

УДК 617.586-007.58

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МУЛЬТИСПИРАЛЬНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ СТОПЫ В ОПРЕДЕЛЕНИИ СТАНДАРТНЫХ УГЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПЛОСКОВАЛЬГУСНОЙ ДЕФОРМАЦИИ СТОП

А.С. БЕЛЯЕВ, Д.С. БОБРОВ, Н.С. СЕРОВА, К.С. ТЕРНОВОЙ

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет)

Резюме: Одной из наиболее сложных областей для диагностики остается стопа и голеностопный сустав в виду сложного строения и биомеханики. Однако, среди методов оценки статической опорной функции стопы до последнего времени ведущую роль играла классическая рентгенография стопы с нагрузочными пробами.

В данной научной статье коллектив авторов представляет актуальную информацию о возможностях лучевой диагностики частных вопросов приобретенных деформаций стопы, а именно, плосквальгусной стопы или *pes planovalgus*.

Задачей исследования было определение возможности оценки угловых параметров стопы на цифровых изображениях, полученных при проведении функциональной мультиспиральной компьютерной томографии (фМСКТ) с нагрузкой у пациентов с плосквальгусной деформацией стоп.

В результате проведенного исследования и оценке полученных при МСКТ данных сделан вывод о том, что возможен анализ стандартных углов и расстояний. Плоскости для измерений необходимо выстраивать в соответствии с осями костей (построение нестандартных косых плоскостей), участвующих в формировании соответствующих углов и расстояний.

При проведении функциональной мультиспиральной компьютерной томографии (фМСКТ) появляется ряд преимуществ перед рутинной рентгенографией стопы с нагрузкой.

Ключевые слова: рентгенография; рентгенография стопы с нагрузкой; приобретенное плоскостопие; *pes planus*; вальгусная деформация первого пальца стопы (*hallux valgus*); деформации стопы.

THE FUNCTIONAL MULTISPIRAL COMPUTER TOMOGRAPHY OF FEET IN DETERMINATION OF REFERENCE ANGULAR PARAMETERS AT ACQUIRED ADULT FLATFOOT DEFORMITY

BELYAEV A.S., BOBROV D.S., SEROVA N.S., TERNOVOY K.S.

I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Ministry of Health of Russia

Summary: One of the most difficult areas for diagnosis is the foot and ankle due to the complex structure and biomechanics. However, among the methods of assessment a static function of the foot until recently, the leading role was played by the classical weight-bearing radiograph of foot.

Authors provide relevant modern information about the possibilities of diagnostic imaging of particular issues of acquired foot deformities, for example flat-foot or *pes planovalgus*.

The aim of the study was to determine the possibility of assessing the angular parameters of the foot on digital images obtained during the functional multispiral computer tomography (fMSCT) with imitation of weight-bearing.

As a result of the conducted research, it concludes that analysis of the fMSCT data obtained allows analysis of standard angles and distances. The planes for measurements must be aligned in accordance with the axes of the bones (the construction of non-standard oblique planes) involved in the formation of appropriate angles and distances.

When performing functional multispiral computed tomography (FMSCT), there are a number of advantages over the routine weight-bearing radiography of the foot.

Key words: x-ray, functional multispiral computer tomography, weight-bearing radiograph, adult acquired flatfoot deformities, *hallux valgus*.

Введение

Лучевая диагностика в травматологии и ортопедии сегодня – это огромный арсенал различных методик и приемов, позволяющий получить широкий спектр важной информации о степени костно-деструктивной патологии, состоянии суставов, связок, сухожилий и мягких тканей.

Одновременно с этим в клинический осмотр врача-ортопеда входит большой спектр функциональных проб и методов, позволяющих судить о нормальной или патологической биомеханике определенных структур опорно-двигательной системы.

Стремительный научно-технический прогресс и функционирование современной медицины как открытой системы позволило создать междисциплинарные подходы к диагностике и лечению определенных заболеваний. Одним из таких прорывов стала функциональная лучевая диагностика, а именно, функциональная мультиспиральная компьютерная томография, которая сегодня приобрела широкое распространение в травматологии и ортопедии [1].

Одной из наиболее сложных областей для диагностики остается стопа и голеностопный сустав в виду сложного строения и

биомеханики. Анализу двигательной активности морфо-функциональных структур данной области сегодня уделено достаточно внимания в виде разных подходов к диагностике, например, технология видеокomпьютерного измерения [2]. Однако, среди методов оценки статической опорной функции стопы до последнего времени ведущую роль играла классическая рентгенография стопы с нагрузочными пробами [3].

