

INŻYNIERSKIE WSPOMAGANIE ENDOSKOPOWYCH ZABIEGÓW NEUROCHIRURGICZNYCH

WOJCIECH WOLAŃSKI¹, DAWID LARYSZ², MAREK GZIK¹

¹Katedra Mechaniki Stosowanej, Politechnika Śląska
e-mail: Wojciech.Wolański@polsl.pl, Marek.Gzik@polsl.pl,

²Klinika Neurochirurgii, Śląski Uniwersytet Medyczny
e-mail: dawilar@poczta.onet.pl

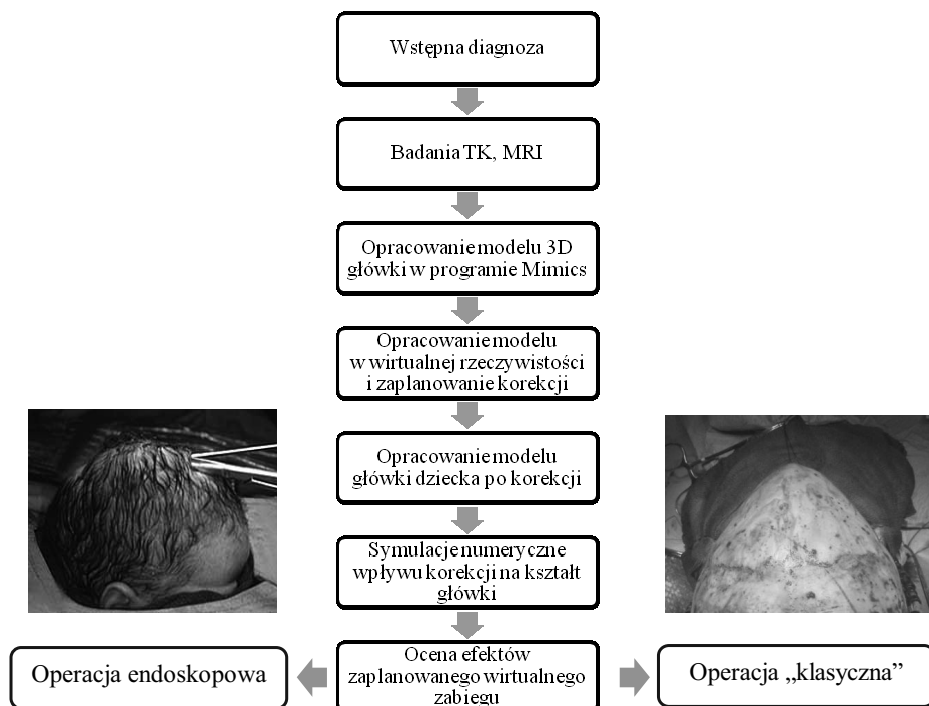
Streszczenie. W pracy przedstawiono badania modelowe dotyczące inżynierskiego planowania endoskopowych zabiegów neurochirurgicznych w przypadku patologicznego kształtu głowy u dzieci. Przedwczesne zarośnięcie szwów czaszkowych, czyli kraniosynostoza, wymaga przeprowadzenia zabiegu korygującego ważnego zarówno dla zmiany kształtu czaszki jak i dla prawidłowego rozwoju psychofizycznego dziecka. Niniejsze badania mają charakter interdyscyplinarny i są realizowane we współpracy z lekarzami neurochirurgii, nadzorującymi proces planowania przedoperacyjnego. Planowanie korekcji kształtu czaszki przeprowadzono na modelu zdeformowanej czaszki dziecka sformułowanego w programie MIMICS na podstawie tomografii komputerowej (TK). W celu wypracowania optymalnego wariantu osteotomii elementy czaszki poddano analizie wytrzymałościowej w środowisku ANSYS. Proponowane planowanie endoskopowych zabiegów neurochirurgicznych dostarcza informacji nie tylko o sposobie cięcia kości, ale także redukuje czas zabiegu i pozwala uzyskać satysfakcjonujący rezultat estetyczny.

