

Научная статья

УДК 611.728.6:612.086

doi:10.18499/2225-7357-2025-14-2-38-45

3.3.1 – анатомия человека



Особенности микроскопического строения энтезов пятой плюсневой кости мужчин первого периода зрелого возраста

Д. В. Дуков¹, А. Н. Русских¹, А. Д. Шабоха¹✉, Ф. В. Алябьев¹, В. А. Хоржевский², А. Ф. Макаров³, Б. И. Яремин^{4, 5}

¹Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого, Красноярск, Россия

²Красноярское краевое патолого-анатомическое бюро, Красноярск, Россия

³Красноярский центр пластической хирургии, Красноярск, Россия

⁴Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

⁵Российский национальный медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва, Россия

Аннотация. Цель исследования – изучить особенности микроскопического строения энтезов V плюсневой кости у мужчин первого периода зрелого возраста. **Материал и методы.** Изучены особенности микроскопического строения энтезов пятой плюсневой кости обеих стоп трупов 56 мужчин в возрасте 21–35 лет. Гистологически исследованы образцы тканей мест типичного прикрепления связок и сухожилия к головке и основанию пятой плюсневой кости, окрашенных по методике К. Массона. Посредством световой микроскопии отсканированных гистопограмм проводилось описание и измерение толщины зон энтезов с анализом расположения коллагеновых волокон и подсчетом их процентного содержания с окружающими образованиями. **Результаты.** Установлено, что соединения всех четырех связок и сухожилия пятой плюсневой кости по своей гистологической структуре являются фиброзно-хрящевыми энтезами с четырьмя отдельными зонами, структурно образующими непрерывный переход от соединительной ткани к костной. В результате исследования выявлено преобладание толщины зоны обызвествленного волокнистого хряща над толщиной зоны минерализованного волокнистого хряща энтезов сухожилия короткой малоберцовой мышцы, плюсневой подошвенной и коллатеральной связок с параллельным расположением извитых коллагеновых волокон и единичными зрелыми хондроцитами и их изогенными группами. Установлено максимальное значение толщины зоны обызвествленного волокнистого хряща энтеза глубокой поперечной плюсневой связки с прямым расположением коллагеновых волокон и множеством изогенных групп хондроцитов. Определена минимальная толщина зоны обызвествленного волокнистого хряща комплекса предплюсно-плюсневой и длинной подошвенной связок с хаотично-переплетенными коллагеновыми волокнами и множеством зрелых хондроцитов и их изогенных групп. Зарегистрированы зубчатые базофильные линии практически всех энтезов с преобладаем толщины и амплитуды зубцов линии у соединения сухожилия короткой малоберцовой мышцы, в сочетании со сглаженной и тонкой базофильной линией энтеза глубокой поперечной плюсневой связки. Установлено уменьшение доли коллагеновых волокон от обызвествленной зоны до минерализованной у энтезов сухожилия короткой малоберцовой мышцы и комплекса предплюсно-плюсневой и длинной подошвенных связок; увеличение доли коллагена в сторону минерализованной зоны у энтеза глубокой поперечной плюсневой связки и одинаковая его доля у энтезов плюсневой подошвенной и коллатеральной связок. **Заключение.** Проведенное исследование с обнаружением особенностей микроструктуры энтезов V плюсневой кости позволяет допустить существование возрастных, половых и конституциональных закономерностей их строения и предрасположенности к механической травме.

Ключевые слова: мужчины; плюсневые кости; сухожилия; коллаген; фиброзно-хрящевые энтезы

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дуков Д.В., Русских А.Н., Шабоха А.Д., Алябьев Ф.В., Хоржевский В.А., Макаров А.Ф., Яремин Б.И. Особенности микроскопического строения энтезов пятой плюсневой кости мужчин первого периода зрелого возраста // Журнал анатомии и гистопатологии. 2025. Т. 14, №2. С. 38–45. <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2025-14-2-38-45>

Original article

Microscopic Structural Features of Fifth Metatarsal Bone Enteses in Men During the First Mature Age Period

D. V. Dukov¹, A. N. Russkikh¹, A. D. Shabokha¹✉, F. V. Alyab'ev¹, V. A. Khorzhevskii², A. F. Makarov³, B. I. Yaremin^{4,5}

