

Симпозиум "Регенерация и рост тканей в условиях дозированного растяжения"

SYMPOSIUM "REGENERATION AND GROWTH OF TISSUES, USING GRADUATED DISTRACTION"

С. Н. Асонова (Курган)

Механизмы морфогенеза соединительнотканых структур конечности в условиях дозированного растяжения

Morphogenesis mechanisms of limb connective tissue structures in the conditions of graduated distraction

Механические напряжения являются одним из основных факторов морфогенеза в процессах естественного развития и роста. Этот феномен был использован Г. А. Илизаровым при разработке его метода и лег в основу "эффекта Илизарова". В данной работе были исследованы закономерности формообразования соединительно-тканых структур (СТ) - фасциальных оболочек и сухожилий мышц в условиях дозированного удлинения конечности.

Установлено, что напряжения растяжения, возникающие в тканях дозированно удлиняемой конечности, вызывают изменения тканевого, клеточного и субклеточного уровня организации СТ, которые можно сгруппировать в два блока признаков: 1) определяющие рост-стимулирующий эффект и 2) определяющие формогенный эффект напряжения растяжения. Рост-стимулирующий эффект затрагивает все структурные элементы СТ - гемомикроциркуляторное русло (ГМЦР), фибробластическую популяцию и межклеточный матрикс. При интегральной оценке этих изменений методом информационного анализа отмечается возрастание энтропии и снижение организации в первый месяц distraction, что свидетельствует об увеличении структурного разнообразия и интенсивности морфогенетических процессов.

Реакция ГМЦР состоит в активизации гематоканевого обмена и ангиогенезе, который носит пролонгированный характер и наблюдается в течение всего периода distraction. Реакция фибробластической популяции состоит в увеличении ее объема в тестовом объеме ткани СТ и возрастании биосинтетической активности, о чем свидетельствует динамика оценок стереологических параметров основных компартментов фибробластов - ядерного, цитоплазматического и ЭПР. В течение первого месяца distraction также возрастает полиморфизм фибробластов, увеличивается субпопуляция молодых форм, специализированных в направлении синтеза гликозаминогликанов, что сопровождается сдвигами в составе межклеточного матрикса. Объемная плотность основного вещества возрастает, а коллагеновых фибрилл - снижается. К концу второго месяца distraction преобладают дифференцированные формы фибробластов - коллагенобласты I типа. В результате становления их специфической функции и активизации процессов внеклеточного фибриллогенеза происходит увеличение относительно объема коллагеновых фибрилл и снижение относительно объема основного вещества. Как и для фибробластической популяции в первый месяц distraction наблюдается возрастание энтропии и снижение показателя организации межклеточного матрикса, что связано с активизацией процессов гликозаминогликанового, эласто- и коллагеногенеза. К концу 2-го месяца distraction преобладают процессы дифференцировки структур межклеточного матрикса, что сопровождается снижением его энтропии и возрастанием организации.

Формогенный эффект напряжения растяжения состоит в ориентации фибробластов и формируемых ими коллагено-

вых волокон по вектору растяжения. Ориентационная упорядоченность фибриллогенеза связана с поляризацией фибробластов и достигается путем компартментализации процессов приклеточного фибриллогенеза. Они происходят в глубоких инвагинациях фибробластов, которые располагаются по вектору растяжения. Степень ориентированности фибробластов по вектору растяжения максимально выражена к концу 2-го месяца distraction и нарастает параллельно с гипертрофией цитоскелета, которая обуславливает появление фибробластов контрактильного фенотипа. Для них характерно увеличение числа цитостромальных и межклеточных контактов, обеспечивающих механическую интеграцию фибробластов и передачу механических напряжений по клеточной сети. Через цитостромальные контакты с фибронектин-содержащими микрофибриллами эластических волокон происходит передача напряжений с межклеточного матрикса на структуры цитоплазмы фибробластов, благодаря трансмембранной связи приклеточных микрофирилл с цитофиламентами. Перенос внешних напряжений с клеточной периферии на структуры кариоматрикса осуществляют промежуточные филаменты, гипертрофия которых является характерной фенотипической особенностью "distractionных" фибробластов.

Таким образом, в условиях дозированного растяжения возникает связь структур межклеточного, цитоплазматического и ядерного матрикса фибробластов, которые формируют постулируемую в моделях формообразовательных процессов систему интеграции напряжений (Pienta e.a., 1991). Она определяет реализацию формогенного эффекта напряжения растяжения в исследованных соединительно-тканых структурах удлиняемой конечности.

С. Н. Асонова, А. М. Чиркова, Т. В. Русова, К. П. Кирсанов, Е. Л. Матвеева (Курган)

Морфобиохимические особенности реакции костной и хрящевой тканей на остеотомию позвоночника

Morphobiochemical peculiarities of reaction of bone and cartilaginous tissues to vertebral osteotomy

Изучали морфологию тел поясничных позвонков, гистохимическими и биохимическими методами исследовали прилежащие межпозвонковые диски после фиксации поясничного отдела позвоночника аппаратом внешней конструкции и моделирования перелома одного из поясничных позвонков (L₃) путем выполнения его полной поперечной остеотомии. Материал исследовали через 5, 9, 14, 21, 28 дней фиксации, а также через месяц после снятия аппарата.

Установлено, что линия остеотомии проходила в каудальной части позвонка, иногда вблизи замыкательной пластинки. В некоторых случаях отмечалось ее повреждение. Через 5 дней после операции в теле позвонка между отломками определялась щель высотой 0,5-1,5 мм, содержащая фибрин. В прилежащих к линии перелома межтрабекулярных пространствах костный мозг был некротически изменен, синусоиды - расширены, полнокровны. Вблизи от линии перелома, на глубине 3-4 мм наблюдались участки пролиферации остеогенных клеток и единичные остеонидные трабекулы.

