

Dagmara TEJSZERSKA*, **Antoni JOHN****, **Mateusz DUDA**** *Katedra Mechaniki Stosowanej, **Katedra Wytrzymałości Materiałów i Metod Komputerowych Mechaniki, Politechnika Śląska, Gliwice 2009

MODELOWANIE I ANALIZA STATYCZNA KLATKI PIERSIOWEJ DZIECKA

Streszczenie: W niniejszej pracy została zaprezentowana metoda adaptacji do programu ANSYS 10.0 istniejącej geometrii 3D klatki piersiowej człowieka przeznaczonej pierwotnie do celów dydaktycznych oraz wizualizacji. Przedstawiono typowe problemy jakie można spotkać podczas naprawy modelu, sposób realizacji zadania kontaktu a następnie została zasymulowana quasi-statyczna część testu Cavanaugh używanego w testach zderzeniowych samochodów.

1. WSTĘP

Współczesna gałąź inżynierii biomedycznej w bardzo szerokim zakresie obejmuje metody symulacji wszelakiego rodzaju procesów jakie zachodzą w organizmie człowieka oraz jakim jest on poddawany. Do szczególnego rodzaju sił wpływających na ciało człowieka należy zaliczyć wpływ różnego rodzaju przeciążeń [2][3].

Obecnie dostępne analizy numeryczne klatki piersiowej człowieka rozpatrują modele oparte na anatomii dorosłego człowieka, nie biorą natomiast pod uwagę geometrii dziecka. Opierając się na podejściu przeskalowania geometrii klatki piersiowej zaprezentowanej w pracy można każdą geometrię przystosować do wymiarów antropometrycznych dla danej grupy wiekowej ludzi.

2. PROCES OBRÓBKII GEOMETRII

Jedną z metod stworzenia modelu wirtualnego jest wykorzystanie własnych 'umiejętności artystycznych' w sprzężeniu z wybranym systemem CAD-CAE. Metoda ta polega na odwzorowywaniu obiektu modelowanego nie bezpośrednio za pomocą skanu do komputera, ale za pomocą mozolnego tworzenia modelu 3D w jednym z programów do modelowania 3D. Metoda ta jest bardzo czasochłonna i obciążona dużym błędem odwzorowania, jednakże ma swoje plusy [2].

Główną zaletą tej metody jest fakt, że geometria tak stworzona nie wymaga naprawy, która jest nieodzowna i też czasochłonna, na przykład przy imporcie ewentualnego już istniejącego modelu 3D. Po wyeksportowaniu takiego modelu do programu korzystającego z metod elementów skończonych, model ten jest dzielony na mniejszą ilość brył, co w rezultacie skutkuje mniejszą objętością pliku, szybszym czasem obliczeń i przede wszystkim, mniejszym prawdopodobieństwem wystąpienia komplikacji przy dzieleniu modelu na bryły.

Omijając potrzebę tworzenia modelu od podstaw zaimportowano istniejącą grafikę przestrzenną 3D służącą do celów dydaktycznych. Geometria klatki piersiowej obejmująca kręgi Th1 –Th12, 12 par żeber oraz mostek jest jedną z najbardziej skomplikowanych geometrii układu szkieletowego. Innym problemem jest fakt, że skomplikowana struktura geometryczna obfitująca w wiele wymiarów wymaga rzetelnych danych pomiarowych, które

w przypadku modelowania klatki piersiowej 6 letniego dziecka można uzyskać drogą tomografii komputerowej czy rezonansu magnetycznego. Pomijając fakt, że narażanie na niepotrzebne napromieniowywanie zdrowego dziecka jest szkodliwe, to dostępność takich danych dotyczących zdrowego dziecka jest znikoma i przeważnie wymaga dodatkowych opłat. Dla takich elementów modelowanego obiektu jak kręgi, czy żebra, a należy pamiętać, iż żebra są zakrzywione w trzech kierunkach, uzyskanie konkretnych i sprecyzowanych wymiarów jest bardzo trudne.

Te wszystkie problemy zostały rozwiązane poprzez zaimportowanie gotowej geometrii do środowiska Ansys, jej naprawienie i w niektórych fragmentach tworzenie części elementów od podstaw:

- krążki międzykręgowe,
- połączenia chrzęstne żebra-kręgi,
- połączenia chrzęstne żebra – żebra chrzęstne – mostek,
- połączenie trzonu mostka z wyrostkiem mieczykowatym,
- chrząstkozrost występujący pomiędzy trzonem mostka a jego rękojeścią

Zaowocowało to ostatecznie dość dokładnym modelem klatki piersiowej, ale dorosłego człowieka. Kolejnym krokiem było przeskalowanie modelu do wielkości odpowiadającej wielkości klatki piersiowej 6-cio latka po uprzednich pomiarach antropometrycznych na rzeczywistym obiekcie.