¹V.F. Voyno-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk, Russia

²Krasnoyarsk Regional Bureau of Pathological Anatomy, Krasnoyarsk, Russia

³Krasnoyarsk Center for Plastic Surgery, Krasnoyarsk, Russia

⁴Sklifosovsky Research Institute For Emergency Medicine, Moscow

⁵N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

Abstract. The aim was to investigate the microscopic structural features of the enteses of the fifth metatarsal bone in men of the first mature age period. **Material and methods.** The study examined the microscopic features of the enteses of the fifth metatarsal bones bilaterally in 56 cadaveric specimens from males aged 21–35 years. Tissue specimens from the typical ligament and tendon attachment sites at the head and base of the fifth metatarsal bone were histologically analyzed using Masson's trichrome staining. The thickness of entesis zones was measured, and the organization of collagen fibers was analyzed with quantification of their percentage content in relation to adjacent structures using light microscopy of scanned histotopograms. **Results.** The study revealed that all four ligamentous and tendinous connections of the fifth metatarsal demonstrate fibrocartilaginous enteses comprising four distinct zones that structurally form a continuous transition from soft connective tissue to osseous tissue. Results showed greater thickness of the calcified versus mineralized fibrocartilage zones in the peroneus brevis tendon, plantar metatarsal, and collateral ligament enteses, featuring parallel wavy collagen fibers with scattered mature chondrocytes and isogenous groups. The maximal thickness of the calcified fibrocartilage zone was identified in the deep transverse metatarsal ligament entesis, characterized by linearly oriented collagen fibers and abundant chondrocyte isogenous groups. The study determined the minimal thickness of the calcified fibrocartilage zone in the tarsometatarsal and long plantar ligament entesis complex, exhibiting a disordered arrangement of collagen fibers and numerous mature chondrocytes organized in isogenous groups. Basophilic demarcation lines with serrated morphology in virtually all enteses was documented. The most pronounced serrations (in both thickness and amplitude) were registered at the peroneus brevis tendon attachment site, while the deep transverse metatarsal ligament exhibited a characteristically attenuated and flattened basophilic line. A decreasing collagen gradient from calcified to mineralized zones was established in the peroneus brevis tendon and tarsometatarsal-long plantar ligament enteses, while the deep transverse metatarsal ligament exhibited an inverse pattern. The plantar metatarsal and collateral ligament enteses maintained equivalent collagen proportions across zones. **Conclusion.** The investigation of microarchitectural characteristics in fifth metatarsal enteses provides evidence supporting the probable existence of distinct structural patterns influenced by age, sex, and body constitution, which may correlate with differential susceptibility to mechanical trauma.

Keywords: males; metatarsal bones; tendons; collagen; fibrocartilaginous enteses

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interests.

For citation: Dukov D.V., Russkikh A.N., Shabokha A.D., Alyab'ev F.V., Khorzhevskii V.A., Makarov A.F., Yaremin B.I. Microscopic structural features of fifth metatarsal bone enteses in men during the first mature age period. Journal of Anatomy and Histopathology. 2025. V. 14, №2. P. 38–45. <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2025-14-2-38-45>

Введение

Энтез (остеотендинозное или остеолигаментозное соединение) – место прикрепления связки или сухожилия к кости, основными функциями которого является крепление, а также передача и рассеивание напряжения [3, 4, 5, 6]. Именно концентрация напряжения на границе раздела кости и связки/сухожилия делает энтезы уязвимыми к острым травмам при чрезмерных нагрузках [8]. Однако значимость энтезов связана не только с этим, поскольку они также являются основным органом-мишенью при ряде ревматических состояний, известных как серонегативные спондилоартропатии, наиболее известным из которых является анкилозирующий спондилоартрит [7, 10, 11, 12, 13]. Интересно, что не все энтезы одинаково поражаются, и одна из теорий, объясняющих дифференциальный эффект, заключается в том, что воспалительные

энтезопатии, наиболее типичны для энтезов, подвергшихся именно механической травме [8, 9, 18].

В данной работе представлены сведения об особенностях микроскопического строения энтезисов пятой плюсневой кости человека, отличающейся от других костей плюсны биомеханикой движения, механической нагрузкой, и, следовательно, целом рядом ортопедических заболеваний и энтезопатий. Основу соединения связки или сухожилия с костью составляют коллагеновые волокна, скелет любого соединения связки/сухожилия с костью – основа, позволяющая противостоять чрезмерному механическому воздействию. Увеличение межклеточного матрикса, количества изогенных групп и диаметра хондроцитов служит проявлением дегенеративных изменений, обуславливающих предрасположенность к травмам. В этой связи целью настоящего исследования явилось изучение особен-

ностей микроскопического строения энтезов V плюсневой кости человека.

Материал и методы исследования

Место и время проведения исследования. Исследование проведено на базе кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии ФГБОУ ВО КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого Минздрава России и отдела экспертизы трупов с гистологическим отделением Красноярского краевого бюро судебно-медицинской экспертизы в период с 2020 по 2025 гг.

Характеристика объекта исследования. Изучали энтезы головки и основания V плюсневой кости обеих стоп, полученных при аутопсии 56 мужчин-европеоидов в возрасте от 21 до 35 лет, умерших от причин, не связанных с патологией опорно-двигательного аппарата, с быстрым темпом умирания и давностью констатации смерти не более 24 ч, а так же при жизни не имевших заболеваний опорно-двигательного аппарата, в том числе стопы.

Критерии включения – отсутствие каких-либо дегенеративно-дистрофических, а также воспалительных изменений со стороны соединения связки/сухожилия с костью [16, 17, 19]. Критерии исключения – наличие каких-либо дегенеративно-дистрофических, а также воспалительных изменений со стороны соединения связки/сухожилия с костью, а также возраст моложе 21 года и старше 36 лет.

Способ формирования выборки – стратифицированный.

Дизайн исследования. Биоматериал забирали с обеих сторон единым блоком, включающим кость с мягкими тканями.

Методы. Материал фиксировали стандартным способом в забуференном 10% растворе нейтрального формалина. Фрагменты V плюсневой кости в области головки и основания после полчасовой промывки в проточной воде подвергали декальциации при комнатной температуре. Материал помещали в кассеты с декальцинатором на основе динатриевой соли ЭДТА. Объем декальцинирующего раствора не менее, чем в 50 раз превышал объем биоматериала. Окончание декальцинации устанавливали пробой с прокалыванием тонкой иглой [2]. После декальцинации образцов после стандартной гистологической проводки готовили парафиновые блоки. На ротационном микротоме во фронтальной плоскости из блоков готовили гистотопограммы. Были изготовлены микропрепараты V плюсневой кости с ее связочным аппаратом на уровне головки и основания – мест типичного прикрепления связок и сухожилия. В работе использована классификация гистологической структуры энтезов, основанной на типе ткани, присутствующей в месте прикрепления – волокнистой («непрямое» соединение) либо

фиброзно-хрящевой («прямое» соединение) [8, 12, 13].

