

**ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АНАТОМИЯ И МИОФАСЦИАЛЬНАЯ
АРХИТЕКТОНИКА МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА:
СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ, ФАСЦИАЛЬНЫЕ ПОЕЗДА И
КИНЕЗИОЛОГИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ**

Язмухаммедова Джерен

Преподаватель, Туркменский государственный институт физической культуры и
спорта

г. Ашхабад Туркменистан

Аннаева Агабег

Преподаватель, Туркменский государственный институт физической культуры и
спорта

г. Ашхабад Туркменистан

Аннотация

В данной фундаментальной научно-теоретической, морфологической и клинко-анатомической статье проводится глубокий, всесторонний и многоаспектный анализ функциональной анатомии, гистоструктурной организации и миофасциальной архитектоники мышечно-скелетной системы человека. В условиях смены классической редукционистской парадигмы в анатомии, рассматривавшей отдельные скелетные мышцы как изолированные анатомические единицы, возникает необходимость перехода к системной, целостной концепции непрерывности миофасциальных связей и интегративной кинезиологии.

В исследовании подробно рассматриваются уровни структурной организации скелетных мышц — от молекулярной архитектоники саркомера и костромеров до сложной трехуровневой фасциальной футлярной системы (эндомизий, перимизий, эпимизий). Раскрываются биомеханические свойства глубокой фасции, ее иннервация проприорецепторами и ноцицепторами, а также роль интерстициальной матрицы в передаче механического напряжения. Особое внимание уделено концепции миофасциальных меридианов (фасциальных поездов), функциональной взаимосвязи анатомических поездов в обеспечении осанки, поддержании гравитационного баланса и организации сложнейших локомоторных актов. На основе масштабных секционных морфологических исследований, ультразвуковой эластографии и трехмерного моделирования напряжений разработана и научно обоснована комплексная модель взаимодействия мышечно-фасциальных цепей.

Практическая ценность работы заключается в создании научно обоснованного теоретико-методологического фундамента для анатомов, врачей-травматологов, ортопедов, мануальных терапевтов, кинезиологов и специалистов по физической реабилитации, направленного на совершенствование методов диагностики миофасциального болевого синдрома, оптимизацию оперативных доступов, разработку патогенетически обоснованных программ реабилитации и преподавание нормальной и топографической анатомии в высшей медицинской школе.

Ключевые слова: анатомия человека, функциональная анатомия, скелетная мускулатура, фасция, миофасциальные меридианы, архитектоника, проприорецепция, кинезиология, биомеханика, тенсегрити.

FUNCTIONAL ANATOMY AND MYOFASCIAL ARCHITECTONICS OF THE HUMAN MUSCULAR SYSTEM: STRUCTURAL ORGANIZATION, FASCIAL TRAINS, AND KINESIOLOGICAL SYNTHESIS

Yazmukhammedova Jeren

Lecturer, Turkmen State Institute of Physical Education and Sports
Ashgabat, Turkmenistan

Annayeva Agabeg

Lecturer, Turkmen State Institute of Physical Education and Sports
Ashgabat, Turkmenistan

Abstract

This fundamental scientific-theoretical, morphological, and clinical-anatomical article presents a deep, comprehensive, and multi-aspect analysis of functional anatomy, histostructural organization, and myofascial architectonics of the human musculoskeletal system. Amid the shift from the classical reductionist paradigm in anatomy, which considered individual skeletal muscles as isolated anatomical units, there is an urgent need for a transition to a systemic, holistic concept of myofascial continuity and integrative kinesiology.

The study examines in detail the levels of skeletal muscle structural organization — from the molecular architectonics of the sarcomere and costameres to the complex three-tiered fascial sheath system (endomysium, perimysium, epimysium). Biomechanical properties of the deep fascia, its innervation by proprioceptors and nociceptors, and the role of the interstitial matrix in mechanical stress transmission are revealed. Special attention is paid to the concept of myofascial meridians (fascial lines), the functional relationship of anatomical trains in maintaining posture, gravitational balance, and organizing complex locomotor acts. Based on large-scale cadaveric morphological studies, ultrasound elastography, and three-dimensional stress modeling, a comprehensive model of myofascial chain interaction was developed and scientifically justified.

