

© Группа авторов, 2000

Некоторые биомеханические условия билокального дистракционного остеосинтеза

А.В. Попков, Э.А. Гореванов, С.А. Аборин

Some biomechanical conditions of bilocal distraction osteosynthesis

A.V. Popkov, E.A. Gorevanov, S.A. Aborin

Государственное учреждение науки

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

В данной статье речь идет о жесткости фиксации кости в аппарате Илизарова в условиях билокального дистракционного остеосинтеза при врожденном укорочении нижних конечностей у детей и подростков. Исследования выполнены на моделях. Доказано, что максимальная стабильность опоры достигается при дополнительном использовании консольных спиц, которые проводятся на 4 см дистальнее опоры. На основе анализа клинического материала (рентгеновские снимки 104 пациентов) было замечено также, что у большинства больных (57 человек) в процессе удлинения величина диастаза в дистальной зоне превышала таковую в проксимальной зоне. Причина данного явления кроется, прежде всего, в особенностях прикрепления мышечных пучков сегментов нижних конечностей. Опытным путем было доказано, что увеличение сопротивления в проксимальной зоне удлинения приводит к увеличению прироста диастаза в дистальной зоне. Можно сделать вывод, что дистракцию в дистальной системе необходимо начинать позднее, чем в проксимальной, и с меньшим темпом. Рекомендовано стремиться усилить жесткость фиксации промежуточного фрагмента кости в средней опоре аппарата Илизарова.

Ключевые слова: нижняя конечность, врожденное укорочение, дистракционный остеосинтез, аппарат Илизарова, биомеханика.

The work deals with rigidity of bone fixation during bilocal distraction osteosynthesis for congenital shortening of lower limbs in children and adolescents. Studies are made using models. It is demonstrated, that maximal stability of the support is achieved in case of additional use of half wires, which are inserted 4 cm distally relative to the support. On the basis of the analysis of the clinical material (x-rays of 104 patients) it is also noted, that the diastasis size in the distal zone exceeds that in the proximal zone during elongation in majority of patients (57). First of all, details of the attachment of the muscular bundles of lower limb segments are the cause of this. It has been proved experimentally, that resistance increase in the proximal zone of elongation results in increase of the diastasis increment in the distal zone. It can be concluded, that distraction of the distal system should be started later, than that of the proximal one, and the distraction rate in this case should be lower. It is recommended, that one should try to attain to increase the fixation rigidity of the intermediate bone fragment in the middle support of the Ilizarov apparatus.

Keywords: lower limb, congenital shortening, distraction osteosynthesis, the Ilizarov apparatus, biomechanics.

Аппараты наружной фиксации, применяемые для удлинения конечностей, прочно завоевали свое место в современной ортопедической практике. Наибольшей популярностью заслуженно пользуется аппарат Илизарова [3, 5, 7, 9, 10, 11, 12-13].

В последние годы все чаще перед клиницистами стоит задача по ускорению процесса удлинения конечности. Одним из способов решения этой проблемы является билокальный дистракционный остеосинтез [1, 2, 4, 6].

Известно, что одним из условий успешного удлинения конечности является создание максимальной жесткости остеосинтеза в кольцевой

опоре. Предложены методики повышения жесткости фиксации кости: оптимальный диаметр кольца, угол пересечения спиц, степень натяжения спиц и их количество и другие. Однако работ по количественному анализу жесткости остеосинтеза при различных условиях недостаточно. Нет работ, оценивающих биомеханику билокального дистракционного остеосинтеза.

Целью данного исследования было изучение жесткости фиксации кости в кольцевой опоре при различных условиях остеосинтеза, а также изменения темпа дистракции на разных уровнях конечности при билокальном дистракционном остеосинтезе.

