

Научная статья
УДК 616.718.4-007.24-089.84-092
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17508>



Экспериментальное определение коррекционных возможностей пружинной техники при устранении многовершинных деформаций бедренной кости

Л.Н. Соломин^{1,2}, Е.С. Головёнкин¹, Ф.К. Сабиров¹, А.В. Вешнякова¹

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. Методика коррекции многовершинных деформаций с использованием нескольких ортопедических гексаподов (по одному для каждой вершины деформации) является стандартной. Однако использование двух и более гексаподов на одном сегменте некомфортно для пациента, а расчет в компьютерной программе для каждого из них — это сложный трудоемкий процесс для травматолога-ортопеда. Использование только одного ортопедического гексапода с одним расчетом является достоинством пружинной техники коррекции многовершинных деформаций. Но ее использование затруднено тем, что коррекционные возможности данной методики до настоящего времени неизвестны.

Цель исследования — экспериментально определить коррекционные возможности пружинной техники и сравнить их с возможностями традиционной техники.

Материал и методы. Эксперимент выполнен с использованием пластиковых моделей бедренной кости. В компоновке чрескостного аппарата для фиксации каждого из трех фрагментов были использованы однокольцевые модули. Для имитации мягких тканей использовались поролоновые диски. Выполнялись перемещения мобильной опоры относительно базовой по ширине, под углом, по длине, а также ротационные. Для каждого вида перемещений разрабатывалась специфическая компоновка, которая обеспечивала максимальную величину данного перемещения. Перемещение прекращалось если любая из страт достигала минимальной или максимальной длины, а также в случае, если страта касалась внешних опор, чрескостных элементов или «мягких тканей». Величина каждого вида перемещений при традиционной и пружинной технике сравнивалась с применением U-критерия Манна – Уитни.

Результаты. Коррекционные возможности пружинной техники при использовании всех шести страт, укомплектованных резьбовыми стержнями стандартной длины, на 58–97% (в среднем 72%) ниже, чем при традиционной технике. При замене 2–6 (в зависимости от вида перемещений) резьбовых стержней на более длинные, коррекционные возможности пружинной техники возрастают на 36–466% (в среднем 257%). Это обеспечивает лучшие показатели пружинной техники при перемещениях по ширине (в трех направлениях), а также в перемещениях под углом кнутри (варус) и кпереди (рекурвация).

Заключение. Если страты ортопедического гексапода укомплектованы резьбовыми стержнями большей длины, то коррекционные возможности пружинной техники в 5 из 11 видов перемещений превосходят традиционную технику.

Ключевые слова: чрескостный остеосинтез, коррекция деформаций, многовершинные деформации, многоуровневые деформации, деформации бедренной кости, ортопедический гексапод, пружинная техника, коррекционные возможности, репозиционные возможности.

Для цитирования: Соломин Л.Н., Головёнкин Е.С., Сабиров Ф.К., Вешнякова А.В. Экспериментальное определение коррекционных возможностей пружинной техники при устранении многовершинных деформаций бедренной кости. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(3):75–84. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17508>

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

Рукопись получена: 20.03.2024. Рукопись одобрена: 03.05.2024. Статья опубликована онлайн: 09.08.2024.

© Соломин Л.Н., Головёнкин Е.С., Сабиров Ф.К., Вешнякова А.В., 2024

Original article

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17508>

Experimental Identification of the Corrective Capabilities of the Spring Technique in Addressing Multiapical Femoral Deformities

Leonid N. Solomin^{1,2}, Evgeniy S. Golovenkin¹, Fanil K. Sabirov¹, Anna V. Veshnyakova¹¹ Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia² "Ortho-SUV" Ltd, St. Petersburg, Russia

Abstract

Background. The technique of multiapical deformities correction with several orthopedic hexapods (one for each apex of deformity) is accepted as a standard one. However, usage of two or more hexapods on one segment is uncomfortable for the patient. Besides, software calculation for each of them is difficult and laborious for an orthopedic surgeon. Application of only one orthopedic hexapod with one software calculation is the advantage of the spring technique (ST) of multiapical deformities correction. However, its application is hindered by the fact that the corrective capabilities of this technique have not been studied yet.

The aim of the study was to identify by the bench test the corrective capabilities of the spring technique and compare them with the capabilities of the standard one.

