność robotyki medycznej powinna powodować zmiany w kształceniu nowych kadr. W artykule omówiono na podstawie przeglądu literatury oraz własnych doświadczeń (warsztatów chirurgicznych) aktualny stan i kierunki rozwoju edukacji w zakresie chirurgii robotycznej.

Abstract

Robotic surgery is being implemented in an increasing number of health care centers around the world. Urologists, gynecologists, general surgeons, cardiac surgeons and neurosurgeons are particularly willing to use robots. Evidence of the effectiveness of using robots in other areas is sought. New types of robots used in surgery are appearing on the market: endoscopic vision robots, surgical manipulators, active and passive navigation robots, and biosurgical robots. The growing popularity of medical robotics should cause changes in the education of new staff. The current state and directions of development of education in robotic surgery are discussed in the article on the basis of literature review and own experience (surgical workshops).

■ WSTĘP

Robotyka medyczna jest młodą dziedziną, rozwijającą się wskutek kooperacji specjalistów z zakresu nauk medycznych i inżynierii. Oczywistym celem operatorów jest minimalizowanie ryzyka śródoperacyjnego, ograniczenie utraty krwi, zmniejszenie liczby potencjalnych powikłań [1]. Wraz z rozwojem chirurgii, jako pręźnie rozwijającej się dyscypliny medycznej, poszukiwano rozwiązań minimalnej inwazyjności, przy jednoczesnym zachowaniu optymalnego dostępu do operowanego obszaru. Ogromną rolę w diagnostyce przedoperacyjnej odegrały badania obrazowe, pozwalające na bardziej precyzyjny oraz lepszy jakościowo wgląd w ciało pacjenta.

Krokiem milowym dla światowej chirurgii było wynalezienie, opracowanie, a następnie wdrażanie na większą skalę laparoskopii, która coraz powszechniej jest wykonywana na całym świecie, również w Polsce. W programie szkolenia specjalizacyjnego każdego chirurga jest wykonanie zabiegów operacyjnych z wykorzystaniem tego narzędzia. Chirurgia małoinwazyjna koncentruje się na wykonaniu całości procesu operacyjnego przy zmniejszonym dostępie operacyjnym, co wpływa ograniczająco na możliwości zakażenia. Celem jest przyspieszenie rekonwalescencji pacjenta, zmniejszenie bólu, co wpływa na aspekt ekonomiczny – skrócenie czasu hospitalizacji. Intencją operatora powinno być również oszczędzanie zdrowego obszaru tkanek otaczających cel zabiegu oraz zmniejszenie ryzyka destrukcji naczyń krwionośnych i nerwów. Pomijającym, lecz mającym duże znaczenie, zwłaszcza dla pacjentów, jest aspekt estetyczny – chirurgia małoinwazyjna minimalizuje ryzyko wystąpienia szpecących blizn pooperacyjnych. Zdecydowanie młodszą, ale dającą równie wielkie nadzieje na rozwój podspecjalizacji chirurgicznych jest robotyka medyczna, której początki sięgają lat 80. XX w. Po raz pierwszy w medycynie, robota zastosowano w neurochirurgii. W 1985 r. w Long Beach, przy pomocy robota PUMA 560 wykonano biopsję, które były szybsze i bardziej precyzyjne, niż wykonywane uprzednio, klasycznymi metodami.[2] W 1988 r. przeprowadzono pierwszą resekcję gruczołu krokowego, co stanowiło preludium do rozwoju robotyki w urologii [3]. Kolejne lata przyniosły szereg postępów i modyfikacji. Ogromne znaczenie miało zaangażowanie ekspertów z NASA oraz U.S. Army [4]

Aktualnie chirurgia robotyczna jest wdrażana w coraz większej liczbie ośrodków ochrony zdrowia na całym świecie. Szczególnie chętnie z robotów korzystają urolodzy, ginekolodzy, chirurdzy ogólni, kardiochirurdzy, neurochirurdzy [5]. Wielu specjalistów z innego zakresu medycyny zabiegowej poszukuje zastosowania nowych rozwiązań w swoich dziedzinach – m.in. okuliści, czy ortopedzi. Na rynku

dostępne są różne rodzaje robotów chirurgicznych: roboty toru wizyjnego, manipulatory chirurgiczne, roboty nawigacyjne czynne i bierne, roboty biochirurgiczne [6]. Powstają coraz nowsze i lepsze konstrukcje, chętnie implementowane do codziennej praktyki lekarzy.

W Polsce od 2010 roku wykonuje się operacje na robocie Da Vinci, kiedy po raz pierwszy dokonano prostatektomii w Wojewódzkim Szpitalu Specjalistycznym we Wrocławiu przez prof. Witkiewicza z zespołem [7]. Nasz kraj ma również własną rodzinną robotę – Robin Heart, które są konstruowane w Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii w Zabrze pod kierownictwem doc. Zbigniewa Nawrata [8, 9].