Исследования выполнены на моделях. Костный отломок имитировался образцом, представляющим собой цилиндр диаметром 25 мм, изготовленный из дюралюминия. Через образец проводили три спицы Киршнера и фиксировали их в кольцевой (внутренний диаметр 180 мм) опоре аппарата Илизарова эксцентрично, подобно тому, как соотносятся в клинических условиях ось большеберцовой кости и кольцевых опор (рис. 1).

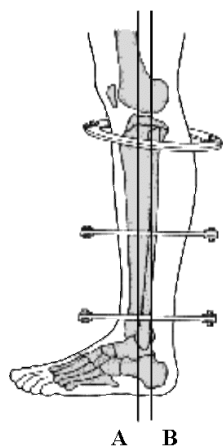


Рис. 1. Схема эксцентричного расположения костей голени в кольцевых опорах; А — ось большеберцовой кости, В — ось кольцевых опор

Образец жестко закрепляли в вертикальном положении. Спицы с помощью тарированного спиценатягивателя были натянуты до 120 кгс. Таким образом были созданы условия максимальной жесткости остеосинтеза согласно ранее проведенным исследованиям [8].

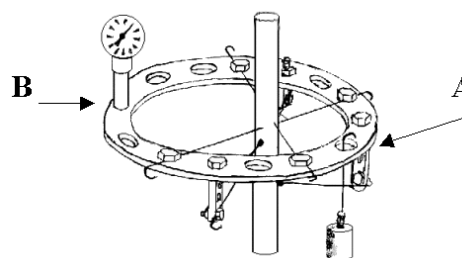


Рис. 2. Схема монтажа экспериментальной модели

В сагиттальной плоскости в точке А на кольце закреплялась подвеска, с помощью которой к кольцу прилагалась нагрузка от 0,5 до 6 кг. Величина перемещения кольца на каждой ступени увеличения нагрузки измерялась индикатором часового типа (ИЧ-10) в точке В (рис. 2). Наше исследование проводилось по принципу поиска условий остеосинтеза, обеспечивающих наименьшее перемещение кольцевой опоры.

Билокальный дистракционный остеосинтез мы имитировали, соединив три цилиндра пружинами в условиях аппарата Илизарова, смонтированного по классической схеме. Дополнительно мы проанализировали рентгенограммы 104 пациентов с врожденным укорочением одной из нижних конечностей, которым осуществляли билокальное удлинение голени (64) или бедра (40).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Величина перемещения кольца отражена на графиках (рис. 3)

При проведении лишь двух перекрещенных спиц, фиксированных в плоскости кольца, перемещение последнего было максимальным и, следовательно, жесткость остеосинтеза — минимальной (ряд 1).

Если провести дополнительную спицу во фронтальной плоскости дистальнее кольца всего на 1 см и зафиксировать ее в натянутом состоянии на приставке-кронштейне, то жесткость остеосинтеза увеличивается (перемещение кольца под нагрузкой уменьшается в 1,13 раза, ряд 2).

Дополнение кольцевой опоры спицей, вынесенной на 2 см и зафиксированной на флажках, еще более повысит ее стабильность, и перемещение кольца уменьшится в сравнении с исходным в 1,36 раза (ряд 3).

В 1,78 раз уменьшится перемещение кольцевой опоры в сравнении с исходным, если дополнительная спица вынесена на 3 см от кольца и закреплена в натянутом положении (ряд 4).

Если провести эту спицу дистальнее кольца на 4 см и зафиксировать на приставке-кронштейне

с 4 отверстиями, то жесткость остеосинтеза еще более возрастет (перемещение кольца уменьшается в 1,97 раза, ряд 5).