Methods. The bench test was performed using plastic models of the femur. One-ring modules were used to fix each of the bone fragments. Foam rubber discs were used to imitate soft tissues. The mobile ring was moved relative to the base one in translation, angulation, distraction and rotation. The movement was stopped if one of the struts reached its minimum or maximum length, as well as if one of them touched a frame, transosseous elements or "soft tissues". The Mann-Whitney U-test was used for statistical analysis.

Results. When using all the six struts equipped with standard threaded rods, the corrective capabilities of the spring technique are 58-97% (on average 72%) lower than of the standard one. When replacing 2-6 (depending on the type of motion) threaded rods with longer ones, the capabilities of ST increases by 36-466% (on average 257%). This provides better result for ST in translation (in three directions), varus and recurvation angulation.

Conclusions. Corrective capabilities of the spring technique in 5 out of 11 types of motions are better than the capabilities of the standard technic if struts of the orthopedic hexapod are equipped with threaded rods of greater length.

Keywords: transosseous osteosynthesis, external fixation, deformity correction, multiapical deformities, femoral deformities, multilevel deformities, orthopedic hexapod, spring technique, correction capabilities, reduction capabilities.

Cite as: Solomin L.N., Golovenkin E.S., Sabirov F.K., Veshnyakova A.V. Experimental Identification of the Corrective Capabilities of the Spring Technique in Addressing Multiapical Femoral Deformities. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(3):75-84. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17508>

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

Submitted: 20.03.2024. Accepted: 03.05.2024. Published Online: 09.08.2024.

© Solomin L.N., Golovenkin E.S., Sabirov F.K., Veshnyakova A.V., 2024

ВВЕДЕНИЕ

При дозированной коррекции многовершинных деформаций с использованием ортопедических гексаподов их количество должно соответствовать количеству вершин деформации [1, 2, 3, 4]. Данную методику можно условно назвать традиционной. Необходимо отметить, что использование нескольких ортопедических гексаподов делает расчет и практическую реализацию коррекции достаточно сложной. Еще одним отрицательным моментом являются относительно большой вес и громоздкость используемых конструкций, что делает лечение для пациента некомфортным [2, 5, 6].

Пружинная техника коррекции многовершинных деформаций была разработана, чтобы устранить недостатки традиционной техники. При пружинной технике используется только один ортопедический гексапод и требуется всего один расчет в компьютерной программе (рис. 1), при котором ось дистального фрагмента совмещают с осью проксимального; промежуточный фрагмент(ы) занимают корректное положение при помощи пружин автоматически [5]. Это делает методику более комфортной как для врача, так и для пациента.

Согласно опубликованным в 2017 г. данным, пружинная техника была успешно апробирована в клинической практике с использованием ортопедического гексапода Орто-СУВ при лечении 6 пациентов (7 сегментов) [5]. К настоящему времени опыт авторов в использовании пружинной техники насчитывает 48 случаев (11 деформаций бедренной кости и 37 деформаций костей голени). Однако коррекционные возможности пружинной техники до настоящего времени неизвестны, что не позволяет определить показания к эффективному использованию методики.

Цель исследования — экспериментальным путем определить коррекционные возможности пружинной техники и сравнить их с возможностями традиционной техники.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Под понятием «коррекционные возможности» авторами подразумевалась возможность ортопедического гексапода перемещать дистальный костный фрагмент относительно проксимального на определенное расстояние или под определенным углом. Для экспериментального исследования использовались пластиковые модели бедренной

