

Zastosowanie technologii druku 3D w konstrukcji prototypów manipulatorów medycznych

The application of 3D printing to the construction of medical manipulators prototypes

KRZYSZTOF LEHRICH
KRZYSZTOF LIS
ZBIGNIEW NAWRAT
ŁUKASZ MUCHA
KAMIL ROHR *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.3.27

Artykuł z XIII Forum Inżynierskiego ProCAx 2015

Przedstawiono przykład zastosowania druku 3D do budowania prototypów manipulatorów medycznych. Opisano konstrukcje manipulatorów i ich części wykonane metodą FDM – jako przykład posłużyły dwa prototypy manipulatorów, które powstały w 2014 i 2015 r. w Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii im. prof. Zbigniewa Religi w Zabrze.

SŁOWA KLUCZOWE: manipulatory medyczne, druk 3D, prototypy

Presented is an example of using 3D print technique to produce prototypes of medical manipulators. Design of the manipulators and components made by the FDM method was presented by example of two prototypes of manipulators that were built in 2014 and 2015 in the Zbigniew Religa Foundation for Cardiac Surgery Development, Zabrze.

KEYWORDS: medical manipulators, 3D printing, prototypes

Współcześnie w chirurgii wykorzystuje się zrobotyzowane systemy w postaci manipulatorów oraz robotów. Mają one poprawiać skuteczność i zmniejszać inwazyjność zabiegów chirurgicznych. Roboty i manipulatory stosowane są do telemanipulacji endoskopowym torem wizyjnym i endoskopowymi narzędziami operującymi. Rynek robotów chirurgicznych został w ostatnich latach zdominowany przez amerykańską firmę Intuitive Surgical, której produktem jest robot da Vinci [1]. Jest to najbardziej popularny robot chirurgiczny na świecie, wykorzystywany głównie w urologii. Do niedawna do manipulacji endoskopowym torem wizyjnym używano robota AESOP, jednak został on wycofany z rynku i w chwili obecnej brakuje takiego urządzenia [2, 3].

Podczas operacji przeprowadzanych metodą endoskopową endoskopowy tor wizyjny wyposażony w system optyczny i kamerę umożliwia chirurgowi obserwowanie na monitorze obrazu pola operacyjnego w odpowiednim powiększeniu. Manipulator zastępuje w takim przypadku asystenta, który w czasie klasycznej operacji ustawia sztywny endoskop. Zastosowanie manipulatora poprawia stabilność pozycji toru wizyjnego i umożliwia sterowanie nim przez chirurga. W Polsce od 2000 r. udoskonalana jest rodzina manipulatorów Robin Heart [2, 3]. Powstały one w Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii im. prof. Zbigniewa Religi w Zabrze, we współpracy ze specjalistami z kilku ośrodków akademickich i przedsiębiorstw.

Projekt ewoluował wraz z rosnącym doświadczeniem zespołu. Ostatnia konstrukcja manipulatora to Robin Heart PortVisionAble model 0 [4, 5]. W niniejszym artykule opisano

budowę i działanie manipulatorów z Zabrze ze szczególnym uwzględnieniem części prototypów wyprodukowanych na drukarkach 3D.

Technologia druku 3D jest ulepszana od kilkunastu lat. W tym okresie zdobyła dużą popularność i ze względu na liczne zalety znalazła zastosowanie w wielu obszarach techniki, głównie w zakresie szybkiego prototypowania części maszyn i urządzeń, ale również wspomaga rozwój technik związanych z biomechaniką i medycyną [6-8]. Artykuł prezentuje rolę druku 3D w rozwoju prototypowania lekkich konstrukcji manipulatorów medycznych.

Charakterystyka manipulatora Robin Heart PortVisionAble model 0

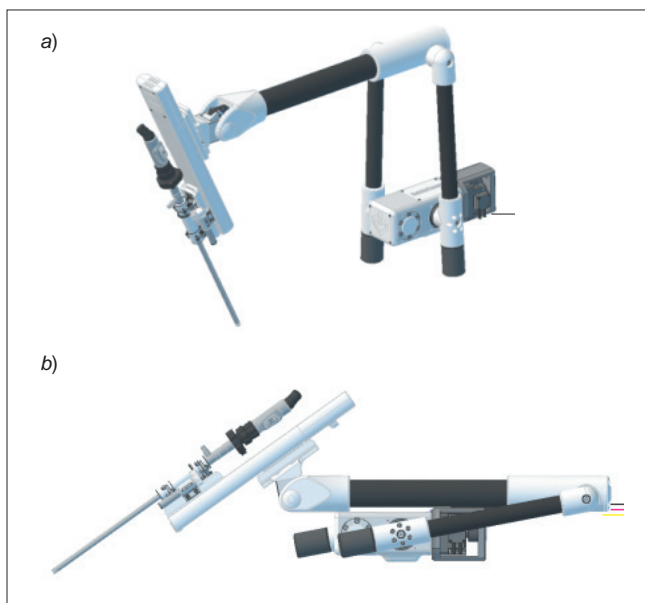
Robin Heart PVA 0 to manipulator toru wizyjnego umożliwiający chirurgowi obserwację pola operacyjnego za pomocą kamery endoskopowej i manipulację torem. Postać konstrukcyjną manipulatora zdeterminował wymóg zamontowania urządzenia na stole operacyjnym. Wymóg ten wynika z faktu, że podczas operacji pozycja pacjenta wraz ze stołem jest zmieniana i manipulator powinien dopasowywać się do tych zmian. W związku z tym także masa manipulatora została mocno ograniczona. Dodatkowym argumentem przemawiającym za minimalizacją masy i gabarytów urządzenia było umożliwienie transportu manipulatora w walizce przez lekarza. Stąd konieczność opracowania konstrukcji modułowej.

