



ANALIZA NUMERYCZNA WPŁYWU RESEKCJI KRTANI NA WŁASNOŚCI WYTRZYMAŁOŚCIOWE ODCINKA SZYJNEGO KRĘGOSŁUPA

Patrycja CHORAŻY*, Agnieszka CHOJNACKA-BROŻEK*, Krzysztof WOŹNIAK**

* Zakład Mechaniki Stosowanej i Biomechaniki, Politechnika Krakowska, Kraków

** Katedra Medycyny Sądowej, Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum, Kraków

Rola jaką w organizmie człowieka odgrywa krtań budzą wiele pytań. Oprócz aktualnie przyjętej fizjologii pojawiają się rozważania poparte obserwacjami, które dotyczą podatności na uszkodzenia mechaniczne w odcinku szyjnym kręgosłupa, u pacjentów po resekcji krtani. Z praktycznego punktu widzenia to kręgosłup stanowi swego rodzaju kolumnę, na której podporę ma całe ciało człowieka, w tym też i głowa. Natomiast sama krtań to narząd składający się z chrząstek, które połączone są między sobą mięśniami, więzadłami i stawami. Pojęciem znanym z mechaniki jest zagadnienie dotyczące punktów podparcia. Stabilniejszą strukturą jest ciało podtrzymywane w dwóch miejscach, cechuje się mniejszą podatnością na obciążenia niż to, które ma tylko jedną podporę. Ciało podtrzymywane przez dwie podpory może być w tym przypadku głowa opierająca się w głównej mierze na odcinku szyjnym kręgosłupa, który jest naturalnym rusztowaniem ciała, ale również pewnym rodzajem stabilizacji przedniej dla głowy są struktury chrzęstne krtani, która w swoim stałym położeniu zamocowana jest za pośrednictwem mięśni oraz tkanek miękkich szyi. Jak wobec tego amputacja krtani wpływa pod względem biomechaniki tego odcinka na stabilność kręgosłupa i jego wytrzymałość materiałową?

Na podstawie zdjęcia z tomografii komputerowej utworzono modele przestrzenne struktur kostnych oraz chrzęstnych dla analizowanych przypadków, które na późniejszym etapie pracy zostały zaimportowane do programu ANSYS:

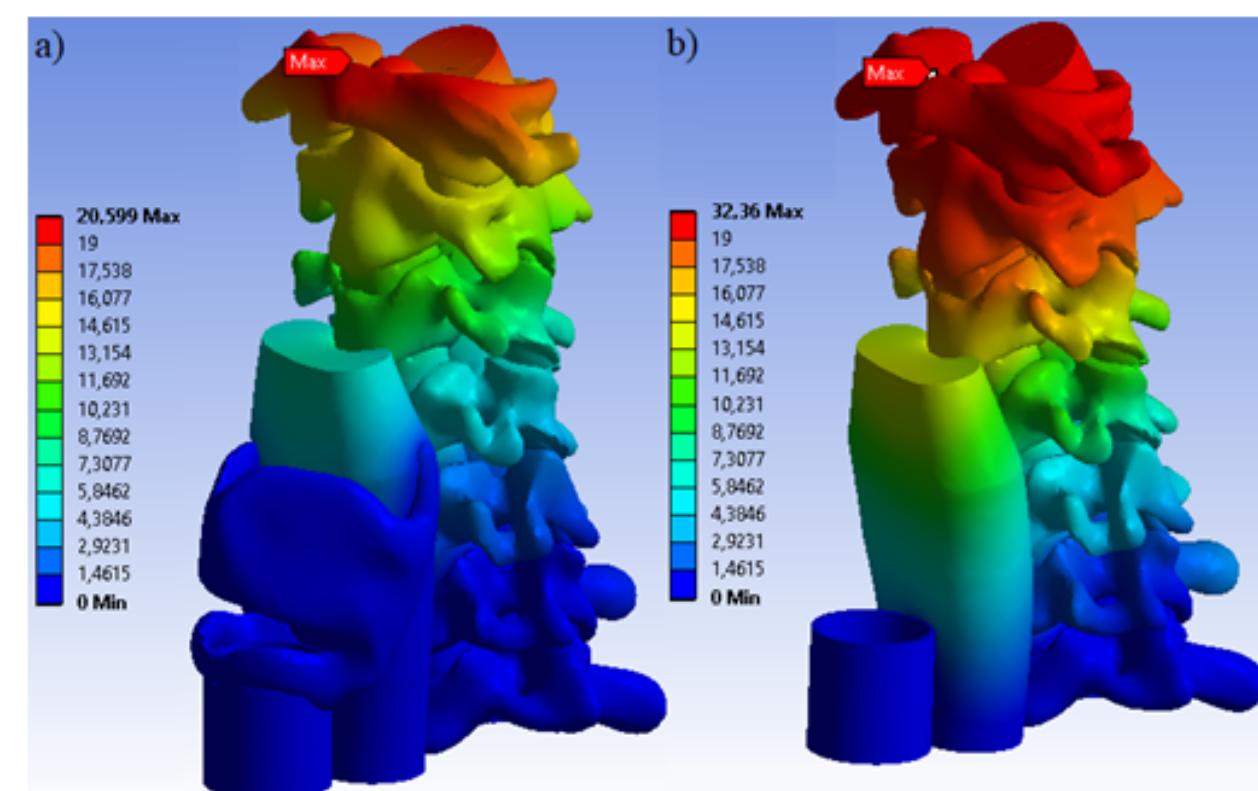
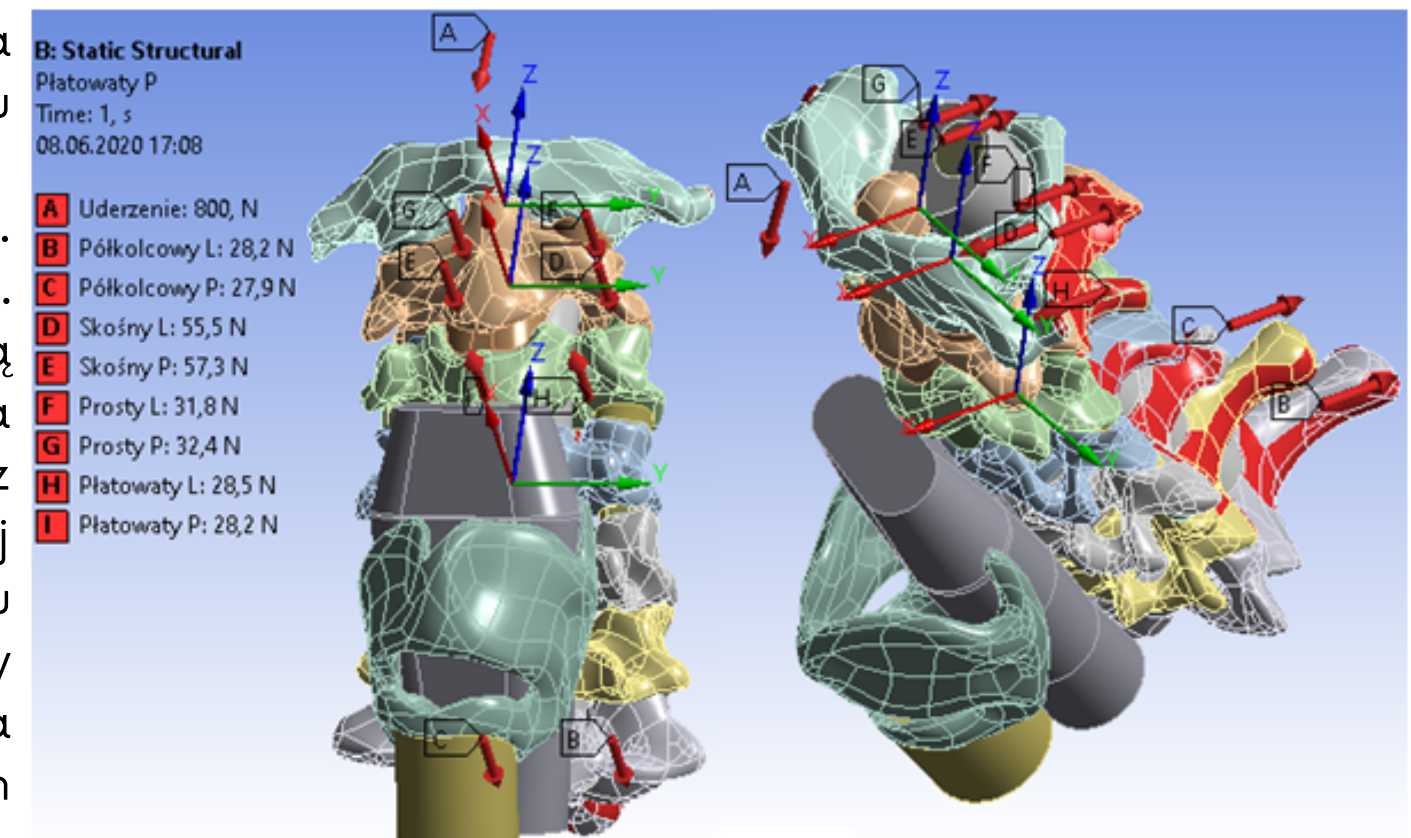
a. Przypadek nr I – mężczyzna lat 71, bez wrodzonych wad genetycznych, zmarły na skutek zdarzenia, które nie wpłynęło na budowę układu kręgowego odcinka szyjnego kręgosłupa.

