

**Joanna NIEWĘGŁOWSKA¹, Anna ANCHIMOWICZ¹, Wiktoria LASOCKA¹,
Magdalena RODZIEWICZ¹, Piotr BORKOWSKI¹**

¹Instituł Inżynierii Biomedycznej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka, Białystok

PROJEKT TRENAŻERA DO OPERACJI LAPAROSKOPOWYCH

Streszczenie: Artykuł przedstawia koncepcję trenażera do operacji laparoskopowych oraz zestaw proponowanych ćwiczeń. Trenażer laparoskopowy nazywany również laparoskopowym symulatorem chirurgicznym umożliwia doskonalenie technik operacji laparoskopowych przez lekarzy oraz studentów medycyny. Do wykonania elementów zestawów prototypu wykorzystano technikę druku 3D metodą FDM.

Słowa kluczowe: laparoscopia, edukacja w chirurgii, symulator, druk 3D, FDM

1. WSTĘP

Laparoscopia stanowi jedną z kluczowych technik chirurgicznych, której dynamiczny i efektowny rozwój można zaobserwować na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci XX wieku. Laparoscopia, czyli wżernikowanie jamy otrzewnowej zainicjowała zmiany w zabiegach chirurgicznych. Zabiegi chirurgiczne z wykorzystaniem technik laparoskopowych wyróżniają możliwość przeprowadzania trudnych zabiegów przy jednoczesnym zachowaniu niskiej inwazyjności. Zastosowanie techniki laparoskopowej pozwala na skrócenie czasu zabiegu, minimalizację liczby potrzebnego instrumentarium oraz krótszy czas rekonwalescencji pacjenta w porównaniu z techniką tradycyjną. Operacje laparoskopowe przeprowadzane są w celach diagnostycznych oraz terapeutycznych [2]. Pierwsze wzmianki o tej technice datuje się na 1806 rok. Za ojca laparoskopii uznawany jest Philip Bozzini (1773-1809), niemiecki lekarz, wynalazca pierwszego endoskopu. Obecny poziom laparoskopii jest konsekwencją rozwoju współczesnej techniki oraz nieustannie trwających szkoleń kadry medycznej [3].

Laparoscopia stanowi odrębną dziedzinę chirurgii, a nauka tej formy przeprowadzania zabiegów jest odmienna od treningu tradycyjnych zabiegów chirurgicznych, z uwagi na minimalny dostęp [7, 8]. Nauka na drodze uczeń - mistrz w przypadku laparoskopii jest niezadowolająca, z uwagi na nieustannie postępujący rozwój nowych technologii, narzędzi i metod operacyjnych. Fundamentalnym etapem ćwiczeń jest nauka wideochirurgii wykorzystująca rzeczywistość wirtualną w laboratorium na trenażerach i symulatorach [1].

Operacje laparoskopowe są coraz powszechniejszą alternatywną formą zabiegu. Po odpowiednim znieczuleniu umożliwiają szybkie i dokładne wykonanie operacji z mniejszą liczbą powikłań. Konieczne jest jednak ciągłe doszkalanie medyków, stąd obserwowany jest

wzrost zainteresowania trenażerami, umożliwiającymi doskonalenie umiejętności posługiwania się narzędziami laparoskopowymi w bezpiecznych warunkach [4].

Projekt jest dedykowany osobom interesującym się obsługą i zasadą działania narzędzi laparoskopowych. Urządzenie to daje możliwość treningu dla studentów medycyny i lekarzy.

2. PROJEKT TRENAŻERA DO OPERACJI LAPAROSKPOWYCH

2.1. Zastosowanie symulatorów laparoskopowych

Celem symulatorów laparoskopowych jest poszerzenie umiejętności manipulacji narzędziami laparoskopowymi przez kadry lekarzy i studentów medycyny. Symulator do zabiegów laparoskopowych umożliwia weryfikację wiedzy na temat istoty procedur przygotowawczych, w zależności od obszaru anatomicznego poddawanego zabiegowi tj. sposób ułożenia pacjenta, czy wybór właściwych pozycji trzymania narzędzi. Trenerà daje możliwość nabycia kluczowych umiejętności wymaganych, aby zostać chirurgiem laparoskopowym (w tym koordynacji obustronnej), wykorzystania różnych technik zabiegowych, podstawowych umiejętności manipulacji, preparowania, szycia, wiązania, oraz koordynacji wzrokowo-ruchowej.