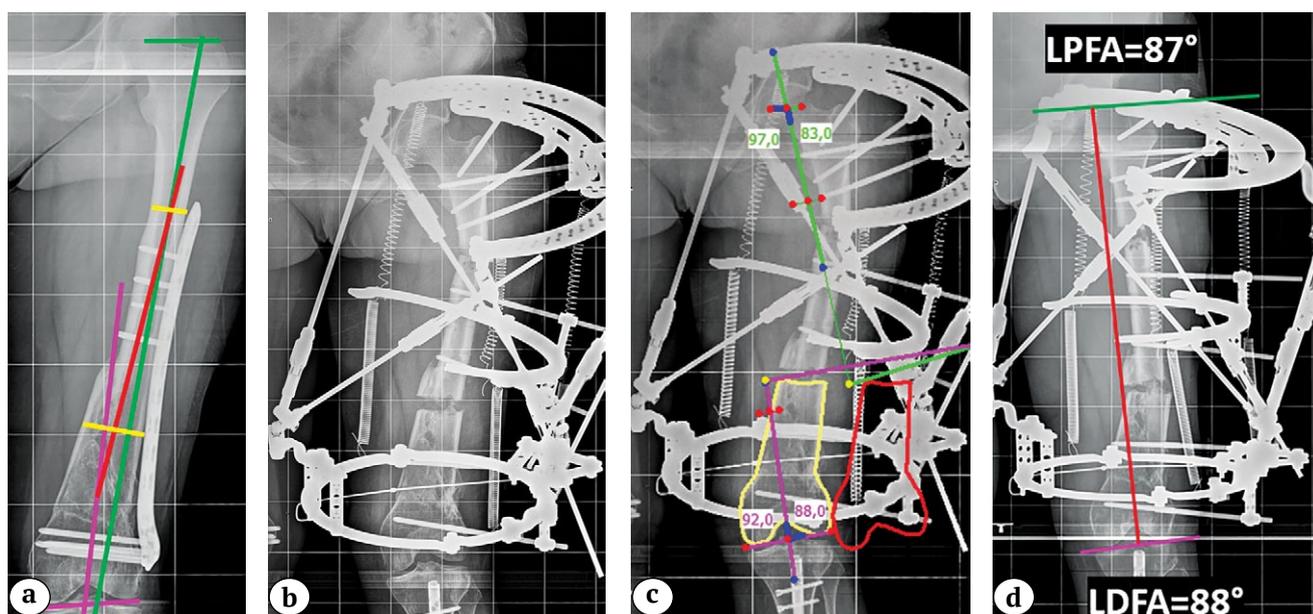


Рис. 1. Пружинная техника при коррекции двухвершинной деформации бедренной кости: а — планирование коррекции деформации с использованием анатомических осей (зеленым, красным и фиолетовым цветом отмечены оси фрагментов, желтым — уровни остеотомий); б — после наложения ортопедического гексапода и остеотомий; в — расчет в компьютерной программе (желтый контур — исходное положение мобильного фрагмента, красный — после коррекции); д — результат коррекции

Figure 1. The spring technique in correction of biapical femoral deformity: а — planning for deformity correction using anatomical axes (axes of the fragments are marked in green, red and purple, osteotomies levels — in yellow); б — after application of orthopedic hexapod and osteotomies; в — calculation in the computer program (a yellow contour indicates the initial position of the mobile fragment, a red one — after correction); д — the correction result

кости длиной 47 см. Выбор сегмента был обусловлен тем, что коррекция многовершинных деформаций бедра является технически более сложной, чем коррекция деформаций голени. Согласно ме-

тоду унифицированного обозначения чрескостного остеосинтеза (МУОЧО) [7] компоновка аппарата внешней фиксации обозначалась следующим образом:

I,10,90; I,11,90; II,9,90; III,8,90	IV,9,90; VI,8,90	VII,8,90; VIII,3-9; VIII,4,90
Дуга Илизарова 160	2/3 220	180

Мягкие ткани моделировали из полимерных дисков. Их размеры подбирали в соответствии с типоразмерами опор таким образом, чтобы расстояние между дисками и внутренним краем опор было в пределах 3–4 см [7, 8]. Форма дисков и их позиционирование относительно кости соответствовало иллюстрациям срезов соответствующих уровней, приведенных в «Атласе позиций для проведения чрескостных элементов» [7]. При реализации традиционной техники промежуточная опора соединялась с проксимальной и дистальной при помощи 12 страт двух ортопедических гексаподов Орто-СУВ. При реализации пружинной техники шестью стратами Орто-СУВ соединялись проксимальная и дистальная опоры. Промежуточная опора соединялась с базовой и мобильной при помощи пружин.

Эксперимент выполняли «от обратного»: не корректировали созданную на модели деформацию, но перемещали мобильную опору от исходного состояния, имитирующего результат коррекции. Выполнялись следующие перемещения:

- 1) по ширине (трансляция) во фронтальной (медиально, латерально) и сагиттальной (кпереди, кзади) плоскостях;
- 2) под углом (ангуляция) во фронтальной (варус, вальгус) и сагиттальной (антекурвация, рекурвация) плоскостях;
- 3) ротационное (кнутри, кнаружи);
- 4) по длине (дистракция).

