

DOI: 10.24835/1607-0763-2018-4-77-84

Функциональная мультиспиральная компьютерная томография в диагностике маршевых переломов плюсневых костей у пациентов с вальгусной деформацией: 2 случая из практики

Беляев А.С.* , Серова Н.С., Бобров Д.С.

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет) Минздрава России, Москва, Россия

Functional multispiral computed tomography in the diagnosis of “stress” fractures of the metatarsal bones in patients with valgus deformity: 2 case reports

Belyaev A.S.* , Serova N.S., Bobrov D.S.

I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry, Moscow, Russia

Стрессовые, или маршевые, переломы – актуальный вопрос для травматологов и ортопедов сегодня. Немаловажным фактором в данной теме является своевременная и качественная диагностика данного типа переломов. Выбор оптимального метода диагностики, достоверная визуализация костно-деструктивных изменений в значительной степени влияют на тактику дальнейшего лечения и объем возможного хирургического вмешательства.

В статье представлены 2 клинических примера диагностики маршевых переломов.

Ключевые слова: стрессовый перелом, маршевый перелом, фМСКТ, приобретенная деформация, вальгусная деформация.

Ссылка для цитирования: Беляев А.С., Серова Н.С., Бобров Д.С. Функциональная мультиспиральная компьютерная томография в диагностике маршевых переломов плюсневых костей у пациентов с вальгусной деформацией: 2 случая из практики. *Медицинская визуализация*. 2018; 22 (4): 77–84.

DOI: 10.24835/1607-0763-2018-4-77-84.

“Stress” or “March” fractures is an important question for the traumatologists and radiologists. An important factor in this topic is the timely and qualitative diagnosis of this

type of fractures. The choice of the optimal method of diagnosis, reliable visualization of bone-destructive changes significantly affect the tactics of further treatment and the amount of possible surgical intervention.

In this article, the authors presents two clinical cases of diagnosis of “marching” fractures.

Key words: stress fracture, March fracture, FMDCT, acquired deformity, valgus deformity.

Recommended citation: Belyaev A.S., Serova N.S., Bobrov D.S. Functional multispiral computed tomography in the diagnosis of “stress” fractures of the metatarsal bones in patients with valgus deformity: 2 case reports. *Medical Visualization*. 2018; 22 (4): 77–84.

DOI: 10.24835/1607-0763-2018-4-77-84.

Стрессовый перелом плюсневой кости (маршевая стопа) широко освещен в современной литературе, как в области травматологии и ортопедии, так и специалистами лучевой диагностики.

На первых этапах научные данные о стрессовых переломах костей стопы появились из военной медицины, в которых отмечались идентичность симптомов переломов при различных локализа-



циях, отсутствие значительной травмы, влияние степени интенсивности физической нагрузки [1].

Переломы плюсневых костей являются наиболее часто встречающимися среди стрессовых переломов костей нижних конечностей, составляя 57,7% случаев. На втором месте – переломы костей предплюсны – 35,7% [2]. Существует целый ряд причин стрессовых переломов плюсневых костей. В их числе – снижение плотности костной ткани, особенности физической нагрузки на разные отделы стопы при различных видах деятельности, анатомические особенности, сопутствующая патология, возрастные и гендерные факторы [1].

Одним из факторов, приводящих к стрессовым переломам плюсневых костей, является наличие у пациента плоскостопия [3]. Диагностика комбинированной патологии стопы в данном случае должна включать в себя расширенный протокол исследования. Новым словом в диагностике патологии стопы сегодня является функциональная компьютерная томография (КТ) [4]. Она дает возможность создать физиологическую нагрузку на стопы пациента при проведении стандартного МСКТ-исследования с возможностью последующего построения и измерения угловых показателей стопы для определения параметров вальгусной или варусной деформации, а также измерения плотности костной ткани.

Благодаря исследованию Y. Такака и соавт. уже в 1997 г. было установлено, что значение осевой нагрузки на стопу во время рентгенографического исследования у пациентов с вальгусной деформацией имеет важное значение для определения угловых показателей стопы в отличие от пациентов с нормальной недеформированной стопой [5].