В 2016 году на базе Российско-японского научно-образовательного центра визуализации Первого МГМУ им. И.М. Сеченова была разработана методика функциональной мультиспиральной компьютерной томографии голеностопного сустава и стопы [4].

Методика заключается в следующем:

Перед укладкой на стол томографа пациенту надевают жилет с поясом, фиксирующимся на плечи и тазовые кости и осуществляют опору стоп на специальную площадку. Пациента укладывают на стол томографа в положении лежа на спине, ногами в сторону апертуры гентри. Подошвы обеих стоп устанавливают на специальное приспособление таким образом, чтобы создать равномерную осевую нагрузку на обе стопы (вес пациента). Для разметки области исследования выполняют топограмму. Томографирование начинают на 4-5 см выше голеностопного сустава и заканчивают на уровне нижней поверхности специального приспособления для опоры [1].

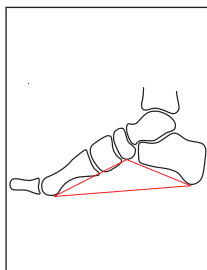
Задачей исследования было определение возможности оценки угловых параметров стопы на цифровых изображениях, полученных при проведении функциональной мультиспиральной компьютерной томографии (фМСКТ) стопы с нагрузкой у пациентов с плосквальгусной деформацией стоп.

Основными рентгенологическими параметрами, определяемыми у данной группы пациентов являются:

1. Угол продольного свода стопы

Угол продольного свода стопы является наиболее востребованным параметром для первичной диагностики плоскостопия [5]. В России и странах СНГ наиболее широкое применение получила методика Богданова [6].

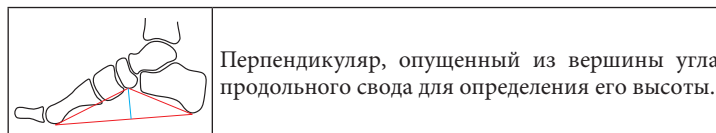
Построение угла производится по трем точкам, расположенным в области нижнего края головки 1 плюсневой кости, в проекции нижнего края суставной щели между ладьевидной и клиновидной костью и в проекции нижнего края пяточного бугра пяточной кости (Рис. 1А, Б). Из точки в области сочленения ладьевидной и медиальной клиновидной костей опускается перпендикуляр на горизонтальную линию между пяточным бугром и головкой 1 плюсневой кости. Эти два критерия (угол и высота свода по перпендикуляру) и определяют степень плоскостопия [6].



Угол продольного свода измеряется на боковой рентгенограмме стопы с нагрузкой, с построением угла через три точки:

1. Подошвенная поверхность головки 1 плюсневой кости;
 2. Нижний край сочленения ладьевидной и медиальной клиновидной костей;
 3. Нижняя точка пяточного бугра.
- Вершина угла – во 2ой точке.

Рис. 1А. Схема определения угла продольного свода и высоты свода стопы



Перпендикуляр, опущенный из вершины угла продольного свода для определения его высоты.

Рис. 1Б. Схема определения угла продольного свода и высоты свода стопы

По данным вышеописанной методики пациент с плоскостопием относится к одной из групп пациентов, согласно степени деформации, определяемой по этим двум критериям (табл.1).

Таблица 1

Степень плоскостопия

Степень деформации	Угол продольного свода	Высота продольного свода
1 степень	131-140°	35-25 мм
2 степень	141-155°	24-17 мм
3 степень	> 155°	< 17 мм

Методика построения угла продольного свода на фМСКТ существенно не отличалась от привычного подхода при классической рентгенографии. С помощью мультипланарной реконструкции на сагитальном изображении по трем стандартным точкам были построены соответствующие углы (Рис. 2А, Б)

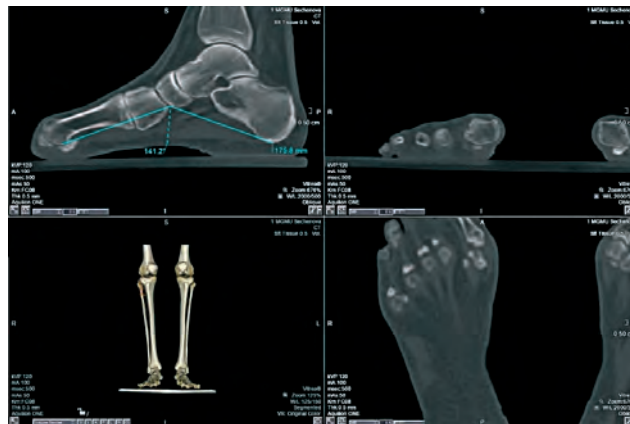


Рис. 2А. Построение стандартной сагитальной проекции при фМСКТ. На изображении видно, что стопа располагается на опорной площадке, угол между большеберцовой и малоберцовой костями и площадкой составляет 90 градусов.