2.2 Założenia konstrukcyjne

Podczas projektowania trenażera przyjęto następujące założenia konstrukcyjne:

- zapewnienie możliwości nabycia umiejętności obsługi różnych narzędzi laparoskopowych,
- wykonanie korpusu trenażera o anatomicznym kształcie ludzkiego ciała,
- opracowanie zestawów zadań do ćwiczeń różnych technik zabiegów laparoskopowych, o zróżnicowanym stopniu zaawansowania,
- wykonanie projektu przy wykorzystaniu technologii druku 3D,
- łatwy montaż i demontaż podzespołów,
- możliwość wykonywania ćwiczeń w kilku skalach trudności.

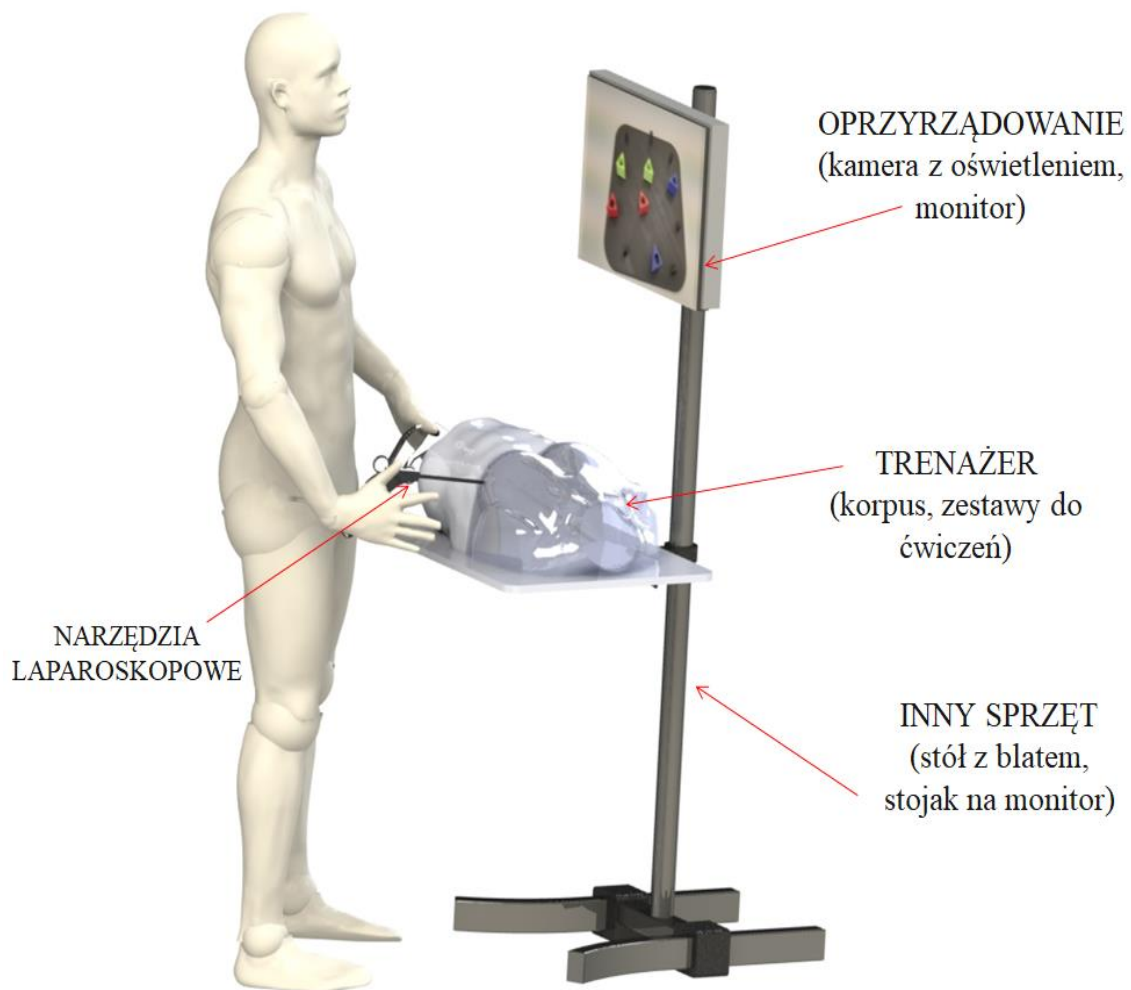
2.3 Technologia wytwarzania trenażera

Założeniem projektu było wykonanie wielu składowych elementów przy wykorzystaniu technik przyrostowych - druku 3D. Technologie druku 3D pozwalają na wykonanie struktury trójwymiarowej dzięki ciągłym dodawaniu cienkich warstw określonego materiału. Ta stosunkowo prosta i łatwa operacja pozwala na wykonanie szerokiej gamy wyrobów. Technologia przyrostowa posiada nieograniczony wybór projektu, przez co jest bardzo atrakcyjną formą wytwarzania. Projekt ten w maksymalnym stopniu wykorzystuje możliwości druku przestrzennego. Ostatnimi laty zauważalny jest wzrost zainteresowania omawianą technologią, przez co drukarki 3D stały się bardziej powszechne. Metoda druku przestrzennego jest rozwojowa, zapewnia nowe możliwości i oferuje perspektywę ciągłego dodrukowywania nowych elementów (zarówno nowych, innych zestawów