Кроме того, отечественные авторы в своих работах также делали акцент на важность правильного выполнения рентгенологического исследования. К.К. Жоха и В.Л. Александрович подробно описали технику рентгенографии стоп по методике Богданова, когда производят снимки в условиях естественной статической нагрузки, стоя на специальной подставке, в боковой проекции с захватом 4–5 см голени. На рентгенограмме измеряют высоту продольного свода стопы и угол его наклона (рис. 1). Для этого соединяют горизонтальной линией подошвенную поверхность головки I плюсневой кости и нижнюю точку бугра пяточной кости. Концы этой линии соединяют с наиболее низкой точкой клиноладьевидного сустава. Из данной точки опускается перпендикуляр на проведенную горизонтальную линию. Высота этого перпендикуляра – высота продольного свода стопы. Угол между косыми линиями у вершины перпендикуляра – угол свода стопы. Благодаря данной методике

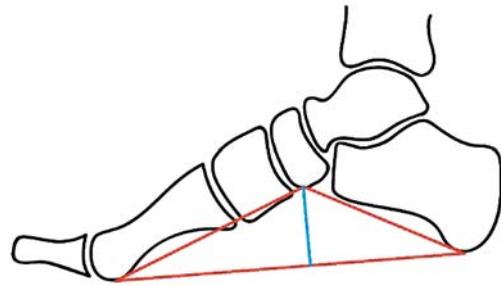


Рис. 1. Схема определения угла и высоты продольного свода стопы по методике Богданова. Красные линии соединяют точки подошвенной поверхности головки I плюсневой кости и нижнюю точку бугра пяточной кости и далее соединяются с наиболее низкой точкой клиноладьевидного сустава. Из этой точки синей линией обозначен перпендикуляр, определяющий высоту продольного свода стопы.

определены стандартные угловые показатели разной степени продольного плоскостопия (см. таблицу).

Применение функциональной МСКТ (фМСКТ) стопы актуально в связи с возможностью объединения преимуществ классической рентгенографии стопы с нагрузкой и МСКТ. Это создание физиологической осевой нагрузки на стопу в горизонтальном положении тела пациента и использование преимуществ классической МСКТ: послойное исследование интересующей области, возможность оценки плотности костной ткани на этапе предоперационной подготовки пациента, использование мультипланарных реконструкций.

Ниже представлены 2 случая маршевых переломов у пациентов, обратившихся в клинику УКБ №1 Первого МГМУ им. И.М. Сеченова по поводу плосковальгусной или вальгусной деформации стоп.

В 2017–2018 гг. в клинику УКБ №1 Первого МГМУ им. И.М. Сеченова обратилась пациентка Д., 69 лет, по поводу стойкой деформации I плюснефаланговых суставов обеих стоп. Пациентка уточняла, что 1 мес назад при однократном увеличении нагрузки на левую стопу почувствовала

Таблица для оценки продольного свода стопы

Форма стопы	Угол продольного свода стопы, градусы
Полая	90–110
Нормальная	111–135
Плоскостопие I степени	136–145
Плоскостопие II степени	146–155
Плоскостопие III степени	156–185 и более

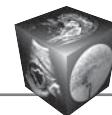


Рис. 2. Фотографии левой стопы. Отмечаются вальгусное отклонение I пальца стопы и отек мягких тканей по тыльной поверхности стопы.

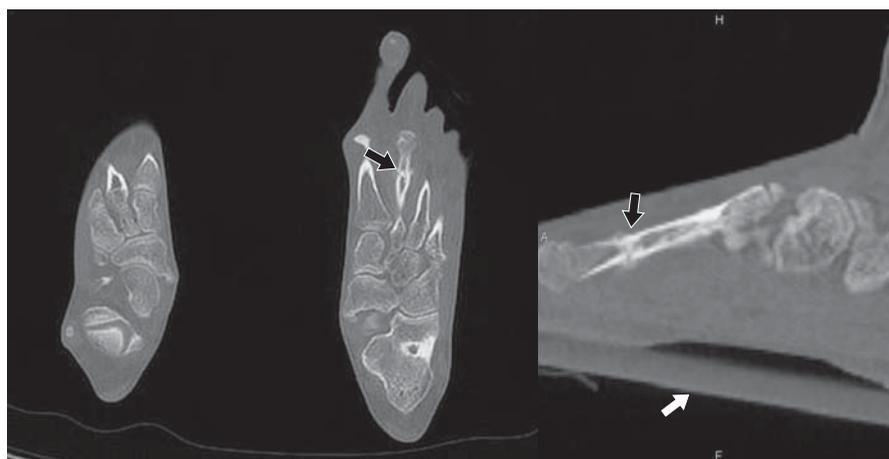


Рис. 3. фМСКТ стопы. Аксиальная и сагиттальная проекции левой стопы. Перелом средней трети диафиза II плюсневой кости с умеренными признаками консолидации у пациента с вальгусной деформацией плюснефалангового сустава. Красными стрелками обозначены линии перелома, желтая линия – основание опорной площадки, обозначающее, что исследование выполнено с функциональной нагрузкой на стопу.

