

ЛЕЧЕНИЕ ДВУХУРОВНЕВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ КОСТЕЙ ГОЛЕНИ: ДВА ГЕКСАПОДА ИЛИ ОДИН?

Виленский В.А.^{1,2}, Захарьян Е.А.¹, Зубаиров Т.Ф.¹, Долгиев Б.Х.¹, Толдиева Х.Б.¹, Фомылина О.А.¹

¹ ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург, e-mail: zax-2008@mail.ru;

² Клиника высоких медицинских технологий им. Н.И. Пирогова, Санкт-Петербург

Цель работы: сравнить результаты коррекции двухуровневых деформаций костей голени с использованием одного или двух ортопедических гексаподов. Выполнен анализ результатов лечения детей с двухуровневыми деформациями костей голени. Группу 1 составили 14 детей (19 сегментов), которым выполнялась коррекция двухуровневых деформаций одним узлом Орто-СУВ. Группу 2 (группа сравнения) составили 25 пациента (30 сегментов), которым выполнялась коррекция двухуровневых деформаций голени при помощи 2х узлов Орто-СУВ. Для включения в исследование обязательным условием было достижение 100% точности коррекции деформации, т.е. соответствие достигнутых значений референтных линий и углов диапазону нормальных значений. К моменту снятия чрескостного аппарата референтные углы большеберцовой кости для обеих групп были в пределах нормальных значений. Исключение составили показатели анатомического переднего дистального большеберцового угла, который при коррекции антекурвационной деформации составил $87 \pm 5,8^\circ$ для группы 1 и $85,1 \pm 7,8^\circ$ для группы 2 и $86,5 \pm 7,8^\circ$ при коррекции рекурвационной деформации в группе 2. Период distraction в группе 1 составил $33,0 \pm 17,6$ дней, а в группе 2 - $19,2 \pm 14,1$ дней ($p \geq 0,05$). Период коррекции деформации в группе 1 составил $27,1 \pm 48,3$ дней, а в группе 2 - $31,1 \pm 20$ дней ($p \geq 0,05$). Индекс остеосинтеза в группе 1 составил $1,2 \pm 1,2$ мес./см, а в группе 2 - $2,9 \pm 4,5$ мес./см, а группе 2 - $72,8 \pm 126,7$ дней/см ($p \geq 0,05$). Коррекция двухуровневых деформаций голени при помощи одного гексапода по сравнению с техникой коррекции двухуровневой деформации двумя гексаподами не снижает точность коррекции, повышает комфорт пациента, не увеличивает, сроки коррекции деформации и сроки лечения пациента.

Ключевые слова: коррекция деформации, многоуровневые деформации костей, двухуровневая деформация, чрескостный остеосинтез, гексаподы.

TREATMENT OF TWO-LEVEL DEFORMITIES OF LOWER LEG BONES: TWO HEXAPODS OR ONE?

Vilensky V.A.^{1,2}, Zakharyan E.A.¹, Zubairov T.F.¹, Dolgiev B.Kh.¹, Toldieva Kh.B.¹, Fomylina O.A.¹

¹FSBI «The Turner Scientific Research institute for children's orthopedics», St. Petersburg, e-mail: zax-2008@mail.ru;

²Clinic of high medical technologies. N. I. Pirogova, St. Petersburg

The purpose of the study was to compare the results of the correction of two-level deformities of the lower leg bones using one or two orthopedic hexapods. The analysis of the results of treatment of children with two-level deformities of the lower leg bones performed. Group 1 consisted of 14 children (19 segments) who underwent correction of two-level deformations by one Ortho-SUV node. Group 2 (comparison group) consisted of 25 patients (30 segments) who underwent correction of two-level lower legs bones deformities using 2 Ortho-SUV nodes. For inclusion in the study, a prerequisite was the achievement of 100% accuracy of the deformation correction, i.e. correspondence of the achieved values of the reference lines and angles to the range of normal values. By the time of removal of the external fixation device, the reference angles of the tibia for both groups were within normal values. An exception was the anatomical anterior distal tibial angle, which was $87 + 5.8^\circ$ for group 1 and $85.1 + 7.8^\circ$ for group 2 and $86.5 + 7.8^\circ$ for correction of recurrent deformity in-group 2 when correcting antecurvature deformity. The distraction period in-group 1 was $33.0 + 17.6$ days, and in-group 2 it was $19.2 + 14.1$ days ($p \geq 0.05$). The period of correction of deformation in-group 1 was $27.1 + 48.3$ days, and in group 2 - $31.1 + 20$ days ($p \geq 0.05$). The osteosynthesis index in-group 1 was $1.2 + 1.2$ months / cm, and in-group 2 - $2.9 + 4.5$ months / cm, and in group 2 - $72.8 + 126.7$ days / cm ($p \geq 0.05$). Correction of two-level tibial deformities with a single hexapod as compared to the two-level strain correction technique with two hexapods does not reduce the accuracy of correction, improves patient comfort, does not increase the time period for correction of deformity and the duration of treatment for the patient.

