

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ МОДИФИКАТОРЫ, КАК ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ ТРЕХПЛОСКОСТНЫХ ПЕРЕЛОМОВ И ПЕРЕЛОМОВ TILLAUX У ДЕТЕЙ

Агафонова А.А.*¹, Дорохин А.И.¹, Крупаткин А.И.¹,
Худик В.И.², Карпович Н.И.³, Пиманчев О.В.⁴

DOI: 10.25881/20728255_2024_19_1_34

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова», Москва

² ГБУЗ «Детская городская клиническая больница им. З.А. Башляевой», Москва

³ ФГАУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва

⁴ ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова», Москва

Резюме. Обоснование: большую проблему в диагностике и выборе оптимального метода лечения представляют переломы Tillaux и трёхплоскостные переломы ввиду многообразия форм и сложности визуализации фрагментов перелома на стандартных рентгенограммах. КТ не может являться скрининговым исследованием повреждённой области голеностопного сустава ввиду высокой лучевой нагрузки и ограниченной доступности на этапе амбулаторного звена. В то же время, УЗИ является безопасным, доступным методом, не требует транспортировки пациента, позволяет оценивать повреждение в режиме реального времени. Для оценки восстановления микроциркуляторной активности в области травмы возможно применение неинвазивных методов исследования регионарного кровообращения.

Цель: разработка ультразвуковых модификаторов переломов Tillaux и трёхплоскостных переломов дистального отдела костей голени у детей с оценкой микроциркуляторной активности в области травмы в послеоперационном периоде.

Методы: проведено проспективное исследование открытой когорты пациентов в возрасте от 11 до 14 лет с трёхплоскостными переломами и переломами Tillaux. Общее количество пациентов 70 человек. Всем пациентом на этапе предоперационного планирования было выполнено УЗИ голеностопного сустава и КТ, при подозрении на наличии недопустимого смещения или ротации отломка. Механизм травмы оценивался по классификации Lauge-Hansen. Для оценки темпа регенераторного процесса был применен метод лазерной доплеровской флоуметрии в сроке от 4 до 6 недель. Темп регенераторного процесса был оценен у 20 пациентов.

Результаты: при статистическом подсчете нормальных и относительных показателей вариации данные совокупности имели критерии однородности с малой вариацией. Были выделены следующие ультразвуковые модификаторы повреждений: изолированный двухфрагментарный трёхплоскостной перелом с интактной или частично повреждённой передней порцией дистального межберцового синдесмоза, изолированный перелом Tillaux с интактной или повреждённой передней порцией дистального межберцового синдесмоза, трех- и четырехфрагментарный трёхплоскостной перелом с частичным повреждением или разрывом передней порции дистального межберцового синдесмоза, перелом Tillaux с ипсилатеральным переломом малоберцовой кости, осложнённый частичным или полным разрывом дистального межберцового синдесмоза, трёхплоскостной перелом с ипсилатеральным переломом малоберцовой кости, осложнённый частичным или полным разрывом дистального межберцового синдесмоза.

Заключение: известные классификационные характеристики типичных переломов были дополнены информацией о вероятном повреждении мягкотканых структур, определяющих тактику хирургического вмешательства. Метод лазерной доплеровской флоуметрии позволил оценить микроциркуляторную активность области травмы в послеоперационном периоде.

Ключевые слова: ультрасонография, перелом области голеностопного сустава, перелом Tillaux, дети, лазерная доплеровская флоуметрия.

ULTRASOUND MODIFIERS AS A DIAGNOSTIC CONCEPTION FOR TRIPLANE AND TILLAUX FRACTURES IN CHILDREN

Agafonova A.A.*¹, Dorokhin A.I.¹, Krupatkin A.I.¹,
Khudik V.I.², Karpovich N.I.³, Pimanchev O.V.⁴

¹ Priorov Central Institute for Trauma and Orthopedics, Moscow, Russian Federation

² Moscow's Healthcare Department Children Hospital of Z.A. Bashlyayeva, Moscow, Russian Federation

³ RUDN University, Moscow

⁴ Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow

Abstract. Background: The greatest challenge in diagnosis and selection of the optimal treatment method are Tillaux and triplane fractures. Computed tomography cannot be a screening test for ankle injuries due to the high radiation exposure and limited availability on an outpatient basis. Sonographic examination is a safety method, does not require patient transportation, and allows damage in real time. Non-invasive methods are used to study regional blood supply.

Aims: Ultrasonic modifiers developed for Tillaux and triplane fractures of the distal tibia in children with assessment of microcirculatory activity in the area of injury in the postoperative period.