1. WSTĘP

Kraniosynostoza to zespół deformacji czaszki u dzieci spowodowany przedwczesnym zrośnięciem jednego lub kilku szwów czaszkowych. Wyróżnia się kraniosynostozy izolowane lub złożone, w których deformacja jest tylko jednym z objawów schorzenia o tle genetycznym, jak np. zespół Crouzona lub Aperta [4]. W izolowanych kraniosynostozach najczęściej przedwcześnie zarośnięty jest tylko jeden szew, a korekcja powstałej malformacji możliwa jest poprzez zastosowanie operacji neurochirurgicznej. Wybór odpowiedniego momentu przeprowadzenia operacji zależy od rodzaju schorzenia oraz stopnia zaawansowania. Ze względu na to, który szew uległ zrośnięciu, najczęściej wyróżnia się cztery podstawowe typy kraniosynostozy: łódkogłowie (zrośnięty szew strzałkowy), trójkątnogłowie (szew metopowy, zwany też czołowym), skośnogłowie przednie lub tylne (szew wieńcowy lub węglowy), krótkogłowie (szew wieńcowy) [5]. Nie leczona kraniosynostoza prowadzi do nasilenia deformacji zarówno sklepienia jak i podstawy czaszki. Zaburzenia w obrębie podstawy przedniego dołu czaszki prowadzą do nieprawidłowości w symetrii i budowie oczodołów. Kraniosynostoza może również powodować lokalne wzmocnienie ciśnienia śródczaszkowego, co najprawdopodobniej nie pozostaje bez negatywnego wpływu na rozwój psychoruchowy [4].

Zabieg korekcji kształtu czaszki w przebiegu kraniosynostozy powinien polegać na kompleksowej rekonstrukcji kształtu sklepienia czaszki. W najbardziej zaawansowanych przypadkach wymagana jest również rekonstrukcja twarzy i oczodołów [8]. Korekcja sklepienia czaszki najczęściej polega na wielokrotnych osteotomiach sklepienia czaszki oraz wmodelowaniu podstawy czaszki, a w przypadkach kraniosynostoz zespołowych wprowadzaniu dodatkowo dystraktorów płytkowych i śrub [8, 5]. Tego typu operacje zalecane są u nieco starszych dzieci, w wieku 6-8 miesięcy, ze względu na długi czas trwania zabiegu (ok. 3-6 godzin) oraz ryzyko utraty dużej ilości krwi (300-1500 ml). Najczęściej wymagana jest dodatkowo transfuzja oraz około tygodniowa hospitalizacja po operacji [6].

U niemowląt do 6. miesiąca życia istnieje możliwość przeprowadzenia korekcji deformacji za pomocą małoinwazyjnego zabiegu endoskopowego. W metodzie tej głównym celem jest rozcięcie zrośniętego szwu, a po zabiegu dziecko może nosić do ok. 11-12 miesiąca życia specjalny kask, dopasowany indywidualnie do jego główki. Taka pomoc techniczna dodatkowo wspomaga prawidłowe formowanie czaszki w czasie wzrostu [6, 7]. Inną metodą z zastosowaniem endoskopu jest wykonanie nacięć kostnych w takich miejscach, by głowa, wykorzystując naturalny mechanizm wzrostowy, w trakcie rozwoju w sposób naturalny powracała do prawidłowego kształtu. W tym przypadkach nie jest wymagana pooperacyjna korekcja kształtu czaszki za pomocą kasku-ortezy. Wpływ na wybór rodzaju operacji neurochirurgicznej korekcji kształtu główki mogą mieć również efekty inżynierskiego wspomaganie planowania zabiegu (rys.1). Rezultaty procesu modelowania i symulacji numerycznej mogą przyczynić się do podjęcia przez lekarza decyzji, która metoda w danym przypadku będzie najlepsza.

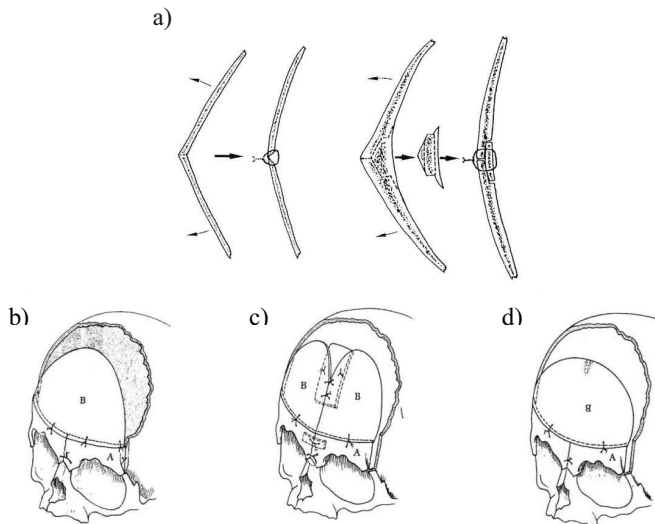


Rys. 1. Schemat procesu planowania zabiegów neurochirurgicznych z podziałem na operację klasyczną i endoskopową