Для более четкой визуализации коллагенового волокна (верификации соединительной ткани) его пространственной ориентации и количественного анализа, а также определения зон фиброзно-хрящевой энтезы применяли метод трихромного окрашивания образцов ткани по К. Массону.

Окрашенные гистологические срезы сканировали на цифровом сканере микропрепаратов Pannoramic 250 Flash II 68 3DHitech (Венгрия) в автоматическом режиме при увеличении объектива $\times 40$.

Исследование изображений проведено в программе CaseViewer v.2.3 3DHitech, позволяющей проводить полную морфометрию с получением реальных размеров расстояний в метрической системе. На гистотопограммах при ув. $\times 100$ проводилось измерение толщины зон минерализованного и обызвествленного волокнистых хрящей фиброзно-хрящевой энтезы, толщины и амплитуды зубцов базофильной линии (мкм) с описанием пространственной ориентации коллагеновых волокон, а так же подсчет их процентного содержания с окружающими образованиями на единицу площади (1 мм^2) в зонах обызвествленного и минерализованного волокнистого хряща энтезы неизмененной ткани изучаемых срезов.

Уделялось внимание и описанию базофильной линии, которая представляет собой настоящий переход ткани сухожилия к кости.

Статистический анализ. В последующем осуществлялся сравнительный анализ микроструктурных особенностей всех 5 энтезов V плюсневой кости билатерально всех исследуемых объектов с использованием программ SPSS Statistics 23,0 и Microsoft Excel. Для определения нормальности распределения выборки использовали критерий Шапиро–Уилка. Вариационные ряды количественных признаков с непараметрическим характером распределения были описаны с помощью медианы (Me) и процентилей [P25; P75]. Для определения достоверности различий использовали статистику Краскела–Уоллиса, при достоверности различий для попарного сравнения двух независимых выборок непараметрических данных использовался критерий Mann–Whitney (U-test) при критическом уровне значимости $p < 0,05$ [1].

Этическая экспертиза. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого Минздрава России (выписка №100/2020 от 23.09.2020 г.).

Результаты и их обсуждение

В результате исследования пяти энтезов головки и основания V плюсневой кости с обеих сторон у мужчин 1-го периода зрелого

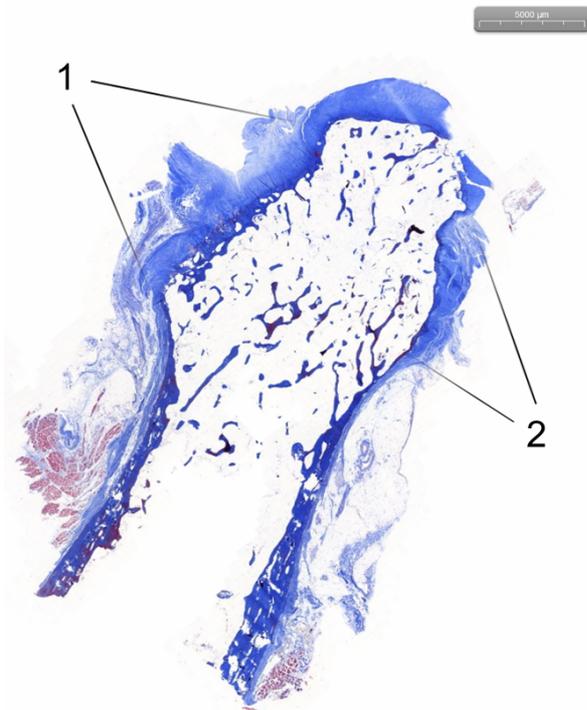


Рис. 1. Энтезы головки V плюсневой кости: 1 – глубокая поперечная плюсневая связка; 2 – коллатеральная связка. Трихромное окрашивание по К. Массону, $\times 10$.

Fig. 1. Entheses of the head of the V metatarsal bone: 1 – deep transverse metatarsal ligament; 2 – collateral ligament. Masson's trichrome staining, $\times 10$.

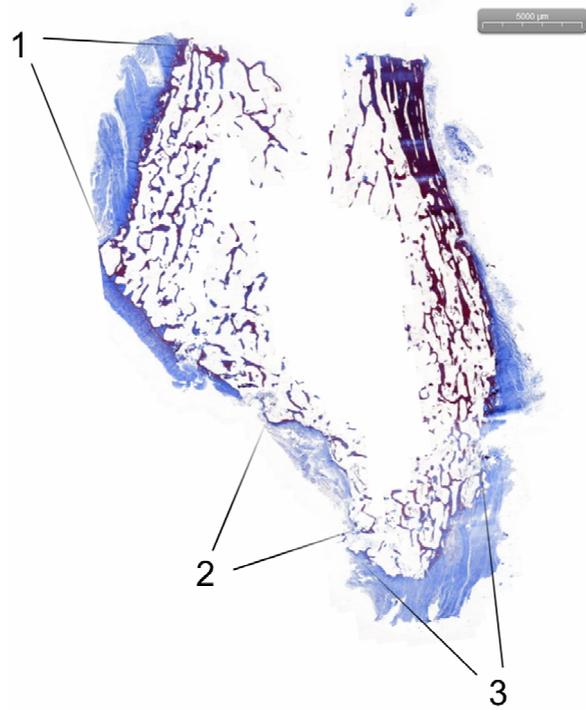


Рис. 2. Энтезы основания V плюсневой кости: 1 – плюсневая подошвенная связка; 2 – предплюсно-плюсневая и длинная подошвенные связки; 3 – сухожилие короткой малоберцовой мышцы. Трихромное окрашивание по К. Массону, $\times 10$.

