

## КОНУСНО-ЛУЧЕВАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ В ДИАГНОСТИКЕ ПЛОСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ СТОПЫ: ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

А. А. Емельянцева<sup>✉\*</sup>, В. С. Бабин<sup>✉</sup>, Д. Ю. Анохин<sup>✉</sup>, В. В. Ипатов<sup>✉</sup>, А. И. Сандлер<sup>✉</sup>, А. Н. Григорян<sup>✉</sup>,  
Е. А. Жукова<sup>✉</sup>, Л. А. Лебедев<sup>✉</sup>, А. В. Ведерников<sup>✉</sup>

Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Плоские деформации являются одними из наиболее часто встречающихся патологических изменений стоп. Плоскостопие является заболеванием с высоким социальным значением, поскольку не только оказывает влияние на качество жизни отдельного человека, но и является важным фактором классификации на различные категории годности к военной службе. Основным методом диагностики этих заболеваний является рентгенография стоп в боковой проекции в условиях естественной нагрузки. Несмотря на многочисленные публикации, в которых описываются различные методики оценки соотношения костей стопы, в научной среде отсутствует единое мнение о точных критериях плоскостопия и его степеней. При этом отмечается, что на итоговое заключение влияет не только способ оценки готового изображения, но и особенности его получения. Конструкция современных цифровых рентгеновских аппаратов в большинстве случаев не приспособлена для проведения классической рентгеновской подографии, а выполнение исследования без специальных устройств и невозможность строгого соблюдения методики приводят к значительным искажениям результатов. Из этого следует, что для диагностики плоских деформаций стоп требуется специализированное оборудование, позволяющее разработать единую методику проведения исследования и ограничивающую возможности симуляций и агграваций.

**ЦЕЛЬ:** Определить возможности конусно-лучевой компьютерной томографии в диагностике плоской деформации стоп в положении стоя с естественной нагрузкой.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** В данном исследовании принимали участие 100 пациентов, проходивших обследование в Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова. Все пациенты были обследованы с использованием классической методики рентгенографии и с использованием конусно-лучевого компьютерного томографа (КЛКТ) «АТРИСС» («Электрон», Россия). Томограммы оценивались двумя методиками: с использованием усредненного изображения и с использованием тонкого среза. Исследование проводилось двумя врачами с определением высоты и угла свода стопы с последующей оценкой степени плоскостопия.

*Статистика.* Статистический анализ проводился с использованием программного обеспечения Medcalc (версия 18.2.1). Сравнивались абсолютные результаты измерений на продольное и поперечное плоскостопие, полученные различными методиками, а также время, затраченное на исследование (критерии Уилкоксона и Фридмана), степень корреляции между измерениями (критерий Спирмена), а также степень согласованности заключений двух экспертов на выявление продольного и поперечного плоскостопия (коэффициент Каппа-Коэна).

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** Измерения углов в абсолютных значениях значимо не различались между всеми используемыми методиками ( $p=0,1803$ ). Отмечались значимые различия между измерениями высоты свода стопы между рентгенологическим методом и КЛКТ ( $p<0,01$ ). При сравнительном анализе рентгенографии и КЛКТ двумя экспертами отмечалась высокая согласованность результатов исследований. КЛКТ позволяла выполнять исследования с меньшими затратами времени ( $p<0,01$ ). Эффективная доза при КЛКТ значимо больше, чем при рентгенографии ( $p<0,01$ ), но не превышает 0,12 мЗв.

**ОБСУЖДЕНИЕ:** По итогам исследования было установлено, что эффективность КЛКТ в диагностике плоских деформаций стопы не уступает классической рентгенографии. При этом КЛКТ позволяет избежать ошибок позиционирования, укладки и случаев попытки симуляции. Эффективная доза при КЛКТ позволяет использовать методику в качестве профилактического исследования. Также КЛКТ обладает высокой пропускной способностью и позволяет за одно сканирование получить существенно больше информации, чем при рентгенографии.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** КЛКТ с вертикальной нагрузкой не уступает классическим методикам рентгенографии в точности диагностики плоских деформаций стопы. При этом КЛКТ обладает широкими возможностями постпроцессорной обработки, более высокой пропускной способностью, низкой лучевой нагрузкой, а также позволяет снизить вероятность методологических ошибок и случаев аггравации. КЛКТ перспективна в сознании универсальной методики измерения и классификации плоскостопия с более точной формулировкой постановки точек для измерения углов свода и отклонения большого пальца стопы.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** конусно-лучевая компьютерная томография, продольное плоскостопие, поперечное плоскостопие, подография, военно-врачебная комиссия, вертикальная нагрузка, скрининг

\*Для корреспонденции: Емельянцеv Александр Александрович, e-mail: yemelyantsev@gmail.com

Для цитирования: Емельянцеv А.А., Бабирин В.С., Анохин Д.Ю., Ипатов В.В., Сандлер А.И., Григорян А.Н., Жукова Е.А., Лебедев Л.А., Ведерников А.В. Конусно-лучевая компьютерная томография в диагностике плоских деформаций стопы: проспективное исследование // *Лучевая диагностика и терапия*. 2023. Т. 14, № 4. С. 90–100, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-4-90-100>.

## CONE-BEAM COMPUTED TOMOGRAPHY IN THE DIAGNOSIS OF FLATFOOT DEFORMITY: A PROSPECTIVE STUDY

Aleksander A. Emelyantsev<sup>\*</sup>, Vsevolod S. Babirin<sup>®</sup>, Dmitrij. Yu. Anokhin<sup>®</sup>, Viktor V. Ipatov<sup>®</sup>, Anastasiya I. Sandler<sup>®</sup>, Armine N. Grigoryan<sup>®</sup>, Ekaterina A. Zhukova<sup>®</sup>, Lev A. Lebedev<sup>®</sup>, Aleksander V. Vedernikov<sup>®</sup>

Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia

**INTRODUCTION:** Flat deformities are one of the most common pathological changes of the feet. Flatfeet is a disease with high social significance, since it not only affects on the quality of life, but is also an important factor in classification of fitness for military service. The main method of diagnosis of these diseases is radiography of the feet in a lateral projection in the standing position. Despite numerous publications describing various methods for assessing the ratio of the bones of the foot, there is no consensus in the scientific community about the exact criteria for flatfoot and its degrees. At the same time, it is noted that the final conclusion is influenced not only by the method of evaluating the finished image, but also by the method of conducting the study. The construction of modern digital X-ray systems in most cases is not adapted for classical X-ray podography, and the study without special devices and the impossibility of strict adherence to the methodology lead to significant distortions of the results. It follows from this that specialized equipment is required for the diagnosis of flatfoot deformities, which allows developing a unified methodology for conducting research and limiting the possibilities of simulations and aggravations.

**OBJECTIVE:** To determine the possibilities of cone-beam computed tomography in the diagnosis of flatfoot deformities in a standing position with a natural load.