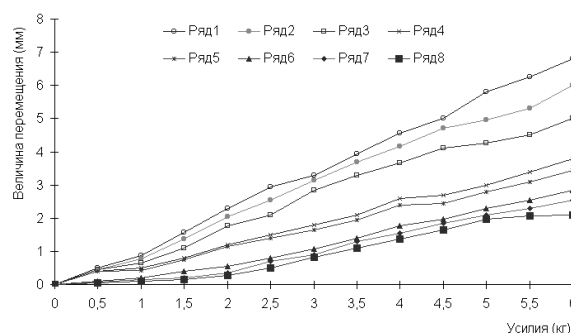


Рис. 3. Жесткость кольцевой опоры при различных условиях остеосинтеза (объяснения в тексте)

В последние годы мы усиливаем жесткость остеосинтеза с помощью консольных спиц с упорными площадками. Например, при удлинении голени мы проводим консольную спицу на 3-4 см ниже кольца в сагиттальной плоскости через бугристость большеберцовой кости таким образом, чтобы напайка опиралась на переднюю кортикальную поверхность большеберцовой

кости, а острие спицы располагалось в задней кортикальной пластинке (рис. 4).

Если усилить жесткость остеосинтеза с помощью проведенной в сагиттальной плоскости консольной спицы, вынесенной на 1,5 см дистальнее кольца, то сочетание двух последних приемов уменьшит перемещение кольца под нагрузкой в 2,39 раза (ряд 6). Если ту же спицу фиксировать дистальнее кольца на 3 см, перемещение опоры уменьшится в 2,67 раза (ряд 7). Максимальная стабильность опоры получена при укреплении ее консольной спицей, проведенной дистальнее на 4 см. Перемещение кольца при воздействии на него с максимальным усилием в этом случае меньше исходного в 3,24 раза (ряд 8).



Рис. 4. Расположение консольной спицы при удлинении голени

Как известно, проблема ускорения темпа дистракции при удлинении различных сегментов конечности была решена Г.А. Илизаровым с помощью биллокального дистракционного остеосинтеза, когда удлинение осуществляли после остеотомии на двух уровнях – по 1 мм на каждом уровне. Известно также, что аппарат Илизарова в этом случае монтировался из трех опор, и средняя, дополнительная опора имела 2 спицы, которые проводились через диафиз удлиняемой кости, и фиксировали таким образом средний фрагмент. Дистракцию начинали в обычные сроки, и темп дистракции поддерживался одинаковым для каждого уровня.

Наш опыт биллокального дистракционного остеосинтеза нижних конечностей с врожденным укорочением насчитывает 64 наблюдения при укорочении голени и 40 - при укорочении бедра. Довольно быстро было замечено, что уже через 10-14 дней дистракции, а тем более через месяц равномерной дистракции, диастаз между дистальным и средним фрагментами на рентгенограмме заметно превышал диастаз между проксимальным и средним фрагментами. Причину данного явления обычно относили к не-

дисциплинированности пациента, к его желанию ускорить процесс удлинения. Как правило, после обнаружения подобного факта хирург резко снижал (в 2-3 раза) темп дистракции в дистальной зоне удлинения, тем более, что интенсивность регенерации кости в этой зоне была значительно ниже, чем в проксимальной зоне.

Только у 21 пациента с удлинением голени и у 12 пациентов с удлинением бедра был отмечен равномерный темп удлинения, т.е. величина диастаза в проксимальной и дистальной зонах была одинаковой в период до 14 дней дистракции. У 34 пациентов с удлинением голени и у 23 - с удлинением бедра в эти сроки отмечено превышение диастаза в дистальной зоне (Таблица 1).

Таблица 1.

Распределение больных по величине превышения высоты диастаза в дистальной зоне удлинения над проксимальной (ΔL)

Величина ΔL (мм)	1-3	4-6	8-10	12-14	Всего
Бедро	10	6	4	3	23
Голень	15	9	5	5	34

Из всей исследуемой группы у 30 пациентов с удлинением голени и у 17 больных с удлинением бедра отмечено превышение величины диастаза в проксимальной зоне удлинения, либо равная высота диастаза.