Перемещения выполнялись в режиме «быстрых страт». Их прекращали в случае, если любая из страт достигала минимальной или максимальной длины, а также, если страта касалась внешних опор, чрескостных элементов или «мягких тканей». Страты фиксировались в достигнутом положении, и выполнялось измерение величины перемещения. Использовались страты стандартного типоразмера, укомплектованные резьбовым стержнем длиной 195 мм. В случае, если перемещение было ограничено из-за нехватки длины одного или более резьбовых стержней, они заменялись на более длинные.

Тип платиков (прямые, Z-образные) и направление установки Z-платиков (проксимальное или дистальное) подбирались таким образом, чтобы обеспечить наибольшую величину исследуемого

перемещения. Таким образом, для каждого вида перемещений разрабатывалась специфическая компоновка.

Величину трансляции определяли при помощи линейки, измеряя расстояние между кортикальными пластинками проксимального и дистального фрагментов со стороны, в которую выполнялось смещение. Величину ангуляции определяли по величине угла, образованного осями проксимального и дистального фрагментов. При исследовании ротационных смещений величина определялась при помощи двух спиц-меток, введенных в проксимальный и дистальный фрагменты в проекции позиций 12. Угол, образованный этими спицами в аксиальной проекции, соответствовал максимально возможному углу ротационного смещения. При исследовании величины осевого перемещения (дистракция) выполнялось измерение достигнутого диастаза между фрагментами при помощи линейки.

Статистический анализ

Всего было исследовано по 10 моделей для каждой из техник. Для получения статистически значимых результатов сборка каждой модели и выполнение исследования всех перемещений повторялось 3 раза. Каждый вид перемещения при традиционной и пружинной техниках сравнивался с применением U-критерия Манна–Уитни. Обработка и сравнение данных выполнялись в программе Jamovi 2.3.21. При демонстрации данных сравнения максимальных коррекционных возможностей техник также приводились значения медиан (Me), а также нижних (Q1) и верхних (Q3) квартилей. Данные считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице 1 приведены данные о коррекционных возможностях пружинной техники с использованием стандартных и более длинных резьбовых стержней. Результаты сравнительного исследования традиционной и пружинной техник (при использовании более длинных резьбовых стержней) представлены в таблице 2. В таблицах 3 и 4 приведены сведения о разработанных компоновках для обеих техник.

Таблица 1

Максимальные величины перемещений мобильного фрагмента бедренной кости относительно базового при реализации пружинной техники с использованием резьбовых стержней различной длины

Вид перемещения	Направление перемещения	Стандартные резьбовые стержни	Более длинные резьбовые стержни	Номер страты и величина необходимого увеличения длины резьбовых стержней, мм	Величина увеличения коррекционных возможностей, %
Под углом / ангуляция, град.	Варус	27	91	III – 50; IV – 108; V – 74	237
	Вальгус	24	86	I – 115; VI – 58	258
	Антекурвация	27	50	II – 28; V – 25; VI – 27	85
	Рекурвация	26	75	I – 10; III – 12; IV – 31; V – 50; VI – 52	189
По ширине / трансляция, мм	Кпереди	65	367	II – 102; III – 236; IV-39; V – 218; VI – 269	465
	Кзади	60	325	I – 246; II – 90; III – 85; IV – 233; V – 27; VI – 50	442
	Медиально	55	311	I – 185; II – 12; III – 238; IV – 169; V – 30; VI – 226	466
	Латерально	80	220	I – 52; II – 46; V – 103;	175
Ротационное, град.	Кнутри	33	45	I – 25; III – 42;	36
	Кнаружи	16	51	II – 41; III – 12; IV – 13; VI – 9	219
Осевое, мм	Вниз / дистракция	8	Неограниченно	–	–

$p < 0,05$.