Через 9 дней наблюдений отломки были спаяны новообразованными костноостеонидными трабекулами. Лишь в лате-

ральной части стыка на протяжении 5-7 мм между ними сохранялась узкая (0,2 мм) щель. Прилежащие к регенерату межтрабекулярные пространства были заполнены скелотенной тканью, а глубже расположенные - кроветворно-жировым мозгом.

К 14 дню фиксации по всей линии перелома, за исключением корковой пластинки, сформировалось костное сращение между отломками тела позвонка и его дужки. Отмечалась периостальная реакция вокруг спицевых каналов, расположенных в теле позвонка и его задних структурах.

Через 21-28 дней линия сращения определялась микроскопически с трудом, по мелким новообразованным трабекулам. В тех случаях, где не удалось плотно сопоставить отломки и было незначительное их смещение, оставался дефект корковой пластинки высотой 0,4-1,5 мм. В теле позвонка и его задних структурах костный мозг - кроветворно-жировой, с очажками некролиза, расположенными вблизи от линии сращения.

Межпозвоночные диски исследовали на сагиттальных распилах позвоночника в области L₄, L₅, L₆ позвонков, которые после гистологической обработки заключали в целлоидин и окрашивали ализариновым синим - ШИК по Yamabayaschi (1987) и толудиновым синим при pH 3,0. После остеотомии позвонка изменения выявляются в обоих прилежащих дисках, но наиболее выражены в диске, расположенном краниально. Характерными являются изменения формы и величины дисков, смещение пульпозного ядра дорсально и изменения фиброархитектоники фиброзного кольца. С увеличением срока эксперимента происходит замещение ткани пульпозного ядра волокнистым хрящом, что особенно выражено через месяц после снятия аппарата. В фиброзном кольце в первые 3 недели фиксации после остеотомии отмечается β-метахромазия, интенсивное возрастание ализаринофилии, увеличение доли ализаринофильных зон и уменьшение ШИК-позитивных зон, что свидетельствует об увеличении доли сульфатированных протеогликанов и снижении доли гликопротеинов.

В тканях межпозвоночных дисков (пульпозное ядро, фиброзное кольцо, замыкательная пластинка) методами аналитической биохимии определяли содержание протеогликанов (ПГ) и активность лизосомальных ферментов - гиалуронидазы, N-ацетилглюкозаминидазы, катепсина D. Обнаружено, что в периоде фиксации позвонка после остеотомии как в каудальных, так и в краниальных дисках наблюдаются однотипные изменения: снижение содержания гексуриновых кислот, сульфатированных протеогликанов. В пульпозном ядре увеличивается количество N-ацетилглюкозамина и N-ацетилгалактозаминов, изменяется спектр сульфатированных протеогликанов, возрастает количество общего белка. В пульпозном ядре увеличивается активность исследованных ферментов лизосом.

Таким образом, в условиях стабильной фиксации и плотного контакта отломков первичное костное сращение травмированного позвонка формируется в процессе репаративной реакции за 21-28 дней. В прилежащих межпозвоночных дисках наблюдается их деформация и, наряду с дегенеративно-дистрофическими изменениями, отмечается активация метаболических процессов.

В. В. Базарный, А. В. Осипенко
(Екатеринбург)

**Механизмы макрофагально-лимфоцитарной регуляции
дистракционного остеогенеза**

**Mechanisms of macrophagal-and-lymphocytic regulation of
distraction osteogenesis**

Восстановительные процессы в тканях при удлинении конечности методом чрескостного остеосинтеза по Г. А. Илизарову регулируются сложным комплексом факторов. Место иммунной системы среди них до последнего времени

остается предметом дискуссии. Это определило актуальность проведения данного исследования, цель которого заключалась в изучении роли иммунокомпетентных клеток в формировании дистракционного регенерата.

Эксперименты выполнены на 85 взрослых собаках, которым производили удлинение голени методом монолокального дистракционного остеосинтеза по Г. А. Илизарову. У животных оценивали состояние костного мозга, морфо-функциональный статус лимфоцитов и моноцитов-макрофагов в послеоперационном, дистракционном и фиксационном периодах. Полученные результаты позволили сформулировать концепцию макрофагально-лимфоцитарной регуляции костеобразования при удлинении сегмента конечности. Моноцитарно-макрофагальный контроль остеогенеза реализуется на уровне клеток-предшественников, мононуклеарных фагоцитов костного мозга и моноцитов крови. Он сопряжен с изменением в мононуклеарных фагоцитах окислительно-восстановительных процессов, их адгезивных свойств и секреторной активности.

В регуляции регенерации кости участвуют и различные популяции лимфоцитов, преимущественно - Т-клетки, с высокой чувствительностью к тимическим факторам и высокоаффинными рецепторами, а также большие гранулярные лимфоциты. Реализация остеогенезрегулирующей функции лимфоидных клеток связана с перестройкой ряда их морфо-функциональных свойств. К последним следует отнести как количественные параметры (продукция лимфоцитов в костном мозге и тимусе, уровень циркулирующих клеток), так и некоторые функциональные сдвиги: изменение интенсивности метаболических процессов и скорости эндогенного дыхания, повышение чувствительности клеток к тимическим пептидам, модификация рецепторного аппарата, продукция интерлейкинов. Участие иммунокомпетентных клеток в восстановительных процессах при дистракционном остеосинтезе осуществляется как путем непосредственного контакта с клетками-мишенями, так и посредством секреции растворимых медиаторов. Системные механизмы макрофагально-лимфоцитарной регуляции остеогенеза тесно сопряжены с локальными.

О. П. Березовская, Л. А. Палиенко (Курган)

**Системная реакция скелета на репаративную
регенерацию при удлинении голени по Илизарову**

**Systemic skeleton reaction to reparative regeneration in leg
elongation according to Ilizarov**

Чрескостный дистракционный остеосинтез по Илизарову обеспечивает оптимальные условия для роста кости в течение продолжительного времени. Было показано (Илизаров и др., 1980), что численность клоногенных стромальных клеток-предшественников возрастает в регенерирующей конечности, отражая динамику процесса остеогенеза. Однако реакция остеогенных клеток не была локальной, так как изменения в числе клоногенных клеток отмечены также в интактных костях контрлатеральных конечностей. С целью проверки этого наблюдения и выяснения распространенности процесса было исследовано изменение пула клоногенных стромальных клеток в костном мозге интактных плоских костей у собак при удлинении голени по Илизарову.

