

© Д.В. Долганов, А.А. Свешников, 1996.

Участие тканевой гидратации в регуляции костеобразовательной активности

Д.В. Долганов, А.А. Свешников

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)

Физиологическими и денситометрическими методами контроля комплексно обследованы 25 больных с посттравматическими дефектами костей голени до и в различные периоды лечения по Илизарову. Установлено, что тканевая гидратация оказывает сложное и статистически достоверное влияние на биомеханические, гемодинамические и денситометрические характеристики тканей оперированной конечности. Физиологический смысл этого влияния обнаруживался в том, что участие гемодинамических параметров в костеобразовательной активности отчетливо проявлялось только при наличии признаков тканевой гипергидратации. Оказалось, что минеральный состав костного регенерата есть функция нескольких переменных, включающих как характеристики тканевой гидратации, так и гемодинамические параметры, участвующие в регуляции гидростатического состояния тканей. В результате анализа причинно-следственных отношений между исследованными параметрами сделано заключение о важной роли тканевой гидратации в регуляции костеобразовательной активности.

Ключевые слова: костеобразовательная активность, гидратация тканей.

В процессе чрескостного остеосинтеза минеральный состав костного регенерата претерпевает значительные изменения от полной деминерализации до уровня полноценной кости, поэтому на этапах лечения ортопедотравматологических больных существенно повышается фон в отношении кальций-регулирующих гормонов [1, 2]. Вместе с тем, механизмы, контролирующие минеральный состав костной ткани, не могут быть обусловлены только гормональной регуляцией, поскольку доставка минеральных компонентов и гормонов в область активного костеобразования и другие отделы скелета гуморально осуществляется не одинаково, а в соответствии с текущими регионарными особенностями и онтогенетическими потребностями развития.

Ранее проведенными исследованиями нами обнаружено [3, 4], что среди обстоятельств, гуморально обеспечивающих костеобразовательные процессы, выявляются факты, косвенно свидетельствующие об особом участии гидростатических нарушений (отеков) в перераспределении сегментарного кровотока, преимущественно в область активного костеобразования.

Среди посылок в пользу такого суждения следует отметить следующие:

- 1) кровоснабжение конечности у ортопедотравматологических больных в процессе остеосинтеза увеличивалось на фоне резкого угнетения сократительной функции скелетных мышц сегмента и коэффициента капиллярной фильтрации, что указывало на усиление функций вегетативного обеспечения (дыхательной, трофической, экскреторной и т.д.) не в отношении тканей, выполняющих сократительную деятельность, а в отношении структур, участвующих в процессах костеобразования;
- 2) кроме того, интенсивность кровоснабжения при остеосинтезе возрастала пропорционально тяжести гидростатических нарушений (величине отека и тканевому тургору), которые были сопряжены и разнонаправленно менялись с рентгенологической зрелостью костного регенерата.

Если упомянутые посылки и выводы верны, то между минеральной "плотностью" костного регенерата, гемодинамическими параметрами и гидростатическими нарушениями должны выявляться устойчивые причинно-следственные отношения. С целью изучения функциональной роли тканевой гидратации в вегетативном обеспечении костеобразовательной активности и проведено настоящее исследование.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

До лечения и на различных этапах чрескостного остеосинтеза по Илизарову обследованы 25 больных с посттравматическими дефектами костей голени в возрасте от 12 до 63 лет. Измерение содержания минеральных веществ в регенерате и соответствующем участке кости здоровой конечности производили методом двуфотонной абсорбциометрии на дихроматическом

костном денситометре фирмы "Norland". При анализе материала использовались величины, характеризующие наиболее деминерализованные зоны остеобластической активности костного регенерата. У всех обследовавшихся производилось биомеханическое тестирование мышц и кожных покровов. Механические свойства тканей определяли в состоянии физическо-

го покоя со стороны задней поверхности голени, лежа на животе. Регистрация поперечной твердости мышц осуществлялась с помощью миотометра, выполненного на базе индикатора перемещения часового типа [5], а упруго-эластические свойства кожных покровов по степени их ротации, вызываемой приложением, тангенциально направленного, вращательного момента силы [6]. Для биомеханической характеристики тканевого тургора, зависящего от гидростатического состояния тканей [7], использовалась специально разработанная [8] расчетная формула:

$$T = \sqrt{D^2 + 10^6 \cdot E^2}$$

где T- показатель тургора (усл. ед.),
D - поперечная твердость мышц (усл. ед.),
E - показатель упруго-эластических свойств кожи (Н/см-градус).

