

© А. В. Попков, Д. А. Попков, В. А. Немков, 1996.

Биомеханические аспекты адаптационно-восстановительных изменений в дистракционном регенерате кости

А. В. Попков, Д. А. Попков, В. А. Немков

Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия им. академика Г.А.Илизарова, г. Курган
(Генеральный директор — академик РАМТН. д.м.н., профессор В.И.Шевцов)

Доказывается, что при удлинении конечностей формирующийся костный регенерат практически не воспринимает нагрузки во время опоры на удлиняемую ногу, т.к. всю нагрузку воспринимает аппарат чрескостного остеосинтеза. В период фиксации дистракционные усилия аппарата остаются достаточно высокими, чтобы противодействовать усилиям функциональной нагрузки, а постепенное их уменьшение нарушает стабильность остеосинтеза. Выход из данного противоречия авторы видят в быстрой смене дистракционного остеосинтеза на компрессионный.

Ключевые слова: аппарат Илизарова, дистракционные усилия, кость, регенерат

Исследователям известна высокая чувствительность костной ткани к воздействию внешних и внутренних факторов. В костной ткани постоянно протекают метаболические процессы как минеральных, так и органических компонентов, интенсивность которых в ряде случаев превышает активность метаболизма таких органов, как печень, кожа и др. [4]. Именно эти уникальные способности позволяют кости, адаптируясь к воздействию усилий аппарата чрескостного остеосинтеза, формировать дистракционный регенерат и, в конечном итоге, восстанавливать длину конечности пациента. Г. А. Илизаров говорил в этом случае о "стимулирующем влиянии напряжения растяжения на генез тканей".

Среди основных принципов дистракционного остеосинтеза (стабильный остеосинтез, атравматичность оперативного вмешательства, оптимальный темп и ритм дистракции) называют и необходимость функциональной нагрузки на конечность [2].

Целью данной работы является попытка определить степень влияния функциональной нагрузки на удлиняемую кость, непосредственно на дистракционный регенерат.

Огромный опыт РНЦ "ВТО" по удлинению конечностей позволяет говорить о том, что функция конечности во время удлинения несомненно положительно влияет на гемодинамику, на трофику конечности, а, следовательно, и на течение репаративного костеобразования. Объективным критерием этого влияния являются сроки лечения больных. Наиболее короткие сроки дистракционного остеосинтеза и сроки реабилитации больного отмечены при использовании метода Илизарова [7].

Каков же характер и степень нагрузок на дистракционный регенерат при удлинении нижних конечностей?

С момента начала периода дистракции со-

противление тканей, связывающих костные фрагменты (мышцы, фасции, дистракционный регенерат, сосудисто-нервные образования и т.д.) преодолеваются аппаратом, суммарное напряжение которого достаточно хорошо изучено [1, 5, 6]. При удлинении конечности по методу Илизарова усилия аппарата к концу периода дистракции достигают обычно 500 - 600 Н. Четкой дифференцировки степени сопротивления различных тканей *in vivo* дать невозможно, но по динамике дистракционных усилий можно предположить, что первое время (до 4 - 6%) удлинения сопротивление оказывает мягкотканый аппарат удлиняемого сегмента: эластическая деформация тканей сменяется пластической деформацией, когда начинается наиболее активный рост всех мягкотканых образований. Параллельно все время протекает регенерация кости, формируются коллагеновые волокна, пучки. Масса их нарастает и сопротивление увеличивается. К моменту удлинения до 8-9 % исходной длины сегмента конечности превалирование этих тканей в суммарном сопротивлении становится очевидным. Скорость роста и уровень усилий имеет прямую корреляционную зависимость от интенсивности регенераторного процесса в кости, плотности регенерата, его площади поперечного сечения ($r = 0,7$ при $p < 0,05$).

Период дистракции заканчивается после достижения запланированной величины удлинения конечности. После этого начинается второй большой и важный период остеосинтеза — период фиксации.

В течение первого периода формируется дистракционный регенерат, который на рентгенограмме характеризуется двумя минерализованными участками сформированной кости и центральным участком, рентгеннегативной зоной, так называемой "зоной роста" костного регенерата. Высота этой зоны достигает 1

см и более. Гистологически зона представляет из себя соединительнотканную прослойку, зону продольно ориентированных коллагеновых волокон.