**MATERIALS AND METHODS:** This study included 100 patients underwent examination at the S. M. Kirov Military Medical Academy. All patients were examined using the classical radiography and using the cone-beam computed tomograph (CBCT) «ATRISS» (Electron, Russia). Tomograms were evaluated by two methods: using an averaged image and using a thin slice. The study was conducted by two doctors with the determination of the height and angle of the arch of the foot, followed by an assessment of the degree of flatfoot.

*Statistics.* Statistical analysis was performed using Medcalc software (version 18.2.1). The absolute results of measurements for longitudinal and transverse flatfoot obtained by various methods were compared, as well as the time spent on the study (Wilcoxon and Friedman criteria), the degree of correlation between measurements (Spearman's criterion), as well as the degree of consistency of the conclusions of two experts to identify longitudinal and transverse flat feet (Kappa-Cohen coefficient).

**RESULTS:** Angle measurements in absolute values did not differ significantly between all the methods used ( $p=0.1803$ ). There were significant differences between measurements of the height of the arch of the foot between the X-ray method and CBCT ( $p<0.01$ ). In a comparative analysis of radiography and CBCT, two experts noted a high consistency of research results. CBCT made it possible to perform studies with less time ( $p<0.01$ ). The effective dose for CBCT is significantly higher than for radiography ( $p<0.01$ ), but does not exceed 0.12 mSv.

**DISCUSSION:** According to the results of the study, it was found that the effectiveness of CBCT in the diagnosis of flatfoot deformities is not worse than classical radiography. At the same time, the CBCT allows you to avoid positioning errors, stacking and cases of attempted simulation. The effective dose for CBCT allows using the technique as a preventive study. Also, CBCT has a high throughput and allows you to get significantly more information in one scan than with radiography.

**CONCLUSION:** CBCT in a standing position with a natural load is not worse then classical radiography techniques in the accuracy of diagnosis of flatfoot deformities. At the same time, the CBCT has extensive postprocessing capabilities, higher throughput, low radiation load, and also reduces the likelihood of methodological errors and cases of aggravation. CBCT is promising in the consciousness of a universal methodology for measuring and classifying of flatfoot with a more precise formulation of setting points for measuring the angles of the arch and deviation of the hallux.

**KEYWORDS:** cone-beam computed tomography, flatfoot, hallux valgus, podography, military medical commission, standing position, screening

\*For correspondence: Aleksander A. Emelyantsev, e-mail: yemelyantsev@gmail.com.

For citation: Emelyantsev A.A., Babirin V.S., Anokhin D.Yu., Ipatov V.V., Sandler A.I., Grigoryan A.N., Zhukova E.A., Lebedev L.A., Vedernikov A.V. Cone-beam computed tomography in the diagnosis of flatfoot deformity: prospective study: a prospective study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2023. Vol. 14, No. 4. P. 90–100, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-4-90-100>.

**Введение.** Одной из ведущих патологий стопы на сегодняшний день является плоская деформация. В литературе встречаются противоречивые данные о частоте встречаемости плоскостопия: авторы приводят цифры от 11,6% [1] до 77,9% [2], что показывает как актуальность исследования данной патологии, так и отсутствие единых критериев и методики диагностики. Лучевая диагностика плоскостопия, в свою очередь, является важным этапом комплексного обследования данной группы пациентов, в том числе при определении категории годности к военной службе [3].

На протяжении долгого времени основной методикой исследования анатомического компонента деформации была рентгенография стоп с нагрузкой [4]. Для более тщательной оценки разных компонентов деформации разработаны отдельные рентгенологические проекции, такие как проекция Мири или проекция Зальцмана [5, 6]. На основе данных рентгенографии был разработан ряд угловых параметров стопы, характеризующих вид и степень деформации [4, 7]. Именно поэтому рентгенография наиболее широко используется при проведении медицинского обследования граждан, подлежащих освидетельствованию на предмет определения годности к военной службе. Однако на сегодняшний день не существует стандарта методики рентгенологического исследования стоп с учетом требований Постановления Правительства РФ № 565 от 04.07.2013. В различных лечебно-профилактических учреждениях при проведении боковой рентгенограммы стопы используется разное фокусное расстояние, что существенно влияет на размеры получаемого изображения, а методики укладки и центрации луча трактуются в широких пределах. Также отсутствуют четкие стандарты анализа скниалогической картины.

Для проведения рентгенографии стопы в боковой проекции используются подставки различной конструкции. Некоторые из них обеспечивают фиксацию кассеты с рентгеновской пленкой. Основным недостатком существующих приспособлений для рентгенографии стопы является невозможность определения по рентгеновскому снимку правильности направления пучка рентгеновского излучения на клиновидно-ладьевидный сустав, а также стандартного положения конечности и факта вертикальной нагрузки на исследуемую стопу.

Указанные недостатки снижают диагностическую ценность исследования и делают возможным фальсификацию результатов рентгенографии.

Современным трендом лучевой диагностики области голеностопного сустава и стопы сегодня является компьютерная томография (КТ) с имитацией физиологической нагрузки путем создания равномерного осевого давления на обе стопы с помощью специальных приспособлений [8, 9], а также стоя в вертикальном положении с использо-

ванием специализированных рентгеновских аппаратов с функцией трехмерной реконструкции изображения [10]. Данные, полученные с помощью КТ с нагрузкой, позволяют провести комплексную и пространственную оценку патологии, что в значительной степени повышает эффективность выбора тактики лечения данной группы пациентов, позволяет оценить взаимное расположение костей стопы, состояние суставных поверхностей [11].

Однако для проведения полноценной диагностики стоп в условиях естественной нагрузки потребовалось создать специализированное оборудование. Им стала конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) для стоп. А. М. Haleem и соавт. [10] отмечали, что у классической рентгенографии стопы с нагрузкой есть ряд ограничений при позиционировании пациента, связанных с массой тела и положением тела во время снимка, и предположили, что КЛКТ стопы с нагрузкой может упростить протокол ведения данной группы пациентов. В то же время А. Burssens и соавт. [12] рассматривали вопрос сопоставления результатов оценки угловых параметров заднего отдела стопы при традиционной двухмерной рентгенографии с нагрузкой и КЛКТ стопы с нагрузкой в вертикальном положении. Основными причинами разработки нового подхода к лучевой диагностике патологии стопы авторы также называют наличие суммационного эффекта от костных структур при выполнении классических рентгенограмм (особенно среднего отдела), а также сложность правильного позиционирования при выполнении специфических рентгенологических снимков для оценки отдельных параметров стопы [12]. Ряд авторов отмечают, что наиболее эффективным способом получения трехмерных изображений стоп с вертикальной нагрузкой при минимальной эффективной дозе является принцип КЛКТ [13, 14]. Однако в отечественной литературе представлены единичные исследования по проведению КЛКТ стоп в условиях естественной нагрузки вследствие небольшого количества таких аппаратов.

**Цель.** Определить возможности конусно-лучевой компьютерной томографии в диагностике плоской деформации стоп в положении стоя с естественной нагрузкой.

