

Д.С. Бобров, Л.Ю. Слиняков, Н.В. Ригин

Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова,
Москва, Российская Федерация

Перегрузочная метатарзалгия: патогенез, биомеханика и хирургическое лечение (аналитический обзор литературы)

В данной статье изложены современные представления о перегрузочной (первичной, центральной) метатарзалгии на основании анализа литературы по данной проблеме. Метатарзалгия — термин, обозначающий боль в переднем отделе стопы. Это симптомокомплекс, которому соответствует целая группа состояний. Перегрузочная метатарзалгия возникает в результате структурно-функциональных изменений, приводящих к изменению нормального равномерного распределения давления на различные участки подошвенной поверхности стопы, чаще всего в области головок плюсневых костей. Анализ данных литературы показывает, что в настоящее время основными методами лечения метатарзалгии, связанной с перегрузкой 2–3-х плюсневых костей, являются различные типы остеотомий, среди которых наиболее популярна ортопедическая операция по Weil. Вероятность осложнений при этом составляет от 6 до 50%. Наиболее частое осложнение Weil-остеотомии («плавающие пальцы») — пальцы, не контактирующие с поверхностью опоры. При одновременном выполнении Weil-остеотомии и межфалангового артродеза с трансартикулярной фиксацией частота «плавающего пальца» возрастает до 50%. Сочетание Weil-остеотомии с восстановлением подошвенной связки плюснефалангового сустава (плантарной пластинки, lig. plantare), удлинением сухожилия длинного разгибателя пальцев и иссечением костного клина дает меньший процент подобных осложнений — около 15%. Использование комбинированных методик остеотомии с учетом структурно-функциональных патологических изменений переднего отдела стопы и восстановления связочного аппарата — наиболее перспективное направление развития техники хирургического лечения перегрузочной метатарзалгии.

Ключевые слова: перегрузочная метатарзалгия, биомеханические изменения, передний отдел стопы, хирургическая тактика.

(Для цитирования: Бобров Д.С., Слиняков Л.Ю., Ригин Н.В. Перегрузочная метатарзалгия: патогенез, биомеханика и хирургическое лечение (аналитический обзор литературы). Вестник РАМН. 2017;72(1):53–58. doi: 10.15690/vramn756)

53

Актуальность

Перегрузочная метатарзалгия — комплекс структурно-функциональных изменений в области плюсны, приводящих к изменению нормального равномерного распределения давления на различные участки подошвенной поверхности стопы, клинически проявляющихся болевым синдромом и деформацией вза-

иморасположения костей плюсны и фаланг пальцев. Метатарзалгия не является редким состоянием. Несмотря на кажущуюся простоту постановки диагноза, истинная причина боли в переднем отделе стопы часто остается нераспознанной, и многие пациенты лечатся либо консервативно, либо проходят лечение по поводу других заболеваний, поражающих передний отдел стопы.

D.S. Bobrov, L.J. Slinjakov, N.V. Rigin

Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation

The Primary Metatarsalgia: Pathogenesis, Biomechanics and Surgical Treatment

This paper presents a comprehensive review on the current concept of the diagnosis and treatment of central metatarsalgia on the basis of medical literature analyses. Metatarsalgia is the term for pain in the forefoot. This is a set of symptoms corresponding to a wide range of diseases. Central metatarsalgia is a kind of metatarsalgia which arises from structural-functional changes that lead to excessive pressure in the area of metatarsal heads. The data analysis demonstrated that presently various types of osteotomies of metatarsal bones are the main surgical treatment options with the chance of complication ranging from 6 to 50%. Weil-osteotomy is known to be the most popular type of osteotomy for treatment of central metatarsalgia. The most common complication of Weil-osteotomy is floating toe, the one that doesn't contact with the supporting surface. In case Weil-osteotomy and intraphalangeal arthrodesis with trans articular fixation are both performed, the complication of floating toe increases up to 50%. When Weil osteotomy, plantar plate repair, extensor digitorum longum tendon lengthening and triple Weil-osteotomy are performed simultaneously, the complication rate is 15% approximately which is much lower. Using combined osteotomy techniques as well as taking into account structural-functional pathologic changes of the forefoot and ligaments repair of metatarsalphalangeal joint will ensure the most successful development of surgical treatment techniques for central metatarsalgia.

