

РОЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МСКТ С НАГРУЗКОЙ В ДИАГНОСТИКЕ ЭЛАСТИЧНОЙ ПЛОСКОВАЛЬГУСНОЙ ДЕФОРМАЦИИ СТОПЫ

Серова Н.С., Беляев А.С., Бобров Д.С., Бабкова А.А., Карев А.С.

Компьютерная томография с нагрузкой играет важную роль в диагностике приобретенных деформаций стопы. В данной работе коллектив авторов представляет результаты применения функциональной МСКТ стопы с нагрузкой в определении стандартных угловых параметров у пациентов с эластическим типом плосквальгусной деформации, а также сравнительный анализ с данными классической МСКТ без нагрузки.

Цель работы. Определить возможности фМСКТ с нагрузкой при определении степени плосквальгусной деформации с помощью угловых параметров стопы.

Материалы и методы. В работу были включены 36 пациентов (59 стоп) с 1 степенью плосквальгусной деформации одной или двух стоп. Средний возраст пациентов составил $42 \pm 7,5$ лет. Всем пациентам было выполнено двухэтапное лучевое исследование (фМСКТ и МСКТ) на мультиспиральном компьютерном томографе Toshiba Aquilion One с использованием авторской методики (патент № 2659028). У всех пациентов проведена оценка угловых параметров стопы для определения степени деформации.

Результаты. Сравнение угловых показателей стопы на изображениях фМСКТ и МСКТ показали высоко статистически значимые различия в зависимости наличия или отсутствия осевой нагрузки на стопу. Применение функциональной МСКТ с нагрузкой является точным неинвазивным инструментом в определении угловых параметров стопы при приобретенной плосквальгусной деформации.

Ключевые слова: фМСКТ; плосквальгусная деформация; КТ с нагрузкой; угловые параметры стопы.

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

Для цитирования: Серова Н.С., Беляев А.С., Бобров Д.С., Бабкова А.А., Карев А.С. Роль функциональной МСКТ с нагрузкой в диагностике эластичной плосквальгусной деформации стопы. REJR 2019; 9(2):301-314. DOI:10.21569/2222-7415-2019-9-2-301-314.

Статья получена: 04.05.19

Статья принята: 02.07.19

ROLE OF FUNCTIONAL MSCT IN THE DIAGNOSIS OF ELASTIC FLATFOOT DEFORMITY

Serova N.S., Belyaev A.S., Bobrov D.S., Babkova A.A., Karev A.S.

Weight-bearing computed tomography is an important part of diagnosis of acquired foot deformities. Authors presents the results of the application of functional weight-bearing MSCT (fMSCT) in determining the standard angular parameters in patients with elastic type of pes planus, as well as a comparative analysis with the data of classical MSCT without weight-bearing.

Purpose. To determine the possibility of fMSCT in determining the degree of flatfoot deformity using the angular parameters of the foot.

Materials and methods. The study included 36 patients (59 feet) with 1 degree of pes planus of one or two feet. The mean age of patients was 42 ± 7.5 years. All patients underwent a two-stage visualization (fMSCT and MSCT) on a multispiral computed tomograph Toshiba Aquilion One using the author's technique (patent No. 2659028). All patients underwent evaluation of the angular parameters of the foot to determine the degree of defor-

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

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

mation.

Results. The use of functional weight-bearing MSCT is an accurate non-invasive tool in determining the angular parameters of the foot in pes planus..

Keywords: fmsct; acquired flatfoot; weight-bearing CT; angular parameters of the foot.

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

For citation: Serova N.S., Belyaev A.S., Bobrov D.S., Babkova A.A., Karev A.S. Role of functional MSCT in the diagnosis of elastic flatfoot deformity. REJR 2019; 9(2):301-314. DOI:10.21569/2222-7415-2019-9-2-301-314.

Received: 04.05.19

Accepted: 02.07.19

Приобретенные деформации стопы – актуальная, широко распространенная среди взрослого работоспособного населения группа заболеваний, имеющих полиэтиологическое происхождение и сложное клиническое течение [1-4]. Среди всех ортопедических заболеваний деформации стоп составляют порядка 20% [5].

Одной из наиболее часто встречающихся деформаций является плосковальгусная установка стопы разной степени тяжести [5, 6, 7]. По мнению Cifuentes-De la Portilla C. et al. (2019) частота встречаемости приобретенного плоскостопия взрослых неуклонно растет [8]. D.N. Papaliadis et al. (2014) отмечали, что от 5 до 20% взрослых страдают от плоскостопия [9].

К факторам риска можно отнести женский пол и поздний взрослый возраст по критериям ВОЗ (средний по данным исследований возраст - 45-55 лет), повышенное питание, прием кортикостероидов, наличие дополнительной ладьевидной кости (os tibiale externum), различные нарушения периферического кровообращения [10, 11, 12, 13].

Этиология приобретенной плоской деформации стопы имеет целый комплекс причин, среди которых на первое место выходит патология сухожилия задне-большеберцовой мышцы (ЗББМ) [10, 14, 15, 16]. Crevoisier X. et al. (2016) утверждали, что дисфункция сухожилия ЗББМ составляет 80% от всех возможных факторов, влияющих на возникновение плоскостопия [12].

В 2013 году Orr J.D. и Nunley J.A. описали вариант появления приобретенного плоскостопия у пациентов с изолированным повреждением только комплекса «spring ligament» одновременно с нормальной структурой сухожилия ЗББМ [17].

Этиологию эластичного варианта плоскостопия подробно изучали D.N. Papaliadis et al. (2014). Продольный свод стопы сохраняет свои рессорные характеристики без нагрузки и уплощается при вертикализации пациента и создания физиологической нагрузки на стопу

[9]. Ригидная деформация, в свою очередь, остается уплощенной как без нагрузки, так и при воздействии веса тела пациента на свод стопы. Одной из возможных причин наличия ригидной деформации стопы могут стать тарзальные коалиции [18, 19, 20].

Лучевая диагностика деформаций стопы является неотъемлемой частью стандартного протокола обследования данной группы пациентов и располагает широким спектром методов [21, 22, 23, 24]. До последнего времени наиболее распространенной методикой определения степени плосковальгусной деформации стопы являлась рентгенография с нагрузкой [25, 26]. Рентгенографию в различных проекциях применяют для детальной характеристики продольного свода стопы, а также положения, размеров и формы образующих его костей [27, 28]. Также проводится оценка бокового отклонения костей заднего отдела стопы и динамики изменения свода в процессе лечения.

Настоящим трендом лучевой диагностики приобретенных деформаций стопы сегодня является компьютерная томография с нагрузкой [29, 30, 31, 32]. Существенным недостатком классической компьютерной томографии в диагностике деформаций стопы является невозможность создания нагрузки на стопу [33, 34]. Оценка угловых показателей, а также таких патологий, как импинджмент-синдром, изменение взаиморасположения отдельных костей может быть оценено только при воздействии осевой нагрузки на нижние конечности [34, 35, 36].

