

## Дистракционный остеосинтез – перспективы развития

А.В. Попков, Д.А. Попков

### *Distraction osteosynthesis – developmental outlooks*

A.V. Popkov, D.A. Popkov

Федеральное государственное учреждение науки

«Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г. А. Илизарова Росздрава», г. Курган (генеральный директор — заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РАМН, д.м.н., профессор В.И. Шевцов)

В статье отражены основные принципы дистракционного остеосинтеза, разработанные во второй половине XX века, а также обозначены перспективные направления развития оперативного удлинения конечностей. Представлены новые данные по стабильности фиксации, темпу и ритму дистракции, направленные на оптимизацию репаративного остеогенеза. Авторы вводят понятие «скорость удлинения». Дана оценка методам стимуляции остеогенеза. Показано влияние удлинения на рост и развитие конечностей у детей с врожденными укорочениями.

Ключевые слова: дистракционный остеосинтез, метод Илизарова, стимуляция остеогенеза.

The main principles of distraction osteosynthesis, developed in the second half of XX century, are shown in the work, and perspective trends of the development of limb surgical lengthening are indicated as well. New data on fixation stability, distraction rate and rhythm, directed to reparative osteogenesis optimization, are presented. The authors introduce the conception of "lengthening rate". Techniques of osteogenesis stimulation are assessed. The influence of lengthening on limb growth and development is demonstrated in children with congenital shortenings.

Keywords: distraction osteosynthesis, the Ilizarov method, osteogenesis stimulation.

Дистракционный остеосинтез начал активно развиваться с момента появления на вооружении хирургов аппаратов наружной фиксации, т.е. с 50-х годов прошлого столетия. Первые аппараты чрескостного остеосинтеза не могли обеспечить фиксации костных отломков после остеотомии и поэтому обычно дополнялись гипсовыми повязками и громоздкими металлическими шинами. Пациенты подвергались обширным оперативным вмешательствам с мобилизацией сухожильно-мышечного футляра, скелетированию кости, иммобилизации смежных суставов. Несовершенство аппаратов наружной фиксации и методов оперативного вмешательства резко ограничивали возможности ортопедов в восстановлении длины конечности – удлинение голени на 3-4 см требовало многомесячной фиксации аппаратом наружной фиксации, затем 6-8 месяцев иммобилизации гипсовыми повязками и длительной функциональной реабилитации. Тем не менее, актуальность проблемы восстановления длины конечности требовала развития данной отрасли ортопедии: с каждым годом растет количество детей с аномалиями костно-мышечной системы, последствия травм нередко тоже требуют восстановления длины кости; последствия полиомиелита, туберкулеза костей, гематогенного остеомиелита, как правило, сопровождаются анатомическим укорочением одного или нескольких сегментов конечности.

J.M. Clavert [26] считает, что выраженные ги-

поплазии нижних конечностей встречаются у 1:15000 новорожденных, а О.А. Малахов [9, 22] по Российской Федерации дает цифру 219 аномалий развития костно-мышечной системы на 10000 детей. По данным Л.А. Поповой [19], в поликлинику РНЦ «ВТО» им. академика Г.А. Илизарова обращается не менее 36 % больных с врожденной патологией костно-мышечной системы.

И каждый пациент – это особый мир, особые требования, желание гарантий и максимально коротких сроков лечения. Последнее требование в настоящее время звучит все чаще.

Первые сообщения в литературе об удлинении нижней конечности с помощью аппарата Илизарова относятся к 1963 году. С тех пор метод дистракционного остеосинтеза непрерывно совершенствовался и сегодня признается всеми ортопедами развитых стран как лучший.

**Цель данного сообщения** – обосновать основные направления совершенствования метода дистракционного остеосинтеза и представить результаты, достигнутые коллективом РНЦ «ВТО» им. академика Г.А. Илизарова в вопросах сокращения сроков лечения пациентов и восстановления функции конечности.

Опираясь на опыт лечения 2500 пациентов, которым было осуществлено успешное удлинение бедра или голени, в конце XX столетия были сформулированы пять основных принципов дистракционного остеосинтеза [14, 24]:

1. Стабильность фиксации.
2. Малотравматичность оперативного вмешательства.
3. Полноценное кровоснабжение конечности.
4. Оптимальный темп и ритм distraction.
5. Функциональная нагрузка.

Невыполнение любого из этих принципов влечет за собой замедление консолидации вплоть до формирования псевдоартроза, значительно увеличиваются сроки лечения, уменьшается величина удлинения. Совершенствование метода удлинения конечностей по Илизарову идет прежде всего по направлению улучшения условий удлинения в рамках каждого из этих принципов.

