

## МЕТОДИКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МУЛЬТИСПИРАЛЬНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ В ДИАГНОСТИКЕ ПЛОСКОСТОПИЯ ВЗРОСЛЫХ

Терновой С.К., Серова Н.С., Беляев А.С., Бобров Д.С., Терновой К.С.

**Цель исследования.** Разработать методику функциональной мультиспиральной компьютерной томографии (фМСКТ) голеностопного сустава и стопы для оценки изменения взаимоотношения костей мелких суставов стопы при плоскостопии взрослых.

**Материалы и методы.** В исследование включено 38 пациентов (76 стоп) с болевым синдромом в положении статической опоры на стопы. Испытуемым выполнялось исследование голеностопного сустава и стопы с нагрузкой в положении лежа на спине в мультиспиральном компьютерном томографе Aquilion ONE 640 (Toshiba). После выполнения исследования проводились оценка и измерение смещения костей стопы.

**Результаты.** Разработанный способ фМСКТ, используемый для диагностики плоскостопия взрослых, позволяет повысить точность и информативность диагностики, в отличие от классического метода – рентгенографии с нагрузкой, использование которого позволяет осуществить оценку только высоты свода стопы и не обеспечивает возможности оценки изменений в таранно-пяточно-ладьевидном суставе, а также детальной оценки взаимоотношений плюсневых костей, диагностики молоточкообразной деформации межфаланговых суставов. Данная методика разработана и внедрена впервые. Оформлена заявка на изобретение № 2016123715 от 15 июня 2016 г. «Способ мультиспиральной компьютерно-томографической диагностики заболеваний голеностопного сустава и стопы».

**Выводы.** фМСКТ стопы и голеностопного сустава - перспективный неинвазивный метод, предназначенный для определения степени изменений в суставах стопы при приобретенном плоскостопии. Методика позволяет наиболее точно и детально диагностировать различные сочетания патологических изменений при приобретенном плоскостопии взрослых, что дает возможность корректно определять тактику лечения и объем хирургического вмешательства при данной патологии.

**Ключевые слова:** приобретенное плоскостопие, компьютерная томография стопы с нагрузкой, плоскостопие взрослых.

Контактный автор: Беляев А.С., as-belyaev@inbox.ru

Для цитирования: 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.

Статья получена: 20.01.2017

Статья принята: 28.02.2017

## METHODOLOGY OF FUNCTIONAL MULTISPIRAL COMPUTED TOMOGRAPHY IN THE DIAGNOSIS OF ADULT FLATFOOT

Ternovoy S. K., Serova N.S., Belyaev A.S., Bobrov D. S., Ternovoy K. S.

**Purpose.** To develop a methodology of functional multispiral computed tomography (fMSCT) of the foot and ankle to assess changing relationship of the bones of the foot small joints in adults flat feet.

**Materials and methods.** The study included 38 patients (76 feet) with pain in the

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

I.M. Sechenov First  
Moscow State Medical  
University.  
Moscow, Russia.

position of foot static support. The research of the ankle and foot was performed with load in the supine position using multispiral computed tomography Aquilion ONE 640 Toshiba. After the study displacement of the foot bones were analyzed and measured.

**Results.** The developed fMSCT methodology used for the diagnosis of flatfoot in adults, improves the accuracy and informativeness of diagnosis, in contrast to the classical load X-ray method, which allows to evaluate only the height of the foot arch and do not provide change's estimation of talus-calcaneal-navicular joint, as well as a detailed assessment of the relationship of the metatarsal bones, diagnostics of hummer interphalangeal joints deformation. This method was developed and implemented for the first time ever. A patent application № 2016123715 dated 15 June 2016 "Method of multispiral computed tomography of foot and ankle diseases" is submitted.

**Conclusions.** fMSCT of the foot and ankle is a promising non-invasive method designed to determine the extent of changes in the foot joints with acquired flatfoot. The method allows the most accurate and detailed diagnostics of different combinations of pathological changes in acquired flatfoot in adults that gives an opportunity to correctly define the treatment tactics and the volume of surgical intervention within this pathology.