сильную боль в области II–III пальцев с тыльной стороны стопы. Нагрузку на стопу в этот период пациента снизила. К врачу обращаться не стала.

При клиническом осмотре слева определяются уменьшение продольного и поперечного свода стопы, вальгусная деформация осей I пальца стопы. Отмечаются боль при пальпации в проекции II плюсневой кости, отек мягких тканей (рис. 2).

После клинического осмотра пациентка была направлена на проведение фМСКТ стопы с нагрузкой в кабинет компьютерной томографии на базе УКБ №1 Первого МГМУ им. И.М. Сеченова.

По данным исследования был выявлен перелом II плюсневой кости левой стопы без смещения отломков с умеренными признаками консолидации (рис. 3).

Также при проведении фМСКТ стопы была произведена оценка угла M1P1 для определения степени вальгусной деформации, который составил 26° .

Комплексное исследование стопы у данной пациентки позволило не только определить параметры вальгусной деформации, но также обнаружить стрессовый перелом II плюсневой кости.

Пациент С., 51 год, обратился в клинику УКБ №1 Первого МГМУ им. И.М. Сеченова с жалобами на боль и отек в области тыльной поверхности II пальца правой стопы. Боль распространялась как на подошвенную, так и на тыльную часть стопы, имела выраженную интенсивность. Со слов пациента 10 августа 2017 г. отметил появление справа отека и болевого синдрома. Возобновление



Рис. 4. Фотографии стопы пациента при клиническом осмотре (а–в). Отмечаются отек стопы в области тыльной поверхности проекции головок II–III плюсневых костей, гиперемия области головок плюсневых костей.

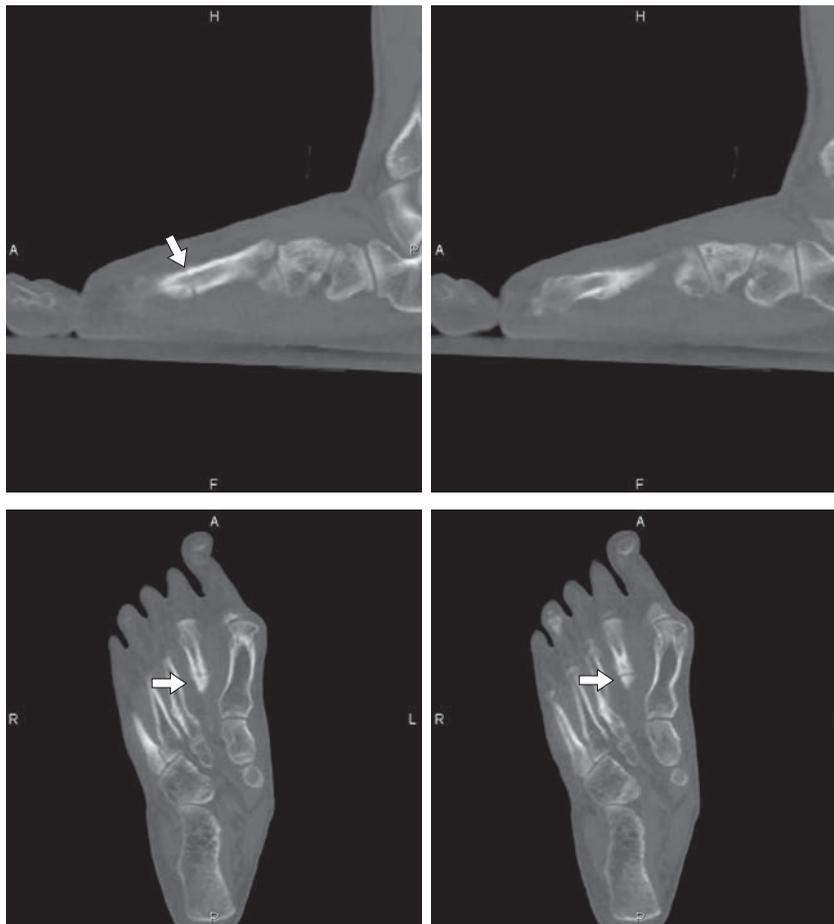


Рис. 5. фМСКТ стопы. Аксиальная и сагиттальная проекции правой стопы. Перелом средней трети диафиза II плюсневой кости у пациента с вальгусной деформацией I плюснефалангового сустава. Стрелкой обозначена линия перелома.

