



Обзорная статья
УДК 616.718-007.24-089.84
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-11174>

Коррекция многовершинных деформаций длинных костей нижних конечностей: обзор литературы

Е.С. Головёнкин¹, Л.Н. Соломин^{1,2}

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

² ООО «Орто-СУВ», г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Актуальность. Многовершинные деформации длинных костей нижних конечностей являются сложной и широко распространенной ортопедической патологией. Большое количество публикаций посвящено ее отдельным аспектам: диагностике, планированию, коррекции. Однако не было найдено ни одной работы, содержащей комплексную оценку современных взглядов на проблему лечения пациентов с многовершинными деформациями длинных костей.

Цель — основываясь на данных научной литературы, определить современные представления и нерешенные вопросы анализа, планирования и коррекции многовершинных деформаций длинных костей нижних конечностей.

Материал и методы. Для поиска литературы были использованы электронные базы данных: PubMed/MEDLINE, SAGE Publishing Journals, Embase, eLIBRARY, Google Scholar. Особое внимание уделялось работам, содержащим информацию о диагностике, планировании и методах коррекции многовершинных деформаций. В обзор было включено 46 публикаций.

Результаты. В литературе как синонимы используются термины «многовершинная деформация» и «многоуровневая деформация». Одновременно с этим термин «многоуровневая деформация» используется для обозначения одновершинных деформаций разных сегментов конечности. Основным диагностическим признаком многовершинной деформации является расположение вершины за пределами границ кости. В отличие от одновершинных деформаций, при планировании коррекции многовершинных деформаций используется ось промежуточного(-ых) фрагмента(-ов). Большинство авторов определяют ее как среднediaфизарную линию. Коррекция многовершинных деформаций выполняется одномоментно или постепенно. Одномоментная коррекция с внутренней фиксацией, несомненно, является более комфортной для пациента. При наличии противопоказаний к ней устранение деформации выполняется дозированно с использованием унифицированных репозиционных узлов или ортопедических гексаподов.

Заключение. Термин «многовершинная деформация» априори показывает, что деформированная кость имеет несколько вершин деформаций, поэтому он должен иметь приоритет перед термином «многоуровневая деформация». Диагностический признак многовершинной деформации «локализация вершины деформации за пределами границ кости» не является абсолютным и требует уточнения. При планировании коррекции имеются сложности при использовании механических осей, а также при определении оси нелинейного промежуточного фрагмента (фрагментов). «Пружинная техника» имеет значимые преимущества перед другими вариантами применения ортопедических гексаподов при коррекции многовершинной деформации. Однако необходимо обоснование оптимальных характеристик эластичных тяг, точек их фиксации к опорам, а также уточнение способа использования компьютерной программы. Решение данных задач позволит повысить эффективность лечения пациентов с многовершинными деформациями.

Ключевые слова: многовершинные деформации, многоуровневые деформации, одномоментная коррекция деформаций, постепенная коррекция деформаций, ассистирующая внешняя фиксация, чрескостный остеосинтез, ортопедический гексапод, «пружинная техника».

Для цитирования: Головёнкин Е.С., Соломин Л.Н. Коррекция многовершинных деформаций длинных костей нижних конечностей: обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(4):134-146. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-11174>.

Головёнкин Евгений Сергеевич; e-mail: golovenkin_1996@mail.ru

Рукопись получена: 17.05.2023. Рукопись одобрена: 17.08.2023. Статья опубликована онлайн: 18.10.2023.

© Головёнкин Е.С., Соломин Л.Н., 2023



Correction of Multiapical Deformities of Long Bones of the Lower Extremities: A Review

Evgeniy S. Golovenkin¹, Leonid N. Solomin^{1,2}

¹ Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation

² LLC "Ortho-SUV", St. Petersburg, Russia

Abstract

Background. Multiapical deformities of the long bones of the lower extremities represent a complex and widely prevalent orthopedic pathology. A numerous of publications address its individual aspects: diagnosis, planning, and correction. However, no single study was found that offers a comprehensive assessment of contemporary views on treating patients with multiapical deformities of long bones.

Aim of the review – to define current concepts and unresolved issues in the analysis, planning, and correction of multiapical deformities of the long bones of the lower limbs based on the scientific literature.

Methods. Electronic databases were utilized for literature search: PubMed/MEDLINE, SAGE Publishing Journals, Embase, eLIBRARY, Google Scholar. Particular attention was paid to studies that provide information on diagnosis, planning, and correction methods for multiapical deformities. A total of 46 publications were included in the review.

Results. In the literature, the terms “multiapical deformity” and “multilevel deformity” are used synonymously. At the same time, the term “multilevel deformity” is used to denote uniapical deformities of different limb segments. The main diagnostic feature of a multiapical deformity is the location of the apex outside the bone. Unlike uniapical deformities, the correction planning of multiapical deformities uses the axis of the intermediate fragment(s). Most authors define it as the mid-diaphyseal line. The correction of multiapical deformities is performed either acute or gradually. Acute correction with internal fixation is undoubtedly more comfortable for the patient. If there are contraindications to it, the deformity correction is performed gradually using Ilizarov hinges or orthopedic hexapods.

Conclusion. The term “multiapical deformity” inherently indicates that the deformed bone has more than one apex, so it should take precedence over the term “multilevel deformity”. The diagnostic feature of the multiapical deformity “localization of the AOD outside the bone” is not absolute and requires clarification. There are challenges in planning the correction using mechanical axes, as well as in determining the axis of the nonlinear (bowing) intermediate fragment(s). The “spring technique” has significant advantages over other variants of using orthopedic hexapods in correcting a multiapical deformity. However, a rationale for the optimal characteristics of springs, their fixation points to supports, and clarification of the computer program’s use method is required. Addressing these issues will enhance the treatment efficiency for patients with multiapical deformities.

Keywords: multiapical deformities, multilevel deformities, deformity correction planning, acute deformity correction, gradual deformity correction, assisted external fixation, external fixation, orthopedic hexapod, “spring technique”.

Cite as: Golovenkin E.S., Solomin L.N. Correction of Multiapical Deformities of Long Bones of the Lower Extremities: A Review. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(4):134-146. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-11174>.

✉ Evgeniy S. Golovenkin, e-mail: golovenkin_1996@mail.ru

Submitted: 17.05.2023. Accepted: 17.08.2023. Published Online: 18.10.2023.

© Golovenkin E.S., Solomin L.N., 2023

ВВЕДЕНИЕ

Определения термина «деформация» с технической и ортопедической точек зрения существенно отличаются. С технической точки зрения деформация — это изменение взаимного расположения точек твердого тела, расстояние между которыми изменяется под воздействием внешних сил*. В ортопедической хирургии понятие «деформация» предполагает несоответствие референтных линий и углов значениям, принятым за норму при наличии или отсутствии укорочения [1, 2, 3]. Компоненты деформации включают смещение по длине, смещение под углом, смещение по периферии и ротационное смещение. При наличии угловой деформации используется понятие «вершина деформации» (ВД) — точка пересечения проксимальной и дистальной осей сегмента [2, 4, 5]. В англоязычной литературе в аналогичном значении употребляются термины «center of rotation of angulation» (CORA) [6, 7, 8, 9, 10, 11], «apex of deformity» (AOD) [12, 13, 14] и «center of deformity» (CD) [15] и «Vertex of deformity — fulcrum» [16].

