

dr hab. inż. Marcin Kaczmarek, prof. PŚ
Katedra Biomateriałów i Inżynierii Wyrobów Medycznych
Wydział Inżynierii Biomedycznej
Politechnika Śląska
ul. Roosevelta 40
41-800 Zabrze

Zabrze, 03.07.2023 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Dominika Pachnicza

pt.: „Ocena wpływu zabiegu obustronnej strzałkowej osteotomii żuchwy na zmianę warunków obciążenia stawu skroniowo-żuchwowego”

zrealizowanej pod kierunkiem promotor dr. hab. inż. Dominiki Grygier, prof. uczelni oraz promotor pomocniczej dr. inż. Agnieszki Szust

Recenzja rozprawy doktorskiej została opracowana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej z dnia 08.05.2023 roku (pismo W10/D/37/2023).

1. Ocena części literaturowej rozprawy

Wady zgryzu stanowią istotny problem występujący u większości populacji. Oprócz dyskomfortu oraz kwestii estetycznych mają one znaczący wpływ na prawidłowe, fizjologicznie poprawne funkcjonowanie narządu żucia oraz mowy. Wiele zaburzeń można skutecznie korygować poprzez zabiegi ortodontyczne, jednak w pewnych przypadkach zaburzenia wymagają interwencji chirurgicznej, realizowanej na drodze zabiegów ortognatycznych. Jednakże jak każda interwencja chirurgiczna, pociągają one za sobą określone konsekwencje, wpływając docelowo na zmiany w obszarze stawu skroniowo-żuchwowego, skutkujące, między innymi, przebudową wyrostka kłykciowego żuchwy.

Jako jeden z czynników mający wpływ na przebudowę struktur stawu skroniowo-żuchwowego wskazuje się zmienione warunki obciążenia. Wynikają one, między innymi, ze zmiennego stanu naprężeń i odkształceń w strukturach narządu stomatognatycznego, powstałych na skutek przemieszczeń segmentów kości. Diagnostyka wspomnianych wad bazuje głównie na wykorzystaniu nowoczesnych metod obrazowania 3D, pomiarach bezpośrednich oraz ocenie ilościowej, jednakże można je wykorzystać jedynie do określenia przemieszczeń struktur kostnych. W celu pomiaru innych, bardziej zaawansowanych parametrów, takich jak np. siły występujące w narządzie żucia, czy odkształcenia struktur stawu skroniowo-żuchwowego,

należy posługiwać się pośrednimi metodami pomiarowymi. Badania, w których rozpatruje się powyższe opierają się zatem na wielkościach pośrednich i wykorzystaniu obliczeń analitycznych oraz numerycznych.

Zagadnienia biomechaniki narządu żucia są obecnie dość obszernie opisane. W literaturze odnaleźć można liczne analizy obejmujące rozważania kinematyczne, ruchu żuchwy, wyznaczania sił mięśniowych, sił zgryzu, czy reakcji w stawie. Jednakże pomimo dostępności sprawdzonych metod i algorytmów wciąż nieczęsto dokonuje się podobnych analiz dla układów ze zmianami chirurgicznymi. Dotyczą one zwykle jedynie wybranych zagadnień takich jak orientacja mięśni, czy obciążenie stawu skroniowo-żuchwowego. Rozważania biomechaniki stawu skroniowo-żuchwowego po zabiegach ortognatycznych stanowią istotny wkład w zrozumienie zachodzących zmian funkcjonowania, przebudowy struktur oraz mechanizmów nimi sterujących.

Zidentyfikowane niedostatki stały się motywacją Doktoranta do podjęcia badań wpływu zmian geometrii żuchwy poddanej zabiegowi ortognatycznemu, na funkcjonowanie stawu skroniowo-żuchwowego oraz biomechanikę narządu żucia.

Materiał zawarty w niniejszej pracy podzielono na 8 rozdziałów. W rozdziale II dokonano opisu stanu wiedzy na temat zabiegów ortognatycznych w obszarze stawu skroniowo-żuchwowego, uwzględniając aktualne metody badawcze, obliczeniowe, jak również anatomię i fizjologię narządu żucia. W rozdziale III Doktorant sformułował problem badawczy oraz przedstawił go w celu i tezie pracy. W kolejnym rozdziale (IV) Doktorant opisał metodologię badań oraz zaproponował metodę identyfikacji sił mięśniowych oraz system ich szacowania przy złożonych przemieszczeniach segmentów żuchwy. W kolejnym rozdziale (V) Doktorant dokonał weryfikacji przyjętego modelu obliczeniowego w oparciu o dane doświadczalne. W rozdziałach od VI do VIII Doktorant przedstawił oraz omówił uzyskane wyniki badań oraz sformułował wnioski

Podsumowując, problematykę recenzowanej pracy doktorskiej uważam za aktualną i uzasadnioną oraz dobrze ukierunkowaną.