Materials and methods: We performed a prospective, open-label study of patients aged 11 to 14 years with triplane and Tillaux fractures. The total number of patients is 70 people. Ultrasound examination of the ankle joint was performed in all patients. The mechanism of injury was assessed according to the Lauge-Hansen classification. Laser Doppler flowmetry method was used over a period of 4 to 6 weeks. The rate of the regenerative process was assessed in 20 patients.

Results: These populations had criteria of homogeneity with little variation. The following ultrasonic damage modifiers were identified: isolated two-part triplane fracture with an intact or partially damaged anterior part of the distal tibiofibular syndesmosis, isolated Tillaux fracture with an intact or damaged anterior part of the distal tibiofibular syndesmosis, three- and four-part triplane fracture with partial damage or rupture of the anterior part of the distal tibiofibular syndesmosis, Tillaux fracture with an ipsilateral fracture of the fibula, complicated by a partial or complete rupture of the distal tibiofibular syndesmosis, a triplane fracture with an ipsilateral fracture of the fibula, complicated by a partial or complete rupture of the distal tibiofibular syndesmosis.

Conclusions: The known classification characteristics of typical fractures are supplemented by damage to soft tissue structures. The laser Doppler flowmetry method made it possible to assess the microcirculatory activity of the injury in the postoperative period.

Keywords: ultrasonography, ankle fracture, Tillaux fracture, child, laser Doppler flowmetry.

* e-mail: nastyaloseva@yandex.ru

Обоснование

Переломы, проходящие через зону роста у детей, встречаются в 30% случаях, среди которых 11% приходится на повреждение дистального метаэпифиза костей голени. Наибольшую проблему в диагностике и выборе оптимального метода лечения представляют переломы Tillaux и трёхплоскостные переломы [1]. Переломы Tillaux составляют 2,9–6,7% в структуре переломов дистального отдела костей голени и возникают в среднем в возрасте 13 лет. В результате супинационно-эверсионного механизма травмы происходит отрыв переднелатерального бугорка Шарпэ эпифиза большеберцовой кости и повреждается передняя большеберцово-малоберцовая связка [2].

Трёхплоскостные переломы составляют 5% всех случаев переломов области голеностопного сустава у детей. Термин «трёхплоскостной» описывает наличие трех различных ориентаций линии перелома в дистальном отделе большеберцовой кости [3]. Трёхплоскостные переломы подразделяют на 2-, 3- и 4-х фрагментарные переломы по классификации Rarağız [4].

Переломы Tillaux нередко пропускаются в амбулаторной практике и диагностируются, как дисторсия голеностопного сустава, ввиду отсутствия рентгенологического подтверждения перелома. Переломы с пронационно-эверсионным и супинационно-эверсионным механизмами травмы с ипсилатеральным переломом малоберцовой кости могут быть пропущены на стандартных рентгенограммах голеностопного сустава, аналогично пропуску перелома Maisonneuve в условиях травмы лодыжек у взрослых [5].

Таким образом, для постановки точного диагноза пациентам с высоким риском должна быть выполнена соответствующая визуализация.

КТ не может являться скрининговым исследованием повреждений области голеностопного сустава, ввиду высокой лучевой нагрузки и ограниченной доступности в амбулаторном звене. В то же время, УЗИ является безопасным, доступным методом диагностики, не требует транспортировки пациента, позволяет оценивать повреждение в режиме реального времени. Кроме того, метод УЗИ при верификации повреждения передней большеберцово-малоберцовой связки имеет чувствительность 66%, специфичность 91%, прогностическую ценность положительного результата 86%, что свидетельствует о его высокой эффективности [6].

При неправильно выбранной тактике лечения возможно возникновение следующих осложнений: неправильное сращение, остеонекроз дистального эпифиза большеберцовой кости, артрит с ранним началом и преждевременное закрытие зоны роста [5; 7]. Будущие операции не исправят предотвратимые осложнения, вызванные отсутствием диагноза.

Восстановление микроциркуляторной активности в области травмы является одним из ведущих факторов регенераторного процесса в костной ткани, ввиду прямой зависимости процессов остеогенеза и ангиогенеза. Для

объективной оценки эффективности методов лечения в зависимости от степени смещения отломков и тяжести перелома, помимо оценки клинического состояния пациента возможно применение неинвазивных методов исследования регионарного кровообращения. Наиболее доступными являются методы использующие оптические системы ближнего инфракрасного диапазона, такие как лазерная доплеровская флуометрия, спектроскопия в ближнем инфракрасном диапазоне, фотоплетизмография [8].