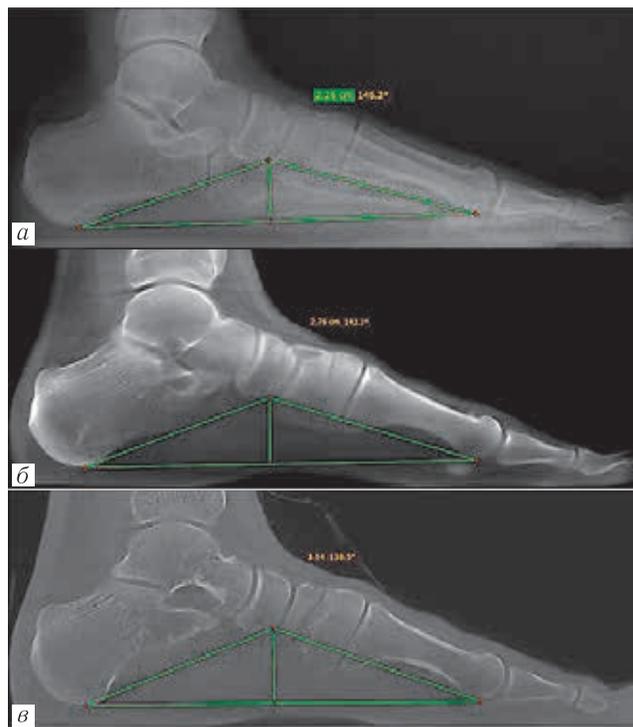
**Материалы и методы.** Исследование одобрено локальным этическим комитетом при Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова, протокол № 272 от 01.12.2022 г., информированное согласие получено от каждого пациента.

Всем пациентам проводилось исследование после подписания добровольного информированного согласия. Всего обследовано 100 пациентов (79 мужчин и 21 женщина). Все пациенты были разделены на две группы: основную группу — с наличием патологических изменений, выявленных при рентгенологическом исследовании, и контрольную — при отсутствии патологических изменений.

Все пациенты были обследованы с использованием классической методики рентгенографии (Rg) стоп в боковой проекции в вертикальном положении с нагрузкой (каждая стопа отдельно, нагрузка — собственная масса тела) и с использованием конусно-лучевого компьютерного томографа «АТРИСС» («Электрон», Россия) в вертикальном положении стоя (сканирование обеих стоп происходит одновременно). Дополнительно 20 пациентам по показаниям была выполнена рентгенография стоп с нагрузкой в прямой проекции для диагностики поперечного плоскостопия. Исследование проводилось и оценивалось двумя врачами-экспертами со стажем работы по специальности «рентгенология» 13 и 11 лет.

Оценка стандартного рентгенологического исследования стоп в вертикальном положении с нагрузкой проводилась путем измерения высоты и угла свода стопы. Вершиной угла являлась точка в нижнем отделе ладьевидно-клиновидного сочленения (после которой равномерная рентгеновская суставная щель начинает расширяться) посередине рентгеновской суставной щели. Другими точками являлись нижние отделы пяточного бугра и головки первой плюсневой кости.

Оценка плоскостопия при КЛКТ проводилась с помощью двух различных методик. При первой методике плоскость тонкого среза проводилась перпендикулярно поверхности опоры стоп через контрольные точки: нижние точки пяточного бугра и 1-й плюсневой кости, при этом вершина свода стопы определялась на пересечении плоскостью среза костного края ладьевидной кости в нижнем отделе таранно-ладьевидного сочленения (методика «КТ-thin»). При второй методике использовались толстые срезы (20 мм) с реконструкцией «рентгеноподобных» изображений в режиме усреднения «Average» (методика «КТ-aver») (рис. 1). Вторая методика по своим свой-



**Рис. 1.** Примеры изображений стопы, полученных с помощью различных методик: *a* — рентгенография стопы в боковой проекции с нагрузкой; *б* — изображение КЛКТ с использованием методики «КТ-aver»; *в* — изображение томографа КЛКТ с использованием методики «КТ-thin»

**Fig. 1.** Examples of images of the foot obtained using various techniques: *a* — radiography of the foot in a lateral projection with a load; *б* — CBCT image using the «CT-aver» technique; *в* — image of a CBCT tomograph using the «CT-thin» technique

Пациенты обеих групп были сопоставимы по полу и возрасту. Также не выявлено значимых различий между мужчинами и женщинами (табл. 1).

**Распределение больных по полу и возрасту, абс. (%) (Me±SD)**

Таблица 1

**Distribution of patients by gender and age (%) (Me±SD)**

Table 1

Показатель	Группа		Всего
	основная	контрольная	
Количество пациентов, чел.	66	34	100
Мужчины	52 (66)	27 (34)	79
Женщины	14 (67)	7 (33)	21
Возраст±SD, лет	18±3,19	18±3,5	18±3,1

ствам полученного изображения практически не отличалась от классической рентгенодиагностики.

Также проводилась оценка соотношений костей на рентгенограммах в прямой проекции и компьютерных томограммах в аксиальной плоскости с определением степени поперечного плоскостопия. Результаты вносились в электронную таблицу с присвоением пациентам анонимного номера.

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с использованием программного обеспечения MedCalc (версия 18.2.1). Количественные результаты морфометрического анализа выражались в виде «медиана (Me) [1-й квартиль; 3-й квартиль]». Сравнивались абсолютные результаты измерений на продольное и поперечное плоскостопие, полученные различными методиками, степень

корреляции между измерениями, а также степень согласованности заключений двух экспертов на выявление продольного и поперечного плоскостопия. Также оценивались лучевая нагрузка различных методик диагностики и время, затраченное на исследование (пропускная способность).

**Результаты.** Для сравнения значений высоты и угла свода стоп, полученных с помощью различных методик, был использован непараметрический критерий Фридмана. Результаты представлены в табл. 2 и на рис. 2.

генографии в боковой проекции и любой из методик КЛКТ. Данные различия объясняются особенностями метода рентгенодиагностики, при котором абсолютные размеры на изображении не соответствуют истинным размерам исследуемого органа. КЛКТ позволяет получить более точные измерения размеров. Также рентгенодиагностике свойственны проекционные искажения в зависимости от постановки стопы на горизонтальной поверхности.

Для оценки точности измерения без учета группы и исследуемой области был проведен корреляционный

Таблица 2

Значения критерия Фридмана при сравнении результатов измерений высоты и угла свода стопы при использовании рентгенографии и КЛКТ