У тех пациентов, которым не корректировали темп дистракции, величина ΔL через месяц удлинения сегмента возрастала в 1,5-2 раза. Подобное превышение темпа дистракции приводило к замедлению репаративной регенерации кости и хирург был вынужден прекратить удлинение. Приводим одно клиническое наблюдение.

Больному К., 19 лет, диагноз: врожденное укорочение левой нижней конечности, (история болезни № 24597) производили биллокальный дистракционный остеосинтез голени (рис. 5).

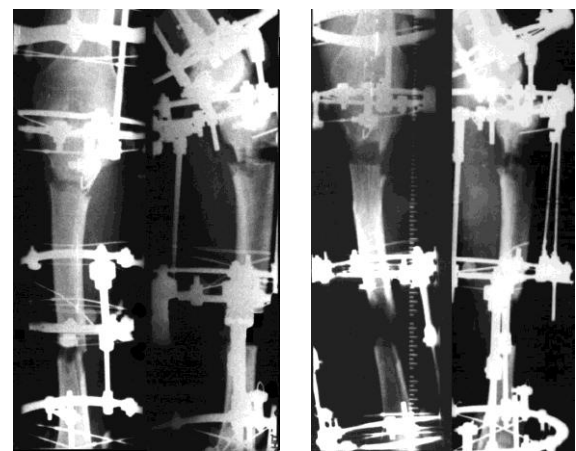


Рис. 5. Рентгенограммы голени больного К. (ист. болезни № 24597); а - 12 дней дистракции; б - 34 дня дистракции

Дистракция больному К. на голени начата на 5-й день после операции в темпе 1 мм/сут в верхней трети и нижней трети (в нижней подсистеме - автоматическая дистракция). На рентгенограммах, выполненных через 12 дней дистракции, отмечается превышение диастаза в нижней трети до 7 мм (в верхней трети – 8 мм, в нижней трети 15 мм), определяется прогиб спиц в промежуточном кольце в проксимальном направлении. Дистракция после контрольной рентгенографии продолжалась в прежнем темпе. На рентгенограммах, выполненных через 34 дня дистракции (окончание дистракции, автодистрактор в нижней системе демонтирован), отмечается превышение диастаза в нижней трети на 15 мм (25 мм - в верхней системе, 40 мм – в нижней системе).

Проведенный анализ клинического материала позволил нам предположить (А.В. Попков), что причина данного явления кроется в неравномерности сопротивления растяжению со стороны тканей в проксимальном и дистальном участках сегмента конечности. Действительно, анатомически основной массив мышечной ткани расположен в верхней половине голени. Мышечное брюшко непосредственно связывает проксимальный и средний костные фрагменты, что вызывает дополнительное, по сравнению с дистальной зоной удлинения, сопротивление.

Кроме того, сопротивление оказывает и костный регенерат, формирование которого протекает более интенсивно в зоне проксимальной остеотомии по ряду объективных причин. В этих условиях логично предположить, что повышенное напряжение в проксимальной подсистеме аппарата Илизарова приведет к прогибу спиц средней опоры (жесткость остеосинтеза в средней опоре по сравнению с проксимальной или дистальной опорами заметно ниже ввиду того, что имеется только две спицы) и дистракция по механически более жестким резьбовым стержням переместит дистальный фрагмент кости на большее расстояние относительно промежуточного, чем переместится промежуточный фрагмент относительно проксимального.

Для проверки данной гипотезы мы имитировали билокальный дистракционный остеосинтез, соединив три цилиндра пружинами в условиях аппарата Илизарова, смонтированного по классической схеме (рис. 6).

Проведено три серии опытов: 1 - «костные фрагменты» соединены одной пружиной и, следовательно, сопротивление в обеих зонах удлинения равномерное; 2- сопротивление в проксимальной зоне увеличили в 2 раза (2 пружины); 3 – сопротивление в проксимальной зоне удлинения увеличили в 3 раза (3 пружины).