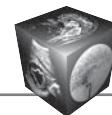
болевого синдрома спустя 2 нед после первых симптомов.

В ходе клинического осмотра отмечается уменьшение продольного и поперечного сводов стопы, выявлена вальгусная деформация осей I пальца (рис. 4). Определяется боль при пальпации проекции головок I–II плюсневых костей

справа. Пациенту была проведена фМСКТ стопы с нагрузкой (рис. 5).

При оценке угла M1P1 величина отклонения составила 37° .

При обработке изображений фМСКТ визуализируется перелом средней трети диафиза II плюсневой кости, смещения отломков не определяется.



Обсуждение

Понятие “маршевый перелом” появилось в связи с частой встречаемостью данной патологии среди военнослужащих [6]. При стрессовых переломах II плюсневой кости нужно отметить ряд факторов риска для данной патологии. Это и регулярная чрезмерная нагрузка, и отсутствие необходимого времени для восстановления [7]. Также подобный вид травмы встречается сегодня среди профессиональных бегунов, танцоров и гимнастов [7, 8].

При переломах II плюсневой кости особого внимания заслуживает перелом основания кости, тогда как более часто встречаемый перелом диафиза не представляет сложной задачи как для диагностики, так и для лечения [9].

В литературе описаны случаи возникновения стрессовых переломов II плюсневой кости у пациентов со скорректированной вальгусной деформацией I плюснефаланговых суставов в постоперационном периоде [10].

Тема стрессовых переломов II–III плюсневых костей является актуальной для пациентов с неправильным статусом свода стопы [7]. Перераспределение нагрузки ввиду плосковальгусной деформации стоп приводит к повышенной нагрузке на неприспособленные к этой нагрузке кости (II и III плюсневые кости).

На сегодняшний день среди оперирующих травматологов-ортопедов остро стоит вопрос полной всеобъемлющей диагностики плосковальгусной деформации стопы. Появляется все больше современных диагностических приемов, которыми активно пользуются клиницисты.

В диагностике мягкотканного компонента патологии плосковальгусной деформации стопы важную роль играет магнитно-резонансная томография (МРТ) [11]. Известно, что основной причиной возникновения приобретенной плосковальгусной деформации стопы является патология сухожилия задней большеберцовой мышцы [12]. МРТ является оптимальным методом для полноценного анализа состояния сухожилия, но на сегодняшний день не представляется возможным создание функциональной нагрузки на стопу при проведении МРТ и приходится прибегать к комплексной диагностике, включающей и классическую рентгенографию стопы с нагрузкой [13]. При проведении рентгенографического исследования происходит оценка угловых показателей стопы.

Для маршевых переломов плюсневых костей рутинным исследованием сегодня является рентгенологический метод [9]. Визуализация линии перелома, нарушения кортикального слоя, нали-

чия смещения отломков – достаточный спектр диагностической информации, которую получает рентгенолог.

Описано использование МРТ в диагностике данного вида переломов с целью выявления патоморфологических изменений в костных и мягкотканых структурах стопы [2]. При недостаточности рентгенологических данных пациентам проводится МРТ с целью получения информации о сохранности или нарушении целостности кости, ориентации линии перелома, реакции окружающих тканей [2].

Однако случае комбинированной патологии стопы, когда стрессовый перелом возникает у пациентов с плосковальгусной деформацией стопы, одно лечение перелома является недостаточным. У данной группы пациентов необходимо устранить причину возникновения травмы, а именно – вальгусную деформацию стопы. В этом случае рационально использовать фМСКТ [4].

Суть методики заключается в создании осевой нагрузки на стопу в горизонтальном положении пациента на ложементе компьютерного томографа. Пациент надевает специальный жилет, к которому ремнями фиксируется опорная площадка. На опорную площадку устанавливаются стопы пациента. Нагрузка измеряется с помощью тензодатчика, подбирается индивидуально, конкретно под каждого пациента соответственно его массе тела.

По опыту нашего использования данной авторской методики установлено, что данные фМСКТ дают огромный объем информации для оперирующих ортопедов с целью предоперационной подготовки пациентов с плосковальгусной деформацией. Методика позволяет оценить степень деформации (угловые показатели M1P1, M1M2, M4M5, M1M5, угол продольного свода, угол основания таранной кости и др.). Методика объединяет в себе преимущества стандартной МСКТ (определение плотности костной ткани с целью выбора наиболее оптимальной локализации металлических имплантатов).

