

© Ю.М.Ирьянов, 1998

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ РЕГЕНЕРАТОВ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ ПРИ СТАБИЛЬНОЙ ФИКСАЦИИ КОСТНЫХ ОТЛОМКОВ АППАРАТОМ ИЛИЗАРОВА

Ю.М.Ирьянов

SPATIAL ORGANIZATION AND PECULIARITIES OF MINERALIZATION OF THE REGENERATES, FORMED UNDER STABLE FIXATION OF BONE FRAGMENTS WITH THE ILIZAROV APPARATUS

Y.M.Irianov

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

При помощи методов сканирующей электронной микроскопии и рентгеновского электронно-зондового микроанализа исследованы регенераты большеберцовых костей собак, формирующиеся после флекссионной остеоклазии в условиях стабильной фиксации отломков аппаратом Илизарова. Установлено, что новообразованные костные трабекулы в регенератах замыкаются сами на себя и формируют сеть округлых костных лакун. В необычно ранние сроки - уже на 5-е сутки после операции в регенератах образуется первичное эндостальное костно-остеоидное сращение и начинает формироваться костная мозоль в интермедиарном пространстве. На 12-е сутки последнее почти полностью заполняется новообразованной костной тканью. По степени минерализации регенераты на 19-е сутки приближаются к показателям неповрежденного диафиза, хотя отличия еще остаются статистически достоверными.

Ключевые слова: репаративное костеобразование, аппарат Илизарова, сканирующая электронная микроскопия, электронно-зондовый микроанализ.

Canine tibial regenerates, formed after flexion osteoclasia during stable fixation of fragments with the Ilizarov apparatus, were studied, using methods of scanning electron microscopy and roentgen electron-probe microanalysis. It was established, that newly formed bone trabeculae in the regenerates were closed into themselves and formed a network of round bone lacunae. Primary endosteal osteo-osteoid union was formed and bone callus began forming in the interfragmental space of the regenerates unusually early - quite on 5-th day after surgery. This space was almost completely filled with newly formed bone tissue on 12-th day. By mineralization degree the regenerates approximated the indices of intact diaphysis on 19-th day, though differences were still statistically significant.

Keywords: reparative osteogenesis, the Ilizarov apparatus, scanning electron microscopy, electron-probe microanalysis.

При стабильной фиксации костных отломков и устойчивом остеосинтезе периостальная мозоль, как известно, [1, 2, 3] небольшая или практически не образуется, а в области перелома по периостальной и эндостальной поверхности, как реакция на травму, формируются лишь незначительные костные разрастания и сращение костных отломков осуществляется непосредственно по линии излома коркового слоя кости, то есть за счет интермедиарной костной мозоли [4]. Было показано, что щель между отломками при этом должна быть не менее 100 мкм для обеспечения условий, необходимых для прорастания сосудов и околососудистых клеток [5, 6].

При устойчивом остеосинтезе сращение костных отломков может осуществляться по типу, так называемого, первичного заживления пере-

лома. Этот термин был предложен [7] по аналогии с заживлением ран мягких тканей путем первичного натяжения, когда молодая ткань не приобретает строение, характерное для грануляционной ткани, и образование рубцовой ткани при этом минимально [8, 9], хотя, как справедливо замечают В.В.Серов и А.Б.Шехтер [10], представление о том, что заживление ран возможно вообще без формирования рубцовой ткани несостоятельно.

Различные авторы вкладывают в термин "первичное заживление перелома" различный смысл. Одни из них полагают [11], что при таком способе заживление переломов костей возможно путем непосредственного образования тонковолокнистой пластинчатой костной ткани вообще без образования рубцовых тканей, к

которым они причисляют и костный регенерат, образованный периостальной и эндостальной мозолями. При этом сращение, как было показано, происходит путем проникновения новообразованных остеонов противоположащих отломков через линию излома и интраканаликулярного остеогенеза, в результате которого новообразованная пластинчатая костная ткань соединяет подобно штифтам оба отломка. Однако сращение при таком способе осуществляется лишь в области гаверсовых каналов, а на остальном протяжении линия излома сохраняется длительное время, что делает возможным рефрактуру даже при небольших нагрузках [3, 4].