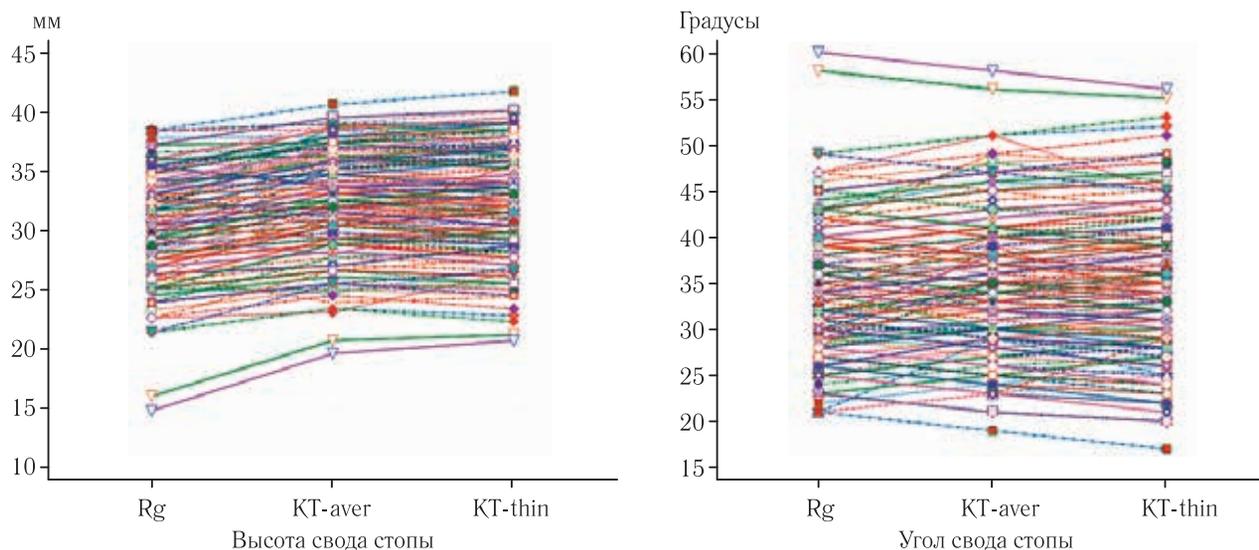
Table 2

Friedman test values comparing foot height and arch angle measurements using radiography and CBCT

Показатель	Угол свода стопы			Высота свода стопы		
Значение F-критерия	1,72			176,59		
Уровень статистической значимости	p=0,1803			p<0,00001		
Множественные сравнения	Rg	KT-aver	KT-thin	Rg	KT-aver	KT-thin
Рентгенография	-	-	-	-	+	+
КТ-aver	-	-	-	+	-	-
КТ-thin	-	-	-	+	-	-

Примечание: «-» — отсутствие различий; «+» — наличие различий; Rg — рентгенография.

Note: «-» — no differences; «+» — presence of differences; Rg — radiography.



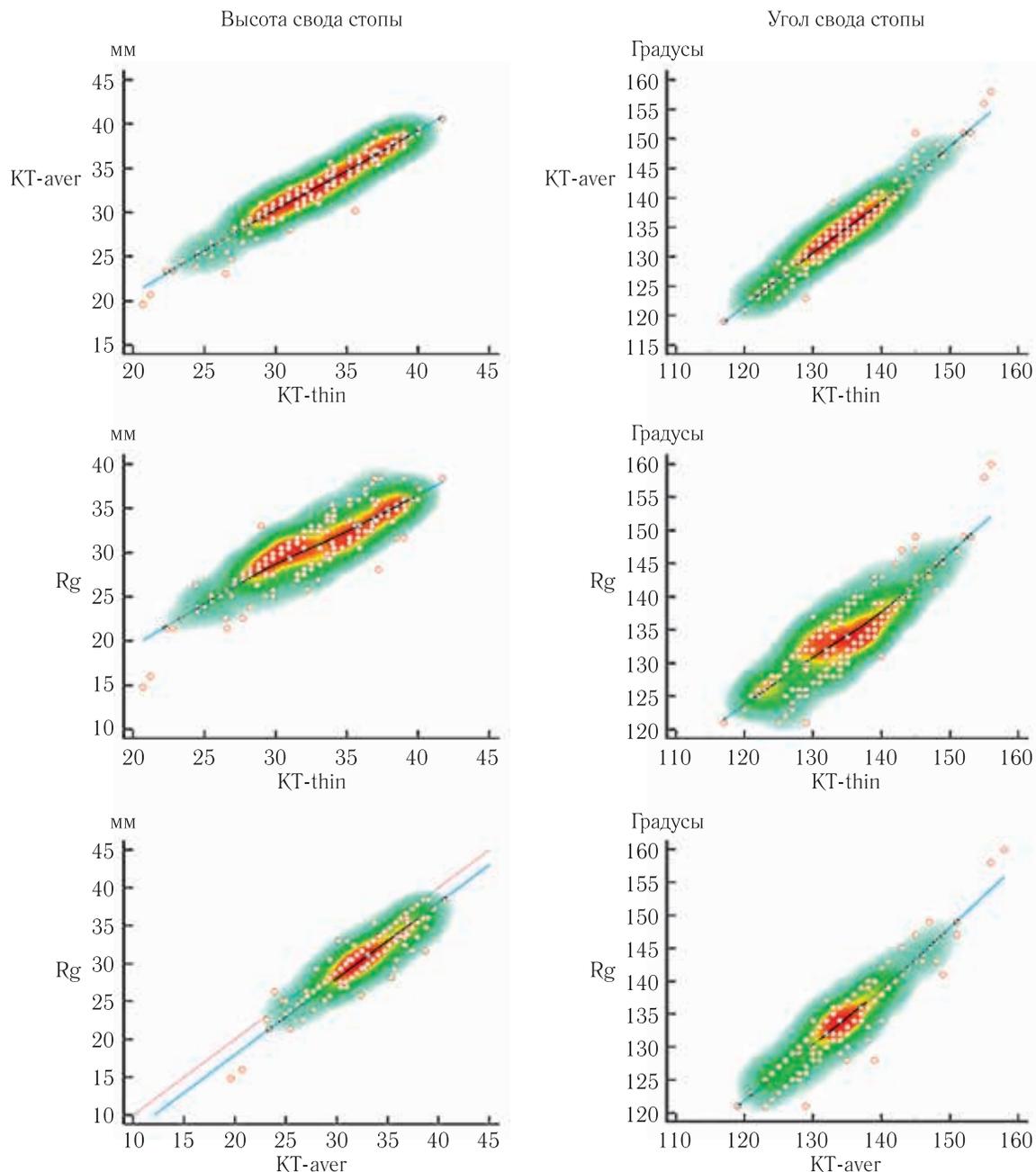
**Рис. 2.** Диаграммы изменения значений связанных выборок показателей продольного плоскостопия: Rg — значения рентгенографии; KT-aver — значения КЛКТ с использованием усредненного изображения; KT-thin — значения КЛКТ с использованием тонкого среза

**Fig. 2.** Diagrams of changes in the values of related samples of longitudinal flatfoot indicators: Rg — radiography values; CT-aver — CBCT values using an averaged image; CT-thin — CBCT values using a thin slice

Из данных рис. 2 и табл. 2 следует, что значимые различия между измерением угла свода стопы во всех используемых методиках отсутствуют. Также отсутствуют различия между измерением высоты свода стопы двумя различными методиками КЛКТ. При этом отмечаются значимые различия между величинами высоты свода стопы, измеренными путем рент-

анализ по методу Спирмена. Значения коэффициентов корреляции представлены на рис. 3 и в табл. 3.