2. ENDOSKOPOWE LECZENIE TRÓJKĄTNOGŁOWIA U DZIECI

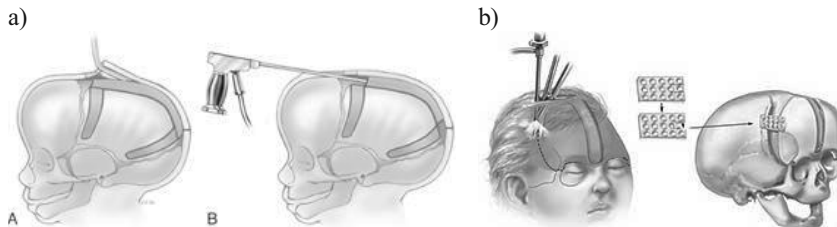
W artykule przedstawiono proces planowania endoskopowych zabiegów korekcji trigonocefalii. W klasycznej operacji wycinane jest obramowanie oczodołów, poziomy odcinek kości ok. 12 mm powyżej brzegu oczodołu oraz górna spiczasta część czoła (rys.2a). Kość czołowa może być modyfikowana poprzez [9]:

- przecięcie kości wzdłuż szwu czołowego, a następnie odwrócenie jednej połowki o 90 stopni i umieszczenie jej jako podstawy (rys. 2b),
- dostosowanie obu połówek czoła poprzez odpowiednie ich wycięcie (rys. 2c),
- rozdzielenie kości czołowej na część dolną i górną (możliwe, gdy grzbiet jest stosunkowo nisko), a następnie odwrócenie górnej części o 180 stopni i dopasowanie jej do łuku nadoczodołowego (rys. 2d).



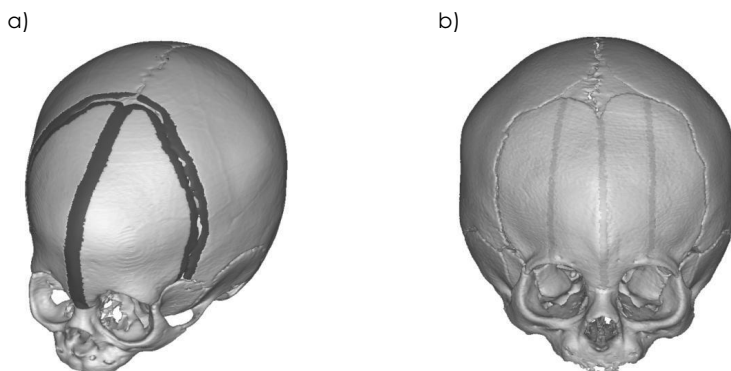
Rys. 2. Metody kształtowania łuku nadoczodołowego (a) [9], oraz kości czołowej w przypadku trójkątno głowy (b, c, d) [436]

W przypadku endoskopowych zabiegów korekcji kształtu główki dziecka znane są dwie metody [3]. Obydwie polegają na rozcięciu zrośniętych szwów. Do najczęściej stosowanych zalicza się metodę „ π ” stosowaną do korekcji łódkogłowia (rys. 3a) oraz metodę korekcji trójkątno głowy (rys. 3b).



Rys. 3. Rodzaje zabiegów endoskopowych [3]: a) łódkogłowia, b) trójkątno głowy

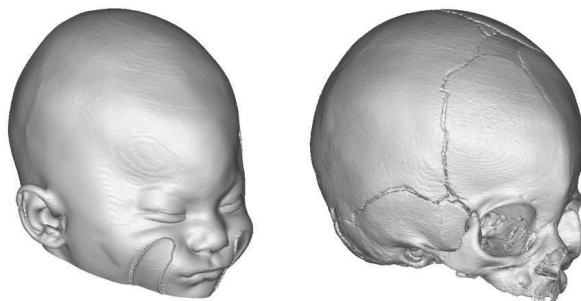
W analizowanych przypadkach do korekcy trigonocefalii zastosowano drugą metodą polegającą na kształtowaniu kości czołowej w celu korekcy kształtu główki. Proces inżynierskiego wsparcia endoskopowych zabiegów przeprowadzono dla trzy- i czteromiesięcznego chłopca. W obydwu przypadkach wadliwy wzrost główki był spowodowany przez przedwcześnie zrosnięty szew metopowy. Dla poprawy kształtu główki zaplanowano korekcję poprzez nacięcia kości czołowej (rys. 4). Na podstawie badań modelowych przedstawionych w dalszej części pracy dokonano wyboru optymalnego wariantu osteotomii dla odpowiedniego przypadku.