		Model kręgosłupa z krtanią u zdrowego pacjenta	Model kręgosłupa z niespojonym łukiem C1 i usuniętą krtanią
U_{sum} [mm]		20,60	32,38
U_x [mm]		20,10	31,60
U_y [mm]		4,43	6,75
U_z [mm]		9,03	12,9
σ_{HMH} [MPa]		135,27	192,62
σ_1 [MPa]	MAX	96,30	178,96
	MIN	-30,08	-34,24
σ_3 [MPa]	MAX	41,92	66,97
	MIN	-140,25	-228,89
ϵ_1 [mm/mm]	MAX	0,64	0,85
	MIN	-0,002	-0,002
ϵ_3 [mm/mm]	MAX	0,01	0,01
	MIN	-1,27	-1,48

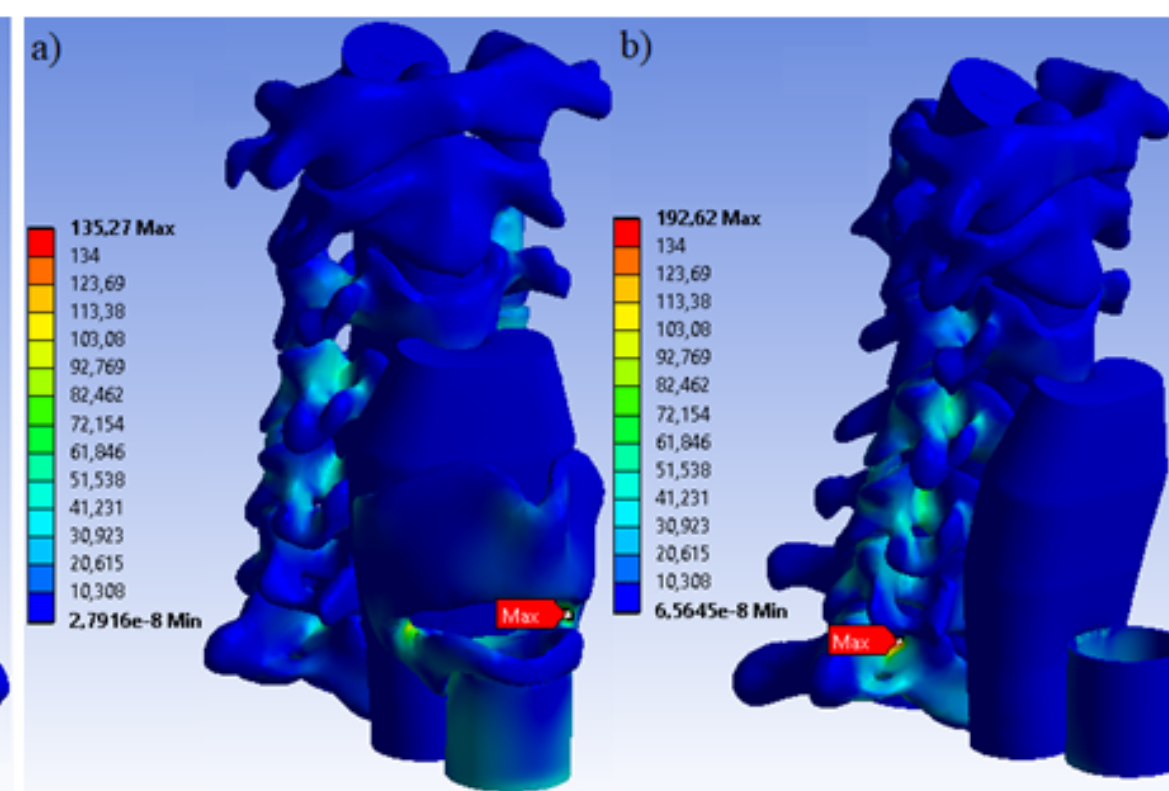
b. Przypadek nr II – mężczyzna lat 70 z wadą wrodzoną jaką jest niespojenie łuku C1 oraz zmianami zwyrodnieniowymi w obrębie odcinka szyjnego kręgosłupa, u którego na skutek przebytego nowotworu złośliwego amputowano krtań.