Fig. 2. Entheses of the base of the V metatarsal bone: 1 – metatarsal plantar ligament; 2 – tarsometatarsal and long plantar ligaments; 3 – tendon of the peroneus brevis muscle. Masson's trichrome staining, $\times 10$.

возраста установлено, что два из них располагаются на головке кости и представляют собой остеолигаментозное соединение (рис. 1). На медиальной боковой поверхности головки – это соединение кости с глубокой поперечной плюсневой связкой, а на боковых поверхностях – с коллатеральной связкой. Остальные три энтеза располагаются на основании кости. Два из них – остеолигментозные и расположены на медиальной боковой поверхности (соединение с плюсневой связкой), и на подошвенной поверхности (с длинной и предплюсно-плюсневой подошвенными связками). Остеотендинозное соединение находится на латеральной боковой поверхности, оно образовано сухожилием короткой малоберцовой мышцы (рис. 2).

В результате исследования установлено, что места контактов всех четырех связок и сухожилия с V плюсневой костью имеют прямое соединение с ней и, соответственно, по своей микроскопической структуре являются фиброзно-хрящевыми энтезами.

На рис. 3 представлен фиброзно-хрящевой энтез сухожилия короткой малоберцовой мышцы с бутристостью V плюсневой кости. Этот энтез имеет четыре отдельные зоны, которые структурно образуют непрерывный переход от соединительной ткани к костной. Первая зона данного соединения (А) –

обогащенная фибробластами плотная оформленная соединительная ткань, тяжи коллагеновых волокон которой ориентированы преимущественно в одной плоскости. Вторая зона (В) – волокнистый хрящ без признаков обызвествления или вторичной оссификации, характеризующийся наличием множественных аваскулярных участков. Основу данной зоны составляют зрелые хондроциты, порой формирующие изогенные группы, и межклеточный коллагеновый матрикс. Третья зона (С) – минерализованный волокнистый хрящ. Это аваскулярная зона, представленная хрящевой тканью с признаками обызвествления, основную клеточную популяцию в которой составляют хондроциты и фиброциты коллагеновых пучков, ориентированных преимущественно в одной плоскости. Вторая и третья зоны отделены друг от друга «меткой прилива» (D) – базофильной линией. Четвертая зона представлена собственно костной тканью (E).

Толщина зоны обызвещенного волокнистого хряща энтеза сухожилия короткой малоберцовой мышцы составляла 440 [220; 520] мкм и была существенно больше аналогичного показателя минерализованного волокнистого хряща 188 [117; 212] мкм ($p=0,02$). Зона обызвещенного волокнистого хряща энтезов плюсневой подошвенной и коллатеральной связок характеризовалась парал-

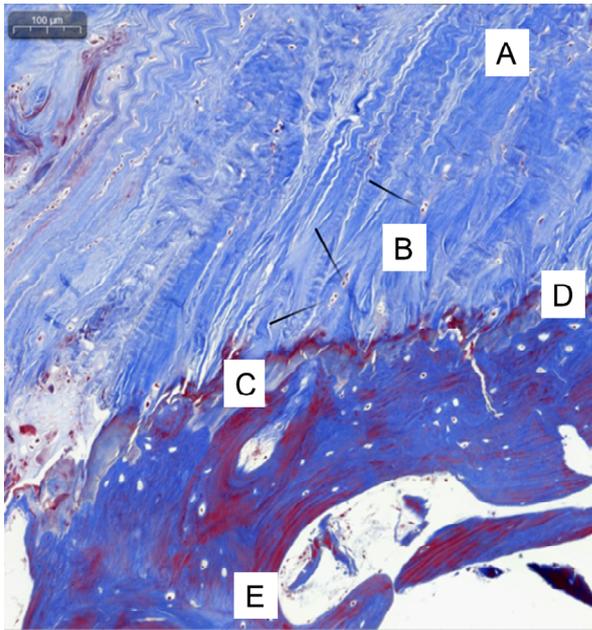


Рис. 3. Зоны фиброзно-хрящевого энтеза (сухожилие короткой малоберцовой мышцы с бугристостью V плюсневой кости). А – плотная волокнистая соединительная ткань; В – некальцинированный фиброзно-хрящевой материал с наличием изогенных групп хондроцитов – b (стрелки); С – кальцинированный фиброзно-хрящевой материал; D – базофильная линия; E – кость. Трихромное окрашивание по К. Массону, $\times 100$.

Fig. 3. Zones of the fibrocartilaginous enthesis (the tendon of the peroneus brevis muscle with the tuberosity of the fifth metatarsal bone). A – dense fibrous connective tissue; B – non-calcified fibrocartilaginous tissue with isogenous groups of chondrocytes – b (arrows); C – calcified fibrocartilaginous material; D – basophilic line; E – bone. Masson's trichrome staining, $\times 100$.