Key words: primary metatarsalgia, biomechanical changes, forefoot, surgical tactics.

(For citation: Bobrov DS, Slinjakov LJ, Rigin NV. The Primary Metatarsalgia: Pathogenesis, Biomechanics and Surgical Treatment. Annals of the Russian Academy of Medical Sciences. 2017;72(1):53–58. doi: 10.15690/vramn756)

Перегрузочная, или первичная, метатарзалгия

Патогенез и клинические проявления

Существует множество работ, посвященных хирургическому лечению первичной, или перегрузочной, метатарзалгии. По мнению ряда авторов [1–6], ведущую роль в ее развитии играет повреждение главной стабилизирующей структуры — подошвенной связки плюснефалангового сустава. Развитию метатарзалгии способствуют различные причины. По данным М. Bardelli [7], метатарзалгия, обусловленная биомеханическими причинами, составляет до 84,4% (из них 70,8% приходится на структурные изменения стопы, 13,6% — на функциональные). По другим сведениям, метатарзалгия, обусловленная биомеханическими причинами, составляет до 94,5% [3]. У всех пациентов с метатарзалгией и сопутствующей молоткообразной деформацией пальцев интраоперационно обнаружено повреждение подошвенной связки плюснефалангового сустава [3].

Термин «метатарзалгия» является описательным и включает в себя множество клинических состояний различной этиологии. Перегрузочная метатарзалгия, в отличие от других причин боли в области плюсны, характеризуется болевым синдромом, вызванным неравномерным распределением нагрузки на область головок плюсневых костей за счет уплощения поперечного свода и повреждения таких структур, как подошвенная связка плюснефалангового сустава и коллатеральные связки. Острая травма может привести к повреждению стабилизирующих структур плюснефалангового сустава с последующим подвывихом в нем и дальнейшей перегрузкой соответствующей головки плюсневой кости. У большинства пациентов обнаруживается преимущественно дегенеративный характер изменений в плюснефаланговых суставах [8], в то время как посттравматические изменения имеются у незначительного числа пациентов.

К перегрузочной метатарзалгии приводит неравномерное распределение нагрузки на плюснефаланговые суставы вследствие функциональных или структурных изменений. Не всегда можно четко разделить эти два фактора, так как в хронической стадии функциональные изменения являются причиной структурных деформаций [7].

По данным G. Andrew Murphy [9], в основе патогенеза метатарзалгии лежат дегенеративные изменения, возникающие вследствие хронического синовита, обусловленного длительной перегрузкой в таких структурах, как капсула, боковые коллатеральные связки и подошвенная связка плюснефалангового сустава.

При перегрузке головок плюсневых костей их разгрузка осуществляется преимущественно за счет активного вовлечения в работу пальцев. Чрезмерная нагрузка на пальцы стопы приводит к временной разгрузке области плюснефаланговых суставов. Но в то же время нагрузка является деформирующей силой для капсульно-связочного аппарата данных суставов и, более того, основным предрасполагающим фактором к дальнейшей деформации пальцев [10].

К перегрузке головки, помимо механических факторов, предрасполагают такие анатомические особенности, как длинная относительно первой 2-я плюсовая кость, расположение ее головки ниже соседних головок и предшествующие переломы плюсневых костей.

Самая мощная разгибающая сила, действующая на сустав, обусловлена действием сухожилия мышцы длинного разгибателя пальцев. Сухожилие длинного разгибателя пальцев способно к разгибанию в межфаланговом

суставе, только когда плюснефаланговый сустав находится в сгибании или нейтральной позиции. Если палец удерживается в позиции разгибания, например, в обуви на высоком каблуке, длинный разгибатель пальцев становится деформирующей силой для плюснефалангового сустава. Сгибание плюснефалангового сустава — это функция межкостных и червеобразных мышц [8]. Длинный и короткий сгибатель пальцев сгибают межфаланговый сустав и не способны к сгибанию в плюснефаланговом суставе [8]. Второй палец уникален тем, что у него есть две тыльные межкостные мышцы и нет подошвенных [9]. В норме ось сокращения этих мышц проходит по подошвенной поверхности к центру ротации плюснефалангового сустава. Когда плюснефаланговый сустав испытывает постоянное давление от разгибания, то ось движения смещается к тылу от центра ротации, и сухожилия этих мышц оказывают деформирующие воздействие, приводящие к тыльному подвывиху [11]. При длительном разгибании в плюснефаланговом суставе проксимальной фаланги не существует мышц-антагонистов, способных предотвратить дальнейшее избыточное разгибание и прогрессирование подвывиха.