The practical value of the work lies in creating a scientifically grounded theoretical and methodological framework for anatomists, traumatologists, orthopedists, manual therapists, kinesiologists, and physical rehabilitation specialists aimed at improving diagnostic methods for myofascial pain syndrome, optimizing surgical approaches, developing pathogenetically sound rehabilitation programs, and teaching normal and topographical anatomy in medical higher education.

Keywords: human anatomy, functional anatomy, skeletal musculature, fascia, myofascial meridians, architectonics, proprioception, kinesiology, biomechanics, tensegrity.

1. ВВЕДЕНИЕ

Анатомия человека на современном этапе своего развития переживает важную методологическую и концептуальную трансформацию. На протяжении нескольких столетий, начиная с фундаментальных трудов Андреаса Везалия и его последователей, академическая анатомия опиралась на дискретно-редукционистский подход. В рамках классического диссекционного анализа человеческое тело препарировалось путем послойного отделения структур, при котором скелетные мышцы рассматривались как изолированные функциональные органы, имеющие четко отпрепарированное начало, брюшко, сухожилие и место прикрепления к костным ориентирам. Подобный взгляд, безусловно, сыграл колоссальную историческую роль в систематизации топографо-анатомических знаний, но со временем сформировал упрощенное биомеханическое представление о движении человека как о работе изолированных рычагов.

Актуальность темы данного исследования обусловлена необходимостью преодоления фрагментарных представлений о двигательном аппарате и формирования целостной, научно обоснованной модели функциональной миофасциальной анатомии. Современные исследования в области гистологии, биомеханики, электронно-микроскопического анализа и визуализационной диагностики (высокоразрешающее ультразвуковое исследование, МРТ-эластография) убедительно доказывают, что в живом человеческом организме изолированных мышц не существует. Каждое мышечное волокно, пучок и мышечное брюшко погружены в непрерывную, трехмерную, динамическую паутину фасциальной соединительной ткани.

Фасция, ранее считавшаяся инертным «упаковочным материалом» или пассивным футляром, в современной функциональной анатомии признается важнейшим интегративным органом. Она образует единую непрерывную коллагеновую матрицу, пронизывающую тело от поверхностных слоев дермы до надкостницы и менингеальных оболочек. Соединительнотканый каркас не только передает механическое напряжение, генерируемое мышечными сокращениями, но и выступает крупнейшим сенсорным органом проприорецепции, плотно насыщенным свободными нервными окончаниями, тельцами Руффини, Пачини и Гольджи.

Понимание целостной миофасциальной архитектоники необходимо для объяснения сложных паттернов движения, механизмов компенсации при патологиях опорно-двигательного аппарата, формирования хронических болевых синдромов и разработки эффективных методов хирургического и восстановительного лечения.

Главной целью настоящего исследования является осуществление фундаментального научно-морфологического и клинко-анатомического анализа гистоструктурной организации мышечно-фасциального комплекса, систематизация анатомо-биомеханических характеристик основных миофасциальных меридианов и разработка комплексной модели пространственной интеграции движения на основе принципов архитектоники и тенсегрити.

2. ИЕРАРХИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА МЫШЕЧНО-СОЕДИНИТЕЛЬНОВОТКАННОГО КОМПЛЕКСА

Для понимания механизма передачи усилий в человеческом теле необходимо проанализировать структурно-иерархическую организацию скелетной мышцы на микро- и макроанатомическом уровнях.

Молекулярно-клеточный уровень и белки костромеров

На уровне отдельного миоцита (мышечного волокна) сократительный аппарат состоит из упорядоченных миофибрилл, сформированных актиновыми и миозиновыми филаментами. Передача механического усилия, генерируемого при скольжении нитей актина и миозина в саркомере, осуществляется не только продольно (к сухожильным концам волокна), но и трансаксально (латерально). Латеральная передача силы от Z-дисков саркомера к сарколемме и далее к внеклеточному матриксу обеспечивается специализированными мультибелковыми комплексами — костромерами (включающими дистрофин, винкулин, талин и интегрины). До сорока процентов механического напряжения, развиваемого мышцей, передается именно латерально через соединительнотканые оболочки.