Rosnące zapotrzebowanie na roboty medyczne inicjuje i daje motywację do nieustannego rozwoju współpracy inżynierów z lekarzami, w zakresie ulepszania i tworzenia nowych narzędzi diagnostyki i terapii [10]. W obliczu tego faktu, konieczne jest również kształcenie specjalistów, lekarzy rezydentów, a także studentów, w zakresie teoretycznym i praktycznym do pracy z wykorzystaniem robotów w codziennej praktyce klinicznej.

■ MATERIAŁY I METODY

Dokonano przeglądu dostępnych polskich i zagranicznych publikacji naukowych, dostępnych w internecie w najpopularniejszych bazach, m.in. PubMed, Google Scholar oraz archiwalnych numerów Medical Robotics Reports. Pod uwagę brano prace przeglądowe i badania kliniczne. Ponadto wykorzystano raporty komercyjne oraz państwowe. Dokonano selekcji publikacji, najlepiej poruszających zagadnienie.

■ KORZYŚCI I WYZWANIA

Postęp, który nieustannie zachodzi w naukach medycznych, powoduje lepsze wyniki diagnostyki i leczenia oraz polepszenie jakości świadczeń. Rozwój nowych technologii w medycynie, stał się jej nieodłączną częścią, który obok wymiernych korzyści dla całego sektora ochrony zdrowia, stwarza także wyzwania, przed którymi muszą stanąć zarówno młodzi lekarze, jak i doświadczeni specjaliści. Robotyka medyczna jest dziedziną, która rozwija się w szybkim tempie, a ilość tego typu urządzeń stale się zwiększa. Cena za tego typu urządzenia uległa zmniejszeniu na przestrzeni lat, zwiększając tym samym możliwości potencjalnego kupna [11]. Szereg korzyści, wynikających z operowania przy udziale robotów, obejmujących m.in. precyzyjne wykonanie zabiegu, skrócenie czasu operacji, a następnie rekonwalescencji pacjenta, mniejsze blizny pooperacyjne, często mniejszy ból. Działanie robota charakteryzuje również powtarzalność i brak zmęczenia, co aktual-

nie jest problemem całego sektora ochrony zdrowia. Wskutek niewystarczającej liczby lekarzy oraz malejącej liczby operatorów, są oni zobligowani często do wielogodzinnej pracy, na granicy wytrzymałości fizycznej i psychicznej [12]. Roboty wpływają na ograniczenie koniecznej do wykonania zabiegu grupy zaangażowanego personelu, co stanowi oczywiste odciążenie zespołów. Coraz większy zakres działania robotów oraz ich interdyscyplinarność, powoduje wzrost zapotrzebowania na operatorów biegłych w zastosowaniu wdrażanych urządzeń, a tych będzie brakować. Niektóre uczelnie medyczne w Polsce umożliwiają rekrutację na studia dla osób po profilach matematyczno-fizycznych, które maturę zdają z przedmiotów innych niż biologia i chemia. Ma to wymiar symboliczny w kontekście zastosowania nowoczesnych technologii w medycynie. Zainteresowania młodych ludzi rozpoczynających studia, zogniskowane na programowaniu, technologii rozszerzonej rzeczywistości, robotyce, mogą przynieść rewelacyjne rezultaty dla rozwoju nauk medycznych. Programy nauczania dla studentów kierunku lekarskiego i lekarsko-dentystycznego powinny być w najbliższej przyszłości uzupełnione o podstawową wiedzę z zakresu wykorzystania nowych zdobyczy technologii, z uwzględnieniem ich nieustannej ewolucji i rozwoju. Programy specjalizacji z zakresu dyscyplin zabiegowych powinny również zawierać elementy wykorzystania robotów medycznych, rozszerzonej rzeczywistości, aplikacji medycznych w codziennej praktyce. Istotną rolę pełnią тренаżery, które pozwalają zapoznać się z technikami oraz umożliwiają rozwój umiejętności manualnych. Dostęp do nich powinien być zapewniony nie tylko na rynku komercyjnym, fakultatywnie, ale jako nieodłączna część dydaktyki prowadzonej na uniwersytetach. Studenci kierunku lekarskiego w Zabrze, Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach już na pierwszym roku mają możliwość zapoznania się z zaawansowanymi technologiami medycznymi. Mają dostęp do ćwiczeń na тренаżerach, tworzą własne projekty, które podlegają rzetelnej ocenie. Prowadzony w sposób autorski przez Zbigniewa Nawrata przedmiot jest wstępem do sześcioletniej akademickiej nauki medycyny i pozwala zainteresować przyszłych lekarzy technologią, w tym robotyką medyczną. Rozwiązaniem, które należy rozważyć, byłoby wprowadzenie podobnej formy dydaktyki, na każdym wydziale w Polsce. Działalność edukacyjna centrów akademickich jest wspomagana przez rozwijające się medyczne ośrodki prywatne rozszerzające swoją ofertę o profesjonalne szkolenia lekarzy np. w zakresie chirurgii robotowej jak w krakowskim Szpitalu na Klinach (Grupa Neo Hospital).