Цель

Цель исследования: разработка ультразвуковых модификаторов переломов Tillaux и трёхплоскостных переломов дистального отдела костей голени у детей с оценкой микроциркуляторной активности области травмы в послеоперационном периоде.

Дизайн исследования

Для создания ультразвуковых модификаторов переломов Tillaux и трёхплоскостных переломов мы провели проспективное исследование открытой когорты пациентов.

Критерии соответствия

Критериями включения: пациенты в возрасте 11–14 лет, с закрывающейся зоной роста, наличие трёхплоскостного или перелома Tillaux, полученных в результате непрямого механизма травмы.

Критерии исключения: повреждения кожных покровов области травмы, наличие хронических заболеваний внутренних органов, влияющих на скорость периферического кровоснабжения, системные заболевания скелета.

Условия проведения

Все участники исследования проходили лечение на базе ГБУЗ «ДГКБ им. З.А. Башляевой» (Москва) в период с сентября 2020 по декабрь 2022 г. Лазерная доплеровская флуометрия была выполнена на базе НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова (Москва).

Описание медицинского вмешательства

Для создания ультразвуковых модификаторов внутрисуставных переломов у детей с закрывающейся зоной роста всем пациентам на этапе предоперационного планирования выполнено УЗИ и КТ, при подозрении на наличии недопустимого смещения или ротации отломка. Методом УЗИ фиксировались увеличение межберцового расстояния по сравнению с контралатеральной стороной, структура передней большеберцово-малоберцовой связки и наличие гематомы. Датчик был расположен вдоль направления передней большеберцово-малоберцовой связки по переднелатеральной поверхности голени на 1 см выше уровня голеностопного сустава. Кроме того, определялось состояние связочного аппарата: передней таранной малоберцовой связки, пяточно-малоберцовой связки. Критериями сохранности структур было: наличие

дифференцированного перистого строения, отсутствие гематомы в проекции повреждённой связки. Критериями частичного или полного разрыва связочной структуры: увеличение межберцового расстояния более чем на 2 мм по сравнению с контрлатеральной стороной, наличие гипо- и ан-эхогенных участков в структуре связки.

Механизм травмы оценивался по классификации Lauge-Hansen. Трёхплоскостные переломы подразделяли на 2-, 3- и 4-х фрагментарные переломы по классификации Raragiz.

Для оценки темпа регенераторного процесса был применен метод лазерной доплеровской флуометрии в сроке от 4 до 6 недель. Проведена оценка миогенных и эндотелиальных осцилляций в вейвлет-спектре колебаний кровотока.

Анализ в подгруппах

В открытую когорту пациентов были включены дети от 11 до 14 лет с трёхплоскостными переломами и переломами Tillaux. Общее количество пациентов составило 72 человека, среди которых 40 мальчиков и 32 девочки.

Темп регенераторного процесса был оценен у 20 пациентов, среди которых 15 мальчиков и 5 девочек.

Методы регистрации исходов

На этапе госпитализации всем пациентам выполнено рентгенологическое исследование в прямой, боковой и синдесмозной проекциях на аппарате GE Al01F. При наличии показаний для уточнения степени смещения отломков применяли метод мультиспиральной КТ на томографе Toshiba scl. Всем пациентам в предоперационном периоде выполнено ультразвуковое исследование на аппарате экспертного класса «Toshiba Aplio 500», выбран линейный датчик с частотой 13 МГц.

Исследование регионарной микроциркуляции в области травмы было выполнено с использованием лазерного анализатора ЛАКК-02 в красном и инфракрасном каналах спектра.

Этическая экспертиза

Данное исследование была одобрена локальным этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова». Протокол № 06/19 от 16.12.2019.

Статистический анализ

Результаты лазерной доплеровской флуометрии были статистически обработаны с применением прикладной программы Statistica v. 7.0 (StatSoft). При помощи критерия Shapiro–Wilk была оценена нормальность распределения выборки. Результаты представлены в табл. 1.

