

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto637001>

# Клинико-биомеханические факторы риска плантарного фасциита у спортсменов

А.В. Сливин<sup>1,2</sup>, В.В. Кармазин<sup>1</sup>, С.А. Парастаев<sup>1,2</sup><sup>1</sup> Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации, Москва, Россия;<sup>2</sup> Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** Плантарный фасциит является одной из распространённых причин болевого синдрома в области стопы и голеностопного сустава у спортсменов. Определение ведущих факторов риска заболевания позволит построить индивидуализированный подход как к терапевтическим, так и к профилактическим мероприятиям в спортивном контингенте.

**Цель.** Определить клинико-биомеханические факторы риска плантарного фасциита.

**Материалы и методы.** В исследование были включены 130 спортсменов различных видов спорта. Спортсмены были разделены на две группы: группу 1 — спортсмены с плантарным фасциитом, и группу 2 (контрольную) — спортсмены без плантарного фасциита. Проводилась оценка основных антропометрических, ортопедических, морфологических и биомеханических показателей.

**Результаты.** Отмечена незначительная тенденция к более частому развитию плантарного фасциита у женщин. У спортсменов с плантарным фасциитом чаще встречаются плоскостопие ( $p < 0,05$ ), напряжение и болезненность мышц задней группы голени ( $p < 0,05$ ), меньший объём дорсифлексии голеностопного сустава ( $p < 0,001$ ), более выраженная пронация стопы ( $p < 0,001$ ), большая толщина подошвенного апоневроза. При бароподометрическом обследовании обнаружено снижение или, напротив, повышение подошвенного давления заднего отдела стопы в зависимости от выраженности болевого синдрома ( $p = 0,004$ ). По динамическим тестам определяются признаки постурального дисбаланса.

**Заключение.** Оценка факторов риска плантарного фасциита у спортсменов позволит не только оптимизировать терапевтические мероприятия, но и разработать персонализированные профилактические программы, учитывающие наиболее значимые предикторы заболевания, что даст возможность снизить распространённость патологии.

**Ключевые слова:** плантарный фасциит; спортсмены; бароподометрия; биомеханика; плантарная фасция; факторы риска.

## Как цитировать:

Сливин А.В., Кармазин В.В., Парастаев С.А. Клинико-биомеханические факторы риска плантарного фасциита у спортсменов // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2025. Т. 32, № 1. С. 137–148. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto637001>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto637001>

# Clinical and biomechanical risk factors for plantar fasciitis in athletes

Anton V. Slivin<sup>1,2</sup>, Valery V. Karamzin<sup>1</sup>, Sergey A. Parastayev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Federal Research and Clinical Centre for Sports Medicine and Rehabilitation, Moscow, Russia;

<sup>2</sup> Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Plantar fasciitis is one of the most common causes of foot and ankle pain in athletes. Identifying the main risk factors for the disease will allow an individualised approach to both therapeutic and preventive measures in the sports contingent.

**AIM:** To determine the clinical and biomechanical risk factors for plantar fasciitis.

**MATERIALS AND METHODS:** The study included 130 athletes from various sports. The athletes were divided into two groups: group 1 consisted of athletes with plantar fasciitis, and group 2 was the control group, consisting of athletes without plantar fasciitis. The assessment included key anthropometric, orthopedic, morphological, and biomechanical indicators.

**RESULTS:** There was a slight tendency for females to develop plantar fasciitis more frequently. Athletes with plantar fasciitis were more likely to have flat feet ( $p < 0.05$ ), tension and soreness of the posterior tibial muscles ( $p < 0.05$ ), less ankle dorsiflexion ( $p < 0.001$ ), more pronation of the foot ( $p < 0.001$ ) and greater thickness of the plantar aponeurosis. The baropodometric test showed a decrease or, on the contrary, an increase in the plantar pressure of the hindfoot, depending on the severity of the pain syndrome ( $p = 0.004$ ). Dynamic tests showed signs of postural imbalance.

**CONCLUSION:** Assessing the risk factors for plantar fasciitis in athletes will not only allow us to optimise therapeutic measures, but also to develop personalised preventive programmes, taking into account the main predictors of the disease, which will make possible to reduce the prevalence of the pathology.

**Keywords:** plantar fasciitis; athletes; baropodometry; biomechanics; plantar fascia; risk factors.

## To cite this article:

Slivin AV, Karamzin VV, Parastayev SA. Clinical and biomechanical risk factors for plantar fasciitis in athletes. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2025;32(1):137–148. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto637001>

## ОБОСНОВАНИЕ

Болевой синдром опорно-двигательного аппарата является, вероятно, самой распространённой проблемой, с которой сталкивается как спортсмен, так и персонал, обеспечивающий его сопровождение [1]. По данным N. Kakouris и соавт., боль в области стопы и голеностопного сустава встречается у 35% спортсменов [2]. Одной из наиболее вероятных причин болевого синдрома в области стопы, особенно в спортивной популяции, является плантарный фасциит (ПФ) [3].

Плантарный фасциит, по текущим представлениям, является следствием повторяющейся ударной нагрузки на пяточную область [4, 5]; он сходен по течению с тендинопатией [6] и часто ассоциирован с бегом [7]. В результате избыточной нагрузки (по причине слишком частых тренировочных стимулов или однократного стимула, превышающего адаптивные возможности организма) на пяточную область запускаются дегенеративно-воспалительные изменения подошвенного апоневроза, что при последующем дисбалансе воспалительных и регенеративных процессов приводит к развитию клинически выраженного болевого синдрома (рис. 1) [8, 9]. В данном контексте неудивительно, что ПФ хуже поддаётся лечению у спортсменов и склонен к частому рецидивированию [10].

Хотя в литературе описано большое число возможных факторов риска развития ПФ [11], при этом почти не учитываются ортопедические и биомеханические особенности стоп как в общей, так и в спортивной популяции, что предполагает необходимость комплексной оценки стоп пациентов с ПФ для выявления вероятных предикторов развития заболевания [12]. Полученная информация позволит индивидуализировать терапевтические мероприятия и сместить акцент на активную профилактику.

В связи с этим целью данного исследования явилось определение значимых факторов риска ПФ у спортсменов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Дизайн исследования

Было проведено одномоментное срезовое моноцентровое наблюдательное исследование, в которое были включены 130 спортсменов различных видов спорта, прошедшие медицинское обследование и восстановительное лечение на базе ФГБУ ФНКЦСМ ФМБА России в период с 2023 по 2024 г.

Спортсмены были разделены на две группы в зависимости от наличия у них плантарного фасциита. Группа 1 — спортсмены с ПФ ( $n=65$ ), группа 2 (контрольная) — спортсмены без ПФ ( $n=65$ ). Диагноз ПФ устанавливался на основании характерной клинической картины (боли в пяточной области преимущественно утром, после тренировки или продолжительного отдыха) и изменения на магнитно-резонансной томографии (МРТ) (утолщение плантарной фасции, гипоинтенсивные очаги, отёк пяточной кости). В группу 1 включались только спортсмены, имеющие одностороннюю локализацию процесса, а в группу 2 — спортсмены без субъективной симптоматики со стороны нижних конечностей при прохождении углублённого медицинского обследования.