Отмечаются сильные корреляционные взаимосвязи между всеми исследуемыми методиками. Степень корреляции между рентгенодиагностикой и компьютерной томографией с использованием усредненного изображения больше, чем с тонким



**Рис. 3.** Диаграммы рассеяния распределений значений высот и углов свода стоп, измеренных методиками рентгенографии, KT-aver и KT-thin

**Fig. 3.** Scatter diagrams of distributions of values of heights and arch angles of the feet, measured by radiography, CT-aver and CT-thin techniques

Таблица 3

**Коэффициенты корреляции Спирмена исследуемых показателей продольного плоскостопия с использованием различных методик**

Table 3

**Spearman correlation coefficients of the studied indicators of longitudinal flatfoot using various techniques**

Показатель	Коэффициент/уровень значимости		
	рентгенография/KT-aver	KT-aver/KT-thin	рентгенография/KT-thin
Угол свода стопы	0,930/p<0,0001	0,978/p<0,0001	0,883/p<0,0001
Высота свода стопы	0,926/p<0,0001	0,974/p<0,0001	0,880/p<0,0001

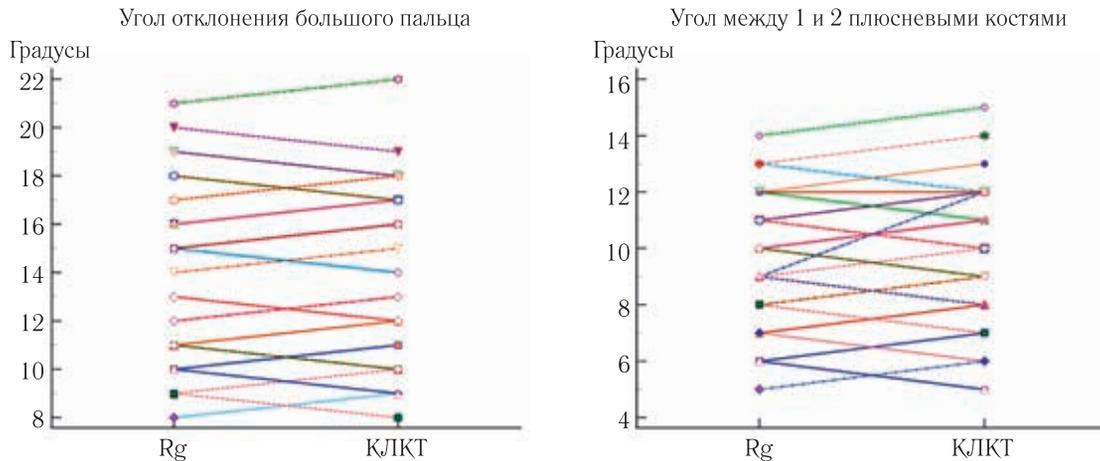
срезом, что объясняется схожими принципами построения данных изображений.

Для определения возможностей КЛКТ в оценке поперечного плоскостопия был проведен сравни-

тельный анализ величин угла отклонения большого пальца и угла между 1-й и 2-й плюсневными костями, полученными методиками рентгенографии стоп в прямой проекции с нагрузкой и постпроцессорной

обработкой изображений компьютерной томографии (рис. 4).

независимых экспертов рассчитанные значения коэффициента Каппа–Коэна,  $K=0,7643$  (среднеквадрати-



**Рис. 4.** Изменения значений связанных выборок угла показателей поперечного плоскостопия с помощью рентгенографии и КЛКТ

**Fig. 4.** Changes in the values of related samples of the angle of transverse flatfoot indicators using radiography and CBCT

Отмечается отсутствие значимых различий между величинами угла отклонения большого пальца и угла между 1-й и 2-й плюсневными костями, полученными с помощью рентгенографии и КЛКТ (Т-критерий Уилкоксона с поправкой Бонферрони;  $p=0,7518$  и  $0,3545$  соответственно).

числовая ошибка  $=0,038$ , доверительный интервал (95% CI) $=0,6897-0,8389$ ) и  $K=0,6026$  (среднеквадратическая ошибка  $=0,045$ , доверительный интервал (95% CI) $=0,5139-0,6913$ ), что соответствует показателям «согласованность выше среднего».

Для определения согласованности заключений по исследованиям двух методик была проведена экспертная оценка результатов двумя врачами со стажем работы 13 и 11 лет, оба врача имели высшую квалификационную категорию по специальности «рентгенология». Каждому изображению присваивалась степень продольного плоскостопия в зависимости от угла свода стопы по методике, описанной в Постановлении Правительства Российской Федерации № 565 (ред. от 03.02.2023) «Об утверждении Положения о военно-врачебной экспертизе» (табл. 4).

Таблица 5  
Количественная оценка совпадений и разногласий между экспертами

Table 5  
Quantitative assessment of agreements and disagreements between experts

Сравнение методик рентгенографии и КТ-aver				
2-й эксперт	1-й эксперт			
	0	1	2	3
0	53	12	0	0
1	9	84	4	0
2	0	10	26	0
3	0	0	0	2
Сравнение методик рентгенографии и КТ-thin				
2-й эксперт	1-й эксперт			
	0	1	2	3
0	48	22	0	0
1	14	66	6	0
2	0	18	24	1
3	0	0	0	1

Таблица 4  
Классификатор выявленных изменений

Classifier of identified changes

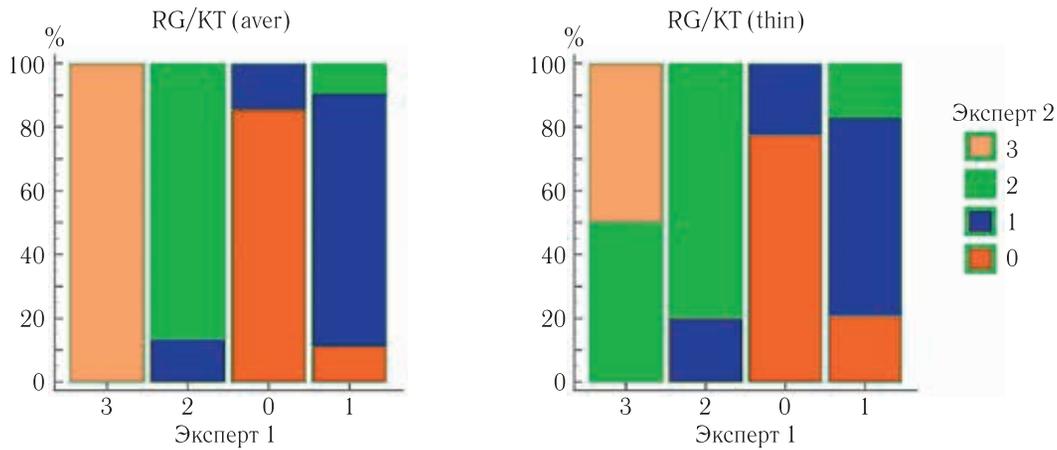
Степень продольного плоскостопия	Угол свода стопы, градус
0	125–130
1	131–140
2	141–155
3	Больше 155

Сравнительный анализ согласованности с помощью расчета коэффициента Каппа–Коэна представлен в табл. 5 и на рис. 5.

