

КОРРЕЛЯЦИИ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ЭЛЕМЕНТОВ СКЕЛЕТА КОНЕЧНОСТЕЙ

Стрижков А.Е., Николенко В.Н., Суслов А.В.

*ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова»
г. Москва, Россия*

Насыров Р.В.

*ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»,
г. Уфа, Россия*

Минасов Т.Б.

*ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет»,
г. Уфа, Россия*

CORRELATIONS OF BIOMECHANICAL PROPERTIES AND INTERNAL STRUCTURE OF SKELETAL ELEMENTS OF THE LIMB

Strizhkov A.E., Nikolenko V.N., Suslov A.V.

*First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov
Moscow, Russia*

Nasyrov R.V.

*Ufa University of Science and Technology,
Ufa, Russia*

Minasov T.B.

*Bashkir State Medical University,
Ufa, Russia*

На материале трупов 200 плодов, 10 новорожденных, 50 людей зрелого возраста проведено анатомическое и гистологическое исследование костей и их соединений верхней и нижней конечностей. На указанном материале проведено исследование биомеханических свойств: упруго-прочностные характеристики и параметры звуковой проводимости. У 150 добровольцев юношеского и зрелого возраста проведена оценка прохождения звуковой волны по конечности в целом и по отдельным ее сегментам. Установлено, что показатели биомеханических свойств зависят от внешнего и внутреннего строения элементов скелета. Наиболее информативными биомеханическими показателями, отражающими особенность структуры, для мягкого скелета являются упруго-прочностные параметры растяжения вещества объекта. Для костей и суставов в целом таковыми являются акустические свойства.

Ключевые слова: скелет, анатомия, гистология, органогенез, биомеханика

Anatomical and histological examination of bones and their joints in the upper and lower extremities was carried out on the material of corpses of 200 fetuses, 10 newborns, 50 mature people. Biomechanical properties were studied on this material: elastic-strength characteristics and parameters of sound conductivity. An assessment of the passage of a sound wave through the limb as a whole and its individual segments was carried out in 150 volunteers of adolescent and mature age. It is established that the indicators of biomechanical properties depend on the external and internal structure of the skeletal elements. The most informative biomechanical indicators reflecting the peculiarity of the structure for a soft skeleton are the elastic-strength parameters of the stretching of the substance of the object. For bones and joints in general, these are acoustic properties.

Keywords: *skeleton, anatomy, histology, organogenesis, biomechanics*

Введение. Патология элементов опорно-двигательного аппарата занимает ведущие позиции в структуре заболеваемости и распространенности в Российской Федерации и развитых странах. При этом всегда нарушается основная его функция – механическая. В связи с этим выяснение особенностей тонких механизмов взаимной связи и влияния морфологических свойств и механических характеристик скелета на разных этапах онтогенеза человека является важной задачей современной фундаментальной медицины и практического здравоохранения.

Целью настоящего исследования явилось установление корреляции биомеханических свойств и внутренней структуры элементов твердого и мягкого скелета верхней и нижней конечностей на разных этапах пре- и постнатального онтогенеза у человека.

Материалом для анатомического и гистологического исследования служили трупы 200 плодов, 10 новорожденных, 50 людей зрелого возраста.

Методом препарирования выделялись кости и суставы: их главные и вспомогательные элементы. Проводилась морфометрия. Гистологическое строение изучалось на толстых (окраска пикрофуксином по А.П. Сорокину и гипосульфитом серебра по А.Е. Стрижкову с просветлением) и парафиновых срезах (окраска гематоксилином и эозином, по Ван Гизон и по Харту, импрегнация нитратом серебра по В.В. Куприянову).

Из фрагментов препарированных объектов изготавливались образцы для биомеханических исследований упруго-прочностных свойств. Испытания проводились на разрывных машинах ZM-10, ZN-40, Instron. По полученным данным рассчитывались упругие и предельные параметры деформации [1].

На нативных и препарированных препаратах конечностей проводилась оценка звуковой проводимости трубчатых костей и суставов (патенты РФ на изобретение RU2289317C2, RU2302199C1).

Оценка звуковой проводимости элементов скелета конечностей у живых людей проводилась на материале 150 здоровых (исключение из исследования: травмы конечностей в анамнезе, заболевания опорно-двигательного аппарата, системные заболевания) добровольцев юношеского и зрелого возраста.

Проводилась соматометрия и исследование звуковой проводимости всей конечности и отдельных ее сегментов по оригинальной методике [2].

Расчет основных статистик измерения и математико-статистический анализ данных проводился с использованием стандартного программного обеспечения Excell и Statistica (применялись разные версии продуктов).

Полученные данные и их обсуждение. Конечности представляют собой сложный комплекс анатомических структур, отличающихся внешними макроскопическими, внутренними гистологическими и механическими свойствами. Для оптимизации анализа полученных данных были применены методы теории систем [3]. Установлено, что конечность представляет собой открытую систему со сложным устройством отдельных элементов. Каждый элемент анатомически обособлен и обладает индивидуальным набором морфологических и механических свойств. В отличие от стандартных элементов классической сложной системы на конечности места контакта элементов твердого и мягкого скелета непрерывные и представляют собой «зоны прикрепления» или «энтезы».