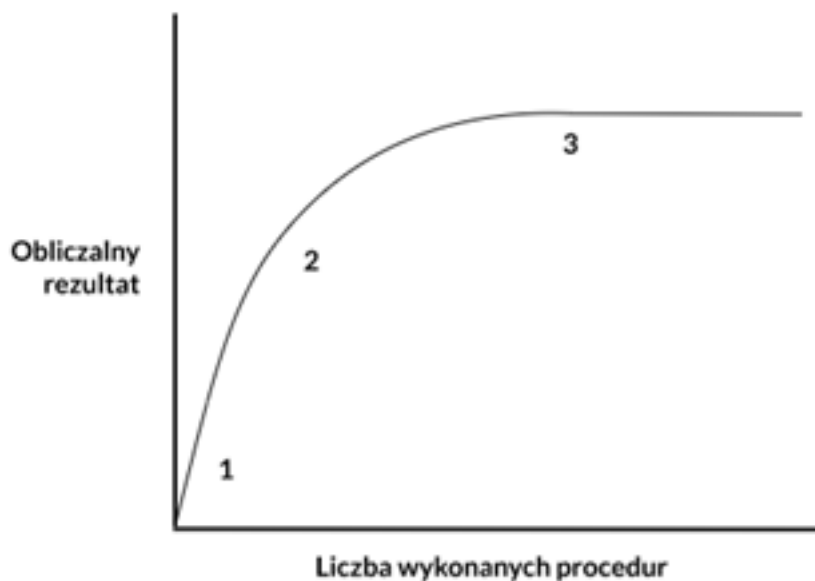
Szacuje się, że liczba robotów stosowanych w medycynie zabiegowej zwiększy się na przestrzeni najbliższych lat. By sprostać wymaganiom cywili-

zacyjnym, powinna się rozpocząć wielowymiarowa współpraca różnych środowisk [13].

Zainteresowanie studentów innowacyjnym podejściem do wybranego zawodu odbywa się nie tylko w zakresie realizowanego przedmiotu „Sztuczne narządy”, ale również w ramach Studenckiego Koła Naukowego im. Prof. Religi, które działało na przestrzeni lat przy Katedrze i Klinice Kardiochirurgii, Transplantologii, Chirurgii Naczyniowej i Endowaskularnej, a obecnie przy Katedrze Biofizyki Śląskiego Uniwersytetu Medycznego. Studenci, którzy rozwijali swoje zainteresowania pod patronatem dr hab. n. med. Zbigniewa Nawrata – opiekuna – są aktualnie czynnymi specjalistami w wielu dziedzinach medycyny, również zabiegowej, osiągając sukcesy w pracy zawodowej i naukowej. Również studenci, zaangażowani od I roku, dzięki nabywanemu doświadczeniu, ciekawym i inspirującym spotkaniom oraz wspólnej pracy, wielokrotnie byli współautorami publikacji naukowych, prelegentami na rozmaitych wydarzeniach, również o statucie międzynarodowym. Ówczesny Przewodniczący – wówczas student IV roku – Dr Jacek Jankowski, przeprowadził wykład dla senatorów RP w siedzibie wyższej izby polskiego parlamentu na temat dziesięcioletniego doświadczenia związanego z organizacją warsztatów chirurgicznych. Konferencja BioMedTech Silesia i towarzyszące jej Warsztaty chirurgiczne, organizowane od 20 lat w Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii FRK przyciągają co roku do Zabrza setki osób - zainteresowanych uczniów, studentów, pracowników naukowych oraz naukowców o renomie międzynarodowej. To platforma wymiany myśli i poglądów oraz prezentacji osiągnięć. Warsztaty organizowane są przez Pracownię Biocybernetyki FRK doświadczoną w tworzeniu mechatronicznych narzędzi i robotów medycznych, a także stanowisk badawczych razem ze studentami Koła Naukowego, obecnie nazwanego Studenckim Kołem Naukowym im prof Zbigniewa Religi. Studenci Koła wykonywali wiele własnych badań naukowych, których wyniki były prezentowane na licznych konferencjach o randze krajowej i międzynarodowej oraz opublikowanych w wielu czasopismach [14, 15]. Metody edukacyjne w chirurgii oraz nowe rozwiązania w robotyce są szczególnym przedmiotem zainteresowań Koła [16, 17]. W ramach SKN im. Prof. Zbigniewa Religi odbywają się również wykłady, seminaria oraz zajęcia praktyczne z zakresu chirurgii, robotyki, nowych technologii i badań obrazowych

KONIECZNOŚĆ WYZNACZANIA KRZYWEJ UCZENIA SIĘ DLA OPERATORÓW MEDYCZNYCH

Krzywa uczenia się jest niezwykle przydatnym narzędziem w opracowywaniu modeli kształcenia kadry medycznej. Obrazuje korelację pomiędzy zmienną



niezależną jaką w badaniach stanowi najczęściej czas poświęcony na naukę danego zagadnienia, a zmienną zależną, którą stanowi stopień posiadanych umiejętności [18]. Każdorazowe wdrożenie chirurga w prawidłowe wykonanie procedury medycznej wymaga zagospodarowania zasobów. Stąd też niezwykle istotnym jest określenie punktu, na krzywej, w którym chirurg jest zdolny do samodzielnego podjęcia wykonania danego zabiegu [19].