Таблица 2

Максимальные величины перемещений мобильного фрагмента бедренной кости относительно базового при реализации традиционной и пружинной техник

Вид перемещения	Направление перемещения	Традиционная техника; Me [Q1;Q3]	Пружинная техника; Me [Q1;Q3]
Под углом / ангуляция, град.	Варус	116 [115;117]	91 [90;92]
	Вальгус	80 [79;81]	86 [85;87]
	Антекурвация	65 [64;66]	50 [49;51]
	Рекурвация	73 [73;74]	75 [74;76]
По ширине / трансляция, мм	Кпереди	299 [201;203]	367 [366;368]
	Кзади	234 [233;235]	325 [324;326]
	Медиально	179 [178;180]	311 [310;312]
	Латерально	248 [247;249]	220 [219;221]
Ротационное, град.	Кнутри	92 [91;92,8]	45 [44;46]
	Кнаружи	76 [75;77]	51 [50;53]
Осевое, мм	Вниз / дистракция	250 [249;251]	8 [7;8,75]

$p < 0,05$.

Таблица 3

Компоновки ортопедических гексаподов для достижения максимальных коррекционных возможностей при реализации традиционной техники

Гексапод		Вид и направление перемещения										
		Под углом / ангуляция				По ширине / трансляция				Ротация		По оси
		варус	вальгус	антекур.	рекур.	кпереди	кзади	мед.	лат.	кнутри	кнаружи	вниз
Проксимальный	I	Z ↑	Z ↓	Z ↓	Z ↑	Z ↑	Z ↓	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Пр.	Z ↓
	II	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Пр.
	III	Z ↓	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Пр. ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Пр.
	IV	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Пр.
	V	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Пр.	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Пр.
	VI	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↑	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓
Дистальный	I	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↑	Z ↓	Z ↑	Z ↓	Z ↓
	II	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Пр.
	III	Z ↓	Пр.	Пр.	Пр.	Пр.	Пр.	Пр.	Пр.	Пр.	Пр.	Z ↓
	IV	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Пр.
	V	Пр.	Пр.	Пр.	Пр.	Пр.	Пр.	Пр.	Пр.	Пр.	Пр.	Пр.
	VI	Пр.	Пр.	Пр.	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↑

Римскими цифрами обозначены номера карданов; Z – Z-платик; Пр. – прямой платик; стрелкой указано направление установки Z-платиков (в проксимальном или дистальном направлении).

Таблица 4

Компоновки ортопедического гексапода для достижения максимальных коррекционных возможностей при реализации пружинной техники

Кардан		Вид и направление перемещения										
		Под углом / ангуляция				По ширине / трансляция				Ротация		По оси
		варус	вальгус	антекур.	рекур.	кпереди	кзади	мед.	лат.	кнутри	кнаружи	вниз
I	Z ↑	Z ↓	Z ↓	Z ↑	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓
II	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↓	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↓	Z ↓	Z ↑
III	Z ↓	Z ↑	Z ↓	Z ↑	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↑	Z ↑	Z ↓
IV	Z ↑	Z ↑	Z ↓	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑
V	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓	Z ↓
VI	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑	Z ↑

Римскими цифрами обозначены номера карданов; Z – Z-платик; стрелкой указано направление установки Z-платиков (в проксимальном или дистальном направлении).

ОБСУЖДЕНИЕ

Если при реализации пружинной техники используются стандартные резьбовые стержни для всех 6 страт, то коррекционные возможности будут на 58–97% (в среднем 72%) ниже, чем при реализации традиционной техники. Это объясняется тем, что при традиционной технике резьбовые стержни обоих гексаподов находятся в более благоприятном положении для обеспечения как укорочения, так и удлинения каждой из страт. При пружинной технике все резьбовые стержни находятся на пределе возможностей для дистракции. Поэтому коррекционные возможности пружинной техники возрастают на 36–466% (в среднем 257%) при условии использования более длинных резьбовых стержней. В зависимости от вида перемещения необходима замена от трех до шести стержней (см. табл. 1).

Замена всех стержней требовалась при выполнении перемещений по ширине: медиально и кзади. «Удлинение» резьбовых стержней в среднем составило 133 мм (12–246 мм). При выполнении перемещения по ширине кпереди понадобилась замена пяти резьбовых стержней (II, III, IV, V, VI), длину которых потребовалось увеличить на 39–269 мм (173 мм в среднем). При латеральных смещениях выполняли замену трех стержней (I, II, V). Среднее увеличение длины составило 67 мм (46–103 мм). Замена четырех резьбовых стержней также была необходима и при выполнении наружной ротации: II, III, IV и VI страт. Замененные стержни были длиннее стандартных на 9–41 мм (19 мм в среднем). Для реализации максимально возможной внутренней ротации потребовалась замена всего двух резьбовых стержней I и III. «Удлинение» составило 25–42 мм (34 мм в среднем).

