

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Analiza biomechaniczna endoprotezy stawu skroniowo-żuchwowego

Wojciech Wolański¹, Kamil Jozzko¹, Edyta Kawlewska¹, Michał Burkacki¹, Bożena Gzik-Zroska²,
Kutniewska Wioleta³, Kropiwnicki Jacek³, Marek Gzik¹, Dowgierd Krzysztof⁴

¹Katedra Biomechatroniki, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Politechnika Śląska

²Katedra Biomateriałów i Inżynierii Wyrobów Medycznych, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Politechnika Śląska

³ChM sp. z o.o., 16-061 Juchnowiec Kościelny

Katedra Pediatrii Klinicznej, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wojewódzki Specjalistyczny Szpital Dziecięcy w Olsztynie

email: wwolanski@polsl.pl, kjozsko@polsl.pl, ekawlewska@polsl.pl, mburkacki@polsl.pl, bozena.gzikzroska@polsl.pl

kutniewska.wioleta@chm.eu, kropiwnicki.jacek@chm.eu, mgzik@polsl.pl, krzysztof.dowgierd@wssd.olsztyn.pl

STRESZCZENIE: Niniejsze badania dotyczą badań eksperymentalnych i modelowych endoprotezy stawu skroniowo-żuchwowego z wolnym przeszczepem kości strzałkowej wykonanego dla przypadku pediatrycznego. W ramach pracy dokonano oceny ryzyka uszkodzenia zespolenia implant-kość w warunkach normalnego użytkowania. Z uzyskanych danych wynika, że zastosowanie odpowiedniej konfiguracji śrub (w tych badaniach konfiguracji 5-śrubowej) decyduje o wytrzymałości połączenia implantu stawu skroniowo-żuchwowego z wolnym przeszczepem z kości strzałkowej. Wyniki uzyskane w niniejszych badaniach mogą być pomocne w procesie planowania zabiegu operacyjnego. Jednak, w celu precyzyjnego określenia parametrów mających największy wpływ na wytrzymałość takiej endoprotezy konieczne są dalsze badania.

SŁOWA KLUCZOWE: staw skroniowo-żuchwowy, analiza MES, endoprotezy stawu skroniowo-żuchwowego

1. Wstęp

Rekonstrukcje stawów żuchwowych i skroniowo-żuchwowych są wykonywane w celu przywrócenia prawidłowej funkcji symetrii żuchwy i twarzy po operacji resekcji [1]. Najczęstszymi zaburzeniami stawu skroniowo-żuchwowego i żuchwy, które mogą prowadzić do resekcji w populacji pediatrycznej są guzy, urazy, ankylozy i wady wrodzone. W procesie planowania rekonstrukcji stawu żuchwowego i skroniowo-żuchwowego najważniejsze są: obszar rekonstrukcji, wiek pacjenta, poziom dojrzałości szkieletowej oraz ryzyko uszkodzenia stawu przeciwstawnego [2].

Operacje rekonstrukcyjne wykonywane wyłącznie z użyciem wolnych płatów strzałkowych nie są adekwatne funkcjonalnie, biorąc pod uwagę wysokie ryzyko rozwoju ankylozy i innych powikłań [3]. Nieprawidłowe funkcjonowanie zrekonstruowanego stawu skroniowo-żuchwowego może również negatywnie wpływać na staw przeciwległy, powodując uszkodzenie stawu, co często wymaga interwencji chirurgicznej.

Stosowane obecnie protezy skroniowo-żuchwowe mają jasno ustalone wskazania do stosowania, a ich funkcjonalność została potwierdzona wynikami klinicznymi. Ten typ rekonstrukcji charakteryzuje się wyższą skutecznością i niższym odsetkiem powikłań w porównaniu z rekonstrukcjami autologicznymi, jak przedstawia się w literaturze [4]. Obie opisane techniki mają swoje specyficzne ograniczenia, dlatego połączenie rekonstrukcji wolnego płata z indywidualną protezą stawu skroniowo-żuchwowego wydaje się rozsądnym i wskazanym rozwiązaniem.