**Стабильность фиксации** костных фрагментов после остеотомии зависит от ряда механических факторов (диаметр кольцевых опор, диаметр и степень натяжения спиц, наличие на спицах опорных площадок и угол перекреста проведенных спиц и пр.). Совершенствуя условия выполнения данного принципа остеосинтеза, мы в 3,14 раза увеличили жесткость остеосинтеза [13, 24]. Для этого были обоснованы оптимальные уровни и углы проведения спиц, усовершенствованы материалы для изготовления опор аппарата, шире используются спицы с

опорными площадками и консольные спицы, разработаны новые спице-стержневые конструкции аппаратов внешней фиксации (рис. 1).

**Степень травматичности** оперативного вмешательства имеет огромное значение для активности репаративного остеогенеза. Многие еще помнят статьи, когда мы писали, что длина остеотомии должна превышать планируемое удлинение на 2 см, и делали эту остеотомию из 5-7 см разреза, называя эту операцию малотравматичной [6]. Мы сравнили сроки консолидации при различных оперативных вмешательствах – кортикотомии, косой остеотомии и оскольчатой остеотомии. Например, сроки фиксации при удлинении бедра в статистически однородных группах в 2-3 раза короче при менее травматичных операциях [14]. Наиболее длительный срок консолидации – при оскольчатой остеотомии (табл. 1).

Сегодня мы для удлинения делаем частичную кортикотомию из 5 мм разреза, практически доведя тяжесть оперативного вмешательства до минимума. **Кровоснабжение** удлиняемой конечности после такой операции не нарушено, объемный кровоток увеличен в 3-3,5 раза [5], увеличивается и линейная скорость кровотока по магистральным сосудам.



а



б

Рис. 1. Новый спице-стержневой аппарат для удлинения бедра с автоматическими дистракторами (а), набор автоматических дистракторов (б)

Таблица 1  
Продолжительность периода фиксации в зависимости от травматичности операции при удлинении бедра

Характер остеотомии	Величина удлинения (%)		Срок фиксации (дни/см)	
	врожденное укорочение	приобретенное укорочение	врожденное укорочение	приобретенное укорочение
Частичная кортикотомия	15,4±2,3	16,7±1,8	12,0±0,9	8,9±2,3
Косая остеотомия	16,5±1,7	15,8±2,3	18,9±3,0	18,7±2,4
Оскольчатая остеотомия	16,8±2,2	16,4±2,1	28,3±5,3	27,8±5,02

**Оптимальный темп и ритм** distraction не-разрывно связан с автоматизацией процесса удлинения. Действительно, если удлинение осуществляется поворотом гайки вручную, зачастую самим пациентом, то не удивительно, если в процесс вмешивается так называемый «человеческий фактор»: одним пациентам захочется увеличить темп distraction, другим – уменьшить, нередко пациенты пытаются завершить дневной цикл удлинения не в 20 часов, как рекомендует врач, а пораньше – в 14-16 часов. Мы сравнили ряд объективных биомеханических параметров удлинения. При высокодетальном круглосуточном автоматическом удлинении distractionные усилия аппарата внешней фиксации всегда нарастают плавно, без срывов. Непрерывность роста distractionных усилий свидетельствует о непрерывности distractionного регенерата и положительном прогнозе результата лечения. При классическом удлинении по Илизарову уровень distractionных усилий может резко упасть, и тогда необходимо снизить темп удлинения вплоть до временной остановки. Вообще мы с 1977 года говорим о том, что динамическое наблюдение за distractionными усилиями является хорошим элементом в цепи обратной биологической связи в процессе удлинения [12]. Опираясь на distractionные усилия, можно полностью автоматизировать процесс контроля за удлинением.

Ригидность кожных покровов при автоматическом высокодетальном круглосуточном удлинении в 3 раза меньше, ригидность мышц в 1,5 раза меньше, чем при классическом удлинении по Илизарову [1, 3, 23].

Благоприятные механические условия удлинения отражаются и на биологических процессах генеза тканей [21], о чем свидетельствует непрерывно высокий уровень концентрации в крови соматотропного гормона – гормона роста (рис. 2).

Еще в 1973 году В.Д. Дедова и Т.И. Черкасова в своей монографии писали о том, что при удлинении голени у детей с темпом 1,5-2,5 мм на 32 лечившихся пришлось 7 случаев невритов и парезов, 4 случая замедленной консолидации и 5 случаев псевдоартроза, т.е. 50 % серьезных осложнений [4]. С тех пор уже никто не оспаривал мнение Г.А. Илизарова, что оптимальный темп distraction не превышает 1 мм в сутки. Этого можно добиться одномоментно, за 4 приема по Илизарову (в течение 8-10 часов) или за 60 перемещений гайки (круглосуточно, автоматически).

