

KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PLANOWANIA ZABIEGU KOREKCJI TRIGONOCEFALII U DZIECI

MAREK GZIK, DAGMARA TEJSZERSKA, WOJCIECH WOLAŃSKI, BOŻENA GZIK-ZROSKA

Katedra Mechaniki Stosowanej, Politechnika Śląska, Gliwice
e-mail: marek.gzik@polsl.pl; dagmara.tejszerska@polsl.pl; wojciech.wolanski@polsl.pl; bozena.gzik-zroska@polsl.pl

DAWID LARYSZ, MAREK MANDERA

Oddział Neurochirurgii Dziecięcej Górnośląskiego Centrum Zdrowia Dziecka i Matki w Katowicach

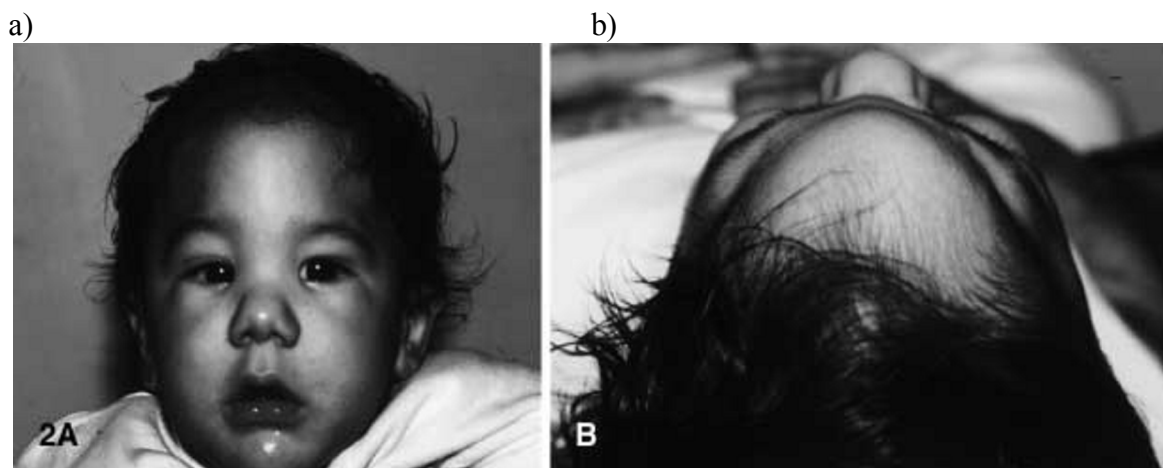
Streszczenie. W pracy podjęto próbę opracowania metodologii komputerowego wspomaganie leczenia wad deformacji czaszki dziecka związanych z kraniostenozą. Choroba ta jest przyczyną deformacji kości twarzoczaszki, ale ma również istotnie negatywny wpływ na rozwój mózgu. Korekcja wady wymaga inwazyjnego niebezpiecznego dla pacjentów zabiegu. Dotychczas prowadzone operacje realizowano na podstawie doświadczeń i wiedzy lekarzy popartych diagnostyką TK. Modelowanie w biomechanice połączone z metodami nowoczesnej wizualizacji daje nowe szanse na inżynierskie wspomaganie zabiegów operacyjnych. Za pomocą programu MIMICS sformułowano model bryłowy czaszki dziecka z trygonocefalią na podstawie zdjęć tomografii komputerowej TK. Opracowany w programie ANSYS model numeryczny przy wykorzystaniu metody elementów skończonych pozwolił na określenie sztywności kości czołowej po dokonaniu cieniowania oraz nacięć. Przeprowadzone zostały również badania eksperymentalne w celu określenia parametrów materiałowych modelowanych elementów. Sformułowano model został zaprezentowany w technologii wirtualnej. Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, jaki wariant pod względem przygotowania kości czołowej przyniesie najbardziej oczekiwany efekt.