Среди основных угловых показателей, которые используются для оценки степени деформации стопы, наиболее значимыми являются:

Угол hallux valgus. Угол отклонения I пальца (hallux valgus angle– HVA), или, как его еще именуют, M1P1 – угол вальгусного отклонения I пальца стопы, образован пересечением осей I плюсневой кости и проксимальной фаланги I пальца. Данное измерение производится на прямой рентгенограмме стопы с оценкой осей I плюсневой кости и дистальной фаланги I плюсневой кости. В норме уровень отклонения составляет не более 13–15° [14].



Межплюсневый угол. Intermetatarsal angle, или M1M2, – межплюсневый угол, образован продольными осями I и II плюсневых костей. Увеличение данного угла вызывает состояние, называемое *metatarsus primus adductus*. Оси проводятся через основания и головки I и II плюсневых костей. Место проксимального пересечения двух линий определяет угол, который в норме составляет не более 10° [14, 15].

Угол открытия переднего отдела стопы. В норме опора на стопу осуществляется благодаря трем точкам (пяточный бугор, головки I и V плюсневых костей). Угол M1M5 – угол между осями I и V плюсневых костей, служит для оценки степени распластанности переднего отдела стопы. На прямой рентгенограмме проводятся оси через диафизы I и V плюсневых костей и формируются угол в проксимальной части их соединения. В норме параметр составляет не более 35° [14].

Угол варусного отклонения V плюсневой кости. Угол M4M5 образован осями IV и V плюсневых костей. Две линии проводятся на прямой рентгенограмме стопы через IV и V плюсневые кости для оценки варусного отклонения V пальца. В норме составляет не более 5° . Обычно данный угол используется для диагностики деформации по типу *Bunionette* – латеральное смещение головки V плюсневой кости при плоской деформации стопы [14].

Таранно-пяточный угол (угол Кита) оценивается как на прямой, так и на боковой рентгенограмме с нагрузкой. На прямой рентгенограмме проводятся линии через центры таранной и пяточной костей и выполняется оценка их проксимального пересечения. В норме угол составляет $15\text{--}40^\circ$. Уменьшение данного угла свидетельствует о варусной деформации стопы, в то время как увеличение этого показателя указывает на плосковальгусные изменения. На боковой рентгенограмме угол формируется в месте пересечения центральных осей таранной и пяточной костей. В норме составляет $25\text{--}55^\circ$ [14].

Угол наклона пяточной кости. Угол формируется двумя линиями, одна из которых проводится через нижний край суставной поверхности пяточной кости в составе пяточно-кубовидного сустава, проходит вдоль нижней поверхности пяточной кости и пересекает передний край пяточного бугорка. Вторая линия проводится параллельно поверхности, на которую опирается стопа. Стандартные значения для данного показателя $24,5 \pm 3^\circ$ [14].

Угол продольного свода стопы. Является наиболее востребованным параметром для первичной диагностики плоскостопия. В России и странах СНГ наиболее широкое применение по-

лучила методика Богданова. Построение угла выполняется по трем точкам, расположенным в области нижнего края головки I плюсневой кости, в проекции нижнего края суставной щели между ладьевидной и клиновидной костями и в проекции нижнего края пяточного бугра пяточной кости. Из точки в области сочленения ладьевидной и медиальной клиновидной костей опускается перпендикуляр на горизонтальную линию между пяточным бугром и головкой I плюсневой кости. Эти два критерия (угол и высота свода по перпендикуляру) и определяют степень плоскостопия. В соответствии с полученными данными пациента с плоскостопием относят к одной из групп, согласно степени деформации, определяемой по этим двум критериям [14].

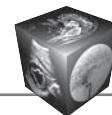
Зарубежные авторы, в свою очередь, предлагают другой вариант оценки высоты продольного свода стопы – угол основания таранной кости, который оценивается на боковой рентгенограмме стопы с нагрузкой. Ось проводят через центр таранной кости, формируя угол с линией, проведенной вдоль основания головки I плюсневой кости, параллельно полу. В норме показатель составляет $14\text{--}36^\circ$ [14].

фМСКТ – новое слово в диагностике патологии стопы. Спектр диагностической информации, получаемый после проведения исследования, включает в себя измерение угловых показателей деформаций стопы, определение плотности костной ткани исследуемой области, возможность трехмерной визуализации различных деформаций [16]. Использование фМСКТ упростило протокол ведения пациентов со стойкой ригидной деформацией, для которых вертикальная статическая нагрузка на стопу является сложной задачей ввиду выраженной степени деформации.

