

Małgorzata OTRĘBSKA, Koło Biomechaniki, Politechnika Śląska,
Marek GZIK, Edyta KAWLEWSKA, Katedra Biomechatroniki, Politechnika Śląska,
Dawid LARYSZ, Śląski Uniwersytet Medyczny.

PRZEDOPERACYJNE INŻYNIERSKIE WSPOMAGANIE ZABIEGU NEUROCHIRURGICZNEGO KOREKCJI DEFORMACJI GŁÓWKI DZIECKA

Streszczenie. Celem pracy było przedoperacyjne zaplanowanie w programie komputerowym Mimics zabiegu neurochirurgicznego korekcji deformacji główki dziecka. W ramach pracy, obrazy z tomografii komputerowej wprowadzono do programu Mimics, sformułowano model 3D główki, zaplanowano cięcia kości czaszki oraz ich ułożenie w prawidłowej pozycji tak, aby uzyskać prawidłowy wygląd główki dziecka. Następnie wykonano kranioometrię pozwalającą na porównanie wymiarów czaszki przed i po zabiegu.

1. WSTĘP

Kraniosynostoza to przedwczesne zrośnięcie szwów, prowadzące do zniekształcenia czaszki, zmniejszenia jamy czaszkowej lub powodujące ucisk prawidłowo rozwijającego się mózgu. Prowadzi do zahamowania prawidłowego wzrostu kości płaskich, powodując zniekształcenie czaszki.

U dzieci z tą chorobą często występuje zniekształcona, mała główka i wytrzeszcz gałek ocznych, co jest widoczne od razu po urodzeniu, bądź może ujawnić się w pierwszym roku życia. W badaniach EEG można zaobserwować zmiany u pacjentów z objawami uciskowymi. Dużym zagrożeniem jest pojawianie się wzmożonego ciśnienia wewnątrzczaszkowego oraz uciskowych objawów mózgowych takich jak niedowład, niedorozwój umysłowy czy padaczka. Kolejnym ważnym problemem są zaburzenia wzrokowe tj. osłabienie ostrości widzenia oraz zanik nerwu wzrokowego. Chorobom tym często towarzyszą inne liczne wady wrodzone szkieletu i narządów wewnętrznych [1–6].

W łagodnych stanach chorobowych organizm sam radzi sobie z problemem lub do leczenia wystarczają hełmy ortopedyczne. Jednakże, w wielu przypadkach konieczna jest operacja, która może zostać wykonana endoskopowo (w pierwszych miesiącach życia) bądź „klasycznie”.

W ramach zabiegu korygującego należy rozdzielić wszystkie przedwczesnie zrośnięte kości, ustawić je w prawidłowej pozycji i umożliwić ich wzrost w każdym kierunku, w którym powinno to nastąpić podczas prawidłowego rozwoju.

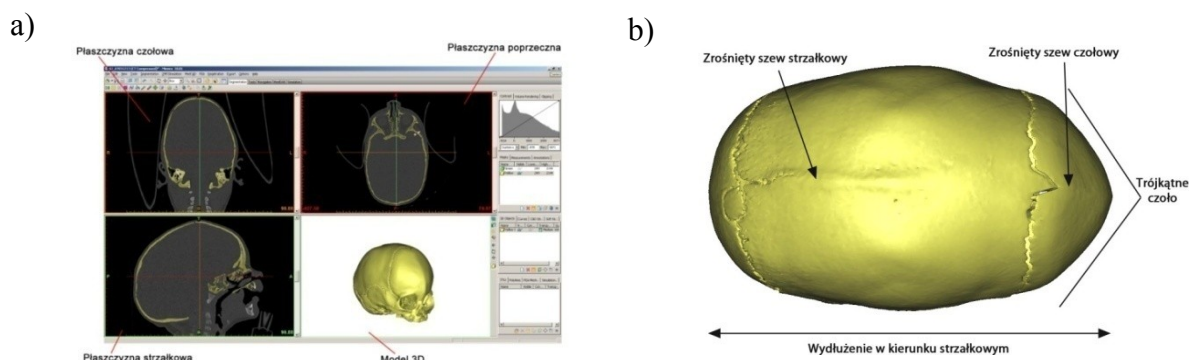
Coraz częściej lekarze przed skomplikowaną operacją współpracują z inżynierami biomechaniki, którzy wspomagają ich w planowaniu zabiegów operacyjnych przed ich wykonaniem. Technologia obrazowania pozwala na eksport obrazów z badań diagnostycznych, takich jak tomografia komputerowa czy rezonans magnetyczny, do komputera. Dzięki temu istnieje możliwość wygenerowania trójwymiarowego modelu pacjenta, a następnie praca na tym modelu, dokładne zaplanowanie krok po kroku jak ma wyglądać zabieg, gdzie i jakie metody powinno się zastosować, a także co przyniesie

najbardziej pożądanym efektem. Można też zwizualizować, jakie będą końcowe rezultaty tak wykonanej operacji.