Сегодня, с нашей точки зрения, в условиях автоматизации процесса удлинения, можно вновь начать дискуссию и пора вводить понятие **скорости удлинения** [16]. Тогда при классическом удлинении по Илизарову (10 часов активной distraction) скорость будет равна 0,08 мм/час. И такое удлинение, как показала многолетняя практика, протекает без серьезных осложнений. При круглосуточном автоматическом удлинении скорость удлинения ниже – не более 0,04 мм/час. Естественно напрашивается вопрос, почему бы не увеличить ее хотя бы в 2 раза?

Эксперимент показал, что костеобразование при темпе в 2 и даже в 3 мм/сутки в условиях автоматической distraction не хуже классического. Через 30 дней формируется кортикальная пластинка кости, можно снять аппарат, а еще через 30 дней восстанавливается костномозговой канал кости. Каких-либо нервно-сосудистых осложнений при автоdistraction мы не наблюдали ни в клинике, ни в эксперименте [1, 2]. Микроциркуляция крови в тканях удлиняемой конечности заметно выше при автоматической distraction (рис. 3). Реактивных и деструктивных изменений в мышечных волокнах значительно меньше как во время distraction, так и в период фиксации (табл. 2).

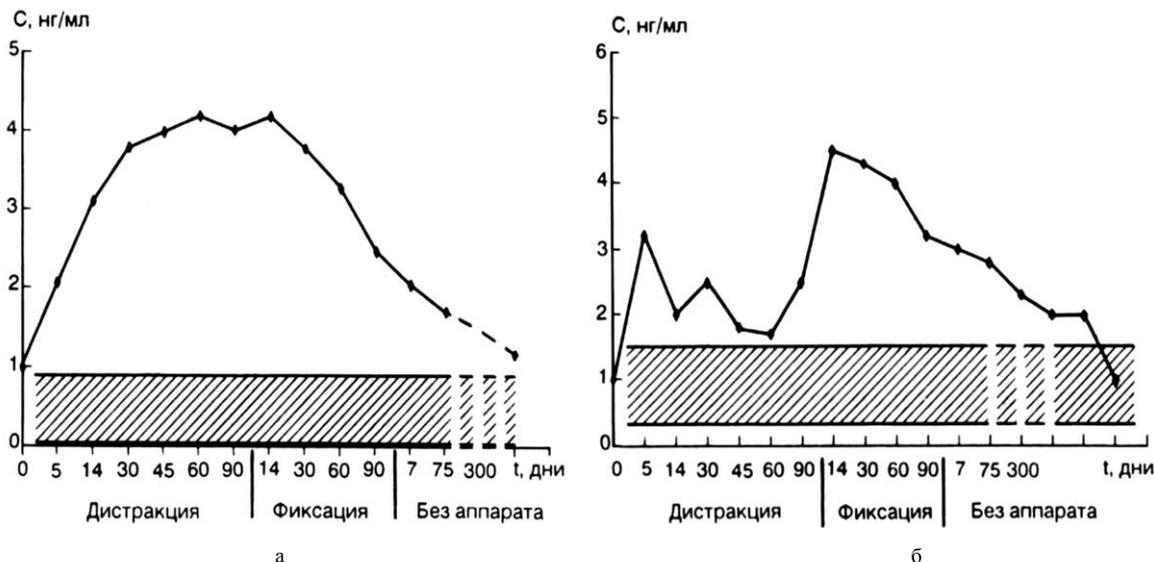


Рис. 2. Динамика концентрации соматотропного гормона плазмы крови при классическом удлинении конечности (а) и автоматической distraction (б)

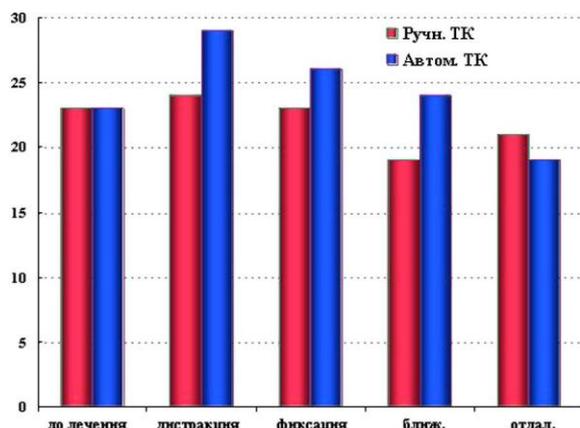


Рис. 3. Динамика микроциркуляции крови в тканях удлиняемой голени

Таблица 2

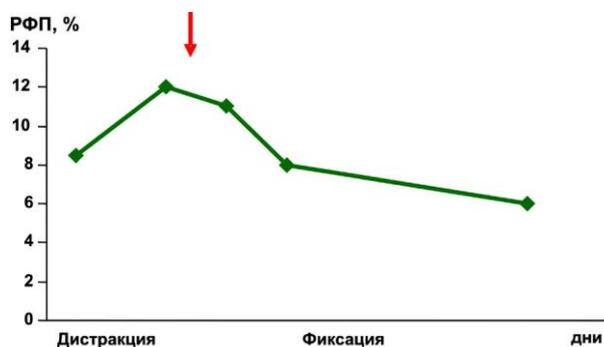
Количество реактивноизмененных мышечных волокон m. tibialis ant. при удлинении голени в различных режимах