1. WSTĘP

Czaszka człowieka składa się z kości połączonych szwami, które w okresie życia ulegają zrośnięciu, dając sztywną i wytrzymałą konstrukcję ochronną dla mózgu. Proces rozwoju główki dziecka jest uszeregowany we właściwy sposób i wszelkie anomalie wynikające z zaburzenia cyklu kolejności zarastania szwów skutkują defektem geometrii główki. Kraniosynostoza to przypadek zbyt wczesnie zarośniętego jednego lub więcej szwów czaszki. Problem patologii związanej z nieprawidłowym ukształtowaniem czaszki u noworodków należy do dość częstych przypadków (1 przypadek na 2200 narodzeń). Nieleczona deformacja główki to nie tylko negatywny efekt wizualny, ale także może to być przyczyna wystąpienia nadciśnienia śródczaszkowego, co w konsekwencji może prowadzić do powstania

niekorzystnych warunków do rozwoju mózgu (rys.1). Z tym związane jest zaburzenie rozwoju psychofizycznego dziecka, nieprawidłowości wyższych czynności nerwowych, takich jak słuchu fonetycznego, złożonych funkcji wzrokowo-przestrzennych czy mechanizmów kojarzenia [1,2,3,4,5,7].

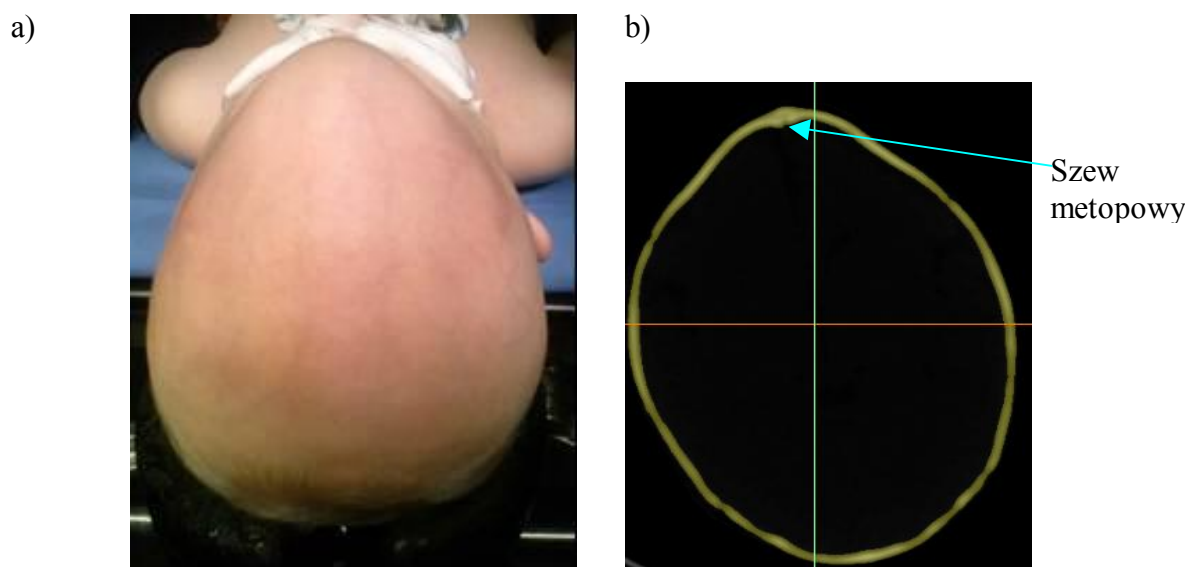
Współczesne metody inżynierskiego wspomagania zabiegów karanioplastyki są szansą na powstanie skuteczniejszych metod leczenia, jak również poprawę bezpieczeństwa obarczonych znacznym ryzykiem zabiegów neurochirurgicznych. W pracy celem podjętych badań było wypracowanie metodologii inżynierskiego wspomagania w zabiegach kraniosynostozy na przykładzie chłopca, który został zoperowany w Górnośląskim Centrum Zdrowia Dziecka im. Jana Pawła II w Katowicach Ligocie.



Rys. 1. Przypadek trigonocefalii: a) widok z przodu, b) widok z góry [6]

2. OPIS ROZWAŻANEGO PRZYPADKU

Do przeprowadzenia badań modelowych wykorzystano zdjęcia tomografii komputerowej wykonane na Oddziale Neurochirurgii Dziecięcej Górnośląskiego Centrum Zdrowia Dziecka w Katowicach. Był to przypadek kraniosynostozy, trygonocefalii związany z wczesnie zarosniętym szwem metopowym (rys.2).