Гистологическое исследование зон прикрепления капсулы и связки суставов, удерживателя сухожилий мышц, отдельных сухожилий у места их костной фиксации на этапах пренатального онтогенеза и у новорожденных показало, что так называемые «энтезы» являются частью элемента мягкого остова. Данное наблюдение позволило выделить новую номенклатурную анатомическую единицу – соединительнотканый орган [4].

Суть данной концепции легче показать на структуре связки. На протяжении от места начала до места прикрепления строение связки меняется. На основе характерных морфологических и функциональных признаков можно выделить ряд участков:

- 1) проксимальная зона прикрепления,
- 2) зона нагружения,
- 3) дистальная зона прикрепления.

Зона нагружения представляет собой большую по протяженности центральную часть связки. Ее структурной основой является плотная оформленная соединительная ткань, компоненты которой образуют пучки коллагеновых волокон разного уровня организации. Этот участок связки выполняет ее основную функцию – противодействует внешней (для связки) нагрузке. Основным анатомическим компонентом для осуществления этой функции является ПКВ первого порядка.

Структурно-функциональной единицей соединительнотканного органа (связки, сухожилия, оболочки и т.п.) является пучок коллагеновых волокон первого порядка.

Между пучками второго и третьего имеются прослойки рыхлой соединительной ткани – эндотенония, являющиеся местом локализации трофических структур. На концах зоны нагружения (ближе к местам костной

фиксации) ширина эндотенония уменьшается, кровеносные сосуды заканчиваются, формируя сосудистые (капиллярные) петли.

Проксимальная и дистальная зоны прикрепления имеют общий принцип строения. Гистологической основой этой зоны является волокнистый хрящ, имеющий неоднородную структуру. На участке, примыкающем к зоне нагружения, между клетками хондробластического ряда, образующих характерные для данной локализации «клеточные столбики», располагаются пучки первого порядка. Их диаметр на протяжении неодинаковый, но можно отследить продолжение этих пучков в пучки в центре связки. На участке зоны, прилежащем к гиалиновому хрящу, пучки первого порядка теряют упорядоченную организацию. Их продолжением являются коллагеновые волокна, сохраняющие ориентацию пучков.

Исследование упруго прочностных свойств соединительнотканного органа показало, что предел прочности зависит от представительства пучков первого (второго и третьего) порядков в зоне нагружения. При экстремумах - максимумах предела прочности содержание пучков коллагеновых волокон по сравнению с рыхлой соединительной тканью наибольшее. В последующем начинает увеличиваться толщина прослоек эндотенония, сопровождающееся снижением предела прочности. Наибольшего развития рыхлая соединительная ткань достигает к экстремуму – минимуму. На развитие фиброструктуры соединительнотканного органа влияют внутренние напряжения в сегментах конечности [5].

Оценка акустических свойств скелета конечностей показывает, что время отклика и фаза колебания [2] определяется не только анатомическими особенностями отдельной кости, но имеет корреляцию ($p < 0,01$) с соматотипом обследуемого. Частота колебания отклика связана с внутренним строением органа и может являться статистически значимой оценкой плотности костного вещества. Это определяет значимость указанного параметра в скрининге остеопороза в группах риска.

Выводы:

1. Наиболее информативными биомеханическими показателями, коррелирующими со структурными характеристиками соединительнотканного органа мягкого скелета, являются упруго-прочностные параметры растяжения вещества объекта.

2. Для костей и суставов в целом биомеханическими показателями, объективно отражающими внутреннюю структуру, являются акустические свойства.

Литература

1. Стрижков, А. Е. Морфологический анализ возрастной динамики биомеханических свойств связок коленного сустава плодов человека / А. Е. Стрижков // Сеченовский вестник. – 2017. – Т. 30, № 4. – С. 25-29.

2. Насыров, Р. В. Способ оценки звуковой проводимости длинных трубчатых костей на основе метода функциональных биомеханических проб / Р. В. Насыров, А. С.

Кружков, Т. Б. Минасов, А. Е. Стрижков // Сеченовский вестник. – 2017. – Т. 30, № 4. – С. 21-24.

3. Стрижков, А. Е. Системный анализ морфогенеза связочного аппарата суставов нижней конечности в пре - и неонатальном онтогенезе / А. Е. Стрижков, В. Н. Николенко, Р. З. Нуриманов, Р. В. Насыров // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений (ITIDS'2018). Труды VI Всероссийской конференции (с приглашением зарубежных ученых). – Уфа – Ставрополь : Издательство Уфимского государственного авиационного технического университета, 2018. – С. 41-43.

4. Стрижков, А. Е. Соединительнотканый орган : морфология, развитие, патология. Монография / А. Е. Стрижков, В. Н. Николенко; ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). – М. : Издательство Сеченовского Университета, 2022. – 44 с.

5. Нуриманов, Р. З. Развитие внесуставных связок тазобедренного сустава определяют угловые величины проксимального отдела бедренной кости / Р. З. Нуриманов, А. Е. Стрижков, В. Н. Николенко // Морфологические ведомости. – 2021. – Т. 29, № 1. – С. 49-54.