### Критерии соответствия

Критериями включения в исследование являлись возраст спортсменов от 16 до 50 лет и наличие спортивной квалификации. В случае наличия стресс-переломов или ахиллобурсита (наиболее частые диагнозы, с которыми приходится проводить дифференциальную диагностику

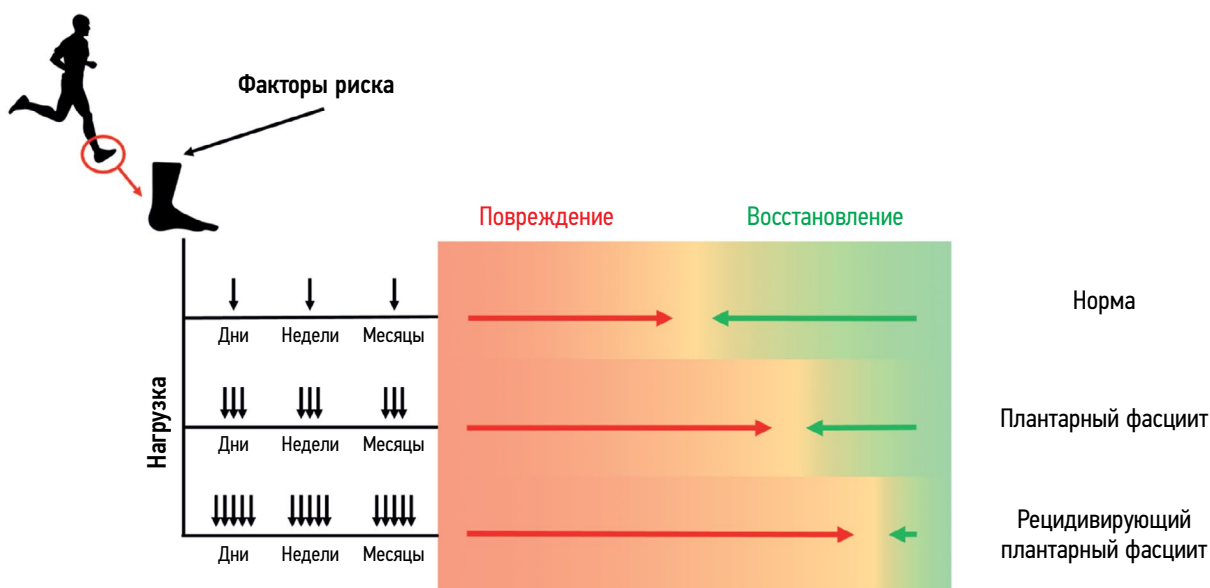


Рис. 1. Представления о перегрузочном механизме развития плантарного фасциита.

Fig. 1. Concepts of the overload mechanism in the development of plantar fasciitis.

ПФ у спортсменов) спортсмен не включался в исследование. Из выборки исключались спортсмены, которые отказывались от участия в исследовании.

### Условия проведения

Исследование было проведено в условиях отделения реабилитационно-восстановительного лечения ФГБУ ФНКЦСМ ФМБА России в период с 2023 по 2024 г.

### Продолжительность исследования

Исследование являлось одномоментным срезовым, формирование выборки производили в течение 2023–2024 гг.

### Описание исследования

У всех спортсменов выяснялся спортивный анамнез, оценивались основные антропометрические показатели (рост, вес, индекс массы тела (ИМТ)), оценивались наличие разницы в длине нижних конечностей (РДН), болезненность и напряжение мышц задней группы бедра и голени, проводился ортопедический осмотр стоп (наличие варусного отклонения первой плюсневой кости, ограничение движения в первом плюснефаланговом суставе, молоткообразная деформация пальцев стоп, наличие метатарсалгии и плантофлексии первой плюсневой кости), оценивались толщина плантарной фасции (по данным МРТ), положение стопы по шкале FPI-6 [13] и угол дорсифлексии голеностопного сустава. Также спортсменам проводилось бароподометрическое обследование (аппаратно-программный комплекс WINTRACK, Medicaptures, Франция) по алгоритму, включающему последовательность статических и динамических тестов (табл. 1), с оценкой распределения

подошвенного давления между передним и задним отделами стоп.

### Статистический анализ

Статистический анализ данных осуществлён с применением пакета прикладных программ IBM SPSS Statistics 23. Для оценки типа распределения количественных параметров использовались критерии Колмогорова–Смирнова и Шапиро–Уилка с критическим уровнем значимости 0,05. Поскольку распределение оказалось отличным от нормального, для анализа данных использовали непараметрические методы статистики. Описательные статистики количественных данных приведены в форме медианы и квартилей, описание качественных признаков — в виде относительных частот и их доверительных интервалов. Для сравнительного межгруппового анализа применялся непараметрический U-критерий Манна–Уитни, а для внутригруппового — тест Уилкоксона. Сравнение дискретных величин проводилось с использованием критерия  $\chi^2$ . Оценка взаимосвязи количественных признаков проводилась с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена. За статистическую значимость был принят уровень значимости для всех статистических вычислений менее 0,05.

### Этическая экспертиза

Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н.И. Пирогова (протокол № 225 от 23.01.2023 г.). Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

Таблица 1. Последовательность выполняемых тестов с их описанием

Table 1. Sequence of performed tests with their descriptions

Тест	Описание
Статический	Стопы расположены параллельно на ширине остей подвздошных костей таза. Тест проводят в течение 30 с. Во время тестирования спортсмен сохраняет неподвижность
<i>Динамические тесты</i>	
Сагиттальный	Стопы расположены параллельно на ширине остей подвздошных костей таза. Тест проводят в течение 30 с. Спортсмен по команде врача совершает низкоамплитудные движения вперёд и назад (только в голеностопных суставах)
Фронтальный	Стопы расположены параллельно на ширине остей подвздошных костей таза. Тест проводят в течение 30 с. Спортсмен по команде врача совершает низкоамплитудные движения вправо и влево (только в голеностопных суставах)
Тест с подъёмом на передний отдел стопы	Стопы расположены параллельно на ширине остей подвздошных костей таза. Тест проводят в течение 20 с. Спортсмен по команде врача поднимается на передний отдел стопы, отрывая пяточную область обеих стоп от платформ на 3–4 см
Прыжковый	Стопы расположены параллельно на ширине остей подвздошных костей таза. Тест проводят в течение 30 с. Спортсмен по команде врача подпрыгивает, синхронно и симметрично отрывая обе стопы от платформы на 3–4 см, стараясь по возможности не сгибать колени при отталкивании и приземлении. Совершается 4–5 прыжков с интервалами

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Клинико-anamnestическая характеристика спортсменов

В настоящее исследование вошли 130 спортсменов 21 вида спорта (рис. 2). Наиболее часто ПФ отмечался в таких видах спорта, как лёгкая атлетика (23,1%), футбол (15,4%) и баскетбол (9,2%). Медиана возраста спортсменов составила 28 (23; 33) лет. Более 70% спортсменов, принявших участие в исследовании, имели спортивную квалификацию кандидата в мастера спорта и мастера спорта России (49,2 и 24,6% соответственно), при этом наибольшая распространённость ПФ отмечена у спортсменов — кандидатов в мастера спорта.

