

УДК 616.728.48-001.7-053.2-07:004.94

ШИМОН В.М., ШАРМАЗАНОВА О.П., АГІЙ В.І.

Ужгородський національний університет, кафедра загальної хірургії з курсами травматології, оперативної хірургії та судової медицини
Інститут травми, м. Ужгород

ДІАГНОСТИКА РОЗТЯГНЕННЯ (РОЗРИВІВ ЗВ'ЯЗОК) ГОМІЛКОВОСТОПНОГО СУГЛОБА В ДІТЕЙ ІЗ УРАХУВАННЯМ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Резюме. У даній роботі надано результати дослідження напружено-деформованого стану зв'язок гомілковостопного суглоба. У роботі були розглянуті дві розрахункові схеми, що описують геометричні моделі, які містять різні зв'язки. Дане дослідження проводилося за допомогою методу кінцевих елементів.

Ключові слова: напружено-деформований стан, зв'язковий апарат гомілковостопного суглоба, кінцево-елементна модель, еквівалентні напруження.

Вступ

Пошкодження зв'язків гомілковостопного суглоба в дітей дуже часто діагностують із похибками. Тому нами розроблено новий напрямок у діагностиці ушкоджень зв'язок гомілковостопного суглоба за допомогою математичного моделювання.

При несприятливих зовнішніх навантаженнях зв'язки суглобів можуть розтягуватися. У життєдіяльності людини дані розтягування відбуваються з великими та середніми суглобами: тазостегновими, плечовими, зап'ястними, колінними та ін. Але найчастіше дані розтягування спостерігаються в гомілковостопних суглобах.

Така частота травматичних розтягнень викликана особливостями анатомічної будови гомілковостопного суглоба і виконуваних ним функцій.

Упровадження комп'ютерної інженерії в медичну практику дозволяє більш фундаментально дослідити механічну поведінку біосистеми, а саме зв'язок гомілковостопного суглоба. Таким чином, використання створених комп'ютерних моделей суглобів може дати оцінку рівня напружень, що виникають в елементах біосистеми, а також дати змогу отримати картину розподілу напружень із характерними зонами, в яких досягаються максимальні значення напружень.

Метою даної роботи є аналіз напружено-деформованого стану зв'язок гомілковостопного суглоба шляхом дослідження на основі застосування комп'ютерної моделі гомілковостопного суглоба людини за допомогою методу кінцевих елементів [1–4].

Постановка задачі

З розвитком і зростанням популярності екстремальних видів спорту зріс і рівень дитячого травматиз-

му, оскільки батьки з більш раннього віку залучають дітей до спорту. За даними вітчизняних і зарубіжних авторів [5–7], у травмпункт щорічно звертаються до 10–20 % дітей із травмами гомілковостопного суглоба, 70–75 % постраждалих мають травми зв'язкового апарату [6, 8].

Таким чином, пошкодження зв'язкового апарату гомілковостопного суглоба в дітей є однією з найскладніших і невіршених проблем травматології та ортопедії. На сьогодні відсутня єдина програма з діагностики та тактики лікування дітей із травмами зв'язок гомілковостопного суглоба. До того ж у літературі недостатньо робіт, що присвячені діагностиці та лікуванню ушкоджень зв'язок гомілковостопного суглоба в дітей та підлітків.

Завдяки процесу інтеграції комп'ютерної інженерії в медичну практику шляхом створення тривимірних геометричних моделей стало можливим описання різних ділянок і сегментів людського скелета, розуміння фундаментальної основи механічної поведінки, що, у свою чергу, дає змогу правильно діагностувати травму та розробити методи лікування людини.

Таким чином, із метою проведення даних досліджень була побудована тривимірна геометрична модель гомілковостопного суглоба зі зв'язками. На рис. 1 представлено геометричну тривимірну модель гомілковостопного суглоба. Побудована модель включала: великогомілкову, малоогомілкову, таранну та п'яткову кістки, а також задню та передню таранно-малоогомілкові, п'яtkово-малоогомілкові зв'язки, передній і задній