Keywords: deformity correction, external fixation, multilevel bone deformations, two-level deformation, hexapods.

Лечение двухуровневых деформаций длинных костей, ассоциированных с их укорочением, является сложной ортопедической задачей. Стандартом лечения таких пациентов служат удлинение и коррекция деформаций методом чрескостного остеосинтеза. Основной целью коррекции деформаций является восстановление правильных взаимоотношений осей костных фрагментов и линий суставов, так называемых референтных линий и углов (РЛУ) [1, 2]. Коррекция деформации по Илизарову при помощи шарнирных узлов РНЦ ВТО подразумевает их многократную замену в ходе операции [3]. Данная процедура является трудозатратной даже при лечении одноуровневых деформаций. Ее результат во многом зависит от квалификации хирурга и его опыта. При наличии двухуровневой деформации коррекция еще больше усложняется, поскольку возникает необходимость планирования, замены унифицированных узлов отдельно для каждого уровня.

Ортопедические гексаподы, или чрескостные аппараты на базе компьютерной навигации, используются в мировой ортопедической практике с 1994 г. [4]. На настоящий момент известно более 20 гексаподов разных производителей. Данные устройства доказали свою эффективность, их преимуществами являются точность коррекции деформаций длинных костей, небольшие сроки коррекции, удобство использования [5–8].

При коррекции двухуровневых деформаций применение гексаподов также привлекательно, однако имеет ряд недостатков. Так, любой из гексаподов отличается относительно большим весом и сложностью конструкции. Использование одновременно двух гексаподов у детей часто невозможно вследствие небольшой длины деформированного сегмента. Единственный отечественный гексапод – аппарат Орто-СУВ [9–12], в отличие от всех других гексаподов, является, по сути, репозиционным узлом на базе компьютерной навигации, который может быть совмещен с любым видом колец. Это свойство аппарата Орто-СУВ было использовано нами при разработке способа коррекции двухуровневых деформаций длинных костей у детей с длиной костей, не позволяющей применить одновременно два гексапода.

Цель исследования: апробировать в клинической практике новый способ двухуровневой коррекции деформаций костей голени при помощи одного гексапода и сравнить первичные результаты с аналогичными при коррекции двухуровневой деформации голени двумя гексаподами.

Материал и методы исследования

Выполнен ретроспективный анализ результатов лечения 39 пациентов (49 сегментов) с двухуровневыми деформациями костей голени.

Группу 1 составили 14 детей (19 сегментов), которым выполнялась коррекция двухуровневых деформаций одним узлом Орто-СУВ.

Суть способа сводится к следующему. По предоперационным рентгенограммам выполняют стандартное планирование [1, 2], определяют вершины деформации (рис. 1).