Результаты исследования

Анализ в подгруппах

Среди 24 пациентов с изолированными переломами Tillaux, полученных в результате супинационного механизма травмы, повреждение передней порции больше-

Табл. 1. M—средняя перфузии крови в перфузионных единицах (п.е.), Σ —среднее арифметическое, σ —среднее квадратическое отклонение, W — Shapiro-Wilk критерий

Общее количество пациентов (n = 20)	Красный канал M (M- Σ) ² п.е.	Инфракрасный канал M (M- Σ) ² п.е.
1	1,78 (0,053)	11,94(3,610)
2	1,88 (0,017)	10,22 (0,032)
3	2,45 (0,193)	9,30 (0,547)
4	2,06 (0,002)	7,65 (5,7121)
5	2,15 (0,019)	11,61 (2,465)
6	1,72 (0,084)	8,92 (1,254)
7	1,76 (0,062)	8,51 (2,341)
8	2,30 (0,084)	11,08 (1,081)
9	1,82 (0,036)	9,68 (0,129)
10	1,92 (0,008)	10,90 (0,739)
11	2,31 (0,090)	11,30 (1,587)
12	2,13 (0,014)	9,11 (0,864)
13	1,88 (0,017)	7,99(4,202)
14	2,14 (0,017)	11,23 (1,416)
15	1,71 (0,090)	9,45 (0,348)
16	1,25 (0,577)	11,60 (2,433)
17	2,34 (0,108)	8,93 (1,232)
18	2,43 (0,176)	9,31 (0,532)
19	2,01 (0,000)	11,95 (3,648)
20	2,10 (0,008)	10,21 (0,029)
Σ	2,010	10,044
σ	0,288	1,308
W	0,714	0,736

берцовой-малоберцовой связки было диагностировано только у 3-х пациентов, в остальных случаях произошёл перелом авульсионного характера, где связочная структура была полностью интактна, а бугорок Chaput по передне-латеральной поверхности был оторван.

При наличии ипсилатерального перелома малоберцовой при переломах Tillaux с супинационно-эверсионным механизмом травмы повреждение или разрыв передней порции межберцового синдесмоза было выявлено по данным УЗИ у 8 пациентов из 12.

Изолированный трёхплоскостной перелом, имеющий по классификации Raragiz два фрагмента в эпифизарной и метафизарной зоне, только у 5 пациентов из 13, сопровождался повреждением передней большеберцовой-малоберцовой связки.

В то же время при сопутствующем переломе малоберцовой кости сохранность передней порции межберцового синдесмоза наблюдалось только у 4 пациентов из 14.

В результате пронационно-эверсионного и супинационно-эверсионного механизма травмы трёх- и четырехфрагментарные трёхплоскостные переломы с повреждением большеберцовой-малоберцовой связки были диагностированы в 4 из 7 случаях.

По данным КТ фрагменты перелома были ротированы, среднее начальное смещение составило 7 мм (диапазон от 2,0 до 9,2 мм). Рентгенограммы в синдесмозной

(20 градусов внутренней ротации голени) проекции показали расширение межберцового пространства у трех пациентов. Средний интервал от травмы до операции составил 7,7 суток (диапазон от 2 до 16 суток).

В сроке от 4 до 6 недель после хирургического вмешательства у 20 пациентов методом лазерной доплеровской флуометрии был оценен и анализирован в активных тонус-формирующих и пассивных диапазонах частот стационарный кровоток, построен вейвлет-спектр колебаний кровотока. Была проведена оценка показателя М — средняя перфузия крови за период измерения в перфузионных единицах (п. е.). При анализе вейвлет-спектра основное внимание уделяли состоянию миогенных осцилляций в диапазоне 0,07–0,145 Гц, регулирующих состояние капиллярного кровотока. Для активного регенераторного процесса были характерны высокие показатели капиллярного кровотока.

Основные результаты исследования

Анализируя данные результаты, были выделены следующие ультразвуковые модификаторы повреждений: изолированный двухфрагментарный трёхплоскостной перелом с интактной или частично повреждённой передней порцией дистального межберцового синдесмоза, изолированный перелом Tillaux с интактной или повреждённой передней порцией дистального межберцового синдесмоза, трех- и четырехфрагментарный трёхплоскостной перелом с частичным повреждением или разрывом передней порции дистального межберцового синдесмоза, перелом

Tillaux с ипсилатеральным переломом малоберцовой кости, осложнённый частичным или полным разрывом дистального межберцового синдесмоза, трёхплоскостной перелом с ипсилатеральным переломом малоберцовой кости, осложнённый частичным или полным разрывом дистального межберцового синдесмоза.

У детей с закрывающейся зоной роста наиболее тяжёлым повреждением был внутрисуставной нестабильный трёхплоскостной перелом большеберцовой кости в сочетании с надсиндесмозным переломом малоберцовой кости, полученным в результате пронационно-эверсионного механизма травмы. При таком типе перелома чаще всего наблюдались повреждения дистального межберцового синдесмоза.