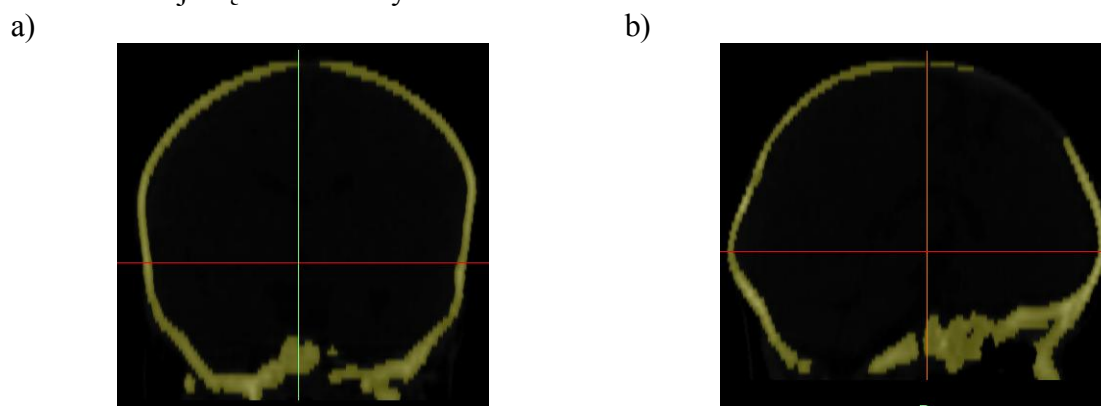
Rys. 2. Analizowany przypadek trygonocefalii: a) zdjęcie pacjenta w widoku z góry, b) zdjęcie TK w przekroju płaszczyzną poprzeczną na wysokości kości czołowej

3. FORMUŁOWANIE MODELU GEOMETRYCZNEGO ORAZ WIZUALIZACJA W ŚRODOWISKU OPROGRAMOWANIA WIRTUALNEJ RZECZYWISTOŚCI

3.1. Wizualizacja danych na podstawie diagnostyki TK

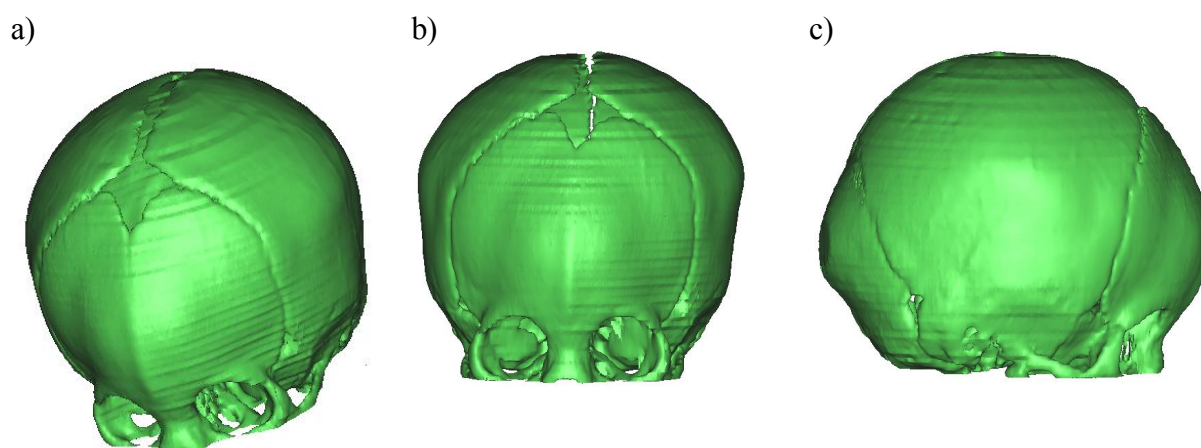
Tomograf komputerowy generuje pliki zawierające informacje, które pozwalają na odtworzenie obrazu części skanowanego ciała człowieka. Obrazy tomograficzne mają postać rastrową o rozdzielczości 256x256 lub 512x512 pikseli (punktów graficznych). Każda warstwa jest zbiorem elementów, które są wartościami współczynnika osłabienia μ promieniowania X, które przenika przez ciało. Wartość współczynnika w zależności od rodzaju badanej tkanki ustala się na podstawie skali Hounsfielda. Skala posiada 4096 stopni przenikalności, od -1024 (dla powietrza) do 3071 (maksymalna dla struktur kostnych). Wartości numeryczne w obrazie są przyporządkowane stopniom szarości. Jasne odcienie oznaczają dużą liczbę stopni Hounsfielda i odpowiednio, ciemne - małą liczbę.