При моделировании рекурвационной (I, III, IV, V, VI) деформации требовалось заменить пять из шести стержней, «удлинив» их на 10–52 мм (в среднем 31 мм). При имитации варусной и антекурвационной деформаций была необходима замена трех резьбовых стержней: III, IV и V страт в первом случае и II, V, VI — во втором. Необходимая величина «удлинения» составила 25–108 мм (в среднем 52 мм). Для создания максимально возможного вальгуса выполнялась замена только двух резьбовых стержней I и V страт. Длина стержней превосходила стандартную на 58–115 мм (в среднем 87 мм).

Анализируя результаты, приведенные в таблице 2, можно отметить превосходство пружинной техники в возможностях перемещений по ширине

(кроме латерального направления) в среднем на 97 мм, а традиционной техники — в возможностях ротационных смещений (в среднем на 36°) и дистракции (на 242 мм). При выполнении перемещений под углом традиционная техника показала лучшие результаты в среднем на 20° при варусном и антекурвационном направлениях смещения. Пружинная техника оказалась эффективнее при имитации вальгуса и рекурвации, однако среднее преимущество составило всего 4°.

Ранее было проведено исследование коррекционных возможностей ортопедического гексапода Орто-СУВ при устранении одновершинных деформаций бедренной кости (патент РФ № 2471447) [9]. Новые исследования показали, что возможности пружинной техники при коррекции деформации, вершина которой располагается в проксимальной трети диафиза, при смещениях под углом выше на 24–50° (в среднем 37,5°), по ширине на 178,0–238,5 мм (в среднем 216 мм), при ротационных смещениях — на 21–33° (в среднем 27°). Если вершина деформации располагается в дистальной трети диафиза, возможности пружинной техники в смещениях под углом выше на 20,0–53,3° (в среднем 35,45°), по ширине на 172–255 мм (в среднем 214 мм). Превосходство в ротационных смещениях составляет 1,6–13,0° (в среднем 7,3°).

Возникает вопрос: как соотнести полученные данные с запросами клиники? К сожалению, в литературе, посвященной коррекции деформаций, авторы крайне редко выделяют в отдельную группу больных с многовершинными деформациями [1, 10, 11, 12]. И даже в случаях, когда возможно установить количество пациентов с многовершинными деформациями, авторы не всегда предоставляют данные о величинах деформаций в градусах и миллиметрах, приводя лишь значения девиации механической оси [3]. Согласно данным Л.Н. Соломина с соавторами, угловая величина многовершинных деформаций бедренной кости составила от 17 до 61° (в среднем 37°) [5]. Необходимо отметить, что величина в 61° превосходит максимально возможную антекурвацию при реализации пружинной техники на 11° (см. табл. 1).

Являются ли деформации, величина которых находится за пределами выявленных коррекционных возможностей, противопоказанием для использования пружинной техники? Нет, так как любая из страт может быть фиксирована к опоре при помощи приставки из деталей аппарата Илизарова (рис. 2).