Подошвенная связка плюснефалангового сустава, коллатеральные связки, межкостные и червеобразные мышцы противодействуют этим силам и удерживают проксимальную фалангу в нейтральной позиции [8]. Повреждение данных стабилизирующих структур приводит к подвывиху проксимальной фаланги в тыльном направлении относительно плюсневой кости.

Подошвенная связка плюснефалангового сустава выполняет две основные функции: препятствует избыточному разгибанию проксимальной фаланги в плюснефаланговом суставе и защищает подлежащий сустав от нагрузки весом с конца средней фазы цикла ходьбы и до толчка пальцами [1–6].

Подошвенная связка плюснефалангового сустава — это фиброзно-хрящевая структура толщиной от 2 до 5 мм (центральный отдел тоньше, чем медиальный и латеральный края) и длиной от 16 до 23 мм [5] (рис. 1). Она испытывает постоянные сжимающие нагрузки и действует в качестве вспомогательной суставной поверхности для головки плюсневой кости. Ее структура и функция схожи с таковыми у менисков в коленном суставе.

В месте прикрепления к проксимальной фаланге связка более тонкая (до 2 мм), чем у своего основания или



Рис. 1. Анатомический макропрепарат плюснефалангового сустава
Примечание. Стрелкой обозначена неповрежденная подошвенная связка плюснефалангового сустава в месте прикрепления к основанию проксимальной фаланги 2-го пальца.

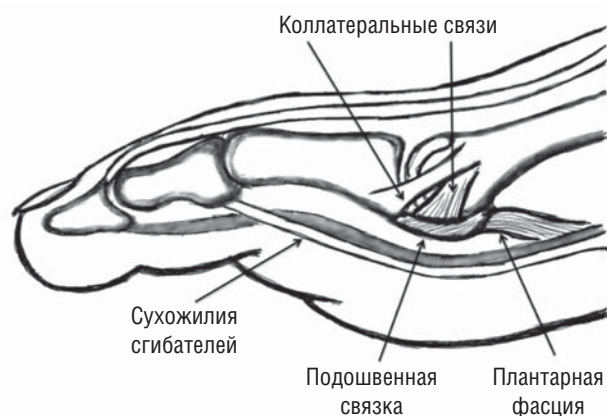


Рис. 2. Взаиморасположение структур, стабилизирующих плюснефаланговый сустав при нагрузке

в середине (до 5 мм). Крепление ее к проксимальной фаланге менее сильное, чем к плюсневой кости, в связи с чем имеется тенденция к ее отрыву именно от дистальной точки фиксации [11]. Имеется также две пары коллатеральных связок: первая прикрепляется к проксимальной фаланге и натягивается при сгибании, а вторая вплетается в подошвенную связку плюснефалангового сустава (рис. 2) и функционирует лишь при ее целостности.

На основании изложенного можно заключить, что главной структурой, стабилизирующей плюснефаланговый сустав, является подошвенная связка плюснефалангового сустава, и ее повреждение лежит в основе патогенеза перегрузочной метатарзалгии. Восстановление этой важной структуры плюснефалангового сустава позволяет не только корректировать тыльное отклонение пальца в плюснефаланговом суставе, но и обеспечивает опороспособность пальца в фазе переката при ходьбе и тем самым разгружает головку плюсневой кости.

Диагностика

Рентгенография — один из широко используемых методов диагностики деформаций переднего отдела стопы. Для правильной интерпретации результатов и планирования хирургического лечения необходимо выполнять рентгенографию в двух проекциях под нагрузкой весом в положении пациента стоя.

При клиническом осмотре пациента основным проявлением метатарзалгии является боль под головками 2-й,

3-й и реже 4-й плюсневых костей во время пальпации. Пальпация головок плюсневых костей может вызвать дискомфорт или боль, однако позволяет выявить смещение подкожно-жировой клетчатки («жировой подушки»).