В эксперименте использовали беспородных собак в возрасте от полугода до двух лет, которым производили удлинение голени методом чрескостного дистракционного остеосинтеза по Илизарову. На 0, 7, 30, 60, 90-е сутки дистракции у собак в условиях асептики вычленили I, II сегменты грудины, очищали от мягких тканей, измельчали и вымывали клетки костного мозга холодной средой 199. Число клеток, образующих при монослойном культивировании колонии фибробластов, и эффективность колониеобразования определяли по общепринятой методике /Фриденштейн, Лалыкина, 1973/. Результаты оценивали по критерию Стьюдента.

Полученные данные (см. табл.) показывают, что длительно поддерживаемая дистракцией интенсивная регенерация кости вызывает значительные изменения в количестве клеток, образующих в культуре колонии фибробластов, в костном мозге интактных плоских костей. Эти изменения являются однонаправленными в течение всего периода регенерации и заключаются в многократном (примерно в 4 раза) уменьшении числа клоногенных клеток-предшественников и эффективности колониеобразования клеток костного мозга неповрежденных костей скелета. С увеличением сроков дистракции и длительности процесса регенерации кости падение числа клоногенных клеток и эффективности колониеобразования прогрессирует. Принимая во внимание опубликованные ранее данные о возрастании у этих собак числа клоногенных стромальных клеток-предшественников в зоне регенерации, мы предполагаем, что эти клетки участвуют в процессе регенерации кости и могут мигрировать из интактных участков скелета в область повреждения. Таким образом, пролонгированная регенерация кости вызывает системную реакцию скелета, выражающуюся, в частности, в перераспределении остеогенных клеточных ресурсов.

Таблица
Динамика изменения числа клоногенных стромальных клеток костного мозга грудины при удлинении голени собак методом Илизарова

Срок дистракции (сутки)	ЭКО число колоний на 10 ⁵ кл	Число клеток, образующих колонии фибробластов /сегмент
0 (контроль)	16,1 ± 0,9	26366,7 ± 5123,5
7	12,6 ± 3,5	9585,0 ± 2699,1
60	5,8 ± 1,4	6390,3 ± 1662,7
90	3,2 ± 1,7	4550,0 ± 1630,3

**О. П. Березовская, Н. В. Родионова (Украина),
Дж. ван Лун, Д. П. Вельдхаузен (Голландия)**

ТФР-β поддерживает экспрессию фенотипа молодых хондроцитов в зачатках длинных костей

TFR-β maintains expression of young chondrocytes phenotype in long bone buds

Продукция остеобластами ТФР-β, ауто- и паракринного регулятора клеточных функций скелетных тканей, чувствительна к действию механических факторов. Для тестирования эффекта ТФР-β на динамику дифференцировки и функциональную активность клеток хрящевого зачатка кости нами была использована органная культура метатарзальных костей, изолированных из 17-суточных плодов мышей. Основными процессами на этой стадии являются продольный рост зачатка и прогрессирующая кальцификация диафиза, предшествующая энхондральному остеогенезу. Метатарзальные кости 17-суточных плодов мышей культивировали в течение 4 суток в модифицированной среде α-MEM с добавлением 10 нг/мл ТФР-β и без него, а затем обрабатывали для гистологического и электронномикроскопического исследования по стандартным методикам. Полученные результаты показывают, что введение в состав культуральной среды ТФР-β снижает прирост длины кости почти в 3 раза. Наблюдается также двукратное замедление распространения фронта минерализации в диафизе. Продольный рост хрящевого зачатка обеспечивается пролиферацией молодых хондроцитов, биосинтезом зрелыми хондроцитами внеклеточного матрикса и увеличением размера хондроцитов при их гипертрофии. Поскольку зональность хрящевой закладки обусловлена пространственной разверткой процесса созревания хондроцитов, соотношение протяженности этих зон отражает динамику дифференцировки клеток хряща. Наблюдавшееся в эксперименте уменьшение зоны гипертрофированных хондроцитов при

одновременном увеличении зоны молодых хондроцитов свидетельствует о замедлении под влиянием ТФР-β созревания и перехода хондроцитов в гипертрофированное состояние.

Ультраструктура хондроцитов зоны пролиферации свидетельствует о сбалансированности интра- и экстрацеллюлярного обмена. Под действием ТФР-β в хондроцитах этой зоны происходит значительная активация биосинтеза коллагена и протеогликанов матрикса, что видно как по степени развития гранулярного эндоплазматического ретикулума и аппарата Гольджи, так и по насыщенности внеклеточного матрикса структурными компонентами.

Зона гипертрофированных хондроцитов отчетливо выражена в контрольных культурах. Для этих клеток характерна функциональная гипертрофия гранулярного эндоплазматического ретикулума с расширенными, сливающимися между собой и внеклеточным пространством канальцами. Синтез гликопротеинов в них снижен. В культурах с ТФР-β клетки с фенотипом зрелых хондроцитов, в которых выявляется по несколько обширных полей комплекса Гольджи и гипертрофированным гранулярным эндоплазматическим ретикулумом непосредственно соседствуют с интенсивно минерализованным матриксом.

Таким образом, эффект ТФР-β на культивируемые вне организма зачатки длинных костей плодов мышей выражается в стимуляции биосинтеза коллагена и протеогликанов матрикса хондроцитами и замедлении их терминальной дифференцировки, результатом чего является замедление продольного роста зачатка и снижение скорости кальцификации диафиза.