ćwiczeń umiejętności, jak i uszkodzonych elementów konstrukcji) [5, 6]. Dodatkowo technologia ta minimalizuje konieczność wykonania skomplikowanej dokumentacji technicznej oraz problemy z dystrybucją przedmiotów. Wystarczy plik w formacie .stl i nabywca może

W dowolnym laboratorium wytworzyć dany element. Niweluje ryzyko zniszczenia тренаżera w trakcie dostawy oraz zmniejsza koszty. Wykorzystany do wykonania poszczególnych elementów materiał ABS pozwala na wykonanie trwałych modeli wielokrotnego użytku.

3. STRUKTURA WYKONANEGO PROEJKTU

Schemat projektowanego urządzenia przedstawiony na rys.1 ukazuje główne komponenty projektu.



Rys.1. Trenażer operacji laparoskopowych

Projekt składa się z następujących komponentów (podzespołów):

- anatomiczny korpus,
- zestawy zadań treningowych dostosowane do skali trudności ćwiczeń,
- narzędzia laparoskopowe (grasper treningowy laparoskopowy, imadło treningowe laparoskopowe bransze zakrzywione),
- oprzyrządowanie (kamera z oświetleniem oraz monitor),
- stół z blatem i stojakiem na monitor.

W projekcie wykorzystane zostały profesjonalne narzędzia laparoskopowe firmy Grena. Oprzyrządowanie stanowi kamera wraz z oświetleniem umieszczane wewnątrz korpusu. Kamera inspekcyjna HD z funkcją oświetlenia LED zapewnia możliwość transmisji widoku z wnętrza korpusu, śledzenie pracy narzędzia. Posiada funkcję robienia zdjęć i wideo podczas pracy. W skład tego podzespołu wchodzi także monitor.