Выбор фМСКТ стопы для пациентов с плосковальгусной деформацией дает возможность оценить не только угловые параметры стопы, но и получить информацию о взаимном расположении костей с помощью 3D-реконструкции.

Существенная разница определяется при проведении фМСКТ стопы с нагрузкой и при стандартной МСКТ в величине угловых показателей. Для M1P1 разница составила $\pm 4^\circ$, для M1M2 – $\pm 1^\circ$, для M4M5 – $\pm 4^\circ$.

Таким образом использование фМСКТ стопы дает ряд преимуществ перед классической рентгенографией стопы с нагрузочной пробой, а также стандартной МСКТ. Одновременное получение мультипланарных тонкосрезовых изображений, возможность проведения исследования на “одном сканировании” (без многократной смены положения стопы и рентгеновской трубки, как при



рентгенографии), возможность оценки взаимного расположения костей стопы с помощью трехмерных реконструкций позволяет упростить, оптимизировать протокол ведения пациентов с плосковальгусной деформацией стопы. Одновременно с этим использование ФМСКТ стопы у пациентов с плосковальгусной деформацией позволило обнаружить стрессовые переломы плюсневых костей, вызванные перераспределением нагрузки у данной группы пациентов ввиду наличия стойкой деформации продольного и поперечного сводов стопы.

Немаловажным фактором является то, что проведение ФМСКТ стопы – отработанная и удобная методика для использования у пациентов с деформацией стопы (оформлен патент на изобретение № 2016123715 от 15 июня 2016 г.). При использовании данной методики нет необходимости в проведении нескольких рентгеновских снимков стопы в разных проекциях и соответственно в разной укладке данных пациентов, что является немаловажным для маломобильных пациентов с выраженной стойкой деформацией и наличием болевого синдрома, как в случае с маршевыми переломами. Мультипланарное реконструирование изображений позволяет оценить степень деформации стопы сразу в трех проекциях и даже построить косые проекции для конкретных клинических задач.

При обработке изображений ФМСКТ рентгенолог наиболее точно может определить центр каждой конкретной кости при оценке отдельных углов, определяющих степень деформации с оценкой точности в 3 плоскостях.

В случае вышеописанных пациентов использование ФМСКТ оправдано причиной возникновения переломов – длительной плосковальгусной деформацией I плюснефаланговых суставов. Перераспределение нагрузки с I плюсневой кости на II в данном случае является причиной перелома диафиза II плюсневой кости.

Список литературы

1. Янкин А.В., Краснояров Г.А., Маркевич П.С. Антология стрессовых переломов. *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН*. 2012; 2 (84): 148–151.
2. Манакова Я.Л., Бойко А.В., Дергилев А.П. Магнитно-резонансная томография в ранней диагностике стресс-переломов плюсневых костей. *Радиология-практика*. 2011; 4: 81–83.
3. Янкин А.В., Краснояров Г.А., Маркевич П.С., Гажеева С.М. Клинико-диагностические параллели нагрузочных переломов костей нижних конечностей. *Вестник Бурятского университета*. 2010; 12: 187–193.
4. Терновой С.К., Серова Н.С., Беляев А.С., Бобров Д.С., Терновой К.С. Методика функциональной мультиспиральной компьютерной томографии в диагностике