2. PRZEDOPERACYJNE PLANOWANIE ZABIEGU

W pracy rozpatrywany był przypadek zdeformowanej główki trzymiesięcznego chłopca. Zdjęcia z tomografii komputerowej wykazały, że dziecko choruje na trigonocephalię, objawiającą się trójkątnym czołem spowodowanym przedwczesnym zrostem szwu czołowego oraz na scaphocephalię, czyli długogłowie spowodowane zrostem szwu strzałkowego.

Zdjęcia główki chłopca uzyskane z tomografii komputerowej zaimportowano do programu MIMICS, gdzie stworzono maskę z wyodrębnionymi kośćmi dziecka (skala Hounsfielda: 249 - 2144).



Rys. 4.: a) Widok okna programu Mimics, b) Model 3D czaszki chłopca

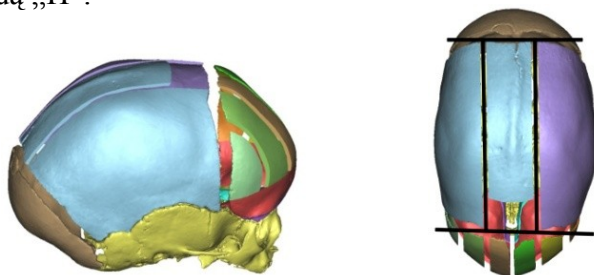
Po odpowiednim przygotowaniu maski, został obliczony model 3D czaszki, który umożliwia dokładną ocenę deformacji główki i jej przyczyny.

Na modelu możliwe było wstępne zaplanowanie przebiegu operacji oraz ustalenie gdzie powinny zostać wykonane cięcia, aby w wyniku operacji uzyskać pożądaną kształt czaszki. Zostały wykonane podstawowe cięcia:

- szwu wieńcowego z zajęciem na kość czołową i kości ciemieniowe,
- szwu węglowego z zahaczeniem kości ciemieniowych i potylicznej,
- cięcia wzdłuż poszczególnych szwów tak, aby całkowicie wyodrębnić kość czołową, potyliczną i część, na którą składają się dwie kości ciemieniowe.

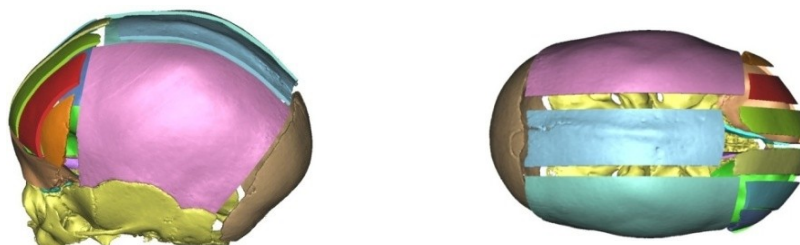
2.1. Korekcja scaphocephalii

W przypadku łódkogłowia korekcja polega na wyodrębnieniu 2 kości ciemieniowych, rozszerzeniu na boki oraz przesunięciu i pochyleniu ich do przodu. Aby uzyskać taki efekt, wykonano cięcia metodą „II”.



Rys. 5. Widok zastosowanych nacięć przy korekcji łódkogłowia

Poza lekkim rozchyleniem kości ciemieniowych na zewnątrz oraz przesunięciem ich do przodu w stronę kości czołowej, pas między tymi kośćmi przesunięto także do przodu oraz przechylnono tak, aby dopasować go do krzywizny kości ciemieniowych w nowym miejscu. Dodatkowo dzięki tym zabiegom można było przybliżyć kość potyliczną do kości ciemieniowych tak, aby przyjęła pozycję bardziej pionową. Wykonano również dodatkowe cięcia od strony kości potylicznej i czołowej, by uzyskać przerwy między poszczególnymi segmentami kostnymi. Pozwoliło to także skrócić czaszkę w kierunku strzałkowym i pozbyć się tzw. długogłowia, charakterystycznego dla tej choroby.