Rozprawa doktorska ma tradycyjny układ i składa się z części literaturowej (str. 5-52) oraz części poświęconej badaniom własnym (str. 53-157). Spis literatury obejmuje 230 pozycji. Zaprezentowany przegląd piśmiennictwa został opracowany na podstawie pozycji literaturowych w większości obejmujących ostatnie dwie dekady. Prawidłowy dobór literatury świadczy o dobrym rozeznaniu Doktoranta w problematyce badawczej realizowanej w różnych ośrodkach inżynierii mechanicznej oraz biomedycznej.

Część literaturową rozprawy oceniam pozytywnie. Stanowi ona wystarczającą podstawę teoretyczną do opracowania podjętego tematu rozprawy.

2. Ocena części merytorycznej rozprawy

Recenzowana praca doktorska dotyczy zagadnień ocena wpływu zabiegu obustronnej strzałkowej osteotomii żuchwy na zmianę warunków obciążenia stawu skroniowo-żuchwowego

W pierwszym rozdziale dotyczącym badań własnych Doktorant przedstawił tezę pracy, która brzmi – „Odpowiednio przeprowadzony pomiar oraz ocena zmian geometrii żuchwy umożliwi wyznaczenie optymalnych warunków obciążenia wyrostka kłykciowego w trakcie zabiegów ortognatycznych. Analiza taka służyć może oszacowaniu przebudowy struktur kostnych oraz mięśniowych stawu skroniowo – żuchwowego, których zakres w skrajnych przypadkach wykraczać może poza zakres fizjologiczny i skutkować zaburzeniem wejściowej relacji równowagi układu sił”.

Aby udowodnić postawioną tezę Doktorant przedstawił również cel pracy, którym była – „ocena wpływu wybranych modyfikacji geometrii żuchwy na zmiany obciążenia głowy wyrostka kłykciowego”.

Zarówno teza pracy, jak również jej cel zostały przedstawione prawidłowo. Są one merytorycznie i logicznie spójne, odpowiadają zakresowi i tematyce rozprawy oraz właściwie determinują zakres przeprowadzonych badań

W rozdziale IV (Metodologia) Doktorant zdeterminował parametry geometryczne zaproponowanego modelu, uwzględniające orientację przestrzenną oraz zmiany długości mięśni. Dokonał analizy sił działających w narządzie żucia poprzez wyznaczenie sił czynnych generowanych przez mięśnie żucia oraz przeanalizował wpływ zmian geometrii żuchwy na siły reakcji w stawie skroniowo-żuchwowym. W dalszej kolejności Doktorant dokonał analizy odkształceń w głowie wyrostka kłykciowego żuchwy. Uzyskane wyniki pozwoliły na przeprowadzenie weryfikacji przyjętego modelu numerycznego oraz warunków brzegowych (rozdział V). W kolejnym rozdziale (VI) przedstawiono wyniki przeprowadzonych analiz, natomiast w rozdziałach VII i VIII Doktorant zamieścił dyskusję uzyskanych wyników oraz przedstawił podsumowanie oraz sformułował wnioski końcowe.

Na uznanie zasługuje fakt, iż wyniki zostały zaprezentowane w sposób merytorycznie spójny oraz logiczny. Jednakże ilość zaprezentowanych wyników jest bardzo duża i niestety bezpośrednio ich analiza nastęrcza trudności, co rzutuje również na przejrzystość całej pracy.

Generalnie, opis uzyskanych wyników oraz ich dyskusję oceniam pozytywnie.