De Cesar Netto C. et al. (2017) в своей работе «Flexible adult acquired flatfoot deformity: comparison between weight-bearing and non-weight-bearing measurements using cone-beam computed tomography» отмечали, что при сравнительной оценке эластичной плосковальгусной деформации более достоверные и информативные результаты угловых параметров были получены при наличии нагрузки на стопу [37]. Более точная оценка референтных угловых показателей стопы с возможностью позиционирования

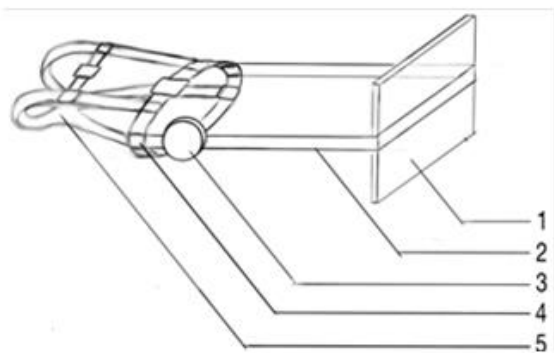


Рис. 1 а (Fig. 1 a)



Рис. 1 б (Fig. 1 b)

Рис. 1. Схема (а) и фотография (б) устройства для функциональной МСКТ стопы с нагрузкой.

1 – опорная площадка, 2 – ремни для крепления опорной площадки, 3 – тензодатчик, 4, 5 – пояс и жилет для фиксации на теле пациента.

Fig. 1. Scheme (a) and photo (b) of the device for functional CT of the foot with weight-bearing.

The width of the bony portion in front of the isthmus (a) and at the level of the attachment site of the tensor tympani muscle (b).

Таблица №1. Технические характеристики протокола МСКТ.

Режим томографирования	Объемный (Volume)
Толщина среза	0,5 мм
Угол наклона гентри	0 гр.
Зона исследования	160 мм
Поле исследования	350 мм
Напряжение	120 кВ
Сила тока	150 мА
Время оборота рентгеновской трубки	0,5 с
Время исследования	0,5 с

точек в трех взаимно перпендикулярных проекциях дает преимущества в предоперационном, а также в послеоперационном периоде.

Таким образом, использование компьютерной томографии с нагрузкой позволяет более информативно и точно оценить большой спектр патологических изменений в деформированной стопе и определить степень патологии с помощью угловых параметров.

Актуальность.

Высокая распространенность плоскостопия, а также тенденция к прогрессированию определяют необходимость совершенствования методов лучевой диагностики патологии стопы.

Цель исследования.

Целью данного исследования являлось определение возможностей функциональной МСКТ с нагрузкой в диагностике плоскостопия путем оценки угловых показателей стопы. Также был проведен сравни-

тельный анализ полученных результатов с данными МСКТ без нагрузки.

Материалы и методы.

В период с декабря 2016 по ноябрь 2018 года на базе университетской клинической больницы №1 Сеченовского университета в кабинете компьютерной томографии Российско-Японского научно-образовательного центра визуализации было обследовано 36 пациентов (59 стоп) с клиническим диагнозом плоскостопия 1 степени тяжести. Всем пациентам (n=59; 100,0 %) было проведено двухэтапное лучевое обследование на мультиспиральном компьютерном томографе Toshiba Aquilion One (Toshiba, Япония). Первым этапом проводилась функциональная МСКТ стопы с нагрузкой по разработанной методике (патент №2659028): пациент экипировался специальным устройством для создания осевой нагрузки на стопу в горизонтальном положении на ложементе компьютерного томографа (рис.

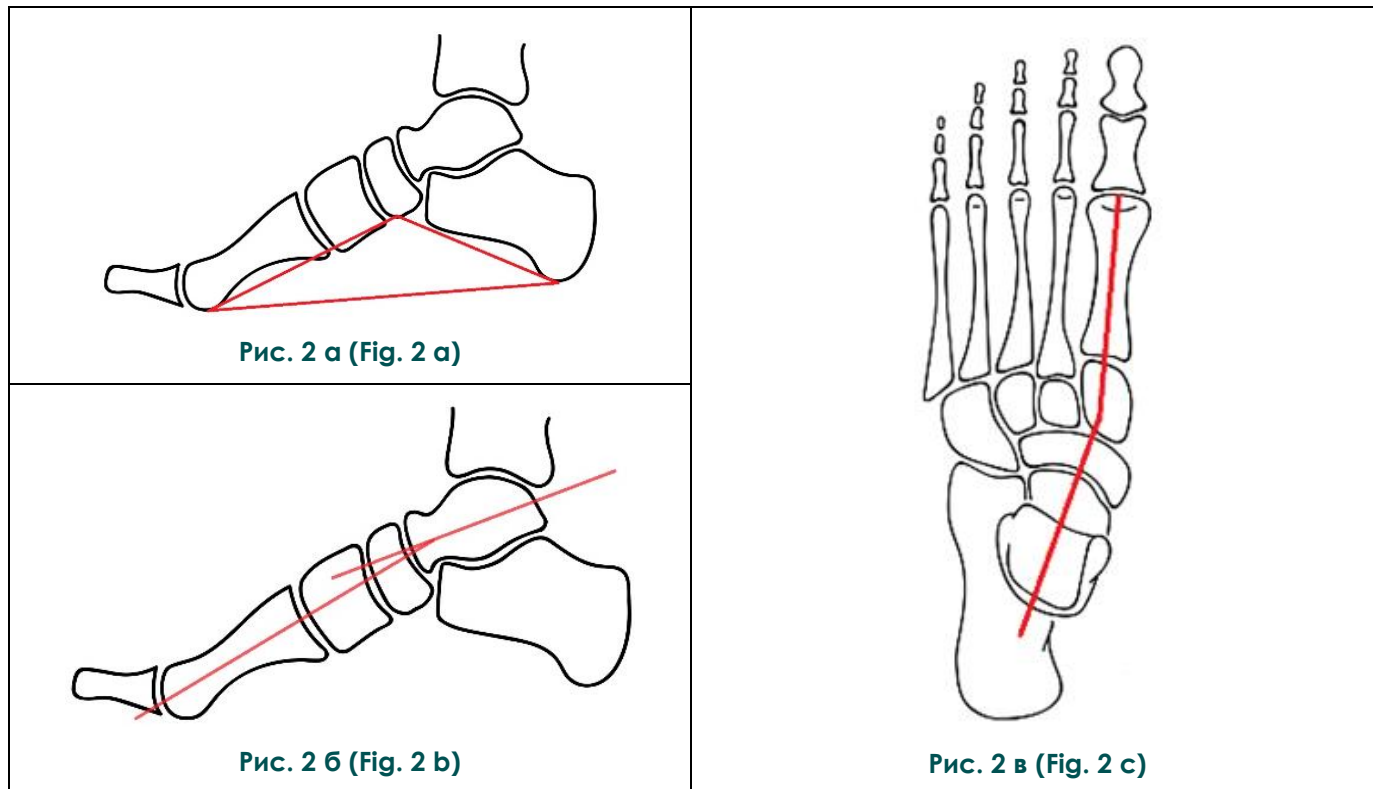


Рис. 2. Схема определения угловых параметров.

а – угол продольного свода; б – сагиттальный тарзально-1-метатарзальный угол; в – аксиальный тарзально-1-метатарзальный угол.

Fig. 2. Scheme of angular parameter determination.

a – longitudinal arch angle (LAA); b – sagittal tarsal-1-metatarsal angle; c – axial tarsal-1-metatarsal angle.

1). После чего пациенту проводилось классическое МСКТ исследование обеих стоп без нагрузки. Протокол сканирования представлен в таблице 1.