лельным ходом извитых коллагеновых волокон, наличием зрелых хондроцитов и их единичных изогенных групп (рис. 4, 5). Толщина этой зоны обоих энтезов составляла 350 [330; 380] и 220 [178; 240] мкм соответственно. Также как у энтеза сухожилия короткой малоберцовой мышцы, зона минерализованного волокнистого хряща, толщина которой у соединения плюсневой подошвенной связки составляла 125 [90; 198] мкм ($p=0,02$), а у соединения коллатеральной связки – 98 [78; 104] мкм ($p=0,02$), была меньше, чем зона обызвествленного волокнистого хряща.

Соединение глубокой поперечной плюсневой связки с V плюсневой костью характеризовалось практически прямыми параллельно расположенными коллагеновыми волокнами с множеством изогенных групп хондроцитов зоны обызвествленного волокнистого хряща и наибольшим размером (рис. 5). Толщина этой зоны составляла 712 [690; 734] мкм и в разы превосходила аналогичные показатели других сравниваемых энтезов V плюсневой кости. Толщина зоны минерализованного волокнистого хряща составляла всего лишь 95 [80; 108] мкм и была

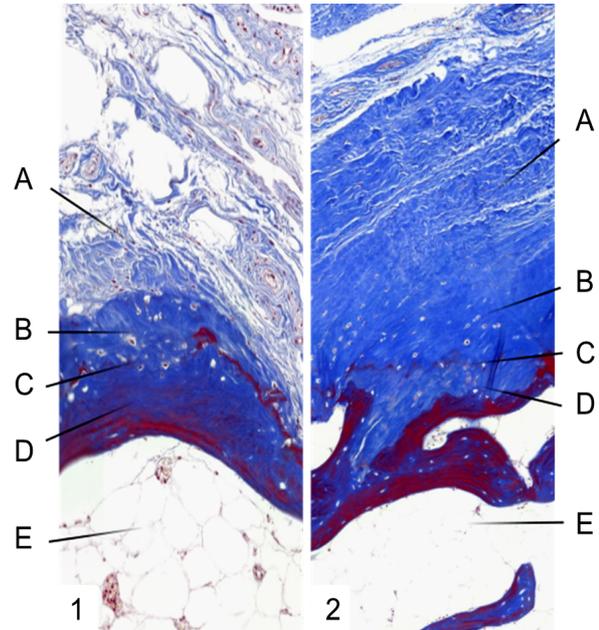


Рис. 4. Зоны фиброзно-хрящевого энтеза основания V плюсневой кости с: 1 – предплюсно-плюсневой и длинной подошвенной связками; 2 – плюсневой подошвенной связкой. А – плотная волокнистая соединительная ткань; В – некальцинированный фиброзно-хрящевой материал; С – кальцинированный фиброзно-хрящевой материал; D – базофильная линия; E – кость. Трихромное окрашивание по К. Массону, $\times 100$.

Fig. 4. Zones of fibrocartilaginous enthesis of the base of the 5th metatarsal bone with: 1 – tarsometatarsal and long plantar ligaments; 2 – metatarsal plantar ligament. A – dense fibrous connective tissue; B – non-calcified fibrocartilaginous material; C – calcified fibrocartilaginous material; D – basophilic line; E – bone. Masson's trichrome staining, $\times 100$.

статистически значимо меньше ($p=0,01$) толщины зоны обызвествленного волокнистого хряща. Волокна коллагена здесь располагались хаотично, между ними встречались единичные хондроциты.

Особой микроструктурой зон волокнистого хряща отличался энтез комплекса предплюсно-плюсневой и длинной подошвенной связок. Во-первых, хаотично переплетенные коллагеновые волокна зоны плотной оформленной соединительной ткани прослеживались и в зоне обызвествленного волокнистого хряща. Здесь же определялось множество увеличенных в размере хондроцитов и их изогенные группы (рис. 4). Во-вторых, толщина зоны обызвествленного волокнистого хряща составляла 56 [38; 64] мкм и была меньше значений толщины этой зоны других сравниваемых энтезов. Значение данного показателя уступало значению толщины зоны минерализованного волокнистого хряща (88 [76; 98] мкм; $p=0,02$), чего не наблюдалось у других энтезов.

Базофильная линия энтеза сухожилия короткой малоберцовой мышцы с V плюсневой костью имела форму зубчатой, крайне

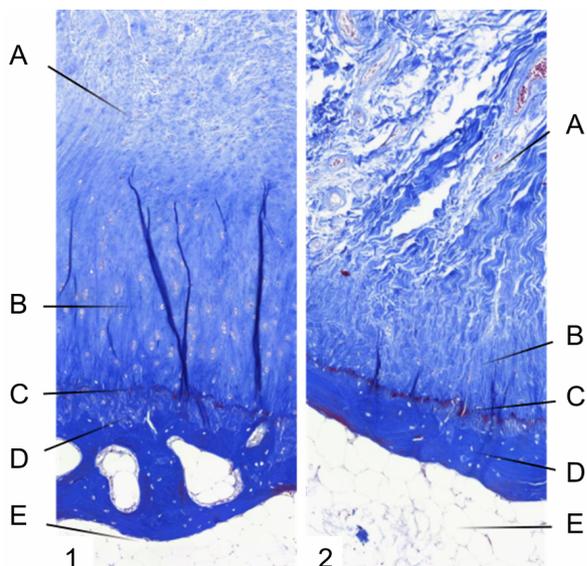


Рис. 5. Зоны фиброзно-хрящевого энтеза головки V плюсневой кости с: 1 – глубокой поперечной плюсневой связкой; 2 – коллатеральной связкой. А – плотная волокнистая соединительная ткань; В – некальцинированный фиброзно-хрящевой материал; С – кальцинированный фиброзно-хрящевой материал; D – базофильная линия; E – кость. Трихромное окрашивание по К. Массону, $\times 100$.