Jednakże poniżej pozwolę sobie przedstawić drobne uwagi merytoryczne oraz kwestie, które w mojej ocenie wymagałyby nieco szerszego wyjaśnienia:

- 1) Tytuł naukowy oraz zawodowy pani Promotor nie zostały właściwie wpisany (na pierwszej stronie pracy doktorskiej). Promotor posiada tytuł zawodowy inżyniera oraz jest profesorem uczelni.
- 2) Spis literatury
 - a) Drobna uwaga edycyjna - w pojedynczych pozycjach przyjęty zapis jest niekonsekwentny, na przykład brak roku wydania pozycja nr [10].
 - b) Część pozycji literaturowych, dotyczących głównie określenia korelacji pomiędzy morfologią a siłami występującymi w obszarze stawu skroniowo żuchwowego, ma powyżej 30-50 lat. Doktorant powołuje się również w na pozycje datowane na rok 1940.
 - c) Wykorzystanie pewnych pozycji literaturowych na przykład [228] wydaje się być nieadekwatne z punktu widzenia poruszanej tematyki badawczej. Informacje podane w przywołanej pozycji są poprawne, jednakże zbyt ogólne. Ponadto od roku wydania (1954) pojawiło się wiele opracowań w lepszym stopniu odnoszących się do poruszanej tematyki.
- 3) Czy rysunki 1, 2, 11, 12, 14, 15, 16 to ilustracje autorskie?, gdyż brak jest odnośnika literaturowego.
- 4) Rys. 3 - proszę zwrócić uwagę, że jeżeli chodzi o drugi rząd, przedstawione typy kształtów wyrostków zostały przedstawione jako najczęściej występujące, jednakże wskazane źródło literaturowe informuje o raptem 250 pacjentach, ograniczonych jedynie do obywateli Bangladeszu.
- 5) W pracy znajdują się określenia niewłaściwie przetłumaczone z języka angielskiego (tzw. kalki językowe), np. „model materiału hiperelastycznego Mooney'a-Rivlin'a". Proszę zwrócić uwagę, iż w języku angielskim określenie „elasticity” oznacza sprężystość, a nie elastyczność.
- 6) W pracy zdarzają się pewne stwierdzenia nieprecyzyjne i dyskusyjne - np. str. 37 - „Prawidłowe funkcjonowanie i położenie struktur stawowych przed zabiegiem jest kluczowe dla pomyślnego wyniku leczenia”, choć oczywiście czytając pracę bez trudu można zorientować się odnośnie intencji Autora.
- 7) W rozdziale 3.2 nie znalazło się bezpośrednie odniesienie do zamieszczonego rys. 17.
- 8) Str. 69 - Rozdział V - walidacja modelu numerycznego.
Należałoby się zastanowić czy termin „walidacja” jest rzeczywiście tym, który opisuje podjęte działania. W mojej ocenie bardziej adekwatnym terminem byłby termin „weryfikacja”.

- 9) Str. 69 – „Przyjęto założenia o homogeniczności, izotropowości oraz liniowości właściwości materiałowych w zakresie obciążeń przyjętych w badaniach”.
Proszę zwrócić uwagę, iż własności kości są ortotropowe oraz nieliniowe. Przyjęte założenia w istotny sposób będą wpływały na uzyskiwane wyniki, a w konsekwencji na adekwatność przyjętego modelu.
- 10) Str. 70 – „Próbie rozciągania przeprowadzono na maszynie Instron 5944, dla stałej prędkości przemieszczenia głowicy wynoszącej 0,5 mm/min, do uzyskania siły 200N”.
W pracy nie zidentyfikowano na jakiej podstawie przyjęto kryterium siły $F=200$ N. W literaturze poświęconej biomechanice narządu żucia dostępne są różne modele obciążenia. Doktorant nie wykorzystał, ani nie zaadaptował istniejących, bardziej rozbudowanych modeli.
- 11) Str. 69 – „Wstępne wartości (moduł sprężystości wzdłużnej- E , współczynnik Poissona- ν) obu objętości wyznaczono w próbie statycznego rozciągania PN-EN ISO 527-1:2012.”.
Nazwa metody określania własności mechanicznych to statyczna próba rozciągania, a nie „próba statycznego rozciągania”
- 12) Pewne stwierdzenia są nieprecyzyjne, a przez to dyskusyjne, np. str. 70 – „ otrzymane wielkości odpowiadają właściwościom mechanicznym materiału podczas rozciągania”.
Należy zastanowić się czy w wyniku zmiany sposobu obciążenia należy spodziewać się odmiennych własności mechanicznych materiału?
- 13) Str. 71 - Doktorant podaje, iż „Skalibrowana wartość modułu sprężystości wzdłużnej wynosiła 1100 MPa, współczynnika Poissona 0,31”. Natomiast w tabeli 7 na str. 65 Doktorant zamieścił właściwości sprężyste kości zbitej i gąbczastej ludzkiej żuchwy. Uzyskane wartości eksperymentalne znacząco odbiegają od wartości rzeczywistych i dlatego powstaje pytanie czy przyjęty model adekwatnie odzwierciedla warunki rzeczywiste?
- 14) Kolejną kwestią jest również aspekt metodologiczny. Doktorant napisał „Wstępną wartość modułu Younga uzyskaną w próbie rozciągania zmieniano co 50 MPa do momentu, w którym wielkość przemieszczeń wyrostka była najbardziej zbliżona do uzyskanej na stanowisku”.
Proszę zwrócić uwagę, iż decydujące są wartości uzyskiwane w wyniku przeprowadzonego eksperymentu, i arbitralna zmiana wartości modułu Younga, nawet jeżeli wykonywana jest w celu lepszego odzwierciedlenia warunków bieżących, nie będzie występowała w rzeczywistości. Nie ma możliwości zmiany modułu Younga kości w układzie rzeczywistym.
- 15) Str. 139 (Dyskusja) – Wyniki uzyskane podczas badań w znaczący sposób różnią się od przywołanych danych literaturowych (18,65° vs 5, 6, 7, 9°).
„Tak znaczące zmiany kierunku działania mięśni będą istotnie wpływać na rozkład sił w układzie żucia”.