Рис. 2Б. Измерение угла и высоты продольного свода стопы на сагитальном МПР-изображении

Угол hallux valgus

Угол отклонения первого пальца (Hallux valgus angle – HVA) или, как еще он упоминается в литературе, M1P1 — угол вальгусного отклонения I пальца стопы — образован пересечением осей I плюсневой кости и проксимальной фаланги I пальца (Рис. 3). 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 градусов [7].

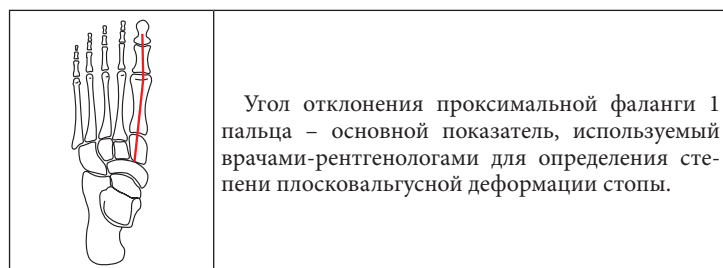


Рис. 3. Схема определения угла Hallux valgus (HVA)

Таблица 2

Степень отклонения HVA

Степень отклонения	Угол HVA
Легкая	13-30
Средняя	30-40
Тяжелая	>40



Рис.4А. Построение угла hallux valgus на мультипланарном реконструировании.

При построении угла вальгусного отклонения 1 пальца косая мультипланарная проекция строится через ось 1 плюсневой кости в сагиттальной плоскости. Центр оси 1 плюсневой кости дополнительно уточняется на фронтальном срезе.

При проведении фМСКТ появляется ряд преимуществ перед рутинной рентгенографией стопы с нагрузкой:

- Возможности современной обработки изображений МСКТ позволяют наиболее точно построить оси соответствующих костей, участвующих в формировании углового показателя
- Построение осей костей происходит с контролем на 3 плоскостях одновременно
- Мультипланарное реконструирование позволяет дополнительно строить косые проекции, что дает возможность максимально информативно определять ось соответствующей кости.

При построении угла вальгусного отклонения 1 пальца косая мультипланарная проекция строится через ось 1 плюсневой кости в сагиттальной плоскости. Центр оси 1 плюсневой кости дополнительно уточняется на фронтальном срезе, а непосредственная оценка происходит на аксиальных изображениях (Рис. 4А, Б).



Рис. 4Б. Оценка угла Hallux valgus происходит на аксиальных изображениях

3. Межплюсневый угол

Intermetatarsal angle или межплюсневый угол. 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 1 и 2 плюсневых костей (Рис. 5). Место проксимального пересечения двух линий определяет угол, который в норме составляет не более 10 градусов [8].

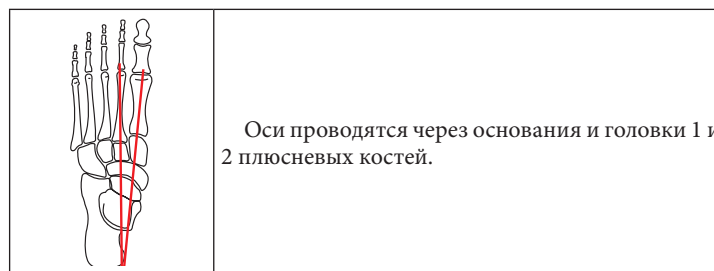


Рис. 5. Схема определения 1-2 межплюсневый угла (M1M2)

При определении данного параметра на фМСКТ за ось для формирования косой мультипланарной реконструкции взята 2 плюсневая кость. На сагиттальном изображении происходит определение угла наклона данной МПР согласно продольной оси 2 плюсневой кости, тогда как точный центр кости определяется на фронтальном изображении. Значение угла определяется на аксиальных срезах (Рис.6А, Б)