Деформации могут иметь одну или несколько вершин. Деформацию с несколькими вершинами в пределах одного сегмента именуют многовершинной (англ. multiapical/multi-apex deformity) [3, 10, 12, 17, 18] или многоуровневой (англ. multilevel/multiple-level deformity) [5, 13, 14, 19, 20, 21]. Многовершинные деформации (МД) длинных костей нижних конечностей являются достаточно широко распространенной сложной ортопедической патологией, которая ведет к тяжелым нарушениям статики и кинематики опорно-двигательного аппарата [5, 21, 22]. Профильные публикации посвящены отдельным аспектам МД: диагностике, планированию, коррекции; особенностям применительно к разным сегментам. Однако нами не было найдено ни одной работы, в которой бы была произведена комплексная оценка современных взглядов на проблему лечения пациентов с МД длинных костей.

Цель обзора — основываясь на данных литературы, определить современные представления и нерешенные вопросы анализа, планирования и коррекции многовершинных деформаций длинных костей нижних конечностей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Был выполнен поиск литературы в базах данных PubMed/MEDLINE, SAGE Publishing Journals, Embase (на английском языке), eLIBRARY (на русском языке), Google Scholar (на русском и английском языках). Были использованы следующие ключевые слова: многовершинные деформации,

многоуровневые деформации, одномоментная коррекция деформаций, постепенная коррекция деформаций, коррекция деформаций во времени, ассистирующая внешняя фиксация, аппарат Илизарова, ортопедические гексаподы, «пружинная техника»; assisted external fixation, fixator assisted nailing, Ilizarov frame, orthopedic hexapods, multiapical deformity, multi-apex deformity, multilevel deformity, multiple-level deformity, acute deformity correction, gradual deformity correction, spring technic.

Критериями включения публикаций в обзор являлись:

- 1) исследования всех уровней доказательности;
- 2) наличие в публикации данных о лечении больных с МД длинных костей нижних конечностей;
- 3) публикации, в которых содержится определение термина «деформация», а также те, в которых содержатся данные о диагностике, планировании и лечении деформаций длинных костей;
- 4) доступность полного текста публикации на русском или английском языках.

В обзор было включено 46 публикаций (8 русскоязычных и 38 англоязычных). Особое внимание было уделено используемым авторами методам устранения МД, показателям точности и длительности коррекции, а также осложнениям.

Необходимо подчеркнуть, что подавляющее большинство изученных источников представляли собой экспертные мнения [1, 11, 19, 23, 24, 25], анализ клинического случая или серии клинических случаев [4, 8, 17, 18, 20–37]. Многие авторы в своих исследованиях не выделяли пациентов с МД в отдельную группу, что не позволило корректно интерпретировать результаты исследования в рамках рассматриваемой темы [4, 8, 18, 29, 35, 37, 38]. На основании этого можно сделать вывод о дефиците исследований высокой степени доказательности.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Как уже было отмечено, в научной литературе для обозначения деформации, имеющей несколько вершин в пределах одного сегмента, на правах синонимов используются два термина: многовершинная деформация и многоуровневая деформация. Одновременно с этим термин «многоуровневая деформация» используется для обозначения одновершинных деформаций разных сегментов одной конечности [39].

Диагностика многовершинных деформаций бедра и голени рассматривается в 12 публикациях [1, 6, 9, 10, 12, 14, 17, 21, 24, 29, 34, 35]. В них основным признаком МД называется локализация

* https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/843/%D0%94%D0%95%D0%A4%D0%9E%D0%A0%D0%9C%D0%90%D0%A6%D0%98%D0%AF?ysclid=ln1t183d48879658342

вершины деформации за пределами границ кости: медиально, латерально, спереди или сзади (рис. 1 а), а также выше или ниже (рис. 1 б). Диагностику МД большеберцовой кости рекомендуется выполнять при помощи механических осей, а бедренной кости — при помощи анатомических [1, 9]. В литературе в качестве диагностических признаков МД также приводятся:

- наличие «дугобразной» кости [14] (рис. 1 с);
- отклонение одного из углов от референтных значений при пересечении анатомических осей в области «явно видимой деформации» [14] (рис. 1 d);
- локализация вершины деформации в пределах кости, но за пределами «явно видимой деформации» [1, 14] (рис. 1 e);
- наличие параллельных осей проксимального и дистального отделов кости [14] (рис. 1 f).

Планирование коррекции многовершинных деформаций рассмотрено в 12 работах [1, 6, 9, 10, 12, 14, 17, 21, 24, 29, 34, 35]. При этом, помимо осей проксимального и дистального отделов кости, используется ось промежуточного отдела той области кости, в которой будут выполнены остеотомии, формирующие промежуточный фрагмент или промежуточные фрагменты.

Большинство авторов придерживаются мнения, что ось промежуточного фрагмента представляет собой среднедиафизарную линию [9, 10, 14,

17, 21, 29, 34]. В работе D. Paley содержится альтернативная позиция, согласно которой ось промежуточного фрагмента может быть проведена в различных вариантах (ориг. «can be drawn at different orientations») [6] (рис. 2). Основываясь на приведенной в его работе иллюстрации, можно предположить, что допускаются любые положение и угол наклона оси промежуточного фрагмента при условии, что она пересекается с осями проксимального и дистального отделов кости и не выходит за пределы границ кости.

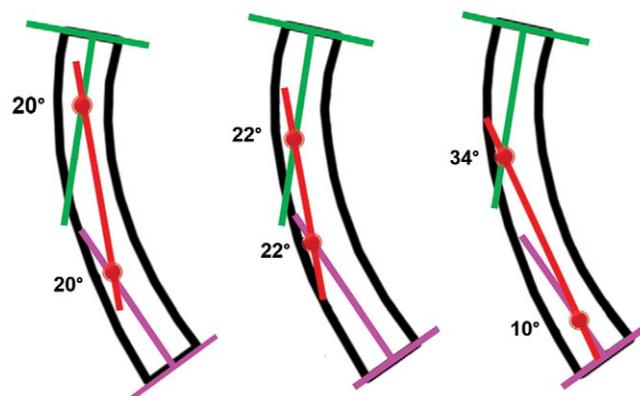


Рис. 2. Варианты определения оси промежуточного фрагмента по D. Paley [6]

Fig. 2. Different options of identifying the axis of intermediate fragment according to D. Paley [6]