Для оценки стабильности пальца в плюснефаланговом суставе наиболее простым в применении является тест «выдвижного ящика», предложенный Лахманом [9]. При проведении исследования стопа удерживается в области плюсневой кости одной рукой, а другой осуществляется смещение пальца в соответствующем плюснефаланговом суставе в тыльном направлении. Данный тест позволяет оценить повреждение подошвенной связки плюснефалангового сустава и степень деформации в суставе (табл. 1). Существует прямая зависимость между повреждением связочного аппарата и нестабильностью в плюснефаланговом суставе. Чем больше смещение при выполнении теста «выдвижного ящика», тем выше степень деформации в плюснефаланговом суставе.

Лечение

Способы хирургического лечения перегрузочной метатарзалгии

Среди методов хирургического лечения перегрузочной метатарзалгии наиболее часто применяется предложенный на конференции по технике выполнения остеотомий плюсневых костей в 1994 г. в Бордо (Франция) доктором L.S. Weil и широко известный в настоящее время как Weil-остеотомия [13].

Операция выполняется параллельно плоскости опоры плюсневых головок, что позволяет произвести укорочение и смещение дистального фрагмента плюсневой кости в проксимальном направлении и тем самым снять нагрузку с головки. К осложнениям Weil-остеотомии относятся «плавающий палец» (от 28 до 50% [14]), ригидность сустава, переходная метатарзалгия (до 7% [15]) и рецидив болевого синдрома (до 12,5% [15]). Плавающий палец — это не только отсутствие контакта пальца с поверхностью, но и неспособность оказывать опору на эту поверхность. Количественное и процентное соотношение указанных осложнений, согласно сведениям разных авторов, приведено в табл. 2.

Отсутствие опороспособности пальцев в фазе переката при ходьбе способствует перегрузке соседних плюснефаланговых суставов. Молоткообразная деформация часто сопутствует метатарзалгии, и при ее коррекции с помощью артродеза и трансартикулярной фиксации

Таблица 1. Адаптированная классификация нестабильности второго плюснефалангового сустава по С. Nery [12]

Степень деформации	Конгруэнтность	Клинические проявления
1	Нет нарушения конгруэнтности	Отек сустава. Снижение опороспособности пальца. Отрицательный тест «выдвижного ящика»
2	Незначительный подъем пальца и медиальное отклонение	Боль в суставе. Отек сустава. Снижение опороспособности пальца. Тест «выдвижного ящика»: смещение менее чем на 50%
3	Подъем пальца, медиальное или тыльно-медиальное отклонение	Боль в суставе. Уменьшение отека сустава. Опороспособность пальца отсутствует. Тест «выдвижного ящика»: смещение более чем на 50%
4	Пальцы внахлест, эластичная молоткообразная деформация	Боль в суставе и в пальце. Незначительный отек сустава. Опороспособность пальца отсутствует. Тест «выдвижного ящика»: подвывих в суставе
5	Тыльный или тыльно-медиальный вывих. Перекрестные пальцы, фиксированная молоткообразная деформация	Боль в суставе и пальце. Отек сустава незначительный или отсутствует. Опороспособность пальца отсутствует. Вывих в суставе

Таблица 2. Осложнения Weil-остеотомии (по данным разных авторов)

Осложнение	Ссылка на источник литературы												Всего
	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]	[21]	[22]	[23]	[24]	[25]	[14]	[26]	
Количество пациентов	15	31	32	53	39	17	62	29	12	26	26	21	363
Средний возраст	60	60	58	-	57	-	58	56,4	57	57	62	58	58,34
Количество стоп	15	-	37	56	44	20	70	33	14	32	31	-	352
№ Weil-остеотомий	25	60	59	110	47	41	178	33	28	55	70	71	777
Срок наблюдения, мес	22	30	30	12,5	9,1	8,6	36	42,4	9	43	18,3	13	22,8
Среднее укорочение, мм	-	-	5,9	-	4,9	5,3	4,3	4,5	5,6	5,4	6,2	-	5,2
Плавающий палец, кол-во (%)	-	27 (46)	-	-	-	8 (20)	-	12 (36)	6 (20)	24 (44)	20 (29)	2 (6)	178 (50)
Переходная метатарзалгия, кол-во (%)	-	-	7 (11)	2 (1,8)	1 (2)	2 (5)	-	4 (12,1)	2 (7)	8 (14,5)	3 (4)	1 (3)	30 (3,9)
Нарушение консолидации, кол-во (%)	-	-	-	-	1 (2)	-	10 (5,6)	-	1 (3,6)	-	-	-	12 (1,5)
Рецидив, кол-во (%)	4 (27)	11 (19,4)	5 (8,5)	-	1 (2)	2 (5)	46 (26)	7 (21)	-	2 (3)	-	-	78 (10)