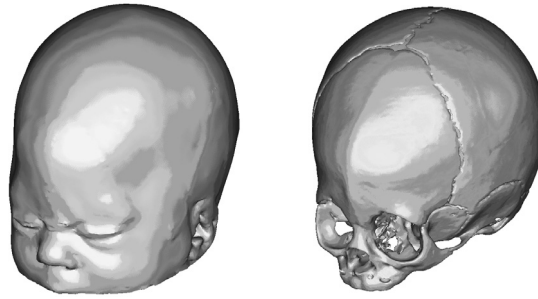
Rys. 4. Widok zaplanowanych nacięć kości czołowej wykonany w programie Mimics: a) trzymiesięcznego dziecka, b) czteromiesięcznego dziecka

3. INŻYNIERSKIE PLANOWANIE ZABIEGU NEUROCHIRURGICZNEGO

Proces planowania operacji korygującej nieprawidłowy trójkątny kształt kości czołowej wykonano u 3-miesięcznego oraz 4-miesięcznego chłopca. W ramach rutynowej diagnozy wykonano badania tomograficzne głowy, na podstawie których w środowisku programu Mimics 14.0 wygenerowano modele główki i kości czaszki (rys. 5, 6).

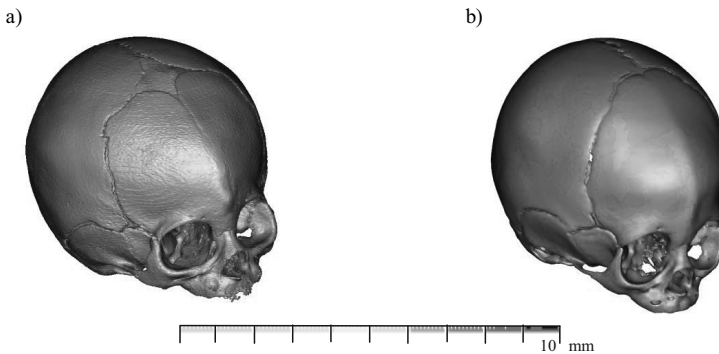


Rys. 5. Model główki i czaszki trzymiesięcznego dziecka wykonany w programie Mimics



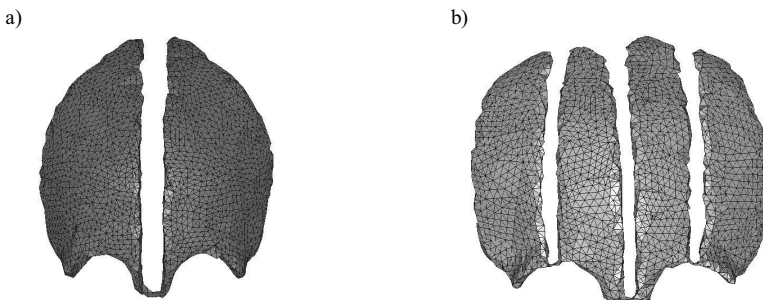
Rys. 6. Model główki i czaszki czteromiesięcznego dziecka wykonany w programie Mimics

Dla obu przypadków wykonano również analizę grubości kości czaszki (rys. 7). Zauważono, że kości czołowe czaszki u 3-miesięcznego chłopca są grubsze w porównaniu z kośćmi czaszki 4-miesięcznego chłopca.