В исследование были включены пациенты с приобретенной плосковальгусной деформацией без хирургических вмешательств на стопе в анамнезе.

Для оценки степени плосковальгусной деформации были использованы 3 угловых параметра стопы: угол продольного свода (УПС) по Богданову, аксиальный тарзально-1-метатарзальный угол (АТМТУ) и сагиттальный тарзально-1-метатарзальный угол (СТМТУ) (рис. 2). Все параметры измерялись на цифровых изображениях фМСКТ и МСКТ.

Результаты.

Оценка 3 угловых параметров стопы проводилась на всех стопах (n = 59) после проведения двухэтапного лучевого обследования (фМСКТ с нагрузкой и МСКТ без нагрузки).

Анализ УПС и СТМТУ проводился на сагиттальных изображениях фМСКТ и МСКТ (рис. 3).

Для измерения АТМТУ необходимо было построить косую мультипланарную реконструкцию (МПР) с осью проходящей через центр та-

ральной и 1 плюсневых костей на сагиттальном изображении. После чего анализ АТМТУ проводился на косых аксиальных изображениях фМСКТ и МСКТ стопы (рис. 4).

Следующим этапом был сравнительный анализ полученных с помощью двух методов данных. Сводные данные измеренных показателей представлены в таблице 2.

Для всех исследованных в работе показателей были построены гистограммы и ящичные диаграммы распределения признаков (рис. 5).

Статистическая обработка полученных материалов показала, что распределения показателей имели асимметрию. Для характеристики совокупностей были использованы медианные значения. В таблице 3 приведены результаты проверки соответствия наблюдаемого распределения каждого показателя закону нормального распределения. Пороговый уровень значимости был принят за 0,05.

Результаты таблицы (значимость) показали, что с вероятностью 0,95 соответствует нормальному закону распределения только показатель АТМТУ без нагрузки (характеризовалось средним значением). Для характеристики центра распределения данных остальных показателей было использовано медианное (центральное)

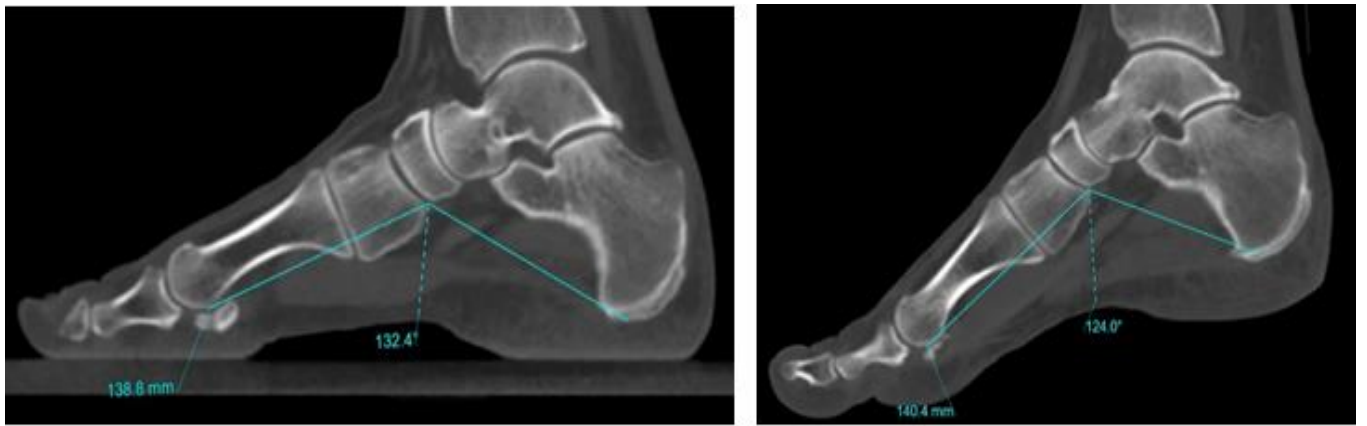


Рис. 3 а (Fig. 3 а)

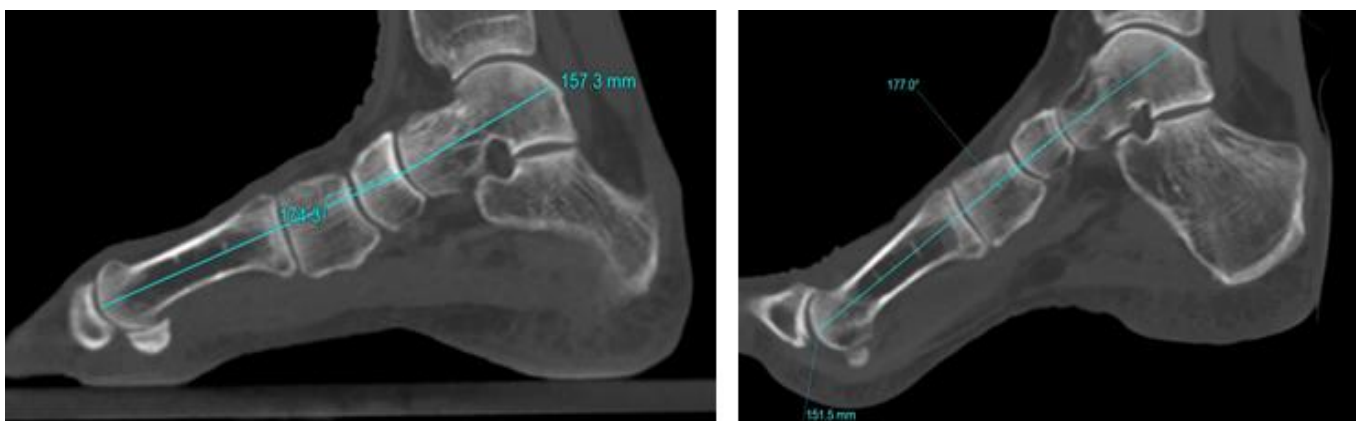


Рис. 3 б (Fig. 3 б)

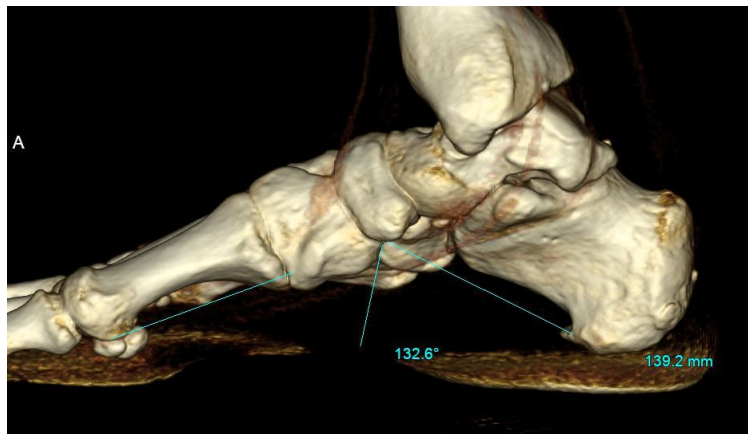


Рис. 3 в (Fig. 3 в)

Рис. 3. фМСКТ и МСКТ-изображения.

а – сагиттальная проекция, определение угла продольного свода; б – сагиттальная проекция, определение сагиттального тарзально-1-метатарзального угла; в – 3D-реконструкция, определение угла продольного свода.