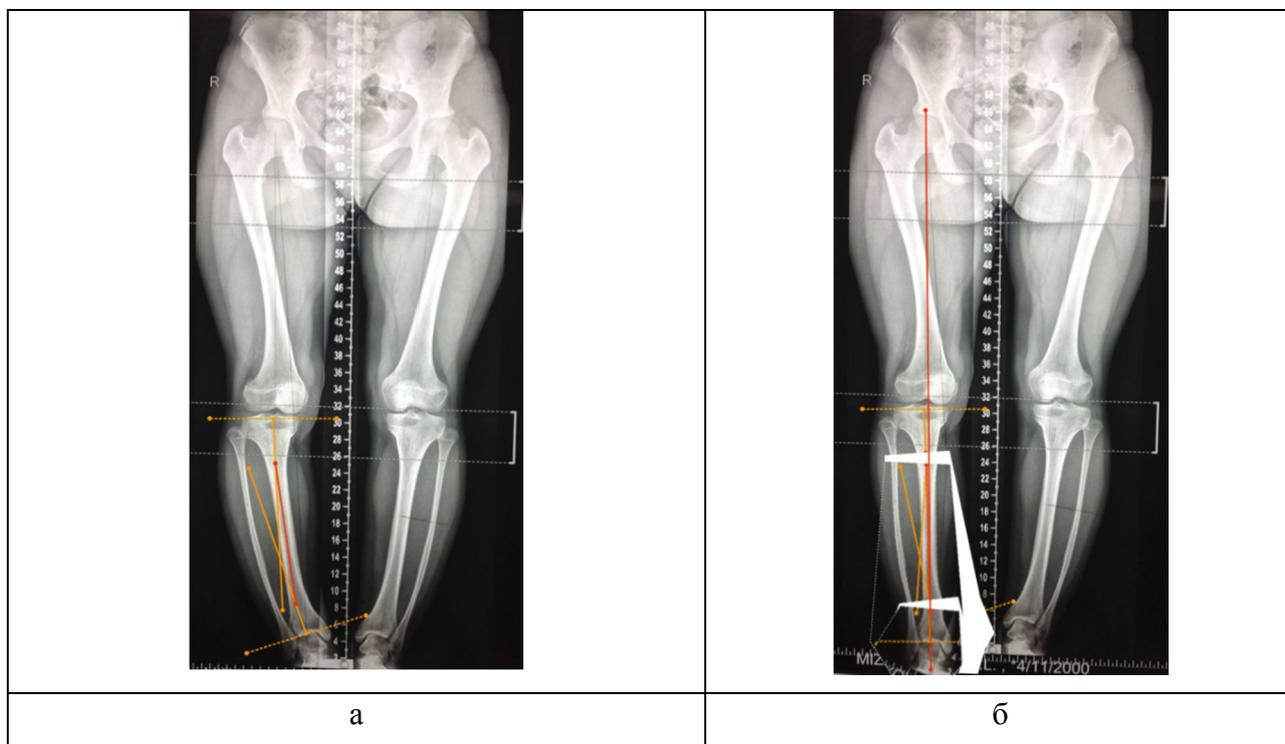


Рис. 1. Стандартное предоперационное планирование по панорамным рентгенограммам. а – выполнено построение анатомической оси проксимального костного фрагмента правой большеберцовой кости, промежуточного и дистального; б – выполнены имитация остеотомий на скиаграммах костей правой голени на вершинах деформации и имитация коррекции деформации

В операционной выполняют установку проксимальной, промежуточной и дистальной кольцевой опор, которые посредством чрескостных элементов фиксируют проксимальный, промежуточный и дистальный костный фрагменты. Опоры соединяют шарнирными соединениями из деталей аппарата Илизарова. На вершинах деформации проводят остеотомии. Первым этапом по резьбовым штангам аппарата Илизарова пациент выполняет дистракцию с темпом 0,25 мм х 4 раза/день на каждом уровне. Темп дистракции может определяться индивидуально, в зависимости от патологии, начальной длины деформированного сегмента и ощущений пациента. При достижении необходимой длины сегмента вторым этапом проксимальную и дистальную базовые опоры соединяют одним узлом Орто-СУВ. Затем последовательно выполняют коррекцию деформации на уровне дистальной и проксимальной остеотомий. Для этого демонтируют соединения из деталей

аппарата Илизарова между промежуточным и дистальным кольцами. Выполняют расчет коррекции деформации в компьютерной программе. В дальнейшем, изменяя длину страт аппарата, согласно предписаниям компьютерной программы выполняют коррекцию деформации на уровне дистальной остеотомии. После рентгенологического подтверждения состоявшейся коррекции дистальное и промежуточное кольца соединяют в новом положении при помощи шарнирных соединений аппарата Илизарова, соединения между проксимальным и промежуточным кольцами демонтируют. Выполняют расчет коррекции на уровне остеотомии верхней трети. В дальнейшем, изменяя длину страт аппарата, согласно предписаниям компьютерной программы выполняют коррекцию деформации на уровне проксимальной остеотомии. После рентгенологического подтверждения состоявшейся коррекции проксимальное и промежуточное кольца соединяют в новом положении при помощи шарнирных соединений аппарата Илизарова, соединения между проксимальным и промежуточным кольцами демонтируют (рис. 2).