Другие авторы [12] под первичным заживлением перелома понимают такой способ сращения костных отломков, который осуществляется непосредственно костной тканью любого строе-

ния, в том числе и незрелой костной тканью, без образования на начальных этапах заживления соединительнотканного или хрящевого регенерата и последующего десмального или энхондрального остеогенеза. Т.П.Виноградова и Г.И.Лаврищева [3] определяют первичное сращение перелома как такое, которое происходит путем непосредственного образования интермедиарной костной мозоли без периостальной мозоли, что наблюдается в условиях стабильной фиксации отломков и устойчивого нейтрального остеосинтеза без взаимодействия отломков.

Целью настоящей работы явилось изучение особенностей пространственной организации и минерализации костной ткани в регенератах, формирующихся при стабильной фиксации костных отломков аппаратом Илизарова.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Регенераты большеберцовых костей 26 взрослых собак, формирующиеся в условиях стабильной фиксации отломков аппаратом Илизарова, вырезали вместе с костными отломками на 3, 5, 12 и 19 сутки после операции (флекссионной остеотомии в средней трети диафиза), фиксировали в параформ-глутаральдегиде и заключали в эпон.

Регенераты и большеберцовые кости 10 ин-

тактных животных распиливали вдоль. Поверхности распилов полировали мелкообразивными материалами, напыляли тонким слоем углерода, или меди в вакуумном напылителе "JEE-4X/5B" и изучали при помощи сканирующего электронного микроскопа "JSM-840" и рентгеновского электронно-зондового микроанализатора "LINK 860-500".

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенные исследования показали, что на 5-е сутки после операции в эндостальном слое проксимального и дистального отломков выявляются костные трабекулы, распространяющиеся на 2-3 мм от плоскости перелома (Рис.1). По пространственной организации трабекулы на этом этапе эксперимента четко подразделяются на два типа. Большая часть из них лакунарной формы, они не имеют какой-либо преимущественной ориентации и образуют мелкоячеистую сеть вблизи внутренней поверхности коркового слоя кости. Другие, их значительно меньше, приобретают форму прямолинейных структур длиной 1-1,5 мм, ориентированных преимущественно вдоль длинной оси кости. Некоторые из трабекул уже на 5-е сутки эксперимента достаточно кальцифицированы и содержат до 10-15% кальция, что составляет 40-60% от уровня кальцификации коркового слоя диафиза большеберцовой кости.

В узком эндостальном слое толщиной 2-3 мм трабекулы пересекают линию излома и на 5-е сутки после операции соединяют концы костных фрагментов, образуя первичное костно-остеоидное сращение с кальцификацией в зоне перелома 1-2% (Рис.2).



Рис. 1. Пространственная организация новообразованных костных трабекул в регенератах, характеризующаяся наличием прямолинейных структур и округлых лакун в эндостальном слое отломков, в участках, примыкающих к зоне перелома. 5-е сутки после операции. Электронная сканограмма. Увеличение 15.

Небольшие костные осколки, образовавшиеся при операции и локализованные в костномозговом канале вблизи от зоны перелома, играют роль своеобразного аутотрансплантата и стимулируют процесс минерализации новообразующейся костной ткани, о чем свидетельствует формирование вокруг них костных трабекул, кальцифицированных до 18-20% уже на 5-е сутки после операции. Вблизи от мелких костных осколков на этом этапе эксперимента начинают формироваться и интермедиарное сращение, а на 12-е сутки - интермедиарные пространства при этом практически полностью заполняются новообразованной костной тканью (Рис.3, 4).