Периферическое кровоснабжение конечностей исследовали на венозном окклюзионном плетизмографе модели "PERIQUANT-3500" (Швеция). Рассчитывались такие показатели, как: объемная скорость кровотока покоя ($F_{\text{пок}}$), объемная скорость венозного оттока (V), постишемическое пиковое увеличение объемной скорости кровотока ($F_{\text{пик}}$), индекс пикового кровотока (ИПК), коэффициент капиллярной фильтрации (ККФ).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Из результатов проведенного исследования (таблица 1) следует, что диапазон варьирования большинства показателей на больной конечности, как правило, больше, чем на здоровой. И хотя при чрескостном остеосинтезе среди некоторых гемодинамических параметров наблюдались статистически достоверные отклонения от значений исходного уровня и значений контралатерального сегмента, их математически ожидаемые величины не выходили за пределы диапазона варьирования аналогичных показателей на здоровой конечности. Совершенно иная ситуация обнаруживалась в отношении показателей минерального состава костного регенерата и биомеханических свойств мягких тканей. Математически ожидаемые значения упомянутых параметров в процессе чрескостного остеосинтеза (дистракция, фиксация) были не только статистически достоверно выше, но и выходили за пределы диапазона варьирования аналогичных показателей на здоровой конечности. Однотипное по характеру и степени выраженности поведение упомянутых параметров в процессе чрескостного остеосинтеза свидетельствовало о специфической причастности их к костеобразовательным процессам. Дифференцированный анализ зависимости между минеральным составом костного регенерата и тургором тканей показал, что с увеличением тканевого тургора показатели минерального состава достоверно понижались. Со значений тургора выше 200

единиц доверительная вероятность падения минералов становилась не ниже 0,95.

Выявлявшаяся при этом регрессионная зависимость имела обратно пропорциональный характер была с большим разбросом и без достоверного коррелирования. Вместе с тем, в процессе остеосинтеза на фоне тканевой гипергидратации обнаружилась ранее не проявлявшаяся корреляционная зависимость между кровотоком покоя и показателем "минеральной плотности" костного регенерата ($n=49$, $r=-0.294$, $p \leq 0.05$). Обнаруженная зависимость выявлялась на всех этапах остеосинтеза и была достоверной несмотря на то, что разброс параметров между кровотоком покоя и показателями, характеризующими гидростатические нарушения, был существенным. Из результатов регрессионного и корреляционного анализов следует, что вегетативное значение показателей объемной скорости кровотока в отношении костеобразовательной активности возрастает и проявляется только при наличии признаков тканевой гипергидратации. Кроме того, стало очевидным, что уровень минерализации костного регенерата, есть функция нескольких переменных, включающих не только гемодинамические показатели, но и параметры, характеризующие степень тканевой гидратации. Если это так, то среди гемодинамических показателей с минеральным составом костного регенерата должны особенно тесно коррелировать те, которые участвуют в регуляции гидростатического состояния тканей.

Таблица 1

Выборочные характеристики исследуемых показателей у больных с посттравматическими дефектами костей голени на этапах лечебно-реабилитационного процесса, $M \pm m$.