Keywords: acquired flat foot, CT scan of the foot with load, flat feet in adults.

Corresponding author: Belyaev A.S., as-belyaev@inbox.ru

For citation: 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 flat-foot. *REJR*. 2017; 7 (1):94-100. DOI:10.21569/2222-7415-2017-7-1-94-100.

Received: 20.01.2017

Accepted: 28.02.2017

**З**аболевания голеностопного сустава и стопы занимают по частоте одно из первых мест и составляют 25-30% от общего количества пациентов с патологией опорно-двигательной системы. Любое нарушение функций стопы, независимо от этиологии и патогенеза, приводит к нарушению функции опоры, походки, устойчивости, требует дополнительных средств опоры, использования ортопедической обуви [1].

Плоская стопа (*pes planus*) характеризуется уменьшением сводов стопы различной степени, вплоть до полного исчезновения. Анализ результатов обследования большой группы людей показал, что плоскостопие выявляют у 10% детей и 16,4% взрослых. Чаще всего (63,3%) встречаются поперечное плоскостопие в сочетании с отведением 1 пальца стопы кнаружи [1].

Плоскостопие – полиэтиологическое заболевание, развивается в результате воздействия одновременно нескольких факторов. Статическое плоскостопие следует рассматривать как результат патологических изменений трех основных составляющих системы (мышечной, соединительно-тканной, костной) вследствие различных причин.

Первоначально известное как дисфункция задней большеберцовой мышцы у взрослых, это заболевание охватывает широкий диапазон деформаций. Деформации отличаются по тяжести и скорости прогрессирования. Постановка диагноза как можно раньше

является одним из самых важных факторов в лечении. Ранее агрессивное нехирургическое лечение имеет важное значение, но пациент должен серьезно рассмотреть возможность хирургической коррекции, чтобы избежать ухудшения. При всех четырех стадиях заболевания, целью операции является восстановление нормальной анатомии и функции стопы [2].

Вальгусная девиация заднего отдела стопы приводит к снижению продольного свода, при этом таранная кость разворачивается головкой круто вниз, в сторону подошвы, и свод уплощается, еще больше усугубляя вальгусную деформацию. При выраженной плоской стопе ладьевидная кость смещается латерально относительно головки таранной кости, находясь в состоянии подвывиха. Плоскостопие и вальгус заднего отдела стопы рассматривают как нераздельный компонент этой патологии. Так при плоскостопии рессорная функция стопы ослабляется, что увеличивает ударные нагрузки на коленные и тазобедренные суставы. Это приводит к быстрой утомляемостью человека, сопровождается болевыми ощущениями в разных частях тела, расположенных далеко от стопы [3].

До появления высокоинформативных неинвазивных методов исследования, таких как компьютерная томография и магнитно-резонансная томография, диагностика плоскостопия и вальгусной деформации стоп проводилась при помощи стандартной рентгенографии стоп с нагрузкой, в двух проекциях

[4]. При выполнении МСКТ и МРТ диагностика данной патологии стала более точной, однако при подобных исследованиях нет возможности судить непосредственно о степени нарушения взаимного расположения костей стопы при приобретенных деформациях, так как у данной группы пациентов изменения взаимоотношения костей и связанный с ними болевой синдром возникают только в положении вертикальной нагрузки на стопу [5].

На данный момент существует также огромное количество возможных измерений, производимых на боковых и прямых рентгенограммах стопы для определения степени деформации в разных суставах [6].

Среди прочих методов исследования выделяется и магнитно-резонансная томография, которая служит, прежде всего, для морфофункциональной оценки задней большеберцовой мышцы [7].

В последние годы в литературе стали появляться научные статьи, описывающие методику компьютерной томографии с нагрузочными пробами [8, 9].

Большой объем необходимой диагностической информации определяет сложность оперативного вмешательства при данной патологии, т.к. плоскостопие является заболеванием с комплексными деформациями в различных суставах стопы [6].