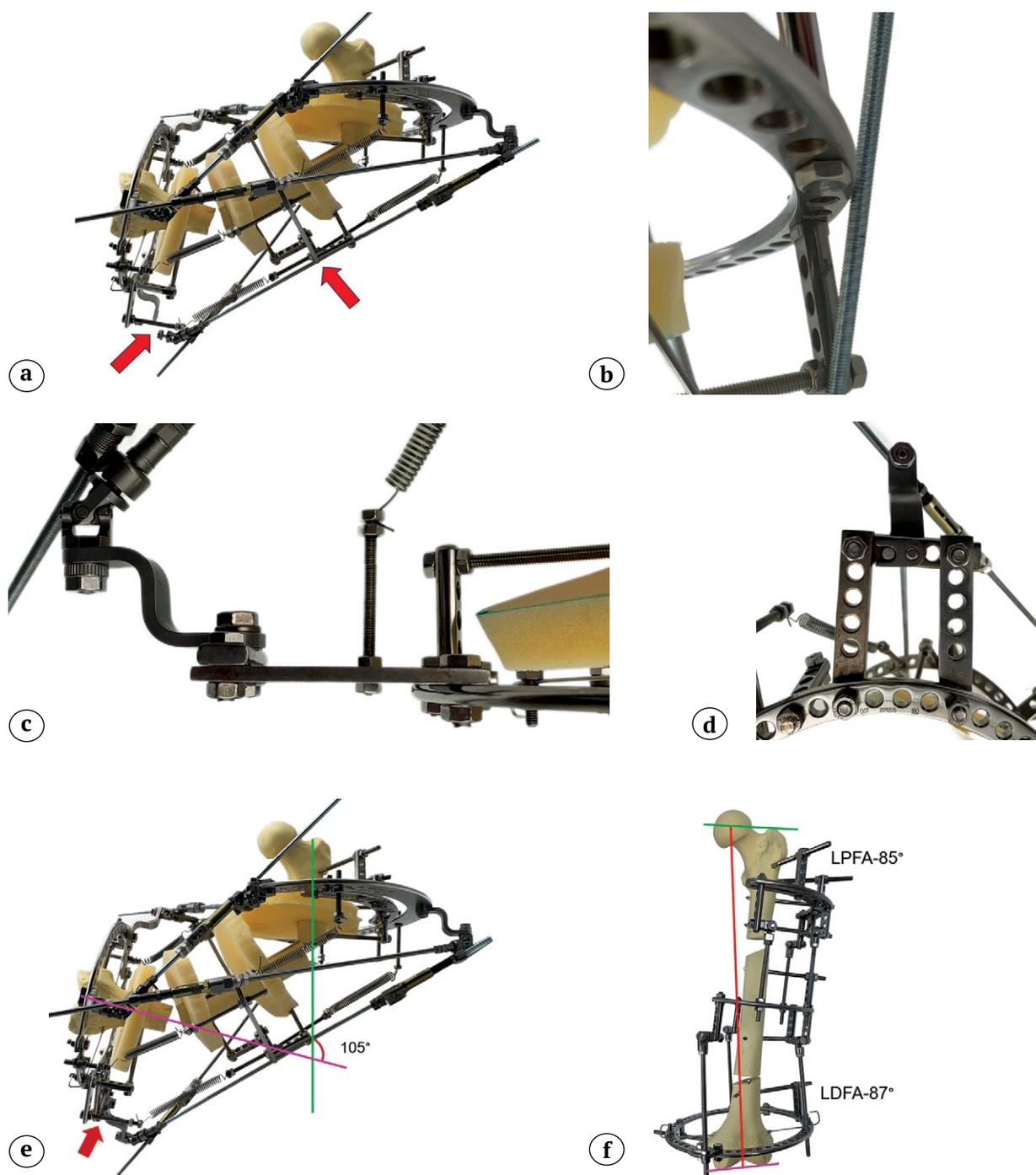


Рис. 2. Увеличение коррекционных возможностей при помощи приставки:

а — крепление кардана к платику невозможно ввиду столкновения страты с промежуточной опорой (отмечено стрелками); б — столкновение страты с опорой; в, д — фиксация страты IV при помощи приставки; е — использование приставки позволило избежать контакта страты с промежуточной опорой, кардан успешно фиксирован к платику (отмечено стрелкой); ф — для снижения громоздкости конструкции после завершения коррекции выполнен демонтаж дуги Илизарова, пружин и фиксационной приставки, а страты заменены на двухплоскостные шарниры

Figure 2. Extension of the corrective possibilities using attachment:

а — the cardan joint cannot be attached to the mount because of the collision between a strut and intermediate bearing (marked with arrows); б — collision between the strut and the bearing; в, д — strut IV fixation with the attachment; е — using the attachment allowed avoiding the contact between the strut and intermediate bearing, the cardan is successfully fixed to the mount (marked with an arrow); ф — to reduce bulkiness of the construction after completion of the correction, one removed the Ilizarov arc, springs and fixation attachment, the struts were replaced with two-plane hinges

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментальным путем было доказано, что коррекционные возможности пружинной техники при использовании страт, укомплектованных резьбовыми стержнями стандартной длины, уступают коррекционным возможностям традиционной техники на 58–97% (в среднем 72%) для различных перемещений. Коррекционные возможности пружинной техники возрастают на 36–466% (в среднем 257%) при замене от двух до шести (в зависимости от вида перемещений) резьбовых стержней на более длинные. При таком условии пружинная техника превосходит традиционную в возможностях перемещения дистального фрагмента по ширине в трех на-