Korpus trenera wykonany został na drukarce 3D technologią FDM (Fused Deposition Modelling) z tworzywa ABS. Model CAD korpusu wykonany został na podstawie skanu 3D manekina. Wykorzystanie skanera Artec Eva zapewnia precyzyjny automatyczny pomiar i obróbkę wyników pomiarów z dokładnością do 0,1 mm. Wykorzystanie manekina pozwoliło na wielokrotne jego skanowanie oraz uzyskanie założonego anatomicznego kształtu korpusu trenera. Następnie dokonano rejestracji danych z pomiaru, przeformatowania ich w programie SolidWorks 2020, zapisania w formacie .stl oraz wytworzenia korpusu. W wewnętrznej stronie korpusu oraz blacie roboczym umieszczone zostały magnesy, aby umożliwić wyjmowanie i zakładanie korpusu na blat, co zapewnia łatwą wymianę zadań. Dzięki temu symulator może być wykorzystywany do treningu umiejętności posługiwania się różnymi narzędziami, poprzez wykonywanie ćwiczeń o różnym stopniu złożoności (zaawansowania). Korpus posiada część portów do umieszczania narzędzi laparoskopowych, które są rozmieszczone w sposób odpowiadający rozmieszczeniu podczas zabiegów. Porty zlokalizowane są w dwóch równoległych rzędach parami.

Ważnymi elementami trenera są **zestawy zadań** do ćwiczeń różnych technik zabiegów laparoskopowych o zróżnicowanym stopniu zaawansowania. Zestawy zostały wykonane przy użyciu druku 3D. Dodatkowe elementy tj. gumki recepturki czy koraliki zostały zakupione.

Poniżej opisano proponowane ćwiczenia i zestawy do ich realizacji.

1. Umiejętności chwytania i przenoszenia w określone miejsce przedmiotów o prostych kształtach. Zestaw ten zapewnia możliwość nabycia umiejętności manipulacji w obu rękach z taką samą precyzją oraz trening koordynacji osoby wykonującej te ćwiczenia. Wymiary elementów do przenoszenia są stosunkowo duże, dzięki czemu trening ten zalecany jest na początkowym etapie nauki manipulacji narzędziami laparoskopowymi (rys.2).

2. Zadanie ćwiczące umiejętność posługiwania się narzędziami do zabiegów laparoskopowych - ćwiczenia chwytania, przenoszenia i upuszczania elementów o obłym kształcie, jak również poczucie głębi przestrzeni (rys.3).

3. Zestaw służący do doskonalenia umiejętności szycia, z odpowiednio dobranymi przeszkodami. Zadanie to umożliwia trening umiejętności symetrycznej współpracy obu rąk.

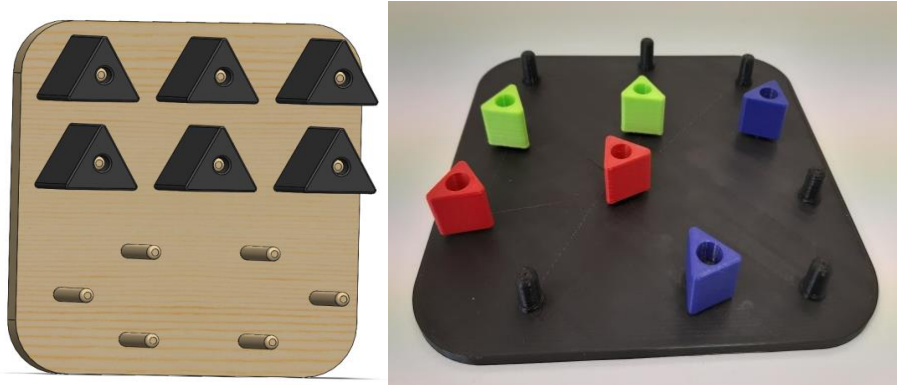
4. Zestaw służący do doskonalenia poczucia głębi, a także manipulacji narzędziami laparoskopowymi pod różnymi kątami przy użyciu obu rąk (rys.4).

5. Zestaw odwzorowujący anatomiczne kształty organów wewnętrznych. Elementy te stanowią modele przelyku, woreczka żółciowego, wątroby, trzustki, żołądka, jelita cienkiego, jelita grubego oraz odbytnicy. Zestaw ten zaprojektowany został w celach edukacyjnych oraz w celu ćwiczenia zdolności manualnych operatora. Dzięki haczykom umieszczonym w każdym z komponentów operator może chwytać i przenosić elementy w określone miejsce na planszy (rys.5).