Трехуровневая система фасциальных оболочек

Соединительнотканый остов скелетной мышцы представлен тремя непрерывными слоями:

— *Эндомизий*: тончайший слой рыхлой соединительной ткани, окружающий каждое отдельное мышечное волокно, содержащий капиллярную сеть и нервные терминалы.

— *Перимизий*: плотные соединительнотканые перегородки, объединяющие мышечные волокна в первичные и вторичные пучки. Перимизий имеет сложную ромбовидную коллагеновую архитектуру, меняющую угол наклона волокон при изменении длины мышцы.

— *Этимизий*: плотный фасциальный футляр, одевающий всё мышечное брюшко и без перерыва переходящий в сухожилие, сухожильную растяжку или надкостницу кости.

3. КОНЦЕПЦИЯ ТЕНСЕГРИТИ И МИОФАСЦИАЛЬНЫЕ МЕРИДИАНЫ В АНАТОМИИ И КИНЕЗИОЛОГИИ

Традиционная биомеханическая модель рассматривала скелет как непрерывный набор сжатых костных рычагов, на которых «подвешены» мышцы. Однако современная функциональная анатомия опирается на архитектурный принцип тенсегрити (*Tensegrity* — *Tension Integrity*, целостность натяжения), сформулированный Р. Бакминстером Фуллером и адаптированный к анатомии Т. Майерсом.

В биологической структуре тенсегрити жесткие костные элементы выступают как изолированные распорки, «плавающие» внутри непрерывного, упруго натянутого океана фасциально-мышечных элементов. Позиционирование костей и суставов определяется равновесием натяжения во всей соединительнотканной сети. Изменение натяжения в одном участке тела мгновенно перераспределяется по всей системе, изменяя пространственную конфигурацию удаленных сегментов.

На основе принципа непрерывности фасциальных связей выделяются ключевые миофасциальные меридианы (анатомические поезда), обеспечивающие осанку и локомоцию:

Поверхностная задняя линия (SBL)

Соединяет подошвенный апоневроз, короткие сгибатели пальцев, икроножную и камбаловидную мышцы, двуглавую мышцу бедра (через крестцово-бугорную связку), крестцово-поясничную фасцию, мышцу, выпрямляющую позвоночник, и сухожильный шлем черепа до надбровных дуг. Обеспечивает выпрямление тела, удерживает вертикальное положение в гравитационном поле и ограничивает сгибание вперед.

Поверхностная фронтальная линия (SFL)

Охватывает тыльные связки стопы, переднюю большеберцовую мышцу, связку надколенника, четырёхглавую мышцу бедра, прямую мышцу живота, грудную фасцию и грудино-ключично-сосцевидную мышцу. Участвует в сгибании корпуса и конечностей вперед, уравновешивая заднюю линию.

Латеральные линии (LL)

Проходят по обеим боковым поверхностям тела от малоберцовых мышц через малоберцовые связки, подвздошно-берцовый тракт, ягодичные мышцы, широчайшую мышцу спины, косые мышцы живота и межреберные мышцы к ременным мышцам головы. Стабилизируют фронтальную плоскость и координируют латерофлексию.

Спиральная линия (SL)

Огибает тело по двойной спирали, связывая череп с противоположной стопой через ременные мышцы, ромбовидные мышцы, переднюю зубчатую мышцу, косые мышцы живота, натягиватель широкой фасции бедра и переднюю большеберцовую мышцу. Регулирует вращательные движения (ротацию) корпуса и предотвращает скручивание позвоночника.

Глубинная фронтальная линия (DFL)

Анатомический и биомеханический стержень организма. Начинается от глубоких сгибателей стопы, проходит через заднее костное ложе голени, приводящие мышцы бедра, подвздошно-поясничную мышцу, диафрагму, грудную фасцию, лестничные мышцы и глубокие сгибатели шеи до основания черепа. Поддерживает продольный arch стопы, стабилизирует таз и поясничный отдел позвоночника, регулирует внутрибрюшное и внутригрудное давление.

4. КЛИНИКО-АНАТОМИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Переход от классической изолированной концепции мышечной анатомии к системному миофасциальному анализу кардинально меняет фундаментальные клинические подходы к диагностике, профилактике и терапевтической коррекции широкого спектра патологий опорно-двигательного аппарата. Традиционное представление о мышце как о самостоятельной анатомической единице, действующей изолированно между точками своего начала и прикрепления, больше не отражает всей сложности и целостности локомоторного акта, поскольку оно игнорирует непрерывный характер передачи механического напряжения.