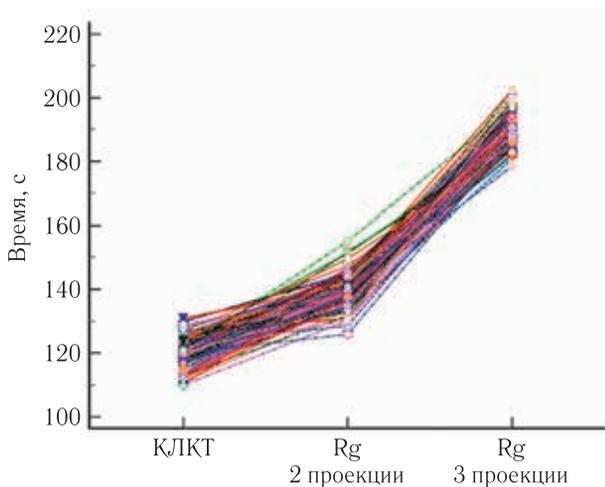
Для сравнительной оценки времени проведения исследования использовался критерий Фридмана. Проводилось сравнение времени, затраченное на проведение рентгенографии обеих стоп с нагрузкой в боковых проекциях на продольное плоскостопие, обеих стоп на продольное и поперечное плоскостопие в боковых и прямой проекциях, а также на КЛКТ. Результаты исследования представлены на рис. 6.

На рис. 5 отражены соответствующие оценки (номер под столбцом) одного эксперта, принятые за 100%. Различными цветами на каждом столбце, обозначены оценки второго эксперта у этих же пациентов. По результатам сравнения заключений двух

Отмечаются значимые различия всех оцениваемых параметров (критерий Фридмана,  $p<0,0001$ ). Таким образом, одно исследование КЛКТ занимало



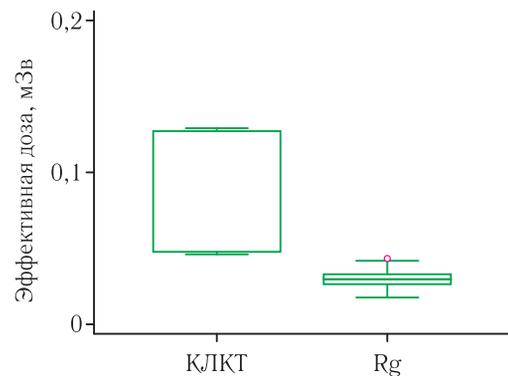
**Рис. 5.** Соотношение оценок 1-го эксперта относительно 2-го эксперта  
**Fig. 5.** Correlation of assessments of the 1st expert relative to the 2nd expert



**Рис. 6.** Изменения значений связанных выборок времени проведения исследований: КЛКТ — конусно-лучевая компьютерная томография; Rg 2 проекции — рентгенологическое исследование на продольное плоскостопие; Rg 3 проекции — рентгенологическое исследование на продольное и поперечное плоскостопие

**Fig. 6.** Changes in the values of related samples of research time: CBCT — cone beam computed tomography; Rg 2-projection — X-ray examination of longitudinal flatfoot; Rg 3-projections — X-ray examination of longitudinal and transverse flatfoot

Проведена сравнительная оценка эффективной дозы, полученной при классической рентгенографии стопы и КЛКТ. Диаграммы значений эффективной дозы представлены на рис. 7 и в табл. 6.



**Рис. 7.** Размах эффективной дозы при исследованиях классической рентгенографии стопы и КЛКТ  
**Fig. 7.** Effective dose range in classical foot radiography and CBCT studies

Из данных табл. 6 следует, что при проведении рентгенографии стоп эффективная доза значительно меньше, однако при этом медиана и максимальное значение эффективной дозы при КЛКТ меньше предельной эффективной дозы, допускаемой при

**Таблица эффективных доз при исследовании стоп, мЗв**

Таблица 6

**Table of effective doses for foot examination, mSv**

Table 6

Показатель	Компьютерная томография	Рентгенография
<i>Me</i>	0,1266	0,0298
Минимальное значение	0,0466	0,0177
Максимальное значение	0,1295	0,0432
Межквартильный размах	0,0472–0,1271	0,0265–0,0330
<i>p</i> (критерий Манна-Уитни)	<0,0001	

существенно меньше времени, чем методика классической рентгенографии с получением большего объема информации. Пропускная способность томографа достигала 30 пациентов в час.

выполнении профилактических исследований: 1 мЗв, согласно требованиям п 2.2.1 СанПиН 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов,

аппаратов и проведению рентгенологических исследований».

**Обсуждение.** Использование классической рентгенографии стоп с нагрузкой сопряжено с трудностями выполнения исследования. В связи с отсутствием стандартизированных приспособлений для проведения подографии в некоторых случаях используется положение пациента стоя на одной ноге, что приводит к избыточной нагрузке и искажению результата. При выполнении подографии в прямой проекции требуется отклонение луча от перпендикуляра к детектору в связи с положением тела пациента стоя на приемнике излучения. При этом для оценки каждого из вариантов плоскостопия требуется отдельный рентгеновский снимок. КЛКТ лишена этих недостатков за счет получения трехмерного набора данных в условиях равномерной физиологической нагрузки в комфортных условиях для пациента, без возможности переноса веса тела на противоположную конечность, так как сканирование обеих стоп происходит одновременно [14, 15].

Одним из недостатков рентгеновского изображения является его проекционное увеличение, вследствие чего в актуальной версии нормативных документов отсутствует высота свода стопы в миллиметрах. КЛКТ дает возможность получить истинные размеры костных структур, что в перспективе позволяет использовать их при определении степени плоскостопия, но требует формирования новых нормативных показателей в абсолютных размерах.

При сравнении данных рентгенографии и КЛКТ по измеряемым показателям плоскостопия, а также согласованности нескольких врачей-рентгенологов значимых отличий выявлено не было. Таким образом, КЛКТ с методикой построения толстого среза с реконструкцией «Average» можно использовать для диагностики плоскостопия, ориентируясь на текущие нормативные показатели.

Несмотря на отсутствие значимых различий между наборами данных рентгенографии и КЛКТ с методикой «Thin», отмечается уменьшение коэффициента согласованности по сравнению с методикой «Average». Следовательно, применение данной методики также требует переработки нормативных

показателей. С учетом более точной и конкретной формулировки постановки точек для измерения угла свода стопы при дальнейших исследованиях и постепенном накоплении материала методика тонкого среза обладает высоким потенциалом и перспективой для формирования специальной классификации КЛКТ-подографии.

Необходимо отметить, что при сплошном характере выборки только у трети пациентов отмечались нормальные показатели угла свода стопы. У 60% пациентов отмечалась I степень продольного плоскостопия. Схожие данные приводят некоторые авторы [3, 16, 17]. Таким образом, можно сделать вывод о высокой актуальности диагностики заболеваний стоп и необходимости установки специализированного оборудования в отдельных медицинских учреждениях амбулаторно-поликлинического звена для эффективной и быстрой диагностики плоскостопия.

Эффективная доза, полученная при использовании аппарата КЛКТ, больше дозы классической рентгенографии, однако меньше предельной допустимой дозы профилактических исследований [11]. Таким образом, КЛКТ может использоваться в качестве скринингового метода диагностики плоскостопия у призывного контингента. Одновременное сканирование обеих стоп с контролем в режиме реального времени позволяет избежать методологических ошибок, а также случаев аггравации. При этом время исследования меньше, чем при классической рентгенографии, что позволяет обеспечить высокую пропускную способность.