56 возрастает частота такого осложнения, как «плавающие пальцы» (50 против 15% без артродеза) [14]. При совмещении Weil-остеотомии с восстановлением подошвенной связки плюснефалангового сустава, удлинением сухожилия длинного разгибателя пальцев и иссечением тыльного костного клина («тройной» Weil-остеотомии) процент данных осложнений снижается до 6–10% [13, 14].

Недостаточная подвижность сустава обусловлена возникновением рубцовых изменений после чрезмерного релиза мягких тканей плюснефалангового сустава. Переходная метатарзалгия чаще всего развивается вследствие неправильного перераспределения нагрузки на головки соседних с остеотомированной костью лучей. Основные причины переходной метатарзалгии — чрезмерное укорочение плюсневой кости, недостаточный предоперационный анализ длины и взаиморасположения головок плюсневых костей во фронтальной и горизонтальной плоскостях. Снимая нагрузку с головки при помощи Weil-остеотомии, не удается достичь коррекции тыльного подвывиха в плюснефаланговом суставе. Несмотря на имеющиеся осложнения, до 85% пациентов оценивают результаты своего лечения как «хорошие» и «очень хорошие» [21].

BRT-остеотомия (название происходит от первых букв фамилий авторов, L.S. Varouk, P. Rippstein и E. Toullec) осуществляется на уровне проксимального метафиза плюсневой кости. Плоскость остеотомии аналогична Weil-остеотомии. После удаления костного клина дистальный фрагмент смещается по оси в тыльную сторону. Данная остеотомия показана при значительном смещении головок в горизонтальной плоскости в подошвенную сторону, а также при отсутствии деформаций в плюснефаланговом суставе [27].

При изолированной метатарзалгии под головками второй и третьей плюсневых костей может применяться дистальная малоинвазивная метатарзальная остеотомия (Distal metatarsal metatarsal osteotomy, ДММО). В 70% случаев отмечены хорошие и очень хорошие результаты [28]. Осложнением являются длительно сохраняющийся отек и замедленная консолидация (до 3,3% случаев) [29], в то время как несращение наблюдается крайне редко (3%) [29].

Транспозиция сухожилий (Flexor-to-extensor transfer) применяется преимущественно в лечении нестабильности плюснефалангового сустава второго пальца. Техника транспозиции предполагает отсечение сухожилия длинного сгибателя пальцев от места прикрепления, рассечение вдоль, проведение расщепленного сухожилия по боковым сторонам проксимальной фаланги с дальнейшей фиксацией на тыльной поверхности ее основания.

Среди осложнений можно выделить сохраняющуюся разгибательную контрактуру в плюснефаланговом суставе (до 37%), разгибательную контрактуру дистального межфалангового сустава, подвывих с устойчивым медиальным отклонением в плюснефаланговом суставе, ограничение сгибательных движений, переходную метатарзалгию [27]. Для предупреждения указанных осложнений было предложено проводить транспозицию сухожилия короткого сгибателя пальцев при сохранении длинного.

Способы восстановления подошвенной связки плюснефалангового сустава

Большинство методов восстановления подошвенной связки плюснефалангового сустава проводятся с рассечением связочного коллатерального аппарата, что нарушает биомеханику движений и усиливает их нестабильность [30]. Нередко даже при коррекции деформации оси первой плюсневой кости сохраняются и прогрессируют симптомы метатарзалгии [31].

Существуют способы хирургического лечения, направленные на восстановление структур, играющих ключевую патогенетическую роль в развитии перегрузочной метатарзалгии, среди которых можно отметить прямое восстановление подошвенной связки плюснефалангового сустава через тыльный и подошвенный доступ.