Основные параметры клинико-anamnestической характеристики спортсменов представлены в табл. 2, 3.

Возраст, ИМТ, спортивный стаж в группах 1 и 2 статистически значимо не различались. ПФ у спортсменов одинаково распространён как среди мужчин, так и среди женщин, а наличие РДН не оказывает никакого влияния

на вероятность возникновения патологии. Имеется тенденция к большей распространённости болезненности и напряжённости мышц задней группы бедра у спортсменов с ПФ, однако статистическая значимость не была достигнута. Можно сделать однозначный вывод, что у спортсменов с ПФ статистически значимо чаще встречаются напряжение и болезненность мышц задней группы голени, чем у спортсменов контрольной группы.

### Ортопедическая оценка стоп у спортсменов

У спортсменов с ПФ статистически значимо чаще встречается молоткообразная деформация пальцев стоп и имеется слабовыраженная тенденция к большей распространённости метатарсалгии (табл. 4).

Не было отмечено большей распространённости варусного отклонения первой плюсневой кости, ограничения движения в первом плюснефаланговом суставе и плантофлексии первой плюсневой кости.

У спортсменов с ПФ выявлено более пронированное положение стопы ( $p < 0,001$ ), а также более выраженное

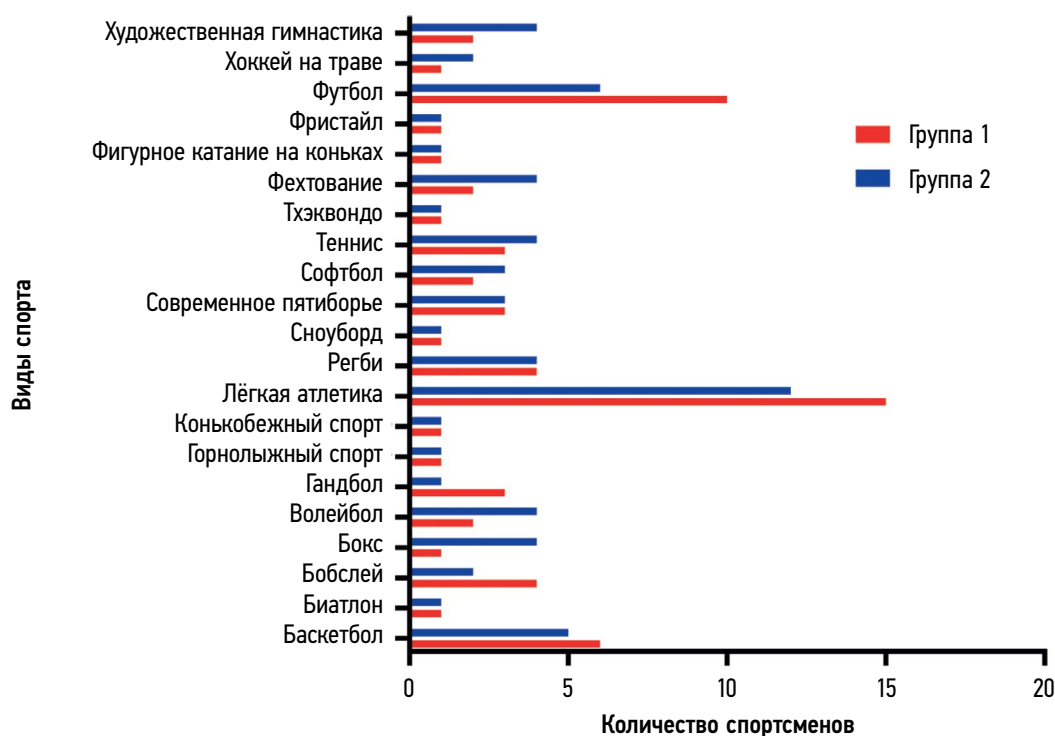


Рис. 2. Распределение спортсменов групп 1 и 2 по видам спорта.

Fig. 2. Distribution of athletes in groups 1 and 2 by sport.

Таблица 2. Клинико-anamnestическая характеристика спортсменов, включённых в исследование (количественные данные)

Table 2. Clinical and anamnesis characteristics of athletes included in the study (quantitative data)

Параметр	Группа 1, Me (Q1; Q3)	Группа 2, Me (Q1; Q3)	<i>p</i>
Возраст, лет	30 (23; 33,5)	27 (22; 33)	0,49
Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>	22 (20,9; 23,7)	22 (20,6; 23,5)	0,562
Спортивный стаж, лет	21 (16; 25)	20 (13,5; 23,5)	0,492

**Таблица 3.** Клинико-anamnestическая характеристика спортсменов, включённых в исследование (качественные данные)**Table 3.** Clinical and anamnesis characteristics of athletes included in the study (qualitative data)

Параметр	Группа 1	Группа 2	<i>p</i>
Женский пол	58,5% ДИ 95% [46,3; 69,7]	50,8% ДИ 95% [38,9; 62,5]	0,482
Разница длины нижних конечностей	93,9% ДИ 95% [84,8; 98]	89,2% ДИ 95% [79,1; 95]	0,529
Боль и напряжение мышц задней группы бедра	56,9% ДИ 95% [44,8; 68,3]	41,5% ДИ 95% [30,4; 53,7]	0,115
Боль и напряжение мышц задней группы голени	69,2% ДИ 95% [57,2; 79,2]	30,8% ДИ 95% [20,8; 42,9]	<0,001

Примечание (здесь и в табл. 4). ДИ — доверительный интервал.

Note (here and in Table 4). ДИ — confidence interval.

**Таблица 4.** Изменения переднего отдела стоп спортсменов в группах 1 и 2**Table 4.** Changes in the anterior part of the foot of athletes in groups 1 and 2

Параметр	Группа 1	Группа 2	<i>p</i>
Варусное отклонение первой плюсневой кости	63,1% ДИ 95% [50,9; 73,8]	52,3% ДИ 95% [40,4; 64]	0,287
Ограничение движения в первом плюснефаланговом суставе	33,9% ДИ 95% [23,5; 46]	27,7% ДИ 95% [18,2; 39,7]	0,569
Молоткообразная деформация пальцев стоп	53,9% ДИ 95% [41,9; 65,4]	29,2% ДИ 95% [19,5; 41,3]	0,03
Метатарсалия	24,6% ДИ 95% [15,7; 36,4]	10,8% ДИ 95% [5; 20,9]	0,06
Плантафлексия первой плюсневой кости	83,1% ДИ 95% [72; 90,5]	83,1% ДИ 95% [72; 90,5]	0,816

ограничение угла дорсифлексии голеностопного сустава ( $p < 0,001$ ) (рис. 3).