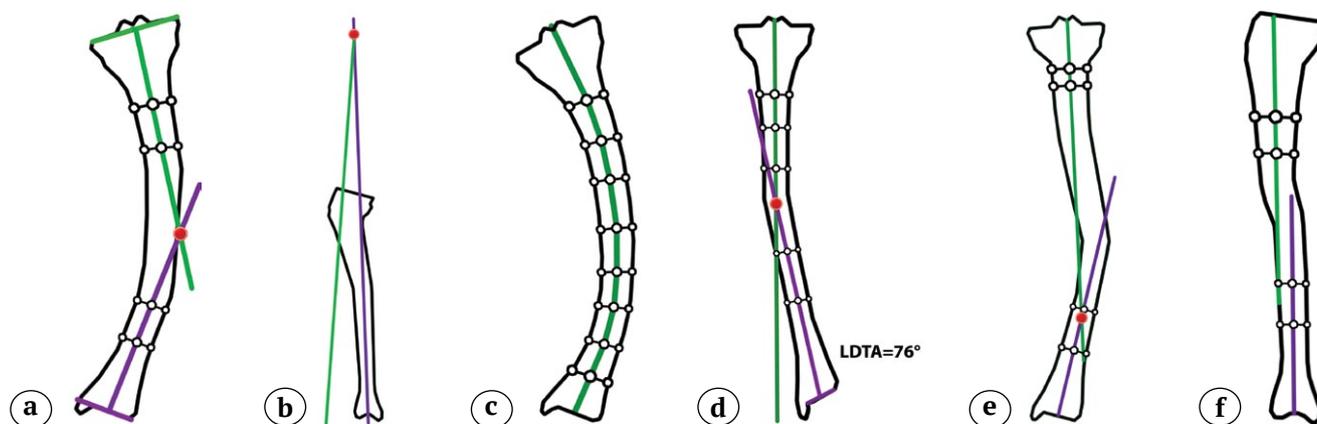


Рис. 1. Диагностические признаки МД (на примере большеберцовой кости):

- а — расположение вершины деформации за пределами границ кости (латерально);
- б — расположение вершины деформации за пределами границ кости (выше);
- с — «дугобразная» форма кости;
- д — отклонение LDТА от нормы при пересечении анатомических осей в области «явно видимой деформации»;
- е — локализация вершины деформации за пределами «явно видимой деформации»;
- ф — оси проксимального и дистального отделов кости располагаются параллельно

Fig. 1. Diagnostic signs of MD (using the tibia as an example):

- а — AOD is located outside of the bone (laterally);
- б — AOD is located outside of the bone (proximally);
- с — the bone has a long, curving bow;
- д — the bone segment has an obvious deformity plus the LDТА formed by the mid-diaphyseal line is abnormal;
- е — AOD doesn't match the obvious deformity;
- ф — the proximal and distal axes are parallel

Авторы солидарны в том, что точки пересечения оси промежуточного фрагмента с осями проксимального и дистального фрагментов являются оптимальными для выполнения остеотомий. Коррекция на уровне каждой из вершин выполняется согласно первому правилу остеотомий. В случаях, когда размер одного из фрагментов слишком мал, рекомендуется использование второго правила остеотомий [14]. При необходимости коррекции деформаций, имеющих более двух вершин [4, 17, 20, 30, 31, 35, 37], планирование осуществляется при помощи осей нескольких промежуточных фрагментов [1, 20]. При планировании коррекции деформации голени D. Paley рекомендует использовать следующий алгоритм [1]:

- 1) провести среднедиафизарные линии проксимального и дистального отделов кости;
- 2) определить соответствие анатомических углов значениям нормы; в случае несовпадения — провести анатомические оси, соответствующие норме;
- 3) выявить ВД (точки пересечения осей проксимального, промежуточных и дистального фрагментов), измерить величины угловых деформаций для каждой ВД и определить оптимальные уровни для выполнения остеотомий.

Коррекция деформаций, в том числе многовершинных, может быть выполнена как одномомент-

но, так и постепенно, т. е. дозированно во времени. Определены следующие преимущества одномоментной коррекции с использованием внутренней фиксации над постепенной коррекцией:

- 1) бытовой комфорт ввиду отсутствия громоздкой внешней металлоконструкции [17, 18, 24, 29, 30];
- 2) предупреждение рецидивов деформаций, а также рефрактур, особенно при несовершенном остеогенезе [17, 28];
- 3) отсутствие характерных для внешней фиксации осложнений, а именно трансфиксационных контрактур и воспалений вокруг чрескостных элементов [30, 31];
- 4) отсутствие необходимости участия пациента и/или ортопеда-куратора в процессе коррекции [40];
- 5) сокращение общих сроков лечения [29].

Использование моностерней [17, 24] или кольцевых [31] аппаратов в качестве ассистирующей внешней фиксации повышает точность одномоментной коррекции [18, 24, 27, 29, 31]. Данный метод успешно применяется при коррекции МД длинных костей нижних конечностей. При выполнении одномоментной коррекции многовершинных деформаций для окончательной фиксации костных фрагментов использовались интрамедуллярные стержни (табл. 1).

Таблица 1

Исследования, посвященные одномоментной коррекции многовершинных деформаций (степень достоверности выше экспертного мнения)

Автор, год публикации	Методика	Число пациентов (сегментов)	Точность коррекции	Период консолидации	Осложнения
Bilen F.E. et al., 2010 [17]	Ассистирующая внешняя фиксация с окончательной фиксацией интрамедуллярным стержнем	4 (4)	MAD +2,25 мм (0–6) MPTA 89,75° (89–90) LDTA 90° (90)	ВНП в среднем — 43 дн./см (30–48)	1 ст. по Caton — 2 эпизода
Galal S., 2017 [18]	Ассистирующая внешняя фиксация с окончательной фиксацией интрамедуллярным стержнем	≥1(≥1)	н/д	н/д	н/д
Paley D. et al., 1997 [26]	Ассистирующая внешняя фиксация с окончательной фиксацией интрамедуллярным стержнем	н/д (8)	±1° от планируемого	н/д	Отсутствуют
Eralp L. et al., 2004 [27]	Ассистирующая внешняя фиксация с окончательной фиксацией интрамедуллярным стержнем	2 (7)	MAD +8,75 мм (5–11) MPTA 86,5° (85–90) LDFA 87,5° (86–90)	н/д	Отсутствуют

Окончание таблицы 1

Автор, год публикации	Методика	Число пациентов (сегментов)	Точность коррекции	Период консолидации	Осложнения
Song H.R. et al., 2006 [28]	Окончательная фиксация интрамедуллярным стержнем	≥1(≥1)	н/д	н/д	н/д
Eralp L. et al., 2011 [29]	Ассистирующая внешняя фиксация с окончательной фиксацией интрамедуллярным стержнем	≥1(≥1)	н/д	н/д	н/д
Kocaoğlu M. et al., 2011 [30]	Ассистирующая внешняя фиксация с окончательной фиксацией интрамедуллярным стержнем	17 (43)	LDFA 87° (80–92) (val.) 90° (87–109) (var.); MPTA 88° (86–90) (var.) 87° (85–91) (val.); MAD (var.) +7 мм (0–29), MAD (val.) -6 (-20...+7)	н/д	1 ст. по Caton — 5 эпизодов, 2 ст. по Caton — 4 эпизода
Hughes A. et al., 2017 [31]	Ассистирующая внешняя фиксация с окончательной фиксацией внутренними металлоконструкциями	н/д (12)	н/д	н/д	н/д
Chaudhary M.M. et al., 2019 [38]	Ассистирующая внешняя фиксация с окончательной фиксацией интрамедуллярным стержнем	12 (12)	LDFA 89,1° (80,4–90,0) PDFA 86,6° (82,0–90,3) MAD восстановлена в 42% случаев	161 день (103–208)	н/д

MAD — mechanical axis deviation (отклонение механической оси); LPFA — lateral proximal femoral angle (латеральный проксимальный бедренный угол); PDFA — posterior distal femoral angle (задний дистальный бедренный угол); LDFA — lateral distal femoral angle (латеральный дистальный бедренный угол); MPTA — medial proximal tibial angle (медиальный проксимальный угол большеберцовой кости); LDTA — lateral distal tibial angle (латеральный дистальный угол большеберцовой кости); BHI — bone healing index; н/д — нет данных; val. — valgus (вальгус); var. — varus (варус).