Fig. 3. fMSCT and MSCT images.

a – sagittal view, determination of the angle of the longitudinal arch; b – sagittal view, determination of the sagittal tarsal-1-metatarsal angle; в – 3D reconstruction, determination of the angle of the longitudinal arch.



Рис. 4 а (Fig. 4 а)



Рис. 4 б (Fig. 4 б)

Рис. 4. фМСКТ и МСКТ-изображения.

Определение АТМТУ. а – фМСКТ стопы с нагрузкой, косая аксиальная проекция; б – МСКТ стопы без нагрузки, косая аксиальная проекция.

Fig. 4. fMSCT and MSCT images.

Determination of ATMTA. a – weight-bearing fMSCT of the foot, oblique axial view; b – MSCT of the foot without load, oblique axial view.

Таблица №2. Описательные статистики показателей в выборках (СО – стандартная ошибка среднего, СКО – стандартное отклонение среднего, КВ – коэффициент вариации).

Характеристика	Угловые показатели		
	УПС	СТМТУ	АТМТУ
фМСКТ с нагрузкой			
Минимум	31,0	1,0	6,0
Максимум	140,0	7,0	19,0
Среднее	136,0	2,8	13,2
СО	,4	,2	,4
СКО	2,7	1,8	2,9
Медиана	137,0	2,0	14,0
КВ, %	2,0	65,3	21,7
МСКТ без нагрузки			
Минимум	124,0	3,0	2,0
Максимум	132,0	14,0	14,0
Среднее	129,0	7,4	8,2
СО	,2	,3	,3
СКО	1,8	2,9	,9
Медиана	129,0	40,0	9,0
КВ, %	1,4	7,4	35,6

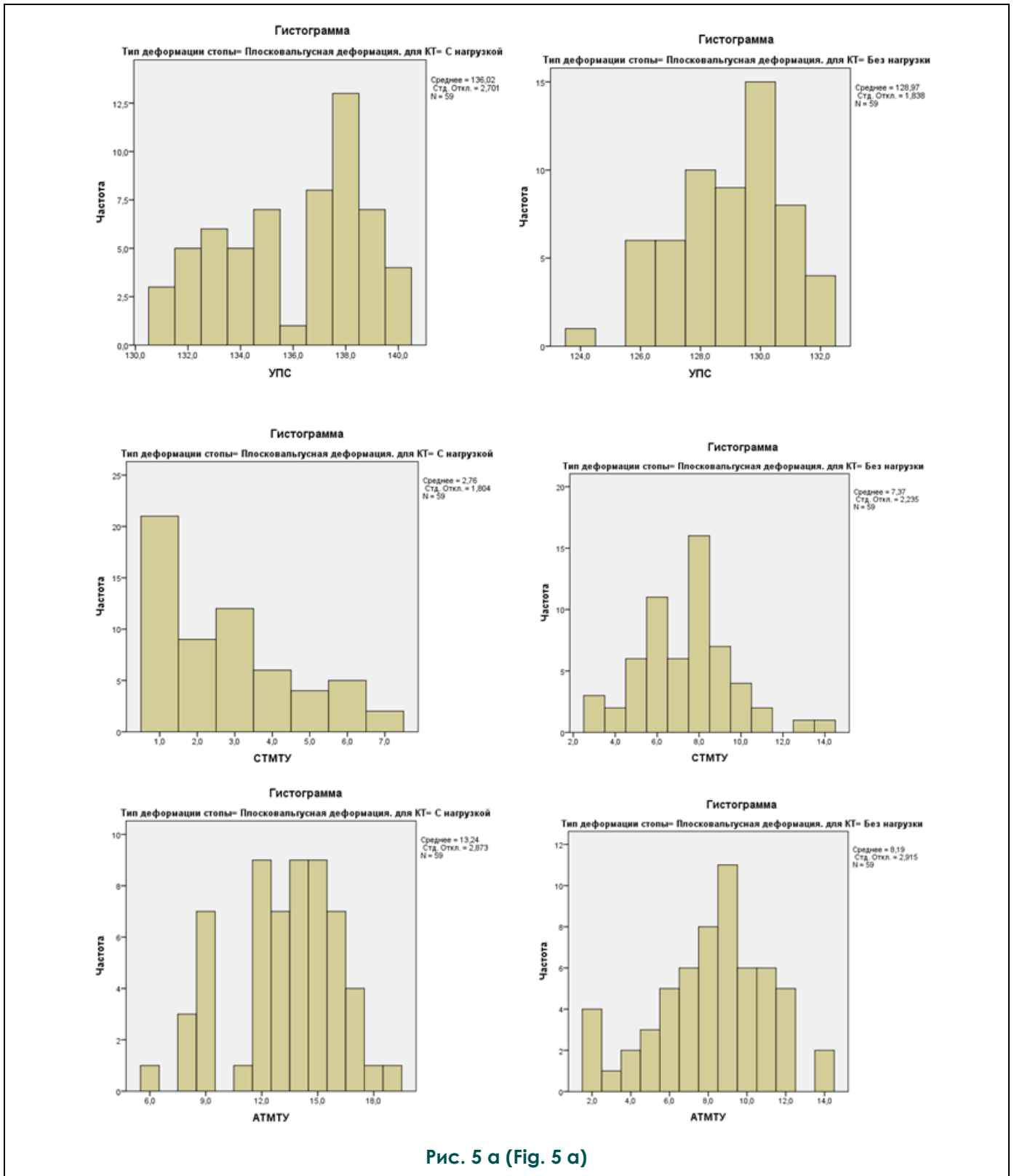


Рис. 5 а (Fig. 5 а)

