

Łukasz ZIĘBA, Anna DĄBROWSKA-TKACZYK, Instytut Mechaniki i Poligrafii,
Politechnika Warszawska, Warszawa

WIRTUALNA STABILIZACJA KRĘGOSŁUPA CZŁOWIEKA PO ZŁAMANIU KOMPRESYJNYM NA ODCINKU PIERSIOWO- LĘDŹWIOWYM

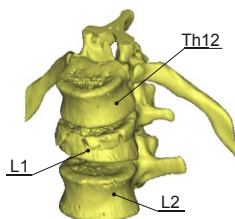
Streszczenie. W pracy przedstawiono model geometryczny odcinka piersiowo lędźwiowego kręgosłupa (Th12 - L2), ze złamanym kompresyjnie trzonem kręgu L1 wraz z systemem korekcyjno - stabilizacyjnym USS Fracture System. Opracowano modele geometryczne struktur anatomicznych w tym trzonów Th12, L2 oraz połamanego trzonu L1, tkanek miękkich, czyli: więzadeł podłużnych: przedniego ALL i tylnego PLL oraz krążków międzykręgowych, jak również modele implantów zastosowanych do dwupoziomowej stabilizacji. Wykorzystano dane CT pacjenta oraz oprogramowanie Mimics 13.1 i SolidWorks 2010.

1. WSTĘP

Złamanie trzonu kręgu na odcinku piersiowo – lędźwiowym jest częstym efektem urazów mechanicznych w następstwie wypadków przy pracy oraz wypadków komunikacyjnych. Metodą leczenia jest w tych przypadkach operacyjne nastawianie i stabilizacja złamanego trzonu z udziałem systemu implantów wraz z instrumentarium. Nastawianie polega na wymuszonym przemieszczeniu odłamów kostnych trzonu do obszaru przed złamaniem oraz odtworzenie wysokości złamanego trzonu. W prostszych przypadkach złamań (dotyczących ściany przedniej) [3] proces nastawiania można zrealizować przez odpowiednie ułożenie pacjenta, natomiast do stabilizacji stosowany jest system śrub przeznasadowych wprowadzanych do trzonów sąsiadujących z trzonem uszkodzonym. W przypadkach złożonych, przy uszkodzeniu ściany bocznej i tylnej i penetracji odłamów do kanału kręgowego stosowana jest procedura repozycji przez dystrakcję nazywana techniką ligamentotaksji [4].

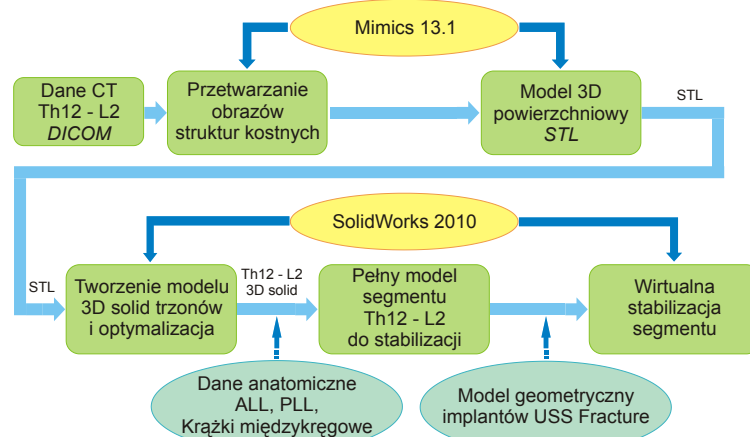
2. MATERIAŁ I METODA

W pracy analizowany jest przypadek kliniczny odcinka piersiowo lędźwiowego (Th12 – L2) kręgosłupa pacjenta (rys.1), ze złamanym kompresyjnie trzonem kręgu L1. Według klasyfikacji medycznej [3] jest to złamanie wybuchowe z penetracją odłamu do kanału kręgowego.



Rys. 8. Wizualizacja 3D w programie Mimics 13.1 nie przetworzonych danych CT odcinka piersiowo lędźwiowego kręgosłupa Th12 – L2 z uszkodzonym trzonem kręgu L1

Celem pracy było opracowanie wirtualnego modelu geometrycznego 3D struktur kostnych segmentu, na podstawie wyników obrazowania za pomocą tomografii z komputerowej (CT).