Задача второго периода — жестко фиксировать костный регенерат до тех пор, пока на месте зоны роста не сформируется кость с непрерывной кортикальной пластинкой. Структура и минеральная насыщенность регенерата должна обеспечить возможность безопасной нагрузки на конечность во время ходьбы и противостоять изгибающим и скручивающим моментам сил со стороны мышц. В первые две недели фиксации уровень дистракционных усилий обычно падает до 50%, что отражает процесс релаксации тканей. В последующем уменьшение усилий происходит очень медленно (около 50 Н в месяц).

По-видимому, справедливо рассматривать возможность и влияние функциональной нагрузки в каждом из этих больших периодов раздельно. В период дистракции структурные слои регенерата испытывают напряжение и деформации растяжения и адаптируются к этому состоянию.

Ряд авторов отмечает, что аппарат Илизарова позволяет перемещаться костным фрагментам по длине во время ходьбы за счет амортизации тонких спиц [3, 8]. Однако величина этого перемещения не была известна. Теоретические расчеты показывают, что даже в условиях нейтрального остеосинтеза, в случае когда в каждой опоре аппарата фиксация костных фрагментов выполняется тремя спицами, а сила натяжения каждой из них составляет 120 кгс, наиболее возможное значение коэффициента жесткости аппарата равно 7,5 кгс/мм. Это означает, что нагрузка величиной в 7,5 кгс вызывает уменьшение диастаза между костными фрагментами на 1 мм.

Клинический опыт показывает, что во время активной дистракции больной всегда ходит с костылями и нагрузка на оперированную ногу не превышает 10-20% от веса тела.

Таблица 1.
Степень перемещения "костного фрагмента" при нагрузке.

Продольная нагрузка на фрагмент (Н)	Величина смещения фрагмента (мм)
0	0
100	1,250±0,2
200	1,150±0,15
300	1,037±0,1
400	0,875±0,2
500	0,800±0,23
600	0,780±0,15
700	0,750±0,3
800	0,750

Влияние дистракционных усилий на амортизацию спиц выражено в том, что они уве-

личивают исходное натяжение спиц и, следовательно, должны уменьшить амортизацию последних.

Модель костного фрагмента в виде алюминиевого цилиндра диаметром 25 мм мы фиксировали в кольце аппарата Илизарова диаметром 140 мм тремя спицами Киршнера. Спицы были натянуты силой 1370 Н. Фиксируя кольцо неподвижно, мы нагружали "костный фрагмент" и измеряли степень его смещения (таблица 1).

Данный эксперимент подтвердил теоретические расчеты и показал, что с возрастанием дистракционных усилий перемещение костных фрагментов при функциональной нагрузке незначительно.

В этих условиях при каждом шаге лишь несколько снижается напряжение растяжения в зоне соединительнотканной прослойки. Для того чтобы регенерат начал испытывать усилия сжатия следует полностью преодолеть уровень дистракционных усилий, что практически невозможно.

Период фиксации характеризуется медленным замещением соединительнотканной прослойки спонгиозной костной тканью. По мере уменьшения уровня дистракционных усилий должна происходить медленная адаптация вновь образованной кости к нагрузкам продольного сжатия. По мере уменьшения дистракционных усилий в течение нескольких месяцев от 500 - 600 Н до нейтрального остеосинтеза увеличивается доля усилий сжатия, воспринимаемая регенератом в процессе функциональной нагрузки. Причина снижения дистракционных усилий заключается в релаксации тканей, резорбции кости в зоне спиц, остаточных деформациях спиц и деталей аппарата. Одновременно те же факторы отрицательно влияют на процесс перестройки костного регенерата - нейтральный остеосинтез снижает жесткость фиксации кости, стабильность остеосинтеза.

Данное противоречие решается быстрым переводом дистракционного остеосинтеза в компрессионный (А. В. Попков, В. И. Шевцов — приоритет от 13.04.94, положительное решение от 14.09.95). Сближение опор производится до полного контакта концов костных отделов дистракционного регенерата, т.е. на высоту зоны роста. Для того чтобы не потерять длину сегмента конечности его заведомо переудлиняют на высоту "зоны роста" регенерата.