Siła mocowania wolnego płata i protezy ma kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa klinicznego użytkowania wyrobu medycznego. Doniesienia naukowe dotyczące protez stawu skroniowo-żuchwowego dostarczają wyników badań biomechanicznych żuchw ze zwłok [5-6] oraz wyników symulacji numerycznych z wykorzystaniem MES. Analiza elementów skończonych (MES) jest powszechnie stosowana w zagadnieniach szeroko pojętej biomechaniki w tematyce takiej, jak biomechanika stabilizacji płytek odcinka szyjnego czy lędźwiowego kręgosłupa człowieka [7]. Literatura naukowa nie dostarcza natomiast informacji na temat wyników badań biomechanicznych endoprotezy stawu skroniowo-żuchwowego w połączeniu z wolnymi przeszczepami kostnymi, zarówno dla przypadków pediatrycznych jak i u dorosłych. Niniejsza praca przedstawia wyniki badań modelowych i doświadczalnych przeprowadzonych dla połączenia indywidualnego implantu stawu skroniowo-żuchwowego z wolnym przeszczepem z kości strzałkowej wykonanego dla przypadku pediatrycznego.

2. Metodyka

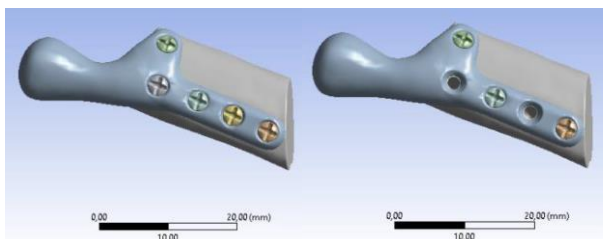
Analizy numeryczne oraz badania eksperymentalne przeprowadzono przy użyciu fragmentów kości strzałkowych połączonych z implantem stawu skroniowo-żuchwowego. Badania eksperymentalne przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej MTS Insight 100 kN, ze stałą prędkością posuwu 1 mm/min do momentu uszkodzenia próbki. Próbkę w maszynie wytrzymałościowej mocowano w uchwycie zaprojektowanym specjalnie do

tego typu badań, zapewniając fizjologiczną pozycję protezy pod kątem 120° [8] (rys. 1).



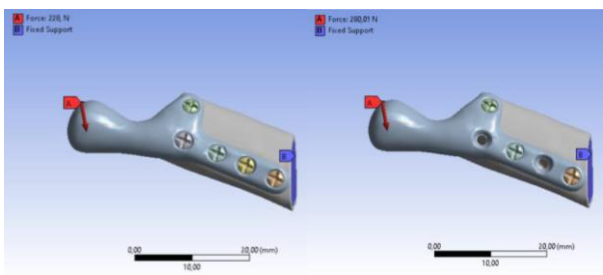
Rys. 1. Próbkę zainstalowaną w uchwycie zapewniającym anatomiczne położenie protezy

Analizę numeryczną przeprowadzono dla dwóch konfiguracji mocowania: konfiguracji 5-śrubowej i konfiguracji 3-śrubowej (rys. 2).



Rys. 2. Model 3D poszczególnych protez stawu skroniowo-żuchwowego: A – konfiguracja 5-śrubowa, B – konfiguracja 3-śrubowa

Warunki brzegowe w postaci obciążenia i utwierdzenia zostały zadane w oparciu o badania eksperymentalne. Obciążenie zadano jako siła wypadkowa przyłożona do górnej części protezy (rys. 3). Utwierdzenie odbierając wszystkie stopnie swobody przyłożono do dolnej powierzchni kości strzałkowej (rys. 3). Założono, że materiały wszystkich części są jednorodne, izotropowe i liniowo elastyczne. Tabela 1 pokazuje wartości modułu Younga i współczynnika Poissona zastosowane w procesie modelowania MES, wartości zaczerpnięto z literatury [5].



