

Д.А. ПОПКОВ, А.В. ПОПКОВ, В.А. ЩУРОВ, Н.А. КОНОНОВИЧ

**ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОСЛЕ ОПЕРАТИВНОГО
УДЛИНЕНИЯ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ В ВЫСОКОДРОБНОМ
РЕЖИМЕ У ДЕТЕЙ**

ФГБУ «Российский научный центр “Восстановительная травматология и ортопедия”
им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган,
Российская Федерация

Цель. Изучить особенности функциональной реабилитации детей с приобретенными и врожденными укорочениями нижних конечностей после оперативного удлинения с применением различных режимов distraction и условий остеосинтеза.

Материал и методы. Проведен анализ результатов лечения 95 детей с врожденными и приобретенными укорочениями нижних конечностей методом distraction остеосинтеза по Илизарову. Режим distraction: группа 1 (n=27, возраст 9,9±4,1 года) – 1 мм в сутки за 4 приема; группа 2 (n=30, возраст 10,1±1,9 года) – 1 мм в сутки за 60 приемов в автоматическом режиме; группа 3 (n=38, возраст 11,5±2,3 года) – 1 мм в сутки за 60 приемов в автоматическом режиме в сочетании с интрамедуллярным армированием эластичными стержнями с гидроксиапатитным покрытием. После окончания аппаратного лечения оценивали восстановление движений в коленном и голеностопном суставах, динамику силы мышц антагонистов и сроки начала ходьбы без дополнительной опоры.

Результаты. Показано, что при удлинении костей конечностей в высокодробном автоматическом режиме с использованием роботизированного дистрактора и дополнительным интрамедуллярным армированием стержнями с биоактивным покрытием происходит более раннее восстановление активной и пассивной амплитуды движений в смежных суставах, силы мышц сегмента и полноценной осевой нагрузки конечности. Этот эффект может быть связан как с благоприятными условиями для регенерации костной и мышечной ткани в процессе высокодробной distraction, так и с возможностью более ранней полной функциональной нагрузки после демонтажа аппарата Илизарова, когда остаются интрамедуллярные импланты.

Заключение. Таким образом, высокодробное круглосуточное удлинение в сочетании с интрамедуллярным биоактивным армированием создает условия для благоприятного течения реабилитационного периода и для развития мышечного аппарата.

Ключевые слова: роботизированный автодистрактор, удлинение конечностей, биоактивные импланты, интрамедуллярные импланты, регенерация, мышечный аппарат, функциональная реабилитация

Objectives. To study the features of the functional rehabilitation of children with congenital and acquired shortenings of the lower limbs after surgical lengthening using different regimes of distraction osteosynthesis.

Methods. Treatment results of children (n=95) with congenital and acquired lower limb shortening by the Ilizarov method for distraction osteosynthesis been analyzed. The distraction regime: group 1 (n=27, mean age 9,9±4,1 yrs) – 1mm a day (n=4); group 2 (n=30, mean age 10,1±1,9 yrs) 1mm a day (n=60) in the automated regime; group 3 (n=38, mean age 11,5±2,3 yrs) – a distraction regime 1 mm a day (n=60) in an automated regime combined with intramedullary reinforcement by elastic wires with hydroxyapatite coating. After removing the Ilizarov device the restoration of normal knee and ankle joint function, the dynamics of the antagonist muscles forces and onset time walking without additional support have been assessed.

Results. It was shown that at femoral lengthening by using a robotic high-division distractor with using intramedullary reinforcement with bioactive coating, the earlier restoration of active and passive amplitude of motions in the adjacent joints, segment muscle force and complete limb axial load had occurred. Such effects could be associated with both the favorable conditions for regeneration of bone and muscle tissues at high-division rate as well as with the possibility of the earlier full functional load after the removal of the Ilizarov apparatus and leaving intramedullary implants in site.