Następnie zdefiniowano warunki brzegowe i obciążeniowe dla modelu. Przyjęte właściwości mechaniczne przedstawiono w tabeli po prawej. Końcowy efekt wraz z przyłożonymi siłami: odmięśniowymi oraz siłą uderzenia rzędu 800 [N] przedstawiono na rysunku po prawej. Na podstawie otrzymanych rezultatów dokonano analizy wyników z uwzględnieniem dwóch różnorodnych modeli. W tabeli po lewej przedstawiono otrzymane maksymalne wartości występujące w modelu odcinka szyjnego kręgosłupa przed i po resekcją krtani. Rezultaty analizy numerycznej przedstawiono na rysunkach poniżej, odpowiednio dla modeli kręgosłupa: a) z krtanią u zdrowego człowieka, b) z niespojonym łukiem C1 i usuniętą krtanią.

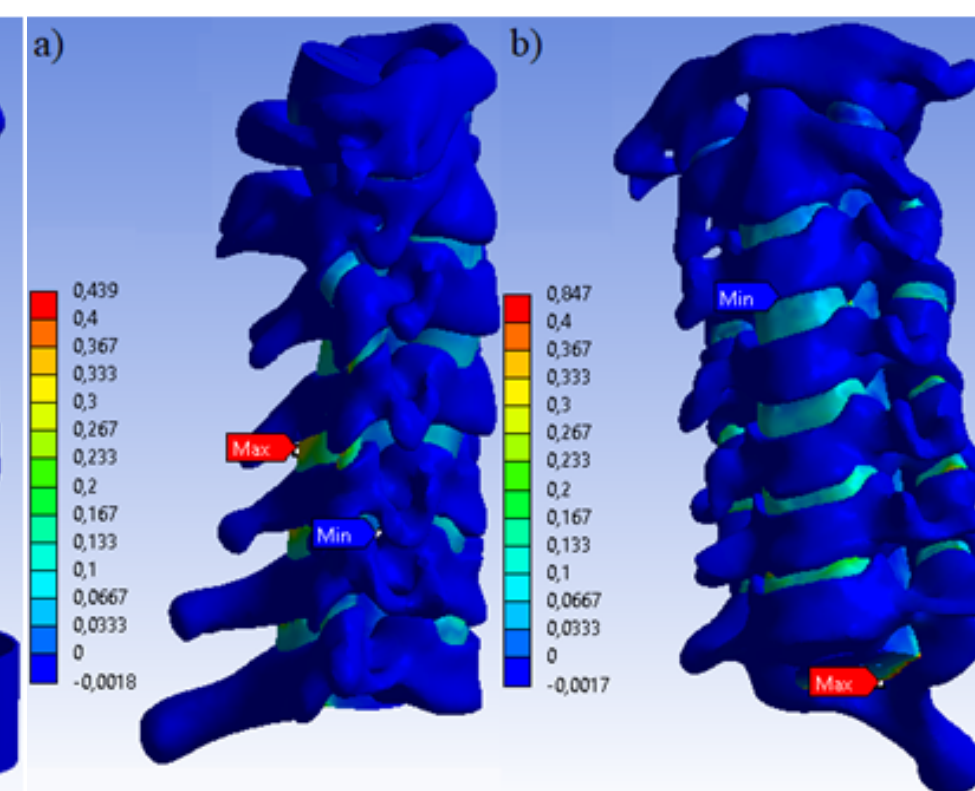
Struktura	Moduł Younga [MPa]	Współczynnik Poissona [-]
Krążki międzykręgowce	15,0	0,30
Kręgi szyjne	16 000,0	0,30
Płytki graniczne	100,0	0,40
Tkanka chrzęstna	4500,0	0,40
Tkanka mięśniowa	10,0	0,30
Tkanka nerwowa	1,4	0,44



Mapa rozkładu przemieszczeń całkowitych



Mapa rozkładu naprężenia zredukowanego według hipotezy Hubera-Misesa-Hencky'ego



Mapa rozkładu odkształceń w kierunkach głównych epsilon 1

Analiza wytrzymałości modelu z niespojonym łukiem C1 oraz po amputacji krtani pozwoliła na stwierdzenie, iż wytężenie w obrębie kręgów znajduje się na poziomie wytrzymałości dla tych struktur. W przypadku górnej części modelu doszło do najwyższych przemieszczeń całkowitych. Brak krtani przyczynia się równocześnie do podwyższenia wartości naprężeń oraz występowania w tym rejonie odkształceń w kierunkach głównych epsilon 1. Jednocześnie resekcja krtani połączona z wadą wrodzoną nie wpłynęła znacząco na naprężenia występujące w obrębie rdzenia kręgowego.