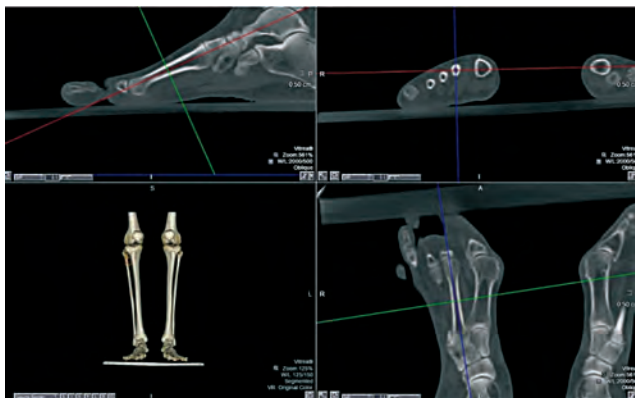


Рис. 6А. за ось для формирования кривой мультипланарной реконструкции взята 2 плюсневая кость. На сагиттальном изображении происходит определение угла наклона данной МПР согласно продольной оси 2 плюсневой кости, тогда как точный центр кости определяется на фронтальном изображении

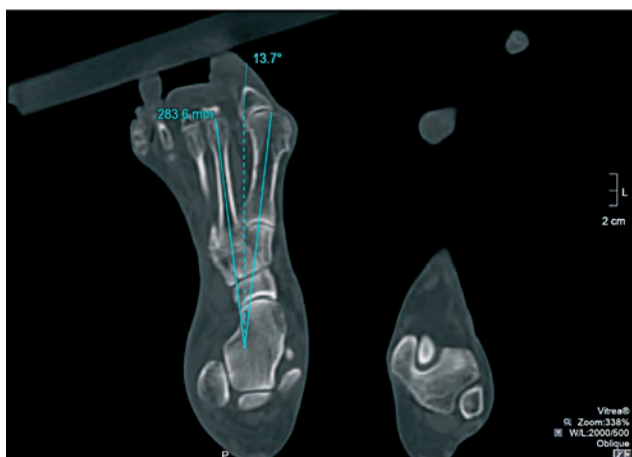


Рис. 6Б. Значение угла определяется на аксиальных срезах

4. Угол открытия переднего отдела стопы

В норме опора на стопу осуществляется благодаря трем точкам (пяточный бугор, головки 1 и 5 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 формируется угол в проксимальной части их соединения [9] (Рис. 7). В норме составляет не более 35 градусов.

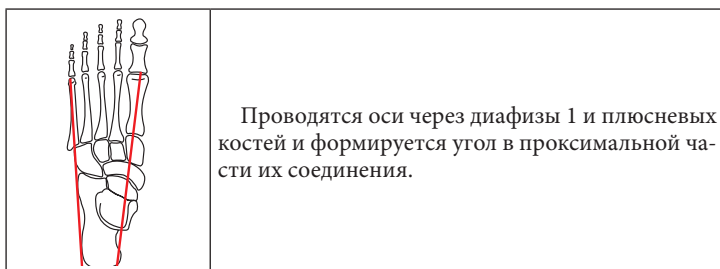


Рис. 7. Схема определения угла M1M5

Вопрос определения угла при фМСКТ решается определением центра диафиза 5 плюсневой кости на аксиальном срезе, вдоль оси кости выстраивается линия построения МПР. На сагиттальном изображении ось выравнивается вдоль «длинника» кости, дополнительно определяется точный центр на фронтальном изображении. На фронтальном срезе также выравнивается уровень горизонтальной оси МПР так, чтобы он проходил одновременно через 5 и 1 плюсневые кости. (Рис.8А).

Оценка параметра происходит на аксиальном изображении (Рис. 8Б)

