

Учреждение образования
«Международный государственный экологический институт имени А.Д.
Сахарова»
Белорусского государственного университета
Факультет Мониторинга окружающей среды
Кафедра общей и медицинской физики

Петуховский Антон Сергеевич

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КИСТИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПОВРЕЖДЕНИИ
СУХОЖИЛИЙ СГИБАТЕЛЕЙ ПАЛЬЦЕВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА
КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Магистерская диссертация
Специальность 1-31 80 22 «Медицинская физика»

Научный руководитель
Босяков Сергей Михайлович
д-р. физ.-мат. наук, проф.

Допущена к защите
«___» _____ 2023 г.
Зав. кафедрой общей и медицинской физики
Савастенко Наталья Александровна
канд. физ.-мат. наук, доц.

Минск 2023

Общая характеристика работы

Ключевые слова

СУХОЖИЛИЯ СГИБАТЕЛЕЙ ПАЛЬЦЕВ КИСТИ ЧЕЛОВЕКА, ТРАВМА ТРАВМАТОЛОГИЯ И ОРТОПЕДИЯ, ХИРУРГИЯ КИСТИ, МРТ, СЕГМЕНТИРОВАНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ.

Характеристика

В настоящей работе использован метод конечных элементов для моделирования движений 3 пальца кисти человека в норме и после удаления FDS.

Актуальность работы обусловлена существующей проблемой выбора способа хирургической реконструкции сухожилий сгибателей пальцев человека при их одновременном повреждении. В работе изложены анатомические и гистологические особенности строения, которые предрасполагают к большой доле плохих и неудовлетворительных отдалённых результатов хирургического лечения открытых свежих повреждений во 2 зоне по Bunnell. Один из распространенных способов лечения включает иссечение поверхностного сгибателя с реконструкцией только глубокого сгибателя.

В работе изложена методика создания конечно-элементной модели на основании МРТ серии кисти для сравнения и оценки перемещений в случаях наличия интактных сухожилий и после удаления сухожилия поверхностного сгибателя.

Выполнены МРТ и клинический осмотр здоровой кисти добровольца. Проведено сегментирование костей (всех фаланг и пястной), кольцевидных связок (A1 – A5), сухожилий сгибателей пальца кисти (поверхностного и глубокого).

Для настройки эластические параметры тканей модели использовали данные литературных источников и результатов клинического осмотра. Взаимодействия твердых тел и пограничные состояния задали в соответствии с анатомическими и физиологическими свойствами моделируемых структур.

С помощью конечно-элементного метода мы получили объективные параметрические данные о перемещении структур пальца во время сгибания. Оценку проводили по показателям амплитуд сгибания в каждом суставе, прикладываемых силах и экскурсии краев сухожилий. Построили графики их изменений относительно времени.

Валидацию результатов провели путём сравнения графиков динамики и абсолютных величин с литературными экспериментальными данными *in* и *ex vivo*.

Полученная методика позволяет проводить анализ перемещений структур пальца человека в норме и при патологии. Метод может быть адаптирован к иным локализациям опорно-двигательного аппарата человека.

Результаты работы могут быть основанием для проведения исследований на клиническом этапе. Дальнейшие исследования на более точных томографических данных и увеличенной выборке с включением клинического материала

необходимы для выведения клинических рекомендаций по лечению и реабилитации.

Структура

Объём работы составляет 40 страниц. Работа включает 17 рисунков и 7 таблиц. При написании, использовали 123 литературных источника.

General description of work

Keywords

HUMAN FINGER FLEXOR TENDONS, TRAUMA, TRAUMATOLOGY AND ORTHOPEDICS, HAND SURGERY, MRI SEGMENTATION, MODELING, FINITE ELEMENT ANALYSIS

Description

In the current work we used the finite element method to simulate the movements of the 3rd finger of the human hand in norm and after FDS removal.

The relevance of the work is conditioned by the existing problem of choosing the method of surgical reconstruction of human finger flexor tendons in case of their simultaneous damage. The paper outlines the anatomical and histological features of the structure that predispose to a large proportion of poor and unsatisfactory long-term results of surgical treatment of open fresh lesions in Bunnell 2 zone. One common treatment involves excision of the superficial flexor with reconstruction of only the deep flexor.

The paper outlines a technique for creating a finite-element model based on MRI series of the hand to compare and assess movements in cases of intact tendons and after removal of the tendon of the superficial flexor.

MRI and clinical examination of a healthy volunteer hand were performed. Bones (all phalanges and metacarpal), annular ligaments (A1 - A5), and finger flexor tendons (superficial and deep) were segmented.