6. Kolejnym zestawem jest model 3D kręgosłupa. Kręgosłup ukazujący anatomiczny kształt odcinka szyjnego, piersiowego, lędźwiowego oraz kości krzyżowej i ogonowej (rys.6).

7. Zestaw stanowiący egzemplifikację logo Koła Naukowego, którego członkowie są autorami projektu. Zestaw także umożliwia ćwiczenia manualne z wykorzystaniem technik laparoskopowych. Został on wykonany w celu pokazania różnorodności kształtów możliwych do uzyskania dzięki zastosowaniu druku 3D.

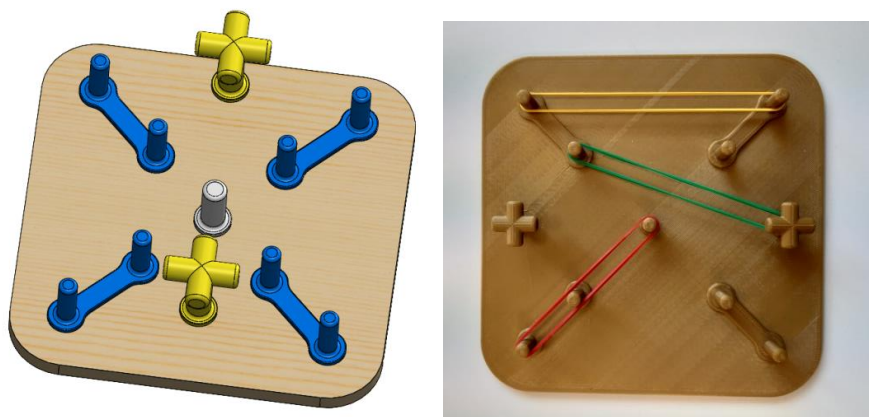
Ćwiczenia na symulatorze rozpoczynają się od nauki manipulacji narzędziami laparoskopowymi na samych zadaniach (rys.7 z lewej strony). Kolejnym etapem jest wykonywanie zadań umieszczonych w obudowie korpusu z wykorzystaniem kamery (rys.7 z prawej strony). Taka konsytuacja daje możliwość zwiększania stopnia trudności i poziomu zaawansowania treningu na symulatorze do operacji laparoskopowych.



Rys.2. Zestaw ćwiczeniowy do chwytania prostych kształtów:
wizualizacja wykonana w programie SolidWorks2020 (z lewej), model fizyczny (z prawej)



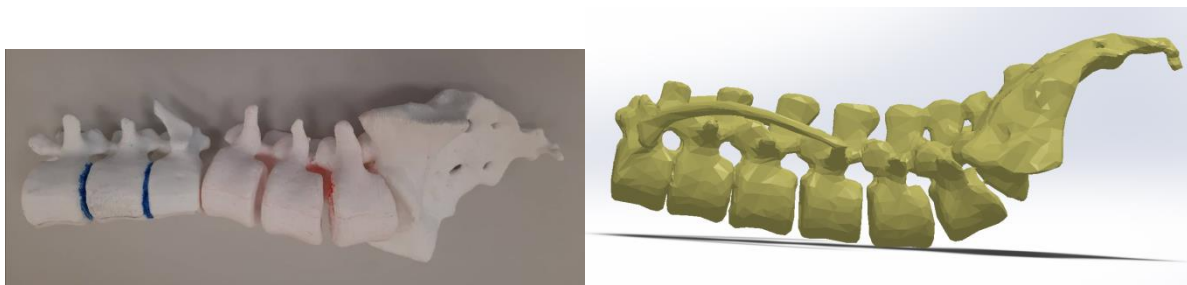
Rys.3. Zestaw ćwiczeniowy do chwytania obłych kształtów:
wizualizacja wykonana w programie SolidWorks2020 (z lewej), model fizyczny (z prawej)