W jej klasycznym przebiegu (odnoszącym się do zdobywania umiejętności wcześniej nieposiadanej) możemy wyróżnić 3 fazy krzywej uczenia się (Ryc. 1). W fazie pierwszej (1) operator podejmuje naukę danego zagadnienia zaczynając od danego dla niego stopnia predyspozycji. Wraz z postępem czasowym (ilością wykonanych prób) następuje poprawa umiejętności (2) aż do osiągnięcia poziomu plateau (3), w którym niezależnie od poświęconego nakładu, rezultat pozostaje niezmienny [20].

Dokonanie analizy statystycznej zabiegów wykonywanych przez populację lekarzy zabiegowych pod kątem procesu uczenia się stanowi jedno z wyzwań współczesnej medycyny. Z uwagi na małą dostępność robotów medycznych powinniśmy maksymalizować ich wykorzystanie w celach zabiegowych z zachowaniem roli edukacyjnej w kształceniu nowego pokolenia operatorów.

Obecnie brak jest standaryzacji modeli kształcenia operatorów w oparciu o krzywe uczenia się. Ma to związek przede wszystkim z rozbieżnością założeń podczas ich tworzenia. W literaturze występują odmienności dotyczące definiowania pozytywnego rezultatu kształcenia [21]. Stąd też bardzo utrudnionym jest porównywanie krzywych uczenia się na podstawie dostępnych badań klinicznych i ich

interpretacja pod kątem optymalizacji procesu edukacji. Mamy coraz więcej dowodów, że w kilku dziedzinach telemanipulatory chirurgiczne zwiększają skuteczność interwencji medycznej i są łatwiejszym narzędziem dla nauki.

Przykładowo - zgodnie z badaniami Melich'a, porównującymi skuteczność wykonywania zabiegów metodami robotycznymi i laparoskopowymi, zaobserwować można znaczną poprawę zdolności wykonywania zabiegów robotycznych w obrębie odbytnicy już po 41 przeprowadzonych zabiegach (w tym wypadku czas wykonania zabiegu przyjmowany jest jako przesłanka do oceny zdolności operatora), względem analogicznych procedur wykonywanych metodami klasycznej laparoskopii, po wykonaniu 41 zabiegów obserwowano stałą progresję w skracaniu czasu wykonywania TME (całkowite wycięcie mezorektum) [22].

Proces kształcenia chirurga zależy w znacznej mierze od jego doświadczenia w przeprowadzaniu zabiegów laparoskopowych, ilości godzin spędzonych na symulatorach oraz praktyki w wykonywaniu innych zabiegów z użyciem robotów.

Wraz ze wzrostem dostępności robotyki medycznej w Polsce i na świecie, możliwym będzie uzyskanie większej ilości danych dotyczących poprawy umiejętności operatorów i wykorzystanie ich do jak najszybszego wdrożenia kadry w samodzielną praktykę.

WYKORZYSTANIE TECHNOLOGII WIRTUALNEJ RZECZYWISTOŚCI JAKO NARZĘDZIA DO KSZTAŁCENIA KADRY OPERATORÓW ROBOTÓW MEDYCZNYCH

W ostatnich latach obserwujemy gwałtowny rozwój technologii z zakresu wirtualnej i rozszerzo-

nej rzeczywistości. Na rynku dostępnych jest wiele rozwiązań, z których część wykorzystywana jest na salach operacyjnych na całym świecie. Narzędzie to z powodzeniem może być wykorzystane do planowania przedoperacyjnego, poszerzenia wizualizacji anatomii pacjenta podczas zabiegów otwartych jak również w przypadku procesów kształcenia kadry medycznej [23].

Technologia wirtualnej rzeczywistości pełni również istotną rolę w przypadku kształcenia operatorów robotów medycznych. Swoją podstawę znajduje to między innymi w dysproporcji pomiędzy dostępnością klasycznych metod chirurgii otwartej i laparoskopowej, a metodami robotycznymi. Stąd istnieje konieczność stworzenia rozwiązań umożliwiających zapoznanie się z konsolą sterującą i przeprowadzenie symulacji odpowiadających rzeczywistym zabiegom.

Na rynku istnieje kilka komercyjnych systemów symulacji robotyki medycznej (dVSS, RoSS, Mimic dV-Trainer, SEP) [24]. Część z nich jak dVSS (da Vinci Skills Simulator) dedykowana jest do edukacji w kontekście jednej platformy. Inne pozwalają na bardziej interdyscyplinarne nabycie umiejętności operatorskich. Zastosowanie platform stanowi konkurencję pod względem kosztów kształcenia względem nauki na samych robotach. Co więcej zapewnia większą mobilność.