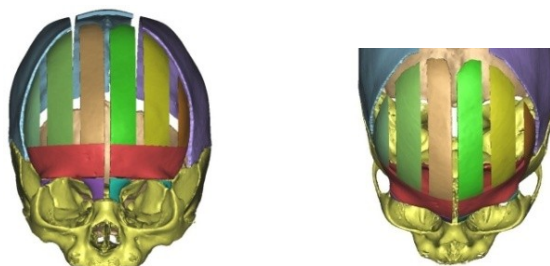


Rys. 6. Widok czaszki po korekcji łódkogłowia

2.2. Korekcja Trigonocephalii

Uzyskanie prawidłowego wyglądu główki polega na usunięciu charakterystycznego trójkątnego czoła, grzebienia na zrosniętym szwie czołowym, a także zaokrągleniu oraz cofnięciu całej części czołowej.

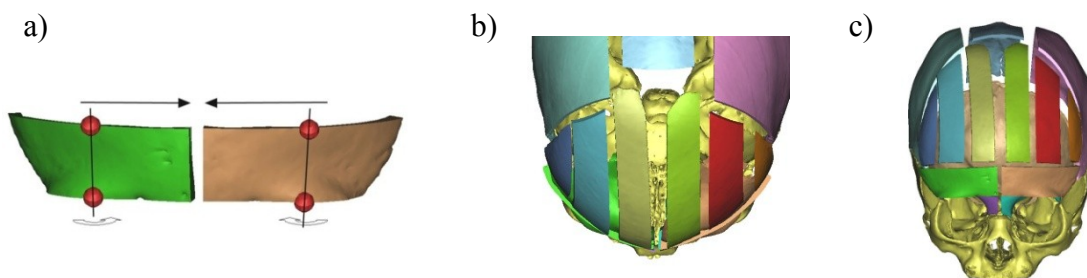
Aby to uzyskać należało przede wszystkim przeciąć szew czołowy, następnie utworzyć osobny fragment kości nad łukiem nadoczodołowym oraz każdą z połówek kości czołowej podzielić na 3 pasy.



Rys. 7. Widok prawidłowo zaaplikowanych cięć kości czołowej

Podstawowym założeniem korekcji trigonocephalii było wyprostowanie wcześniej wyciętego pasa nad łukiem nadoczodołowym i zlikwidowanie charakterystycznego trójkąta w okolicach szwu czołowego.

Następnie należało ustawić pasy na czole odpowiednio do łuku nadoczodołowego, jednocześnie przesuwając i obracając w taki sposób, aby uzyskać poprawny kształt czoła.



Rys. 8.: a) Korekcja łuku nadoczodołowego, b) i c) Korekcja trigonocephalii

3. OCENA WIRTUALNEJ SYMULACJI ZABIEGU KORYGUJĄCEGO

Antropometria polega na badaniu odległości między różnymi częściami ciała. Jedną z gałęzi antropometrii jest kranioimetria zajmująca się pomiarami czaszki.

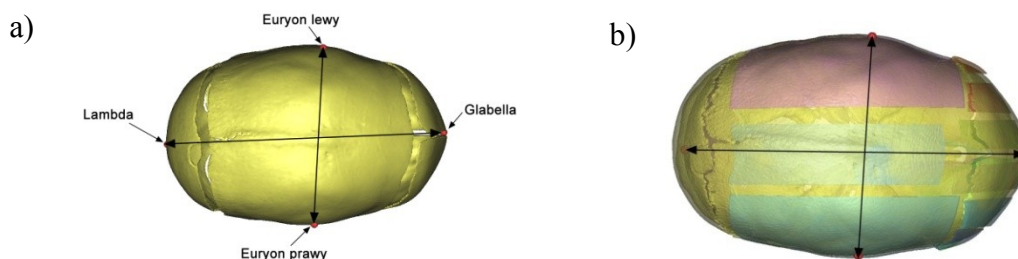
Kranioimetria polega na określeniu punktów na czaszce, dzięki którym można wyznaczyć poszczególne odcinki, kąty lub łuki określające wymiary czaszki (wysokość, szerokość, obwód, rozstaw kości itp.).