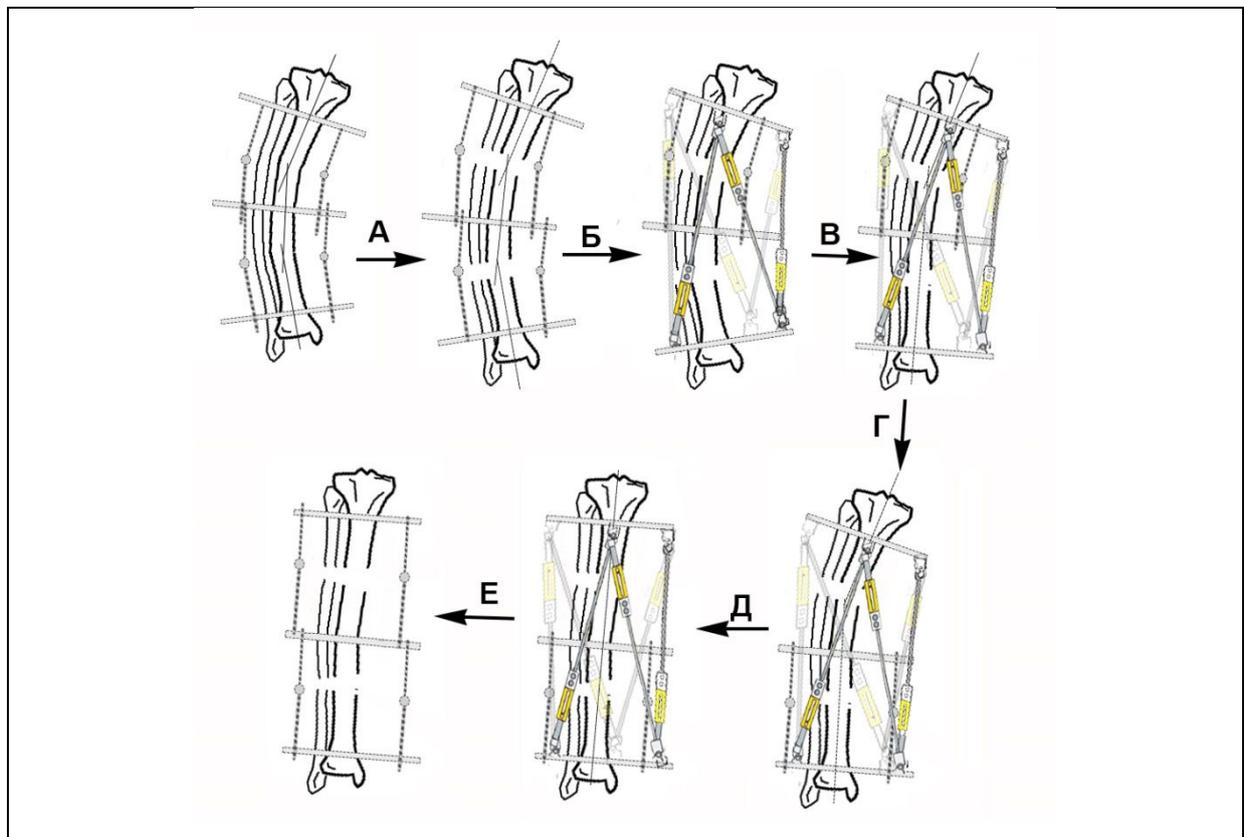


Рис. 2. Схема способа лечения двухуровневой деформации голени при помощи одного узла Орто-СУВ, где: а – дистракция на двух уровнях по резьбовым стержням аппарата Илизарова; б – установка узла Орто-СУВ и удаление соединений из деталей аппарата Илизарова между промежуточной и дистальной опорами; в – коррекция деформации дистальной трети по расчету, выполненному в компьютерной программе; г – установка соединений из деталей аппарата Илизарова между промежуточной и дистальной опорами и удаление аналогичных соединений между проксимальной и промежуточной опорами; д –

коррекция деформации проксимальной трети по расчету, выполненному в компьютерной программе; e – установка соединений из деталей аппарата Илизарова между проксимальной и промежуточной опорами и снятие узла Орто-СУВ

Группу 2 (группу сравнения) составили 25 пациентов (30 сегментов), которым выполнялась коррекция двухуровневых деформаций голени при помощи 2 узлов Орто-СУВ. Все пациенты были пролечены в период с августа 2014 г. по 2018 г. в отделении № 1 ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера». Распределение пациентов по нозологиям на момент оперативного лечения представлено в таблице 1.

В группе 1 средний возраст составил $10,3 \pm 3,1$ года, в группе 2 – $12 \pm 4,1$ года.

