

Jak mierząc przyspieszenie ziemskie można poprawić wynik operacji endoprotezoplastyki stawu biodrowego

Leszek Podsędkowski, Agnieszka Kobierska, Piotr Rakowski

Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn, Wydział Mechaniczny
Politechnika Łódzka
Robotic Medical Solutions sp. z o.o.

Streszczenie:

Endoprotezoplastyka stawu biodrowego należy do najczęściej wykonywanych zabiegów rekonstrukcyjnych, jednak odtworzenie prawidłowej długości kończyny oraz offsetu nadal pozostaje istotnym problemem klinicznym i biomechanicznym. W praktyce chirurgicznej powszechnie stosowana ocena kliniczna ma ograniczoną dokładność, a dostępne systemy nawigacyjne są kosztowne, złożone lub słabo rozpowszechnione. W referacie przedstawiono koncepcję i wyniki weryfikacji systemu NaviFast 6D — miniaturowego, śródoperacyjnego ramienia pomiarowego przeznaczonego do kontroli zmiany położenia kości udowej względem miednicy podczas implantacji endoprotezy stawu biodrowego.

NaviFast 6D składa się z ramienia pomiarowego zbudowanego z przegubowo połączonych członów, modułu mikroprocesorowego z wyświetlaczem oraz uchwytów mocowanych do kości udowej i biodrowej. Istotą rozwiązania jest wykorzystanie wieloosiowych akcelerometrów MEMS do pomiaru kierunku wektora grawitacji w układach związanych z kolejnymi członami ramienia. Ponieważ osie przegubów są odchylone od pionu, porównanie wektorów przyspieszenia ziemskiego mierzonych na sąsiednich członach pozwala wyznaczyć kąty obrotu przegubów. Następnie, z użyciem modelu kinematycznego zapisanego w notacji Denavita-Hartenberga, obliczane jest względne położenie końcowego członu ramienia względem bazy. System nie wyznacza bezwzględnej anatomii pacjenta, lecz różnicę między pomiarem pierwotnym wykonanym przed implantacją a pomiarem wtórnym po osadzeniu elementów protezy. Wyniki są rzutowane na kierunek wydłużenia kończyny oraz offsetu i prezentowane chirurgowi bezpośrednio na wyświetlaczu urządzenia.

Procedura obejmuje zamocowanie znaczników do kości udowej i miednicy, wykonanie pomiaru pierwotnego w ustawieniu odpowiadającym pozycji stojącej, implantację protezy oraz pomiar wtórny po wprowadzeniu elementów próbnych lub docelowych. Uzyskana informacja umożliwiła śródoperacyjną korektę doboru głowy i szyjki protezy, a następnie ponowną kontrolę efektu. Badania laboratoryjne przeprowadzone dla 30 ramion pomiarowych, 18 położenia mocowania panewki i 5 położenia mocowania ramienia do trzpienia objęły łącznie 3112 pomiarów. Wykazano średni błąd offsetu $-0,17$ mm przy odchyleniu standardowym $0,69$ mm oraz średni błąd pomiaru wydłużenia $-0,07$ mm przy odchyleniu standardowym $0,77$ mm. Wyniki symulacyjne wskazały ponadto, że uśrednienie co najmniej 400 powtórzeń pozwala uzyskać powtarzalność pomiaru na poziomie około $0,05$ mm.

Skuteczność kliniczną oceniono w wielośrodkowym badaniu obejmującym 84 uczestników, w tym 44 przypadki z kompletnymi pomiarami NaviFast 6D. Weryfikację radiologiczną prowadzono z użyciem oprogramowania LLDcalc, opracowanego do planowania i oceny różnicy długości kończyn na zdjęciach RTG. Dla całej analizowanej grupy błąd RMS pomiaru długości kończyny systemem NaviFast 6D oszacowano na $1,3$ mm. W drugiej fazie badania, w której chirurg mógł korygować dobór implantów na podstawie wskazań urządzenia, średnia bezwzględna pooperacyjna różnica długości kończyn

wyniosła 2,5 mm, maksymalna 5,4 mm, a 100% przypadków uzyskało LLD poniżej 6 mm. Dla porównania, w grupie kontrolnej średnia bezwzględna LLD wyniosła około 4,6–4,9 mm, a maksymalna 14,4 mm. Użycie urządzenia wydłużyło zabieg o około 15 minut.

Przedstawione wyniki potwierdzają, że pomiar przyspieszenia ziemskiego może zostać skutecznie wykorzystany jako źródło informacji metrologicznej w miniaturowym ramieniu nawigacyjnym. NaviFast 6D stanowi proste, kompaktowe i potencjalnie ekonomiczne narzędzie wspomagające chirurga w śródoperacyjnym odtworzeniu biomechaniki stawu biodrowego, zwłaszcza w zakresie długości kończyny. Ograniczeniem badań pozostaje trudność niezależnej walidacji offsetu na standardowych radiogramach oraz potrzeba potwierdzenia wyników w większych, randomizowanych badaniach wieloośrodkowych.