Для решения данной проблемы на базе Российско-японского научно-образовательного центра был разработан метод диагностики приобретенного плоскостопия взрослых при помощи фМСКТ.

#### **Цель.**

Разработать методику фМСКТ голеностопного сустава и стопы для оценки степени изменений в мелких суставах стопы при приобретенном плоскостопии взрослых.

#### **Материалы и методы.**

Для отработки методики было обследовано 38 пациентов (76 стоп) с болевым синдромом при вертикальном положении на мультиспиральном компьютерном томографе Aquilion ONE 640 (Toshiba) разработанным способом.

А. Томографирование проводят по протоколу Ankle/Foot volume:

Б. Томографирование проводят по протоколу Ankle/Foot helical:

С целью диагностики приобретенного плоскостопия и определения тактики лечения применялись следующие клинико-инструментальные методы:

- клинический метод (уточнение жалоб, сбор анамнеза, осмотр, оценка ортопедического статуса и т. д.);

- функциональная мультиспиральная компьютерная томография;

Клиническое обследование.

Клинический осмотр включал в себя сбор анамнеза (системные заболевания, травмы), уточнение локализации и выраженности болевого синдрома, определение угловых деформаций осей нагрузки (стопа, голень), определение эластичности деформации (тест Хубс-чера-Джека, мануальная коррекция положения), оценку коррекции вальгусного положения задних отделов стоп при отрыве пяток (выраженное нарушение функции ЗББМ/ригидная деформация), обратный тест Колемана.

При проведении фМСКТ стоп с нагрузочной диагностической поиск сводился к выявлению нарушения взаимоотношения в таранно-пяточно-ладьевидных суставах, отклонению угла пяточной кости, наличия таранно-малоберцового импиджмента.

Разработанная на базе Российско-японского центра визуализации методика заключается в следующем:

перед укладкой на стол томографа пациенту надевают жилет с поясом, фиксирующимся на плечи и тазовые кости и осуществляют опору стоп о специальную площадку (Рис.1). 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) (Рис. 2).

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.

Исследование проводилось по специально разработанному протоколу (табл.1/табл.2). После выполнения топограмм в сагиттальной и фронтальной проекциях проводят серию срезов в аксиальной проекции. При этом пациент испытывает аксиальную нагрузку на поверхность стопы с силой, пропорциональной массе собственного тела (определяется с помощью тензодатчика-динамометра и весоизмерительного преобразователя.

После получения срезов в аксиальной проекции (Рис. 3 а) выполняют мультипланарную реконструкцию (МПР), с преимущественной оценкой стопы в сагиттальной (Рис. 3 б) проекции. Отдельное внимание уделяется построению косо́й проекции для оценки патологического смещения ладьевидной кости в таранно-пяточно-ладьевидном суставе, построение которой происходит на сагиттальной МПР, верхняя точка оси проходит через задний край дистального эпифиза большеберцовой кости, нижняя точка оси проходит через середину ладьевидной кости (Рис. 3 в).



Рис. 1 (Fig. 1)

**Рис. 1. Фото.**

Укладка пациента при выполнении фМСКТ стоп с нагрузкой.

**Fig. 1. Photo.**

Patient's position during fMSCT examination of foot and ankle with the load.

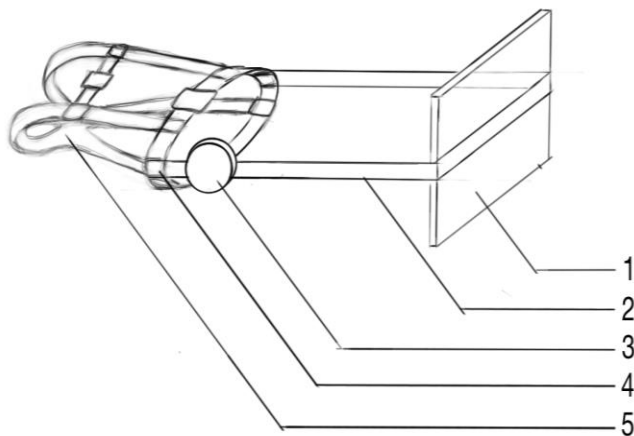


Рис. 2 (Fig. 2)

**Рис. 2. Схема устройства для выполнения фМСКТ стоп с нагрузкой.**

1 - опорная площадка, 2 - ремни для соединения жилета и опорной площадки, 3 - тензодатчик (динамометр), 4 - пояс, 5 -фиксирующий жилет.