Таблица 1

Распределение пациентов по нозологиям

Диагноз	Группа 1	Группа 2
	Кол-во пациентов	Кол-во пациентов
Фибулярная гемимелия (эктромелия)	–	1
Гипохондроплазия	1	2(3)
Ахондроплазия	7 (12)	3(5)
Дисхондроплазия (болезнь Олье)	–	2
МЭХД	–	2(4)
Врожденный ложный сустав костей голени	4	15
Посттравматическая деформация	1	–
Дисплазия Шмидта	1	–
Последствие гематогенного остеомиелита	1	–
Всего	14 (19)	25(30)

Показанием для включения в исследование пациентов обеих групп было наличие двухуровневой деформации голени у ребенка в сочетании с укорочением.

Мы анализировали следующие показатели:

- значения референтных линий и углов голени до лечения и после снятия чрескостного аппарата;
- величину удлинения;
- период коррекции;
- индекс внешней фиксации (ИВФ);
- количество осложнений.

Значения референтных линий и углов голени до лечения для пациентов обеих групп приведены в таблице 2.

Таблица 2

Значения референтных линий и углов до лечения

Показатель	Нормальные значения	Группа 1		Группа 2	
		До лечения	После лечения	До лечения	После лечения
Фронтальная плоскость					
Вальгус					
мМПрББУ	85–90°	94,3±6,2°	90,9±2,3°	94,0±4,4°	90,1±4,4°
мЛДББУ	86–92°	77,6±11,5°	89,7±5,5°	72,0±12,6°	86,5±8,0°
Варус					
мМПрББУ	85–90°	77,4±4,2°	87±3,2°	81,7±5°	88,6±1,8°
мЛДББУ	86–92°	102,9±14,2°	86±11,2°	103,1±7,9°	88,7±4,4°
Сагиттальная плоскость					
Антекурвация					
аЗПББУ	77–84°	75,5±3,4°	82,1±1,7°	91,3±14,5°	83,4±8,2°
аПДББУ	78–82°	92,5±11,8°	87±5,8°	74,1±8,1°	85,1±7,8°
Рекурвация					
аЗПББУ	77–84°	86,8±4,6°	84,8±3,6°	74,5±9,2°	80,6±2,4°
аПДББУ	78–82°	74,5±0,7°	81±1,4°	96,1±13,3°	86,5±7,8°

Примечание: **мМПрББУ** – механический медиальный проксимальный угол большеберцовой кости; **мЛДББУ** – механический латеральный дистальный угол большеберцовой кости; **ДМО** – девиация механической оси; **аЗПББУ** – анатомический задний проксимальный большеберцовый угол; **аПДББУ** – анатомический передний дистальный большеберцовый угол

Обязательным условием для включения в исследование было достижение 100%-ной точности коррекции деформации, т.е. соответствие достигнутых значений референтных линий и углов диапазону нормальных значений. Неотъемлемым критерием для оценки деформации, определения ее вершины и контроля коррекции было выполнение в предоперационном периоде панорамных рентгенограмм нижних конечностей и компьютерной томографии при наличии торсионного компонента деформации.

Статистическая обработка данных выполнялась с использованием программы Microsoft Excel 2016. Для полученных количественных величин определяли средние значения (M) и стандартные отклонения (SD). Для определения статистической значимости различий средних величин использовался t-критерий Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты. Минимальные сроки отдаленного наблюдения составили от 6 месяцев до 4 лет. В таблице 2 приведены значения референтных углов, измеренных по рентгенограммам сразу после снятия чрескостного аппарата у пациентов обеих групп. Как следует из таблицы, большинство показателей для пациентов обеих групп находятся в пределах нормальных значений. За пределами нормальных значений – аПДББУ при коррекции антекурвационной деформации в обеих группах, который составил $87 \pm 5,8^\circ$ для группы 1 и $85,1 \pm 7,8^\circ$ для группы 2. Также отклонение среднего значения аПДББУ отмечалось при коррекции рекурвационной деформации в группе 2 и составило $86,5 \pm 7,8^\circ$.