Показатели	Конечность	Исходные n = 14	Дистракция n = 18	Фиксация n = 12	После снятия n = 5	Диапазон вариации
Гемодинамические показатели						
1	больная	1,32± 0,38	2,58± 0,41	2,30± 0,40	0,97± 0,17	0,2-5,8 (71,9%)
	интактная	1,39± 0,33	1,27± 0,28	1,49± 0,24	0,90± 0,26	0,2-5,4 (70,6%)
2	больная	7,28± 1,27	8,49± 1,10	6,90± 1,06	13,5± 10,7	0,8-35,0 (73,1%)
	интактная	11,1± 1,21	9,13± 1,07	8,40± 1,20	14,4± 8,7	2,3-31,5 (54,0%)
3	больная	32,3± 7,40	34,1± 4,70	27,6± 3,67	11,8± 1,70	7,3-75,0 (59,6%)
	интактная	27,9± 3,18	23,6± 3,09	24,9± 3,84	29,5± 12,2	3,4-52,6 (46,1%)
4	больная	131,4± 5,5	164,5± 7,1	148,8± 9,6	111,7± 9,3	90-215 (21,4%)
	интактная	144,5± 9,3	162,5± 6,1	157,1± 8,7	145,0± 20,2	100-230 (18,6%)
5	больная	6,60± 1,80	3,79± 0,68	3,90± 1,60	11,25± 7,8	1,14-26,9 (17,5%)
	интактная	8,70± 1,5	11,35± 4,0	6,93± 1,49	15,23± 8,1	2,5-65,0 (11,5%)
Биомеханические показатели						
6	больная	117,4± 11,5	210,0± 12,1	211,5± 14,7	152,3± 17,0	78-310 (33,6%)
	интактная	123,4± 17,2	88,6± 9,04	103,5± 7,4	147,0± 1,7	24-182 (41,2%)
7	больная	0,067± 0,0044	0,149± 0,0169	0,128± 0,0164	0,075± 0,0130	0,05-0,31 (49,6%)
	интактная	0,080± 0,0037	0,081± 0,0055	0,074± 0,0049	0,064± 0,026	0,05-0,13 (21,8%)
Минеральный состав						
8	больная	-	0,41± 0,05	0,58± 0,07	1,19± 0,14	0,2-1,42 (51,8%)
	интактная	1,21± 0,06	1,22± 0,04	1,23± 0,05	1,48± 0,14	0,76-1,7 (14,8%)
9	больная	-	32,9± 3,6	47,3± 5,4	81,3± 6,4	16,9-93,8 (45,9%)

1 - кровоток покоя, мл/мин·100 см³; 2 - кровоток пиковый, мл/мин·100 см³; 3 - скорость венозного оттока, мл/мин·100 см³; 4 - АД регионарное, мм рт. ст.; 5 - индекс пикового кровотока, отн. ед.; 6 - поперечная твердость мышц, усл. ед.; 7 - упруго-эластические свойства кожных покровов, Н/см·град; 8 - содержание минерала, г/см²; 9 - минеральный состав относительно интактной конечности. Указан диапазон варьирования признака и коэффициент вариации (%).

Успешный поиск таких параметров подтвердил справедливость сделанного предположения и после оценки удельного вклада обнаруженных показателей в костеобразовательную активность позволил с помощью уравнения множественной регрессии определять ожидаемые значения минерального состава (МС) костного регенерата по следующей формуле:

$$MC = \frac{57,601}{T} + \frac{0,59352}{e^F} + 0,021688 \cdot G - 0,0032386 \cdot U + 0,52658 \quad \text{гд}$$

е T- тургор тканей (усл. ед.),

F - кровоток покоя (мл/мин·100 см³),

G - показатель величины постишемического гемодинамического дисбаланса (мл/мин·100 см³),

U - показатель уровня постишемического гемодинамического дисбаланса (мл/мин·100 см³).