Прием полного сближения костных фрагментов и контакта спонгиозной костной ткани решает задачу передачи функциональной нагрузки на костный регенерат, а компрессионный остеосинтез повышает стабильность положения костных фрагментов.

Проведенные в РНЦ "ВТО" гистологические, радионуклидные и рентгенологические

исследования показали резкое повышение репаративных процессов в зоне контакта. Начинается активная адаптация костного регенерата, полученного в условиях distraction, к новым условиям — компрессионным. Опорное нагружение конечности в этих условиях увеличивает силу сжатия регенерата, вызывая пульсацию напряжений и деформаций сжатия.

Известно, что модуль упругости при сжатии спонгиозной ткани варьирует в пределах от 2,6 до 60 кГс/мм [9]. При самом низком модуле упругости и незначительном диаметре регенерата (20 мм) коэффициент жесткости достигает 180 кГс/мм. Следовательно, с данного момента возможна ходьба с полной нагрузкой на оперированную конечность.

Продольная деформация регенерата под нагрузкой возможна не более чем на 0,3 мм. Коэффициент безопасности на сжатие — N (отношение допустимой нагрузки к фактической) равен 3. Аппарат Илизарова в это время служит только для профилактики угловых деформаций. Через 2-3 недели происходит сращение костных отделов регенерата и аппарат может быть снят.

Таким образом биомеханические расчеты показали, а клинический опыт полностью подтвердил гипотезу о том, что адаптация distractionного регенерата к условиям компрессии происходит очень быстро, без потери длины сформированного регенерата, с активизацией регенераторного процесса и сокращением периода фиксации до 2-3 недель.

ЛИТЕРАТУРА

1. Введенский С.П., Точилина Н.Б. Влияние distractionных усилий при удлинении бедра на его биомеханическую систему и смежные суставы // Мед. биомеханика. — Рига, 1986. — в 2-х томах. — Т.2. — С.187-192.
2. Илизаров Г.А. Значение комплекса оптимальных механических и биологических факторов в регенеративном процессе при чрескостном остеосинтезе // Эксперим.-теорет. и клин. аспекты разработ. в КНИИЭКОТ метода чрескостного остеосинтеза: Тез. докл. Всесоюз. симпоз. с участием иностр. специалистов. — Курган, 1983. — С.5-15.
3. Корж А.А., Шевченко С.Д., Рынденко В.Г. Сравнительная характеристика компрессионно-distractionных аппаратов // Акт. вопросы военной травматол. — М., 1984. — С.31-36.
4. Методы ядерной медицины в оценке функционального состояния конечности при компрессионно-distractionном остеосинтезе по Илизарову / А. А. Свешников, Л. А. Смотров, Н. Б. Мингазова и др. // Эксперим.-теорет. и клин. аспекты разработ. в КНИИЭКОТ метода чрескост. остеосинтеза: Тез. докл. Всесоюз. симпоз. с участием иностр. специалистов. — Курган, 1983. — С.40-41.
5. Попков А.В. Distractionные усилия при удлинении бедра по методу Илизарова // Чрескост. компресс. и distraction. остеосинтез в травматол. и ортопедии: Сб. науч. работ. — Вып. 3. — Л., 1977. — С.76-81.
6. Попков А.В., Руц Ф.Я., Зырянов С.Я. Динамика distractionных усилий при удлинении голени по Илизарову // Проблемы чрескост. остеосинтеза в ортопед. и травматол.: Сб. науч. работ. — Вып.8. — Курган, 1982. — С.139-143.
7. Попков А.В. Оперативное удлинение нижних конечностей у взрослых больных методом Илизарова: Дис ... докт. мед. наук в форме научного доклада. — Иркутск, 1992. — 63 с.
8. Утенькин А.А. О критериях оценки деформативности компрессионно-distractionных аппаратов // Чрескост. компресс. и distraction. остеосинтез в ортопедии и травматологии: Темат. сб. науч. тр. КНИИЭКОТ. — Вып. 6. — Курган, 1980. — С.170-174.
9. Pauwels F. Biomechanics of the Locomotor Apparatus. — Springer - Verlag. — Berlin. Heidelberg. New York, 1980. — 518 p.

Рукопись поступила 13.03.96 г.