Период остеосинтеза	Режим удлинения		
	одномоментный	классический по Илизарову	автодистракция
28 дней дистракции	14,4 %	9,63 %	3,99 %
30 дней фиксации	36,8 %	10,4 %	2,8 %

Высокая дробность автоматического удлинения благоприятно сказывается на репаративных процессах и гарантированно снижает сроки консолидации бедра до 5 дн/см, голени – до 10-12 дн/см. Для сравнения, сегодня в мировой литературе ортопедами, использующими классический метод Илизарова, признается отличным результат, если срок остеосинтеза равен 30 дн/см, а удлинение с индексом остеосинтеза 45 дн/см считается хорошим результатом [27-29].

Комплексные исследования, проводимые коллективом РНЦ «ВТО» им. академика Г.А. Илизарова в последние годы, убедили нас в том, что кроме создания оптимальных условий для репаративной регенерации тканей мы вправе активно стимулировать этот процесс.

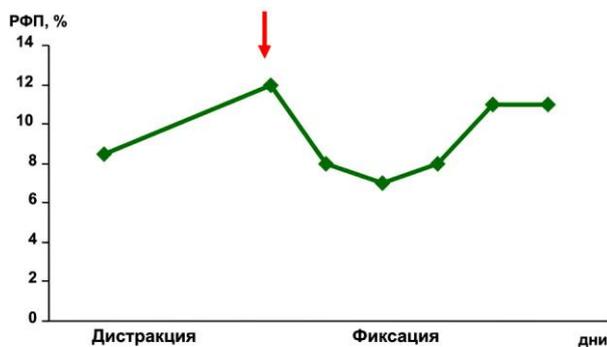
Мы выяснили, что при дистракционном остеосинтезе активность регенерации кости через 1-1,5 месяца после операции достигает своего максимума и начинает снижаться. Особенно это заметно во время периода фиксации. В это время резко падает уровень дистракционных усилий, а следовательно, и жесткость фиксации костных фрагментов. В это время снижается активность обменных процессов, что подтверждается уровнем накопления радиофармпрепаратов (РФП) в зоне удлиняемой кости, снижается уровень концентрации в крови термолabileй щелочной фосфатазы, как маркера остеобластов (рис. 4).



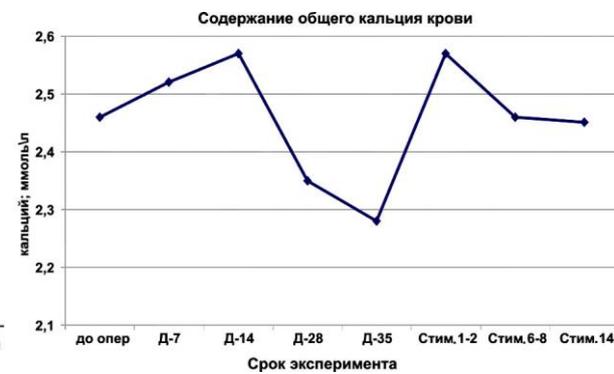
а



б



в



г

Рис. 4. Активность обменных процессов в кости при удлинении конечности: а – классическое удлинение по Илизарову; б, в, г – при дистракционно-компрессионном остеосинтезе Шевцова-Попкова

Для того, чтобы стимулировать процесс регенерации в периоде фиксации, В.И. Шевцов и А.В. Попков предложили перейти на компрессию distractionного регенерата в пределах  $0,6 \text{ кг/см}^2$ . Вершины костных балок в регенерате контактируют между собой (рис. 5), увеличивается стабильность фиксации, наступает микро-травма, на фоне которой вновь запускается механизм репаративной регенерации, консолидация наступает через 2 недели, а функциональное состояние микрососудов, мышечных волокон, нервных волокон не нарушается [10, 11, 15, 24, 25]. На фоне последовательного distractionно-компрессионного остеосинтеза впервые обнаружено множество новообразованных немиелинизированных аксонов в нервах удлиняемого сегмента конечности, что свидетельствует о наличии оптимальных условий для проявления способности нейронов к коллатеральному ветвлению своих отростков.