- плоскостопия взрослых. *REJR*. 2017; 7 (1): 94–100. DOI: 10.21569/2222-7415-2017-7-1-94-100.
5. Tanaka Y., Takakura Y., Takaoka T., Akiyama K., Fujii T., Tamai S. Radiographic analysis of hallux valgus in women on weightbearing and nonweightbearing. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1997; 336: 186–194.
6. Pegrum J., Dixit V., Padhiar N., Nugent I. The pathophysiology, diagnosis, and management of foot stress fractures. *Phys. Sportsmed.* 2014; 42 (4): 87–99. DOI: 10.3810/psm.2014.11.2095.
7. Ramponi D.R., Hedderick V., Maloney S.C. Metatarsal stress fractures. *Adv. Emerg. Nurs J.* 2017; 39 (3): 168–175. DOI: 10.1097/TME.000000000000154.
8. Kriz P., Rafferty J., Evangelista P., Van Valkenburg S., DiGiovanni C. Stress fracture of the second metatarsal and sprain of lisfranc joint in a pre-professional ballet dancer. *J. Dance Med. Sci.* 2015; 19 (2): 80–85. DOI: 10.12678/1089-313X.19.2.80.
9. Mandell J.C., Khurana B., Smith S.E. Stress fractures of the foot and ankle, part 2: site-specificity, imaging, and treatment, and differential diagnosis. *Skeletal Radiol.* 2017; 46 (9): 1165–1186. DOI: 10.1007/s00256-017-2632-7.
10. Weatherall J.M., Chapman C.B., Shapiro S.L. Postoperative second metatarsal fractures associated with suture-button implant in hallux valgus surgery. *Foot Ankle Int.* 2013; 34(1): 104–110. DOI: 10.1177/1071100712458961.
11. Arnoldner M.A., Gruber M., Syré S., Kristen K.H., Trnka H.J., Kainberger F., Bodner G. Imaging of posterior tibial tendon dysfunction – Comparison of high-resolution ultrasound and 3T MRI. *Eur. J. Radiol.* 2015; 84 (9): 1777–1781. DOI: 10.1016/j.ejrad.2015.05.021.
12. Herráiz Hidalgo L., Carrascoso Arranz J., Recio Rodríguez M., Jiménez de la Peña M., Cano Alonso R., Álvarez Moreno E., Martínez de Vega Fernández V. Posterior tibial tendon dysfunction: what other structures are involved in the development of acquired adult flat foot? *Radiologia*. 2014; 56 (3): 247–256. DOI: 10.1016/j.rx.2011.12.006.
13. Lin Y.C., Mhuircheartaigh J.N., Lamb J., Kung J.W., Yablon C.M., Wu J.S. Imaging of adult flatfoot: correlation of radiographic measurements with MRI. *Am. J. Roentgenol.* 2015; 204 (2): 354–359. DOI: 10.2214/AJR.14.12645.
14. Серова Н.С., Беляев А.С., Бобров Д.С., Терновой К.С. Современная рентгенологическая диагностика приобретенного плоскостопия взрослых. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2017; 98 (5): 275–280. DOI: 10.20862/0042-46762017-98-5-275-280.
15. LaPorta G.A., Nasser E.M., Mulhern J.L., Malay D.S. The Mechanical Axis of the First Ray: A Radiographic Assessment in Hallux Abducto Valgus Evaluation. *J. Foot Ankle. Surg.* 2016; 55 (1): 28–34. DOI: 10.1053/j.jfas.2015.04.01.
16. Belyaev A.S., Bobrov D.S., Serova N.S., Ternovoy K.S. Functional multispiral computed tomography of the foot in determining the standard angular parameters in flatfoot patients. *Department of traumatology orthopedics*. 2017; 4 (30): 5–10. (In Russian).

References

1. Yankin V.A., Krasnoyrov G.A., Markevich P.S. Anthology of stress fractures. *Bulletin of East Siberian scientific center, SB RAMS*. 2012; 2 (84): 148–151 (In Russian)