Fig. 5. Zones of fibrocartilaginous entheses of the head of the V metatarsal bone with: 1 – deep transverse metatarsal ligament; 2 – collateral ligament. A – dense fibrous connective tissue; B – non-calcified fibrocartilaginous material; C – calcified fibrocartilaginous material; D – basophilic line; E – bone. Masson's trichrome staining, $\times 100$.

неровной линии (рис. 3), амплитуда зубцов которой на всем протяжении соединения сухожилия с костью колебалась от 84 до 218 мкм. Толщина этой линии составляла 68 [44; 74] мкм, что статистически значимо больше ($p=0,01$) значений этого показателя других энтезов V плюсневой кости. Базофильные линии энтезов исследуемых связок с V плюсневой костью имели менее выраженные зубцы (рис. 4, 5). Амплитуда зубцов линий не превышала 60 мкм, а толщина в среднем составляла 18–36 мкм. Только у энтеза глубокой поперечной плюсневой связки базофильная линия была сглажена на всем протяжении соединения и обладала минимальной толщиной в 9 [7; 14] мкм ($p=0,01$) (рис. 5).

Соотношение межклеточного матрикса и коллагеновых волокон на единицу площади в зонах обызвествленного и минерализованного волокнистого хряща каждого энтеза V плюсневой кости в ряде случаев имело статистически значимые различия. Доля коллагеновых волокон соединения сухожилия короткой малоберцовой мышцы и комплекса предплюсневой-плюсневой и длинной подошвенных связок с костью статистически значимо уменьшалось от зоны обызвествленного волокнистого хряща в сторону минерализованного волокнистого хряща с 95,45 [93,50; 96,17] до 85,22 [82,50; 88,12]% ($p=0,02$) и с

96,20 [92,10; 97,40] до 74,14 [68,10; 80,16]% ($p=0,03$) соответственно. Иная картина характерна для энтеза глубокой поперечной плюсневой связки с костью. В зоне обызвествленного волокнистого хряща 77,01 [68,76; 79,56]% общего объема вещества составляли коллагеновые волокна, что было статистически значимо меньше ($p=0,03$), чем в зоне минерализованного волокнистого хряща, где доля коллагеновых волокон составляла 85,34 [81,05; 86,14]%. Процентное содержание коллагеновых волокон в зонах обызвествленного и минерализованного волокнистых хрящей энтезов плюсневой подошвенной и коллатеральной связок с костью статистически значимо не различалось, их значения составляли 92,62 [88,05; 94,15]% и 91,25 [89,14; 94,66]% соответственно ($p=0,08$). Минимальные значения доли коллагеновых волокон отмечались в зоне обызвествленного волокнистого хряща энтеза глубокой поперечной плюсневой связки и в зоне минерализованного волокнистого хряща энтеза предплюсневой и длинной подошвенной связок относительно других исследуемых энтезов.

Известными особенностями строения фиброзно-хрящевого энтеза, приводящими к дегенеративным изменениям и способствующими снижению сопротивляемости и возможности к распределению напряжения, а следовательно, его повышенной хрупкости и уязвимости к переломам являются: увеличение толщины минерализованной зоны волокнистого хряща, истончение и прямолинейность базофильной линии, параллельный ход прямо расположенных коллагеновых волокон и уменьшение их процентного содержания, появление зрелых хондроцитов и увеличение количества их изогенных групп.

Проводя параллели между вышеуказанными особенностями и найденными особенностями микроскопического строения энтезов V плюсневой кости человека можно констатировать наличие у них того или иного маркера предрасположенности к острым травмам при чрезмерных нагрузках либо ревматическим состояниям. Однако, все они, так или иначе, обладают компенсаторными возможностями, судя по особенностям микроскопического строения.

Прямое расположение коллагеновых волокон и множество изогенных групп хондроцитов в зоне обызвествленного волокнистого хряща энтеза глубокой поперечной плюсневой связки и сглаженность его базофильной линии связаны с однонаправленным напряжением в этой связке, отсутствием необходимости в его распределении, и нивелируются увеличением толщины зоны обызвествленного волокнистого хряща и доли коллагеновых волокон в зоне минерализованного волокнистого хряща.

Минимальная толщина зоны обызвествленного волокнистого хряща энтеза

комплекса предплюсно-плюсневой и длинной подошвенных связок с множеством зрелых хондроцитов и их изогенных групп и минимальной долей коллагена в зоне минерализованного волокнистого хряща компенсируется увеличением доли коллагена в зоне обызвествленного хряща, а зубчатость базофильной линии свидетельствует о прочности соединения. Хаотичность переплетения коллагеновых волокон в зонах плотной соединительной ткани и обызвествленного волокнистого хряща этого энтеза является характерным соединением одновременно двух связок в одном месте кости, что свидетельствует о разнонаправленном распределении напряжения.

Преобладание толщины зоны обызвествленного волокнистого хряща над толщиной минерализованного хряща с большей долей параллельно расположенных извитых коллагеновых волокон и единичными зрелыми хондроцитами при выраженной зубчатости базофильной линии энтезов плюсневой подошвенной, коллатеральной связок и сухожилия короткой малоберцовой мышцы подтверждает их прочность и структурную готовность противостоять чрезмерной физической нагрузке.