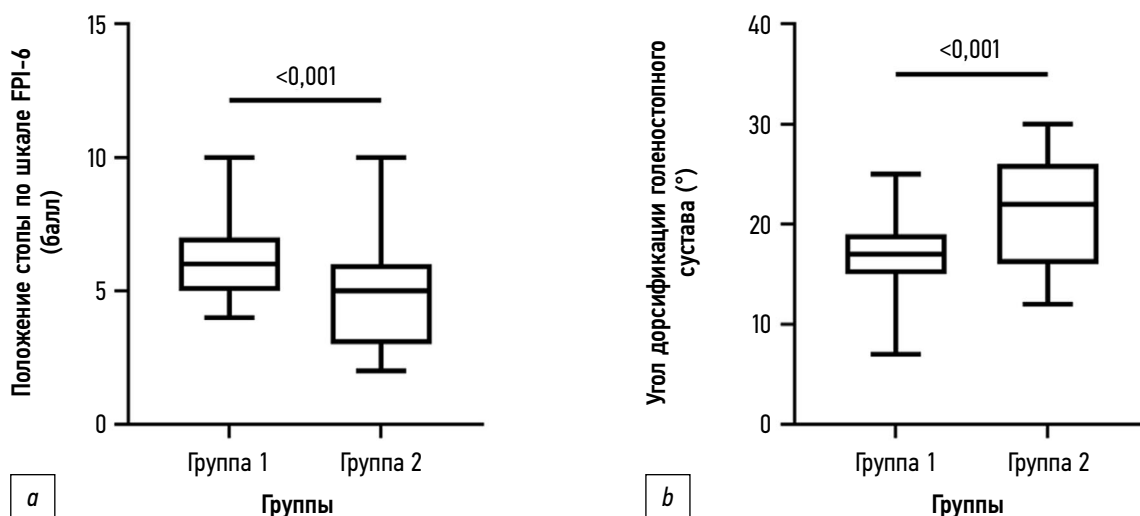
Распространённость плоскостопия у спортсменов с ПФ была статистически значимо выше, чем у спортсменов контрольной группы ( $p = 0,005$ ).

### Биомеханические особенности стоп спортсменов с плантарным фасциитом

Анализ результатов распределения подошвенного давления, оценённого по результатам бароподометрического обследования, у спортсменов представлен на рис. 4.

При внутригрупповом и межгрупповом сравнении стоп спортсменов с ПФ и контрольной группы статистически значимых различий подошвенного давления переднего и заднего отделов выявлено не было. Однако у спортсменов с ПФ отмечена следующая особенность: подошвенное давление заднего отдела стопы с ПФ находится либо в состоянии избыточной нагрузки (подошвенное давление более 30%), либо в состоянии недостаточной нагрузки (подошвенное давление менее 22%).

Более того, степень выраженности дефицита подошвенного давления заднего отдела поражённой стопы тесно коррелировала с выраженностью болевого

**Рис. 3.** Положение стопы по шкале FPI-6 (а) и угол дорсифлексии голеностопного сустава (б) в исследуемых группах.**Fig. 3.** Foot position according to the FPI-6 scale (a) and the angle of ankle dorsiflexion (b) in the studied groups.

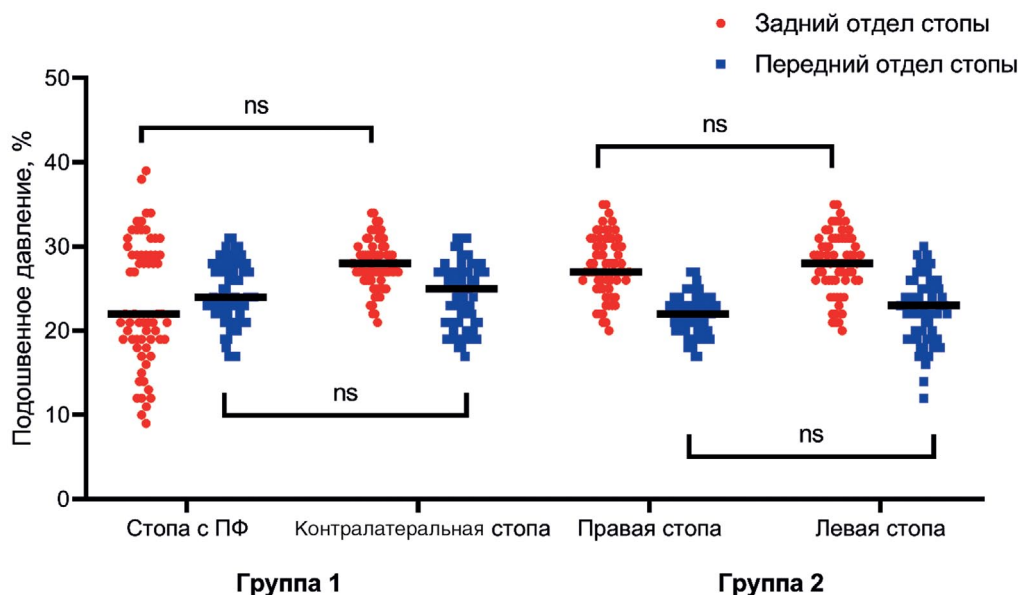


Рис. 4. Распределение подошвенного давления переднего и заднего отделов стопы в группах 1 и 2.

Fig. 4. Distribution of plantar pressure in the anterior and posterior parts of the foot in groups 1 and 2.

синдрома, оценённого по визуально-аналоговой шкале (ВАШ), где 1 — максимально выраженный болевой синдром, а 10 — отсутствие боли ( $r=-0,353$ ,  $p=0,004$ ) (рис. 5).

Чёткие изменения у спортсменов с ПФ прослеживаются в сагиттальном и фронтальном динамических тестах (рис. 6). Наблюдались смещение и деформация общего вектора давления (ОВД) в наиболее болезненной области (указаны красной стрелкой). Также отмечается размашистость ОВД (отмечена синей линией).

У некоторых спортсменов с ПФ отмечаются деформация и дезинтеграция собственных векторов давления под стопами (выделены синей стрелкой). Изменения,

наблюдаемые у спортсменов с ПФ в динамических тестах, вероятно, могут свидетельствовать о постральной неустойчивости стопы.

### Определение толщины плантарной фасции

В текущем исследовании мы определяли толщину плантарной фасции только у спортсменов с ПФ. Толщина определялась на сагиттальных срезах Т2-взвешенных изображений стопы и голеностопного сустава, отступив 1 см от края пяточной кости (рис. 7).

Медиана толщины плантарной фасции у спортсменов с ПФ составила 4,08 (3,47; 4,74) мм.

### ОБСУЖДЕНИЕ

В нашем исследовании ПФ наиболее часто встречался в таких видах спорта, как лёгкая атлетика, футбол и баскетбол, что представляется закономерным, поскольку в данных видах спорта отмечается высокая беговая (ударная) нагрузка [7]. Ранее было отмечено, что распространённость ПФ у футболистов и баскетболистов значительно выше [14]. Более того, А.Д. Lopes и соавт. сообщили, что встречаемость ПФ у профессиональных бегунов достигает 17,4% [3]. Вполне вероятно, что такие особенности вида спорта, как высокая беговая (ударная) нагрузка на стопы, могут значительно увеличивать риск развития ПФ у спортсмена.