Rys. 3. Warunki brzegowe

Tabela 1. Stałe materiałowe

Materiał	E [GPa]	ν [-]	Tensile Strength [MPa]
Kość strzałkowa	2,6	0,33	193
CoCrMo	250	0,3	1280
Ti6Al4V	110	0,32	1190

3. Wyniki

Wyniki z przeprowadzonej analizy MES dla wszystkich próbek zestawiono w tab. 2. Wartości całkowitych przemieszczeń posłużyły do walidacji wyników badań numerycznych. Wyniki z badań eksperymentalnych porównano z badaniami numerycznymi.

Tabela 2. Porównanie wyników analizy MES i badań eksperymentalnych

Nr	Liczba śrub	Eksperyment		Badania numeryczne		$\frac{ x - x_0 }{x} \cdot 100\%$ [%]
		Maks. siła [N]	Maks. Przemie. x [mm]	Maks. Naprężenie w kości [MPa]	Maks. Przemie. x_0 [mm]	
Pr.1	5	316	5,97	49,98	5,32	10,88
Pr.2	5	185	3,08	29,26	3,11	0,97
Pr.3	5	397	5,03	62,79	6,68	32,80
Pr.4	3	115	1,33	18,06	2,10	57,89
Pr.5	3	280	1,63	35,78	2,30	41,10
Pr.6	5	228	1,67	29,31	1,76	5,38
Pr.7	5	493	3,99	63,38	3,81	4,51

4. Podsumowanie

Maksymalna siła zmierzona/zarejestrowana podczas badań eksperymentalnych została przyłożona w modelu w badaniach numerycznych. W tych warunkach największe odchylenia zaobserwowano w konfiguracji 3-śrubowej, a najmniejsze w konfiguracji 5-śrubowej. Dlatego konfiguracja 5-śrubowa wydaje się lepszym wyborem.

Literatura

- [1] Dowgierd, K.; Pokrowiecki, R.; Borowiec, M.; Kozakiewicz, M.; Smyczek, D.; Krakowczyk, Ł., *A Protocol for the Use of a Combined Microvascular Free Flap with Custom-Made 3D-Printed Total Temporomandibular Joint (TMJ) Prosthesis for Mandible Reconstruction in Children*. Appl. Sci. Vol. 11, No. 2176, 2021.
- [2] Resnick CM., *Temporomandibular Joint Reconstruction in the Growing Child*. Oral Maxillofac Surg Clin North Am. Vol. 30, No. 1, pp.109-121, 2018.
- [3] Resnick CM, Genuth J, Calabrese CE, Taghinia A, Labow BI, Padwa BL., *Temporomandibular Joint Ankylosis After Ramus Construction with Free Fibula Flaps in Children With Hemifacial Microsomia*. J Oral Maxillofac Surg, 2018.
- [4] Imola MJ, Liddell A., *Temporomandibular joint reconstruction*. Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg. Vol. 24, No. 4, pp.336-42, 2016.
- [5] Ramos A., Gonzalez-Perez LM., Infante-Cossio P., Mesnard M., *Ex-vivo and In Vitro validation of an innovative mandibular condyle implant concept*, Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery, <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2018.11.010>.
- [6] Ramos A., Duarte RJ., Mesnard M., *Strain induced in the condyle by self-tapping screws in the Biomet alloplastic temporomandibular joint: a preliminary experimental study*. Int J Oral Maxillofac Surg. Vol. 44, No. 11, pp.1376-82, 2015.
- [7] Jozko K, Gzik M, Wolański W, Gzik-Zroska B, Kawlewska E., *Biomechanical evaluation of human lumbar spine in spondylolisthesis*, J of Appl Biomed, Vol. 16, No. 1, pp.51-58, 2018. DOI: 10.1016/j.jab.2017.10.004.
- [8] Chole RH, Patil RN, Balsaraf Chole S, Gondivkar S, Gadbaill AR, Yuwanati MB. *Association of mandible anatomy with age, gender, and dental status: a radiographic study*. ISRN Radiol. 2013 Dec 18;2013:453763.