Однако, проведенное исследование с обнаружением особенностей микроструктуры энтезов V плюсневой кости не учитывало возможные половые, возрастные и конституциональные закономерности их строения и предрасположенности к механической травме. Что, безусловно, требует дальнейшего комплексного изучения данной области.

Заключение

Соединения четырех связок и сухожилия с V плюсневой костью по своей гистологической структуре являются фиброзно-хрящевыми энтезами с четырьмя отдельными зонами, которые обладают следующими особенностями. Преобладание толщины зоны обызвествленного волокнистого хряща над толщиной зоны минерализованного волокнистого хряща характерно для энтезов сухожилия короткой малоберцовой мышцы, плюсневой подошвенной и коллатеральной связок с параллельным расположением извитых коллагеновых волокон и единичными зрелыми хондроцитами и их изогенными группами. Максимальное значение толщины зоны обызвествленного волокнистого хряща характерно для энтеза глубокой поперечной плюсневой связки с прямым расположением коллагеновых волокон и множеством изогенных групп хондроцитов. Минимальная толщина зоны обызвествленного волокнистого хряща характерна для комплекса предплюсно-плюсневой и длинной подошвенной связок с хаотично-переплетенными коллагеновыми волокнами и множеством зрелых хондроцитов и их изогенных групп. Зубчатые базофильные линии с

преобладаем толщины и амплитуды зубцов линии характерны для соединения сухожилия короткой малоберцовой мышцы. При этом базофильная линия энтеза глубокой поперечной плюсневой связки сглаженная и тонкая. Уменьшение доли коллагеновых волокон от обызвествленной до минерализованной зоны характерно для энтезов сухожилия короткой малоберцовой мышцы и комплекса предплюсно-плюсневой и длинной подошвенных связок, а увеличение доли коллагена в сторону минерализованной зоны свойственно энтезу глубокой поперечной плюсневой связки и одинаковая его доля у энтезов плюсневой подошвенной и коллатеральной связок.

Список источников / References

1. Баврина А.П. Современные правила использования методов описательной статистики в медико-биологических исследованиях. Медицинский альманах. 2020;63(2):95-105. Bavrina A.P. Sovremennyye pravila ispol'zovaniya metodov opisatel'noi statistiki v medikobio-logicheskikh issledovaniyakh. Meditsinskii al'manakh. 2020;63(2):95-105. (In Russ.).
2. Пешков М.В. Декальцинация в гистологической лабораторной технике. Архив патологии. 2012;6:43-45. Peshkov M.V. Dekal'tsinatsiya v gistologicheskoi laboratornoi tekhnike. Arkhiv patologii. 2012;6:43-45. (In Russ.).
3. Турчин Е.А., Григоровская А.В., Коструб А.А., Лябах А.А. Гистологические особенности строения плантарной пластинки капсулы плюснефалангового сустава. Травма. 2019;20(3):49-53. doi:10.22141/1608-1706.3.20.2019.172093. Turchin E.A., Grigorovskaya A.V., Kostrub A.A., Lyabakh A.A. Gistologicheskie osobennosti stroeniya plantarnoi plastinki kapsuly plusnefalangovogo sustava. Travma. 2019;20(3):49-53. (In Russ.). doi:10.22141/1608-1706.3.20.2019.172093
4. Турчин Е.А., Григоровская А.В., Коструб А.А., Лябах А.А. Гистологические изменения энтеза подошвенного аponeвроза при подошвенном фасциите. Травма. 2019;20(5):41-45. doi:10.22141/1608-1706.5.20.2019.185554. Turchin E.A., Grigorovskaya A.V., Kostrub A.A., Lyabakh A.A. Gistologicheskie izmeneniya enteza podoshvennogo aponevroza pri podoshvennom fastsiite. Travma. 2019;20(5):41-45. (In Russ.). doi:10.22141/1608-1706.5.20.2019.185554
5. Apostolakis J, Durant TJ, Dwyer CR, Russell RP, Weinreb JH, Alae F, Beitzel K, McCarthy MB, Cote MP, Mazzocca AD. The enthesis: a review of the tendon-to-bone insertion. *Muscles Ligaments Tendons J.* 2014 Nov 17;4(3):333-42.
6. Aydin SZ, Deodhar A. Are all entheses the same? *Rheumatology (Oxford).* 2024 Jan 4;63(1):1-2. doi:10.1093/rheumatology/kead288
7. Becker S.K. Osteoarthritis, entheses, and long bone cross-sectional geometry in the Andes: Usage, history, and future directions. *Int J Paleopathol.* 2020;29:45-53. doi:10.1016/j.ijpp.2019.08.005
8. Benjamin M, Kaiser E, Milz S. Structure-function relationships in tendons: a review. *J. Anat.*