Conclusion. Thus, the combination of robotic high-division distraction (24 h) and intramedullary bioactive reinforcement creates favorable conditions for a rehabilitation process and a faster functional recovery.

Keywords: robotic automated distractor, limb lengthening, bioactive implants, intramedullary implants, regeneration, muscular system, functional rehabilitation

Novosti Khirurgii. 2016 Jul-Aug; Vol 24 (4): 373-378
**Functional Recovery after Operative Lower Limb Lengthening
at High-Division Regime in Children**
D.A. Popkov, A.V. Popkov, V.A. Shurov, N.A. Kononovich

Введение

Проблема восстановления длины нижних конечностей является одной из основных в детской ортопедии.

Перечень причин, обуславливающих необходимость оперативной коррекции формы и длины ног, включает в себя системные заболевания скелета, врожденные, приобретенные укорочения. Признанным методом лечения и реабилитации пациентов с такими патологиями является чрескостный дистракционный остеосинтез по Г.А. Илизарову [1, 2].

Классическим режимом дистракции принято считать удлинение по 1 мм в сутки, распределенное на 4 приема [3]. Однако продолжительность остеосинтеза при данном режиме задерживает функциональное восстановление конечности, которое во многом определяется состоянием смежных суставов и мягкотканых компонентов удлиняемого сегмента. От этого зависит качество и продолжительность лечения, сроки которого не всегда удовлетворяют врачей и самих пациентов. Общий срок лечения пациентов в зависимости от величины удлинения варьирует от 4 до 18 месяцев [4, 5]. Количество возникших трудностей в периоде лечения и реабилитации напрямую отражает качество жизни пациентов [6].

В настоящее время известно два фактора, позволяющих существенно сократить длительность внешней фиксации и ускорить функциональную реабилитацию: удлинение в высокодетальном режиме с использованием автоматических дистракторов и применение различных вариантов стимуляции репаративного остеогенеза [7, 8]. Модификация механических нагрузок и изменение темпа и ритма дистракции способствуют увеличению или уменьшению факторов, способствующих репаративному остеогенезу: трансформирующий ростовой фактор (TGF-1), тромбоцитарный фактор роста (PDGF), инсулиноподобный фактор роста (IGF), фактор роста фибробластов (bFGF), остеопонтин, остеокальцин, остеоонектин, костный морфогенетический белок (BMP), эндотелиальный фактор роста [8].

В данной работе проведено анализ результатов лечения детей с укорочениями нижних конечностей различной этиологии, у которых использовали сочетание этих факторов при удлинении бедра и голени, и дано сравнение полученных результатов с классическим вариантом дистракционного остеосинтеза.

Цель. Изучить особенности функциональной реабилитации детей с приобретенными и врожденными укорочениями нижних конеч-

ностей после оперативного удлинения с применением различных режимов дистракции и условий остеосинтеза.

Материал и методы

Для проведения исследования были проанализированы результаты лечения 95 детей с врожденными и приобретенными укорочениями нижних конечностей. Общей особенностью этих групп является сохранение опороспособности конечности при наличии укорочений и умеренных деформаций. Пациенты были разделены на три группы: в 1 группе (27 детей, средний возраст $9,9 \pm 4,1$ года), удлинение производилось по классической методике Илизарова, без высокодетальной дистракции, во 2 группе (30 детей, средний возраст $10,1 \pm 1,9$ года) дистракция была высокодетальной в автоматическом режиме (1 мм удлинения распределен на 60 маневров в течение суток), в 3 группе (38 детей, средний возраст $11,5 \pm 2,3$ года) удлинение выполнялось, так же как и во второй группе, в аналогичном высокодетальном автоматическом режиме и дополнительно в сочетании с интрамедуллярным армированием эластичными стержнями с гидроксипатитным покрытием.