To adjust the elastic parameters of the model tissues, we used data from literature sources and the results of clinical examination. The solid-body interactions and boundary conditions were set according to the anatomical and physiological properties of the modeled structures.

Using the finite-element method, we obtained objective parametric data on the movement of the finger structures during flexion. We assessed them using the values of flexion amplitudes in each joint, the forces applied, and the excursion of the tendon margins. We plotted their changes versus time.

The results were validated by comparing the graphs of dynamics and absolute values with the literature experimental data in and ex vivo.

The obtained method allows the analysis of movements of human finger structures in norm and pathology. The method can be adapted to other localizations of the human musculoskeletal system.

The results of the work can become the basis for research at the clinical stage. Further research on more accurate tomographic data and a larger sample including clinical material is necessary to make clinical recommendations for treatment and rehabilitation.

Structure

The volume of work is 40 pages. The work includes 17 figures and 7 tables. 123 literary sources were used.

Агульная характарыстыка працы

Ключавыя словы

СУХАЖЫЛЛЯ ЗГІБАЛЬНІКАЎ ПАЛЬЦАЎ КИСТИ ЧАЛАВЕКА, ТРАЎМА ТРАЎМАТАЛОГІЯ І АРТАПЕДЫІ, ХІРУРГІЯ ПЭНДЗЛЯ, МРТ, СЕГМЕНТАВАННЕ, МАДЭЛЯВАННЕ, КАНЧАТКОВА-ЭЛЕМЕНТНЫ АНАЛІЗ.

Характарыстыка

У сапраўднай працы выкарыстаны метады канчатковых элементаў для мадэлявання рухаў 3 пальцы пэндзля чалавека ў норме і пасля выдалення FDS.

Актуальнасць працы абумоўлена існуючай праблемай выбару спосабу хірургічнай рэканструкцыі сухажылляў згінальнікаў пальцаў чалавека пры іх адначасовым пашкоджанні. У працы выкладзены анатамічныя і гісталагічныя асаблівасці, якія схіляюць да вялікай долі дрэнных і незадавальняючых аддаленых вынікаў хірургічнага лячэння адкрытых свежых пашкоджанняў у 2 зоне па Bunnell. Адзін з распаўсюджаных спосабаў лячэння ўключае выдаленне павярхоўнага згінальніка з рэканструкцыяй толькі глыбокага згінальніка.

У працы выкладзена метадыка стварэння канчаткова-элементарнай мадэлі на падставе МРТ серыі пэндзля для параўнання і адзнакі перасоўванняў у выпадках наяўнасці інтактных сухажылляў і пасля выдалення сухажыллі павярхоўнага згінальніка.

Выкананы МРТ і клінічны агляд здоровага пэндзля добраахвотніка. Праведзена сегментаванне костак (усіх фаланг і пястной), колцападобных звязкаў (A1 - A5), сухажылляў згінальнікаў пальца пэндзля (павярхоўнага і глыбокага). Для наладкі эластычных параметраў тканін мадэлі выкарыстоўвалі дадзеныя літаратурных крыніц і вынікаў клінічнага агляду. Узаемадзеянні цвёрдых цел і памежныя станы задалі ў адпаведнасці з анатамічнымі і фізіялагічнымі ўласцівасцямі мадэляваных структур.

З дапамогай канчаткова-элементарнага метаду мы атрымалі аб'ектыўныя параметрычныя дадзеныя аб перамяшчэнні структур пальца падчас згінання. Ацэнку праводзілі па паказчыках амплітуд згінання ў кожным суставе, прыкладаемых сілах і экскурсіі краёў сухажылляў. Пабудавалі графікі іх змен адносна часу.

Валідацыю вынікаў правялі шляхам параўнання графікаў дынамікі і абсалютных велічынь з літаратурнымі эксперыментальнымі дадзенымі *in* і *ex vivo*.

Атрыманая методыка дазваляе праводзіць аналіз перасоўванняў структур пальца чалавека ў норме і пры паталогіі. Метад можа быць адаптаваны да іншых лакалізацый апорна-рухальнага апарата чалавека.

Вынікі працы могуць быць падставай для правядзення даследаванняў на клінічным этапе. Далейшыя даследаванні на больш дакладных тамаграфічных дадзеных і павялічанай выбарцы з уключэннем клінічнага матэрыялу неабходны для вывядзення клінічных рэкамендацый па лячэнні і рэабілітацыі.

Структура

Аб'ём працы складае 40 старонак. Работа ўключае 17 малюнкаў і 7 табліц. Пры напісанні, выкарыстоўвалі 123 літаратурныя крыніцы.