В ходе проведенных морфологических исследований, биомеханического моделирования и кинезиологических экспериментов было убедительно доказано, что первичный патогенетический источник боли и структурной дисфункции практически всегда находится на значительном анатомическом удалении от места ее непосредственного клинического проявления. В частности, такие частые и трудно поддающиеся традиционной терапии состояния, как хроническая хромота, компенсаторное изменение биомеханики шага или подошвенный фасциит, в большинстве клинических случаев являются не локальной патологией стопы, а отдаленным вторичным следствием устойчивого гипертонуса мышц, выпрямляющих позвоночник, либо сжатия и укорочения сухожильного шлема. Подобная функциональная связь опосредована непрерывным транзитом механического натяжения по всей протяженности Поверхностной задней линии, объединяющей структуры от подошвенного апоневроза до надчерепной мышцы.

Одним из наиболее дискуссионных и одновременно перспективных вопросов современной гистологии, цитологии и функциональной морфологии является исследование биологической активности специализированных фасциальных клеток — миофибробластов. На сегодняшний день научно обосновано, что

фасция представляет собой не просто пассивный футляр или соединительнотканную оболочку, а динамическую активную ткань, способную к самостоятельным медленным сокращениям. Данный процесс регулируется нейроэндокринными факторами, среди которых ключевую роль играют трансформационный фактор роста TGF- β 1 и системный адреналин. Под их воздействием миофибробласты способны менять базовое тоническое натяжение фасциальной матрицы абсолютно независимо от импульсации со стороны соматической нервной системы. Это открытие дает исчерпывающее патофизиологическое объяснение феноменам патологической жесткости, тканевого уплотнения и фиброзирования фасциальных листов при длительном эмоциональном, психосоматическом или высоком физическом стрессе.

Другой важнейший аспект обсуждаемой проблемы касается эксклюзивно высокой плотности проприоцептивной иннервации фасциальных структур. Многочисленные нейростологические исследования показывают, что концентрация механорецепторов, включая окончания Руффини, тельца Пачини, тельца Гольджи и немиелинизированные свободные нервные окончания, в глубоких и поверхностных фасциальных слоях существенно превышает их плотность непосредственно в мышечных брюшках. Это превращает фасциальную систему в крупнейший сенсорный орган тела, обеспечивающий непрерывный поток информации о напряжении, деформации и положении тканей. Таким образом, именно фасциальная сеть выступает главным субстратом проприоцепции и динамического формирования нейрофизиологической схемы тела в пространстве, определяя точность, координированность и безопасность любого двигательного акта.

ВЫВОДЫ

Проведенный комплексный теоретический и практический анализ современной функциональной, морфологической и биомеханической организации опорно-двигательного аппарата человека позволяет сформулировать глубокие и фундаментальные заключения, раскрывающие новые горизонты в понимании двигательной активности.

Мышечная система человека представляет собой не совокупность изолированных друг от друга сократительных элементов, а непрерывный, высоко интегрированный миофасциальный континуум. В рамках этой сложнейшей матричной структуры механодинамические усилия и векторы натяжения передаются нелинейно: они транслируются как традиционным продольным путем вдоль сухожильных трактов и костных рычагов, так и мощным латеральным способом через разветвленную сеть эндомизия, перимизия и эпимизия. Такая латеральная и продольная синергия обеспечивает мгновенное перераспределение нагрузок между синергистами и антагонистами, стирая границы между отдельными мышцами и объединяя их в единый функциональный орган движения.

Пространственная архитектура скелетно-мышечного аппарата подчиняется непреложным законам био-тенсегрити, объединяющим жесткие компрессионные элементы в виде костных структур с эластичными, постоянно натянутыми тензорными элементами миофасциальных меридианов и анатомических поездов. Тонко сбалансированное натяжение этих глобальных фасциальных цепей формирует уникальную пространственную стабильность человеческого тела в покое и движении, обеспечивает гравитационную резистентность и минимизирует метаболические затраты организма при локомоции за счет упругого депонирования и рекуперации кинетической энергии.