После прекращения периода аппаратной фиксации контрольные осмотры пациентов проводились через 1-3, 6-8 и 12 месяцев, а далее ежегодно. Клинически, используя приемы гониометрии, оценивали восстановление движений в коленном и голеностопном суставах во время очных консультаций на протяжении ближайшего и отдаленного послеоперационного периода, сроки начала ходьбы без дополнительной опоры. Определение момента силы мышц – бедра, тыльных и подошвенных сгибателей стопы производили с помощью специального стенда и соотносили с массой тела [9].

Полученные количественные данные подвергали статистической обработке с использованием программы Microsoft Excel 2016. Статистическое исследование включало в себя описательную статистику: средние значения (M) и ошибку средней (m). Сравнительные исследования влияния трех разных способов удлинения на полноту восстановления амплитуды движений в смежных удлиняемому сегменту суставах провели с использованием дисперсионного анализа для зависимых выборок. Контрольными точками явились периоды: до удлинения, 2-3 месяца после демонтажа аппарата внешней фиксации, 6-8 месяцев и 9-12 месяцев после снятия аппарата внешней фиксации.

Статистическое исследование включало в себя описательную статистику: средние значения (M) и ошибку средней (m). Сравнительные исследования производили с применением критерия Стьюдента для независимых выборок. Разницу измерений значений между исследователями оценивали с помощью коэффициента вариации. Различия показателей считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Работа выполнялась в соответствии с планом научных исследований в рамках программы НИР Государственного задания на 2015-2017 гг.

Результаты

Для всех пациентов первой и второй групп полная нагрузка на оперированную конечность на протяжении первых трех месяцев после прекращения аппаратной фиксации стала возможной в 42 случаях (73,7%). В третьей группе все больные начинали полностью нагружать оперированную конечность в промежутке между второй и восьмой неделями после снятия аппарата.

Динамика восстановления движений в коленном суставе после моносегментарного дистракционного остеосинтеза бедра различными способами представлена в таблице 1. Результаты

оценивались в процентах относительно исходной амплитуды движений.

Наиболее быстрое восстановление движений в коленном суставе происходило после удлинения в высокодетальном режиме в сочетании с интрамедуллярным армированием, когда к окончанию первого года после снятия аппарата практически полностью возвращался предоперационный объем движений. Не было обнаружено различия между второй и третьей группами с точки зрения амплитуды пассивных и активных движений в коленном суставе. Однако удлинение в четырехкратном (классическом) ритме (группа 1) не обеспечило столь быстрого восстановления объема движений.

Аналогичное представление для дистракционного остеосинтеза голени содержит таблица 2.

Как и в случае удлинения бедра, высокодетальная дистракция в комбинации с интрамедуллярным армированием на голени обеспечивала практически полное восстановление движений в смежных суставах к окончанию первого года после прекращения фиксации аппаратом. Было также отмечено отсутствие достоверных различий в скорости восстановления амплитуды движений между

Таблица 1

Динамика восстановления движений в коленном суставе после удлинения бедра (в % от исходной амплитуды движений) (M±m)

Способ удлинения	Величина удлинения		% от исходной амплитуды движений после снятия аппарата внешней фиксации		
	См	%	Через 2-3 мес.	Через 6-8 мес.	Через 9-12 мес.
Монолокальный с классическим ритмом, группа 1	4,1±0,49	14,7±3,0	38,86,7	56,4±4,2	78,3±6,5
Монолокальный в высокодетальном режиме, группа 2	4,2±0,31	15,5±2,3	39,0±11,3	83,5±11,0*	90,7±2,7*
Высокодетальный комбинированный, группа 3	4,2±1,7	15,6±3,7	50,1±6,3	89,0±14,1*	96,7±2,7*

Примечание: * – достоверное отличие от группы удлинения с четырехкратным ритмом.