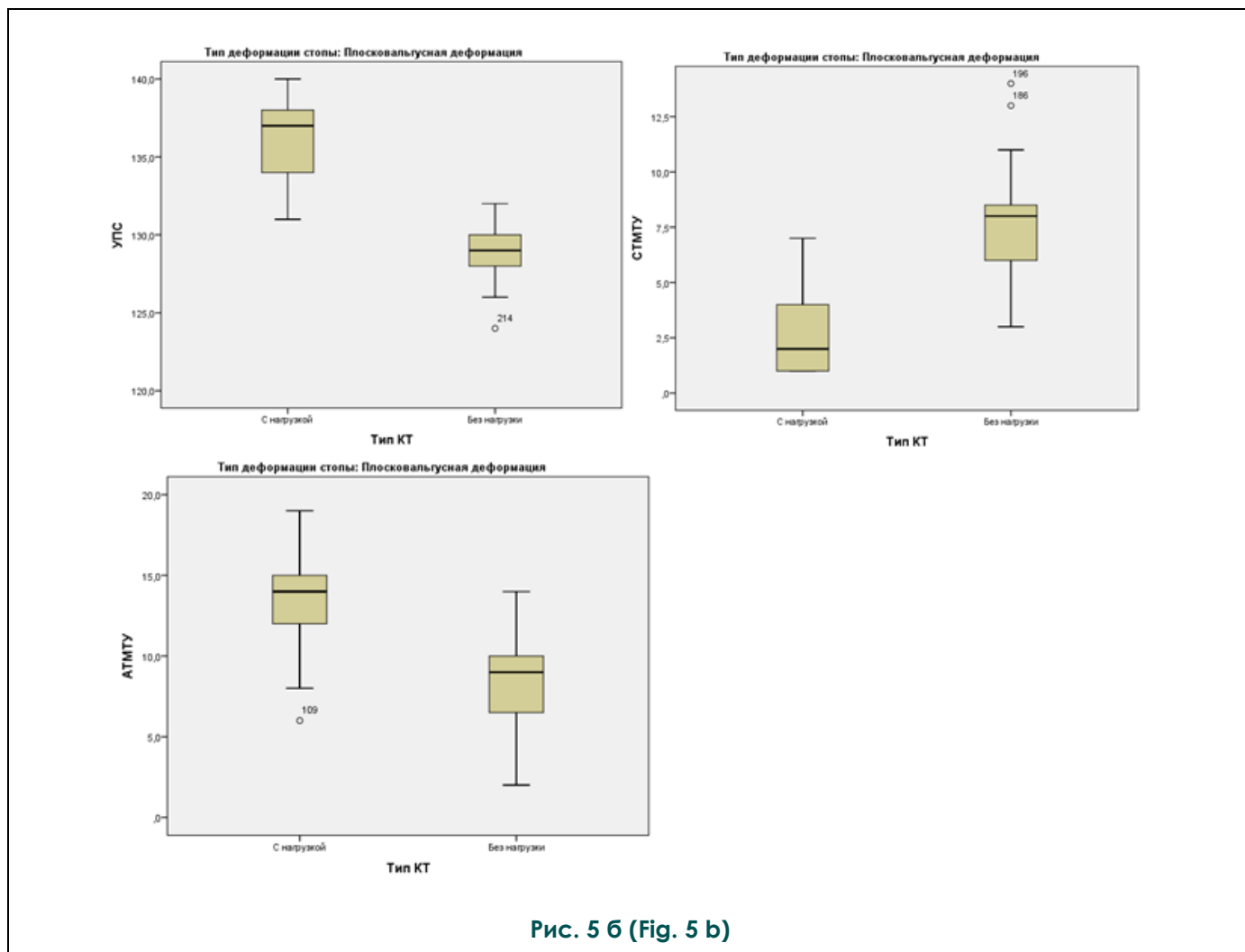


Рис. 5. Диаграммы распределения показателей.

а – гистограммы показателей УПС, СТМТУ, АТМТУ при фМСКТ и МСКТ; б – ящичные диаграммы показателей УПС, СТМТУ, АТМТУ при фМСКТ и МСКТ.

Fig. 5. Diagrams of the distribution of indicators and the histogram indicators.

а - LAA, STMTA, ATMTA on fMSCT and MSCT; б - box indicators of LAA, STMTA, ATMTA on fMSCT and MSCT.

Таблица №3. Результаты расчета критерия согласия с нормальным распределением.

Тип деформации стопы		Тип МСКТ	Критерий Шапиро-Уилка		
			Статистика	ст.св.	Значимость
Плосковальгусная деформация	УПС	С нагрузкой	,921	59	,001
		Без нагрузк	,950	59	,016
	СТМТУ	С нагрузкой	,857	59	,000
		Без нагрузки	,960	59	,049
	АТМТУ	С нагрузкой	,953	59	,022
		Без нагрузки	,963	59	,070

Таблица №4. Доверительные и предиктивные интервалы для показателей стопы при исследовании с помощью двух методов.

Характеристика	Угловые показатели			
		УПС	СТМТУ	АТМТУ
	фМСКТ с нагрузкой			
95% ДИ для среднего	Низ	135,3	2,3	12,5
	Верх	136,7	3,2	14,0
95% ДИ для медианы	Низ	137,0	2,0	14,0
	Верх	138,0	3,0	15,0
95% ПИ для индивидуальных значений	Низ	131,0	1,0	7,0
	Верх	140,0	7,0	18,5
	МСКТ без нагрузки			
95% ДИ для среднего	Низ	128,5	6,8	7,4
	Верх	129,4	8,0	8,9
95% ДИ для медианы	Низ	129,0	8,0	9,0
	Верх	130,0	9,0	11,0
95% ПИ для индивидуальных значений	Низ	125,0	3,0	2,3
	Верх	132,0	13,5	14,1

значение.

Были рассчитаны 95%-ые доверительные интервалы для среднего и медианных значений разности каждого показателя с нагрузкой и без нагрузки, а также предиктивные (предсказательные) интервалы для индивидуальных значений. Для показателей, имеющих нормальное распределение, рассчитаны параметрические предиктивные интервалы, для показателей с распределением, отличающимся от нормального – непараметрические (на основе бутстрэп-метода).

Целью исследования было сравнение значения показателей при фМСКТ с нагрузкой и МСКТ без нагрузки. В данном случае были представлены зависимые выборки, поэтому использовался парный критерий. Выбор критерия зависел от характера распределения разности значений каждого показателя. В таблице 5 приведены результаты расчета критерия согласия с нормальным распределением.

При пороговом уровне значимости 0,05 у показателей АТМТУ и СТМТУ (выделены жирным шрифтом) распределение можно было считать соответствующим нормальному. Для этих показателей был использован парный t-критерий Стьюдента (табл. 6, 7). Для УПС использовался непараметрический аналог – парный критерий Вилкоксона (табл. 8, 9).

Для показателей АТМТУ и СТМТУ определены высоко статистически значимые различия в зависимости от наличия или отсутствия осе-

вой нагрузки на стопу во время МСКТ-исследования. Расчет парного критерия Вилкоксона для показателя УПС также продемонстрировал высокую степень значимости различий двух методов (табл. 9).

Таким образом, по данным научного исследования было установлено, что для показателя АТМТУ средняя разность значений составила 5,05°, а при 95%-ом доверительном интервале (ДИ) значения показателя находились в пределах от 4,54° до 5,56°. Среднее значение разности СТМТУ при фМСКТ с нагрузкой и МСКТ без нагрузки определена на уровне 4,61°, при 95%-ом ДИ – от 3,97° до 5,25°.

Наиболее важным параметром в оценке степени плоской деформации стопы является УПС, среднее значение разности которого составило 7,5° в пределах от 6,5° до 8° (при 95% и 99% интервалах разности медиан Ходжеса-Лемана).

Установленные средние значения разности вышеописанных показателей являются клинически значимыми, т.к. в ряде случаев использование МСКТ стопы без нагрузки может «маскировать» реальную степень деформации продольного свода стопы, и, в последствии, влиять на тактику лечения пациента.

Обсуждение.

Современная лучевая диагностика располагает большим спектром высокотехнологичных методов для оценки патологии голеностопного сустава и стопы [24, 26, 27, 36]. Визуализация отдельных заболеваний стопы, таких как при-

Таблица №5. Результаты расчета критерия согласия с нормальным распределением для разности значений показателей при фМСКТ с нагрузкой и МСКТ без нагрузки.

Показатель	Тип деформации стопы	Критерий Шапиро-Уилка		
		Статистика	ст.св.	Значимость
D_АТМТУ	Плосковальгусная деформация	,969	59	,132
D_УПС	Плосковальгусная деформация	,931	59	,002
D_СТМТУ	Плосковальгусная деформация	,977	59	,317

Таблица №6. Результаты расчета парного t-критерия Стьюдента для показателей, имеющих нормальное распределение разности значений (АТМТУ, СТМТУ) при фМСКТ и МСКТ.