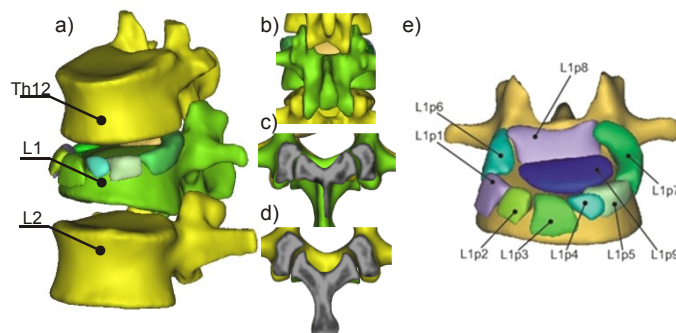


Rys. 2. Schemat tworzenia modelu do wirtualnej stabilizacji segmentu kręgosłupa po złamaniu kompresyjnym

Otrzymany model stał się bazą do utworzenia pełnego modelu segmentu Th12-L2 z udziałem krążków międzykręgowych i struktur więzadłowych. Na tym modelu przeprowadzono wirtualną stabilizację uszkodzonego segmentu z udziałem implantów USS Fracture firmy Synthes. Schemat postępowania przedstawiono na rys.2.

2.1. Opracowanie modeli geometrycznych struktur kostnych

Modele geometryczne struktur kostnych opracowano na podstawie danych otrzymanych z tomografii komputerowej (CT) – plików w formacie DICOM. Za pomocą programu Mimics 13.1 przygotowano modele powierzchniowe trzonów kręgów (rys. 3).



Rys. 3. Segment Th12 – L2 po przetworzeniu poszczególnych elementów kostnych oraz optymalizacji siatek w programie Mimics: a – segment; b – widok na połączenia stawowe kręgów; c – przekrój przez połączenie kręgów Th12 – L1; d – przekrój przez połączenie stawowe kręgów L1 – L2, e - model geometryczny kręgu L1 wraz z fragmentami kostnymi

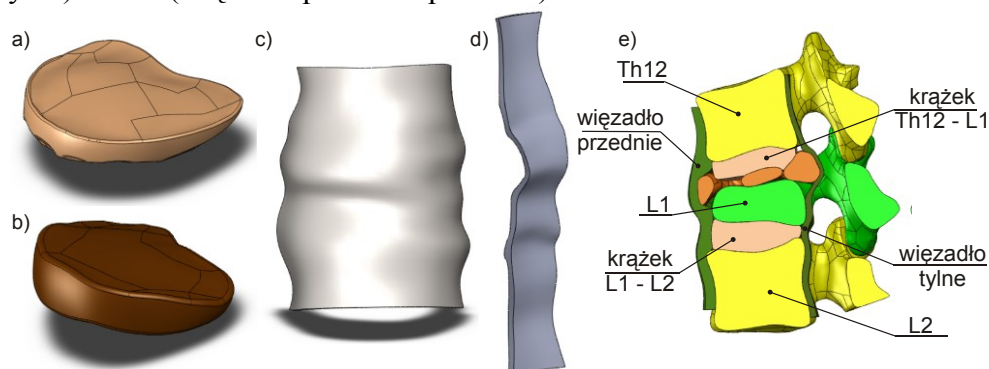
Fragmenty kostne trzonu kręgu L1(rys. 3e) podzielono na cztery grupy, tj.: część dolna trzonu, odłamy trzonu kręgu ściany przedniej (7 elementów L1p1 – L1p7), 1 odłamek L1p8 przesunięty do wnętrza kanału kręgowego oraz 1 odłamek L1p9 wciśnięty do środka trzonu kręgu. Za pomocą programu Mimics 13.1 możliwe było opracowanie modeli geometrycznych struktur kostnych trzonów kręgów wraz z odłami. W celu właściwego odwzorowania geometrii odłamów kostnych trzonu L1 zastosowano różne techniki segmentacji [6] w programie Mimics 13.1 [6].

Następnie w module programu głównego (Mimics): Magics przeprowadzono optymalizację siatki powierzchniowej modeli elementów. Utworzone modele geometryczne trzonów kręgów Th12, L2 oraz L1 wraz z 10 odłami po wydzieleniu i optymalizacji

wyeksportowano do programu SolidWorks 2010 w formacie STL, gdzie za pomocą narzędzia ScanTo3D zostały przekształcone z modeli powierzchniowych na bryłowe. Rysunek 3a przedstawia cały segment przed eksportem modeli jego poszczególnych elementów. Na rysunkach 3b,c,d pokazane są również połączenia stawowe kręgów. Po oczyszczeniu maski modele nie przenikają się. Segment przed edycją maski przedstawiony jest na rys. 1. Modele bryłowe struktur kostnych posłużyły do odwzorowania modeli tkanek miękkich w środowisku SolidWorks.