**В. С. Бунов, А. Д. Наумов, Н. И. Гордиевских,
Н. В. Петровская, Н. С. Шеховцова, Н. К.
Чикорина (Курган)**

Влияние дистракционного остеосинтеза на пульсовой приток к голени в условиях артериальной недостаточности конечности

Effect of distraction osteosynthesis on pulse leg inflow in the conditions of arterial limb failure

Проведены эксперименты на 57 взрослых собаках, которым создавали артериальную недостаточность тазовой конечности резекцией каудальной ягодичной, поверхностной и глубокой бедренных артерий с введением в подколенную артерию этилового спирта из расчета 0,05 мл на 1 кг массы [а.с. 1101875].

Животные I серии экспериментов (22 собаки) служили контролем. Животным II серии (35 собак) через 2 месяца на голень накладывали аппарат Илизарова, создавали дефект нижней трети диафиза берцовых костей (20% длины) и производили остеотомию проксимального отломка для получения перемещаемого фрагмента на питающих связях. Дистракцию осуществляли с 8 суток по 0,75 мм в день за 3 приема в течение 28 дней. Фиксация - 90 суток. Животных наблюдали до 12 месяцев.

Об изменениях пульсового кровенаполнения судили на основании данных реографии и объемной сфигмографии, которые сравнивали с дооперационными значениями.

Наблюдения показали, что артериальная недостаточность приводила к острой ишемии, в 26% случаев служившей причиной язвенно-некротических изменений на стопах животных. В течение 4 - 6 месяцев окружность голени сокращалась в верхней трети на 16,7%, в средней трети - на 18,8%. У выведенных из эксперимента животных объем передней и задней групп мышц голени был меньше, соответственно, на 31,3 и 24,3%.

По данным реографии до начала экспериментов импеданс участка мышц голени был равен 298 ± 6 Ом. После моделирования артериальной недостаточности в течение 3 месяцев он возрос до 319 ± 9 Ом, а затем достоверно не отличался от

дооперационных значений. Ударный объем крови в участке мышц с $0,194 \pm 0,017$ куб.см (100%) после моделирования артериальной недостаточности снизился и в последующем менялся от $0,060 \pm 0,011$ до $0,115 \pm 0,025$ куб.см (29 - 59%). Реографический индекс этого участка под влиянием артериальной недостаточности с $0,140 \pm 0,012$ Ом (100%) снизился и менялся от $0,051 \pm 0,008$ до $0,079 \pm 0,011$ Ом (36 - 56%). Амплитуда сфигмограмм снизилась от $0,044 \pm 0,004$ ед (100%) до изменений в пределах $0,012 \pm 0,003 - 0,032 \pm 0,004$ ед (27 - 72%).

У животных II серии экспериментов после создания дефекта большеберцовой кости ударный объем крови в участке мышц снизился на 9%, оставался на сниженном уровне в периоде distraction, не отличался от значений у животных I серии экспериментов в периоде фиксации и превышал их на 37% после снятия аппарата. Реографический индекс снизился на 16% после операции и менялся аналогично изменениям ударного объема крови. Амплитуда сфигмограмм до окончания периода distraction не отличалась от значений у животных I серии экспериментов, затем превышала их на 40%.

По данным гистологических исследований в периоде distraction шло образование костного регенерата, сопровождающееся появлением периостальных напластований на конце удлиняемого и по всему протяжению перемещаемого фрагментов. При изучении фасций и передней группы мышц голени в контроле выявлены очаги дегенеративно измененных пучков коллагеновых волокон, звенья запустевшего микроциркуляторного русла и вялое новообразование капилляров, частично обеспечивающее реваскуляризацию тканей. Distractionный остеосинтез способствовал ангиогенезу и реваскуляризации тканей, восстановлению кровообращения за счет новообразования анастомозов между сохранившимися сосудами.

Таким образом, моделирование артериальной недостаточности приводило к снижению кровоснабжения тканей сегмента конечности. Репаративный остеогенез способствовал реваскуляризации тканей и стойкому увеличению притока крови к голени. При его применении для компенсации недостаточности кровообращения следует учитывать возможность усугубления ишемических расстройств в дистальных отделах конечности после оперативного вмешательства и в периоде distraction, проявления стимулирующего эффекта в периоде фиксации.

**В. С. Бунов, А. А. Свешников, Л. А. Смотровая,
А. Д. Наумов, Н. И. Гордиевских, Т. А.
Силантьева (Курган)**

Влияние магнитного поля и гепарина на минерализацию distractionного костного регенерата и кровенаполнение тканей голени по данным радионуклидных и физиологических исследований

Effect of magnetic field and heparin on mineralization of distraction bone regenerate and blood filling of leg tissues by data of radionuclide and physiologic studies

Проведены эксперименты на 35 взрослых беспородных собаках с соблюдением правил работы с животными. Всем животным в условиях операционной после наложения аппарата Илизарова из двух колец проводили закрытую флекссионную остеоклазию в средней трети диафиза большеберцовой кости и с 6-х суток удлиняли голень по 1,0 мм за 4 приема в течение 28 дней. Из опыта животных выводили на 22 - 33 сутки фиксации.

Контрольную группу составили 6 собак. У животных I серии экспериментов (13 собак) со 2-х по 15 сутки в течение 20 минут зону остеоклазии подвергали воздействию постоянного магнитного поля (ПМП), индуктивностью 35 мТ. Животным II серии экспериментов (16 собак) в те же сроки внутримышечно вводили гепарин из расчета 750 ед. в сутки

на 1 кг массы.

О процессе минерализации distractionного костного регенерата судили на основании распределения 99m Тс-фосфона 37,0 - 55,0 НБк, который вводили внутривенно за 3 часа до исследований. Для изучения изменений кровенаполнения использовали диэтилентриаминпентауксусную кислоту (ДТПА) 14,7 - 44, НБк и рассчитывали ряд показателей реовазограммы - базисное сопротивление тканей (R), реографический индекс (РИ), индекс периферического сопротивления сосудов (ИПС). Радиометрию выполняли с помощью сканера фирмы "Radiax" в стандартных точках проксимальных и дистальных метафизов и метадиафизов большеберцовой кости, концов костных отломков, на протяжении регенерата. Сравнивали контралатеральную и оперированную конечности для выявления различий в накоплении радиофармпрепаратов (РФП), на основании которых судили о динамике изменений в течение изучаемых процессов. Реограмму регистрировали с помощью приборов - реографа РГ 4-01 и мингографа-82. Исследования проводили до оперативного вмешательства, перед началом, на 7, 14, 21, 28-е сутки distraction, при окончании фиксации. При статистической обработке достоверность средней оценивали по критерию Стьюдента. О достоверности различий средних судили на основании критерия Вилкоксона-Манна-Уитни.