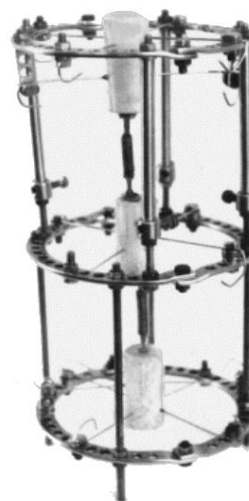


Рис. 6. Модель билокального дистракционного остеосинтеза

Рисунок 7 отражает динамику изменения ΔL в этих сериях опыта.

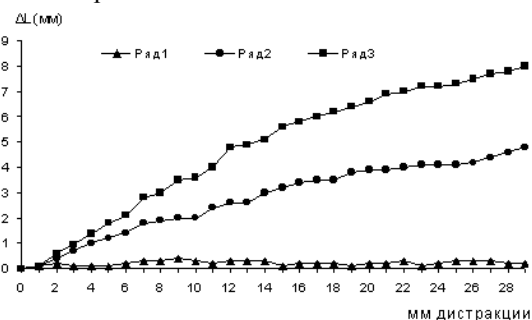


Рис. 7. Динамика изменения ΔL : 1 ряд - усилия в зонах удлинения равны; 2 ряд - усилия в проксимальной зоне превышают усилия в дистальной в 2 раза; 3 ряд - усилия в проксимальной зоне выше в 3 раза

При равномерном изменении усилий в верхней и нижней подсистемах аппарата Илизарова удлинение протекало параллельно, величина диастаза нарастала до 30 мм в обеих зонах удлинения и ΔL была практически равна 0 (первая серия опыта). При возрастании сопротивления в одной из зон удлинения в два раза через 30 мм удлинения, величина диастаза в другой зоне удлинения равнялась 35 мм, а при увеличении сопротивления в три раза – почти 40 мм.

Величина прироста диастаза, естественно, зависит не только от величины напряжения растяжения в подсистемах аппарата, но и от жесткости остеосинтеза и всех параметров, влияющих на стабильность остеосинтеза (диаметр кости, диаметра опоры, натяжения спиц и т.д.).

В условиях модели билокального дистракционного остеосинтеза (диаметр кольцевых опор – 180 мм, диаметр кости – 25 мм, диаметр спиц – 1,8 мм, сила натяжения спиц – 120 кгс) дисбаланс сил в 15 кгс приведет к приросту диастаза практически в 3 мм (рис. 8).

Рис. 8. Динамика роста ΔL при изменении ΔP

Прослеживается линейная зависимость между дисбалансом дистракционных усилий в разных подсистемах аппарата Илизарова и приростом диастаза между костными фрагментами. Эта зависимость описывается формулой $y=0,1735x-0,1722$, где $y=\Delta L$, разница между величиной диастаза между фрагментами в

верхней и нижней подсистеме, $x=\Delta P$, разница усилий, приложенных при удлинении в верхней и нижней подсистемах. При этом коэффициент достоверности аппроксимации $r^2=0,98$, что говорит о существовании прямо пропорциональной функциональной зависимости между ΔL и ΔP .

ОБСУЖДЕНИЕ

Использование консольных спиц с упорной площадкой, вынесенной на 4 см дистальнее кольцевой опоры, увеличивает жесткость остеосинтеза в опоре в 3,24 раза по сравнению с классической технологией Илизарова.

При удлинении сегментов конечностей методом биллокального дистракционного остеосинтеза для поддержания активности остеогенеза в дистальном регенерате необходимо стремиться