В экспериментах, где после операции наблюдается высокая степень конгруентности концов отломков и отсутствуют в зоне перелома костные осколки, начальные этапы формирования интермедиарного сращения отмечаются лишь на 19-е сутки после операции (Рис.5). На этом этапе эксперимента образуется мощная эндостальная мозоль и слой периостальных наслоений, однако в узкой щели между отломками шириной 40-50 мкм образование костной ткани незначительно или полностью отсутствует (Рис.6).

На 12-е и 19-е сутки эксперимента прямолинейные костные структуры в регенератах не обнаруживаются. Новообразованные костные трабекулы замыкаются сами на себя и пространственная организация костной ткани регенератов характеризуется наличием сети округлых костных лакун.



Рис. 2. Начальный этап формирования эндостального и интермедиарного костно-остеоидного сращения. 5-е сутки после операции. Электронная сканограмма. Увеличение 40.

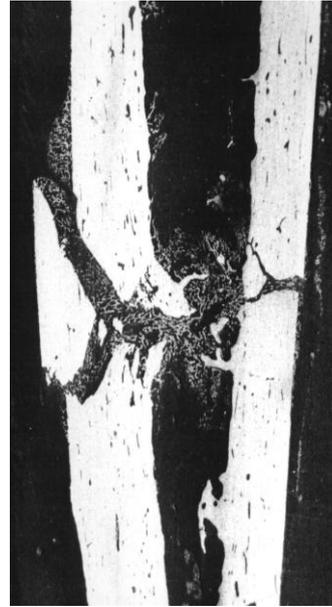


Рис. 3. Мелкоячеистая сеть костных трабекул, формирующих периостальное, интермедиарное и эндостальное сращение. 12-е сутки после операции. Электронная сканограмма. Увеличение 4.

Исследования процессов минерализации регенератов, формирующихся в условиях стабильной фиксации отломков, выполненные при помощи метода рентгеновского электронно-зондового микроанализа, представлены в виде статистически обработанных количественных данных в таблицах 1, 2, 3.



Рис. 4. Вростание костных трабекул с периостальной поверхности в интермедиарное пространство регенерата. 12-е сутки после операции. Электронная сканограмма. Увеличение 30.



Рис. 5. Периостальное и эндостальное сращение и начальные этапы формирования костной мозоли в интермедиарном пространстве регенерата. 19-е сутки после операции. Электронная сканограмма. Увеличение 4.

Из приведенных данных видно, что на 19-е сутки после операции регенераты по содержанию кальция и фосфора приближаются к показателям неповрежденного диафиза (в последнем анализировали корковый слой вместе с костномозговым каналом), однако отличия по этим показателям еще остаются статистически достоверными (Табл. 1). Вместе с тем, величина отношения концентрации кальция и фосфора (Са/Р), характеризующая степень кристаллизации минерала в новообразованной костной ткани регенератов, начиная с 12-го дня после операции, достоверно не отличается от показателей неповрежденного диафиза.

Однако, содержание в регенератах структурных компонентов костной ткани и на 19-е сутки после операции остается в несколько раз меньше, чем в кортикальном слое неповрежденного диафиза (Табл.2). Особенно значительно отличие по содержанию структурных компонентов костной ткани очень слабо и максимально каль-

цифицированных, что свидетельствует об активно продолжающихся процессах репаративно-костеобразования в регенератах.

Исследуя удельный объем различной степени кальцифицированных компонентов и индекс компактности (показатель, определяемый, как отношение концентрации костной и мягкой тканей, впервые введенный нами и используемый для количественной оценки степени зрелости костных регенератов), установлено, что костная ткань регенератов и на 19-е сутки после операции также значительно отличается от компактной, пластинчатой костной ткани коркового слоя неповрежденного диафиза (Табл.3). Так, удельный объем очень слабо кальцифицированных структур костной ткани, то есть органического матрикса на начальных этапах кальцификации, более чем в 5 раз выше по сравнению с корковым слоем, что также отражает активные костеобразовательные процессы в регенератах, продолжающиеся на этом этапе эксперимента.