**Fig. 2. Special device for fMSCT of foot and ankle with the load.**

1 - support platform, 2 - belts for connecting the waistcoat and support platform, 3 - dynamometer, 4 - belt, 5-fixing vest.

**Таблица № 1. Протокол МСКТ Ankle/Foot volume.**

Протокол МСКТ стопы с нагрузочной пробой	
Режим томографирования	Объемный
Толщина среза	0,5 мм
Угол наклона гентри	0 гр.
Зона исследования	160 мм
Напряжение	120 кВ
Сила тока	150 мА
Время одного оборота рентгеновской трубки	0,5 с
Время исследования	0,5 с
Тип реконструкции	Костный/мягкоканный

**Таблица № 2. Протокол МСКТ Ankle/Foot helical.**

Протокол МСКТ стопы с нагрузочной пробой	
Режим томографирования	Спиральный
Толщина среза	0,5 мм
Угол наклона гентри	0 гр.
Зона исследования	до 500 мм
Напряжение	120 кВ
Сила тока	100 мА
Время одного оборота рентгеновской трубки	0,5 с
Время исследования	4,2 с
Тип реконструкции	Костный/мягкотканый

Оценка взаимного расположения костей стопы также проводилось на 3D-реконструкциях стопы, что упрощалось с помощью имитации вертикальной нагрузки и, соответственно, расположение костей максимально приближено к физиологическому, возникающему при нагрузке на стопы (Рис. 3 г).

Проведенное исследование позволяет выявить ряд значительных преимуществ фМСКТ по сравнению с классической рентгенографией с нагрузкой, а именно:

- позволяет в полной мере оценить взаимное расположение голеностопного сустава и суставов стопы при нагрузке индивидуально в зависимости от веса пациента

- дает возможность оценить подвывихи и вывихи в дистальных межфаланговых суставах в момент опоры,