Таблица 2

Динамика восстановления движений в коленном и голеностопном суставах после удлинения голени (в % от исходной амплитуды движений) (M±m)

Способ удлинения	Величина удлинения		% от исходной амплитуды движений в коленном суставе после снятия аппарата внешней фиксации			% от исходной амплитуды движений в голеностопном суставе после снятия аппарата внешней фиксации		
	см	%	2-3 мес.	6-8 мес.	12 мес.	2-3 мес.	6-8 мес.	12 мес.
Монолокальный с классическим режимом, группа 1	4,1±0,3	19,2±2,2	85,3±8,3	96,7±3,3	95,8±3,4	44±9,1	59±20,1	77,3±10,4
Монолокальный в высокодетальном режиме, группа 2	4,0±0,3	19,1±2,3	86,9±8,2	98,7±4,6	97,9±2,0	78±6,1*	94±4,6*	97,9±1,8*
Высокодетальный комбинированный, группа 3	4,3±0,7	19,8±1,9	85,2±8,1	88,1±7,1	98,3±2,8	81±4,8*	98±9,4*	99,5±0,3*

Примечание: * – достоверное отличие от группы удлинения с четырехкратным ритмом.

группами (второй и третьей) высокодетальной дистракции. Можно полагать, что именно высокодетальная дистракция является ключевым условием скорейшей функциональной реабилитации.

При исследовании сократительной способности мышц голени и бедра было выявлено, что через год после лечения у пациентов второй и третьей групп (высокодетальный ритм дистракции) этот параметр на удлиненной конечности приближался к контралатеральной конечности гораздо в большей степени, чем в группе удлинения с четырехкратной дробностью (таблица 3).

У пациентов, которым выполняли удлинение бедра в четырехкратном режиме дистракции (группа 1), в ближайшие сроки после окончания лечения дефицит силы мышц составлял, в среднем 62% и 47% соответственно относительно контралатеральной конечности. Вместе с тем при высокодетальном автоматическом удлинении (группы 2 и 3) этот параметр соответствовал 52% и 37%. Через 9-12 месяцев после лечения этот дефицит уменьшился у пациентов первой группы до 58% и 40%, а во второй и третьей группах – до 34% и 25%.

Относительный момент силы мышц голени пораженной и контралатеральной конечности у пациентов в ближайшие и отдаленные сроки после удлинения представлен в таблице 4.

Относительный момент силы трехглавой мышцы удлиненной голени у больных первой группы в отдаленные сроки после лечения составил в среднем 47,0%, а у больных второй и третьей группы – 80,8% от уровня контралатеральной. Относительный момент силы мышц тыльных сгибателей стопы равнялся в первой группе 34,8%, у пациентов после удлинения

в высокодетальном режиме – 70,6% от уровня контралатеральной в эти же сроки обследования. Важно отметить, что в отдаленном периоде сила задней группы мышц голени у больных первой группы составила лишь 65% от исходного уровня, а у пациентов после высокодетального удлинения превысила исходный уровень на 15%.

Обсуждение

По мнению различных авторов, контрактуры смежных суставов при удлинении бедра или голени – неизбежный процесс при удлинении нижних конечностей, особенно при врожденной этиологии заболевания. В качестве причин выделяют развитие фиброзной и жировой дистрофии мышц вследствие ишемического поражения [10, 11]. Так, при ишемическом поражении промежуточной широчайшей мышцы нарушается функция скольжения четырехглавой мышцы; постоянная компрессия суставных хрящей ведет к нарушению его трофики и развитию хондропатии. В зависимости от величины удлинения полная функциональная реабилитация наступает обычно через 9-18 месяцев после снятия аппарата [12, 13, 14].