Dyskusyjną jest jednak kwestia, czy możliwym jest kształcenie kadry operatorów z pominięciem klasycznego mentorskiego modelu obecnego w praktyce zabiegowej. Obecnie istniejące symulatory wykorzystujące technologię wirtualnej rzeczywistości stanowią bowiem niewystarczające narzędzie, wymagające dalszego rozwoju [25].

Metaanalizy dostępnych badań klinicznych wskazują zatem pilną konieczność pogłębiania skuteczności zastosowania symulatorów medycznych w kształceniu nowego pokolenia operatorów. Preferowanym byłoby stworzenie wielośrodkowego badania odnoszącego się do metod wirtualnej rzeczywistości jako właściwego narzędzia dydaktycznego [26].

Niewątpliwie obiecującym kierunkiem rozwoju technik wirtualnej rzeczywistości jest utrzymywanie manualnych zdolności chirurgicznych podczas okresów przerwy w wykonywaniu operacji. Co więcej podczas wykonywania symulacji, można liczyć na poprawę niektórych umiejętności [27].

ROLA KOOPERACJI ZESPOŁU W ZABIEGACH ROBOTYCZNYCH

Zaadoptowanie robotów w codziennej praktyce klinicznej nie jest jednak rozwiązaniem prostym i oczywistym do wprowadzenia, pomimo oczywi-

stych korzyści. Minusem użytkowania są koszty jednorazowego kupna sprzętu, brak refundacji takich zabiegów, kosztowne serwisowanie, ale również poruszany przez nas aspekt nauki operatorów [28]. Co więcej, autorzy badań, zwracają uwagę na aspekt oczywistego obciążenia operatorów, ale również dodatkowe obciążenie pozostałych członków zespołu [29]. Pielęgniarki mają bardzo duży udział w koordynacji działań bloku operacyjnego oraz stanowią ważną część zespołów operacyjnych, bez względu na specjalizację, w obszarze których działają lekarze. W kontekście chirurgii robotycznej należy wspomnieć o konieczności edukacji pielęgniarek, uwzględniając sytuacje kryzysowe, zdolność przewidywania możliwych wariantów rozwoju operacji. Konieczne jest ukierunkowanie specjalistyczne, ale również program podstawowy w zakresie wykształcenia pielęgniarek [30]. Długotrwała praca na sali operacyjnej, zwłaszcza w tym samym zespole, pozwala na wzajemne poznanie własnych umiejętności, reakcji na sytuacje stresowe oraz wypracowanie sprawnej komunikacji, która jest niezbędna, przede wszystkim w sytuacjach kryzysowych. Aby zwiększyć szanse na odpowiednią, bezpieczną opiekę nad pacjentami, pielęgniarki – członkowie zespołów operacyjnych powinny nabierać jak największej praktyki, a ich szkolenie powinno być standaryzowane, by komunikacja między personelem była możliwie sprawna. Również kwestia przygotowania sprzętu powinna być istotnym aspektem [31]. Warto zwrócić uwagę na fakt, że operator jest odseparowany od pozostałych członków zespołu i to właśnie odpowiednia komunikacja, może mieć decydujący wpływ na powodzenie zabiegu i najlepszą opiekę nad pacjentem [32].

W opublikowanym w 2014 roku raporcie dotyczącym największych zagrożeń dla technologii medycznych autorzy wskazali powikłania, z powodu niewystarczającego szkolenia w obszarze robotyki medycznej. Wyzwania, które stoją przed implementującymi technologię w tym obszarze, to m.in. szkolenie drużynowe i szkolenie personelu pomocniczego, o czym wspomniano wcześniej, jak również częste, regularne korzystanie ze sprzętu, etc [33].

ASPEKT BEZPIECZEŃSTWA W ROBOTYCE MEDYCZNEJ

Ważnym, choć często pomijanym aspektem jest kwestia awaryjności sprzętu robotycznego. Oczywistym jest proces kontroli i certyfikacji wymagany przed dopuszczeniem każdorazowo nowego urządzenia do użytkowania w praktyce klinicznej. Ma on na celu minimalizację ryzyka wystąpienia awarii robotów. Jednak w przeciwieństwie do przyrządów wykorzystywanych w konwencjonalnej chirurgii i chirurgii laparoskopowej, jakkolwiek dysfunkcja

sprzętu robotycznego niesie ze sobą nieporównywalnie większe implikacje. W analizie 3935 przypadków, przeprowadzonej przez A. Tappera z zespołem (Styczeń 2014–Czerwiec 2017) wyodrębniono 247 zgłoszonych usterek oprzyrządowania [34]. Do najczęściej zgłaszanych dysfunkcji sprzętowych należały awarie samych narzędzi i okablowania. Jednak jedynie w 57,9% przypadków, producent sprzętu dokonywał zwrotu kosztu za poniesione naprawy z uwagi na częste zjawisko niepoprawnego użycia narzędzi (względem zalecanego) przez operatorów.