Клиническое наблюдение

Девочка 13 лет получила травму правого голеностопного сустава в результате непрямого пронационно-эверсионного механизма травмы. При физикальном исследовании: выраженная пастозность и локальная болезненность в передне-латеральной части голеностопного сустава. На рентгенограммах диагностирован перелом Tillaux с ипсилатеральным переломом малоберцовой кости и переломом медиальной лодыжки (Рис. 1–3).

Для уточнения степени повреждения дистального межберцового синдесмоза проведено УЗИ, по результатам которого был поставлен разрыв передней большеберцовой-малоберцовой связки (Рис. 4). Выполнено хирургическое вмешательство: полифокальный остеосинтез



Рис. 1. Прямая проекция правого голеностопного сустава.



Рис. 2. Синдесмозная проекция правого голеностопного сустава.



Рис. 3. Боковая проекция правого голеностопного сустава.

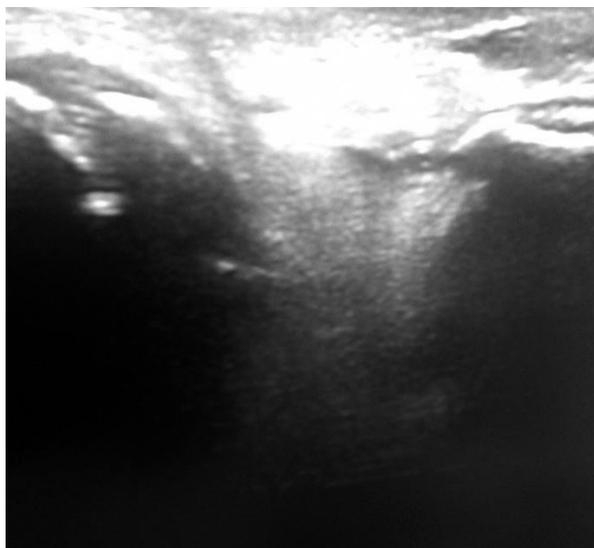


Рис. 4. Разрыв передней большеберцовой-малоберцовой связки, костный фрагмент с акустической тенью.



Рис. 5, 6. Полифокальный остеосинтез спицами, с дополнительной стабилизацией межберцового синдесмоза.

спицами с дополнительной межберцовой стабилизацией (Рис. 5) (Рис. 6). Имобилизация в течение 6 недель. На контрольных рентгенограммах полная консолидация перелома. Отдаленный результат через год: отсутствие жалоб, полное восстановление функции конечности, пациентка вернулась к спорту.

Дополнительные результаты исследования

Согласно критерию Шапиро–Уилка полученные данные доплеровской лазерной флоуметрии в красном и инфракрасном каналах имели положительный показатель нормальности распределения. При статистическом подсчете показателей вариации данные совокупности имели критерии однородности с малой вариацией, что говорит о нормальном течении регенераторных процессах в условиях эффективного остеосинтеза.

Обсуждение

Несмотря на морфологические характеристики данных повреждений, встречающихся исключительно у детей с закрывающейся зоной роста, необходимо учитывать механизм травмы и сопутствующее повреждение связочных структур. Так, по данным Binkley A. и соав. классификация Salter–Harris (1953) не может быть применена к повреждениям дистального отдела костей голени, так как данная классификация не учитывает положение стопы в момент травмы, что затрудняет диагностический поиск [5]. Классификация Dias–Tachdjian (1973) не утрачивающая актуальность и являющаяся адаптированной к педиатрической практике, классификацией Lauge–Hansen, отражает степень тяжести повреждения, но только у детей с полностью открытой зоной роста. В то же время такие переломы, как Tillaux и трехплоскостные, в силу морфологической зрелости практически закрытой зоны роста, являются самостоятельными и не поддаются классиче-