- позволяет построить достоверную ко-сую мультипланарную реконструкцию для

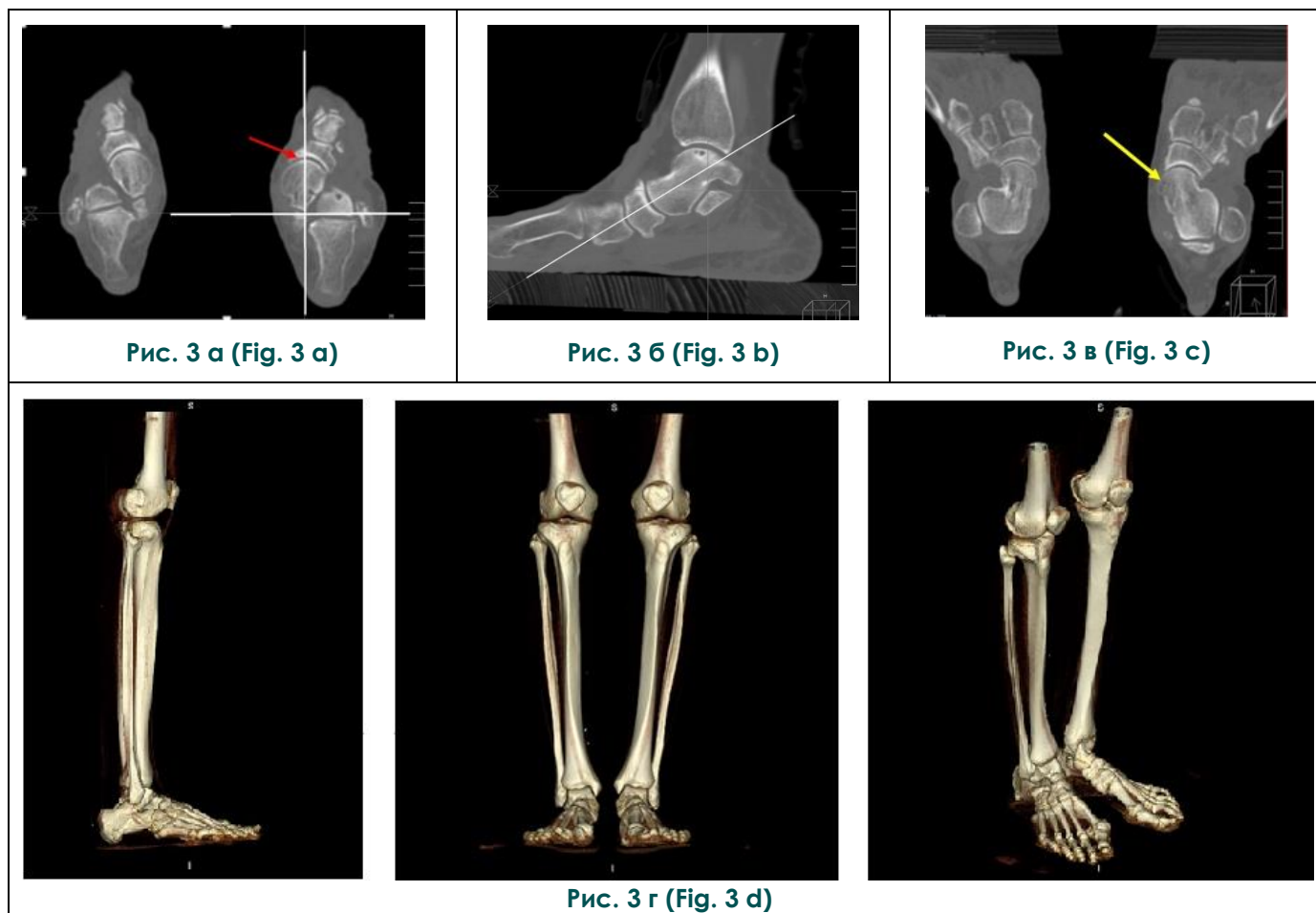
оценки степени подвывиха в таранно-пяточно-ладьевидном суставе (для определения степени изменений в крупных суставах стопы при плоскостопии, плоско-вальгусной деформации стопы, полой стопе)

- не требует использования дополнительных грузов

- позволяет точно количественно оценить исследуемые параметры

Наличие осевой нагрузки на стопу при компьютерной томографии также позволяет значительно повысить эффективность исследования, в отличие от диагностики без нагрузки.

В результате, после проведения фМСКТ с опорой на стопу, были получены наиболее точные данные о взаиморасположении костей в голеностопном суставе и в стопе, а также повысилась точность полученных данных о пространственном взаиморасположении



**Рис. 3.** МСКТ. Аксиальная реконструкция (а), сагиттальная с разметкой для построения мультипланарной реконструкции (б), косая мультипланарная реконструкция, построенная по данной методике (в), 3D – реконструкции (г).

Определяется смещение ладьевидной кости относительно таранной в левом таранно-пяточно-ладьевидном суставе (указано красной стрелкой), а также патологическое смещение головки таранной кости в таранно-пяточно-ладьевидном суставе (указано желтой стрелкой).

**Fig. 3.** MSCT. Axial reconstruction (a), sagittal with scheme for the multiplanar reconstruction (b), oblique multiplanar reconstruction, based on current method (c), 3D-reconstruction (d).

Displacement of the navicular bone of the left talus-calcaneal-navicular joint (red arrow), and a pathological displacement of talus head in talus-calcaneal-navicular joint (yellow arrow).

плюсневых костей и фаланг пальцев стоп, а также в таранно-пяточно-ладьевидном суставе.

*Пример.*

Пациентка П. Направляющий диагноз: Плоско-вальгусная деформация обеих стоп. Вальгусная деформация 1 пальца правой стопы.