При одномоментной коррекции, согласно данным разных авторов, суммарная величина угловой деформации не должна превышать 20–35° [4, 7, 41, 42], а торсионной — 20° [42]. Одномоментная коррекция с внутренней фиксацией в сравнении с постепенной обладает следующими недостатками:

- большая продолжительность операции [38];
- более низкие показатели точности коррекции [13, 29];
- отсутствие возможности выполнения коррекции остаточной деформации [13, 29];
- большая продолжительность времени, необходимого для консолидации [7, 43];
- риск возникновения глубокой инфекции [17, 28, 29, 31];
- большой объем интраоперационной кровопотери [38];
- объективные ограничения величины деформации, которая может быть скорректирована без риска нейротрофических осложнений [7, 29, 38, 41, 42].

При наличии противопоказаний к одномоментной коррекции деформаций выполняется постепенная коррекция. Данный метод предпочтителен при необходимости устранения сложных (многоплоскостных, многокомпонентных) деформаций [1, 13, 44]. При постепенной коррекции МД использовались репозиционные узлы по Илизарову [4, 28, 32, 33] и ортопедические гексаподы [8, 20, 21, 34, 35, 36, 37] (табл. 2).

Ортопедические гексаподы обладают следующими преимуществами над репозиционными узлами по Илизарову:

- возможность одноэтапной коррекции всех компонентов деформации [2, 8, 20, 44];
- лучшие показатели точности коррекции, особенно при устранении сложных деформаций [8, 40, 44, 45, 46];
- меньшая в сравнении с аппаратом Илизарова продолжительность срока, необходимого для подготовки специалистов [34, 40, 44, 45].

Таблица 2

**Исследования, посвященные коррекции многовершинных постепенных деформаций
(степень достоверности выше экспертного мнения)**

Автор, год публикации	Методика	Число пациентов (сегментов)	Точность коррекции	Период коррекции; фиксации	Осложнения
Зырянов С.Я., 1995 [4]	Использование репозиционных узлов по Илизарову	<66 (н/д)	н/д	н/д	н/д
Ganger R. et al., 2009 [8]	Одновременная коррекция при помощи нескольких гексаподов	≥1 (≥1)	н/д	н/д	н/д
Соломин Л.Н. с соавт., 2017 [20]	«Пружинная техника»	7 (7)	97,6%	6 (4–9) нед.; 47 (37–54) нед.	1 ст. по Caton — 2 эпизода, 2 ст. по Caton — 1 эпизод
Виленский В.А. с соавт., 2019 [21]	Одновременная коррекция при помощи нескольких гексаподов	25 (30)	Val: MPTA 90,1±4,4° LDTA 86,5±8,0° Var: MPTA 88,6±1,8° LDTA 88,7±4,4°	31,1±20 д.; 47 (37–54) нед.	1 ст. по Caton — н/д («почти у всех»), 2 ст. по Caton — 11 случаев (37%)
	Последовательно при помощи одного гексапода	14 (19)	Val: MPTA 90,9±2,3° LDTA 89,7±5,5° Var: MPTA 87±3,2° LDTA 86±11,2°	27,1±48,3 дн.; 177,8±10,3 дн.	1 ст. по Caton — более 3 эпизодов («почти у всех»), 2 ст. по Caton — 5 эпизодов (26%)
Song H.R. et al., 2006 [28]	Использование репозиционных узлов по Илизарову	≥1(≥1)	н/д	н/д	н/д
Vaidya S.V., 2006 [32]	Использование репозиционных узлов по Илизарову	24 (47)	MPTA 86,3±6,4° LDTA 91,2±8,4° MAD 4,7±11,6 мм	н/д; ВНП в среднем 26,06±3,27 дн./см	1 ст. по Caton — 17 эпизодов; 2 ст. по Caton — 29 эпизодов
Matsubara H. et al., 2008 [33]	Использование репозиционных узлов по Илизарову	2 (6)	LDFA 88° (87–90) MPTA 86,5° (85–88) LDTA 87° (86–88)	н/д; 146 (133–157) дн.	Отсутствовали
Naqui S.Z.H. et al., 2008 [34]	Одновременная коррекция при помощи нескольких гексаподов	≥1 (≥1)	н/д	н/д	н/д
Koren L. et al., 2016 [35]	Одновременная коррекция при помощи нескольких гексаподов	≥2 (≥2)	н/д	н/д	н/д
Riganti S. et al., 2018 [36]	Одновременная коррекция при помощи нескольких гексаподов	≥1 (≥1)	н/д	н/д	н/д
Ray V. et al., 2021 [37]	Одновременная коррекция при помощи нескольких гексаподов	13 (19)	MAD — в среднем 13,4 мм (var.)	н/д	н/д
Chaudhary M.M. et al., 2019 [38]	Чрескостный остеосинтез (без указания репозиционного узла)	5 (5)	н/д	н/д; 148,2 (110–195) дн.	н/д

На сегодняшний день существуют три техники коррекции МД с использованием ортопедических гексаподов.

1. Одновременная коррекция нескольких вершин деформации с использованием нескольких ортопедических гексаподов: по одному на уровне каждой вершины [8, 11, 21, 25, 34, 36, 37, 47].

2. Последовательная коррекция МД при помощи одного гексапода [21]. При выполнении коррекции на уровне одной из вершин уровень другой(-их) зафиксирован. Деформация устраняется поочередно на уровне каждой вершины.

3. Одновременная коррекция нескольких вершин деформации при помощи одного ортопедического гексапода с использованием т.н. «пружинной техники» [20]. Страты ортопедического гексапода фиксируются к проксимальной и дистальной опорам. Промежуточная опора (одна или более) фиксируется к смежным опорам при помощи эластичных тяг (пружин). При выполнении коррекции промежуточный фрагмент «автоматически» занимает свое положение.

Несмотря на все положительные качества, ортопедические гексаподы имеют существенный недостаток — относительно высокую стоимость, что делает их значительно менее доступными для широкого использования, чем аппарат Илизарова [34, 45].