- 2008;212(3):211-228. doi:10.1111/j.1469-7580.2008.00864.x
9. Benjamin M., McGonagle D. Entheses: tendon and liga-ment attachment sites. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2009;19:520-527. doi:10.1111/j.1600-0838.2009.00906.x
 10. Bryceland JK, Powell AJ, Nunn T. Knee Menisci. *Cartilage.* 2017;8(2):99-104. doi:10.1177/1947603516654945
 11. Coronel L, Mandl P, Miguel-Pérez M, Blasi J, D'Agostino MA, Martinoli C, Bong DA, Möller I. Characterization of digital annular pulleys and their entheses: an ultrasonographic study with anatomical and histological correlations. *Rheumatology (Oxford).* 2024 Nov 1;63(11):3050-3055. doi:10.1093/rheumatology/kead614
 12. Coughlin M.J., Baumfeld D.S., Nery C. Second MTP joint instability: grading of the deformity and description of surgical repair of capsular insufficiency. *Phys. Sportsmed.* 2011;39(3):132-41. doi:10.3810/psm.2011.09.1929
 13. Deland JT, Lee KT, Sobel M, DiCarlo EF. Anatomy of the plantar plate and its attachments in the lesser metatarsal phalangeal joint. *Foot Ankle Int.* 1995;16(8):480-6. doi:10.1177/107110079501600804
 14. Doty JF, Coughlin MJ. Metatarsophalangeal joint instability of the lesser toes and plantar plate defi-ciency. *J. Am. Acad. Orthop. Surg.* 2014;22(4):235-245. doi:10.5435/JAAOS-22-04-235
 15. Finney FT, McPheters A, Singer NV, Scott JC, Jep-sen KJ, Holmes JR, Talusan PG. Microvasculature of the Plantar Plate Using Nano-Computed Tomo-graphy. *Foot Ankle Int.* 2019 Apr;40(4):457-464. doi:10.1177/1071100718816292
 16. Johnston RB 3rd, Smith J, Daniels T. The plantar plate of the lesser toes: an anatomical study in human cadavers. *Foot Ankle Int.* 1994 May;15(5):276-82. doi:10.1177/107110079401500508
 17. Maas NM, van der Grinten M, Brammer WM, Klein-rensink GJ. Metatarsophalangeal joint stability: a systematic review on the plantar plate of the lesser toes. *J Foot Ankle Res.* 2016 Aug 19;9:32. doi:10.1186/s13047-016-0165-2
 18. Nery C, Umans H, Baumfeld D. Etiology, Clinical Assessment, and Surgical Repair of Plantar Plate Tears. *Seminars in Musculoskeletal Radiology.* 2016;20(2):204-212. doi:10.1055/s-0036-1581114
 19. Umans H, Srinivasan R, Elsinger E, Wilde GE. MRI of lesser metatarsophalangeal joint plantar plate tears and associated adjacent interspace le-sions. *Skeletal Radiol.* 2014;43(10):1361-1368. doi:10.1007/s00256-014-1920-8

Информация об авторах

Дуков Денис Владимирович – соискатель кафедры опера-тивной хирургии и топографической анатомии; Краснояр-ский государственный медицинский университет им. проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого; denis_garant@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6002-0009>
 SPIN 5516-5490

Русских Андрей Николаевич – д-р. мед. наук, доцент, зав. кафедрой оперативной хирургии и топографической ана-томии; Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого; chegevara-84@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2548-8044>
 SPIN 5503-4014

Шабиха Анна Дмитриевна – канд. мед. наук, доцент ка-федры оперативной хирургии и топографической анато-мии; Красноярский государственный медицинский уни-верситет им. проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого; ул. Партизана Железняка, 1, Красноярск, 660022; tat_yak@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3462-962X>
 SPIN 5648-7931

Алябьев Федор Валерьевич – д-р. мед. наук, профессор, зав. кафедрой судебной медицины ИПО; Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого; alfedval@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4438-1717>
 SPIN 2995-4963

Хоржевский Владимир Алексеевич – канд. мед. наук, зам. начальника по патолого-анатомической работе; Красно-ярское краевое патолого-анатомическое бюро; vladpatholog@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9196-7246>
 SPIN 2122-7315

Макаров Александр Федорович – канд. мед. наук, врач травматолог-ортопед; Красноярский центр пластической хирургии; afmakaroff@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-6190-049X>
 SPIN 4395-8273

Яремин Борис Иванович – канд. мед. наук, доцент кафед-ры трансплантологии и искусственных органов; Россий-ский национальный медицинский университет им. Н.И. Пирогова; boris@yarem.in
<https://orcid.org/0000-000105889-8675>
 SPIN 4034-2014

Information about the authors

Denis V. Dukov – Applicant for the Department of Operative Surgery and Topographic Anatomy; V.F. Voyno-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University; denis_garant@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6002-0009>
 SPIN 5516-5490

Andrei N. Russkikh – Doct. Sci. (Med.), Associate Professor, Head of Department of Operative Surgery and Topographic Anatomy; V.F. Voyno-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University; chegevara-84@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2548-8044>
 SPIN 5503-4014

Anna D. Shabokha – Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of Department of Operative Surgery and Topographic Anatomy; V.F. Voyno-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University; ul. Partizana Zheleznyaka, 1, Krasnoyarsk, 660022 tat_yak@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3462-962X>
 SPIN 5648-7931

Fedor V. Alyab'ev – Doct. Sci. (Med.), Professor, Head of Forensic Medicine Department; V.F. Voyno-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University; alfedval@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4438-1717>
 SPIN 2995-4963

Vladimir A. Khorzhevskii – Cand. Sci. (Med.), Deputy Chief for Anatomic Pathology Services; Krasnoyarsk Regional Bureau of Pathological Anatomy; vladpatholog@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9196-7246>
 SPIN 2122-7315

Aleksandr F. Makarov – Cand. Sci. (Med.), traumatologist-orthopedist; Krasnoyarsk Center for Plastic Surgery; afmakaroff@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-6190-049X>
 SPIN 4395-8273

Boris I. Yaremin – Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of Transplantology and Artificial Organs Department; N.I. Pi-rogov Russian National Research Medical University; boris@yarem.in
<https://orcid.org/0000-000105889-8675>
 SPIN 4034-2014