Doktorant właściwie zauważył, że zmiany będą wpływać na rozkład sił, natomiast brak jest pogłębionej analizy i identyfikacji opisanego stanu rzeczy.

16) Wnioski

- a) Pierwsze zaprezentowane 2 wnioski stanowią prezentację uzyskanych wyników, a nie uogólnienia wynikające z przeprowadzonych badań.
- b) Wniosek 5 – „Wskazuje to możliwość zachodzenia intensywnych procesów przebudowy struktury kości gąbczastej.” – wydaje się być nieuprawniony, z uwagi na fakt, iż w pracy nie analizowano zjawiska przebudowy kości. Nawet nie uwzględniono zmienności stochastycznej własności struktur kostnych, jak również istotnych zmian wynikających z ich morfologii.
- c) Ostatni wniosek – „Analiza skutków zabiegów ortognatycznych, ze względu na jego złożoność budowy i funkcjonowania narządu powinna być przeprowadzana w ujęciu holistycznym, uwzględniając wpływ zmian w poszczególnych składowych analizy, tj. geometrii oraz warunków brzegowych” – został sformułowany w sposób dyskusyjny, gdyż pojawia się naturalne pytanie – Dlaczego Doktorant nie uwzględnił wpływu zmian poszczególnych składowych analizy? Oczywiście domyślam się, iż celem tak sformułowanego wniosku było uwzględnienie ograniczeń wynikających z przyjętych założeń pracy oraz wskazanie kierunku przyszłych badań.

3. Ocena końcowa

Opiniowana rozprawa doktorska świadczy o przygotowaniu merytorycznym i biegłości warsztatowej Doktoranta, który wykazał się umiejętnością planowania badań, doboru i stosowania adekwatnych metod badawczych oraz analizy wyników badań. Całość rozprawy napisana jest poprawnym językiem, usytuowanym na poziomie dyskursu naukowego.

Uwagi, posiadające w większości charakter dyskusji naukowej, przedstawione zostały w częściach poświęconych ocenie części literaturowej i badawczej rozprawy. Uwagi edycyjne oraz drobne nieścisłości merytoryczne zostały przekazane Doktorantowi podczas osobistej dyskusji. Uwagi dyskusyjne zawarte w recenzji zostały sformułowane jedynie z myślą o rozwoju i doskonaleniu warsztatu badawczego Doktoranta.

Podsumowując, recenzowaną rozprawę doktorską oceniam pozytywnie. Na podstawie analizy uzyskanych przez Doktoranta wyników badań oraz wniosków z niej wypływających uważam, że cel pracy został osiągnięty, a teza wystarczająco udowodniona.

Wniosek końcowy

Na podstawie analizy rozprawy doktorskiej mgr inż. Dominika Pachnicza pt. „Ocena wpływu zabiegu obustronnej strzałkowej osteotomii żuchwy na zmianę warunków obciążenia stawu skroniowo-żuchwowego” stwierdzam, że zawiera ona wartościowe wyniki poznawcze i stanowi oryginalny i twórczy wkład w dyscyplinę **mechanika** (inżynieria mechaniczna).

W mojej opinii rozprawa doktorska mgr inż. Dominika Pachnicza stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, dlatego też, w świetle wyżej przedstawionej, pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14.03.2003 r. (Dz. U. poz. 595 z późn. zm.) i wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie mgr inż. Dominika Pachnicza do dalszych etapów przewodu doktorskiego oraz do publicznej dyskusji nad rozprawą.