**Заключение.** КЛКТ с вертикальной нагрузкой не уступает классическим методикам рентгенографии в точности диагностики плоских деформаций стопы. При этом КЛКТ обладает широкими возможностями постпроцессорной обработки, более высокой пропускной способностью, невысокой лучевой нагрузкой, а также позволяет снизить вероятность методологических ошибок и случаев аггравации. КЛКТ перспективна в создании универсальной методики измерения и классификации плоскостопия с более точной формулировкой постановки точек для измерения углов свода и отклонения большого пальца стопы.

#### Сведения об авторах:

*Емельянцева Александр Александрович* — кандидат медицинских наук, старший преподаватель кафедры рентгенологии и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; e-mail: yemelyantsev@gmail.com; ORCID 0000–0001–5723–7058;

*Бабинин Всеволод Сергеевич* — преподаватель кафедры рентгенологии и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; e-mail: vbabirin@mail.ru; ORCID 0000–0001–9145–2181;

*Анохин Дмитрий Юрьевич* — кандидат медицинских наук, заведующий рентгеновским отделением клиники рентгенодиагностики и ультразвуковой диагностики федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; e-mail: damixon@mail.ru; ORCID 0000–0003–4499–066X;

*Ипатов Виктор Владимирович* — кандидат медицинских наук, доцент кафедры рентгенологии и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; e-mail: mogidin@mail.ru; ORCID 0000–0002–9799–4616;

*Сандлер Анастасия Игоревна* — врач-рентгенолог кафедры рентгенологии и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; e-mail: sandler1998@mail.ru; ORCID 0009–0004–5397–5247;

*Григорян Арmine Нверовна* — врач-рентгенолог кафедры рентгенологии и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; e-mail: 89114299307@yandex.ru; ORCID 0009–0004–6124–6327;

*Жукова Екатерина Андреевна* — врач-рентгенолог кафедры рентгенологии и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; e-mail: kate.ga.zh@gmail.com; ORCID 0009–0000–5090–783X;

*Лебедев Лев Анатольевич* — курсант VI курса федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; e-mail: lebedeff.lev03@yandex.ru; ORCID 0009–0003–8048–2694;

*Ведерников Александр Владимирович* — курсант IV курса федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; e-mail: aleks.vedro@mail.ru; ORCID 0009–0003–0209–7512.

#### Information about authors:

*Aleksandr A. Emelyantsev* — Cand. of Sci. (Med.), Senior Lecturer, Department of Roentgenology and Radiology with a course of ultrasound diagnostics of the Military Medical Academy, 194044, St. Petersburg, st. Academica Lebedeva, 6; e-mail: yemelyantsev@gmail.com; ORCID 0000–0001–5723–7058; SPIN-code 6895–7818;

*Vsevolod S. Babirin* — Lecturer, Department of Roentgenology and Radiology with a course of ultrasound diagnostics of the Military Medical Academy, 194044, St. Petersburg, st. Academica Lebedeva, 6; e-mail: vbabirin@mail.ru; ORCID 0000–0001–9145–2181;

*Dmitriy Yu. Anokhin* — Cand. of Sci. (Med.), Head of X-ray Department of the Clinic of Roentgenoradiology and ultrasound diagnostics of the Military Medical Academy, 194044, St. Petersburg, st. Academica Lebedeva, 6; e-mail: damixon@mail.ru; ORCID 0000–0003–4499–066X;

*Viktor V. Ipatov* — Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Radiology and Radiology with a course of ultrasound diagnostics, Military Medical Academy, 194044, St. Petersburg, st. Academica Lebedeva, 6; e-mail: mogidin@mail.ru; ORCID 0000–0002–9799–4616;

*Anastasiya I. Sandler* — Radiologist, Department of Radiology and Radiology with a course of ultrasound diagnostics, Military Medical Academy, 194044, St. Petersburg, st. Academica Lebedeva, 6; e-mail: sandler1998@mail.ru; ORCID 0009–0004–5397–5247;

*Armine N. Grigoryan* — Radiologist, Department of Radiology and Radiology with a course of ultrasound diagnostics, Military Medical Academy, 194044, St. Petersburg, st. Academica Lebedeva, 6; e-mail: 89114299307@yandex.ru; ORCID 0009–0004–6124–6327;

*Ekaterina A. Zhukova* — Radiologist, Department of Radiology and Radiology with a course of ultrasound diagnostics, Military Medical Academy, 194044, St. Petersburg, st. Academica Lebedeva, 6; e-mail: kate.ga.zh@gmail.com; ORCID 0009–0000–5090–783X;

*Lev A. Lebedev* — six-year cadet, Military Medical Academy, 194044, St. Petersburg, st. Academica Lebedeva, 6; e-mail: lebedeff.lev03@yandex.ru; ORCID 0009–0003–8048–2694;

*Aleksandr V. Vedernikov* — four-year cadet, Military Medical Academy, 194044, St. Petersburg, st. Academica Lebedeva, 6; e-mail: aleks.vedro@mail.ru; ORCID 0009–0003–0209–7512.

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — А. А. Емельянцева, В. С. Бабырина; сбор и математический анализ данных — А. А. Емельянцева, А. И. Сандлера, А. Н. Григорян, Е. А. Жукова, Л. А. Лебедев, А. В. Ведерников; подготовка рукописи — А. А. Емельянцева, Д. Ю. Анохин, В. В. Ипатов.

**Authors' contributions.** All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: AAE, VSB aided in the concept and plan of the study; AAE, AIS, ANG, EAZH, LAL, AVV provided collection and mathematical analysis of data; AAE, DYU, VVI preparation of the manuscript.

**Потенциальный конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Disclosure:** the authors declares no conflict of interest.

**Соответствие принципам этики:** Исследование одобрено локальным этическим комитетом при Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова, протокол № 272 от 01.12.2022 г., информированное согласие получено от каждого пациента.

**Adherence to ethical standards:** The study was approved by the Ethics Committee of Military Medical Academy, protocol No. 27, 01.12.2022, informed consent is obtained from each of the patient.

Поступила/Received: 09.09.2023.

Принята к печати/Accepted: 29.11.2023.