	Парные разности							t	ст.с в.	Знач. (двух-сторонняя)
	Ср.	Ст. откл.	Ст. ошибка ср.	95% доверительный интервал для разности		99% доверительный интервал для разности				
				Нижн	Верхн	Нижн	Верхн			
АТМТУ при фМСКТ и МСКТ	5,05	1,95	0,25	4,54	5,56	4,37	5,73	19,88 2	58	,000
СТМТУ при фМСКТ и МСКТ	-4,61	2,46	0,32	-5,25	-3,97	-5,46	-3,76	- 14,41 5	58	,000

Таблица №7. Итоговые выводы о статистической значимости различий для показателей, имеющих нормальное распределение разности значений фМСКТ и МСКТ.

Показатель	Парные разности		t	ст.с в.	Знач. (двух-сторонняя)	Стандартизованный эффект по Козну	Байесов коэффициент*	Вывод
	Среднее	Стандартное отклонение						
АТМТУ при фМСКТ и МСКТ	5,05	1,95	19,88 2	58	,000	2,6	0,000	Различия высоко статистически значимые. Эффект очень большой
СТМТУ при фМСКТ и МСКТ	-4,61	2,46	- 14,41 5	58	,000	1,9	0,000	Различия высоко статистически значимые. Эффект большой

Таблица №8. Результаты расчета парного критерия Вилкоксона.

Статистические критерии		УПС	
Z		-6,715 ^b	
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)		,000	
Значимость Монте-Карло (двухсторонняя)	Значимость	0,000	
Значимость Монте-Карло (двухсторонняя)	99% доверительный интервал	НГ	0,000
		ВГ	,000

b. На основе положительных рангов.

Таблица №9. Итоговые выводы о статистической значимости различий УПС, имеющего ненормальное распределение разности значений при фМСКТ с нагрузкой и МСКТ без нагрузки.

Статистические критерии		УПС	
Асимптотическая значимость (2-сторонняя)		,000	
Медиана разностей		7,5	
95% интервал разности медиан Ходжеса-Лемана	НГ	6,5	
	ВГ	8,0	
99% интервал разности медиан Ходжеса-Лемана	НГ	6,5	
	ВГ	8,0	

Выводы: Различия высоко статистически значимые.

обретенное плоскостопие взрослых, требует выполнения важного параметра – создания осевой нагрузки на стопы во время исследования [30, 35, 37]. Рентгенологическое исследование стопы с нагрузкой имеет ряд существенных недостатков при определении угловых параметров (сложная анатомия костных структур, суммационный эффект, проекционные искажения, ошибки установки стопы при исследовании), а классическая МСКТ не позволяет создать для стопы оптимальные (физиологические) условия осевой нагрузки во время исследования [33, 34].

Использование специальных приспособлений для создания нагрузки на нижние конечности пациента в горизонтальном положении позволяет выполнять функциональную МСКТ дистальных отделов нижних конечностей с последующей оценкой осевых параметров переднего, среднего и заднего отделов стопы. Имитация осевой нагрузки позволяет максимально при-

близить стопу к физиологическим условиям при вертикальном положении тела, что является важным критерием для достоверной диагностики причины болевого синдрома у пациентов с эластичной формой плосковальгусной деформации.

На сегодняшний день угол продольного свода стопы (УПС), определяемый по методике Богданова, является основным параметром для рентгенологической оценки степени уплощения продольного свода стопы у пациентов с плосковальгусной деформацией, который определяет дальнейшую лечебную тактику. Точность определения данного параметра напрямую зависит от наличия или отсутствия осевой нагрузки на стопу во время исследования. Аксиальный и сагиттальный тарзально-1-метатарзальные углы (АТМТУ, СТМТУ) являются вспомогательными критериями оценки степени плосковальгусной деформации и оценивают взаимное расположение таранной и 1 плюсневой костей.

Сравнительный анализ угловых парамет-

ров стопы с помощью фМСКТ с нагрузкой и МСКТ без нагрузки продемонстрировал статистически высоко значимые различия.

Таким образом, можно сделать вывод о высокой клинической значимости применения фМСКТ стопы с нагрузкой в диагностике эластичной формы плосковальгусной деформации, т.к. данная методика позволяет создать физиологические условия осевой нагрузки на нижние конечности пациента, выполняемые при рентгенологическом исследовании, а также полноценно использовать преимущества 3D-оценки

стопы с помощью мультиспиральной компьютерной томографии с более точным позиционированием основных точек угловых параметров стопы.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Список литературы:

1. Беленький А.Г. Плоскостопие. Справочник поликлинического врача. 2006; 9: 59-60.
2. Быстров С.В., Федерякин Д.В., Изотов И.А., Карасев В.А., Пенн С.Т. Сравнительный анализ результатов оперативного лечения вальгусной деформации первого пальца стопы. Верхневолжский медицинский журнал. 2016; 15 (3): 23-25.
3. Arunakul M., Amendola A., Gao Yu., Goetz J.E., Femino J.E., Phisitkul Ph. Tripod Index: A New Radiographic Parameter Assessing Foot Alignment. *Foot & Ankle International*. 2013; 34: 1411-1420.
4. Toullec E. Adult flatfoot. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2015; 101: 11-7.
5. Мацакян А.М., Ширмазанян А.М., Грохводацкий А.В. Операции на сухожилии задней большеберцовой мышцы при лечении статической плоско-вальгусной деформации. Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2017; 16 (4): 168-177.
6. Булатов А.А., Емельянов В.Г., Михайлов К.С. Плосковальгусная деформация стоп у взрослых (обзор иностранной литературы). *Травматология и ортопедия России*. 2017; 23 (2): 102-114.
7. Зейналов В.Т., Карданов А.А., Корышков Н.А., Левин А.Н., Шайкевич А.В., Самков А.С., Гаврилова Н.С. Особенности хирургической коррекции посттравматической вальгусной деформации голеностопного сустава сопровождающейся остеоартрозом у пациентов с плосковальгусной деформацией стоп. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2016; 20 (4): 25-32.
8. Cifuentes-De la Portilla C., Larrainzar-Garijo R., Bayod J. Analysis of the main passive soft tissues associated with adult acquired flatfoot deformity development: A computational modeling approach. *J Biomech*. 2019; 84: 183-190.
9. Papaliodis D.N., Vanushkina M.A., Richardson N.G., DiPreta J.A. The foot and ankle examination. *Med Clin N Am*. 2014; 98: 181-204.
10. Бобров Д.С., Ченский А.Д., Слияков Л.Ю., Якимов Л.А., Хурцилава Н.Д. Причины болевого синдрома у пациентов с приобретенным плоскостопием. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2015; 14 (2).
11. Миронов С.П., Котельников Г.П. Ортопедия: Национальное руководство. Москва, ГЭОТАР-Медиа, 2008. 832 с.
12. Crevoisier X., Assal M., Stanekova K. Hallux valgus, ankle osteoarthritis and adult acquired flatfoot deformity: a review of three common foot and ankle pathologies and their treatments. *EFORT Open Rev*. 2016; 1: 58-64.
13. Meehan R.E., Brage M. Adult acquired flat foot deformity: clinical and radiographic examination. *Foot Ankle Clin*. 2003; 8: 431-52.
14. Abousayed M.M., Tartaglione J.P., Rosenbaum A.J., Dipreta J.A. Classifications in Brief: Johnson and Strom Classification of Adult-acquired Flatfoot Deformity. *Clin Orthop Relat Res*. 2016; 474: 588-93.
15. Bubra P.S., Keighley G., Rateesh S., Carmody D. Posterior tibial tendon dysfunction: an overlooked cause of foot deformity. *J Family Med Prim Care*. 2015; 4: 26-9.
16. Tochukwu C. I., James D. B. Jr., Raymond E. Ch., Irvin O. Evaluation and Treatment of Posterior Tibialis Tendon Insufficiency in the Elderly Patients. *Geriatric Orthopaedic Surgery & Rehabilitation*. 2019; 10: 1-7.
17. Orr J.D., Nunley J.A. 2nd. Isolated spring ligament failure as a cause of adult-acquired flatfoot deformity. *Foot Ankle Int*. 2013; 34: 818-23.
18. Сапоговский А.В., Кенис В.М. Клиническая диагностика ригидных форм plano-вальгусных деформаций стоп у детей. *Травматология и ортопедия России*. 2015; 78 (4): 46-51.
19. Сапоговский А.В., Кенис В.М., Хусаинов Р.Х. Диагностическое значение рентгенологических признаков тарзальных коалиций. *Травматология и ортопедия России*. 2014; 71 (1): 86-91.
20. Cass A.D., Camasta C.A. A review of tarsal coalition and pes planovalgus: clinical examination, diagnostic imaging, and surgical planning. *J Foot Ankle Surg*. 2010; 49: 274-93.
21. Кожевников О.В., Косов И.С., Иванов А.В., Грибова И.В., Болотов А.В. Сравнительная оценка результатов комплексного и консервативного лечения плосковальгусной деформации стоп у детей. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2015; 2: 55-59.
22. Aebi J., Horisberger M., Frigg A. Radiographic Study of Pes Planovarus. *Foot Ankle Int*. 2017; 38: 526-531.
23. Barg A., Bailey T., Richter M., de Cesar Netto C., Lintz F., Burssens A., Phisitkul P., Hanrahan C.J., Saltzman C.L. Weightbearing computed tomography of the foot and ankle: emerging technology topical review. *Foot Ankle Int*. – 2018; 39: 376-386.
24. Mengiardi B., Pinto C., Zanetti M. Spring Ligament Complex and Posterior Tibial Tendon: MR Anatomy and Findings in Acquired Adult Flatfoot Deformity. *Semin Musculoskelet Radiol*. 2016; 20: 104-15.
25. Жоха К.К., Александрович В.А. Плоскостопие. *Новости лучевой диагностики*. 1998; 2: 12-3.
26. Леончук С.С., Евреинова Я.В., Сазонова Н.В. Применение