По нашим данным, наиболее быстрое и полное функциональное восстановление после оперативного удлинения наблюдается у тех пациентов, где дистракция производилась в высокодетальном автоматическом режиме. Увеличение объема движений в смежных суставах сопровождается более быстрым восстановлением сократительной способности мышц голени и бедра по сравнению со случаями удлинения с четырехкратным ритмом дистракции. Одним из объяснений является то, что высокодетальная дистракция создает максимально возможные, на

Таблица 3

Средние значения относительного момента силы мышц бедра (Н×м/кг) через 9-12 месяцев после удлинения (M±m)

Группа обследуемых	Разгибатели голени		Сгибатели голени	
	Контралатеральная конечность	Удлиненная конечность	Контралатеральная конечность	Удлиненная конечность
1	1,60±0,09	0,77±0,07	1,26±0,07	0,76±0,07
2	1,65±0,13	1,09±0,10	1,37±0,12	1,02±0,08
3	1,6±0,15	1,2±0,19	1,36±0,12	1,1±0,91

Таблица 4

Средние значения относительного момента силы мышц голени (Н×м/кг) (M±m) через 9-12 месяцев после снятия аппарата внешней фиксации

Группы обследуемых	Подощвенные сгибатели стопы		Тыльные сгибатели стопы	
	Интактная	Больная	Интактная	Больная
1	1,49±0,2	0,7±0,3	0,7±0,04	0,3±0,04
2	1,6±0,3	1,3±0,3	0,7±0,05	0,5±0,07
3	1,5±0,23	1,2±0,19	0,7±0,11	0,51±0,12

современном этапе развития дистракционного остеосинтеза, условия для регенерации мягких тканей, в частности мышц и сосудистой сети, даже при их дисплазии и врожденных аномалиях развития.

Ранее при наблюдении пациентов в отдаленном периоде удалось выделить группу по признаку стимуляции продольного роста удлиненного сегмента. У этих пациентов имелись особенности восстановления мышечной силы и изменения кровообращения в конечности в периоде после окончания удлинения в высокодетальном режиме. Это характеризовалось увеличением сократительной способности мышц по сравнению с исходными значениями, то есть происходило не обычное восстановление функционального состояния, а развитие мышечного аппарата; индекс пикового кровотока оставался увеличенным первые два года после прекращения периода аппаратной фиксации относительно интактной конечности [15].

С другой стороны, присутствие интрамедуллярных биоактивных эластичных стержней обеспечивает стимуляцию остеогенеза и, соответственно, приводит к более раннему формированию опороспособного новообразованного участка диафиза и прекращению аппаратной фиксации. Кроме того, первые месяцы после демонтажа аппарата Илизарова и до наступления полного ремоделирования новообразованной кости и утолщения кортикальных пластинок интрамедуллярные импланты предотвращают вторичные деформации и переломы на уровне удлинения, позволяя начать раньше, чем при других режимах удлинения, полную осевую нагрузку на конечность и интенсивную пассивную и активную мобилизацию суставов.