2.2. Tworzenie modeli geometrycznych krążków międzykręgowych i więzadeł

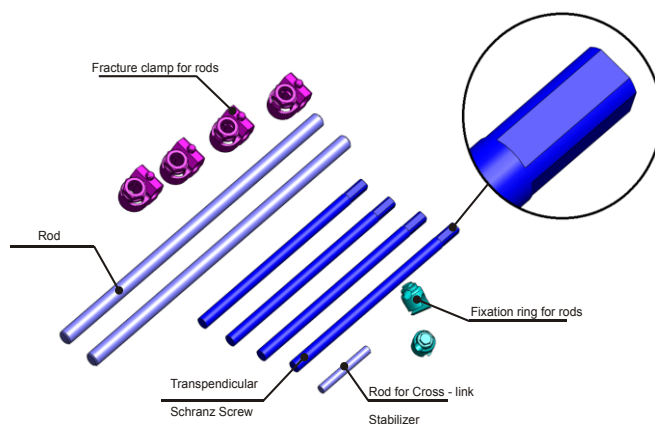
Modele tkanek miękkich (rys. 4.a,b,c,d), tj.: krążków międzykręgowych oraz więzadeł ALL (więzadło podłużne przednie) i PLL (więzadło podłużne tylne) [1] utworzono w programie SolidWorks 2010 na bazie złożenia składającego się z trzonów kręgów oraz fragmentów kostnych, zapisanego jako część. Taki zabieg umożliwił wierne odwzorowanie powierzchni pomiędzy modelami trzonów kręgów oraz krążków i więzadeł PLL (więzadło podłużne tylne) i ALL (więzadło podłużne przednie).



Rys. 4. Modele tkanek miękkich: a – krążek Th12-L1; b – krążek L1-L2; c – więzadło podłużne przednie ALL; d – więzadło podłużne tylne PLL; e – przekrój modelu geometrycznego odcinka piersiowo-lędźwiowego uzupełnionego o modele tkanek miękkich. Węzadła w rzeczywistości ściśle przylegają do trzonów kręgów [1][2] i taki stan odtworzono w modelu segmentu (rys. 4e).

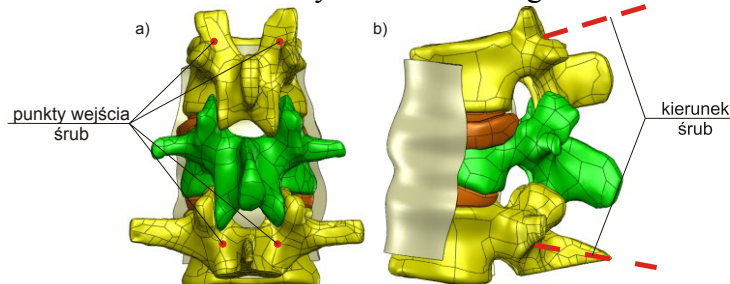
2.3. Przygotowanie modelu do wirtualnej stabilizacji segmentu Th12-L2 z uszkodzonym kręgiem L1

W celu opracowania modelu do wirtualnej stabilizacji pourazowej odcinka kręgosłupa (Th12 – L2) konieczne było przygotowanie, oprócz opisanych powyżej modeli struktur anatomicznych, modeli implantów stosowanych w trakcie operacji. Bazując na katalogu firmy Synthes [5] utworzono modele wszystkich potrzebnych elementów tj. modeli śrub przeznasadowych i pozostałych elementów systemu USS Fracture stosowanego w trakcie operacji. Modele implantów ze względu na poglądowy charakter katalogu są uproszczone, przy czym ich wymiary są zgodne z danymi podanymi przez producenta. Rysunek 5 przedstawia wszystkie elementy systemu stabilizacyjnego. Opracowany model posłużył do przeprowadzenia procedury wirtualnej stabilizacji uszkodzonego odcinka kręgosłupa z wykorzystaniem implantów USS Fracture System firmy Synthes.