ОБСУЖДЕНИЕ

Имеется терминологическая путаница вследствие того, что «многовершинная деформация» и «многоуровневая деформация» используются как синонимы. По нашему мнению, термин «многовершинная деформация» априори показывает, что деформированная кость имеет несколько (две и более) вершин деформаций. Поэтому мы полагаем, что следует отдать предпочтение этому термину. Термин «многоуровневая деформация» уместнее употреблять для обозначения деформаций разных сегментов одной конечности.

Диагностика МД заслуживает отдельного рассмотрения. Признаки, обозначенные как «дугобразная кость» и «отклонение одного из углов от референтных значений при пересечении анатомических осей в области «явно видимой деформации» проиллюстрированы на рисунках 1 с, d. Однако при определении ВД с использованием механических осей в обоих случаях точка их пересечения располагается за пределами границ кости (рис. 3 а, b). Таким образом, рассматриваемые признаки являются не самостоятельными, а частными случаями признака № 1 — «расположение ВД за пределами границ кости».

Еще один признак МД — «локализация вершины деформации за пределами «явно видимой» деформации» — (см. рис. 1 е) также не может

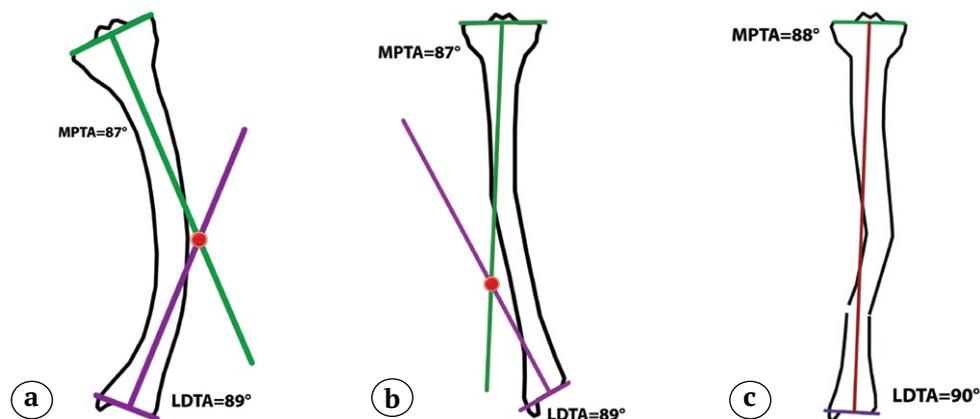


Рис. 3. Анализ диагностических признаков МД:

а — планирование коррекции с использованием механических осей проксимального и дистального фрагментов (анализ признака № 2);

б — планирование коррекции с использованием механических осей проксимального и дистального фрагментов (анализ признака № 3);

с — имитация коррекции согласно первому правилу остеотомий (анализ признака № 4)

Fig. 3. Analysis of the diagnostic signs of MD:

a — correction planning using the mechanical axes of the proximal and distal bone fragments (analysis of sign N 2);

b — correction planning using the mechanical axes of the proximal and distal bone fragments (analysis of sign N 3);

c — correction according to the 1st osteotomy rule (analysis of sign N 4)

являться универсальным. При стандартном планировании с использованием механических осей ВД определяется в пределах границ кости, что позволяет выполнить коррекцию согласно первому правилу остеотомий (рис. 3 с).

Деформация с наличием параллельных осей проксимального и дистального фрагментов (см. рис. 1 f) в литературе именуется простой деформацией со смещением по ширине (*isolated translation deformity*). Ее коррекция может быть произведена при помощи выполнения как одной, так и двух остеотомий [1, 9, 15]. Вопрос, могут ли трансляционные деформации, устраненные при помощи двух остеотомий, быть отнесены к многовершинным, является дискуссионным.

Несмотря на то, что восстановление правильных взаимоотношений референтных линий и углов является ключевой целью коррекции деформации, также необходимо принимать во внимание форму кости после завершения коррекции. Коррекция МД может быть успешно выполнена при помощи одной остеотомии, согласно первому (при положении ВД впереди, сзади, медиально или латерально от границ кости) или второму (при положении ВД выше или ниже границ кости) правилам остеотомий. Однако в первом случае произойдет формирование «зигзага» анатомической оси и костной «шишки» (*bump*) [6], а во втором — выраженная трансляция дистального фрагмента. Выполнение нескольких остеотомий позволит устранить указанные нежелательные результаты. Рациональное количество остеотомий в конкретных случаях и оптимальные уровни для их выполнения являются предметами для дискуссий.

При реализации большинства методик коррекции МД ось промежуточного фрагмента устанавливается в соответствии с осью проксимального, а ось дистального — в соответствии с осью промежуточного фрагмента. Но данный метод может быть легко осуществлен только при наличии линейной (т.е. прямой) оси промежуточного фрагмента. Если рассматривать ось промежуточного фрагмента как среднелинейную линию, то в случае, когда промежуточный фрагмент (а значит, и его ось) нелинейны, реализация вышеописанного метода невозможна. Рекомендации по планированию коррекции МД, описанные D. Paley с соавторами [6] (см. рис. 2), а также алгоритм планирования трехвершинных деформаций [1] значительно сложнее реализовать в случае, когда фрагмент нелинейен. Чем более «искривленной» является кость, тем сложнее реализовать описанный способ планирования: нет рекомендаций, на сколько прямолинейных отрезков должна быть разбита кривая анатомической оси.

Диагностика деформации и предоперационное планирование — это только первые шаги при ле-

чении пациентов с МД. Анализ литературы показал, что на данный момент наиболее распространенными методами оперативного лечения МД являются одномоментная коррекция с внутренней фиксацией интрамедуллярными стержнями и постепенная коррекция с использованием ортопедических гексаподов [17, 20, 21, 38].

Одним из важнейших показателей при оценке результатов коррекции является ее точность. Однако только 11 авторов из 20 представили эти данные. При этом в одних работах точность коррекции отражена в процентах [20], в других приведены значения референтных линий и углов [17, 21, 26, 27, 30, 32, 33, 37, 38]. Все это создает сложности для объективной оценки эффективности используемых методов.

Как уже было отмечено ранее, несмотря на все достоинства, одномоментная коррекция с внутренней фиксацией обладает объективными ограничениями и противопоказаниями, при наличии которых предпочтительно выполнение постепенной коррекции. Однако методики постепенной коррекции при помощи ортопедических гексаподов также обладают недостатками. Так, при одновременном использовании нескольких гексаподов конструкция оказывается избыточно тяжелой и громоздкой, что усугубляет для пациента неудобства, связанные с наличием аппарата внешней фиксации. Увеличиваются трудозатраты: врачу необходимо выполнить несколько изолированных расчетов в компьютерной программе, а в процессе коррекции — производить изменение не 6, а 12 или, при трехвершинных деформациях, 18 страт. Также возрастает экономическая нагрузка на учреждение, поскольку для реализации методики необходимо большее количество ортопедических гексаподов.

При последовательной коррекции с использованием одного гексапода всегда стоит выбор, с какой вершины необходимо начать коррекцию, и также необходимо два отдельных расчета. Период коррекции возрастает, увеличиваясь прямо пропорционально количеству вершин деформации (см. табл. 2). Возможна преждевременная консолидация на уровне вершины, «ожидательной» коррекцию [20].