обеспечивать максимальную жесткость фиксации промежуточного фрагмента кости, дистракцию в дистальной системе необходимо начинать позднее, чем в проксимальной и с меньшим темпом. Несоблюдение данного положения приводит к превышению величины диастаза в дистальной системе и, как результат, к ослаблению регенераторной активности кости, что увеличивает срок фиксации и общий срок лечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грачева В.И., Макушин В.Д., Аранович А.М. Компрессионно-дистракционный остеосинтез в лечении некоторых дисплазий нижних конечности // Теоретические и практические аспекты чрескостного компрессионного и дистракционного остеосинтеза: Тр. Всесоюз. науч.-практ. конф. - М.: ЦИТО, 1977. - С. 100-105.
2. Джанбахишов Г.С., Грачева В.И. Рентгенологическая характеристика репаративного процесса при одновременном удлинении обеих голеней на двух уровнях по Илизарову у больных ахондроплазией // Чрескостный компрессионно-дистракционный остеосинтез в травматологии и ортопедии: Сб. науч. тр. - Курган, 1986. - Вып. 11. - С. 55-57.
3. Илизаров Г.А. Некоторые теоретические и клинические аспекты чрескостного остеосинтеза с позицией открытых нами общепризнанных закономерностей // Экспериментально-теоретические и клинические аспекты чрескостного остеосинтеза, разрабатываемые в КНИИЭКОТ: Тез. докл. междунар. конф. - Курган, 1986. - С. 7-12.
4. Динамика репаративного костеобразования, минеральный и скелетный гомеостаз у больных ахондроплазией при одновременном удлинении голени на двух уровнях / Г.А. Илизаров, В.И. Грачева, В.И. Шевцов и др. // Чрескостный компрессионно-дистракционный остеосинтез по Илизарову в травматологии и ортопедии: Сб. науч. тр. - Курган, 1985. - Вып. 10. - С. 47-53.
5. Каплунов А.Г., Калякина В.И. Удлинение нижних конечностей при больших укорочениях за счет двух сегментов по методу Илизарова // В сб.: Чрескостный компрессионный и дистракционный остеосинтез в травматологии и ортопедии. - Курган, 1978. - С.40-41.
6. Возможности чрескостного остеосинтеза по Илизарову в ликвидации укорочения у взрослых и детей / А.Д. Ли, А.В. Попков, В.И. Грачева, В.И. Калякина // Экспериментально-теоретические и клинические аспекты разрабатываемого в КНИИЭКОТ метода чрескостного остеосинтеза: Материалы Всесоюз. симпозиума с участием иностр. специалистов. - Курган, 1984. - С. 177-181.
7. Рагимов О.З. Отдаленные результаты оперативного удлинения укороченной нижней конечности: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. - М., 1989. - 21с.
8. Шевцов В.И., Попков А.В. Оперативное удлинение нижних конечностей. - М.: Медицина, 1998. - 192 с.
9. Шевченко С.Д., Попсуйшапка А.К. Результаты применения дистракционно-компрессионного остеосинтеза у детей // Лечение ортопедо-травматологических больных в стационаре и поликлинике методом чрескостного остеосинтеза, разработанным в КНИИЭКОТ: Тез. докл. Всесоюз. науч.-практ. конф. В 2-х ч. - Курган, 1982. - С. 33-35.
10. Allongement des membres inferieurs: method d'Iizarov / J.P. Damsin, J.C. Panisset, O. Daunois et al. // Rev. Chir. Orthop. - 1991. - Vol. 77, suppl. 1. - P. 31-80.
11. Bielecki I., Krawczyk A. Zagadnienie powstawania regeneratu w szparze dystrykcyjnej goleni w zaleznoski od poziomu kortykotomii // Chir. Narz. Ruchu. - 1994. - Vol. LIX, Supl. 1. - P. 168 - 170.
12. Caton J. Traitement des inegalites de longueur des membres inferieurs et des sujets de petite taille chez l'enfant et l'adolescent // Rev. Chir. Orthop. - 1991. - Vol. 77, suppl. 1. - P. 31-80.
13. Synder M., Niedzielski K., Fabis J. The use of the Ilizarov device for lower limbs lengthening // Chir. Narz. Ruchu. - 1994. - Vol. 59, suppl. 1. - P. 125-129.

Рукопись поступила 27.03.2000.