В настоящее время разработаны специальные наборы инструментов (механические шовные проводники, полые иглы-проводники, нити и дистракторы для плюснефаланговых суставов) для хирургического восстановления подошвенной связки плюснефалангового сустава. К положительным сторонам данных инструментов можно отнести возможность прошивания связки в ее средних отделах, что при ее незначительных дегенеративных из-

менениях позволяет произвести коррекцию подвывиха в плюснефаланговом суставе.

К недостаткам техник восстановления подошвенной связки плюснефалангового сустава следует отнести необходимость предварительного рассечения коллатеральных связок и расширение суставной щели с помощью дистрактора для свободного манипулирования губками инструмента в ране, что приводит к дополнительной травматизации и рубцовым изменениям впоследствии. Использование дистрактора в отдельных случаях мешает свободному манипулированию в области раны. В ряде случаев наблюдаются рецидивы деформации за счет прорезывания нитей.

В некоторых случаях при использовании механических шовных проводников возникает риск прорезывания нитей и рецидива молоткообразной деформации пальца, так как при патологии наблюдается истончение дистальных отделов связки (рис. 3). Данное осложнение связано с тем, что губки инструмента захватывают преимущественно дистальный истонченный отдел связки [5]. Прошивание подошвенной связки плюснефалангового сустава в этом отделе непременно приводит к прорезыванию нитей при нагрузке.

Заключение

На основании вышеизложенного можно заключить, что методы, направленные на патогенетическое лечение метатарзалгии, в том числе и на восстановление подошвенной связки плюснефалангового сустава, должны по возможности проводиться без рассечения коллатеральных связок.

Понимание механизма развития метатарзалгии привело к внедрению в клиническую практику новых методов и средств восстановления подошвенной связки плюснефалангового сустава и коллатеральных связок. Тем не менее большинство методик включает в себя рассечение связочного коллатерального аппарата для улучшения визуализации в условиях ограниченного операционного поля.

Подводя итог вышесказанному, можно сказать, что наряду с коррекцией взаиморасположения костных

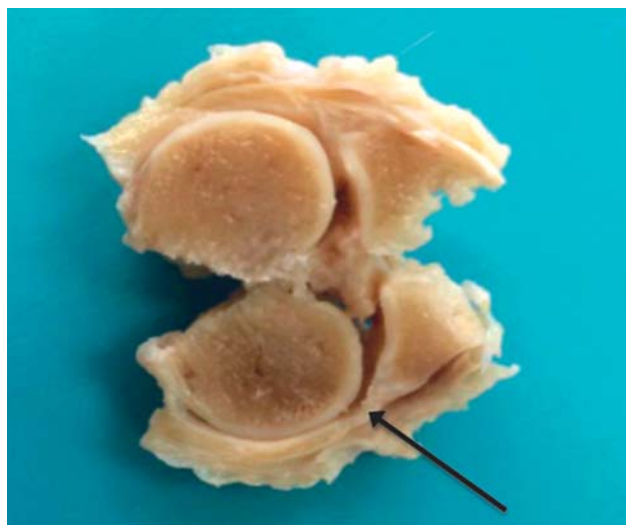


Рис. 3. Анатомический макропрепарат плюснефалангового сустава
Примечание. Стрелкой обозначено повреждение подошвенной связки плюснефалангового сустава в месте прикрепления к основанию проксимальной фаланги 2-го пальца.

структур необходимо активно применять предложенные способы и разрабатывать новые, позволяющие проводить оперативные вмешательства по коррекции мягкотканых структур плюснефалангового сустава без дополнительной интраоперационной травматизации.

57

Источник финансирования

Поисково-аналитическая работа проведена без финансовой поддержки.