Obliczone w wyniku rekonstrukcji i odpowiednio przetworzone dane numeryczne tworzą obraz badanej części czaszki rys.3.



Rys. 3. Obraz (raster) z TK a) widok w płaszczyźnie czołowej, b) widok w płaszczyźnie strzałkowej

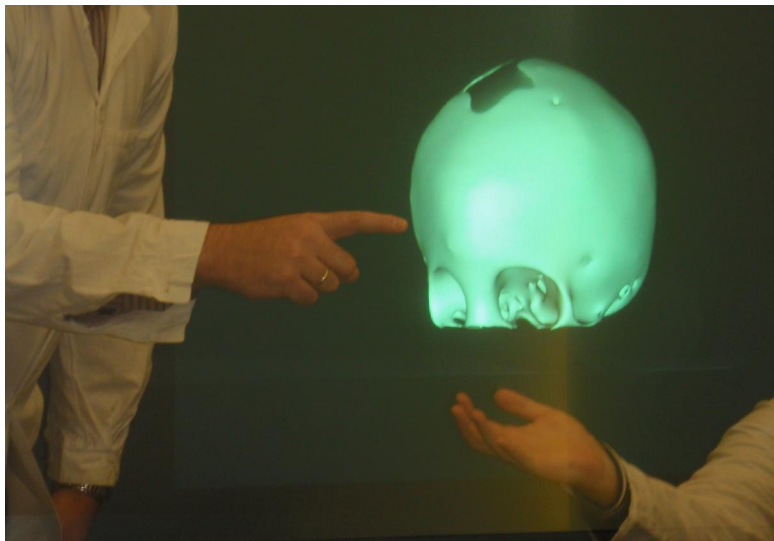
Generując model trójwymiarowy badanej struktury na podstawie TK, przyjęto skalę Hounsfielda (Thresholds) w granicach od 171 do 2024. Przyjęty przedział pozwolił na optymalne wyodrębnienie żądanych elementów kostnych. Przy wyborze parametrów kierowano się zakresem wartości współczynnika przenikalności kostnej u dziecka - rys.4.



Rys. 4. Model geometryczny analizowanego przypadku w widoku:
a) izometrycznym, b) z przodu, c) z boku

3.2. Model 3D przygotowany do wizualizacji w stereografii

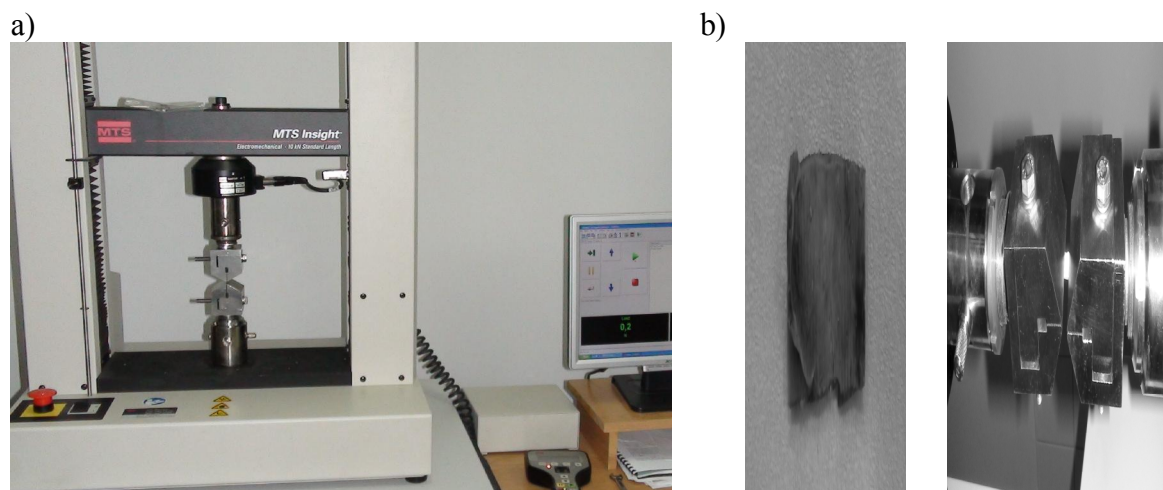
Na podstawie modelu 3D sformułowanego w programie MIMISC przygotowano wizualizacje w technologii EON, co pozwoliło neurochirurgom lepiej przeanalizować rozpatrywany przypadek.