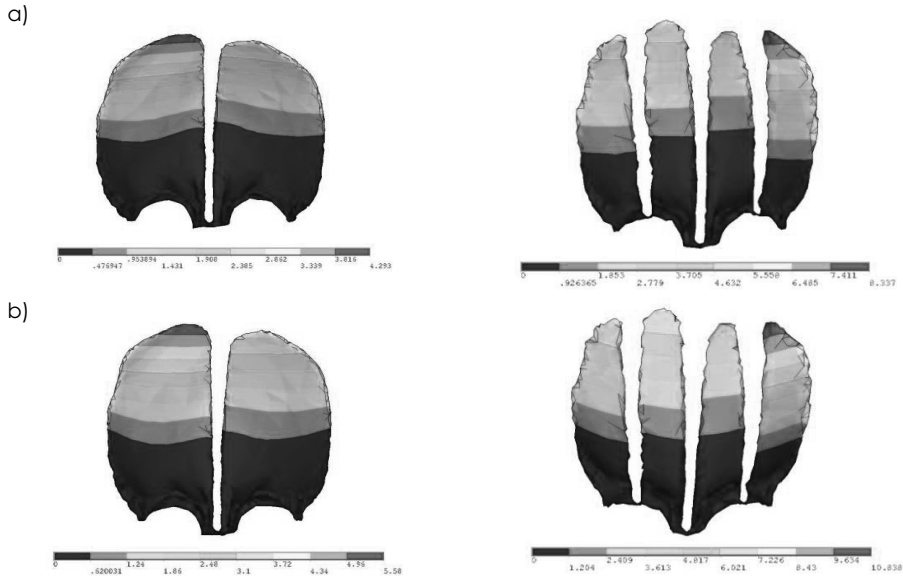
Rys. 7. Rozkład grubości kości czaszki wyznaczony w programie Mimics:
a) trzymiesięcznego dziecka, b) czteromiesięcznego dziecka

Korzystając z sugestii lekarza neurochirurga dla obydwu pacjentów zaproponowano różne metody korekcji deformacji. W pierwszym przypadku kość czołowa została podłużnie przecięta na dwie części, natomiast w drugim zastosowano trzy cięcia rozdzielające kość czołową na cztery części (rys. 8).



Rys. 8. Model MES naciętej kości czołowej wykonany w programie Mimics:
a) trzymiesięcznego dziecka, b) czteromiesięcznego dziecka

Dla obydwu modeli kości czołowych po korekcie przeprowadzono obliczenia numeryczne i wyznaczono przemieszczenia wywołane ciśnieniem wewnątrzczaszkowym (rys. 9).

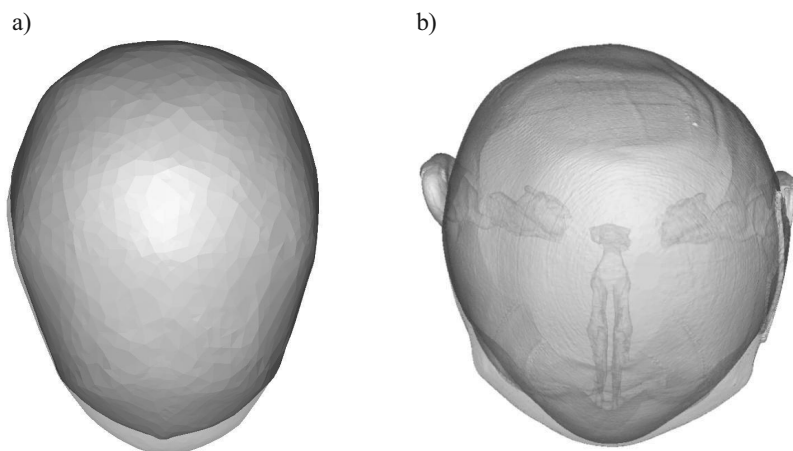


Rys. 9. Przemieszczenia korygowanej kości czołowej głowy dziecka przy ciśnieniu śródczaszkowym wyznaczone w programie Ansys: a) 15 mm Hg b) 20 mm Hg

Tabela 4. Deformacje kości czołowej przy różnym ciśnieniu śródczaszkowym

Rodzaj korekcy kości czołowej	Wielkość deformacji [mm]	Wartość ciśnienia [hPa]
1 nacięcie	4,29	20,0 (15 mm Hg)
	5,58	26,6 (20 mm Hg)
3 nacięcia	8,33	20,0 (15 mm Hg)
	10,83	26,6 (20 mm Hg)

Efekt tak zaplanowanego zabiegu kranioplastyki widoczny jest na rys. 10. Przedstawione modele na tym rysunku są wraz ze zaznaczonymi (ciemnym kolorem) miejscami przebudowy czaszki.



Rys. 10. Efekt zaplanowanego zabiegu korekcji kształtu główki wykonany w programie Mimics: a) trzymiesięcznego dziecka, b) czteromiesięcznego dziecka

4. WNIOSKI

Neurochirurgia ze względu na specyfikę podejmowanych problemów jest dziedziną szczególnie inspirującą rozwój środków inżynierskiego wspomaganie medycyny. Nowe osiągnięcia związane z rozwojem metod modelowania i wizualizacji 3D są nadzieją na doskonalenie znanych i poszukiwanie nowych metod leczenia.