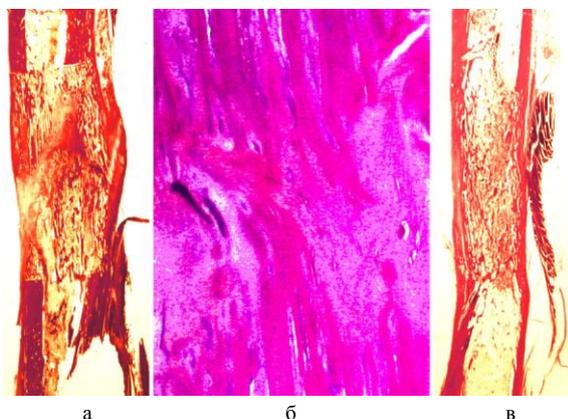


Рис. 5. Последовательный distractionно-компрессионный остеосинтез (способ Шевцова-Попкова): а – гистотопограмма: момент компрессии distractionного регенерата; б – зона контакта костных трабекул ( $\times 300$ ); в – гистотопограмма через 2 недели компрессии

Процесс стимуляции остеогенеза подтверждается активностью накопления радиофарм-препарата в удлиняемой конечности (рис. 4), в крови повышается содержание общего кальция, повышается системный индекс электролитов, повышается активность термоллабильной щелочной фосфатазы крови.

Компьютерная томография регенерата кости на уровне «зоны роста» подтвердила, что уже через 7 дней «зона» заполняется минерализованной костной тканью (рис. 6).

Сегодня мы разрабатываем несколько направлений по стимуляции репаративного остеогенеза: механический, фармакологический, биологический, в который включены методики трансплантации биологически активных тканей, остеогенных клеток, белков; биомеханический или комбинированные способы с элементами нанотехнологий. Перед нами поставлена задача индуцировать репаративный процесс не только в период фиксации, но и в период активного удлинения – в периоде distraction.

С 2001 года мы внедряем методику внутрикостного напряженного армирования при удлинении конечностей [20]. Стальные спицы (спицы Киршнера), дугообразно изогнутые, вводили в костномозговой канал под определенным углом и размещали в соответствии с имеющейся или ожидаемой деформацией. Напряжение спиц и их постепенное перемещение стимулируют остеогенез настолько, что вокруг спиц даже формируется остеоидный канал как в диафизе, так и в метафизе кости. Аппарат мы снимаем в течение месяца после прекращения distraction. Механических свойств этих спиц достаточно для профилактики деформаций вновь образованной кости. С 2004 года мы начали армировать костномозговой канал титановыми спицами с кальцийфосфатным покрытием, которое изготавливалось по нашему предложению по технологии А.В. Карлова [7]. Первые же клинические испытания показали наличие индукции репаративного остеогенеза при лечении пациентов с системными заболеваниями: несовершенный остеогенез, фосфат-диабет, болезнь Олье и т.д. Спицы и стержни с покрытием гидроксилатитным составом, имеют поверхность с зернистостью размером порядка 100-300 нм. Такая наноповерхность обладает особыми свойствами адгезии для остеогенных клеток, стволовых клеток, а химический состав покрытия обеспечивает постепенную утилизацию этого своеобразного депо кальция и фосфора при их дефиците.

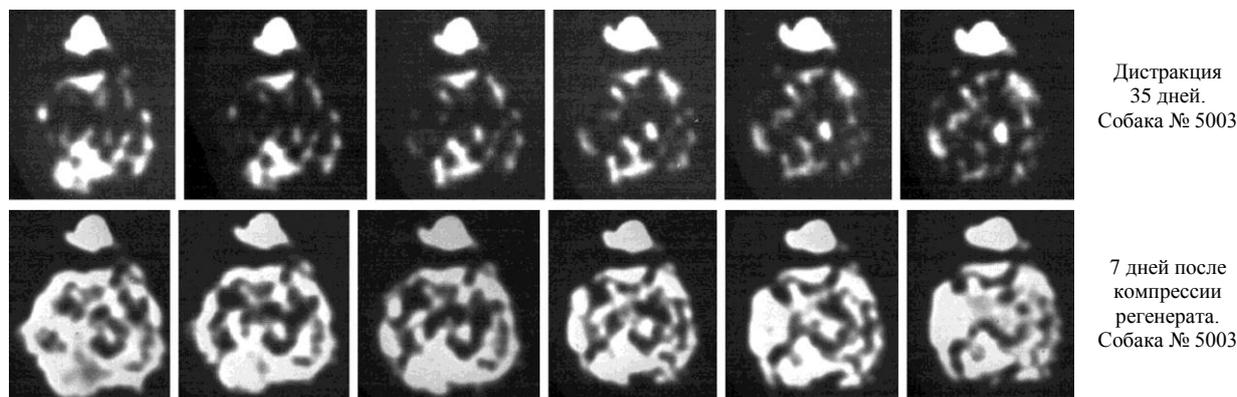


Рис. 6. Компьютерные томограммы – поперечные срезы через 1 мм distractionного регенерата на уровне «зоны роста»