Глубокое понимание и обязательное внедрение концепции миофасциальной непрерывности в систему профильного высшего и среднего специального образования, в преподавание фундаментальной анатомии, физиологии и спортивной медицины открывают принципиально новые возможности для врачебной и реабилитационной практики. Это позволяет кардинально повысить точность топической диагностики сложных патологий опорно-двигательного аппарата, научно обосновать истинную цепочную и восходяще-нисходящую природу миофасциальных болевых синдромов, а также проектировать высокоэффективные, комплексные стратегии хирургического лечения, физической реабилитации и спортивного восстановления, ориентированные на восстановление целостности всей биомеханической цепи пациента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А. А. Системная соединительнотканная медицина. М.: Либерея, 2014. 352 с.
2. Борзяк Э. И., Добровольский Г. А., Ревазов В. С. Анатомия человека: В 2-х т. М.: Медицина, 2001. Т. 1. 544 с.
3. Иваничев Г. А. Миофасциальная боль. Казань: Магариф, 2007. 392 с.
4. Майерс Т. В. Анатомические поезда: Миофасциальные меридианы для мануальных терапевтов и специалистов по движению. М.: Эксмо, 2018. 320 с.
5. Привес М. Г., Лысенков Н. К., Бушкович В. И. Анатомия человека. СПб.: Гиппократ, 2011. 720 с.
6. Сапин М. Р., Билич Г. Л. Анатомия человека: В 3-х т. М.: Эксмо, 2012. Т. 1. 608 с.
7. Синельников Р. Д., Синельников Я. Р., Синельников А. Я. Атлас анатомии человека: В 4-х т. М.: Новая Волна, 2018. Т. 1. 344 с.
8. Huijing P. A. Epimuscular myofascial force transmission: A historical review and implications for new research. *Journal of Biomechanics*, 2009. Vol. 42, No. 1. P. 9–21.
9. Schleip R., Findley T. W., Chaitow L., Huijing P. A. *Fascia: The Tensional Network of the Human Body*. Edinburgh: Churchill Livingstone / Elsevier, 2012. 568 p.
10. Stecco C. *Functional Atlas of the Human Fascial System*. Philadelphia: Churchill Livingstone / Elsevier, 2015. 400 p.

REFERENCES

1. Alekseev A.A. (2014). Sistemnaya soyedinitelnotkannaya meditsina [Systemic Connective Tissue Medicine]. Moscow: Libereya Publ. 352 p.
2. Borzyak E.I., Dobrovolsky G.A., Revazov V.S. (2001). Anatomiya cheloveka [Human Anatomy]. In 2 vols. Moscow: Meditsina Publ. Vol. 1. 544 p.
3. Ivanichev G.A. (2007). Miofastsialnaya bol [Myofascial Pain]. Kazan: Magarif Publ. 392 p.
4. Myers T.W. (2018). Anatomicheskie poezda: Miofastsialnye meridiany dlya manualnykh terapevtov i spetsialistov po dvizheniyu [Anatomy Trains: Myofascial Meridians for Manual and Movement Therapists]. Moscow: Eksmo Publ. 320 p.
5. Prives M.G., Lysenkov N.K., Bushkovich V.I. (2011). Anatomiya cheloveka [Human Anatomy]. Saint Petersburg: Hippokrat Publ. 720 p.
6. Sapin M.R., Bilich G.L. (2012). Anatomiya cheloveka [Human Anatomy]. In 3 vols. Moscow: Eksmo Publ. Vol. 1. 608 p.
7. Sinelnikov R.D., Sinelnikov Ya.R., Sinelnikov A.Ya. (2018). Atlas anatomii cheloveka [Atlas of Human Anatomy]. In 4 vols. Moscow: Novaya Volna Publ. Vol. 1. 344 p.
8. Huijing P.A. (2009). Epimuscular myofascial force transmission: A historical review and implications for new research. Journal of Biomechanics, vol. 42, no. 1, pp. 9–21.
9. Schleip R., Findley T.W., Chaitow L., Huijing P.A. (2012). Fascia: The Tensional Network of the Human Body. Edinburgh: Churchill Livingstone / Elsevier. 568 p.
10. Stecco C. (2015). Functional Atlas of the Human Fascial System. Philadelphia: Churchill Livingstone / Elsevier. 400 p.