Przeprowadzone rekonstrukcje kształtu główek dzieci pozwalają na sformułowanie kilku istotnych spostrzeżeń dotyczących inżynierskiego planowania operacji. Przede wszystkim zastosowane nowoczesne programy inżynierskie pozwalają na trójwymiarową projekcję danych 2D uzyskiwanych z badań diagnostycznych. Takie podejście umożliwiło analizę procedury operacyjnej i tym samym skuteczniejsze przygotowanie zabiegu.

Na podstawie analizy otrzymanych wyników można dobrać optymalny wariant zabiegu kranioplastyki zarówno w kontekście skrócenia czasu zabiegu jak i zmniejszenia inwazyjności wykonywanej procedury. Jednak uzyskanie dalszych informacji na temat efektów leczenia ubytków kraniosynostozy wymaga jeszcze czasu i dodatkowych badań, by można było stwierdzić skuteczność operacji. Podkreślić należy, że stosowanie zaproponowanej metodologii planowania neurochirurgicznych zabiegów umożliwia uzyskanie lepszych efektów kosmetycznych, mniejsze zużycie krwi, mniejszą traumatyzację tkanek, a zatem szybszą rekonwalescencję i większą skuteczność leczenia.

Włączenie do badań większej grupy dzieci i przedoperacyjne planowanie zabiegów pozwoli na uzyskanie większej ilości informacji i, być może, w przyszłości stworzenie planów zabiegów specjalistycznych dla indywidualnych pacjentów.

Praca naukowa finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego na naukę w ramach projektu badawczego Nr NN502 337736.

LITERATURA

1. Gzik M., Wolański W., Tejszerska D., Gzik-Zroska B., Kozlak M., Larysz D.: Interdisciplinary researches supporting neurosurgical correction of children head deformation. "Modeling and Optimization of Physical Systems" 2009, No. 8, p. 49-54.
2. Marchac D., Renier D.: Craniofacial Surgery for Craniosynostosis. Boston: Little, Brown and Company, 1982.
3. Murad G. J., Clayman M., Seagle M. B., White S., Perkins L. A., Pincus D. W. Endoscopic-assisted repair of craniosynostosis. "Neurosurg Focus" 2005, 19 (6):E6.
4. Kabbani H, Raghuvver T.S.: Craniosynostosis. "American Family Physician" 2004, No. 69(12), p. 2863-2870.
5. Clayman M. A, Murad G. J., Steele M. H., et al.: History of craniosynostosis surgery and the evolution of minimally invasive endoscopic techniques: the University of Florida experience. "Annals of Plastic Surgery" 2007, No. 58(3), p. 285-287.
6. Jimenez D. F., Barone C. M., Cartwright C. C., et al.: Early management of craniosynostosis using endoscopic-assisted strip craniectomies and cranial orthotic molding therapy. "Pediatrics" 2002, No. 110, p. 97-104.
7. Jimenez D. F., Barone C. M., McGee M. E., et al.: Endoscopy-assisted wide-vertex craniectomy, barrel stave osteotomies, and postoperative helmet molding therapy in the management of sagittal suture craniosynostosis. "Journal of Neurosurgery" 2004, No.100(5) Suppl Pediatrics, p. 407-417.
8. Kane A.A.: An overview of craniosynostosis. JPO (2004), American Academy of Orthotists & Prosthetists (AAOP), No. 16(4S), p. 50-55.
9. Marchac D., Renier D.: Craniofacial Surgery for Craniosynostosis. Boston: Little, Brown and Company, 1982.

ENGINEER SUPPORT FOR ENDOSCOPIC NEUROSURGICAL PROCEDURES

Summary. Modelling researches concerning engineer support for endoscopic neurosurgical procedures are presented in this paper. Skull malformations caused by craniosynostosis negatively influence on psychological and physical children development. Conventional procedures in such cases are connected with invasive operation. Up to now neurosurgeons during pre-operation planning of bones correction, based on their own knowledge and experience. Modeling in biomechanics connected with modern visualization methods give new possibilities of engineer support for medical procedures. Three-dimensional model of deformed skull 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 skull bones determination. The proposed methodology suggests to neurosurgeons optimal osteotomies, moreover reduce surgical procedure time and gives esthetical result connected with proper skull shape.