Для уточнения диагноза в рамках предоперационной подготовки пациентке была проведена мультиспиральная компьютерная томография стоп с нагрузочной пробой. Исследование проводили на 640-спиральном компьютерном томографе AquilionOne фирмы Toshiba в спиральном режиме с толщиной среза 0,5 мм.

Для объективной оценки динамики состояния стоп нами использовались следующие рентгенометрические параметры: M1P1, M1M2, P1P2, M1M5, M4M5, M5P1, DASA, PASA.

M1P1 — угол вальгусного отклонения I пальца стопы — образован пересечением осей I плюсневой кости и проксимальной фаланги I пальца.

M1M2 — межплюсневый угол — образован продольными осями I и II плюсневых костей. Увеличение данного угла вызывает состояние, называемое metatarsus primus adductus.

P1P2 — угол межфаланговой вальгусной деформации I пальца — это угол между осями проксимальной и дистальной фаланг I пальца

M4M5 — угол варусного отклонения пятой плюсневой кости — образован осями IV и V плюсневых костей.

M1M5 — угол открытия переднего отдела стопы — угол между осями I и V плюсневых костей, характеризующий степень расплывчатости переднего отдела стопы.

M5P1 — угол плюснефалангового варусного отклонения V пальца — образован осями V плюсневой кости и проксимальной фалангой V пальца. Увеличение данного угла соответствует состоянию quintus varus [11].

Расстояние между головкой 1 плюсневой кости и диафизом 2 плюсневой (перпендику-

ляр ко 2 плюсневой из центра головки 1 плюсневой кости) при нагрузке 15 мм, без нагрузки 9 мм.

Расстояние между отростком таранной кости и пяткой в области тарзального синуса без нагрузки 6 мм, под нагрузкой 2 мм.

Межплюсневый угол (M1M2) без нагрузки 12 градусов, под нагрузкой — 21 градус.

Под нагрузкой 6 степень смещения сесамовидных костей по Hardy – Clapham, без нагрузочных проб — 3 степени [7,8,12]. Выявлена плосковальгусная деформация стопы со значительными морфологическими и функциональными нарушениями. Показана реконструктивная операция на стопе.

В отличие от известных методов мультиспиральная компьютерная томография с нагрузочной пробой позволяет в полном объеме оценивать состояние, взаимное расположение и степень деформации костей и суставов стоп.

**Заключение.**

Разработанный способ мультиспиральной компьютерной томографии заболеваний голеностопного сустава и стопы с нагрузочной пробой позволяет повысить точность диагностики за счет визуализации взаимоотношения структур, составляющих костно-суставной аппарат голеностопного сустава и стопы при наличии осевой нагрузки. Это дает возможность оперирующим травматологам-ортопедам более точно определять тактику и объем хирургического вмешательства при патологии голеностопного сустава и стопы.

Методика не ограничивается только диагностикой плосковальгусной деформации стоп, а также предполагает разработку различных вариантов диагностики других патологических состояний стопы и голеностопного сустава.

**Конфликт интересов и источник финансирования.**

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов и финансирования данного исследования.

**Список литературы:**

1. Миронов С.П., Котельников Г.П. Ортопедия: национальное руководство. Москва, ГЭОТАР-Медиа, 2008. 832 с.
2. Плосковальгусная деформация стоп. Клинические рекомендации. Минздрав Российской Федерации, Санкт-Петербург, 2013.
3. Задерей Ю.Н., Качер В.С., Гадацкий А.В., Ковалько Н.Т., Роман А.К., Василенко И.Н. Современные методы и средства диагностики статических деформаций стопы человека. Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2009; 2: 23-27.

4. Жоха К. К., Александрович В. А. Плоскостопие. Новости лучевой диагностики, 1998; 2: 12-13.
5. Park H., Hwang J. H., Seo W. J. O., Kim H. W. The Relationship Between Accessory Navicular and Flat Foot: A Radiologic Study. *Pediatr Orthop.* 2015; 35 (7): 739-745.
6. Mendicino R. W., Catanzariti A. R., Peterson K. S. Adult acquired flatfoot: Nonoperative options. *Lower extremity review,* 2012.
7. Hardy R.H., Clapham J.C. Observations on hallux valgus based on a controlled series. *J Bone Joint Surg Br.* 1951; 33(3): 376-91.
8. Meehan R. E., Brage M. Adult acquired flatfoot

deformity: clinical and radiographic examination. *Foot and ankle clin N Am.* 2003; 8: 431-452.