Rys. 5. Wizualizacja analizowanego przypadku z użyciem technologii stereografii

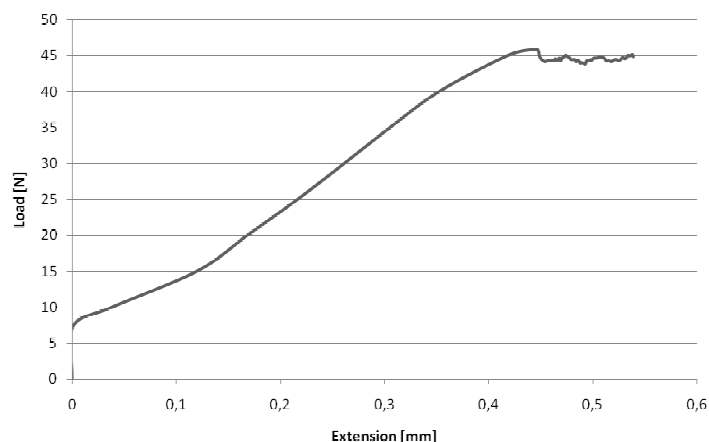
4. BADANIA EKSPERYMENTALNE

Badania modelowe wymagały na etapie analiz matematycznych zdefiniowania charakterystyki materiałowej kości czaszki. W powyższym celu przeprowadzono testy na próbkach uzyskanych z wcześniej przeprowadzonych zabiegów, w których usuwane rutynowo części kości poddano badaniom na stanowisku MTS Insight - rys.6.



Rys. 6. Badania eksperymentalne a) stanowisko badawcze w trakcie prób, b) próbka w uchwytach do badań

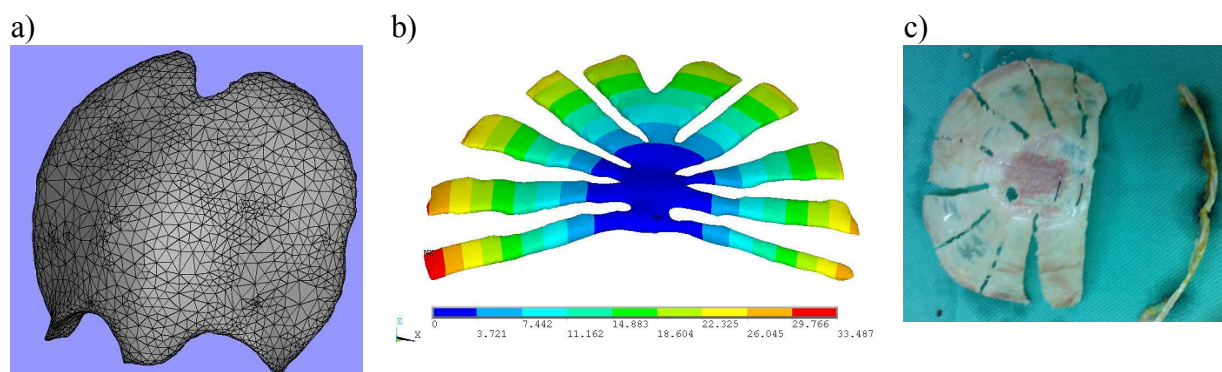
Przeprowadzone badania na fragmentach kości czaszki dzieci w wieku 2-4 miesięcy uśrednione dla 8 przebadanych przypadków przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Charakterystyka materiałowa kości czaszki – średnia wartość uzyskana w próbie rozciągania

5. BADANIA MODELOWE ORAZ REZULTATY ANALIZ W ŚRODOWISKU ANSYS

Analizie numerycznej poddano kilka przypadków przygotowania kości czołowej do korekcji wady poprzez cieniowanie oraz wykonanie nacięć. Za najlepszy uznano przypadek umożliwiający w łatwy sposób uzyskanie korekcji przy jednoczesnym zachowaniu ciągłości geometrycznej. Przebadanych zostało 5 przypadków: kość nienaruszona, kość po cieniowaniu oraz z pięcioma, sześcioma i ośmioma nacięciami. Badano, jaka siła spowoduje ugięcie o 20mm. Uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 1.