Опубликована/Published: 29.12.2023.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Reddy G., Kishve P. Prevalence of flat foot among medical students and its impact on quality of life and functionality // *International Journal of Research in Medical Sciences*. 2021. Vol. 9, No. 4. P. 1082. doi: <https://dx.doi.org/10.18203/2320-6012.ijrms20211355>.
- Кенис В.М., Димитриева А.Ю., Сапоговский А.В. Вариабельность частоты плоскостопия в зависимости от критериев диагностики и способа статистической обработки // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2019. Т. 7, № 2. С. 41–50. [Kenis V.M., Dimitrieva A.Ju., Sapogovskiy A.V. The variability of the flatfoot frequency depending on the diagnostic criteria and the method of statistical analysis: 2 // *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*, 2019, Vol. 7, No. 2, pp. 41–50 (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.17816/PTORS7241-50>.
- Шуленин К.С., Черкашин Д.В., Кутелев Г.Г., Качнов В.А., Иванов В.С., Гончарук Р.Н., Богданов Д.С. Клинико-эпидемиологические особенности проявлений синдрома Вольфа–Паркинсона–Уайта у мужчин призывного возраста с повышенной диспластической стигматизацией // *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2020. Т. 71, № 3. С. 8–11. [Shulenin K.S., Cherkashin D.V., Kutelev G.G., Kachnov V.A., Ivanov V.S., Goncharuk R.N., Bogdanov D.S. Clinical and epidemiological features of manifestations of Wolf–Parkinson–White syndrome in men of draft age with increased dysplastic stigmatization. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*, 2020, Vol. 71, No. 3, pp. 8–11 (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.17816/brmma50523>.
- Bock P, Pittermann M, Chraim M, Rois S. The inter- and intraobserver reliability for the radiological parameters of flatfoot, before and after surgery // *The Bone & Joint Journal*. 2018. Vol. 100-B, No. 5. P. 596–602. doi: <https://doi.org/10.1302/0301-620X.100B5.BJJ-2017-1279>.
- Neri T., Barthelemy R., Tourné Y. Radiologic analysis of hindfoot alignment: Comparison of Méary, long axial, and hindfoot alignment views // *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. 2017. Vol. 103, No. 8. P. 1211–1216. doi: <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2017.08.014>.
- Saltzman C.L., El-Khoury G.Y. The hindfoot alignment view // *Foot Ankle Int*. 1995. Vol. 16, No. 9. P. 572–576. doi: <https://doi.org/10.1177/107110079501600911>.
- Cheung Z.B., Myerson M.S., Tracey J., Vulcano E. Weightbearing CT scan assessment of foot alignment in patients with hallux rigidus // *Foot Ankle Int*. 2018. Vol. 39, No. 1. P. 67–74. doi: <https://doi.org/10.1177/1071100717732549>.

8. Серова Н.С., Беляев А.С., Бобров Д.С., Терновой К.С. Современная рентгенологическая диагностика приобретенного плоскостопия взрослых // *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2017. Т. 98, № 5. С. 275–280. [Serova N.S., Belyaev A.S., Bobrov D.S., Ternovoy K.S. Modern X-ray diagnosis of adult acquired flatfoot deformity // *Russian Journal of Radiology*. 2017. Vol. 98, No. 5. P. 275–80. (In Russ.)] doi: 10.20862/0042-46762017-98-5-275-280.
9. Терновой К.К., Серова Н.С., Беляев А.С., Бобров Д.С., Терновой К.С. Методика функциональной мультиспиральной компьютерной томографии в диагностике плоскостопия взрослых // *REJR*. 2017. Т. 7, № 1. С. 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, Vol. 7, No. 1, pp. 94–100. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.21569/2222-74152017-7-1-94-100>.
10. Haleem A.M., Pavlov H., Bogner E., Sofka C., Deland J.T., Ellis S.J. Comparison of deformity with respect to the talus in patients with posterior tibial tendon dysfunction and controls using multiplanar weight-bearing imaging or conventional radiography // *Journal of Bone and Joint Surgery*. 2014. Vol. 96, No. 8. P. e63. doi: <https://doi.org/10.2106/JBJS.L.01205>.
11. Godoy-Santos A.L., Cesar Netto C.D. Weight-bearing computed tomography of the foot and ankle: an update and future directions // *Acta ortop. bras*. 2018. Vol. 26, No. 2. P. 135–139. doi: <https://doi.org/10.1590/1413-785220182602188482>.
12. Burssens A., Peeters J., Peiffer M., Marien R., Lenaerts T., Vandeputte G., Victor J. Reliability and correlation analysis of computed methods to convert conventional 2D radiological hindfoot measurements to a 3D setting using weightbearing CT // *Int. J. CARS*. 2018. Vol. 13, No. 12. P. 1999–2008. doi: <https://doi.org/10.1007/s11548-018-1727-5>.
13. Pilaian K., Jankharia B., Monoot P. Role of the weight-bearing cone-beam CT in evaluation of flatfoot deformity // *Indian J. Radiol Imaging*. 2019. Vol. 29, No. 4. P. 364–371. doi: [https://doi.org/10.4103/ijri.IJRI\\_288\\_19](https://doi.org/10.4103/ijri.IJRI_288_19).
14. Gupta R., Cheung A.C., Bartling S.H., Lissauskas J., Grasruck M., Leidecker C., Schmidt B., Flohr T., Brady T.J. Flat-Panel volume CT: Fundamental principles, technology, and applications // *RadioGraphics*. 2008. Vol. 28, No. 7. P. 2009–2022. doi: <https://doi.org/10.1148/rg.287085004>.
15. Tuominen E.K.J., Kankare J., Koskinen S.K., Mattila K.T. Weight-bearing CT imaging of the lower extremity // *American Journal of Roentgenology*. 2013. Vol. 200, No. 1. P. 146–148. doi: <https://doi.org/10.2214/AJR.12.8481>.
16. Toullec E. Adult flatfoot // *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. 2015. Vol. 101, No. 1. P. S11–S17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2014.07.030>.
17. Peeters K., Schreuer J., Burg F., Behets C., Van Bouwel S., Dereymaeker G., Sloten J.V., Jonkers I. Altered talar and navicular bone morphology is associated with pes planus deformity: a CT-scan study // *J. Orthop. Res*. 2013. Vol. 31, No. 2. P. 282–287. doi: <https://doi.org/10.1002/jor.22225>.

## БИБЛИОТЕКА ЖУРНАЛА «ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА И ТЕРАПИЯ»



Руководство для врачей предназначено для подготовки врачей — лучевых диагностов и врачей-клиницистов по вопросам современных подходов к получению и анализу лучевых изображений в соответствии с критериями, принятыми в международной клинической практике, а также требованиями, предъявляемыми к формированию структурированных отчетов. Такой подход обеспечивает повышение качества выполняемых исследований, интерпретации изображений и достоверности заключений, а также способствует улучшению междисциплинарной коммуникации. Настоящее издание является логическим продолжением руководств для врачей «Современные стандарты анализа лучевых изображений» (2017), «Современные классификации RADS и принципы построения заключения» (2018), «Современные стандарты анализа лучевых изображений и принципы построения заключения» (2019), «Современные стандарты анализа лучевых изображений и алгоритмы построения заключения» (2020, 2021, 2022, 2023). При его подготовке были использованы материалы, обсуждавшиеся на одноименной Международной ежегодной телеконференции 13 декабря 2022 г. в Санкт-Петербурге.

Руководство для врачей «Современные стандарты анализа лучевых изображений и принципы построения заключения. Том VII» может использоваться для подготовки в системе последипломного и дополнительного профессионального образования, а также в системе ОМС и ДМС для контроля качества оказываемой медицинской помощи.

**Приобрести книгу можно**

по тел.: +7 (812) 956-92-55 и на сайте издательства <https://www.bmoc-spb.ru/>