Конфликт интересов

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

ЛИТЕРАТУРА

- Coughlin MJ, Schutt SA, Hirose CB, et al. Metatarsophalangeal joint pathology in crossover second toe deformity: a cadaveric study. *Foot Ankle Int.* 2012;33(2):133–140. doi: 10.1016/j.fuspru.2012.05.002.
- Deland JT, Lee KT, Sobel M, et al. Anatomy of the plantar plate and its attachments in the lesser metatarsal phalangeal joint. *Foot Ankle Int.* 1995;16(8):480–486. doi: 10.1177/107110079501600804.
- Gregg J, Marks P, Silberstein M, et al. Histologic anatomy of the lesser metatarsophalangeal joint plantar plate. *Surg Radiol Anat.* 2007;29(2):141–147. doi: 10.1007/s00276-007-0188-2.
- Jackson JB, Saltzman CL, Nickisch F. Plantar plate pathology and repair. *Techniques in Foot & Ankle Surgery.* 2014;13(3):121–127. doi: 10.1097/btf.0000000000000041.
- Johnston RB, Smith J, Daniels T. The plantar plate of the lesser toes: an anatomical study in human cadavers. *Foot Ankle Int.* 1994;15(5):276–282. doi: 10.1177/107110079401500508.
- Suero EM, Meyers KN, Bohne WH. Stability of the metatarsophalangeal joint of the lesser toes: a cadaveric study. *J Orthop Res.* 2012;30(12):1995–1998. doi: 10.1002/jor.22173.
- Bardelli M, Turelli L, Scoccianti G. Definition and classification of metatarsalgia. *Foot Ankle Surg.* 2003;9(2):79–85. doi: 10.1016/s1268-7731(02)00002-4.
- Doty JF, Coughlin MJ. Metatarsophalangeal joint instability of the lesser toes and plantar plate deficiency. *J Am Acad Orthop Surg.* 2014;22(4):235–245. doi:10.5435/jaaos-22-04-235.
- Murphy GA. *Lesser toe abnormalities. Metatarsophalangeal joint instability.* In: Canale ST, Beaty J. *Campbell's operative orthopaedics.* 12th ed. USA: Mosby; 2012. p. 3979–3981. doi:10.1016/b978-0-323-07243-4.00083-9.
- Черкес-Заде Д.И., Каменев Ю.Ф. *Хирургия стопы.* Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Медицина; 2002. — 328 с. [Cherkes-Zade DI, Kamenev YuF. *Khirurgiya stopy.* 2nd ed. Moscow: Meditsina; 2002. 328 p. (In Russ).]
- Stanley JC, Stephens MM. *Metatarsalgia.* Diagnosis. In: Bentley G, editor. *European surgical orthopaedics and traumatology.* Berlin: Springer Berlin Heidelberg; 2014. p. 3524–3525. doi: 10.1007/978-3-642-34746-7_241.
- Nery C, Coughlin MJ, Baumfeld D, Mann TS. Lesser metatarsophalangeal joint instability: prospective evaluation and repair of plantar plate and capsular insufficiency. *Foot Ankle Int.* 2012;33(4):301–311. doi: 10.3113/fai.2012.0301..
- DeCarbo WT, Dial DK. The Weil osteotomy: a refresher. *Techniques in Foot & Ankle Surgery.* 2014;13(4):191–198. doi: 10.1097/btf.0000000000000061.