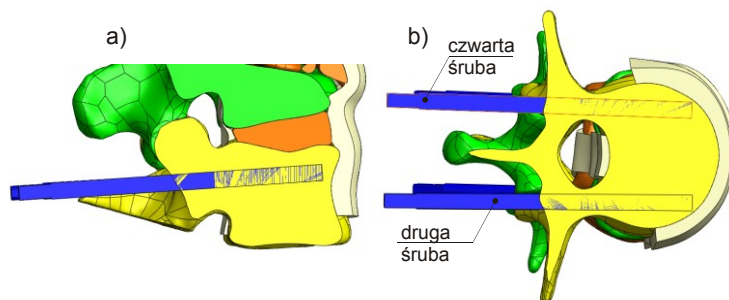
Rys. 5. Zestawienie elementów USS Fracture System użytych do stabilizacji segmentu Th12-L2 [5]

W pierwszym kroku procedury stabilizacji przystąpiono do identyfikacji punktów wprowadzenia śrub przez nasady trzonów kręgów Th12 i L2 oraz kątów położenia śrub w trzonach kręgów (rys. 6 a,b). Parametry geometryczne implantacji śrub wynikają z uwarunkowań anatomicznych - geometrii trzonów kręgów oraz założeń metody leczenia tego typu złamań z udziałem śrub przeznasadowych. Z technicznego punktu widzenia nastawianie z udziałem ligamentotaksji [4] wymaga takiego ustawienia śrub, aby przez ściągnięcie ich ku sobie, uzyskać naprężenie więzadła podłużnego przedniego ALL i w efekcie przemieszczenie odłamów kostnych do właściwego obszaru.



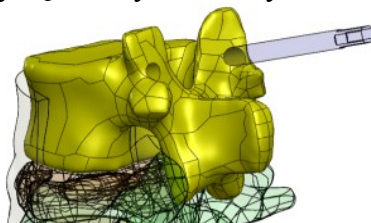
Rys. 6. Określenie punktów implantacji śrub przez nasadę trzonu kręgu przed przystąpieniem do montażu ich w trzonach kręgów: a – punkty wejścia śrub w trzony kręgów Th12 i L2; b – szacunkowy kierunek śrub

Po ustaleniu w jaki sposób śruby mają być umiejscowione w trzonach kręgów przystąpiono do wirtualnego montażu poszczególnych śrub w środowisku SolidWorks 2010 (rys. 7). Opis operacji podanych poniżej wynika z zasad konstrukcji modelu w tym środowisku.



Rys. 7. Ocena pozycji śrub w trzonie kręgu L2: a – przekrój w płaszczyźnie przedniej śruby; b – przekrój w płaszczyźnie górnej śruby

Otwory w trzonach kręgów wykonano poprzez wykorzystanie geometrii unieruchomionych śrub (rys. 8). Utworzono szkice 3D (po jednym dla każdej śruby). Szkic był rzutem średnicy śruby na powierzchnię końca śruby i został wyciągnięty na kierunku osi śruby. Operacja „Wyciągnięcie wycięcia” wykonana była w kontekście złożenia.

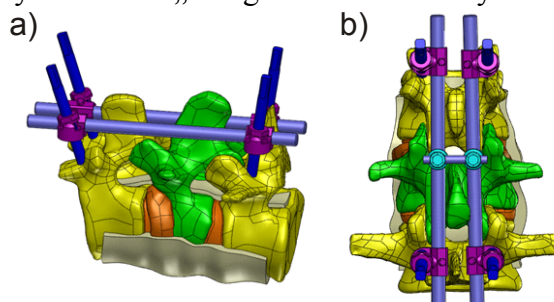


Rys. 8. Gotowe otwory w trzonie kręgu Th12

Po utworzeniu wszystkich czterech otworów przywrócono wszystkie stopnie swobody śrubom i powiązano je z otworami za pomocą wiązań „koncentryczne” (średnica śruby oraz średnica otworu) oraz „wspólne” (czoło śruby ze spodem otworu).

Gdy już połączono wiązaniami wszystkie śruby z odpowiadającymi im otworami, przystąpiono do kolejnych kroków montażu układu stabilizacyjnego tj. założenia klamer na śruby oraz dwóch prętów (rys. 9a).

Po oceniu poprawności umocowania prętów zakładane są klamry na pręty za pomocą wiązań „koncentryczne” oraz „odległość” i wsunięta jest poprzeczka za pomocą wiązań: „koncentryczne” oraz „odległość” w celu usztywnienia układu.