Величина удлинения (табл. 3) на уровне остеотомии верхней трети значимо отличалась в обеих группах и составила $38 \pm 11,7$ мм для группы 1 против $31,7 \pm 16,8$ для группы 2 ($p \leq 0,05$). Величина удлинения на уровне остеотомии нижней трети значимо отличалась в обеих группах и составила $29,7 \pm 13,7$ для группы 1 против $17,5 \pm 10,8$ мм для группы 2 ($p \leq 0,05$). При этом период distraction в группе 1 составил $33,0 \pm 17,6$ дня, а в группе 2 – $19,2 \pm 14,1$ дня ($p \geq 0,05$). Период коррекции деформации в группе 1 составил $27,1 \pm 48,3$ дня, а в группе 2 – $31,1 \pm 20$ дней ($p \geq 0,05$). Индекс внешней фиксации в группе 1 составил $36,9 \pm 31,5$ дня/см, а в группе 2 – $72,8 \pm 126,7$ дня/см ($p \geq 0,05$). Индекс остеосинтеза в группе 1 составил $1,2 \pm 1,2$ месяца/см, а в группе 2 – $2,9 \pm 4,5$ месяца/см, а группе 2 – $72,8 \pm 126,7$ дня/см ($p \geq 0,05$).

Таблица 3

Результаты лечения

Параметры	Группа 1	Группа 2	P ¹
Величина удлинения на уровне проксимальной остеотомии, мм	$38 \pm 11,7$	$31,7 \pm 16,8$	$p \leq 0,05$
Величина удлинения на уровне	$29,7 \pm 13,7$	$17,5 \pm 10,8$	$p \leq 0,05$

дистальной остеотомии, мм			
Период distraction, дней	33,0±17,6	19,2±14,1	p≤0,05
Период коррекции, дней	27,1±48,3	31,1±20	p≥0,05
Период фиксации	177,8±10,3	224,4±116,6	p≥0,05
ИВФ, дней/см	36,9±31,5	72,8±126,7	p≥0,05
Индекс остеосинтеза, месяца/см	1,2±1,2	2,9±4,5	p≥0,05

¹ – Различия между группами статистически значимы при p≤0,05

Мы наблюдали следующие осложнения (табл. 4).

В *группе 1* наблюдалось 8 осложнений (42% случаев). В одном случае лечения деформации после консолидированного врожденного ложного сустава на фоне нейрофиброматоза произошла рефрактура с формированием ложного сустава н/3 голени, которая потребовала в дальнейшем повторного оперативного лечения. В 1 случае имела место рефрактура в области регенерата н/3 голени у ребенка с ахондроплазией, не потребовавшая оперативного лечения. В 6 случаях по мере роста ребенка наблюдалась тенденция к рецидиву деформации, которая в 4 случаях потребовала оперативного лечения, а именно выполнения гемиепифизиодеза.

В *группе 2* осложнения отмечены в 11 случаях (37%). В 2 случаях сформировался атрофический distractionный регенерат, потребовавший оперативного лечения (аутопластики). В одном случае произошла рефрактура с формированием ложного сустава н/3 голени, которая вызвала необходимость повторного оперативного лечения в дальнейшем. В 8 случаях по мере роста ребенка наблюдалась тенденция к рецидиву деформации, которая во всех случаях потребовала оперативного лечения.

При учете осложнений мы не учитывали воспалительные явления в области выходов чрескостных элементов, которые имели место практически во всех анализируемых случаях в обеих группах, поскольку консервативных мероприятий (антибактериальная, противовоспалительная терапия) во всех случаях оказалось достаточно для купирования воспалительного процесса.

Таблица 4

Осложнения

Показатель	Группа 1	Группа 2
Формирование атрофического регенерата	–	2
Рефрактура	1	—
Рецидив деформации	7	8
Ложный сустав	1	1

Итого	8	11
-------	---	----

Обсуждение. Применение ортопедических гексаподов на настоящий момент является рутинным при лечении сложных деформаций длинных костей нижних конечностей у детей [5, 13, 14].

Несмотря на распространенность многоуровневых деформаций нижних конечностей, в мировой литературе практически отсутствует информация о многоуровневом использовании ортопедических гексаподов. Так, в публикации Watanabe K. et al. [15] описываются результаты применения двух ортопедических гексаподов TSF для коррекции двухуровневой деформации бедренной кости, являющейся проявлением фиброзной дисплазии. В ряде публикаций [8, 13] применение двух гексаподов для коррекции двухуровневой деформации голени приведено в качестве примера при анализе применения ортопедических гексаподов у детей при лечении деформаций нижних конечностей на фоне различных заболеваний.