Из дополнительно установленных расчетных параметров показатель G характеризует величину отклонения фактически регистрируемых гемодинамических состояний от их нормативных значений. Первые определялись на больной конечности по скорости венозного оттока (V) и постишемическому пиковому приросту объемной скорости кровотока ($F_{\text{пик}} - F_{\text{пок}}$), а вторые по аппроксимированной зависимости между упомянутыми показателями на здоровой конечности (рис. 1). Показатель U отражает уровень, при котором регистрируемое гемодинамическое

состояние проецировалось на аппроксимированную кривую нормативной зависимости (рис. 1). Во всяком случае, после введения упомянутых показателей в уравнение множественной регрессии коэффициент корреляции между ожидаемыми и фактически регистрируемыми значениями минерального состава костного регенерата составил 0,715 при n=49 и $p \leq 0,001$.

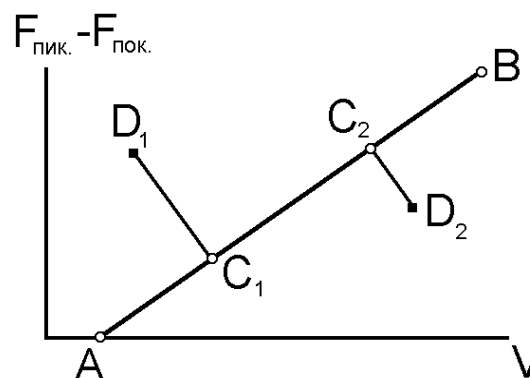


Рис. 1. Графическая интерпретация параметров, участвующих в регуляции тканевого тургора. Где V - скорость венозного оттока (мл / мин· 100см³); $F_{\text{пик}} - F_{\text{пок}}$ - постишемический пиковый прирост кровотока (мл/мин·100см³); АВ - нормативные значения гемодинамически сбалансированных состояний; D₁, D₂...D_n - фактически регистрируемые гемодинамические состояния; C₁D₁, C₂D₂...C_nD_n - величины постишемического гемодинамического дисбаланса; AC₁, AC₂...AC_n - показатели уровня постишемического дисбаланса.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализируя обстоятельства и изменения в поведении показателей наиболее часто встречающиеся при остеосинтезе и сочетающиеся с костеобразовательной активностью следует перечислить следующие:

- 1) изменения в регионарной гемодинамике, связанные с усиленным кровоснабжением оперированной конечности,
- 2) отсутствие анатомической целостности кости и наличие диастаза между отломками,
- 3) альтерация тканей и активизация воспалительных процессов,
- 4) наличие признаков тканевой гипергидратации,
- 5) повышение гормонального фона в отношении остеотропных гормонов,
- 6) снижение функциональной активности органа,
- 7) наличие специфических биомеханических условий и воздействий, создаваемых конструкцией аппарата.

В то же время, все перечисленные обстоятельства в отдельности оказались необязатель-

ными условиями для костеобразования. Проведенный анализ показал, что:

- отсутствие анатомической целостности и наличие диастаза между костными отломками у обследованных до лечения больных с дефектами костей голени являлись недостаточным условием для начала костеобразовательной активности,
- изменения со стороны регионарной гемодинамики были также неспецифическими признаками костеобразования, поскольку кровоснабжение конечности даже в процессе остеосинтеза не превышало диапазона варьирования регистрировавшихся показателей на здоровой конечности и могло усиливаться в еще большей степени рефлекторно (предстартовое напряжение), под влиянием мышечной деятельности, а также при гипо- и гипертермии без каких-либо признаков костеобразования,
- повышение уровня остеотропных гормонов в процессе лечения также не соответствовало требованиям специфичности, так как костеобразовательная активность проявлялась не

во всех сегментах скелета, а только в зоне остеосинтеза, - даже такие обстоятельства, как активация воспалительных процессов, угнетение функциональной дееспособности органа и наличие биомеханических воздействий со стороны аппарата оказались необязательными в костеобразовательной деятельности, так как в онтогенезе костеобразовательная активность успешно реализуется и без участия перечисленных обстоятельств,

- и, наконец, тканевая гипергидратация при нарушениях водного баланса сердечной и почечной этиологии тоже не сопровождалась признаками костеобразования.