R.O. Nielsen и соавт. отметили, что у спортсменов ПФ часто препятствовал продолжению тренировочной и соревновательной деятельности [15]. Это, в частности, подтверждается тем, что почти половина спортсменов с ПФ имеют спортивное звание кандидата в мастера спорта, при том, что у всех спортсменов в исследовании отмечался значительный стаж спортивной деятельности (около

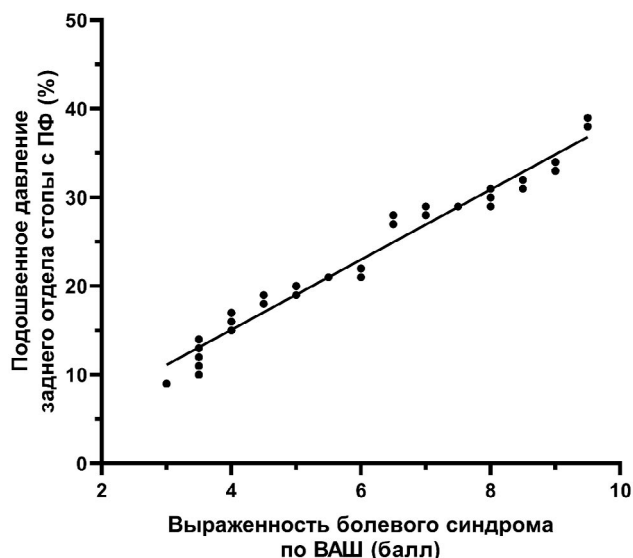
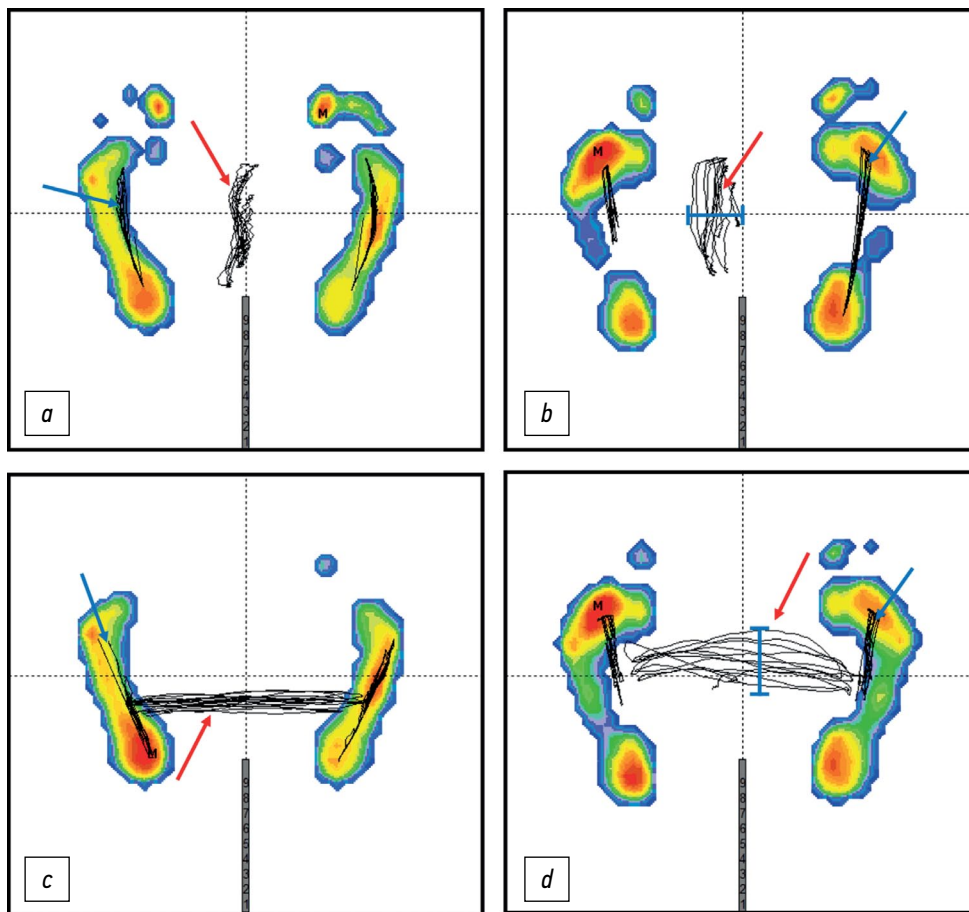


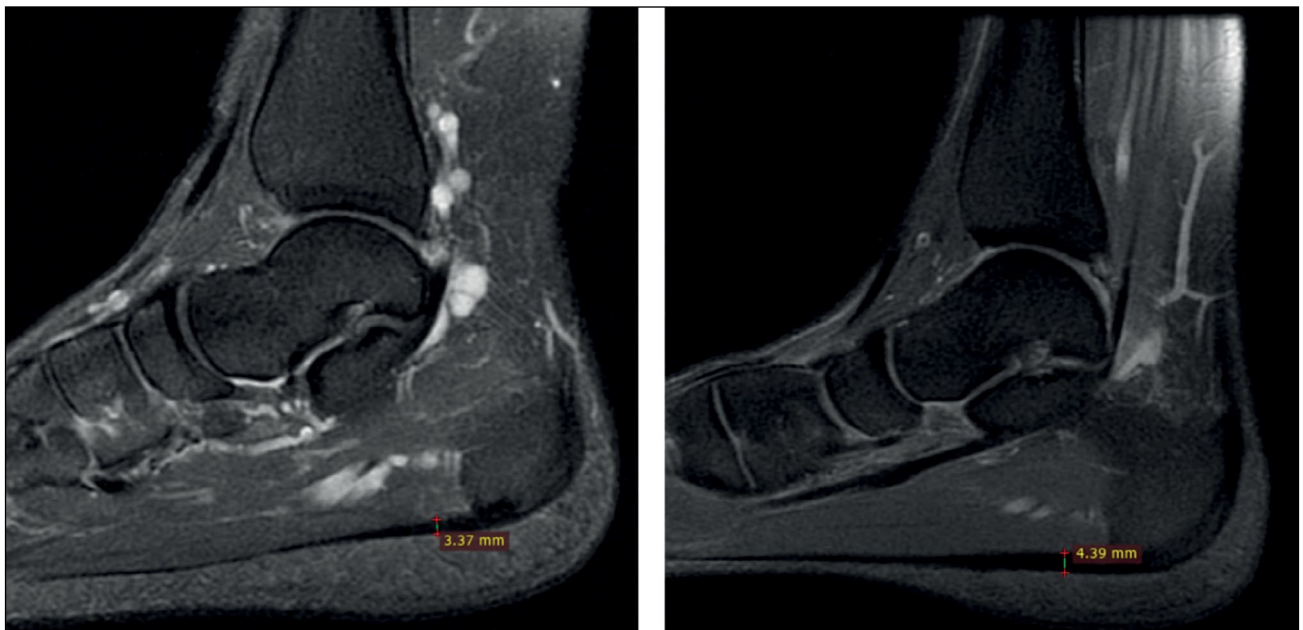
Рис. 5. Взаимосвязь подошвенного давления заднего отдела стопы с плантарным фасциитом и болевого синдрома по ВАШ.

Fig. 5. Relationship between plantar pressure in the posterior part of the foot, plantar fasciitis, and pain syndrome according to VAS.



**Рис. 6.** Бароподогаммы сагитального (*a, b*) и фронтального (*c, d*) динамических тестов спортсменов с плантарным фасциитом. Красной стрелкой обозначены смещение и деформация общего вектора давления, синей стрелкой — деформация и дезинтеграция собственных векторов давления под стопами, синей линией отмечена размахистость общего вектора давления.