Полученные данные свидетельствуют о том, что наложение аппарата Илизарова и флекссионная остеоклазия приводили к повышению кровенаполнения тканей голени, на величину которого применение ПМП и введение гепарина влияния не оказывало.

Влияние ПМП проявлялось к 7-м суткам distraction. Наблюдалось повышение кровенаполнения тканей зоны distractionного костного регенерата, увеличение темпа его минерализации. После отмены действия фактора интенсивность изучаемых процессов снизилась до значений в контроле. В последующем эффект от применения ПМП выразился в стойком сохранении повышенного кровенаполнения тканей, на фоне которого более быстрым темпом шло снижение интенсивности минерализации distractionного регенерата.

Применение гепарина способствовало прогрессирующему снижению кровенаполнения зоны distractionного костного регенерата и, одновременно, повышению интенсивности его минерализации. В мягких тканях кровенаполнение в это время увеличено. Эффект сохранялся в течение 7 суток после отмены действия препарата. Затем выявлено временное повышение кровенаполнения тканей и снижение до соответствия контролю. На фоне указанных изменений кровенаполнения снижение активности процесса минерализации регенерата началось раньше, в периоде distraction, и шло более медленным темпом.

Таким образом, применение ПМП и гепарина в течение первых 15 суток после нарушения целостности кости приводит к изменениям кровенаполнения тканей и интенсивности процессов минерализации distractionного костного регенерата. Следует учитывать не только непосредственное, но и отдаленное влияние факторов при лечении больных и проведении научных исследований.

В. В. Веклич, В. И. Стецула (Киев)

Сущность метода Илизарова с позиций анализа силового взаимодействия в системе аппарат-кость-конечность

The essence of Ilizarov method from a position of strength interaction analysis in the system of apparatus-bone-limb

На вопрос, в чем состоит сущность метода Илизарова и его отличия от других методов чрескостного остеосинтеза, нет однозначного ответа. Преобладает мнение, что специфика метода Илизарова (часто называемого чрескостным компрессионно-distractionным остеосинтезом по Илизарову)

обусловлена использованием предложенного еще в 1951 г. аппарата Илизарова как наиболее совершенного технического средства для осуществления компрессионного и дистракционного остеосинтеза. Распространению этого мнения способствовала разработанная в 1971-72 гг. Г. А. Илизаровым классификация компрессионно-дистракционных методов остеосинтеза. Эта классификация, с небольшими дополнениями А. А. Девятова (1990) и А. В. Попкова (1994), остается единственной попыткой систематизации накопленного клинического опыта, несмотря на то, что в годы ее создания количество методик использования аппарата Илизарова измерялось многими десятками, а в настоящее время - сотнями (800 методик по данным Г. А. Илизарова - 1992), а аппарат превратился в большой набор унифицированных деталей, позволяющий создавать компоненты аппарата различной степени сложности разного назначения.

В последние годы в поисках объяснения высокой эффективности методик чрескостного компрессионно-дистракционного остеосинтеза по Илизарову сотрудники Курганского центра "ВТО" основное внимание уделяют оптимизации режима и темпов дистракции, которую Г. А. Илизаров считал фактором стимуляции роста и регенерации тканей растягиваемых сегментов конечностей.

Однако в работах В.И. Стецук, А.А. Девятова (1987) и А.А. Девятова (1990) дается иное понимание сущности метода Илизарова, как основы управляемого чрескостного остеосинтеза (УЧО) в системе аппарат-кость-конечность. С этой точки зрения принципиальное отличие всех наружных аппаратов для ЧО состоит в том, что они являются средством непосредственного силового воздействия на отломок (кости) повышающими устойчивость их фиксации и позволяющие создавать не только осевые сдавливающие или растягивающие, но и разнонаправленные силовые воздействия, расширяющие возможности решения различных лечебно-целевых задач.

Анализ клинического и экспериментального материала Киевского Центра УЧО и известного нам из литературы по лечению свежих переломов, нарушений консолидации и ортопедической патологии методиками ЧО-позволяет выделить кроме методик, выполняемых преимущественно двухопорными аппаратами разных авторов, еще большую группу методик комбинированного одноэтапного лечения сложной ортопедо-травматологической патологии разного происхождения, осуществляемую только многоопорными аппаратами Илизарова (оригинальными или модифицированными).

По нашему убеждению только эту группу методик УЧО правомерно называть методом Илизарова и признать, если рассматривать реальную сложность силового взаимодействия в системе многоуровневый аппарат-кость-конечность, что в Кургане за последние 40 лет шла эмпирическая разработка метода УЧО, как нового метода управления силовым взаимодействием в сложной системе многоуровневый аппарат-кость-конечность. Несмотря на то, что понимание этой проблемы ограничивалось и ограничивается отождествлением метода Илизарова с методом компрессионно-дистракционного остеосинтеза, сам автор метода еще в 1971г. был очень близок к пониманию его сущности, когда считал самым важным и новым в развитии методов компрессионного и дистракционного остеосинтеза разработку способов лечения, основанных на создании различных сочетаний одновременного и последовательного применения этих основных способов.