Rys.4. Zestaw ćwiczeniowy do koordynacji obu rąk:
wizualizacja wykonana w programie SolidWorks2020 (z lewej), model fizyczny (z prawej)



**Rys.5. Zestaw ćwiczeniowy - anatomiczne organy:
wizualizacja wykonana w programie SolidWorks2020 (z lewej), model fizyczny (z prawej)**



**Rys.6. Zestaw ćwiczeniowy - kręgosłup:
wizualizacja wykonana w programie SolidWorks2020 (z lewej), model fizyczny (z prawej)**



Rys.7. Rodzaje treningu na тренаżerze: trening na samym zestawie ćwiczeniowym - wizualizacja wykonana w programie SolidWorks2020 (z lewej), trening na stanowisku z kamerą (z prawej)

4. WNIOSKI

Operacje laparoskopowe zyskują coraz większą popularność, dlatego ważnym aspektem jest możliwość treningu w bezpiecznych warunkach.

Proponowane rozwiązanie jest nowatorskie. Wyróżniający się anatomiczny kształt trenera zapewnia odwzorowanie ludzkiego organizmu. Proponowane do wykorzystania algorytmy ćwiczeń i zadań oraz szeroki asortyment narzędzi pozwalają na symulację zabiegów laparoskopowych.

Zaletą projektu jest atrakcyjny i efektowny wygląd trenera. Korpus ma kształt identyczny z kształtem męskiej klatki piersiowej, co stanowi niespotykane rozwiązanie. W zestawieniu z prostymi, niemalże prostopadłościennymi, trenerami obecnie występującymi na rynku projekt jest znacznie bardziej zajmujący i niekomercyjny.

Dzięki wykorzystaniu druku 3D istnieje możliwość dodruku nowych elementów (zarówno nowych, innych zestawów ćwiczeń, jak i uszkodzonych elementów konstrukcji). Ograniczeniem w wymyślaniu zadań jest jedynie wyobraźnia konstruktora.

LITERATURA

- [1].Budziński R., Michalik M., Frask A.: Education in laparoscopic surgery, *Videosurgery and Other Miniinvasive Techniques*, vol. 3 (1), 2008, p. 22–29.
- [2].Cienciała A., Zelek M., Puka D.: Początki laparoskopii w Krakowie. *Nowości w chirurgii–wybrane zagadnienia, Państwo i Społeczeństwo*, nr 4, 2016, s. 127-132.
- [3].Dąbrowiecki S., Szczęśny W.: The role of the laparoscopy in contemporary diagnostics, *Videosurgery and Other Miniinvasive Techniques*, vol. 1, 2006, p. 33-39.
- [4].Gerges F. J., Kanazi G. E., Jabbour-Khoury S. I.: Anesthesia for laparoscopy: a review. *Journal of clinical anesthesia*, vol. 18 (1), 2006, p. 67-78.
- [5].Schubert C., Van Langeveld M. C., Donoso L. A.: Innovations in 3D printing: a 3D overview from optics to organs, *British Journal of Ophthalmology*, vol. 98(2), 2014, p.159-161.
- [6].Siemiński P., Budzik G.: Techniki przyrostowe: druk drukarki 3D, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa 2015, s.13-14.
- [7].Stefanowicz M, Kaliciński P. (red): *Podstawy chirurgii minimalnego dostępu*, Warszawa 2019, s. 9-16.
- [8].<https://www.medme.pl/choroby/chirurgia-laparoskopowa> (dostęp dnia 29.05.2021).

CONSTRUCTION OF A LAPAROSCOPIC SURGERY TRAINER

Abstract: The article presents the concept of a laparoscopic surgery trainer and a set of proposed exercises. The laparoscopic trainer, also known as a laparoscopic surgical simulator, enables doctors and medical students to improve their laparoscopic surgery techniques. 3D printing technique using the FDM method was used to produce the elements of the prototype set.