Aby zwiększyć bezpieczeństwo pacjenta, założono, że stałopunktowość manipulatora, rozumiana jako niezmiennosc położenia punktu przejścia przez trokar (tkanki skórne), realizowana będzie poprzez strukturę kinematyczną stałopunktową o czterech stopniach swobody. Przewidziano również konieczność zastosowania szybkozłącza do mocowania toru wizyjnego, które pozwoli na jego wypinanie, jeśli pojawią się zbyt duże siły oddziaływujące na ten tor.

Na bazie takich założeń opracowano innowacyjną postać konstrukcyjną manipulatora (rys. 1). Do jego budowy wykorzystano elementy wykonane z materiałów lekkich, takich jak kompozyty z włókna węglowego, elementy z tworzyw sztucznych oraz elementy ze stopów aluminium. Dzięki temu całkowitą masę urządzenia ograniczono do ok. 10 kg.

Manipulator ma cztery stopnie swobody. Pierwszy stopień swobody zapewnia obrót w zakresie ok. 360°. W drugim stopniu swobody zakres ruchu roboczego został ograniczony do ok. 130°. Jednak teoretycznie ruch manipulatora możliwy jest w zakresie ok. 170°. Dzięki temu manipulator da się złożyć do pozycji pokazanej na rys. 1. Po zdemontowaniu mechanizmu trzeciego i czwartego stopnia swobody urządzenie da się przetransportować w niewielkiej walizce. Możliwość ruchu prostoliniowego kamery w zakresie ok. 190 mm stanowi trzeci stopień swobody manipulatora.

* Dr inż. Krzysztof Lehigh (krzysztof.lehigh@polsl.pl), dr inż. Krzysztof Lis (krzysztof.lis@polsl.pl) – Katedra Budowy Maszyn, Wydział Mechaniczny Technologiczny Politechniki Śląskiej; dr hab. n. med. Zbigniew Nawrat (nawrat@frk.pl), mgr inż. Łukasz Mucha (lukasz.mucha.polsl@gmail.com), mgr inż. Kamil Rohr (esculap@frk.pl) – Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii im. prof. Zbigniewa Religi w Zabrze



Rys. 1. Postać konstrukcyjna manipulatora Robin Heart PVA 0: a) pozycja pracy, b) pozycja po złożeniu

Poszczególne moduły manipulatora są łączone na zasadzie szybkozłączek, które przekazują zasilanie i sygnały sterujące. Zespół realizujący ruch obrotowy toru wizyjnego (czwarty stopień swobody) jest modułem przeznaczonym do sterylizacji.

Charakterystyka lekkiego manipulatora Robin Heart „Pelikan”

Druga z prezentowanych konstrukcji powstała przy tych samych założeniach, co manipulator Robin Heart PVA 0. Przewidziano zatem możliwość mocowania urządzenia do stołu operacyjnego, jednak przyjęto w tym wypadku inne rozwiązanie. Wykorzystano profilowaną rurę-statyw, która umożliwia zawieszenie manipulatora nad stołem operacyjnym oraz zmianę jego położenia w oparciu o krzywiznę rury. Zasada działania manipulatora bazuje na kinematyce równoległoboku, a zatem w sposób mechaniczny wymuszona zostaje stałopunktowość urządzenia.

W przypadku tego manipulatora zmniejszono wymiary gabarytowe oraz masę do ok. 4 kg. Zachowano jednocześnie wcześniejszą funkcjonalność i modułową budowę.

Zastosowanie druku 3D w konstrukcji manipulatorów

Realizacja każdego z tych projektów w czasie kilku miesięcy i uzyskanie tak małej masy obu manipulatorów (odpowiednio 10 kg i 4 kg) oraz atrakcyjnej postaci wizualnej nie byłyby możliwe bez użycia technologii druku 3D.