Метод УЧО раскрыл ранее недоступные хирургам возможности бескровно создавать в системе многоуровневый аппарат-кость-конечность пролонгированные перенапряжения тканей, связывающие между собой отломки или кости, воспроизводить разрушающие эффекты, позволяющие вызывать или пролонгировать течение репаративной реакции, устранять порочные положения, ликвидировать укорочения сегментов конечностей и обеспечивать восстановление целостности костей и их формы. Именно поэтому метод УЧО

вооружил травматологию и ортопедию техническими возможностями закрытого одноэтапного комплексного лечения сложной ортопедической патологии и неблагоприятных исходов тяжелой осложненной травмы. Центральной проблемой травматологии и ортопедии в преддверии вхождения в XXI век является разработка теории УЧО на основе системной методологии.

**Н. И. Гордиевских, А. Д. Наумов,
Л.С. Кузнецова, А. А. Свешников,
С.А. Ерофеев, Н. В. Офицерова (Курган)**

Состояние кровообращения удлиняемой по Илизарову конечности при разных ритмах дистракции

Circulation status of a limb, elongated according to Ilizarov, using different rhythms of distraction

В связи с прямой зависимостью репаративного процесса в костной ткани от состояния регионарного кровообращения и в связи с отсутствием комплексных исследований кровообращения удлиняемой по Илизарову конечности в условиях разной дробности и проведено настоящее исследование. Выполнены эксперименты на 57 взрослых беспородных собаках возрастом 1 - 3 года, с длиной голени 12 - 18 см, которым через 5 дней после флекссионной остеоклазии берцовых костей в средней трети диафиза в течение 4-х недель проводили удлинение голени по 1,0 мм в сутки, но с различной дробностью.

В I серии (14 животных) суточную величину удлинения достигали за один прием, во II серии (23 животных) - за 4 приема в день и в III серии (20 животных) - за 60 приемов с помощью автодистракторов. В процессе эксперимента проводили гемодинамические, биохимические, радиоиммунологические и рентгенологические исследования. Состояние гемодинамики в икроножной мышце и исследования крови проводили до операции, через 5 дней после нее, во время дистракции с интервалом в 7 дней и через месяц фиксации.

Полученные данные обработаны методом вариационной статистики для связанных между собой наблюдений [Урбах В.Ю., 1975].

Результаты проведенных нами комплексных исследований состояния кровообращения при разной дробности дистракции показали, что у животных с одномоментным удлинением отмечены выраженные изменения показателей гемодинамики в мягких тканях и кости оперированной конечности. В большинстве своем показатели не достигали исходных значений даже через месяц фиксации. Так, объемная скорость кровотока до конца эксперимента оставалась ниже исходной на 15%. Напряжение углекислого газа в венозной крови оставалось повышенным и составляло 135%. Это относится и к содержанию циклических нуклеотидов и показателям углеводного обмена. Концентрация цАМФ и цГМФ в венозной крови оперированной конечности резко возрастала после операции (318%), затем постепенно снижалась, но к концу эксперимента не достигала исходных значений. После операции и до 19 дня эксперимента уровень ЛДГ постоянно нарастал с 4,00 ммоль/л.ч. до 10,11 ммоль/л.ч. К концу эксперимента активность ЛДГ снижалась, но не достигала исходных цифр. Концентрация молочной и пировиноградной кислот в сыворотке венозной крови оперированной конечности оставалась высокой до конца эксперимента. Остеогенез протекал вяло.

У животных II серии стремление к нормализации гемодинамических показателей в икроножной мышце проявлялось уже со второй недели удлинения. Отмечено увеличение реографического индекса, базисное сопротивление возвращалось к исходной величине. В периоде фиксации у животных данной серии прослеживалась тенденция нормализации показателей гликолиза. Репаративная регенерация кости протекала более активно.

В III серии опытов, в условиях автоматической высокочастотной дистракции, характерной чертой ряда показателей является их стабильность. Средняя скорость притока и оттока крови в процессе дистракции постепенно восстанавливалась. Максимальная скорость движения крови в бедренной артерии практически оставалась на уровне исходной величины. Отмечалась наибольшая активация гликолитических процессов, однако, соотношение лактат/пируват изменялось незначительно, что следует отнести к усилению глюконеогенеза под влиянием глюкокортикоидов. К концу эксперимента биохимические показатели были в пределах верхней физиологической границы нормы. Остеогенез протекал значительно активнее, чем в предыдущих сериях. Таким образом, проведенные нами исследования показали, что при автоматическом удлинении конечности изменения показателей гемодинамических, биохимических, радионуклеонических исследований менее выражены и более быстро приходят к первоначальным значениям.

Л. А. Гребенюк, А. А. Утенькин (Курган)

Анализ результатов ультразвукового исследования костного регенерата и мягких тканей удлиняемой конечности с точки зрения биомеханики

Analysis of ultrasonic study results of bone regenerate and soft tissue in elongated limb from biomechanical point of view

Многочисленные аналитические исследования костеобразования, мио-, ангио-, дермогенеза, проводимые на протяжении 25 лет в центре им. акад. Г. А. Илизарова, расширили представления о формообразовательных процессах при удлинении. Однако они не позволяют в полной мере раскрыть механизмы взаимодействия различных компонентов единой биомеханической системы удлиняемой конечности, хотя именно их взаимосвязь, в конечном счете, определяет создание адекватных условий для нормального протекания репаративной регенерации.

В настоящей работе поставлена задача оценить механические свойства и структуру различных тканей удлиняемой конечности у 98 больных посредством их визуализации с помощью сонографии (датчик 7,5 МГц) и параллельного биомеханического тестирования мягких тканей (мышц и кожного покрова верхней и нижней конечностей) с использованием устройств, разработанных в нашем центре (А. А. Утенькин). Уже после наложения аппарата изменяются сложившиеся до этого биомеханические условия - создается система "аппарат-конечность". Динамика изменения силовых параметров в указанной системе изучается около 20 лет (А. В. Попков, 1977, 1994).