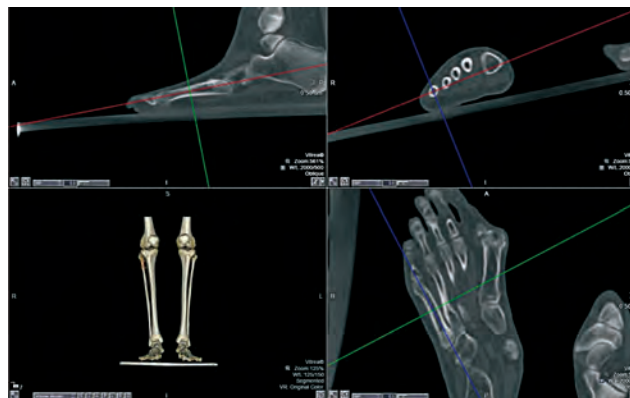


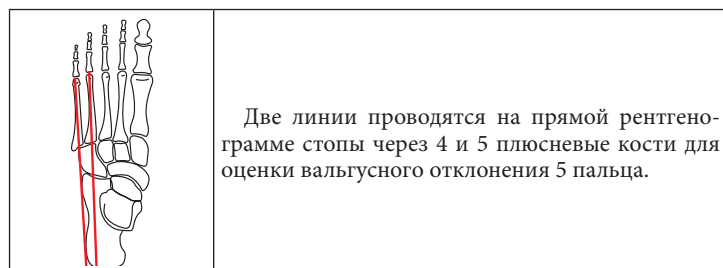
Рис.8А. Определение центра диафиза 5 плюсневой кости на аксиальном срезе, вдоль оси кости выстраивается линия построения МПР. На сагиттальном изображении ось выравнивается вдоль «длинника» кости, дополнительно определяется точный центр на фронтальном изображении. На фронтальном срезе также выравнивается уровень горизонтальной оси МПР так, чтобы он проходил одновременно через 5 и 1 плюсневые кости.



Рис. 8Б. Оценка параметра происходит на аксиальном изображении

5. Угол варусного отклонения пятой плюсневой кости

M4M5 - образован осями IV и V плюсневых костей. Две линии проводятся на прямой рентгенограмме стопы через 4 и 5 плюсневые кости для оценки вальгусного отклонения 5 пальца (Рис. 9). В норме не более 5 градусов [7, 9]. Обычно данный угол используется для диагностики деформации по типу Bunionette – латеральное смещение головки 5 плюсневой кости при плоской деформации стопы [10].



Две линии проводятся на прямой рентгенограмме стопы через 4 и 5 плюсневые кости для оценки вальгусного отклонения 5 пальца.

Рис. 9. Схема определения угла М4М5

Заключительным важным параметром при определении степени плосковальгусной деформации на фМСКТ является угол М4М5. Формирование мультипланарной реконструкции начинается с установки курсора на 4 плюсневую кость, вдоль ее оси. На фронтальном срезе определяется угол наклона МПР для одновременной оценки 4 и 5 плюсневых костей в одной плоскости. Наклон 4 плюсневой кости дополнительно рассматривается на сагиттальном изображении (Рис. 10А)

Оценить параметр необходимо на аксиальных срезах (Рис. 10Б).



Рис. 10А. Формирование мультипланарной реконструкции начинается с установки курсора на 4 плюсневую кость, вдоль ее оси. На фронтальном срезе определяется угол наклона МПР для одновременной оценки 4 и 5 плюсневых костей в одной плоскости. Наклон 4 плюсневой кости дополнительно рассматривается на сагиттальном изображении.



Рис. 10Б. Оценка параметра на аксиальных срезах

Выводы

При интерпретации полученных при фМСКТ данных возможен анализ стандартных углов и расстояний. Плоскости для измерений необходимо выстраивать в соответствии с осями костей (построение нестандартных косых плоскостей), участвующих в формировании соответствующих углов и расстояний.

При проведении фМСКТ появляется ряд преимуществ перед рутинной рентгенографией стопы с нагрузкой:

- Возможности современной обработки изображений МСКТ позволяют наиболее точно построить оси соответствующих костей, участвующих в формировании углового показателя
- Построение осей костей происходит с контролем на 3 плоскостях одновременно
- Мультипланарное реконструирование позволяет дополнительно строить косые проекции, что дает возможность максимально информативно определять ось соответствующей кости.

Для цитирования:

Беляев А.С., Бобров Д.С., Серова Н.С., Функциональная мультиспиральная компьютерная томография стопы в определении стандартных угловых параметров при плосковальгусной деформации стоп // Кафедра травматологии и ортопедии. №4(30). 2017. с.-5.

Belyaev A.S., Bobrov D.S., Serova N.S. The functional multispiral computer tomography of feet in determination of reference angular parameters at acquired adult flatfoot deformity // The Department of Traumatology and Orthopedics. №4(30). 2017. p.-5.