Примененный нами способ коррекции двухуровневой деформации одним гексаподом (узлом Орто-СУВ) является новым и стал возможен только благодаря уникальности устройства, его модульности [4] и возможности установки между проксимальной и дистальной базовыми опорами, промежуточная опора (и промежуточный фрагмент соответственно) остается при этом скрепленной с одной из базовых опор соединениями из деталей аппарата Илизарова. Аналогичные свойства узла Орто-СУВ использованы при разработке так называемой пружинной техники [16], при которой базовые опоры соединяли между собой одним узлом Орто-СУВ, а промежуточная(ые) была(и) соединена(ы) с базовыми посредством эластических элементов – пружин. Авторами данной публикации описаны 7 случаев удачного применения пружинной техники при коррекции многоуровневых деформаций костей нижних конечностей у взрослых. При этом была достигнута идеальная точность коррекции деформации.

Проведенный нами сравнительный анализ коррекции двухуровневых деформаций голени у детей свидетельствует о том, что период коррекции деформации не имел статистически значимых различий и составил $27,1 \pm 48,3$ дня для пациентов группы 1 и $31,1 \pm 20$ дня для пациентов группы 2. Таким образом, коррекция двухуровневой деформации одним узлом Орто-СУВ по предложенной методике не увеличивает продолжительность коррекции. Индекс внешней фиксации в группе 1 составил $36,9 \pm 31,5$ дня/см, что значительно меньше аналогичного показателя в группе 2 – $72,8 \pm 126,7$ дня/см, что свидетельствует о более высокой скорости созревания distractionного регенерата. Однако данное утверждение может быть оспорено в связи с тем, что наше исследование имело ряд ограничений. Как видно из описания исследуемых групп, деформации в своей природе не были однородными.

Так, доказано, что индекс внешней фиксации во многом зависит от того, является ли деформация врожденной или приобретенной, характера нозологической единицы, возраста ребенка [17]. Можно утверждать, что полученные результаты индекса внешней фиксации и индекса остеосинтеза как в группе 1, так и в группе 2 не превышали приведенные в литературе для лечения деформаций у детей с врожденными и приобретенными одноуровневыми деформациями. Так, согласно данным Horn et al., 2017 [17] при использовании аппарата TSF при лечении врожденных деформаций у детей индекс остеосинтеза составил 2,2 месяца/см и 2,0 месяца/см – при лечении приобретенных деформаций. Согласно данным [18] индекс остеосинтеза был равен 1,45 см/месяц, а согласно данным [19] – 1,79 месяца/см. Полученный нами индекс остеосинтеза для группы 1 был равен $1,2 \pm 1,2$ месяца/см, для группы 2 – $2,9 \pm 4,5$ месяца/см.

При оценке количества и характера осложнений мы получили следующие результаты: 42% для группы 1 и 37% для группы. Эти показатели несколько ниже, чем аналогичные показатели, характерные для метода чрескостного остеосинтеза согласно данным других авторов. Так, при анализе публикаций, обобщающих большие группы пациентов детского возраста, которым выполнялись удлинение и коррекция деформации методом чрескостного остеосинтеза, мы столкнулись с разбросом показателя осложнений от 50% до 150% [20–23]. Вероятно, данные расхождения связаны с малым количеством пациентов в анализируемых группах и спецификой оценки осложнений. Так, мы не учитывали осложнения, которые согласно классификации Paley et al. [23] являлись «проблемами» («Problems»), т.е. купировались консервативно и не оказывали влияния на результаты лечения. Мы учитывали лишь те осложнения, которые требовали дополнительных хирургических вмешательств («временные сложности» – «Obstacles», по классификации Paley et al.), и осложнения, повлиявшие отрицательно на результат лечения («осложнения» – «Complications», по классификации Paley et al.)

Самым частым осложнением, с которым мы столкнулись, была тенденция к рецидивированию деформации по мере роста ребенка, что связано с асимметричной работой ростковой зоны. Именно с этим мы соотносим полученные нами отклонения от нормы средних значений аПДББУ при коррекции антекурвационной деформации в обеих группах и рекурвационной деформации в группе 2 на момент снятия аппарата, поскольку во всех случаях на этапе коррекции деформации было достигнуто 100%-ное соответствие всех референтных линий и углов диапазону нормальных значений. Однако во всех случаях рецидивирования деформации в обеих группах достигнутая длина сегмента сохранялась, устранить деформацию можно было малотравматично, с использованием метода управляемого роста.

Заключение

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что коррекция двухуровневых деформаций голени при помощи одного гексапода по сравнению с техникой коррекции двухуровневой деформации двумя гексаподами не снижает точности коррекции, повышает комфорт пациента, не увеличивает сроки коррекции деформации и сроки лечения пациента.