**Fig. 6.** Baropodograms of sagittal (*a, b*) and frontal (*c, d*) dynamic tests of athletes with plantar fasciitis. The red arrow indicates the displacement and deformation of the COP, the blue arrow highlights the deformation and disintegration of the pressure vectors under the feet, and the blue line marks the amplitude of the COP.



**Рис. 7.** Сагитальные срезы T2-взвешенных изображений стоп спортсменов с плантарным фасциитом.

**Fig. 7.** Sagittal slices of T2-weighted images of the feet of athletes with plantar fasciitis.



20 лет). Нельзя отрицать, что в случае ПФ важную роль играет эффект суммации тренировочных стимулов — для развития клинически выраженного состояния необходима аккумуляция неоптимальных тренировочных нагрузок.

В нашем исследовании обнаружена тесная связь между наличием у спортсмена плоскостопия и развитием ПФ. Ранее некоторыми авторами сообщалось, что плоскостопие у спортсменов может выступать важным фактором риска развития ПФ [16, 17]. В случае коллапса продольного и/или поперечного свода стопы многократно возрастает нагрузка на подошвенный апоневроз, что может объяснить полученные находки.

У спортсменов с ПФ отмечен более высокий балл по шкале FPI-6, что отражает степень выраженности пронации стопы. Ранее неоднократно сообщалось, что избыточная пронация стопы может лежать в основе развития ПФ [18–20], поскольку пространственные изменения стопы в целом, наблюдающиеся при пронации (сдвиг ладьевидной кости, эверсия пяточной кости и отведения переднего отдела), могут способствовать избыточному растягиванию подошвенного апоневроза и возникновению в нём дегенеративно-воспалительных изменений [21] (рис. 8). С другой стороны, R. Donatelli и соавт. отметили, что выраженная пронация встречается не во всех случаях ПФ [22]. Т.Н. Chow и соавт. наблюдали у большинства спортсменов с ПФ выраженную пронацию стоп, что, по их мнению, является причиной повышенной нагрузки на плантарную фасцию [23]. Представляется целесообразным производить оценку выраженности пронации у спортсменов с ПФ и в случае необходимости выполнять её коррекцию.

Статистически значимо чаще у спортсменов с ПФ встречаются болезненность и напряжение мышц задней группы голени, что в целом согласуется с данными, полученными другими авторами [24, 25]. Чрезмерное усилие на растяжение, создаваемое икроножной мышцей, может изменить нормальную кинематику движения

голеностопного сустава, что, по данным J.P. Zhou и соавт., в свою очередь, может привести к ПФ [26].

Среди всей оцениваемой в настоящем исследовании патологии переднего отдела стопы у спортсменов с ПФ статистически значимо чаще встречалась молоткообразная деформация стоп. Также прослеживалась чёткая тенденция к более высокой распространённости метатарсалии, что в целом не является удивительным, поскольку два вышеуказанных состояния тесно ассоциированы друг с другом [27]. Хотя А. Cobden и соавт. сообщали о связи между вальгусной деформацией первого пальца стопы и ограничением подвижности первого плюснефалангового сустава с развитием ПФ [28], нам не удалось отметить подобной закономерности. Поскольку плантарная фасция своим дистальным концом веерообразно вплетается в фасциальные оболочки короткого сгибателя пальцев и мышцы, отводящей большой палец, а затем переходит на пальцы стоп [29], подобное анатомическое единство позволяет объяснить более высокую распространённость ПФ у спортсменов с молоткообразной деформацией пальцев стоп.

Меньший угол дорсифлексии голеностопного сустава, обнаруженный у спортсменов с ПФ, является закономерной находкой в контексте выраженного напряжения мышц задней группы голени, что отмечалось ранее [30, 31].

В результате бароподометрического обследования спортсменов с ПФ была обнаружена выраженная тенденция к изменению подошвенного давления заднего отдела стопы с ПФ: наблюдалось либо снижение подошвенного давления, либо, напротив, его увеличение, причём степень дефицита подошвенного давления была обратно пропорциональна выраженности болевого синдрома, оценённого по 10-балльной ВАШ. Подобные результаты были отмечены и другими авторами, однако было неясно, какая последовательность тестов использовалась [23, 32, 33]. Смещение и деформация ОВД, а также дезинтегративные изменения векторов давления под стопами могут

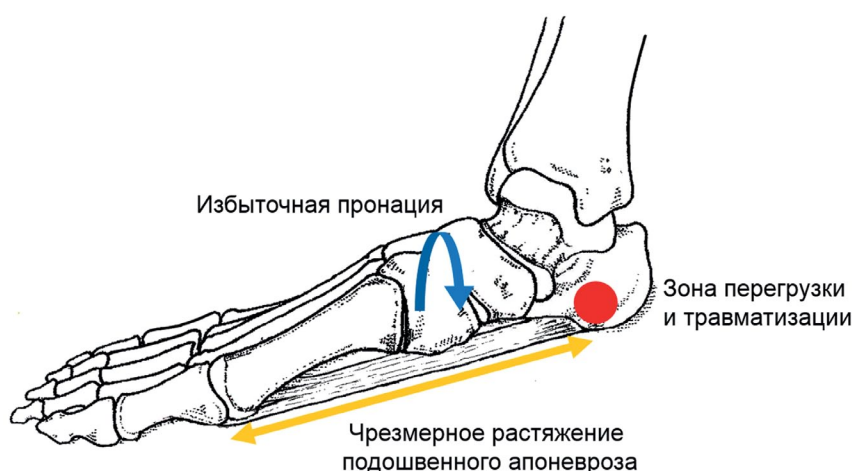


Рис. 8. Биомеханическое влияние пронации стопы на развитие плантарного фасциита.

Fig. 8. Biomechanical influence of foot pronation on the development of plantar fasciitis.

свидетельствовать об общей постуральной нестабильности спортсменов с ПФ, обусловленной, вероятно, недостаточной стабильностью каждой отдельной стопы.

Толщина плантарной фасции, измеренная по данным МРТ, у спортсменов с ПФ составила 4,08 мм, что в целом согласуется с данными метаанализа С. Drake и соавт., в котором было установлено утолщение подошвенного апоневроза у пациентов с ПФ более 4 мм, что, впрочем, не является облигатным морфологическим критерием ПФ [34]. Возможно, ввиду большей выраженности воспалительных изменений у спортсменов мы чаще наблюдали утолщение подошвенного апоневроза более 4 мм.

В литературе также нет однозначного мнения относительно влияния РДН на вероятность развития ПФ. С одной стороны, S. Mahmood и соавт. считают, что более длинная конечность склонна к развитию ПФ [35], в то время как H. Mansur и соавт. заявляют, что чаще поражается более короткая нога [36]. В нашем исследовании мы не обнаружили значимого влияния самого факта разной длины ног на вероятность развития ПФ. Возможно, причиной подобных противоречивых данных являются методические трудности, возникающие в процессе измерения длины нижних конечностей.