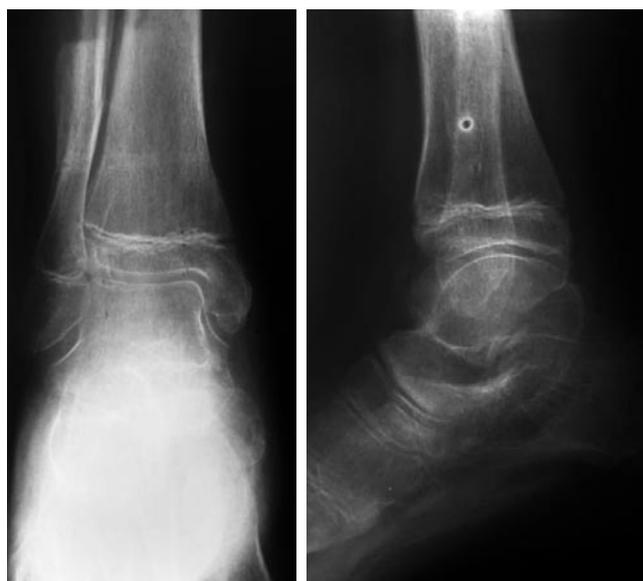


Рис. 7. Иммобилизация в течение 6 недель. На контрольных рентгенограммах полная консолидация перелома.

скому описанию переломов с предсказуемым смещением отломков [9]. При наличии ипсилатерального перелома малоберцовой кости, классификация Danis–Weber, применяемая во взрослой практике при переломах лодыжек, учитывает уровень перелома малоберцовой кости относительно дистального межберцового синдесмоза и позволяет выбрать необходимый объем хирургического вмешательства.

Таким образом, ряд авторов выделяют сопутствующее повреждение малоберцовой кости одним из серьезных факторов, утяжеляющих течение перелома у детей, в том числе за счет отсутствия полного восстановления функции дистального межберцового синдесмоза [5; 10].

Заключение

Разработав ультразвуковые модификаторы для переломов Тиллаух и трёхплоскостных, известные классификационные характеристики типичных переломов были дополнены информацией о вероятном повреждении мягкотканых структур, определяющих тактику хирургического вмешательства.

Метод лазерной доплеровской флоуметрии, использованный в данном исследовании, являлся методом выбора ввиду его миниинвазивности, доступности и достоверности полученных результатов динамики восстановления регионарного кровообращения, как основного фактора скорости регенераторного процесса.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Pomeranz CB, Bartolotta RJ. Pediatric ankle injuries: utilizing the Dias-Tachdjian classification. *Skeletal Radiology*. 2019; 49(4): 521-30. doi: 10.1007/s00256-019-03356-0.
2. Yuan Q, Guo Z, Wang X. Concurrent ipsilateral Tillaux fracture and medial malleolar fracture in adolescents: management and outcome. *J Orthop Surg Res*. 2020; 15(1): 423. doi: 10.1186/s13018-020-01961-7.
3. Angoules AG. Triplane Fracture: An Intricate Pediatric Injury. *Emergency Med*. 2016; 6(1): 142. doi: 10.4172/2165-7548.1000e142.
4. Kathleen DR, Edmonds EW. What's New in Pediatric Orthopaedic Trauma: The Lower Extremity. *J Pediatr Orthop*. 2018; 38(8): 434-39. doi: 10.1097/BPO.0000000000001209.
5. Binkley A, Charles TM, Ellen F. Salter-Harris II ankle fractures in children: does fracture pattern matter? *J. Orthop Trauma*. 2019; 33(5): 190-5. doi: 10.1097/BOT.0000000000001422.
6. Milz P, Milz S, Steinborn M, et al. Lateral ankle ligaments and tibiofibular syndesmosis. 13-MHz high-frequency sonography and MRI compared in 20 patients. *Acta Orthop Scand*. 1998; 69(1): 51-5. doi: 10.3109/17453679809002357.
7. Wasik J, Stoltny T, Leksowska-Pawliczek M, et al. Ankle Osteoarthritis – Arthroplasty or Arthrodesis? *Ortop Traumatol Rehabil*. 2018; 20(5): 361-37. doi: 10.5604/01.3001.0012.7282.
8. Агафонова А.А., Крупаткин А.И., Дорохин А.И. Клинико-патогенетическое значение микрососудистого компонента костной ткани // Вестник травматологии и ортопедии им Н.Н. Приорова. – 2023. – №30(3). – С.357-66. [Agafonova AA, Krupatkin AI, Dorokhin AI. Clinical and pathogenetic significance of the microvascular component of bone tissue. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023; 30(3): 357-66. (In Russ.)] doi: 10.17816/vto466576.
9. Chaturvedi A, Mann L, Cain U, et al. Acute Fractures and Dislocations of the Ankle and Foot in Children. *Radiographics*. 2020; 40(3): 754-74. doi: 10.1148/rg.2020190154.
10. Kramer DE, Cleary MX, Miller PE, et al. Syndesmosis injuries in the pediatric and adolescent athlete. *J Child Orthop*. 2017; 11(1): 57-63. doi: 10.1302/1863-2548.11.160180.