Kranioimetria została wykonana w tej pracy przede wszystkim po to, aby zobaczyć jak zmieniają się wymiary czaszki po przeprowadzeniu zabiegu. Dlatego charakterystyczne punkty (euryon prawy i lewy oraz glabella i lambda) zostały naniesione na model 3D stworzony z obrazów diagnostycznych tomografii komputerowej, a potem te same punkty zostały umieszczone na czaszce po zaplanowanej korekcji deformacji główki chłopca.

Ocena korekcji scaphocephalii polegała na wyznaczeniu tzw. indeksu cefalicznego (IC), który określa stosunek maksymalnej szerokości czaszki do maksymalnej długości, pomnożony przez 100.

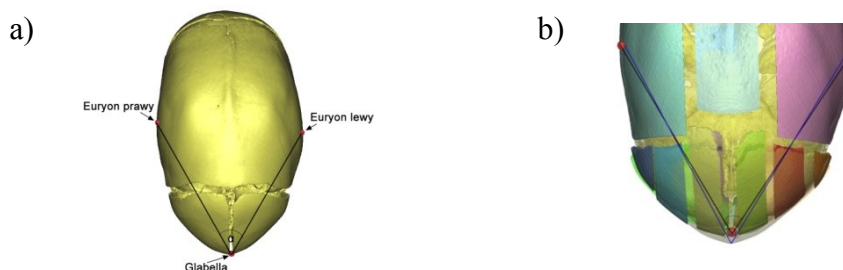
$$\frac{\text{maksymalna szerokość}}{\text{maksymalna długość}} \cdot 100, \text{ a zatem } \frac{\text{maksymalna szerokość}}{\text{maksymalna długość}} \quad (1)$$

Prawidłowy indeks cefaliczny dla dzieci do szóstego miesiąca życia wynosi: $[68 \pm 5]$. U pacjenta przed operacją wynosił 60,99, natomiast po operacji 64,31. Można zaobserwować wzrost wartości indeksu, a więc wynik uzyskany po korekcji scaphocephalii mieści się w granicach normy, co sugeruje prawidłową korekcję deformacji.



Rys. 9.: a) Widok z góry czaszki z zaznaczonymi punktami.
b) Porównanie czaszki przed i po operacji

Ilościową ocenę poprawy kształtu czoła można przeprowadzić poprzez wyznaczenie kąta przed i po zaplanowanym zabiegu, a następnie porównać te wyniki.

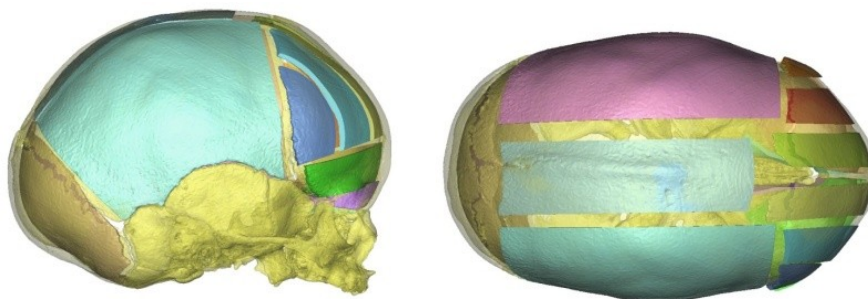


Rys. 10.: a) Czaszka z zaznaczonym kątem, między trzema charakterystycznymi punktami.
b) Porównanie kątów na czole przed i po operacji

Kąt przed operacją był równy $59,01^\circ$, natomiast po operacji $44,18^\circ$, co wskazuje na wyraźną poprawę kształtu czoła.

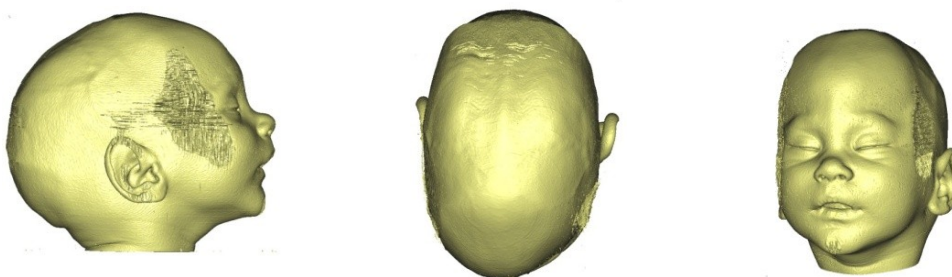
3.1. Symulacja efektów zabiegu

Program komputerowy Mimics umożliwia nałożenie kilku modeli 3D na siebie. Dzięki temu można porównać czaszkę przed (przezroczysta powłoka) i po zabiegu (ciemniejsze fragmenty kostne).