Клинический пример (рис. 7). Молодой человек 18 лет захотел увеличить свой рост на 10-12 см. Лечение проводили в 2 этапа перекрестным удлинением бедра и голени на 6 и 5 см в автоматическом режиме. Для стимуляции остеогенеза использовали методику внутрикостного напряженного армирования спицами с гидроксилапатитным покрытием. Среднесуточный темп удлинения левого бедра был 2 мм/сутки, правой голени – 1,5 мм/сутки. Темп удлинения

правого бедра достигал уже 3 мм/сутки, левой голени – 1,75 мм/сутки. Повышенный темп distraction позволил нам закончить удлинение через 20-30 дней, а консолидация бедер наступала при индексе фиксации 5 и 7 дн/см, индексе фиксации голени составил 8 и 9 дн/см.

Таким образом, мы резко в 1,5-3 раза сократили срок периода distraction и в 4-6 раз срок периода фиксации.



Рис. 7. Пациент Ш., 18 лет. Оперативное удлинение бедра и голени с целью увеличения роста

Огромное значение для ортопеда и пациента имеет решение вопроса прогнозирования физиологического роста после удлинения конечности, особенно при врожденной патологии [8, 17]. Скрупулезный анализ отдаленных результатов удлинения нижних конечностей у 345 детей в возрасте от 2 до 15 лет позволяет утверждать, что однократное удлинение конечности в автоматическом режиме стимулирует скорость роста конечности (рис. 8). Повторное, а тем более третье удлинение сегмента, неизбежно ведет к угнетению естественного роста. Кроме того, выполнение реконструктивных остеотомий на костях стопы одновременно с удлинением голени сопровождается угнетением продольного роста голени в отдаленном периоде даже после первичного удлинения [18].

Исследование периферического кровообращения в случаях стойкой стимуляции продольного роста удлинённых сегментов показало, что до начала лечения как объемная скорость кровотока, так и пиковый кровоток были больше, чем на интактной конечности. Кроме того, стимуляция продольного роста удлинённого сегмента сопровождается в отдаленном периоде увеличением сократительной способности мышц нижней конечности, а также ростом показателей периферической гемодинамики (объемной скорости кровотока и пикового кровотока).

При изучении зависимости между возрастом начала лечения и величиной стимуляции продольного роста при первичном удлинении нижних конечностей было обнаружено, что после костного возраста 9 лет у девочек и 12 лет у мальчиков стимуляция продольного роста удлинённого сегмента не наблюдается. Известно, что в этот период жизни организма начинается предпубертатный толчок роста, который выражается в увеличении ежегодного прироста длины бедра и голени.

Удлинение после 13 лет у девочек и 15 лет у мальчиков практически не влияет на спонтанный рост сегментов, т.к. метаэпифизарные ростковые пластинки и так уже близки к своему закрытию.

При анализе продольного роста при неоднократном удлинении одного и того же сегмента было выявлено, что возраст начала повторного удлинения и временной промежуток между этапами важны для последующего роста сегмента. С точки зрения наименьшего угнетения последующего роста, повторное удлинение должно быть выполнено до начала предпубертатного скачка роста, а наиболее оптимальный перерыв между этапами удлинения одного и того же сегмента составляет около четырех лет.

При трехкратном удлинении одного и того же сегмента у всех пациентов отмечалось угнетение продольного роста с отрицательным значением показателя «стимуляции роста» в итоге.

С учетом вышеизложенного важно планировать стратегию лечения пациентов с тяжелыми врожденными пороками развития нижней конечности. В любом случае первый этап оперативного удлинения должен быть выполнен в раннем возрасте (3-6 лет), включать в себя не только удлинение, но и устранение сопутствующих деформаций сегментов, нарушающих биомеханическую ось конечности и ее локомоторную функцию. Важно учитывать тот факт, что в раннем возрасте возможно устранение деформаций стопы, не прибегая к реконструктивным вмешательствам на костях, так называемым «закрытым способом». У пациентов, которым планируется повторное удлинение одного и того же сегмента, второй этап вмешательства необходимо выполнять до начала предпубертатного скачка роста, но перерыв между этапами должен быть не менее 4 лет.