Большая часть исследуемых нами клинико-анамнестических параметров (возраст, ИМТ, спортивный стаж, пол, разница длины нижних конечностей, болезненность мышц задней группы бедра) не являлась статистически значимой для спортсменов с ПФ и не может определять группы риска спортсменов. P.A. Butterworth и соавт. ранее сообщили, что использовать ИМТ с целью прогнозирования развития ПФ не представляется возможным [37]. В свою очередь J.E. Taunton и соавт. обнаружили, что ПФ несколько чаще встречается у женщин, чем у мужчин, однако мы не нашли подтверждения подобной связи [38].

## Ограничения исследования

Ограничением данного исследования является его проведение в одном центре, что не позволило включить в испытание более значительный контингент спортсменов. Направления дальнейших исследований должны быть сосредоточены на максимальной объективизации наблюдаемых биомеханических отклонений, характерных для спортсменов с ПФ, а также на изучении вклада в развитие ПФ вышележащих структур, в частности систем, обеспечивающих постуральную стабильность организма.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования было установлено, что ПФ наиболее часто встречается в таких видах спорта, как лёгкая атлетика, футбол и баскетбол. У спортсменов с данной патологией статистически значимо чаще отмечаются плоскостопие, напряжение и болезненность мышц задней группы голени, избыточная пронация стопы,

меньший угол дорсифлексии голеностопного сустава, молоткообразная деформация пальцев стоп, утолщение подошвенного апоневроза. В то же время ИМТ, РДН, возраст, пол, деформации и изменения переднего отдела стопы не оказывают существенного влияния на развитие ПФ в спортивной популяции. При бароподометрическом обследовании в статических тестах установлена различная степень подошвенного давления заднего отдела стопы, варьирующая от избыточных до чрезвычайно низких значений, тесно коррелирующая с выраженностью болевого синдрома. При динамическом бароподометрическом обследовании обнаружены признаки общей постуральной неустойчивости и постуральной нестабильности стоп.

Вполне вероятно, что ПФ является многофакторным заболеванием, а механизмы его развития могут различаться в зависимости от пациента. Комплексная клиническая и биомеханическая диагностика позволит не только оптимизировать терапевтические мероприятия, но и разработать индивидуализированные программы для спортсменов, нацеленные на активную профилактику заболевания и учитывающие наиболее значимые факторы риска ПФ.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНО

**Вклад авторов.** Все авторы одобрили финальную версию перед публикацией, а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

**Этическая экспертиза.** Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н.И. Пирогова (протокол № 225 от 23.01.2023 г.). Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

**Источники финансирования.** Отсутствуют.

**Раскрытие интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведённым исследованием и публикацией настоящей статьи.

**Оригинальность.** При создании настоящей работы были использованы фрагменты собственного текста, опубликованного ранее (<https://doi.org/10.47183/mes.2024.036>), распространяется на условиях лицензии CC-BY 4.0).

**Доступ к данным.** Доступ к данным, полученным в настоящем исследовании, закрыт по причине конфиденциальности (наличия в базе данных сведений, на основании которых могут быть идентифицированы участники исследования, и отсутствия их согласия на распространение этих сведений).

**Рассмотрение и рецензирование.** Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

## ADDITIONAL INFO

**Author contribution.** All authors have approved the final version before publication and have also agreed to be responsible for all aspects of the work, ensuring that issues relating to the accuracy and integrity of any part of it are properly addressed and resolved.

**Ethics approval.** The study was approved by the local ethical committee of Pirogov Russian National Research Medical University (protocol No. 225 of 23.01.2023). All study participants voluntarily signed an informed consent form prior to inclusion in the study.

**Funding sources.** No funding.

**Disclosure of interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Statement of originality.** In creating this work, fragments of my own text, published earlier, were used ([<https://doi.org/10.47183/mes.2024.036>], distributed under the CC-BY 4.0 license).

**Data availability statement.** Access to the data obtained in this study is closed due to confidentiality (the presence in the database of information on the basis of which the study participants can be identified and the lack of their consent to the dissemination of this information).

**Provenance and peer-review.** This paper was submitted to the journal on an initiative basis and reviewed according to the usual procedure. Two external reviewers, a member of the editorial board and the scientific editor of the publication participated in the review.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- O'Sullivan K, O'Sullivan PB, Gabbett TJ. Pain and fatigue in sport: are they so different? *Br J Sports Med.* 2018;52(9):555–556. doi: 10.1136/bjsports-2017-098159
- Kakouris N, Yener N, Fong DTP. A systematic review of running-related musculoskeletal injuries in runners. *J Sport Health Sci.* 2021;10(5):513–522. doi: 10.1016/j.jshs.2021.04.001
- Lopes AD, Hespanhol Júnior LC, Yeung SS, Costa LO. What are the main running-related musculoskeletal injuries? A Systematic Review. *Sports Med.* 2012;42(10):891–905. doi: 10.1007/BF03262301
- Orchard J. Plantar fasciitis. *BMJ.* 2012;345:e6603. doi: 10.1136/bmj.e6603
- Kulibaba KV, Vasilkin AK. Modern aspects of treatment of foot pathology in athletes. *Medical alphabet.* 2018;3(27):62–63. (In Russ.). EDN: YPUTQL
- Thompson JV, Saini SS, Reb CW, Daniel JN. Diagnosis and management of plantar fasciitis. *J Am Osteopath Assoc.* 2014;114(12):900–906. doi: 10.7556/jaoa.2014.177
- Murphy K, Curry EJ, Matzkin EG. Barefoot running: does it prevent injuries? *Sports Med.* 2013;43(11):1131–1138. doi: 10.1007/s40279-013-0093-2
- Rabadi D, Seo S, Wong B, et al. Immunopathogenesis, early Detection, current therapies and prevention of plantar Fasciitis: A concise review. *Int Immunopharmacol.* 2022;110:109023. doi: 10.1016/j.intimp.2022.109023
- Soligard T, Schwelunus M, Alonso JM, et al. How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *Br J Sports Med.* 2016;50(17):1030–1041. doi: 10.1136/bjsports-2016-096581
- Coppola M, Sgadari A, Marasco D, et al. Treatment Approaches for Plantar Fasciopathy in Elite Athletes: A Scoping Review of the Literature. *Orthop J Sports Med.* 2022;10(11):23259671221136496. doi: 10.1177/23259671221136496
- Petraglia F, Ramazzina I, Costantino C. Plantar fasciitis in athletes: diagnostic and treatment strategies. A systematic review. *Muscles Ligaments Tendons J.* 2017;7(1):107–118. doi: 10.11138/mltj/2017.7.1.107
- Hamstra-Wright KL, Huxel Bliven KC, Bay RC, Aydemir B. Risk Factors for Plantar Fasciitis in Physically Active Individuals: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Health.* 2021;13(3):296–303. doi: 10.1177/1941738120970976
- Redmond AC, Crosbie J, Ouvrier RA. Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture: the Foot Posture Index. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2006;21(1):89–98. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2005.08.002
- Sobhani S, Dekker R, Postema K, Dijkstra PU. Epidemiology of ankle and foot overuse injuries in sports: A systematic review. *Scand J Med Sci Sports.* 2013;23(6):669–686. doi: 10.1111/j.1600-0838.2012.01509.x
- Nielsen RO, Rønnow L, Rasmussen S, Lind M. A prospective study on time to recovery in 254 injured novice runners. *PLoS One.* 2014;9(6):e99877. doi: 10.1371/journal.pone.0099877
- Martinelli N, Bianchi A, Martinkevich P, et al. Return to sport activities after subtalar arthroereisis for correction of pediatric flexible flatfoot. *J Pediatr Orthop B.* 2018;27(1):82–87. doi: 10.1097/BPB.0000000000000449
- Pohl MB, Hamill J, Davis IS. Biomechanical and anatomic factors associated with a history of plantar fasciitis in female runners. *Clin J Sport Med.* 2009;19(5):372–376. doi: 10.1097/JSM.0b013e3181b8c270
- Lee SY, Hertel J. Effect of static foot alignment on plantar-pressure measures during running. *J Sport Rehabil.* 2012;21(2):137–143. doi: 10.1123/jsr.21.2.137
- Rodrigues P, Chang R, TenBroek T, van Emmerik R, Hamill J. Evaluating the coupling between foot pronation and tibial internal rotation continuously using vector coding. *J Appl Biomech.* 2015;31(2):88–94. doi: 10.1123/jab.2014-0067
- Kwong PK, Kay D, Voner RT, White MW. Plantar fasciitis. Mechanics and pathomechanics of treatment. *Clin Sports Med.* 1988;7(1):119–126.
- Keenan AM, Redmond AC, Horton M, Conaghan PG, Tennant A. The Foot Posture Index: Rasch analysis of a novel, foot-specific outcome measure. *Arch Phys Med Rehabil.* 2007;88(1):88–93. doi: 10.1016/j.apmr.2006.10.005
- Donatelli R, Wooden M, Ekedahl SR, et al. Relationship between static and dynamic foot postures in professional baseball players. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1999;29(6):316–330. doi: 10.2519/jospt.1999.29.6.316
- Chow TH, Chen YS, Hsu CC. Relationships between Plantar Pressure Distribution and Rearfoot Alignment in the Taiwanese College Athletes with Plantar Fasciopathy during Static Standing and Walking. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(24):12942. doi: 10.3390/ijerph182412942
- Nakale NT, Strydom A, Saragas NP, Ferrao PNF. Association Between Plantar Fasciitis and Isolated Gastrocnemius Tightness. *Foot Ankle Int.* 2018;39(3):271–277. doi: 10.1177/1071100717744175