© Шимон В.М., Шармазанова О.П., Агій В.І., 2015

© «Травма», 2015

© Заславський О.Ю., 2015

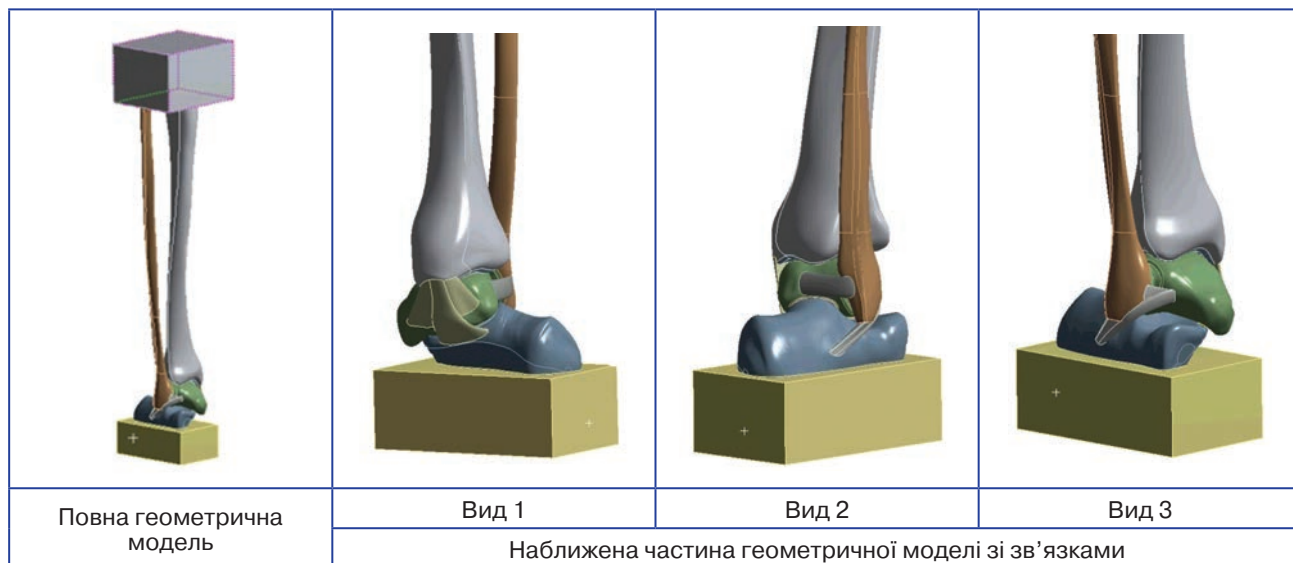


Рисунок 1. Геометрична модель гомілковостопного суглоба зі зв'язками

великогомілково-таранні пучки, великогомілково-п'ятковий пучок, межкісткові хрящі. Також модель була доповнена двома додатковими елементами — верхньою та нижньою опорами, що були додані для коректного прикладання закріплення. Геометрична модель була побудована в програмному пакеті SolidWorks [9], далі експортувалася в комплекс Ansys Workbench [10], в якому виконувалася побудова кінцево-елементних моделей призначенням відповідних властивостей матеріалів і додатком навантаження і зовнішніх обмежень.

Далі для дослідження геометрична модель була істотно спрощена, оскільки було прийнято рішення почергово навантажувати сторони ноги для почергового дослідження зв'язок. Оскільки зв'язки за своєю природою працюють на розтягнення, то здійснювати навантаження повної моделі таким чином, щоб усі зв'язки працювали на розтягнення, моделюючи вивих гомілковостопного суглоба, не представляється можливим. Відповідно, у результаті таких спрощень були отримані дві розрахункові схеми. Перша розрахункова схема включала в себе великогомілкову кістку, а та-

кож передній і задній великогомілково-таранні пучки, великогомілково-п'ятковий пучок. Друга розрахункова схема включала всі інші зв'язки: передню та задню таранно-малогомілкову, п'ятково-малогомілкову зв'язки та малогомілкову кістку. На рис. 2 представлено геометричні моделі для дослідження зв'язок двох розрахункових схем.

Необхідність побудови повної моделі була обумовлена тим, щоб відповідним чином домогтися максимально точного повторення форми самих зв'язок і профілю зони контакту з кістками. Далі після отримання відповідних форм і профілів, як було сказано вище, модель була максимально спрощена.

У процесі моделювання необхідно зазначити таке: властивості матеріалів людських тканин мають значний діапазон розбіжності. У табл. 1 наведено фізико-механічні характеристики елементів досліджуваної моделі гомілковостопного суглоба [11–18].