Рис. 6. Отсутствие интермедиарного сращения в узкой щели между отломками. Сосудистые каналы в концах отломков не пересекают линию излома. 19-е сутки после операции. Электронная сканограмма. Увеличение 20.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что заживление переломов диафизов большеберцовых костей после флекссионной остеоклазии в условиях стабильной фиксации отломков аппаратом Илизарова происходит в ранние сроки и осуществляется, главным образом, за счет эндостальной мозоли, образованной густой мелкопетлистой сетью замкнутых

костных трабекул, соединяющих концы отломков в зоне костномозгового канала. Интермедиарная мозоль формируется за счет проникновения в щель между отломками остеогенных элементов вместе с сосудами, врастающими с периостальной и эндостальной поверхностей. При этом заживление переломов осуществляется непосредственно, так называемой, незрелой

костной тканью грубоволокнистого и сетчатого строения и происходит по типу первичного заживления костных ран, т.е. без образования в костной спайке соединительной и хрящевой ткани, что соответствует взглядам большинства авторов (3, 12) на трактовку данного процесса, в отличие от мнения некоторых исследователей (13), считающих, что первичным заживлением костных ран может считаться только такое, которое осуществляется благодаря формированию сразу зрелой пластинчатой костной ткани

при врастании остеонов навстречу друг другу из концов отломков, если щель между последними практически отсутствует (менее 50 мкм.). Проведенные нами исследования не подтвердили эти результаты, напротив, при щели между отломками менее 100-50 мкм. формирование интермедиарной мозоли значительно замедляется. Ни в одном случае в наших условиях эксперимента мы не наблюдали образование костного сращения сразу пластинчатой костной тканью.

Таблица 1
Содержание кальция и фосфора в регенератах и в неповрежденном диафизе большеберцовой кости (корковый слой вместе с костномозговым каналом) (%)

Исследованные элементы	Продолжительность эксперимента (сутки)				Неповрежденный диафиз
	3	5	12	19	
Кальций	0,14±0,01 ¹⁾	0,21±0,01 ¹⁾	6,08±0,29 ¹⁾	8,56±0,41 ¹⁾	10,70±0,12
Фосфор	0,09±0,01 ¹⁾	0,14±0,01 ¹⁾	3,07±0,15 ¹⁾	4,22±0,19 ¹⁾	5,06±0,06
Кальций	1,55±0,01 ¹⁾	1,50±0,01 ¹⁾	1,98±0,12	2,03±0,13	2,11±0,02
Фосфор					

¹⁾ Достоверное отличие ($p < 0,05$) по сравнению с неповрежденным диафизом.

Таблица 2
Содержание неминерализованных структур и компонентов костной ткани в регенератах и корковом слое неповрежденного диафиза (%)

Исследованные компоненты	Продолжительность эксперимента (сутки)				Корковый слой диафиза
	3	5	12	19	
Неминерализованные структуры	99,74±2,99	99,13±3,47	76,54±1,81	39,51±0,83	0,87±0,01
Компоненты костного матрикса:					
Кальцифицированные очень слабо	0,26±0,01	0,87±0,03	23,46±0,64	60,49±1,27	99,13±1,21
- слабо			8,26±0,22	17,65±0,38	27,04±0,42
- средне			5,50±0,16	17,61±0,37	40,13±0,47
- высоко			1,85±0,06	8,06±0,17	21,37±0,36
- максимально			0,32±0,01	1,94±0,04	5,61±0,08

Таблица 3
Удельный объем кальцифицированных в различной степени компонентов костной ткани и индекс компактности в регенератах, формирующихся в условиях стабильной фиксации отломков, и корковом слое неповрежденного диафиза (%)