«Пружинная техника» призвана устранить недостатки обеих методик. Данная техника предполагает использование всего одного гексапода, что комфортнее и для врача, и для пациента, а коррекция производится одновременно на уровне нескольких вершин, что сокращает ее длительность. Но, несмотря на перспективность данной методики, остаются невыясненными ряд технических деталей, значимых для ее успешной реализации:

– оптимальное количество и технические характеристики эластичных тяг;

– оптимальные точки фиксации эластичных тяг к опорам;

– особенности использования компьютерной программы для ортопедического гексапода при реализации «пружинной техники».

«Пружинная техника» на этапе выполнения расчета коррекции в компьютерной программе предполагает совмещение оси дистального фрагмента с осью проксимального, игнорируя ось промежуточного фрагмента [20]. В этом случае остается неясным, как в компьютерной программе формировать «желтый контур», обозначающий исходное положение мобильного костного фрагмента: должен ли он соответствовать границам дистального фрагмента или же включать промежуточный фрагмент полностью либо частично? Еще одна функция «желтого контура» состоит в том, что с учетом его границ устанавливаются так называемые «структуры риска» (structures at risk — SAR) — точки, критически значимые для расчета программой количества дней коррекции. SAR представляют собой точку проксимального края дистального фрагмента, которая при коррекции будет подвергнута наибольшему перемещению во фронтальной и сагиттальной плоскостях.

При реализации «пружинной техники» первый этап коррекции (дистракция) выполняется

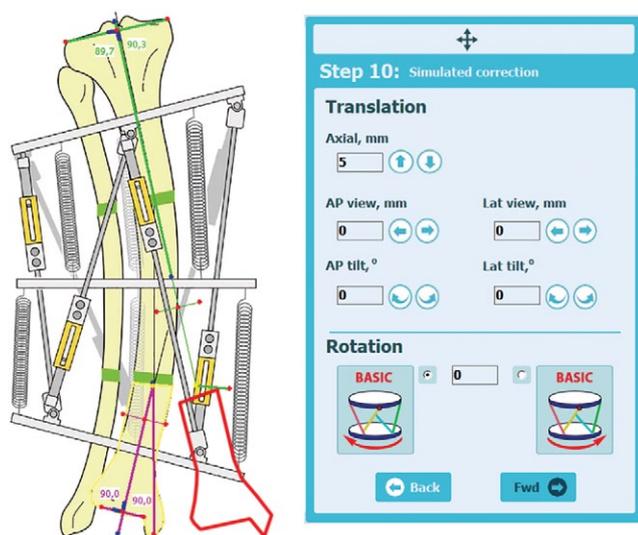


Рис. 4. При попытке стандартного определения осей проксимального и дистального фрагментов компьютерная программа рассчитывает не плоскопараллельную дистракцию, а смещение дистального фрагмента по ширине и под углом

Fig. 4. When trying to identify the axes of the proximal and distal fragments by the standard method, the program calculates not the plane-parallel distraction, but the translation and angulation of the distal fragment

при помощи ортопедического гексапода на уровне одной из вершин и при помощи двуплоскостных шарниров – на уровне другой вершины [20]. При выполнении стандартного расчёта в компьютерной программе для осуществления дистракции необходимо проведение осей проксимального и дистального (мобильного) фрагментов. На основе этого, алгоритм, заложенный в программу, «подводит» ось дистального фрагмента в соответствии с осью проксимального. Потому в случае, когда одна ось не является продолжением другой, т.е. имеется угловая деформация, произойдет смещение дистального фрагмента по ширине и/или под углом (рис. 4).

«Свободное перемещение» красного контура при помощи опций программы нетехнологично и может вызвать сбой в ее работе. Поэтому методика корректного выполнения дистракции с использованием ортопедического гексапода при реализации «пружинной техники» на данный момент требует уточнения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Термин «многовершинная деформация», в отличие от термина «многоуровневая деформация», априори показывает наличие у кости двух и более вершин деформации, и поэтому он должен использоваться для обозначения данной патологии. Ключевым диагностическим признаком МД является локализация точки пересечения осей проксимального и дистального фрагментов за пределами границ кости. Однако он не является абсолютным и требует уточнения. В отличие от одновершинных деформаций, при МД для планирования коррекции используются оси промежуточного(-ых) фрагментов. До настоящего времени неизвестен метод точного определения оси нелинейного промежуточного фрагмента(-ов). Остается неизвестным, как выполнять планирование коррекции МД на основе механических осей. Одномоментная коррекция МД с интрамедуллярной фиксацией и постепенная коррекция с помощью нескольких (по одному на уровне каждой ВД) ортопедических гексаподов являются наиболее часто используемыми. «Пружинная техника» имеет явные преимущества, так как позволяет использовать только один ортопедический гексапод и один расчет для коррекции МД. Однако требуется обоснование оптимальных характеристик эластичных тяг и точек их фиксации, а также уточнение метода использования компьютерной программы гексапода, а именно расчета начальной дистракции и обозначения границ перемещаемого фрагмента и «структур риска». Решение указанных задач позволит повысить эффективность лечения пациентов с МД длинных костей нижних конечностей.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**Заявленный вклад авторов**

Головёнкин Е.С. — поиск и анализ публикаций, написание текста статьи.

Соломин Л.Н. — разработка концепции и дизайна исследования, анализ и интерпретация данных, редактирование текста статьи.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Возможный конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Не требуется.

DISCLAIMERS**Author contribution**

Evgeniy S. Golovenkin — literature search and review, drafting the manuscript.

Leonid N. Solomin — study concept and design, data analysis and interpretation, editing the manuscript.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