Rys. 8. Model zdeformowanej kości czołowej: a) po dyskretyzacji na elementy skończone, b) mapa przemieszczeń pod działaniem siły 4N dla ośmiu nacięć, c) kość w trakcie zabiegu

Tabela 1 Zależność ugięcia od przyłożonej siły do korygowanej kości czołowej

Rodzaj korekcji	Ugięcie [mm]	Siła [N]
Kość nienaruszona	20	52
cieniowana	20	37
5 nacięć	20	15
6 nacięć	20	10
8 nacięć	20	4

4. WNIOSKI

W pracy przedstawiono metodologię inżynierskiego wspomagania leczenia wad deformacji głowy dziecka. Na podstawie zdjęć TK sformułowano zindywidualizowany model bryłowy analizowanego przypadku, a następnie poddano go analizie numerycznej celem określenia potrzebnych sił do wywołania korekcji deformacji. Przedstawione badania są częścią wspólnie realizowanych badań pracowników Katedry Mechaniki Stosowanej Politechniki Śląskiej oraz Oddziału Neurochirurgii Dziecięcej Górnośląskiego Centrum Zdrowia Dziecka w Katowicach. Za najlepszy przypadek korekcji analizowanego defektu uznano nacięcie kości w ośmiu miejscach, co pozwoliło w trakcie zabiegu na uzyskanie podatnej kości, łatwej do skorygowania wady.

Badania są realizowane w ramach projektu finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr NN501 157038

LITERATURA

1. Littlefield TR, Kelly KM, Pomatto JK, Beals SP.: Multiple-birth infants at higher risk for development of deformational plagiocephaly: II. is one twin at greater risk? "Pediatrics" 2002, 109(1), p. 19-25.
2. Losee JE, Mason AC, Dudas J, Hua LB, Mooney MP.: Nonsynostotic occipital plagiocephaly: factors impacting onset, treatment, and outcomes. "Plast Reconstr Surg." 2007, 119(6), p. 1866-73.
3. Miller RI, Clarren SK.: Long-term developmental outcomes in patients with deformational plagiocephaly. "Pediatrics" 2000, 105(2):E26.
4. Murad GJ, Clayman M, Seagle MB, White S, Perkins LA, Pincus DW.: Endoscopic-assisted repair of craniosynostosis. "Neurosurg Focus" 2005, 15;19(6):E6.
5. Renier D., Lajeunie E., Arnaud E., Marchas D.: Management of craniosynostoses. "Child's Nerv System" 2000, 16, p.645-658.
6. Sloan GM, Wells KC, Raffle C, McComb JG.: Surgical treatment of craniosynostosis: outcome analysis of 250 consecutive patients. "Pediatrics" 1997, 100(1):E2.
7. Virtanen R, Korhonen T, Fagerholm J, Viljanto J.: Neurocognitive sequelae of scaphocephaly. "Pediatrics" 1999, 103(4 Pt 1):791-5.

COMPUTER-AIDED OPERATION PLANNING OF TRIGONOCEFALIA CORRECTION IN CHILDREN

Summary. The attempt to methodology creation supported neurosurgical procedures of deformed skull correction, connected with craniosynostosis is presented in this paper. Typical treatment in such cases is connected with invasive operation. Up to now neurosurgeons during pre-operation planning of bones correction based on their own knowledge and experience supported by CT diagnosis. Modelling in biomechanics connected with new visualization methods gives new possibilities of engineer support for medical procedures. Three-dimensional model of deformed skull with trigonocephaly was created on the basis of CT scans with use of Mimics software. The model was transformed to FEM and used for suitable shape of forehead bone determination. Material properties of bones were assumed on the basis of experimental researches. The geometrical model was presented in 3-dimensional virtual reality. It helps to better imagine about the real shape of skull hidden under head skin and take the best decision how to operate the example of trigonocephalia.