С началом дистракции повышается сдвиговая жесткость кожного покрова, снижаются податливость мышц и кожи. Возрастающее сопротивление мышц растяжению сопровождается постепенным нарастанием их акустической плотности, уменьшается угол наклона мышечных пучков. Видимо, в начале дистракции область кортикотомии не является фокусом приложения сил растяжения, поскольку начавшая формирование мягкотканная прослойка дистракционного регенерата еще не обладает достаточными прочностными свойствами для сопротивления растяжению. В этом периоде между костными фрагментами сканируются гомогенные участки с высокой звукопроводимостью, низкой эхоплотностью и эхогенностью. Отмечаются единичные области с высокой акустической плотностью. С помощью стеновых испытаний в эксперименте показано, что модуль упругости костного регенерата низкий (около 1200 кг/см) и велико допустимое удлинение (до 12% - до начала возникновения разрушающих деформаций).

По мере дальнейшего удлинения на 80-100% повышается сдвиговая жесткость кожного покрова и на 50% снижается податливость мышц. Отмечается повышение эхоплотности и толщины подкожной клетчатки, хотя эти отклонения от

предоперационных значений менее выражены по сравнению с перестройкой в мышцах.

Наибольшие изменения происходят во вновь образующейся кости: общая величина площадей участков с высокой эхоплотностью (38-45 ед.) становится больше суммы площадей зон с низкой акустической плотностью (8-20 ед.). Прослеживается продольная исчерченность структуры регенерата, совпадающая с направлением силового вектора растяжения. Проведенные в экспериментальных условиях механические испытания регенерата на этой стадии показали, что уменьшается его способность удлиняться (до 4%) под воздействием прилагаемых дозированных нагрузок. Эти изменения свидетельствуют о постепенном повышении прочностных свойств дистракционного регенерата (А. А. Утенькин, 1990). Выявлено, что на сонограммах как в области костного регенерата, так и в лоцируемой мышечной ткани определяется повышение эхоплотности, но градиент ее возрастания для мышц ниже, чем для вновь образующейся кости, что определяется структурной и функциональной специализацией указанных тканей. Изменение биомеханических свойств мышц сопровождается повышением их акустической плотности и является адекватной реакцией мышечной ткани на растяжение в динамической системе "аппарат-конечность". Растяжение сдвиговой жесткости кожного покрова отражает повышение его прочностных свойств и связано с определенным вкладом этой ткани в формирование сопротивления силам дистракции в биомеханической системе удлиняемой конечности.

Полученные результаты позволяют заключить, что создание условий для репаративной регенерации в тканях удлиняемого сегмента невозможно без динамического взаимодействия вновь образующейся кости и мягких тканей в новой биомеханической системе удлинённой конечности. На их взаимосвязи основано адекватное механическим условиям реагирование всех компонентов системы и индукция многоуровневых формообразовательных процессов. Конечным результатом дозированного растяжения с помощью аппарата Илизарова является восстановление длины конечности. Величина удлинения и структурная перестройка в тканях удлинённого сегмента определяют функциональное восстановление конечности.

К. С. Десятниченко, Ю. П. Балдин, С. И. Алиева, С. П. Изотова (Курган)

О связи между остеогенезом и кроветворением на основе местной гуморальной регуляции

Considerations on the connection of osteogenesis and hemopoiesis on the basis of local humoral regulation

Одним из важнейших биологических аспектов влияния чрескостного остеосинтеза (ЧКОС) на регенераторные процессы Г. А. Илизаров считал его воздействие на механизм регуляции пролиферации и дифференцировки остеогенных и кроветворных клеток. При этом он исходил из их тесной взаимосвязи на основе общих клеточных источников и факторов, регулирующих пролиферативную активность и способность к дифференцировке последних. Большое число клинических наблюдений и экспериментальных работ, выполненных в нашем Центре подтверждают это положение. Сюда относятся: анемизирующее влияние скелетной травмы; модификация активности кроветворения в зависимости от местных условий, создаваемых ЧКОС (срок между моментом травмы и остеосинтезом правильно сопоставленных отломков, стабильность остеосинтеза, темп и ритм дистракции и т.п.); активирующее влияние дистракции на кроветворение, которое в молодом возрасте (при сохранении активного медуллярного кроветворения в трубчатых костях) может распространяться даже на костный мозг неоперированных конечностей; стимулирование остеогенеза в результате кровопотери средней тяжести и стимулирующие косте-

образование свойства у сыворотки животных, перенесших такую кровопотерю; наконец, выявление гемопоэтических или ингибирующих кроветворение свойств у депонируемых костной тканью рострегулирующих факторов (КРРФ) полипептидной природы.

КРРФ - фракции неколлагеновых белков внеклеточного матрикса зрелой компактной костной ткани человека и нескольких видов животных - получали, используя комплекс лабораторных процедур: деминерализацию, диссоциативное экстрагирование в присутствии обратимо денатурирующих белок веществ и 2-меркаптоэтанола, диализ, высаливание, гелепроницающую, адсорбционную и ионообменную хроматографию, лиофильное высушивание. Биотестирование отдельных КРРФ или их композиций осуществляли на интактных лабораторных животных или с использованием моделей репаративного остеогенеза (замещение стандартного дефекта парной кости, удлинение конечности по Илизарову) и кроветворения (гемолитическая анемия, кровопотеря), и при угнетенном гемопоэзе (экспериментальная полицимия). Для оценки результатов биотестирования применяли количественную денситометрию рентгеновских снимков, гематологические методы: подсчет парциальных сплено- и миелограмм, исследование клеточного состава периферической крови, измерение клеточности костного мозга и селезенки и индекса массы последней, конго-рот индекса и др.

Не менее 20 КРРФ проявили активность в отношении костеобразования и(или) кроветворения. При этом некоторые из них влияли на кость и кровь в одном направлении (стимулировали или ингибировали), другие - разнонаправленно, третьи - проявляя активность в отношении морфогенеза одной ткани, были индифферентны для роста другой. В экспериментах на мышах, селезенка которых является кроветворным органом, можно было отличить преимущественно "селезеночную" или "костно-мозговую" активность. КРРФ, активные в отношении гемопоэза, проявляли различный спектр своего физиологического действия: от общестимулирующего/ингибирующего (влияя на количества как недифференцированных бластных клеток, так и клеток разных направлений и степени дифференцировки) до действия на один росток кроветворения (эритропоэз, гранулоцитарный ряд, лимфопоэз). Эти обстоятельства позволяют предположить, что клеткой - мишенью для одних КРРФ является полипотентная стволовая клетка (не исключено - общая родоначальница остеогенных и кроветворных), а для других - клетки, коммитированные в разных направлениях дифференцировки.