Z powodu wysokich kosztów, jego dostępność jest ograniczona zwykle do jednego/kilku robotów przypadających na dany ośrodek. Stąd też problemy związane z serwisowaniem i naprawą robotów medycznych prowadzą niejednokrotnie do konieczności zaniechania wykonywania danego zabiegu na dłuższy okres czasu co przekłada się na realne straty finansowe. Awaria może wystąpić podczas operacji ale robot nie może wykonać żadnego ruchu bez właściwej decyzji operatora. W takich przypadkach odsuwa się robota od stołu operacyjnego i następuje konwersja metody operacyjnej na metodę otwartą.

Coraz częściej zwracana jest uwaga opinii publicznej na aspekt bezpieczeństwa operacji wykonywanych przy użyciu robotów medycznych. Analiza 10624 zgłoszeń dokonanych do FDA (U. S. Food and Drug Administration), indeksowanych w amerykańskiej bazie MAUDE, dokonanych w okresie 2000-2013 ujawniła zarys struktury najczęściej pojawiających się zdarzeń niekorzystnych związanych z robotyką medyczną. [35]. Przeważającą ilość zgłaszanych incydentów stanowiły dysfunkcje sprzętu – 75,9%. Zdarzenia skutkujące zranieniem pacjenta bądź jego śmiercią stanowiły kolejno 13,1% oraz 1,4%. Ciekawego porównania użyli J.W. Collins oraz P. Wisz, którzy zauważyli podobieństwo między szkoleniem chirurgów, pracujących na robotach medycznych, a pilotami samolotów. [36]. Zarówno jedna, jak i druga grupa pracuje z wykorzystaniem nowoczesnych i bardzo złożonych rozwiązań technologicznych. Są oni również poddani dużemu obciążeniu psychicznemu i stresowi. Nie bez znaczenia pozostaje również odpowiedzialność za życie i zdrowie człowieka, któremu służą. Warto jednak podkreślić, że szkolenie lotnicze, jest dostosowane do aktualnych potrzeb, które zostały zbudowane na wieloletnich doświadczeniach, uwzględniających wymagania i wielowymiarowy rozwój w zakresie lotnictwa. Analogicznie wypracowane schematy, są również potrzebne w robotyce medycznej – głównie w jej implementacji do codziennej praktyki klinicznej.

■ WNIOSKI

- Należy opracować i wdrażać program kształcenia studentów i młodych lekarzy, obejmujący zakre-

KOMENTARZ RECENZENTA...

Krzysztof Mianowski, dr inż., Politechnika Warszawska

W artykule poruszono ważny i bardzo aktualny problem kształcenia młodych lekarzy w dziedzinie nowoczesnych technik medycznych/chirurgicznych i w szczególności w dziedzinie robotyki medycznej. W sposób przystępny i czytelny autorzy przybliżają czytelnikowi problematykę nowoczesnych zabiegów operacyjnych oraz jej różne aspekty związane z koniecznością kształcenia w tym zakresie. We wnioskach, w końcowej części pracy, autorzy przedstawiają własny zbiór zaleceń i program niezbędnych działań mający na celu skuteczne wprowadzenie robotyki medycznej do codziennej praktyki leczenia pacjentów.

Prof. dr hab. Stanisław Mitura, dr hc TUL Wydział Nauk o Zdrowiu, Akademia Kaliska

Interesujący przegląd stosowania nowoczesnych technik inżynierii medycznej. Autorzy sugerują: „Należy opracować i wdrażać program kształcenia studentów i młodych lekarzy, obejmujący zakresem wykorzystanie nowych technologii, w tym robotów medycznych oraz wirtualnej rzeczywistości.” Niewątpliwie, brakuje kształcenia specjalistów, lekarzy rezydentów, a także studentów, w zakresie teoretycznym i praktycznym do pracy z wykorzystaniem robotów w codziennej praktyce klinicznej.