Список литературы/References

1. *Терновой С.К., Серова Н.С., Абрамов А.С., Терновой К.С.* Методика функциональной мультиспиральной компьютерной томографии шейного отдела позвоночника. REJR. 2016; 6 (4):38-43. DOI:10.21569/2222-7415-2016-6-4-38-43. [Ternovoy S.K., Serova N.S., Abramov A.S., Ternovoy K.S. Functional multispiral computed tomography in the diagnosis of cervical spine vertebral-motor segment instability. REJR. 2016; 6 (4):38-43. DOI:10.21569/2222-7415-2016-6-4-38-43. RUS].
2. Компьютерная диагностика опорно-рессорной функции стопы человека. *Кашуба В.А., Сергиенко К.Н., Валиков Д.П.* Национальный университет физического воспитания и спорта Украины [Computed diagnosis of supporting-spring function of human foot. *Kashuba V.A., Sergienko K.N., Valikov D.P.* National university of physical education and sport of Ukraine. RUS].
3. *Tanaka Y., Takakura Y., Takaoka T., Akiyama K., Fujii T., Tamai S.* Radiographic analysis of hallux valgus in women on weight-bearing and nonweightbearing. Clin Orthop Relat Res. 1997 Mar;(336): 186-94.
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. [Ternovoy S. K., Serova N.S., Belyaev A.S., Bobrov D. S., Ternovoy K. S. Methodology of functional multispiral computed tomography in the diagnosis of adult flatfoot //REJR. 2017; 7 (1):94-100. RUS] DOI:10.21569/2222-74152017-7-1-94-100.
5. *Лашковский В.В., Мармыш А.Г.* Детская и подростковая подиатрия – современные подходы к диагностике и лечению заболеваний стоп. Новости хирургии. 2011; 19 (2) [Lashkovskii V.V., Marmysh A.G. Children and teenage podiatry – modern approach to diagnosis and treatment of feet diseases. Surgery news. 2011; 19 (2). RUS].

6. *Жоха К. К., Александрович В. Л.* Плоскостопие. Новости лучевой диагностики, 1998; 2: 12-13. [*Zhokha K. K., Aleksandrovich V. L.* Flat-foot. Radiology News, 1998; 2: 12-13. RUS].
7. *Crim Julia R.* Imaging anatomy. Knee. Ankle. Foot. Second edition. Elsevier, Inc., 2017. ISBN: 978-0-323-47780-2.
8. *Lam A., Chan J.J., Surace M.F., Vulcano E.* Hallux rigidus: How do I approach it. World J Orthop. 2017 May 18; 8(5): 364-371. DOI: 10.5312/wjo.v8.i5.364.
9. *Кондрашова И.А., Давлетова Н.А., Кондрашов А.Н.* Клинико-рентгенологические аспекты диагностики Hallux valgus и поперечного плоскостопия. Травма, 2013; 14(4): 81-86. [*Kondrashova I.A., Davletova N.A., Kondrashov A.N.* Clinical and radiological aspects of diagnosis of Hallux valgus and transversal flatfeet. Trauma, 2013; 14(4): 81-86. RUS]
10. *Ceccarini P., Rinonapoli G., Nardi A., Bisaccia M., Di Giacomo L.M., Caraffa A.* Bunionette. Foot Ankle Spec. 2017 Apr;10(2):157-161. DOI: 10.1177/1938640016679696.

Сведения об авторах

Беляев Андрей Сергеевич – аспирант кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии лечебного факультета ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет),
E-mail: Belyaev.belyaev@gmail.com

Бобров Дмитрий Сергеевич – к.м.н., доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф лечебного факультета ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), E-mail: dsbmed@mail.ru

Серова Наталья Сергеевна – д.м.н., профессор кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии лечебного факультета ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет), E-mail: dr.serova@yandex.ru

Терновой Константин Сергеевич – к.м.н., доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), E-mail: ternovoy@hotmail.com

Information about the authors

Belyaev Andrey Sergeevich – Postgraduate of The Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Ministry of Health of Russia.

Bobrov Dmitriy Sergeevich – MD, PhD, Associate Professor of The Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Ministry of Health of Russia.

Serova Natalia Sergeevna – MD, PhD, DSc, Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences; The Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Ministry of Health of Russia.

Ternovoy Konstantin Sergeevich – MD, PhD, Associate Professor of The Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Ministry of Health of Russia.

Финансирование: Исследование не имело спонсорской поддержки.

Funding: The study had no sponsorship.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: The authors declare no conflict of interest.

Для корреспонденции:

Беляев Андрей Сергеевич – E-mail: as-belyaev@inbox.ru

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет)

Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Трубецкая, д.8, стр. 2.

I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Ministry of Health of Russia

ul. Trubetskaya, 8, stroenie 2, Moscow, 119991, Russian Federation