актуальных референтных линий и углов в диагностике и лечении патологии стопы и голеностопного сустава. *REJR*. 2018; 8 (4): 143-154.

27. Задерей Ю.Н., Качер В.С., Гадяцкий А.В., Ковалько Н.Т., Роман Л.К., Василенко И.Н. Современные методы и средства диагностики статических деформаций стопы человека. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2009; 4 (2): 23-7.

28. Bubra P.S., Keighley G., Rateesh S., Carmody D. Posterior tibial tendon dysfunction: an overlooked cause of foot deformity. *J Family Med Prim Care*. 2015; 4: 26-9.

29. Gbejuade H.O., White P., Hassaballa M., Porteous A.J., Robinson J.R., Murray J.R. Do long leg supine CT scanograms correlate with weight-bearing full-length radiographs to measure lower limb coronal alignment? *Knee*. 2014; 21: 549-52.

30. Godoy-Santos A., De Cesar Netto C. Weight-bearing computed tomography of the foot and ankle: an update and future directions. *Acta Ortop Bras*. 2018; 26: 135-9.

31. Krähenbühl N., Tschuck M., Bolliger L., Hintermann B., Knupp M. Measurement and Reliability Using Weightbearing CT Scans of the Orientation of the Subtalar Joint. *Foot & Ankle International*. 2015; 37: 109-14.

32. Rohan P.Y., Perrier A., Ramanoudjame M., Hausselle J., Lelièvre H., Seringe R., Skalli W., Wicart P. Three-dimensional

reconstruction of foot in the weightbearing position from biplanar radiographs: evaluation of accuracy and reliability. *J Foot Ankle Surg*. 2018; 57: 931-937.

33. Welck M.J., Myerson M.S. The value of Weight-Bearing CT scan in the evaluation of subtalar distraction bone block arthrodesis: Case report. *Foot Ankle Surg*. 2015; 21: 55-9.

34. Burssens A., Peeters J., Buedts K., Victor J., Vandeputte G. Measuring hindfoot alignment in weight bearing CT: A novel clinical relevant measurement method. *Foot Ankle Surg*. 2016; 22: 233-238.

35. Yoshioka N., Ikoma K., Kido M., Imai K., Maki M., Arai Y., Fujiwara H., Tokunaga D., Inoue N., Kubo T. Weight-bearing three-dimensional computed tomography analysis of the forefoot in patients with flatfoot deformity. *J Orthop Sci*. 2016; 21: 154-8.

36. Colin F., Horn Lang T., Zwicky L., Hintermann B., Knupp M. Subtalar Joint Configuration on Weightbearing CT Scan. *Foot & Ankle International*. 2014; 35: 1057-1062.

37. De Cesar Netto C., Schon L.C., Thawait G.K., da Fonseca L.F., Chinanuvathana A., Zbijewski W.B., Siewerdsen J.H., Demehri S. Flexible adult acquired flatfoot deformity: comparison between weight-bearing and non-weight-bearing measurements using cone-beam computed tomography. *J Bone Joint Surg Am*. 2017; 99: 98.

References:

1. Belenky A. G. Flat Feet. *Handbook of outpatient physician*. 2006; 9: 59-60. (in Russian).

2. Bystrov S. V., Federacin D. V., Izotov A. I., Karasev V. A., Repp S. T. Comparative analysis of the results of operative treatment of hallux valgus of the first toe. *Verhnevolzhskiy medical journal*. 2016; 15 (3): 23-25. (in Russian).

3. Arunakul M., Amendola A., Gao Yu., Goetz J.E., Femino J.E., Phisitkul Ph. Tripod Index: A New Radiographic Parameter Assessing Foot Alignment. *Foot & Ankle International*. 2013; 34: 1411-1420.

4. Toullec E. Adult flatfoot. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2015; 101: 11-7.

5. Matsakyan A.M., Shirmazanyan A.M., Gorokhvodatskiy A.V. Operations on the posterior tibial tendon in the treatment of static flat-hallux valgus. *Bulletin of Smolensk state medical Academy*. 2017; 16 (4): 168-177. (in Russian).

6. Bulatov A. A., Emelyanov V. G., Mikhailov K. S. Flat-hallux valgus of feet in adults (review of foreign literature). *Traumatology and orthopedics of Russia*. 2017; 23 (2): 102-114. (in Russian).

7. Zeynalov V. T., Kardanov A. A., Koreshkov N. A., Levin A. N., Shaikevich A. V., Samkov A. S., Gavrilova N. V. Features of surgical correction of posttraumatic valgus deformity of the ankle joint accompanied by osteoarthritis in patients with PLANO feet deformation. *Department of traumatology and orthopedics*. 2016; 20 (4): 25-32. (in Russian).