Rys. 11. Porównanie czaszki przed i po zabiegu

Istnieje także możliwość wygenerowania maski tkanki miękkiej (skala Hounsfielda: od -1024 do 3071), co pozwala na zobrazowanie wyglądu główki z nałożoną powłoką skórną. Dzięki wygenerowaniu takiego modelu można zaobserwować jak zmieni się wygląd główki dziecka, a nie tylko samej czaszki, po przeprowadzeniu operacji.



Rys. 12. Modele główki chłopca po zabiegu

Po nałożeniu skóry na czaszkę, różnice między modelami przed i po zabiegu są mniej widoczne, jednak należy pamiętać, że najważniejsze było odbarczenie mózgu i umożliwienie dalszego prawidłowego rozwoju dziecka.

Nierówności na bokach modeli wynikają z usunięcia w programie fragmentów poduszek, które przytrzymywały główkę chłopca podczas wykonywania tomografii komputerowej.

4. WNIOSKI

Przedoperacyjne inżynierskie planowanie zabiegów medycznych przy pomocy programów komputerowych, pozwalających na uzyskanie trójwymiarowych modeli na podstawie obrazowania medycznego, poszerza granice dotychczasowych operacji.

Przedoperacyjne planowanie umożliwia przede wszystkim:

- dobór optymalnej, indywidualnej metody przeprowadzenia operacji,
- prognozowanie i wcześniejsze zapobieganie większości problemów,
- skrócenie czasu zabiegu, a zatem skrócenie czasu narkozy pacjenta i zwiększenie bezpieczeństwa,

- trójwymiarowe wizualizacje wyników operacji,
- trening na trójwymiarowym modelu przed zabiegiem,
- porównanie modeli przed i po zabiegu, możliwość oceny efektów leczenia poprzez wykonanie obliczeń wytrzymałościowych i zasymulowanie działania różnych sił odzwierciedlających sytuacje w życiu codziennym. Dzięki temu istnieje możliwość przewidzenia jak będzie się zachowywał narząd po operacji.

Należy zauważyć, że ostateczna ocena efektów leczenia będzie możliwa dopiero po pewnym czasie od operacji, kiedy główka dziecka wraz ze wzrostem nabierze prawidłowego kształtu, a także możliwa będzie ocena rozwoju neuropsychologicznego dziecka.

Metoda inżynierskiego wspomaganie zabiegów operacyjnych otwiera nowe możliwości w dziedzinie chirurgii i zapewne w niedalekiej przyszłości będzie powszechnie stosowana przed wykonywaniem skomplikowanych operacji.

LITERATURA

- [1] Marchac D., Renier D.: *Craniofacial Surgery for Craniosynostosis*. Little, Brown and Company. Boston, 1982, ISBN 0-316-54582-1.
- [2] Gaskill S., Marlin A. E.: *Neurologia i neurochirurgia dziecięca*. Wyd. I. TA. WPN UNIVERSITAS. Kraków, 2000. ISBN 83-7052-777-9.
- [3] *Neurochirurgia w zarysie*. Red. M. Pawlina, Wyd. I. PZWL. Warszawa, 1999. ISBN 83-200-2301-7.
- [4] *Neurochirurgia*. Red. prof. dr hab. n. med. J. Bidziński. Wyd. II. PZWL. Warszawa, 1988. ISBN 83-200-1207-4.
- [5] Prusiński A.: *Podstawy neurologii klinicznej*. Wyd. IV. PZWL. Warszawa, 1983. ISBN 82-200-0684-8.
- [6] Lindsay K. W., Bone I.: *Neurologia i Neurochirurgia*. Wyd. Elsevier Urban & Partner. Wrocław, 2003. ISBN 978-83-89581-29-7.

PREOPERATIVE ENGINEERING SUPPORT OF THE NEUROSURGICAL TREATMENT IN CRANIOSYNOSTOSIS

Summary. Aim of this thesis has been the preoperative design of neurosurgical procedure of baby's head deformation correction. Surgical simulation software Mimics has been used for creation three dimensional baby's head model. This model is based on computed tomography images input. Next the geometry of the cutouts has been designed, with care about postoperative head shape. Last craniometry has been done, which allows to compare dimensions of skull before and after procedure.