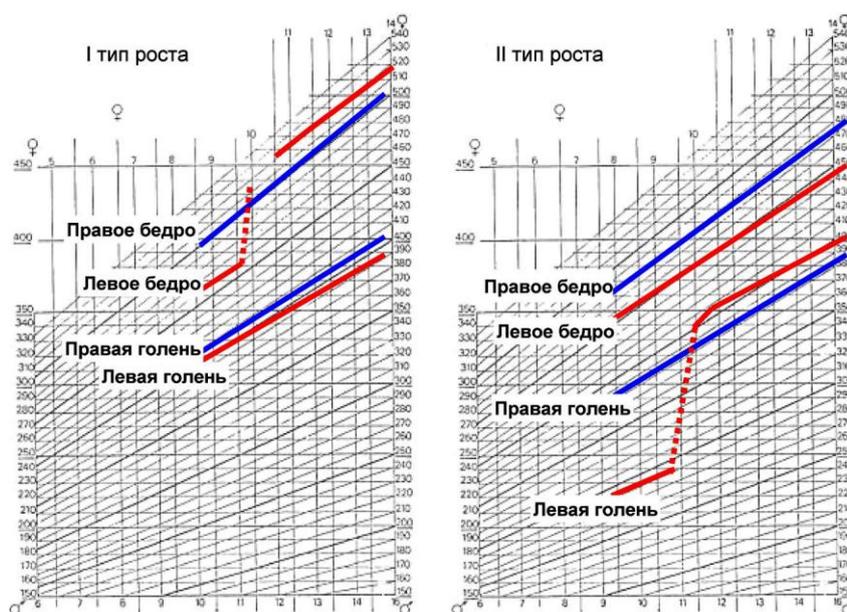


Рис. 8. Графики изменения скорости роста конечности после ее оперативного удлинения

ВЫВОДЫ

Многолетние исследования процесса дистракционного остеосинтеза в Российском научном центре «Восстановительная травматология и ортопедия» им. академика Г.А. Илизарова, опирающиеся на опыт удлинения конечностей более чем у 5000 пациентов, позволяет нам сегодня заявить о возможности *гарантировать* удлинение любого сегмента верхней и нижней конечности, причем в самые короткие сроки.

Мы убеждены, что в ближайшее время можно ставить задачу полной автоматизации про-

цесса чрескостного остеосинтеза при удлинении конечности и исправлении деформаций с наличием обратной биомеханической связи. Все биомеханические предпосылки для этого шага получены.