2. Manakova Ya.L., Boyko A.V., Dergilev A.P. Magnetic resonance imaging in early diagnosis of stress fractures of metatarsal bones. *Radiology-practice*. 2011; 4: 81–83. (In Russian)
3. Yankin V.A., Krasnoyarov G.A., Markevich P.S., Gareeva S.M. Clinical diagnostic Parallels stress fractures of the lower extremities. *Bulletin of Buryat University*. 2010; 12: 187–193. (In Russian)
4. Ternovoy S.K., Serova N.S., Belyaev A.S., Bobrov D.S., Ternovoy K.S. Method of functional multispiral computed tomography in the diagnosis of adult flatfoot. *REJR*. 2017; 7 (1): 94–100. DOI: 10.21569/2222-7415-2017-7-1-94-100 (In Russian)
5. Tanaka Y., Takakura Y., Takaoka T., Akiyama K., Fujii T., Tamai S. Radiographic analysis of hallux valgus in women on weightbearing and nonweightbearing. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1997; 336: 186–194.
6. Pegrum J., Dixit V., Padhiar N., Nugent I. The pathophysiology, diagnosis, and management of foot stress fractures. *Phys. Sportsmed.* 2014; 42 (4): 87–99. DOI: 10.3810/psm.2014.11.2095.
7. Ramponi D. R., Hedderick V., Maloney S. C. Metatarsal stress fractures. *Adv. Emerg. Nurs J.* 2017; 39 (3): 168–175. DOI: 10.1097/TME.000000000000154.
8. Kriz P., Rafferty J., Evangelista, P., Van Valkenburg S., DiGiovanni C. Stress fracture of the second metatarsal and lisfranc sprain of the joint in a pre-professional ballet dancer. *J. Dance Med. Sci.* 2015; 19 (2): 80–85. DOI: 10.12678/1089-313X.19.2.80.
9. Mandell J.C., Khurana B., Smith S.E. Stress fractures of the foot and ankle, part 2: site-specificity, imaging, and treatment, and differential diagnosis. *Skeletal Radiol.* 2017; 46 (9): 1165–1186. DOI 10.1007/s00256-017-2632-7.
10. Weatherall J.M., Chapman C.B., Shapiro S.L. Post-operative second metatarsal fractures associated with suture-button implant in hallux valgus surgery. *Foot Ankle Int.* 2013; 34 (1): 104–110. DOI: 10.1177/1071100712458961.
11. Arnoldner M.A., Gruber M., Syré S., Kristen K.H., Trnka H.J., Kainberger F., Bodner G. Imaging of posterior tibial tendon dysfunction – Comparison of high-resolution ultrasound and 3T MRI. *Eur. J. Radiol.* 2015; 84 (9): 1777–1781. DOI: 10.1016/j.ejrad.2015.05.021.
12. Herráiz Hidalgo L., CarrascosoArranz J., Recio Rodríguez M., Jiménez de la Peña M., Cano Alonso R., Álvarez Moreno E., Martínez de Vega Fernández V. Posterior tibial tendon dysfunction: what other structures are involved in the development of acquired adult flat foot? *Radiología*. 2014; 56 (3): 247–256. DOI: 10.1016/j.rx.2011.12.006.
13. Lin Y.C., Mhuirheartaigh J.N., Lamb J., Kung J.W., Yablon C.M., Wu J.S. Imaging of adult flatfoot: correlation of radiographic measurements with MRI. *Am. J. Roentgenol.* 2015; 204 (2): 354–359. DOI: 10.2214/AJR.14.12645.
14. Serova N.S., Belyaev A.S., Bobrov D.S., Ternovoy K.S. Modern x-ray diagnosis of adult acquired flatfoot deformity. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine.* 2017; 98 (5): 275–280. DOI: 10.20862/0042-4676-2017-98-5-275-280. (In Russian)
15. LaPorta G.A., Nasser E.M., Mulhern J.L., Malay D.S. The Mechanical Axis of the First Ray: A Radiographic Assessment in Hallux Abducto Valgus Evaluation *J. Foot Ankle Surg.* 2016; 55 (1): 28–34. DOI: 10.1053/j.jfas.2015.04.01.
16. Belyaev A.S., Bobrov D.S., Serova N.S. Ternovoy K.S. Functional multispiral computed tomography of the foot in determining the standard angular parameters in flatfoot patients. *Department of traumatology orthopedics.* 2017; 4 (30): 5–10. (In Russian)

Для корреспонденции*: Беляев Андрей Сергеевич – 119991, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, Москва, Россия. Тел.: +7-916-381-06-37. E-mail: as-belyaev@inbox.ru

Беляев Андрей Сергеевич – аспирант кафедры лучевой диагностики и терапии лечебного факультета Первого МГМУ им. И.М. Сеченова, Москва.

Серова Наталья Сергеевна – член-корр. РАН, доктор мед. наук, профессор кафедры лучевой диагностики и терапии лечебного факультета Первого МГМУ им. И.М. Сеченова, Москва.

Бобров Дмитрий Сергеевич – канд. мед. наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Первого МГМУ им. И.М. Сеченова, Москва.

Contact*: Andrey S. Belyaev – 119991, Trubetskaya str., 8/2, Moscow, Russia. Phone: +7-916-381-06-37. E-mail: as-belyaev@inbox.ru

Andrey S. Belyaev – postgraduate student of the Department of radiology, Sechenov University, Moscow, Russia.

Natalya S. Serova – corresponding member of the Russian Academy of Sciences, doct. of med. sci., Professor, Department of radiology, Sechenov University, Moscow, Russia.

Dmitry S. Bobrov – cand. of med. sci., associate Professor of traumatology, orthopedics and surgery of catastrophes, Sechenov University, Moscow, Russia.

Поступила в редакцию 05.06.2018.
Принята к печати 21.09.2018.

Received on 05.06.2018.
Accepted for publication on 21.09.2018.