правлениях (кроме латерального), а также под углом при имитации варусной и рекурвационной деформаций. При возникновении ситуации, когда коррекционные возможности пружинной техники недостаточны, для фиксации любой из страт может быть использована легко собираемая приставка. Каждая из разработанных компоновок должна быть использована в соответствии с тем, какой компонент деформации преобладает для конкретного клинического случая. На основе полученных данных следующим этапом наших исследований предполагается разработать универсальные компоновки, которые обеспечат максимальную величину всех рассматриваемых видов перемещений.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

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

Головёнкин Е.С. — выполнение эксперимента, анализ и обработка материала, написание текста рукописи.

Сабиров Ф.К. — выполнение эксперимента, анализ и обработка материала.

Вешнякова А.В. — анализ и обработка материала.

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. Соломин Л.Н. — директор ООО «Орто-СУВ».

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Не требуется.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. 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.
2. 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. 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. (In Russian). doi: 10.17513/spno.29352.

DISCLAIMERS

Author contribution

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

Golovenkin E.S. — performance of the experiment, data analysis and interpretation, drafting the manuscript.

Sabirov F.K. — performance of the experiment, data analysis and interpretation.

Veshnyakova A.V. — data analysis and interpretation.

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. Leonid N. Solomin — director of “Ortho-SUV” Ltd.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

3. 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.
4. Massobrio M., Mora R. Hexapod External Fixator Systems: Principles and Current Practice in Orthopaedic Surgery. Springer International Publishing; 2021. p. 61-65; p. 133-152.
5. 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).

6. Головёнкин Е.С., Соломин Л.Н. Коррекция много-вершинных деформаций длинных костей нижних конечностей: обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(4):134-146. doi: 10.17816/2311-2905-11174.
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). doi: 10.17816/2311-2905-11174.
7. Соломин Л.Н. Основы чрескостного остеосинтеза. Под ред. Л.Н. Соломина. Москва: БИНОМ; 2014. Т. 1. Solomin L.N. The Basic Principles of External Skeletal Fixation. Solomin L.N. (ed.). Moscow: BINOM; 2014. Vol. 1. (In Russian).
8. Попков А.В. Ошибки и осложнения при оперативном удлинении нижних конечностей методом Илизарова у взрослых. *Вестник хирургии*. 1991;146(1):113-116.
Popkov A.V. Errors and complications of operative lengthening of the lower extremities in adults by the Ilizarov method. *Bulletin of Surgery*. 1991;146(1):113-116. (In Russian).
9. Соломин Л.Н., Скоморошко П.В., Виленский В.А., Утехин, А.И. Оптимизация компоновки аппарата Орто-СУВ для коррекции деформаций дистальной трети диафиза бедренной кости. *Травматология и ортопедия России*. 2011;17(1):35-41. doi: 10.21823/2311-2905-2011-0-1-35-41.
- Solomin L.N., Skomoroshko P.V., Vilensky V.A., Utekhin A.I. Optimization of the Ortho-SUV frame assembly for correction of the distal femur deformities. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2011;17(1):35-41. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2011-0-1-35-41.
10. 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).
11. Eralp L., Kocaoglu M., Toker 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.
12. Roy A., Pesenti S., Chalopin A., Peltier E., Jouve J.L., Launay F. Can the TrueLok Hexapod System™ be used to accurately correct lower limb deformity in children? *Orthop Traumatol Surg Res*. 2020;106(7):1361-1366. doi: 10.1016/j.otsr.2020.06.013.

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

Сабиров Фаниль Камилжанович — канд. мед. наук

<https://orcid.org/0000-0002-0307-0771>

e-mail: sabirov_fanil@mail.ru

Вешнякова Анна Викторовна

<https://orcid.org/0009-0007-2663-297X>

e-mail: fantikora@yandex.ru

Authors' information

✉ Evgeniy S. Golovenkin

Address: 8, Akademika Baykova st., 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

Fanil K. Sabirov — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-0307-0771>

e-mail: sabirov_fanil@mail.ru

Anna V. Veshnyakova

<https://orcid.org/0009-0007-2663-297X>

e-mail: fantikora@yandex.ru