8. Cifuentes-De la Portilla C., Larrainzar-Garijo R., Bayod J. Analysis of the main passive soft tissues associated with adult acquired flatfoot deformity development: A computational modeling approach. *J Biomech*. 2019; 84: 183-190.

9. Papaliadis D.N., Vanushkina M.A., Richardson N.G., DiPreta J.A. The foot and ankle examination. *Med Clin N Am*. 2014; 98: 181-204.

10. Bobrov D. A., Chensky, A. D., Slunakov L. Yu., Yakimov L.

A., Khurtsilava N. D. Causes of pain syndrome in patients with acquired flatfoot. *Department of traumatology and orthopedics*. 2015; 14 (2). (in Russian).

11. Mironov S. P., Kotelnikov G. P. *Orthopedics: National guideline*. Moscow, GEOTAR-Media, 2008. 832 p. (in Russian).

12. Crevoisier X., Assal M., Stanekova K. Hallux valgus, ankle osteoarthritis and adult acquired flatfoot deformity: a review of three common foot and ankle pathologies and their treatments. *EFORT Open Rev*. 2016; 1: 58-64.

13. Meehan R.E., Brage M. Adult acquired flat foot deformity: clinical and radiographic examination. *Foot Ankle Clin*. 2003; 8: 431-52.

14. Abousayed M.M., Tartaglione J.P., Rosenbaum A.J., Dipreta J.A. Classifications in Brief: Johnson and Strom Classification of Adult-acquired Flatfoot Deformity. *Clin Orthop Relat Res*. 2016; 474: 588-93.

15. Bubra P.S., Keighley G., Rateesh S., Carmody D. Posterior tibial tendon dysfunction: an overlooked cause of foot deformity. *J Family Med Prim Care*. 2015; 4: 26-9.

16. Tochukwu C. I., James D. B. Jr., Raymond E. Ch., Irvin O. Evaluation and Treatment of Posterior Tibialis Tendon Insufficiency in the Elderly Patients. *Geriatric Orthopaedic Surgery & Rehabilitation*. 2019; 10: 1-7.

17. Orr J.D., Nunley J.A. 2nd. Isolated spring ligament failure as a cause of adult-acquired flatfoot deformity. *Foot Ankle Int*. 2013; 34: 818-23.

18. Sapogovsky A.V., Kenis V. M. Clinical diagnosis of rigid forms of PLANO-valgus deformities of feet in children. *Traumatology and orthopedics of Russia*. 2015; 78 (4): 46-51. (in Russian).

19. Sapogovsky A.V., Kenis V. M., Khusainov R. H. Diagnostic value of radiological signs of tarsal coalitions. *Traumatology and orthopedics of Russia*. 2014; 71 (1): 86-91. (in Russian).

20. Cass A.D., Camasta C.A. A review of tarsal coalition and

pes planovalgus: clinical examination, diagnostic imaging, and surgical planning. J Foot Ankle Surg. 2010; 49: 274-93.

21. Kozhevnikov O. V., Kosov I. S., Ivanov A.V., Gribova I. V., Bolotov A.V. Comparative evaluation of the results of complex and conservative treatment of flat-hallux of feet in children. *Journal of traumatology and orthopedics N.N. Priorov. 2015; 2: 55-59. (in Russian).*

22. Aebi J., Horisberger M., Frigg A. Radiographic Study of Pes Planovarus. *Foot Ankle Int. 2017; 38: 526-531.*

23. Barg A., Bailey T., Richter M., de Cesar Netto C., Lintz F., Burssens A., Phisitkul P., Hanrahan C.J., Saltzman C.L. Weightbearing computed tomography of the foot and ankle: emerging technology topical review. *Foot Ankle Int. – 2018; 39: 376-386.*

24. Mengiardi B., Pinto C., Zanetti M. Spring Ligament Complex and Posterior Tibial Tendon: MR Anatomy and Findings in Acquired Adult Flatfoot Deformity. *Semin Musculoskelet Radiol. 2016; 20: 104-15.*

25. Joha K. K., Alexandrovich V. L. Flat Feet. *News of radiation diagnosis. 1998; 2: 12–3. (in Russian).*

26. Leonchuk S. S., Evreinov, Y. V., Sazonova N. V. The application of the relevant reference lines and angles in the diagnosis and treatment of pathology of the foot and ankle. *REJR. 2018; 8 (4): 143-154. (in Russian).*

27. Zaderey Yu. N., Kucher V. S., Gadyatskaya A. V., Kovalko T. N., Roman L. K., Vasilenko I. N. Modern methods and means of diagnosis of static deformations of the foot of man. *Eastern European journal of advanced technologies. 2009; 4 (2): 23–7. (in Russian).*

28. Bubra P.S., Keighley G., Rateesh S., Carmody D. Posterior tibial tendon dysfunction: an overlooked cause of foot deformity. *J Family Med Prim Care. 2015; 4: 26-9.*

29. Gbejuade H.O., White P., Hassaballa M., Porteous A.J., Robinson J.R., Murray J.R. Do long leg supine CT scanograms correlate with weight-bearing full-length radiographs to measure

lower limb coronal alignment? *Knee. 2014; 21: 549-52.*

30. Godoy-Santos A., De Cesar Netto C. Weight-bearing computed tomography of the foot and ankle: an update and future directions. *Acta Ortop Bras. 2018; 26: 135-9.*

31. Krähenbühl N., Tschuck M., Bolliger L., Hintermann B., Knupp M. Measurement and Reliability Using Weightbearing CT Scans of the Orientation of the Subtalar Joint. *Foot & Ankle International. 2015; 37: 109-14.*

32. Rohan P.Y., Perrier A., Ramanoudjame M., Hausselle J., Lelièvre H., Seringe R., Skalli W., Wicart P. Three-dimensional reconstruction of foot in the weightbearing position from biplanar radiographs: evaluation of accuracy and reliability. *J Foot Ankle Surg. 2018; 57: 931-937.*

33. Welck M.J., Myerson M.S. The value of Weight-Bearing CT scan in the evaluation of subtalar distraction bone block arthrodesis: Case report. *Foot Ankle Surg. 2015; 21: 55-9.*

34. Burssens A., Peeters J., Buedts K., Victor J., Vandeputte G. Measuring hindfoot alignment in weight bearing CT: A novel clinical relevant measurement method. *Foot Ankle Surg. 2016; 22: 233-238.*

35. Yoshioka N., Ikoma K., Kido M., Imai K., Maki M., Arai Y., Fujiwara H., Tokunaga D., Inoue N., Kubo T. Weight-bearing three-dimensional computed tomography analysis of the forefoot in patients with flatfoot deformity. *J Orthop Sci. 2016; 21: 154-8.*

36. Colin F., Horn Lang T., Zwicky L., Hintermann B., Knupp M. Subtalar Joint Configuration on Weightbearing CT Scan. *Foot & Ankle International. 2014; 35: 1057–1062.*

37. De Cesar Netto C., Schon L.C., Thawait G.K., da Fonseca L.F., Chinanuvathana A., Zbijewski W.B., Siewerdsen J.H., Demehri S. Flexible adult acquired flatfoot deformity: comparison between weight-bearing and non-weight-bearing measurements using cone-beam computed tomography. *J Bone Joint Surg Am. 2017; 99: 98.*