25. Patel A, DiGiovanni B. Association between plantar fasciitis and isolated contracture of the gastrocnemius. *Foot Ankle Int*. 2011;32(1):5–8. doi: 10.3113/FAI.2011.0005
26. Zhou JP, Yu JF, Feng YN, et al. Modulation in the elastic properties of gastrocnemius muscle heads in individuals with plantar fasciitis and its relationship with pain. *Sci Rep*. 2020;10(1):2770. doi: 10.1038/s41598-020-59715-8
27. DiPrea JA. Metatarsalgia, lesser toe deformities, and associated disorders of the forefoot. *Med Clin North Am*. 2014;98(2):233–251. doi: 10.1016/j.mcna.2013.10.003
28. Cobden A, Camurcu Y, Sofu H, et al. Evaluation of the Association Between Plantar Fasciitis and Hallux Valgus. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2020;110(2):Article\_2. doi: 10.7547/17-150
29. Stecco C, Corradin M, Macchi V, et al. Plantar fascia anatomy and its relationship with Achilles tendon and paratenon. *J Anat*. 2013;223(6):665–676. doi: 10.1111/joa.12111
30. Knapik DM, LaTulip S, Salata MJ, Voos JE, Liu RW. Impact of Routine Gastrocnemius Stretching on Ankle Dorsiflexion Flexibility and Injury Rates in High School Basketball Athletes. *Orthop J Sports Med*. 2019;7(4):2325967119836774. doi: 10.1177/2325967119836774
31. Johanson MA, Armstrong M, Hopkins C, et al. Gastrocnemius Stretching Program: More Effective in Increasing Ankle/Rear-Foot Dorsiflexion When Subtalar Joint Positioned in Pronation Than in Supination. *J Sport Rehabil*. 2015;24(3):307–314. doi: 10.1123/jsr.2014-0191
32. Baris RH, Narin S, Elvan A, Erduran M. FRI0638-HPR Investigating Plantar Pressure during Walking in Plantar Fasciitis. *Annals of the Rheumatic Diseases*. 2016;75(Suppl 2):1284.3–1285. doi: 10.1136/annrheumdis-2016-eular.5343
33. Ulusoy A, Cerrahoğlu L, Örgüç Ş. The assessment of plantar pressure distribution in plantar fasciitis and its relationship with treatment success and fascial thickness. *Kastamonu Medical Journal*. 2023;3(3):139–143. doi: 10.51271/kmj-0114
34. Drake C, Whittaker GA, Kaminski MR, et al. Medical imaging for plantar heel pain: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Foot and Ankle Research*. 2022;15(1). doi: 10.1186/s13047-021-00507-2
35. Mahmood S, Huffman LK, Harris JG. Limb-length discrepancy as a cause of plantar fasciitis. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2010;100(6):452–455. doi: 10.7547/1000452
36. Mansur H, Carvalho GGF, Lima TCP, et al. Relationship between leg-length discrepancy and plantar fasciitis. *Journal of the Foot & Ankle*. 2019;13(1):77–82. doi: 10.30795/scijfootankle.2019.v13.921
37. Butterworth PA, Landorf KB, Smith SE, Menz HB. The association between body mass index and musculoskeletal foot disorders: a systematic review. *Obes Rev*. 2012;13(7):630–642. doi: 10.1111/j.1467-789X.2012.00996.x
38. Taunton JE, Ryan MB, Clement DB, et al. A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries. *Br J Sports Med*. 2002;36(2):95–101. doi: 10.1136/bjism.36.2.95

## ОБ АВТОРАХ

### \* Сливин Антон Вячеславович;

адрес: Россия, 121059, Москва, ул. Б. Дорогомиловская, д. 5;  
ORCID: 0000-0003-2107-6525;  
eLibrary SPIN: 7670-4931;  
e-mail: anton-slivin@mail.ru

### Кармазин Валерий Вячеславович, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0002-1971-4420;  
eLibrary SPIN: 9499-6372;  
e-mail: vkarma@mail.ru

### Парастаев Сергей Андреевич, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0002-2281-9936;  
eLibrary SPIN: 7612-0480;  
e-mail: ParastaevSA@sportfmba.ru

## AUTHORS' INFO

### \* Anton V. Slivin, MD;

address: 5 B. Dorogomilovskaya str., 121059 Moscow, Russia;  
ORCID: 0000-0003-2107-6525;  
eLibrary SPIN: 7670-4931;  
e-mail: anton-slivin@mail.ru

### Valery V. Karmazin, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0002-1971-4420;  
eLibrary SPIN: 9499-6372;  
e-mail: vkarma@mail.ru

### Sergey A. Parastaev, MD, Dr. Sci. (Medicine), professor;

ORCID: 0000-0002-2281-9936;  
eLibrary SPIN: 7612-0480;  
e-mail: ParastaevSA@sportfmba.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author