14. Miguez A, Slullitel G, Bilbao F, et al. Floating-toe deformity as a complication of the Weil osteotomy. *Foot Ankle Int.* 2004;25(9):609–613. doi: 10.1177/107110070402500902.
15. Highlander P, VonHerbulis E, Gonzalez A, et al. Complications of the Weil osteotomy. *Foot Ankle Spec.* 2011;4(3):165–170. doi: 10.1177/1938640011402822.
16. Trnka HJ, Mühlbauer M, Zettl R, et al. Comparison of the results of the Weil and Helal osteotomies for the treatment of metatarsalgia secondary to dislocation of the lesser metatarsophalangeal joints. *Foot Ankle Int.* 1999;20(2):72–79. doi: 10.1177/107110079902000202.
17. Trnka HJ, Gebhard C, Mühlbauer M, et al. The Weil osteotomy for treatment of dislocated lesser metatarsophalangeal joints: good outcome in 21 patients with 42 osteotomies. *Acta Orthop Scand.* 2002;73(2):190–194. doi: 10.1080/000164702753671795.
18. Vandeputte G, Dereymaeker G, Steenwerckx A, Peeraer L. The Weil osteotomy of the lesser metatarsals: a clinical and pedobarographic follow-up study. *Foot Ankle Int.* 2000;21(5):370–374. doi: 10.1177/107110070002100502.
19. Rochwerger A, Launay F, Piclet B, et al. [Static instability and dislocation of the 2nd metatarsophalangeal joint. Comparative analysis of 2 different therapeutic modalities. (In French).] *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1998;84(5):433–439.
20. Davies MS, Saxby TS. Metatarsal neck osteotomy with rigid internal fixation for the treatment of lesser toe metatarsophalangeal joint pathology. *Foot Ankle Int.* 1999;20(10):630–635. doi: 10.1177/107110079902001003.
21. O’Kane C, Kilmartin TE. The surgical management of central metatarsalgia. *Foot Ankle Int.* 2002;23(5):415–419. doi: 10.1177/107110070202300508.
22. Jarde O, Hussenet D, Vimont E, et al. [Weil’s cervicocapital osteotomy for median metatarsalgia. Report of 70 cases. (In French).] *Acta Orthop Belg.* 2001;67(2):139–148.
23. Gibbard KW, Kilmartin TE. The Weil osteotomy for the treatment of painful plantar keratosis. *Foot (Edinb).* 2003;13(4):199–203. doi: 10.1016/s0958-2592(03)00061-0.
24. Podskubka A, Stědrý V, Kafuněk M. [Distal shortening osteotomy of the metatarsals using the Weil technique: surgical treatment of metatarsalgia and dislocation of the metatarsophalangeal joint. (In Czech).] *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2002;69(2):79–84.
25. García-Rey E, Cano J, Guerra P, Sanz-Hospital FJ. The Weil osteotomy for median metatarsalgia. A short-term study. *Foot Ankle Surg.* 2004;10(4):177–180. doi: 10.1016/j.fas.2004.07.002.
26. Gregg J, Silberstein M, Clark C, Schneider T. Plantar plate repair and Weil osteotomy for metatarsophalangeal joint instability. *Foot Ankle Surg.* 2007;13(3):116–121. doi: 10.1016/j.fas.2007.01.001.
27. Espinosa N, Maceira E, Myerson MS. Current concept review: metatarsalgia. *Foot Ankle Int.* 2008;29(8):871–879. doi: 10.3113/fai.2008.0000x.
28. DePrado M. *Minimally invasive foot surgery: a paradigm shift.* In: Maffulli N, Easley M, editors. *Minimally invasive surgery of the foot and ankle.* London: Springer London; 2010. p. 3–11. doi: 10.1007/978-1-84996-417-3_1.
29. Haque S, Kakwani R, Chadwick C, et al. Outcome of minimally invasive distal metatarsal metaphyseal osteotomy (DMMO) for lesser toe metatarsalgia. *Foot Ankle Int.* 2016;37(1):58–63. doi: 10.1016/j.fuspru.2016.04.002.
30. Barg A, Courville XF, Nickisch F, et al. Role of collateral ligaments in metatarsophalangeal stability: a cadaver study. *Foot Ankle Int.* 2012;33(10):877–882. doi: 10.3113/fai.2012.0877.
31. Бобров Д.С., Слияков Л.Ю., Якимов Л.А., и др. Диафизарная корригирующая остеотомия scarf в лечении деформаций стоп // *Кафедра травматологии и ортопедии.* — 2012. — №1 — С. 16–19. [Bobrov DS, Sliayakov LYu, Yakimov LA, et al. Diafizarnaya korrigiruyushchaya osteotomiya scarf v lechenii deformatsii stop. *Kafedra travmatologii i ortopedii.* 2012;(1):16–19. (In Russ).]

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Бобров Дмитрий Сергеевич, кандидат медицинских наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф лечебного факультета Первого МГМУ им. И.М. Сеченова

Адрес: 119991, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, **тел.:** +7 (495) 609-14-00, **e-mail:** dsbmed@mail.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1190-7498>; **SPIN-код:** 2712-8348

Слияков Леонид Юрьевич, доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф лечебного факультета Первого МГМУ им. И.М. Сеченова

Адрес: 119991, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, **тел.:** +7 (495) 609-14-00, **e-mail:** slinyakovleonid@mail.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1088-5522>; **SPIN-код:** 7483-3524

Ригин Николай Владимирович, ассистент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф лечебного факультета Первого МГМУ им. И.М. Сеченова

Адрес: 119991, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, **тел.:** +7 (495) 609-14-00, **e-mail:** nikolarigin@mail.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4034-2171>; **SPIN-код:** 6333-1460