2.1 Uproszczenie geometrii bazowej

Geometria wykorzystana w modelu klatki piersiowej została stworzona w programie LightWave Studio ver. 7.0 i jest dostępna na stronie www.exchange3d.com. Model stworzony pierwotnie do wszelakiego rodzaju pracy graficznej i prezentacji odpowiednio przetworzony, z poprawioną geometrią i przy założonych danych materiałowych może posłużyć jako model do analizy statycznej metodą elementów skończonych. Model ten oprócz klatki piersiowej, odcinka piersiowego kręgosłupa i mostka, zawierał również pozostałą część odcinków kręgosłupa wraz miednicą.

W Pierwszym etapie usunięto geometrię dodatkowych, niepotrzebnych elementów tj. odcinków kręgosłupa (szyjny, lędźwiowy, krzyżowy, guziczny), miednicy oraz krążków międzykręgowych. Ostatnia grupa elementów została usunięta, ponieważ łączenie poszczególnych kręgów w programie Ansys należało dokonać 'ręcznie', tak by dwie figury posiadały wspólną płaszczyznę. Obróbki dokonano w programie Rhinoceros ver. 3.0. Ostatecznie pozostawiono elementy przedstawiające wirtualny model odcinka kręgosłupa obejmujący kręgi Th1-Th12, żebra, chrząstki międzyżebrowe oraz mostek.

W toku pracy zrezygnowano z upraszczania siatki ponieważ każde uproszczenie powodowało, że siatka była niesymetryczna i nierówna. W czasie dzielenia bryły na elementy skończone miało to odwzorowanie w nierównomiernym dzieleniu modelu na bryły. Podczas próby wyeksportowania modelu do odpowiedniego formatu napotkano na problem. Okazało się, że program Rhinoceros nie może wyeksportować siatki wielokątnej do formatu, który akceptuje Ansys. Dlatego wyeksportowano plik jako dxf, czyli w formacie odpowiadający AutoCadowi. Jednakże konsekwencją takiego postępowania było utracenie jednolitości brył oraz uzyskanie szeregu punktów połączonych liniami. Taką geometrię mógł odczytać AutoCad Mechanical 2007 i zamienić ją na format pożądanym, czyli format IGES.

2.2 Naprawa geometrii

Wczytanie pliku w formacie IGES nie stanowiło już problemu. Należało teraz tylko naprawić ewentualne błędy wygenerowane przez program podczas adaptacji pliku do formatu *.db. Pierwszym krokiem było usuwanie punktów pokrywających się, a właściwie

przypisanie jednego punktu dwóm punktom o tych samych współrzędnych. Operacja ta nazywa się w operacją Scalania (ang. Merge). Zaimportowana geometria stworzona została z szeregu połączonych ze sobą czworobocznych powierzchni. Pomijając fakt, że model nie był kompletny, tzn. brakowało niektórych elementów (krążki międzykręgowe oraz chrząstki stawowe), to pewne elementy, a konkretnie żebra oraz żebra chrzęstne, podczas procesu importu zostały ze sobą połączone. Z takich elementów nie można było utworzyć dwóch osobnych brył. Należało najpierw rozdzielić te elementy tworząc odpowiednie ściany rozdzielające je. Dla skrócenia czasu naprawy geometrii oraz dla zachowania symetrii modelu, żebra wraz z chrząstkami z prawej strony zostały utworzone przez elementów z lewej strony.

Najtrudniejszym etapem modelowania było utworzenie nowych brył na bazie geometrii elementów sąsiednich. Problem ten dotyczył utworzenia krążków międzykręgowych oraz chrząstek łączących żebra od przodu z mostkiem i od tyłu z kręgami. Był to najcięższy etap naprawy geometrii zarówno pod względem czasochłonności, jak i skali trudności. Nigdzie bowiem powierzchnie skrajne stanowiące części już zdefiniowanych brył nie zgadzały się pod względem punktów, z których można było wyprowadzić nowe powierzchnie je łączące.

2.3 Utworzenie modelu klatki piersiowej dziecka

Kolejnym krokiem w procesie tworzenia modelu klatki piersiowej odpowiadającej w przybliżeniu wymiarom klatki piersiowej 6 latka było przeskalowanie modelu. W tym celu należało dokonać trzech pomiarów:

- Pomiaru szerokości klatki piersiowej
- Pomiaru wysokości klatki piersiowej
- Pomiaru głębokości klatki piersiowej

Ponieważ model wyjściowy odpowiadał mniej więcej wielkości dorosłego człowieka, zatem znając te wielkości oraz wielkości do których miał być przekształcony można było obliczyć współczynniki skali. Przeskalowania dokonano w programie ANSYS tworząc ostateczną wersję końcowej geometrii do przeprowadzenia symulacji.