Prof. Dr. med. Dr. hc mult. W. Konrad Karcz PHM

Jestem wdzięczny, że tak ważny dla dalszego rozwoju medycyny temat został przyjęty do publikacji i znalazł miejsce w Journalu. Wykorzystując okazję chciałbym zasygnalizować ważny problem w kształceniu specjalizacyjnym. W zakresie manipulatorów chirurgicznych w chwili obecnej w znakomitej większości przypadków treningi są w rękach firm produkujących roboty. Przez ten fakt dostępność w różnych częściach globu do technologii jest bardzo zróżnicowana. A przez takie systematyczne przejmowanie kształcenia medycznego ulegamy jako grupa specjalistów zabiegowych manipulacji marketingowej firm sprzedających zaawansowany sprzęt medyczny. Tym samym, rozczarowującym jest fakt że zainteresowanie zagadnieniem, nie jest wystarczającym czynnikiem aby podjąć szkolenie w tym zakresie, najczęściej warunkiem koniecznym jest zakup sprzętu firmy aby taka możliwość otrzymać. Biorąc pod uwagę tylko Unie Europejska i równorzędność kwalifikacji, gwarantowanej prawem, obecna polityka przekreśla możliwość wolnej konkurencji, a możliwość ubiegania się o stanowiska kierownicze w klinikach chirurgicznych, pozostaje tylko teoretycznym postulatem. Tutaj, zdecydowana rola powinny tu odegrać narodowe Towarzystwa Chirurgiczne, gdzie solidarność i dobro przyszłych pokoleń chirurgów powinny wziąć gore nad politycznymi podziałami. Konieczne jest wypracowanie doktryny unijnej w zakresie kształcenia obejmującego nowe technologie, celem powstania na każde 30 milionów mieszkańców uni centrum treningowe umożliwiające dostęp do technologii wszystkim ubiegającym się o specjalizację zabiegowa. W przyszłości ukończenie takiego kursu powinno być warunkiem koniecznym do przystąpienia do egzaminu specjalizacyjnego. Celem wspierania integracji europejskiej centra kształcenia powinny być lokalizowane tylko w euroregionach z różnymi kulturami, co powinno służyć wymianie międzynarodowej, wspomagając przepływ ludności i wzmacniać integracje europejska.

sem wykorzystanie nowych technologii, w tym robotów medycznych oraz wirtualnej rzeczywistości.

- Wzrost świadomości pacjentów, zwiększenie dostępności oraz spadek cen, mogą się przyczynić do zwiększenia rynku robotów medycznych w Polsce.
- Zapotrzebowanie na roboty medyczne oraz nowe technologie będzie rosnąć, zatem konieczne jest kształcenie kadr, by zaspokoić potrzeby systemu ochrony zdrowia w najbliższej przyszłości.
- Zasadne wydaje się dalsze prowadzenia badań, mających na celu standaryzację wymogów stawianych przyszłym operatorom, wykorzystującym roboty w praktyce klinicznej.
- Koniecznym wydaje się stworzenie wielośrodkowego badania mającego na celu standaryzację procedur kształcenia operatorów robotów medycznych w oparciu o analizę wieloczynnikową
- Istnieje potrzeba stworzenia programów szkoleniowych o podejściu holistycznym – biorącym pod uwagę również personel medyczny towarzyszący operatorom robotów chirurgicznych, celem poprawy ergonomii pracy i standaryzacji postępowania.
- Wskazaniem jest dokonywanie ewidencji przeprowadzanych zabiegów z udziałem robotów medycznych oraz ścisła kontrola komplikacji i błędów medycznych, celem wypracowania szeregu procedur kryzysowych, w przypadku wystąpienia problemów w trakcie operacji.

BIBLIOGRAFIA:

- [1] AlAsseri N, Swennen G. Minimally invasive orthognathic surgery: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2018;47(10):1299-1310.
- [2] Kwoh Y.S., Hou J., Jonckheere E.A. A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1988; 35: 153–160
- [3] Davies B. L., Hibberd R. D., Coptcoa, M. J., Wickham J. E. A. A surgeon robot prostatectomy – a laboratory evaluation. *J. Med. Engng and Technol.* 1989; 13
- [4] George E. I., Brand T.C., LaPorta A., Marescaux J., Satava R.M. Origins of Robotic Surgery: From Skepticism to Standard of care. *JLS.* 2018; 22(4)
- [5] Zdrojewicz Z., Witkiewicz W., Dołowicz A., Głód J. Robotyka w Medycynie, Robotics in medicine. *Chirurgia Polska.* 2014; 16 (2): 84-90
- [6] Nawrat Z. Roboty i manipulatory w medycynie. *Mechanika Techniczna. Tom 12. Biomechanika.* Red. R. Będziński. 2011: 753–827.
- [7] Witkiewicz W., Jastrzębski J., Sokołowski J. i wsp. Chirurgia robotowa – historia rozwoju. *Przegląd Urologiczny.* 2011; 6: 66–73.
- [8] Nawrat Z. State of the art in medical robotics in Poland: development of the Robin Heart and other robots. *Expert Review of Medical Devices.* 2012; 9: 353-359
- [9] Nawrat Z, Kostka P. Polish cardio-robot 'Robin Heart'. System description and technical evaluation. *Int J Med Robot.* 2006; 2(1): 36-44
- [10] Armijo P.R., Pagkratis S., Boilesen E., Tanner T., Oleynikov D. Growth in robotic-assisted procedures is from conversion of laparoscopic procedures and not from open surgeons' conversion: a study of trends and costs. *Surg Endosc.* 2018; 32: 2106-2113
- [11] Nawrat Z. Robotyka medyczna w Polsce. *Medical Robotics Reports.* 2012; 1: 7-16
- [12] Zgliczyński W.S. Kadry Medyczne w Polsce. *INFOS.Biuro Analiz Sejmowych.* 2016; 210 (6)
- [13] PMR, Upper Finance. Rynek robotyki chirurgicznej w Polsce 2019. Prognozy rozwoju na lata 2020-2023. 2019
- [14] Niemiec A., Odziomek M., Oleksik N. et al. Robot Domowy – Home Medical Robot. *Medical Robotics Reports.* 2015;4:61-64
- [15] Smoczok M., Starszak K. Tematyka transplantologii dziecięcej wśród rodziców, na terenie województwa śląskiego. *Polski Przegląd Nauk o Zdrowiu.* 2018;4(57):439–443.
- [16] Pytlos M., Nawrat A., Musik D., et al. Porównanie metod edukacyjnych w chirurgii- stanowiska treningowe kontra symulacje komputerowe. *BioMedTech Silesia* 2012
- [17] Smoczok M., Starszak K. Robotyka w endoskopii – wizualizacja w postaci modelu fizycznego. *BioMedTech Silesia* 2018
- [18] Pernar LIM, Robertson FC, Tavakkoli A, Sheu EG, Brooks DC, Smink DS. An appraisal of the learning curve in robotic general surgery. *Surg Endosc.* 2017;31(11):4583-4596.
- [19] Kassite I, Bejan-Angoulvant T, Lardy H, Binet A. A systematic review of the learning curve in robotic surgery: range and heterogeneity. *Surg Endosc.* 2019;33(2):353-365.
- [20] Andolfi C, Umanskiy K. Mastering Robotic Surgery: Where Does the Learning Curve Lead Us?. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A.* 2017;27(5):470-474.?
- [21] Mazzon G, Sridhar A, Busuttill G, et al. Learning Curves for Robotic Surgery: a Review of the Recent Literature. *Curr Urol Rep.* 2017;18(11):89. Published 2017 Sep 23.
- [22] Melich G, Hong YK, Kim J, et al. Simultaneous development of laparoscopy and robotics provides acceptable perioperative outcomes and shows robotics to have a faster learning curve and to be overall faster in rectal cancer surgery: analysis of novice MIS surgeon learning curves. *Surg Endosc.* 2015;29(3):558-568.
- [23] Bernardo A. Virtual Reality and Simulation in Neurosurgical Training. *World Neurosurg.* 2017;106:1015-1029.
- [24] Bric JD, Lombard DC, Frelich MJ, Gould JC. Current state of virtual reality simulation in robotic surgery training: a review. *Surg Endosc.* 2016;30(6):2169-2178.
- [25] Lee GI, Lee MR. Can a virtual reality surgical simulation training provide a self-driven and mentor-free skills learning? Investigation of the practical influence of the performance metrics from the virtual reality robotic surgery simulator on the skill learning and associated cognitive workloads. *Surg Endosc.* 2018;32(1):62-72.
- [26] Moglia A, Ferrari V, Morelli L, Ferrari M, Mosca F, Cuschieri A. A Systematic Review of Virtual Reality Simulators for Robot-assisted Surgery. *Eur Urol.* 2016;69(6):1065-1080.
- [27] Guseila LM, Saranathan A, Jenison EL, Gil KM, Elias JJ. Using virtual reality to maintain surgical skills during periods of robotic surgery inactivity. *J Robot Surg.* 2014;8(3):261-268.
- [28] Catchpole K, Bisantz A, Hallbeck MS, et al. Human factors in robotic assisted surgery: Lessons from studies 'in the Wild'. *Appl Ergon.* 2019;78:270-276.
- [29] Catchpole K, Bisantz A, Hallbeck MS, et al. Human factors in robotic assisted surgery: Lessons from studies 'in the Wild'. *Appl Ergon.* 2019;78:270-276.
- [30] Kang MJ, De Gagne JC, Kang HS. Perioperative Nurses' Work Experience With Robotic Surgery: A Focus Group Study. *Comput Inform Nurs.* 2016;34(4):152-158.
- [31] Pograjec A, Hubert J. Le rôle de l'IBODE en chirurgie robotique urologique [The nurse's role in urologic robotic surgery]. *Prog Urol.* 2019;29(15):899-903.
- [32] Gill A, Randell R. Robotic surgery and its impact on teamwork in the operating theatre. *J Perioper Pract.* 2016;26(3):42-45.
- [33] ECRI Institute (2014) Top 10 Health Technology Hazards for 2015. *Health Devices.* https://www.ecri.org/Resources/Whitepapers_and_reports/Top_Ten_Technology_Hazards_2015.pdf. Accessed May 2020.
- [34] Tapper A, Leale D, Megahan G, Nacker K, Killinger K, Hafron J. Robotic Instrument Failure-A Critical Analysis of Cause and Quality Improvement Strategies. *Urology.* 2019;131:125-129.
- [35] Alemzadeh H, Raman J, Leveson N, Kalbarczyk Z, Iyer RK. Adverse Events in Robotic Surgery: A Retrospective Study of 14 Years of FDA Data. *PLoS One.* 2016;11(4):e0151470. Published 2016 Apr 20.
- [36] Collins JW, Wisz P. Training in robotic surgery, replicating the airline industry. How far have we come? [published online ahead of print, 2019 Oct 17]. *World J Urol.* 2019;10.1007/s00345-019-02976-4.