Наконец, мы убедились, что находимся на пороге исторического начала активного управления репаративными процессами тканей с использованием прикладных методик нанотехнологий и управления процессом стимуляции физиологического роста конечности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анатомо-функциональное состояние мышц в условиях чрескостного дистракционного остеосинтеза (клиника, эксперимент – факты и гипотеза) / А. В. Попков, Л. А. Гребенюк, Г. Н. Филимонова, Д. А. Попков // Вестник травматологии и ортопедии. – 2004. - № 3. – С. 67-73.
2. Влияние дистракции и последующей релаксации на ультраструктуру нервных волокон удлиняемой голени / Ю. М. Ирьянов, А. В. Попков, С. А. Ерофеев, Д. А. Попков // Гений ортопедии. - 2000. - № 1. - С. 35-41.
3. Гребенюк, Л. А. Комплексная оценка биомеханических и структурных свойств тканей бедра при высокочастотной автоматической дистракции / Л. А. Гребенюк, Д. А. Попков // Актуальные вопросы детской травматологии и ортопедии : материалы науч.-практ. конф. детских травматол.-ортопед. России. – СПб, 2004. – С. 55-57.
4. Дедова, В. Д. Оперативное удлинение укороченных нижних конечностей у детей / В. Д. Дедова, Т. Н. Черкасова. - М. : Медицина, 1973. – 128 с.
5. Илизаров, Г. А. Влияние напряжения растяжения на биомеханические свойства мышц, их кровоснабжение и рост конечности / Г. А. Илизаров, В. А. Щуров // Физиол. человека. – 1988. – Т. 14, № 1. – С. 26-32.
6. Восстановление устойчивости в тазобедренном суставе с одновременным удлинением конечности при одностороннем врожденном вывихе бедра у взрослых / Метод. рекомендации / Сост. : Г. А. Илизаров, А. Г. Каплунов, В. А. Терещенко. - Курган, 1978. – 19 с.
7. Карлов, А. В. Регуляторные механизмы оптимальной биомеханики систем внешней фиксации : дис. ... д-ра мед. наук / А. В. Карлов. - Курган, 2003. - 335 с.
8. Колчев, О. В. Стимулирующее влияние удлинения голени у детей на последующий рост при врожденном укорочении нижних конечностей / О. В. Колчев, Д. А. Попков // Травматология и ортопедия : современность и будущее : материалы Междунар. конгр. – М., 2003. – С. 92-92.
9. Малахов, О. А. Ошибки и осложнения при лечении детей с ортопедической патологией и пути их устранения на современном этапе / О. А. Малахов // Оптимальные технологии диагностики и лечения в детской травматологии и ортопедии, ошибки и осложнения : материалы симпозиума детских травматол.-ортопед. России. – СПб, 2003. – С. 58-62.
10. Морфофункциональное состояние мышц голени в условиях последовательного дистракционно-компрессионного остеосинтеза / А. В. Попков [и др.] // Гений ортопедии. - 2001. – № 1. – С. 11-17.
11. Плотность минеральных веществ в дистракционном регенерате при стимуляции регенерации по способу В. И. Шевцова – А. В. Попкова / А. А. Свешников [и др.] // Гений ортопедии. - 2001. - № 4. - С. 61-65.
12. Попков, А. В. Дистракционные усилия при удлинении бедра по методу Илизарова // Чрескостный компрессионный и дистракционный остеосинтез в травматологии и ортопедии : сб. науч. работ. - JL, 1977. – С. 76–81.
13. Попков, А. В. Некоторые биомеханические условия биолокального дистракционного остеосинтеза / А. В. Попков, Э. А. Гореванов, С. А. Аборин // Гений ортопедии. - 2000. - № 4. - С. 19-23.
14. Попков, А. В. Оперативное удлинение нижних конечностей у взрослых больных методом Илизарова : автореф. дис. ... д-ра мед. наук / А. В. Попков ; Иркутский НИИТО. – Иркутск, 1992. – 63 с.
15. Попков, А. В. Рентгенологическая динамика костеобразования при последовательном дистракционно-компрессионном остеосинтезе (экспериментальное исследование) / А. В. Попков, С. А. Ерофеев, Д. А. Попков // Гений ортопедии. - 2000. - № 3. - С. 5-9.
16. Попков, А. В. Скорость удлинения конечности / А. В. Попков, Э. В. Бурлаков, Д. А. Попков // Гений ортопедии. - 1996. - № 1. - С. 44-46.
17. Попков, Д. А. Продольный рост врожденно укороченной нижней конечности после ее оперативного удлинения / Д. А. Попков, В. А. Щуров // Вестник травматологии и ортопедии. – 2003. - № 4. – С. 48-53.
18. Попков, Д. А. Угнетение темпов естественного роста голени после оперативного лечения у детей с врожденным укорочением нижней конечности / Д. А. Попков, О. В. Колчев // Травматология и ортопедия: современность и будущее : материалы Междунар. конгр. – М., 2003. – С. 136-137.
19. Попова, Л. А. Характеристика обращаемости ортопедических больных за специализированной помощью / Л. А. Попова // Материалы VI съезда травматологов-ортопедов СНГ. - Ярославль, 1993. - С. 27.
20. Применение интрамедуллярного армирования при удлинении конечностей и коррекции деформаций / В. И. Шевцов [и др.] // Морфофункциональные аспекты регенерации и адаптационной дифференцировки структурных компонентов опорно-двигательного аппарата в условиях механических воздействий : материалы междунар. науч.-практ. конф. – Курган, 2004. – С. 365-366.
21. Содержание минеральных веществ и концентрация гормонов при автоматическом удлинении бедра / А. А. Свешников, Н. Ф. Офицорова, Д. А. Попков, С. В. Ральникова // Современные проблемы медицины и биологии : тез. докл. XXX обл. юбил. науч.-практ. конф. – Курган, 1998. – С. 139-140.
22. Травматизм, ортопедическая заболеваемость и состояние травматолого-ортопедической помощи в России (2002 год) / МЗ РФ. ГУ ЦИТО им. Н. Н. Приорова. – М., 2003. – 70 с.
23. Функциональное состояние конечности при ее удлинении в автоматическом режиме / В. А. Щуров, Л. А. Гребенюк, Д. А. Попков, С. О. Мурадинов // Материалы международной научно-практической конференции. – Петропавловск, 2002. – Т. 1. – С. 251-254.
24. Шевцов, В. И. Оперативное удлинение нижних конечностей / В. И. Шевцов, А. В. Попков. – М. : Медицина, 1998. – 190 с.
25. Шевцов, В. И. Стимуляция перестройки дистракционного регенерата / В. И. Шевцов, А. В. Попков // Анналы травматологии и ортопедии. - 1995. - № 2. – С. 23-26.
26. Bone growth after lengthening of the lower limb in children / E. Viehweger [et al.] // J. Pediatr. Orthop. – 1998. – Vol. 7-B, No 2. - P. 154-157.
27. Clavert, J. M. Embryologie normale et pathologique des membres inferieurs. Essai de classification des malformations // Cahiers d'enseignement de la SOFCOT № 74. – Paris : Elsevier, 2000. – P. 3–5.
28. Diméglio, A. Croissance des membres inférieurs / A. Diméglio, F. Bonnel // Les inégalités de longueur des membres / sous la direction de A. Diméglio, J. Caton, C. Hérisson, L. Simon. – Paris; Milan; Barcelone : MASSON, 1994. – P. 6-12.
29. Diméglio, A. Croissance en orthopédie / A. Diméglio. – Montpellier : Sauramps Médical. – 1988. – 214 p.

Рукопись поступила 15.10.06.