3. SYMULACJA ODWZOROWUJĄCA TEST CAVANAUGH' A

Test obciążenia quasi-statycznego nazywany często testem Cavanaugh (od nazwiska autora) polega na obciążeniu klatki piersiowej i pomiarze lokalnej sztywności badanego modelu. O ile obciążenia dynamiczne odpowiadają przeważnie uderzeniom z dużą prędkością, o tyle wbrew pozorom stały się mniej istotne w przeciwieństwie do obciążeń quasi-statycznych [2]. Powodem tego jest fakt, że te drugie odzwierciedlają przeciążenia bierne mające swoje źródło w oddziaływaniu na ciało człowieka pasów bezpieczeństwa oraz poduszek powietrznych[4][5].

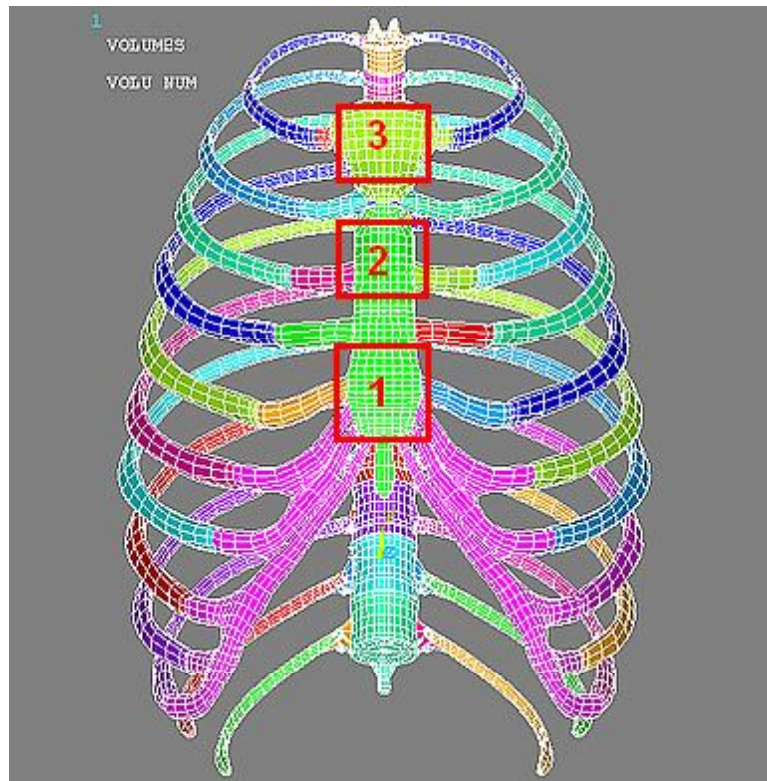
W pierwotnym doświadczeniu testu quasi-statycznego zastosowano nieodkształcalną płytkę o wymiarach 50,8x101,6mm i przyłożono ją do różnych regionów klatki piersiowej. Kolejnym etapem było przyłożenie nacisku do tego elementu i rejestrowanie wartości siły odpowiadającej przemieszczeniu klatki o wartości 25,4 mm. Po dojściu do takiej wartości notowano wartość siły wywołującej tego rzędu ugięcia i zatrzymywano próbę. Test został przeprowadzony na zmodyfikowanej maszynie wytrzymałościowej, w której prędkość siłownika wynosiła około 1 m/s [2][4][5].

W niniejszej pracy zastosowano odwrotne podejście do testu Cavanaugh'a [2]. Przyłożono siły otrzymane w teście tj. 210N, 250N, 300N i zasymulowano ugięcie klatki piersiowej. Wykonano również drugą symulację zakładając siły mniejsze tj. 160N, 170N oraz 190N. Mniejsze wartości sił założonych do utworzonego modelu wydają się rozsądniejsze w przypadku sił odpowiadających klatce piersiowej dziecka. W rzeczywistości siły pochodzące od pasów bezpieczeństwa dla dziecka muszą być mniejsze ze względu na jego masę [Rys. 1].

Pierwszym etapem na drodze badań metodą elementów skończonych był podział istniejącej bryły na elementy skończone. Dyskretyzacja opracowanego modelu klatki piersiowej składała się z trzech etapów:

- podział płaszczyzn na elementy skończone,
- podział brył na elementy skończone,
- usunięcie podziału płaszczyzn.