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

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

- Paley D. *Principles of deformity correction*. New York: Springer-Verlag; 2009. p. 61-154.
- Соломин Л.Н. Основы чрескостного остеосинтеза при деформациях длинных костей. В кн.: *Основы чрескостного остеосинтеза*. Под ред. Л.Н. Соломина. Москва: БИНОМ; 2015. Т. 2. с. 590-735
Solomin L.N. Basic Principles of Correction of Long-Bone Deformities. In: *The Basic Principles of External Skeletal Fixation*. Solomin L.N. (ed.). Moscow: BINOM; 2015. Vol. 2. p. 590-735. (In Russian).
- Schröter S., Elson D.W., Ateschrang A., Ihle C., Stöckle U., Dickschas J. et al. Lower Limb Deformity Analysis and the Planning of an Osteotomy. *J Knee Surg*. 2017; 30(5):393-408. doi: 10.1055/s-0037-1603503.
- Зырянов С.Я. Одновременное устранение деформаций всех сегментов нижней конечности. *Гений ортопедии*. 1995;(1):53-58.
Zyryanov S.Ya. Simultaneous deformity correction of all segments of the lower limb. *Genij ortopedii*. 1995;(1): 53-58. (In Russian).
- Шевцов В.И., Шрейнер А.А., Смелышев К.Н., Свешников А.А., Обанина Н.Ф. Рентгенологическая картина и плотность минеральных веществ в костях голени на этапах коррекции двухуровневых деформаций аппаратом Илизарова. *Гений ортопедии*. 2000;(1):60-64.
Shevtsov V.I., Shreiner A.A., Smelyshev K.N., Sveshnikov A.A., Obanina N.F. Roentgenologic patterns and mineral density in leg bones at the stages of correction of their two-level deformities with the Ilizarov apparatus. *Genij Ortopedii*. 2000;(1):60-64. (In Russian).
- Paley D., Herzenberg J.E., Tetsworth K., McKie J., Bhave A. Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies. *Orthop Clin North Am*. 1994;25(3):425-65.
- Matsubara H., Tsuchiya H., Sakurakichi K., Watanabe K., Tomita K. Deformity correction and lengthening of lower legs with an external fixator. *Int Orthop*. 2006;30(6):550-554. doi: 10.1007/s00264-006-0133-8.
- Ganger R., Radler C., Speigner B., Grill F. Correction of post-traumatic lower limb deformities using the Taylor spatial frame. *Int Orthop*. 2010;34(5):723-730. doi: 10.1007/s00264-009-0839-5.
- Brinker M.R., O'Connor D.P. Principles of malunions. In: *Rockwood Green's fractures in adults*. Philadelphia: Wolters Kluwer Health, 2015. p. 869-894.
- Çakmak M., Civan M. Multiapical Deformities. In: *Basic Techniques for Extremity Reconstruction*. Cham: Springer, 2018. p. 285-294.
- Massobrio M., Mora R. (ed.). *Hexapod External Fixator Systems: Principles and Current Practice in Orthopaedic Surgery*. Springer International Publishing; 2021. p. 61-65; p. 133-152.
- Paley D., Tetsworth K. Mechanical axis deviation of the lower limbs. Preoperative planning of multiapical frontal plane angular and bowing deformities of the femur and tibia. *Clin Orthop Relat Res*. 1992;(280):65-71.
- Tetsworth K.D., Paley D. Accuracy of correction of complex lower-extremity deformities by the Ilizarov method. *Clin Orthop Relat Res*. 1994;(301):102-110.
- Standard S.C., Herzenberg J.E., Conway J.D., Siddiqui N.A., McClure P.K. *The Art of Limb Alignment*. Baltimore: Rubin Institute for Advanced Orthopedics, Sinai Hospital of Baltimore; 2019. p. 77-135.
- Heijens E., Gladbach B., Pfeil J. Definition, Quantification, and Correction of Translation Deformities Using Long Leg, Frontal Plane Radiography. *J Pediatric Orthop. Part B*. 1999;8(4):285-291. doi: 10.1097/01202412-199910000-00011.
- Seide K., Faschingbauer M., Wenzl M.E., Weinrich N., Juergens C. A hexapod robot external fixator for computer assisted fracture reduction and deformity correction. *Int J Med Robot*. 2004;1(1):64-69. doi: 10.1002/rcs.6.
- Bilen F.E., Kocaoglu M., Eralp L., Balci H.I. Fixator-assisted nailing and consecutive lengthening over an intramedullary nail for the correction of tibial deformity. *J Bone Joint Surg Br*. 2010;92(1):146-152. doi: 10.1302/0301-620X.92B1.22637.
- Galal S. Comparison of Fixator Assisted Plating versus Fixator Assisted Nailing for Distal Femoral Osteotomy. *J Limb Length Reconstr*. 2017;3(1):52-56.