Elementy konstrukcyjne opisywanych manipulatorów, które wykonano w technologii FDM (*fused deposition modeling*), można podzielić na trzy grupy:

- elementy nośne, takie jak np. przeguby, korpusy, szybkozłącza,
- elementy przeniesienia napędu,
- różnego rodzaju osłony mechanizmów napędowych.

Większość elementów konstrukcyjnych manipulatora Robin Heart PVA 0 wydrukowano z materiału typu poliwęglan (PC) na drukarce 3D Vantage SE firmy Stratasys. Proces druku wymagał zastosowania materiału podporowego, który następnie został usunięty mechanicznie. Otrzymane elementy połączono z resztą komponentów klejem lub mechanicznie.

Części manipulatora Robin Heart „Pelikan” wydrukowano na tej samej drukarce. Zdecydowano się jednak na wybór

materiału PCABS z rozpuszczalnym materiałem podporowym. W tej technologii wykonano wszystkie korpusy trzeciego i czwartego stopnia swobody oraz korpus prowadnicy zamykającej równoległobok.

Weryfikacja numeryczna przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych

Ze względu na prototypowy charakter obu konstrukcji przyjmowane rozwiązania konstrukcyjne weryfikowano na drodze symulacji. Do tego celu wykorzystano symulacje MES oraz symulacje kinematyczne.

Przeprowadzone analizy MES miały na celu przede wszystkim określenie naprężeń zredukowanych w elementach drukowanych. Dzięki temu możliwe było również ograniczenie masy niektórych korpusów poprzez częściowe zmniejszenie przekrojów.

W wyniku przeprowadzonych analiz wytrzymałościowych w konstrukcji wykonanej z poliwęglanu stwierdzono występowanie obszarów, w których wartość naprężenia zredukowanego według hipotezy Hubera–Misesa–Hencky’ego jest na poziomie kilku MPa. Ponadto określono sztywność statyczną, a w dalszej kolejności postać i częstotliwość drgań własnych. Te ostatnie brane były pod uwagę podczas doboru parametrów sterowania napędami.

Podsumowanie

Należy podkreślić znaczenie technik CAx oraz szybkiego prototypowania wykorzystywanego w druku 3D. Bez nich opracowanie konstrukcji i wykonanie prototypów przedstawionych manipulatorów medycznych nie byłyby możliwe w relatywnie krótkim czasie. Zastosowanie druku 3D w rozumieniu „dzisiaj model CAD 3D – dzisiaj model fizyczny 3D” jest bardzo przydatne dla konstruktora projektanta w procesie tworzenia prototypów. W konsekwencji druk 3D, dzięki swoim zaletom, należy do grupy narzędzi inżynierskich przyspieszających wprowadzenie produktu na rynek oraz obniżających koszty tego procesu.

Jak wykazano w artykule, druk 3D jest z powodzeniem stosowany nie tylko do przygotowania modeli poglądowych, ale również w pełni funkcjonalnych prototypów, a w niektórych przypadkach może również stanowić produkt końcowy.

Projekt robota Robin Heart PVA był finansowany przez MNiSW z grantu PBS1/A3/1/2012.

LITERATURA

1. Madhani A.J., Salisbury J.K. „Force-reflecting surgical instrument and positioning mechanism for performing minimally invasive surgery with enhanced dexterity and sensitivity” United States Patent, Appl. No. 858,048 (1998).
2. Nawrat Z. „Robotyka medyczna w Polsce”. *Medical Robotics Reports*. No. 1 (2012): pp. 7÷16.
3. Nawrat Z. „The Robin Heart story”. *Medical Robotics Reports*. No. 1 (2012): pp. 19÷21.
4. Nawrat Z., Mucha Ł., Lech K., Lis K. „Mechanism for reciprocating linear motion of a medical device”, European patent application No. 14170471.8 (2014).
5. Nawrat Z., Mucha Ł., Lech K., Lis K. „A Laparoscopic Medical Tool Fastening Device”, European patent application No. 15169890.9 (2015).
6. Wyleźoł M., Mazulewska M. „Metodyka modelowania w inżynierii biomedycznej z użyciem inżynierii rekonstrukcyjnej”. *Mechanik*. Nr 2 (2015): dysk optyczny nr 42, s. 1÷12.
7. Wyleźoł M. „Projektowanie protez szkieletowych w prototypie stomatologicznej z zastosowaniem modelowania haptycznego”. *Modelowanie Inżynierskie*. T. 23, nr 54 (2015): s. 101÷107.
8. Małgorzata M., Szczodry B., Samolczyk-Wanyura D., Wyleźoł M. „Komputerowe wspomaganie i technologie generatywne w planowaniu zabiegów rekonstrukcji twarzowej części czaszki”. *Modelowanie Inżynierskie*. T. 21 nr 52 (2014): s. 147÷153. ■