Компоненты костной ткани	Продолжительность эксперимента (сутки)		Корковый слой диафиза
	12 ¹⁾	19 ¹⁾	
Кальцифицированные очень слабо	32,10 ± 0,85	25,18 ± 0,54	5,02 ± 0,08
- слабо	35,21 ± 0,94	29,18 ± 0,63	27,28 ± 0,42
- средне	23,23 ± 0,68	29,11 ± 0,61	40,48 ± 0,47
- высоко	7,89 ± 0,26	13,32 ± 0,28	21,56 ± 0,36
- максимально	1,36 ± 0,04	3,21 ± 0,07	5,66 ± 0,08

Индекс компактности 0,31 ± 0,02 1,53 ± 0,03 113,94 ± 2,67
¹⁾ Достоверное отличие всех показателей по сравнению с корковым слоем неповрежденного диафиза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романенко В.Д. Физиология кальциевого обмена. - Киев: Наук. думка, 1975. - 171 с.
2. Русаков А.В. Патологическая анатомия болезней костной системы // Введение в физиологию и патологию костной ткани. - М.: Медицина, 1959. - 536 с.
3. Виноградова Т.П., Лаврищева Г.И. Регенерация и пересадка костей. - М.: Медицина, 1974. - 247 с.
4. Mueller M. A propos de la guerison per priman des fractures // Rev. Chir. orthop. - 1964. - V.50. - P.697-704.
5. Лаврищева Г.И., Дубров Э.Я. О первичном заживлении костных ран // Архив патологии. - 1965. - N3. - С.37-43.
6. Лаврищева Г.И., Дубров Э.Я. О значении наличия и величины диастаза между отломками при сращении переломов костей первичным заживлением // Материалы научной сессии по травматологии и ортопедии. - Рига, 1966. - С.373-375.
7. Danis R. Theorie et pratique de l'osteosynthese. - Paris, 1949.
8. Каплан А.В. Техника лечения переломов костей. - Москва, 1948. - 201 с.
9. Чаклин В.Д. Направляющие линии в изучении и лечении переломов // Переломы костей и их лечение. - Свердловск, 1935. - С.3-25.
10. Серов В.В., Шехтер А.Б. Соединительная ткань. М.: Медицина, 1987. - 312 с.
11. Schenk R., Willenegger H. Zur Histologie der primaren Knochenbildung // Arch. klin. Chir. - 1964, Bd 308. - S.440-452.
12. Kuntscher G. Primare Knochenheilung // Arch. klin. Chir. - 1961. - Bd308. - S.452-457.
13. Schenk R., Willenegger H. Zur Histologie der primaren Knochenbildung // Arch. klin. Chir. - 1964, Bd 308. -S.440-452.

Рукопись поступила 16.02.98 г.

КАФЕДРА УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВРАЧЕЙ РНЦ "ВТО"

Кафедра усовершенствования врачей по чрескостному остеосинтезу в травматологии и ортопедии на базе Российского научного центра "Восстановительная травматология и ортопедия" имени академика Г.А.Илизарова проводит учебные циклы продолжительностью 2 недели:

- 1. Чрескостный остеосинтез в травматологии и ортопедии.**
- 2. Лечение больных с переломами костей конечностей.**
- 3. Лечение больных с ложными суставами и дефектами длинных трубчатых костей.**
- 4. Удлинение и устранение деформаций верхних и нижних конечностей.**
- 5. Метод Илизарова при ортопедической патологии у детей и взрослых.**
- 6. Чрескостный остеосинтез в лечении больных с патологией тазобедренного сустава.**

По согласованию с местными отделами здравоохранения и после подачи заявки в наш Центр могут быть проведены также и выездные циклы.

Информацию об условиях проведения циклов усовершенствования Вы можете получить по адресу:

640005 г. Курган, ул. М. Ульяновой, 6, РНЦ "ВТО" им. акад. Г.А.Илизарова,
Кафедра усовершенствования врачей.

Зав. кафедрой - д.м.н., профессор Швед Сергей Иванович, тел. (35222) 3-17-54

Телефон для справок: (35222) 7-39-76