У побудованих кінцево-елементних моделях застосовувалися елементи двох типів: SOLID186 (20-вузловий кубічний елемент) і SOLID187 (10-вузловий тетраедр). Звичайно кінцево-елементна модель є ком-



Рисунок 2. Геометрична модель гомілковостопного суглоба зі зв'язками (спрощені досліджувані геометричні моделі)

Таблиця 1. Фізико-механічні характеристики матеріалів

Матеріал	Модуль Юнга Е (МПа)	Коефіцієнт Пуассона ν
Кортикальна кістка	10 000	0,3
Губчаста кістка	450	0,2
Суглобовий хрящ	10,6	0,49
Зв'язки	600	0,49

бінованою, у ній використовуються елементи двох типів, що дозволяють апроксимувати точну форму елементів досліджуваної моделі, а також дають високу апроксимацію компонент напружено-деформованого стану.

Дослідження напружено-деформованого стану зв'язок гомілковостопного суглоба людини

Як було зазначено вище, у дослідженні розглядалися дві розрахункові схеми (рис. 2). Побудовані кінцево-елементні моделі налічували близько 325 тис. елементів

Таблиця 2. Прикладене навантаження

Розрахункова схема	Координати		
	X	Y	Z
1-ша	100	100	0
2-га	-100	100	0

для першої розрахункової схеми і 220 тис. елементів — для другої. На рис. 3 представлено кінцево-елементні моделі для двох розрахункових схем.

У даній роботі як навантаження прикладалися сили таким чином, щоб змодельовати вивих гомілковостопного суглоба в різні боки. У результаті прикладена сила розкладалася по осевим компонентам. Величина прикладеного навантаження вибиралася відповідним чином — так, щоб прикладене навантаження перевищувало вагу людини. У підсумку отримана картина розподілу напружень має явно виражені зони з максимальними значеннями. У табл. 2 наведено розкладання сили по компонентах у декартовій системі координат для двох розрахункових схем.

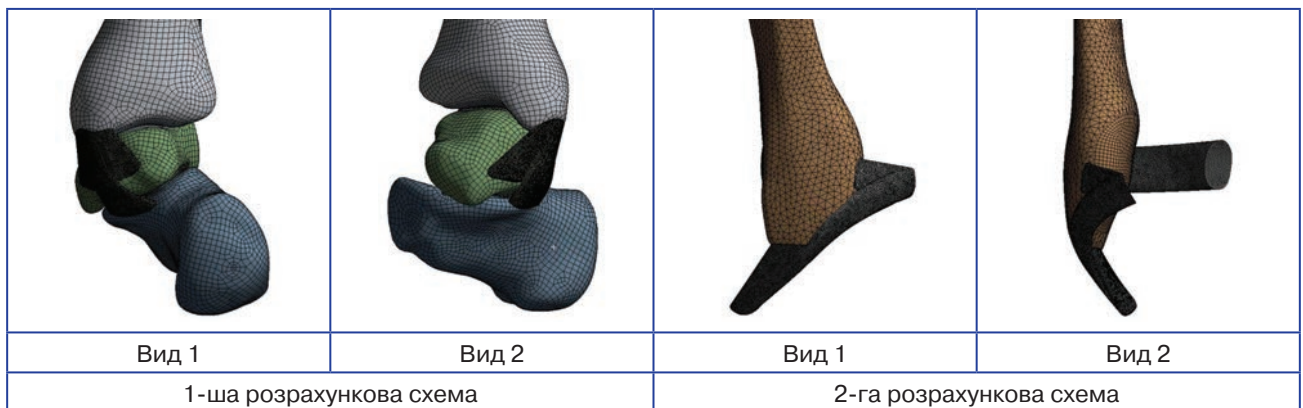


Рисунок 3. Кінцево-елементні моделі гомілковостопного суглоба зі зв'язками (спрощені досліджувані геометричні моделі)



Рисунок 4. Прикладене навантаження та закріплення (спрощені досліджувані геометричні моделі)

На рис. 4 представлені навантаження та закріплення досліджуваних моделей зв'язок гомілковостопного суглоба для двох розрахункових схем.

Результати численних досліджень напружено-деформованого стану зв'язок гомілковостопного суглоба людини

У результаті проведених досліджень були отримані поля розподілу еквівалентних напружень у зв'язках гомілковостопного суглоба. До того ж проводився аналіз отриманих полів, що полягав у визначенні та розгляді зон із максимальними значеннями та визначенні їх місцезнаходження по довжині зв'язки.