Rys. 9. Segment Th12 – L2 kręgosłupa z zamontowanym systemem USS Fracture: a – układ bez poprzeczki, b – pełny system korekcyjno – stabilizacyjny

Model geometryczny segmentu odcinka Th12-L2 kręgosłupa wraz z systemem korekcyjno – stabilizacyjnym USS Fracture pokazano na (rys. 9b).

3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W pracy przedstawiono procedury przygotowania wstępnego modelu wirtualnego 3D do symulacji zabiegu nastawiania odcinka kręgosłupa piersiowo-lędźwiowego ze złamanym kompresyjnie trzonem kręgu L1 z wykorzystaniem zjawiska ligamentotaksji [3]. W wyniku przeprowadzonych prac modelowych opracowano modele geometryczne struktur kostnych odcinka kręgosłupa Th12-L2 ze złamanym kompresyjnie trzonem kręgu L1, modele geometryczne tkanek miękkich: krążków międzykręgowych oraz więzadeł ALL i PLL, oraz modele systemu USS Fracture.

Procedura medyczna nastawiania złamanego trzonu kręgu ma na celu odtworzenie wysokości złamanego kręgu oraz wepchnięcie odłamów kostnych do obszaru trzonu tak, aby nie wchodziły do kanału kręgowego. Na obecnym etapie opracowano model geometryczny 3D segmentu kręgosłupa z zamontowanym systemem implantów USS Fracture. Podczas tworzenia modelu skoncentrowano się na odtworzeniu istotnych w technice ligamentotaksji elementów anatomicznych, wprowadzeniu śrub przeznasadowych do trzonów Th12 i L2 oraz zmontowaniu całego układu [7]. Rozwój opracowanego modelu, zbudowanie modelu

numerycznego oraz przeprowadzenie procedury wirtualnego nastawiania i stabilizacji będą przedmiotem dalszych prac.

Artykuł jest częścią realizacji projektu badawczego dotyczącego badania zagadnień nastawiania i pourazowej stabilizacji odcinka piersiowo-lędźwiowego kręgosłupa człowieka z wykorzystaniem ligamentotaksji.

Konflikt

Producent implantów nie uczestniczył w analizach i interpretacji danych w tym opracowaniu oraz nie podejmował decyzji o publikacji tego artykułu.

Podziękowania

Praca była finansowana z projektu badawczego Nr N N518382437 Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Dane kliniczne z diagnostyki obrazowej przygotowane przez radiologów dla zespołu chirurgów ortopedów w Klinice Traumatologii i Ortopedii Wojskowego Instytutu Medycznego w Warszawie zostały pozyskane za zgodą Komisji Bioetycznej.

LITERATURA

- [1] Bochenek A, Reicher M, Anatomia człowieka. Podręcznik dla studentów medycyny i lekarzy. Państwowy zakład wydawnictw lekarskich.
- [2] Gzik M. Biomechanika kręgosłupa człowieka, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007
- [3] Magerl F., Aebi M., Gertzbein S.D., Harms J., Nazarian S., *Comprehensive Classification of Thoracic and Lumbar Injuries*, Eur Spine Journal, 1994, J3:184-201.
- [4] Mueller L.A., L.P. Mueller, R. Schmidt, R. Forst, L. Ruding: *The phenomom and efficiency of ligamentotaxis after dorsal stabilization of thoracolumbar burst fractures* 2006
- [5] USS Fracture System Original Instruments and implants of the Association for the Study of Internal Fixation – AO/ASIF
- [6] MIMICS 13.1, User Guide. 2010
- [7] Zięba Łukasz: Badanie i symulacja procedury nastawiania złamanego kręgu na odcinku piersiowo-lędźwiowym, Praca dyplomowa magisterska, WIP, Politechnika Warszawska, 2011

VIRTUAL STABILIZATION OF HUMAN THORACIC – LUMBAR SPINE WITH A COMPRESSIVE FRACTURE

Abstract. A geometrical model of the two-level-stabilization of human thoracic-lumbar spine (Th12 – L2) with compressive fractured L1 vertebral body has been presented in the paper. The developed model comprises both the aforementioned bone anatomical structures and the soft tissue ones (anterior and posterior longitudinal ligaments (ALL, PLL) and spinal discs) and models of the applied USS Fracture system of implants. CT data of a patient and the Mimics 13.1 and SolidWorks 2010 software packages have been used in the modeling procedure.