Do podziału powierzchni zastosowano element shell63 [element czworokątny z 6 stopniami swobody], a do podziału bryły solid92 [element tetragonalny z 10 stopniami swobody]. W ostatnim kroku obciążono klatkę piersiową w trzech obszarach [Rys.1]. Model podparto w pięciu punktach na wysokości kręgów Th3 - Th7 odbierając stopnie swobody tym kręgom.



Rys. 1 Klatka piersiowa wraz z zaznaczonymi obszarami, w których przyłożono obciążenia.
Odpowiednio : 1 – 160N, 210N; 2 – 170N, 250N; 3 – 190N, 300N

4. WYNIKI

Tabelaryczne zestawienie wyników (Tabela1) pokazuje jak zmieniają się pewne parametry klatki piersiowej po przekroczeniu pewnych wartości sił.

Tabela 1: Zestawienie wyników pochodzących z weryfikacji testu Cavanaugh'a oraz wyników otrzymanych w pracy dla dziecka. Dane antropometryczne zaczerpnięte z [1]

	Dorośła osoba (50 centylów)			Dziecko (6 lat)					
F [N]	210	250	300	160	170	190	210	250	300
S [cm]	3,2	2,9	4,5	1,5	0,73	1,33	1,99	1,06	2,16
G [cm]	24,2			20					
GK [%]	13,2	11,98	18,59	7,5	3,6	6,65	9,95	5,3	10,8

Otóż przy przyłożeniu sił F:160N, 170N oraz 190N największe ugięcie (G[cm]) wykazywała dolna część klatki, natomiast po przyłożeniu sił 210N, 250N oraz 300N największe ugięcie wykazywała z kolei górna część klatki. Procentowe ugięcie (GK[%]) całej głębokości klatki piersiowej (G[cm]) pokazuje, że zamodelowany mostek jest bardziej sztywny niż w modelu opracowanym na Politechnice Łódzkiej [2]. Zestawienie to potwierdza tylko częściowo test Cavanaugh'a. Należy jednak pamiętać, że klatka 6-latka jest o ponad o połowę mniejsza od klatki dorosłego mężczyzny oraz gęstość kości dziecka jest inna, niż dorosłego człowieka. W pracy z powodu braku danych materiałowych dla kości dziecka założono dane dla kości dorosłego człowieka.

5. WNIOSKI

Otrzymany model z zaimportowanej geometrii po poprawkach może spełniać swoją rolę modelu wirtualnego klatki piersiowej do analizy metodami elementów skończonych. Zdecydowanie skraca to czas pracy, choć naprawa zaimportowanej geometrii jest również czasochłonna i bardzo żmudna.

Analiza modelu pokazuje wysoką przydatność symulacji metodą elementów skończonych. Pozwala przewidzieć jakie będą konsekwencje obciążenia klatki odpowiednimi wartościami sił. Dostarcza zatem informacji, które mogą zostać wykorzystane do projektowania różnego rodzaju fotelików dziecięcych i innych zabezpieczeń ochraniających dziecko przed różnego rodzaju obrażeniami. Praca ta jednakże otwiera drogę do kolejnych badań i symulacji. Jest bowiem ważne określenie, czy otrzymane wyniki to tylko błąd geometrii zaimportowanej, czy być może faktyczne odwzorowanie zachowania się klatki piersiowej dziecka. Jeśli wyniki zostałyby potwierdzone dostarczyłoby to bardzo ciekawych danych dla projektantów zabezpieczeń urządzeń służących zabezpieczeniu dziecka przed urazami np. w wypadkach samochodowych.

Praca jest częścią projektu N51804732/3670 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

LITERATURA

- [1] Gedliczka A. : *Atlas miar człowieka. Dane do projektowania i oceny ergonomicznej*. Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa 2001.
- [2] Łuczak B.: *Rozprawa doktorska: Modelowanie oraz analiza statyczna i dynamiczna klatki piersiowej z zastosowanie metalowych implantów*. Katedra Automatyki i Biomechaniki Politechniki Łódzkiej, 2006.
- [3] Będziński R.: *Biomechanika inżynierska. Zagadnienia wybrane*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997.
- [4] Schneider, L, Ricci, L, Salloum, M, Beebe, M, King, A, Rouhana, S, Neathery, R (1992) Design and development of an advanced ATD thorax system for frontal crash environments Final Report Volume 1: *Primary Concept Development Trauma Assessment Device Development Program DOT HS 808 138*. University of Michigan Transportation Research Institute

MODELING AND STATIC ANALYSIS OF CHILD'S RIB CAGE

Summary. In this paper the method of adaptation the existing 3D geometry of human's rib cage to FEM system ANSYS 10.0 was presented. It was created for visualization objectives. There was shown the way of model's transformation into computational 3D geometry. Finally strength calculations were perform for verification Cavanaugh's test which was used in crash test of cars.