9. 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

10. Kido M., Ikoma K., Hara Y., Imai K., Maki M., Ikeda T., Fujiwara Hi., Tokunaga D., Inoue N., Kuboa T. Load response of the medial longitudinal arch in patients with flat foot deformity: in vivo 3D study. *Clinical biomechanics.* 2013; 28: 568-573.

### References:

1. Mironov S. P., Kotelnikov G. P. *Orthopaedics: the national guide.* Moscow, GEOTAR-Media, 2008. 832 p. (in Russian).

2. *Planus pes deformity of the feet. Clinical guidelines.* The Ministry Of Health Of The Russian Federation, Saint-Petersburg, 2013 (in Russian).

3. Zaderey Yu.N., Kacher V. S., Gadyatskaya A. V., Kovalko N. T., Roman L. K., Vasilenko I. N. Modern methods and means of diagnosis of static deformations of the foot of man. *East European journal of advanced technologies.* 2009; 2: 23-27 (in Russian).

4. Zhoha K. K., Alexandrovich V.L. *News of beam diagnostics.* 1998; 2: 12-13 (in Russian).

5. Park H., Hwang J. H., Seo w J. O., Kim H. W. The Relationship Between Accessory Navicular and Flat Foot: A Radiologic Study. *Pediatr Orthop.* 2015; 35 (7): 739-745.

6. Mendicino R. W., Catanzariti A. R., Peterson K. S. Adult acquired flatfoot: Nonoperative options. *Lower extremity review,* 2012.

7. Hardy R.H., Clapham J.C. Observations on hallux valgus based on a controlled series. *J Bone Joint Surg Br.* 1951; 33 (3): 376-91.

8. Meehan R. E., Brage Mi. Adult acquired flatfoot deformity: clinical and radiographic examination. *Foot and ankle clin N Am.* 2003; 8: 431-452.

11. Кондрашова И.А., Кондрашов А.Н. Давлетова Н.А. Клинико-рентгенологические аспекты диагностики hallux valgus и поперечного плоскостопия. *Травма.* 2013; 4 (14).

12. Boberg J.S., Torgrude E., Poock J. Radiographic evaluation of the hallucal sesamoids. 12: 51-54.

13. Kann J.N., Myerson M.S. Intraoperative pathology of the posterior tibial tendon. *Foot Ankle Clin.* 1997; 2: 343-355.

14. Thomas J. L., Kunkel M. W., Lopez R., Sparks D. Radiographic Values of the Adult Foot in a Standardized Population. 2006; 45 (1): 3-12.

9. Ternovoy S.K., Serova N.S., Abramov A.S., Ternovoy K.S. Functional multislise 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.

10. Kido M., Ikoma K., Hara Y., Imai K., Maki M., Ikeda T., Fujiwara Hi., Tokunaga D., Inoue N., Kuboa T. Load response of the medial longitudinal arch in patients with flat foot deformity: in vivo 3D study. *Clinical biomechanics.* 2013; 28: 568-573.

11. Kondrashov I. A., Kondrashov A. N. Summary. Clinical-radiological aspects of diagnosis hallux valgus and transverse flatfoot. *Trauma.* 2013; 4 (14) (in Russian).

12. Boberg J.S., Torgrude E., Poock J. Radiographic evaluation of the hallucal sesamoids. 12: 51-54.

13. Kann J.N., Myerson M.S. Intraoperative pathology of the posterior tibial tendon. *Foot Ankle Clin.* 1997; 2: 343-355.

14. Thomas J. L., Kunkel M. W., Lopez R., Sparks D. Radiographic Values of the Adult Foot in a Standardized Population. 2006; 45 (1): 3-12.