19. Tsuchiya H., Uehara K., Abdel-Wanis M.E., Sakurakichi K., Kabata T., Tomita K. Deformity correction followed by lengthening with the Ilizarov method. *Clin Orthop Relat Res.* 2002;(402):176-183. doi: 10.1097/00003086-200209000-00016.
20. Соломин Л.Н., Щепкина Е.А., Корчагин К.Л., Сабиров Ф.К., Таката М., Цучия Х. Новый способ коррекции многоуровневых деформаций длинных костей с использованием ортопедического гексапода. *Травматология и ортопедия России.* 2017;23(3):103-109.
Solomin L.N., Shchepkina E.A., Korchagin K.L., Sabirov F.K., Takata M., Tsuchia Kh. The New Method of Long Bone Multilevel Deformities Correction Using the Orthopedic Hexapod (Preliminary Report). *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2017;23(3):103-109. (In Russian).
21. Виленский В.А., Захарьян Е.А., Зубаиров Т.Ф., Долгиев Б.Х., Толдиева Х.Б., Фомылина О.А. Лечение двухуровневых деформаций костей голени: два гексапода или один? *Современные проблемы науки и образования.* 2019;(96):141-141. doi: 10.17513/spno.29352. Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=29352>.
Vilensky V.A., Zakharyan E.A., Zubairov T.F., Dolgiev B.Kh., Toldieva Kh.B., Fomylina O.A. Treatment of two-level deformities of lower leg bones: two hexapods or one? *Modern Problems of Science and Education. Surgery.* 2019;(6):141-141. doi: 10.17513/spno.29352. Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=29352>. (In Russian).
22. Лунева С.Н., Смелышев К.Н., Ерофеева Т.Н., Десятниченко К.С. Пролиферативная и экспрессивная активности клеток суставного хряща при устранении деформации голени в эксперименте. *Гений ортопедии.* 2000;(4):15-18.
Luniova S.N., Smelyshev K.N., Yerofeyeva T.N., Desiatnichenko K.S. Proliferative and expressive activities of articular cartilage cells during experimental correction of leg deformity. *Genij Ortopedii.* 2000;(4):15-18. (In Russian).
23. Nicol S., Jackson M., Monsell F. Recent advances in external fixation. *Bone Joint J.* 2015;4(4):2-7. doi: 10.1302/2048-0105.42.360352.
24. Kocaoglu M., Tsuchiya H., Eralp L. (ed.). Femoral and Tibial Deformity Correction and Consecutive Lengthening over an Intramedullary Nail (FAN-LON). In: *Advanced techniques in limb reconstruction surgery.* Springer; 2015. p. 49-85.
25. Trombetti A., Al-Daghri N., Brandi M.L., Cannata-Andía J.B., Cavalier E., Chandran M. et al. Interdisciplinary management of FGF23-related phosphate wasting syndromes: a Consensus Statement on the evaluation, diagnosis and care of patients with X-linked hypophosphataemia. *Nat Rev Endocrinol.* 2022;18(6):366-384. doi: 10.1038/s41574-022-00662-x.
26. Paley D., Herzenberg J.E., Bor N. Fixator-assisted nailing of femoral and tibial deformities. *Tech Orthop.* 1997; 12(4):260-275. doi: 10.1097/00013611-199712000-00004.
27. Eralp L., Kocaoglu M., Cakmak M., Ozden V.E. A correction of windswept deformity by fixator assisted nailing. A report of two cases. *J Bone Joint Surg Br.* 2004; 86(7):1065-1068. doi: 10.1302/0301-620x.86b7.14923.
28. Song H.R., Soma Raju V.V., Kumar S., Lee S.H., Suh S.W., Kim J.R. et al. Deformity correction by external fixation and/or intramedullary nailing in hypophosphatemic rickets. *Acta Orthop.* 2006;77(2):307-314. doi: 10.1080/17453670610046073.
29. Eralp L., Kocaoglu M., Toket B., Balci H.I., Awad A. Comparison of fixator-assisted nailing versus circular external fixator for bone realignment of lower extremity angular deformities in rickets disease. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2011;131(5):581-589. doi: 10.1007/s00402-010-1162-8.
30. Kocaoglu M., Bilen F.E., Sen C., Eralp L., Balci H.I. Combined technique for the correction of lower-limb deformities resulting from metabolic bone disease. *J Bone Joint Surg Br.* 2011;93(1):52-56. doi: 10.1302/0301-620X.93B1.24788.
31. Hughes A., Heidari N., Mitchell S., Livingstone J., Jackson M., Atkins R. et al. Computer hexapod-assisted orthopaedic surgery provides a predictable and safe method of femoral deformity correction. *Bone Joint J.* 2017;99-B(2):283-288. doi: 10.1302/0301-620X.99B2.BJJ-2016-0271.R1.
32. Vaidya S.V., Song H.R., Lee S.H., Suh S.W., Keny S.M., Telang S.S. Bifocal tibial corrective osteotomy with lengthening in achondroplasia: an analysis of results and complications. *J Pediatr Orthop.* 2006;26(6): 788-793. doi: 10.1097/01.bpo.0000242429.83866.97.
33. Matsubara H., Tsuchiya H., Kabata T., Sakurakichi K., Watanabe K., Tomita K. Deformity correction for vitamin D-resistant hypophosphatemic rickets of adults. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2008;128(10):1137-1143. doi: 10.1007/s00402-007-0548-8.
34. Naqui S.Z., Thiryayi W., Foster A., Tselentakis G., Evans M., Day J.B. Correction of simple and complex pediatric deformities using the Taylor-Spatial Frame. *J Pediatr Orthop.* 2008;28(6):640-647. doi: 10.1097/BPO.0b013e3181831e99.
35. Koren L., Keren Y., Eidelman M. Multiplanar Deformities Correction Using Taylor Spatial Frame in Skeletally Immature Patients. *Open Orthop J.* 2016;10:71-79. doi: 10.2174/1874325001610010603.
36. Riganti S., Nasto L.A., Mannino S., Marrè Brunenghi G., Boero S. Correction of complex lower limb angular deformities with or without length discrepancy in children using the TL-HEX hexapod system: comparison of clinical and radiographical results. *J Pediatr Orthop B.* 2019;28(3):214-220. doi: 10.1097/BPB.0000000000000573.
37. Ray V., Popkov D., Lascombes P., Barbier D., Journeau P. Simultaneous multisegmental and multifocal corrections of complex lower limb deformities with a hexapod external fixator. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2023;109(3):103042. doi: 10.1016/j.otsr.2021.103042.
38. Chaudhary M.M., Lakhani P.H. Double-level fixator-assisted nailing (DL-FAN). *Bone Joint J.* 2019;101(2):178-188. doi: 10.1302/0301-620x.101b2.bjj-2018-0622.r1.
39. Артемьев А.А., Шипулин А.А., Абросимов М.Н. Корректирующие остеотомии на уровне бедра и голени в лечении и профилактике гонартроза при варусной и вальгусной деформации. В кн.: *II Международный конгресс ассоциации ревматологов: тезисы документов.* 2018. с. 7-8. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_36811524_56467721.pdf.
Artem'ev A.A., Shipulin A.A., Abrosimov M.N. Corrective osteotomy at the level of the femur and lower leg in the treatment and prevention of gonarthrosis in varus and valgus deformity. In: *II International Congress of the Association of Rheumo-Orthopedists.* 2018. p. 7-8. Available from: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_36811524_56467721.pdf. (In Russian).

40. Manner H.M., Huebl M., Radler C., Ganger R., Petje G., Grill F. Accuracy of complex lower-limb deformity correction with external fixation: a comparison of the Taylor Spatial Frame with the Ilizarov ring fixator. *J Child Orthop.* 2007;1(1):55-61. doi: 10.1007/s11832-006-0005-1.
41. Donnan L.T., Saleh M., Rigby A.S. Acute correction of lower limb deformity and simultaneous lengthening with a monolateral fixator. *J Bone Joint Surg Br.* 2003;85(2):254-260. doi:10.1302/0301-620x.85b2.12645.
42. Аранович А.М., Стогов М.В., Гасанова А.Г., Коркин А.Я. Состояние минерального обмена у детей с фосфат-диабетом при коррекции деформаций нижних конечностей методом Илизарова. *Гений ортопедии.* 2011(1):71-74.
- Аранович А.М., Стогов М.В., Гасанова А.Г., Коркин А.Я. Mineral metabolism condition in children with phosphate diabetes for correction of lower limb deformities by the Ilizarov method. *Genij Ortopedii.* 2011(1):71-74. (In Russian).
43. Mayer S.W., Hubbard E.W., Sun D., Lark R.K., Fitch R.D. Gradual Deformity Correction in Blount Disease. *J Pediatr Orthop.* 2019;39(5):257-262. doi: 10.1097/BPO.0000000000000920.
44. Lu Y., Li J., Qiao F., Xu Z., Zhang B., Jia B. et al. Correction of severe lower extremity deformity with digital hexapod external fixator based on CT data. *Eur J Med Res.* 2022;27(1):252. doi: 10.1186/s40001-022-00887-6.
45. Dammerer D., Kirschbichler K., Donnan L., Kaufmann G., Krismer M., Biedermann R. Clinical value of the Taylor Spatial Frame: a comparison with the Ilizarov and Orthofix fixators. *J Child Orthop.* 2011;5(5):343-349. doi: 10.1007/s11832-011-0361-3.
46. Hasler C.C., Krieg A.H. Current concepts of leg lengthening. *J Child Orthop.* 2012;6(2):89-104. doi: 10.1007/s11832-012-0391-5.
47. Keshet D., Eidelman M. Clinical utility of the Taylor spatial frame for limb deformities. *Orthop Res Rev.* 2017;9:51-61. doi: 10.2147/ORR.S113420.

Сведения об авторах

✉ Головёнкин Евгений Сергеевич

Адрес: Россия, 195427, г. Санкт-Петербург,
ул. Академика Байкова, д. 8
<https://orcid.org/0000-0001-7064-5689>
e-mail: golovenkin_1996@mail.ru

Соломин Леонид Николаевич — д-р мед. наук, профессор
<https://orcid.org/0000-0003-3705-3280>
e-mail: solomin.leonid@gmail.com

Authors' information

✉ Evgeniy S. Golovenkin

Address: 8, Akademika Baykova str., St. Petersburg,
195427, Russia
<https://orcid.org/0000-0001-7064-5689>
e-mail: golovenkin_1996@mail.ru

Leonid N. Solomin — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0003-3705-3280>
e-mail: solomin.leonid@gmail.com