Заключение

Таким образом, высокодетальное круглосуточное удлинение в сочетании с интрамедуллярным биоактивным армированием создает условия для благоприятного течения реабилитационного периода и для развития мышечного аппарата. Мы связываем этот эффект как с благоприятными условиями для регенерации костной и мышечной ткани в процессе высокодетальной дистракции, так и с возможностью более ранней полной функциональной нагрузки после демонтажа аппарата Илизарова, когда остаются интрамедуллярные импланты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколовский ОА, Сердюченко СН, Бродко ГА, Урьев ГА. Уравнивание длины нижних конечностей – исторические ракурсы и современные тенденции. *Мед Новости*. 2011;(7):11-19.
2. Sabharwal S, Green S, McCarthy J, Hamdy RC. What's New in Limb Lengthening and Deformity Correction. *J Bone Joint Surg Am*. 2011;93:213-221. doi: 10.2106/JBJS.J.01420.
3. Dinah AF. Predicting duration of Ilizarov frame treatment for tibial lengthening. *Bone*. 2004 May;34(5):845-48.
4. Matsubara H, Tsuchiya H, Sakurakichi K, Watanabe K, Tomita K. Deformity correction and lengthening of lower legs with an external fixator. *Int Orthop*. 2006 Dec; 30(6): 550-54. doi: 10.1007/s00264-006-0133-8.
5. Sun XT, Easwar TR, Manesh S, Ryu JH, Song SH, Kim SJ, et al. Complications and outcome of tibial lengthening using the Ilizarov method with or without a supplementary intramedullary nail: a case-matched comparative study. *J Bone Joint Surg Br*. 2011 Jun;93(6):782-87. doi: 10.1302/0301-620X.93B6.25521.
6. Kim SJ, Balce GC, Agashe MV, Song SH, Song HR. Is bilateral lower limb lengthening appropriate for achondroplasia? Midterm analysis of the complications and quality of life. *Clin Orthop Relat Res*. 2012 Feb;470(2):616-21. doi: 10.1007/s11999-011-1983-y.
7. Урьев ГА, Ильясевич ИА, Заровская АВ, Соколовский ОА, Юзефович АИ. Изменение функционального состояния нервно-мышечной и сосудистой систем укороченных конечностей в условиях дистракционного остеосинтеза. *Мед Журн*. 2008;(2):97-100.
8. Alzahrani MM, Anam EA, Makhdom AM, Vill-emure I, Hamdy RC. The effect of altering the mechanical loading environment on the expression of bone regenerating molecules in cases of distraction osteogenesis. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2014 Dec 10;5:214. doi: 10.3389/fendo.2014.00214.
9. Шуруп ВА, Долганова ТИ, Долганов ДВ. Установка для измерения силы мышц бедра. *Мед Техника*. 2014;(1):27-30.
10. Bhave A, Shabtai L, Ong PH, Standard SC, Paley D, Herzenberg JE. Custom knee device for knee contractures after internal femoral lengthening. *Orthopedics*. 2015 Jul 1;38(7):e567-72. doi: 10.3928/01477447-20150701-53.
11. Burghardt RD, Manzotti A, Bhave A, Paley D, Herzenberg JE. Tibial lengthening over intramedullary nails: A matched case comparison with Ilizarov tibial lengthening. *Bone Joint Res*. 2016 Jan;5(1):1-10. doi: 10.1302/2046-3758.51.2000577.
12. Prince DE, Herzenberg JE, Standard SC, Paley D. Lengthening with external fixation is effective in congenital femoral deficiency. *Clin Orthop Relat Res*. 2015 Oct;473(10):3261-71. doi: 10.1007/s11999-015-4461-0.
13. Radler C, Antonietti G, Ganger R, Grill F. Recurrence of axial malalignment after surgical correction in congenital femoral deficiency and fibular hemimelia. *Int Orthop*. 2011 Nov;35(11):1683-8. doi: 10.1007/s00264-011-1266-y.
14. Dal Monte A, Donzelli O. Tibial lengthening according to Ilizarov in congenital hypoplasia of the leg. *J Pediatr Orthop*. 1987 Mar-Apr;7(2):135-38.
15. Попков АВ, Попков ДА. Особенности функционального восстановления после оперативного лечения детей с врожденным укорочением нижних конечностей. *Гений Ортопедии*. 2008;(1):19-26.

Адрес для корреспонденции

640014, Российская Федерация,
г. Курган, ул. М. Ульяновой, д. 6,
ФГБУ «Российский научный центр
«Восстановительная травматология и ортопедия»

им. акад. Г. А. Илизарова»,
лаборатория коррекции деформаций
и удлинения конечностей,
тел. раб.: +7 (3522) 41-52-27,
e-mail: n.a.kononovich@mail.ru,
Кононович Наталья Андреевна

Сведения об авторах

Попков Д.А., д.м.н., заведующий лабораторией коррекции деформаций и удлинения конечностей ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова».

Попков А.В., д.м.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории коррекции деформаций и удлинения конечностей ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова».

Щуров В.А., д.м.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории коррекции деформаций и удлинения конечностей ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова».

Кононович Н.А., к.в.н., ведущий научный сотрудник лаборатории коррекции деформаций и удлинения конечностей ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова».

Поступила 1.04.2016 г.