Список литературы

1. Paley D. Principles of deformity correction. New York: Springer-Verlag, 2005. 806 p.
2. Соломин Л.Н., Щепкина Е.А., Кулеш П.Н., Корчагин К.Л., Лоздовский А.А., Скоморошко П.В. Определение референтных линий и углов длинных трубчатых костей: пособие для врачей. СПб., 2010. 48 с.
3. Соломин Л.Н. Основы чрескостного остеосинтеза. Частные вопросы – 2. М., 2015. 560 с.
4. Paley D. History and Science Behind the Six-Axis Correction External Fixation Devices in Orthopaedic Surgery. Oper. Tech. Orthop. 2011. Vol. 21. P. 125-128.
5. 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. Vol. 5(5). P. 343–349.
6. 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. Vol.1, N 1. P. 55–61.
7. Eren I., Eralp L., Kocaoglu M. Comparative clinical study on deformity correction accuracy of different external fixators. Int. Orthop. 2013. Vol. 37, N11. P. 2247-2252.
8. Riganti S., Nasto L.A., Mannino S., Brunenghi G. M., 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. Journal of Pediatric Orthopaedics B. 2018. V.28.(3) С. 1–7. DOI: 10.1097/BPB.0000000000000573.
9. Виленский В.А., Поздеев А.П., Бухарев Э.В., Поздеев А.А., Зубаиров Т.Ф., Соломин Л.Н. Ортопедические гексаподы: история, настоящее, перспективы // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2015. №3. С. 61-69.
10. Соломин Л.Н., Виленский В.А., Утехин А.И., Террел В. Сравнительный анализ репозиционных возможностей чрескостных аппаратов, работающих на основе компьютерной навигации и аппарата Илизарова // Гений ортопедии. 2009. №1. С. 5-10.

11. Соломин Л.Н., Виленский В.А., Утехин А.И., Террел В. Сравнительный анализ жесткости остеосинтеза, обеспечиваемой чрескостными аппаратами, работающими на основе компьютерной навигации и комбинированным спице-стержневым аппаратом // Травматология и ортопедия России. 2009. № 2. С. 20-25.
12. Solomin L.N., Paley D., Shchepkina E.A., Vilensky V.A., Skomoroshko P.V. A comparative study of the correction of femoral deformity between the Ilizarov apparatus and Ortho-SUV Frame. *Int. Orthop.* 2014. V. 38(4). P. 865-872.
13. Koren L., Keren Y., Eidelman M. Multiplanar deformities correction using Taylor Spatial Frame in skeletally immature patients. *Open Orthop. J.* 2016. №10. P.71–79.
14. Watanabe K., Tsuchiya H., Sakurakichi K., Matsubara H., Tomita K. Double-level correction with the Taylor Spatial Frame for shepherd's crook deformity in fibrous dysplasia. *J. Orthop. Sci.* 2007. №12. P. 390-394.
15. 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). С. 103–109.
16. Horn J., Steen H., Huhnstock S. et al. Limb lengthening and deformity correction of congenital and acquired deformities in children using the Taylor Spatial Frame. *Acta Orthopaedica.* 2017. V.88. №3. P. 334-340.
17. Iobst C. Limb lengthening combined with deformity correction in children with the Taylor Spatial Frame. *J. Pediatric. Orthop. B.* 2010. V. 19. P.529-534.
18. Velazquez R.J.1, Bell D.F., Armstrong P.F., Babyn P., Tibshirani R. Complications of use of the Ilizarov technique in the correction of limb deformities in children. *J. Bone Joint Surg. Am.* 1993. V. 75(8). P. 1148-1156.
19. Aston W. J., Calder P. R., Baker D., Hartley J., Hill R.A. Lengthening of the congenital short femur using the Ilizarov technique: a single-surgeon series. *J. Bone Joint Surg Br.* 2009. V. 91. P. 962–967.
20. Launay F., Younsi R., Pithioux M., Chabrand P., Bollini G., Jouve J.L. Fracture following lower limb lengthening in children: a series of 58 patients. *Orthop. Traumatol Surg. Res.* 2013. V. 99. P. 72–79.
21. Hasler C.C., Krieg A.H. Current concepts of leg lengthening. *J. Child. Orthop.* 2012. № 6(2). P. 89-104.
22. Paley D. Problems, obstacles, and complications of limb lengthening by the Ilizarov technique. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1990. V. 250. P. 81-104.