Как и следовало ожидать, костеобразовательная активность функция многих переменных и поэтому только в определенных сочетаниях перечисленные обстоятельства являются достаточными для реализации костеобразовательной функции. Вместе с тем, учитывая множественные связи тканевой гидратации с биомеханическими, гемодинамическими и денситометрическими изменениями следует отметить ее особые свойства в качестве сопутствующего признака и неспецифического регулятора костеобразования.

В пользу такого заключения свидетельствуют и результаты проведенных исследований:

Во-первых, у всех обследованных больных рентгенографические и денситометрические признаки костеобразовательной активности практически всегда наблюдались на фоне более или менее выраженной отека тканей.

Во-вторых, при остеосинтезе из использованных показателей только параметры минерального состава и биомеханические характеристики тургора тканей выходили за пределы диапазона варьирования аналогичных величин на здоровой конечности.

В-третьих, вегетативная роль гемодинамических показателей в костеобразовательной активности отчетливо проявлялась только при наличии признаков тканевой гипергидратации.

И в-четвертых, скоростные показатели естественного роста (прирост длины голени и тела) у детей и подростков также оказались связаны с регуляцией тканевого тургора. Во всяком случае, при продольном физиологическом обследовании детей и подростков [9] гидростатический фактор в регуляции темпов естественного роста оказался доминирующим.

Таким образом, из известных нам на сегодняшний день внешних и внутренних проявлений костеобразования, тканевая гидратация является важным неспецифическим регулятором остеогенной активности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радионуклидные исследования репаративного костеобразования и его гормональная регуляция при лечении открытых переломов костей голени методом Г.А. Илизарова/ А.А. Свешников, С.И. Швед, Л.А. Смотров и др. // Чрескост. компресс.-дистракция. остеосинтез в травматологии и ортопедии: Сб. науч. трудов КНИИЭКОТ. Вып. 11- Курган, 1986. - с.14-26.
2. Радионуклидные исследования костеобразования, кровообращения и концентрации гормонов при удлинении голени у больных ахондроплазией./ А.А. Свешников, В.И. Грачева, В.И. Шевцов и др. // Там же - С.57-71.
3. Шевцов В.И., Долганов Д.В., Бородайкевич Р.Д. Функциональная роль гидростатических нарушений в гемодинамическом обеспечении костеобразования при лечении по Илизарову неправильно сросшихся переломов диафиза костей голени // Материалы VI съезда травматологов-ортопедов СНГ. - Ярославль, 1993.-С.381
4. Вегетативное обеспечение нижних конечностей при лечении больных с последствиями травм методиками чрескостного остеосинтеза / В.И. Шевцов, Д.В. Долганов, В.Д. Макушин, Т.И. Долганова // Ортопед. травматол. - 1994. - № 4. - С. 85.
5. Щуров В.А., Кудрин Б.И., Шеин А.П. Взаимосвязь биомеханических и функциональных характеристик мягких тканей голени при её удлинении по Илизарову // Ортопед. травматол. - 1981. - № 10. - С. 30-34.
6. Кудрин Б.И., Щуров В.А., Дякин В.М. Методика прижизненного механического тестирования кожных покровов человека // Ортопед. травматол. - 1980. - №5. - С.63-65.
7. Шевцов В.И., Долганов Д.В., Бородайкевич Р.Д. Применение биомеханического тестирования мягких тканей в оценке тяжести гидростатических нарушений и ортостатических отеков // Биомеханика на защите жизни и здоровья человека: Тез. докладов Всеросс. Конф. - Н.Новгород, 1992. - С.236-237.
8. Долганов Д.В., Макушин В.Д. Куфтырев Л.М. Диагностика нарушений гидростатического состояния мягких тканей у больных с дефектами костей нижней конечности // Там же. - С.68-69.
9. Комплексное физиологическое обследование детей с использованием факторного анализа / Д.В. Долганов, Т.И. Долганова, С.А. Попов и др. // Проблемы и методы исследования возрастной физиологии: Материалы Всесоюз. симп. - Баку, 1987. - С. 38

Рукопись поступила 27.12.95 г.