Список літератури

1. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Zhu J.Z. *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*. — Amsterdam; Heidelberg: Butterworth-Heinemann. — 2006. — 631 p.
2. Зенкевич О. *Метод конечных элементов в технике*. — М.: Мир, 1975. — 382 с.
3. Сегерлинд Л. *Применение метода конечных элементов*. — М.: Мир, 1979. — 388 с.
4. Морозов Е.М., Никишков Г.П. *Метод конечных элементов в механике разрушения*. — М.: Наука, 1980. — 256 с.
5. Головня Д.В. *Переломы костей, образующих голеностопный сустав у детей: Дис... канд. мед. наук.* — 14.00.35. — М., 2002. — 168 с.
6. Baert A., Reiser M. *Sports Injuries in Children and Adolescents*. — Heidelberg: Springer, 2011. — 219-230.
7. Marsh J.S., Daigneault J.P. *Ankle injuries in the pediatric population // Current. Opinion in Pediatrics*. — 2000. — № 12. — С. 52-60.
8. Pommering T.L., Kluchurosky L., Hall S.L. *Ankle and foot injuries in pediatric and adult athletes // Primary care*. — 2005. — № 32. — С. 133-161.
9. Solidworks // <http://www.solidworks.com/>
10. ANSYS Workbench // <http://www.ansys.com/>
11. Natarajan R.N., Chen B.H., An H.S., Andersson G.B.J. *Anterior cervical fusion: a finite element model study on motion segment stability including effect of osteoporosis // Spine*. — 2000. — Vol. 25, № 8. — P. 955-961.
12. Веретельник Ю.В., Веретельник О.В., Тимченко И.Б., Дынник А.А., Соснина Ю.К. *К вопросу о построении параметрических моделей шейного отдела позвоночника // Вестник НТУ ХПИ. Тем. вып. «Машиноведение и САПР»*. — 2007. — № 29. — С. 16-20.
13. Nolan J.P., Sherk H.H. *Biomechanical evaluation of the extensor musculature of the cervical // Spine*. — 1988. — Vol. 13. — P. 9-11.
14. Panjabi M.M., Duranceau J., Goel V. et al. *Cervical human vertebrae: quantitative three-dimensional anatomy of the middle and lower regions // Spine*. — 1991. — Vol. 16, № 8. — P. 861-869.
15. Веретельник О.В. *Моделирование напряжений в шейном отделе позвоночника с ортезом // Вестник НТУ ХПИ. Тем. вып. «Машиноведение и САПР»*. — 2008. — № 9. — С. 22-29.
16. Веретельник О.В. *Обзор конструктивных схем и решений по моделированию ШОП и ортезов // Вестник НТУ ХПИ. Тем. вып. «Машиноведение и САПР»*. — 2008. — № 42. — С. 3-8.
17. Heitplatz P., Hartle S.L. and Gentle C.R. *A 3-dimensional large deformation FEA of a ligamentous C4-C7 spine unit // Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*. — Gordon and Breach Science, UK, 1998. — 2. — P. 387-394.
18. Веретельник О.В. *Моделирование реакций на силовое воздействие элемента шейного отдела позвоночника // Вестник НТУ ХПИ. Тем. вып. «Машиноведение и САПР»*. — 2008. — № 2. — С. 14-26.

Отримано 09.08.15 ■

Шимон В.М., Шармазанова О.П., Агий В.И.
Ужгородский национальный университет, кафедра общей хирургии с курсами травматологии, оперативной хирургии и судебной медицины
Институт травмы, г. Ужгород

Shymon V.M., Sharmazanova O.P., Ahii V.I.
Higher State Educational Institution «Uzhhorod National University», Department of General Surgery with the Courses of Traumatology, Operative Surgery and Forensic Medicine, Uzhhorod
Trauma Institute, Uzhhorod, Ukraine

ДИАГНОСТИКА РАСТЯЖЕНИЯ (РАЗРЫВОВ СВЯЗОК) ГОЛЕНОСТОПНОГО СУСТАВА У ДЕТЕЙ С УЧЕТОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Резюме. В данной работе представлены результаты исследования напряженно-деформированного состояния связок голеностопного сустава. В работе были рассмотрены две расчетные схемы, описывающие геометрические модели, которые содержат различные связки. Данное исследование проводилось с помощью метода конечных элементов.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, связочный аппарат голеностопного сустава, конечно-элементная модель, эквивалентные напряжения.

DIAGNOSIS OF STRAIN (RUPTURE OF LIGAMENTS) OF ANKLE JOINT IN CHILDREN WITH THE HELP OF COMPUTER SIMULATION

Summary. This article presents the results of the study on stress-strain state of ankle ligaments. Two analytical diagrams that describe geometric models containing various ligaments have been considered in the paper. This study was conducted using the finite element method.

Key words: stress-strain state, ankle ligaments, finite element model, equivalent stresses.