Наши наблюдения, возможно, не разрешают окончательно дискуссию о сохранении постнатально общей для остеогенеза и кроветворения стволовой клетки, но не оставляют сомнений о существовании общей для костной и кроветворной тканей системы гуморальной регуляции. Мы полагаем, что общепризнанный, но обсуждаемый только как явление, феномен костного гемопоэтического микроокружения получает теперь материальный субстрат. Освобождаемые при физиологическом или пострепаративном remodelировании кости ранее депонированные в ней КРРФ запускают медуллярное кроветворение, в отношении которого костная ткань выполняет функцию паракринного органа.

К. С. Десятниченко, О. Б. Устюжанина, С. Н. Лунева, О. Л. Гребнева (Курган)

Конструирование фармпрепаратов из костной ткани для коррекции осложнений при вмешательствах на скелете

Design of pharmacologic preparations from bone tissue for correction of complications in skeleton interventions

С внедрением в клиническую практику устройств и способов наружной фиксации началась новая эра в травматоло-

гии и ортопедии. Однако даже на фоне достигнутых успехов не были оставлены усилия в поисках средств, стимулирующих репаративные процессы, предупреждающих и(или) корригирующих различные осложнения, сопутствующие скелетной травме, вмешательству на скелете. В клинике и эксперименте были апробированы воздействия факторов физической, химической, физико-химической природы: магнитное поле и электростимуляция, ультразвук и лазер, гормоны и мумии. Наиболее давнюю историю, вероятно, имеют попытки использовать для ускорения остеогенеза вещества, содержащиеся в костной ткани. Эта история - от подсадки "бульонной косточки" до применения современных препаратов типа Оссопан - является, скорее, историей разочарований, чем удач.

Экспериментально-теоретические исследования в 70-80-х гг., приведшие к открытию морфогенетических белков кости, остеогенинов, скелетного фактора роста [Urist e.a.; Canalis; Farley, Baylink и др.], которые совпали с серьезными достижениями в биологии - открытием системы местных факторов, регулирующих клеточную пролиферацию и дифференцировку, вызвали новый всплеск интереса к проблеме фармакологического потенцирования репаративного остеогенеза.

Примерно в одно время с ведущими западными лабораториями работы по выделению, очистке изучению физико-химических и биологических свойств неколлагеновых белков (НКБ) кости начались в КНИИЭКОТ - РНЦ "ВТО". Нами был разработан лабораторный регламент получения в чистом виде 3-4 десятков НКБ, испытано их влияние на репаративный остеогенез, кроветворение, обмен веществ, иммуногенез. Было создано новое направление в учении о местной регуляции клеточной физиологической активности: новообразующаяся костная ткань, обладая свойствами биохроматографической системы, сорбирует и аккумулирует факторы роста (ФР), продуцируемые не только остеогенными клетками, но и в других тканях, связанных с костью циркуляторно. Нарушения гомеостаза, стимулирующие remodelирование костной ткани, освобождают депонированные в ней ФР, которые поступают в кровоток и достигают клеток-мишеней своего действия, как бы далеко от скелета они ни были удалены. Скелет, таким образом, играет роль ауто- и паракринного органа.

Подтвержденная в экспериментах на животных способность ФР из костной ткани выполнять функции длиннодистантных регуляторов (стимулировать остеогенез и кроветворение при парентеральном введении), а также гибкость регламента выделения чистых фракций НКБ, позволяющая по желанию получать различные композиции их с прогнозируемыми фармакологическими свойствами, дали возможность конструировать препараты, способные ускорять созревание костного регенерата, стимулировать кроветворение и иммуногенез, предупреждать последствия кровопотери и восстанавливать гомеостаз после стрессорного воздействия. Препараты с такими свойствами (стимбон-1 и стимбон-2) апробированы в экспериментах на интактных животных и различных моделях репаративного остеогенеза и нарушенного кроветворения.

Кроме того, разработанный и применяемый нами регламент позволил предложить препарат для профилактики и лечения остеопороза (стимбон-4) - сочетание минеральной фазы костной ткани, собираемой при декальцинации кости, с гидролизатом костных белков - более растворимый и, следовательно, усваиваемый, чем оссопан, а также коллаген типа I, применяемый в виде губок и гелей в фармации и парфюмерии.

Мы полагаем, что разрабатываемые нами фармпрепараты на основе композиций ФР, депонируемых костной тканью, и других компонентов последней, оправдают затраты, на фармако-токсикологические и клинические испытания, необходимые для их внедрения в промышленное производство и лечебную практику, и экономически более выгодны, чем их генинженерные аналоги, которые могут появиться в далекой перспективе.

Ю. М. Ирьянов (Курган)

**Ультраструктурные аспекты репаративного
костеобразования в условиях дистракционного
остеосинтеза по Илизарову**

**Ultrastructural aspects of reparative osteogenesis during
distraction osteosynthesis according to Ilizarov**

За исключением наших работ в литературе имеются лишь единичные сообщения, освещающие ультраструктурные особенности процесса костеобразования при дистракционном остеосинтезе, что послужило основанием для проведения настоящего исследования.

Дистракционные регенераты большеберцовых костей 59 собак на различных этапах удлинения голени, регенераты большеберцовых костей 13 собак при стабильной фиксации отломков и большеберцовые кости 10 интактных собак изучали при помощи световой микроскопии просветленных препаратов и полутонких срезов, трансмиссионной и сканирующей электронной микроскопии и рентгеновского электронно-зондового микроанализа.

Проведенные исследования показали, что при стабильной фиксации костных фрагментов уже на пятые сутки после операции образуются костные трабекулы с концентрацией кальция до 10-15%. На 19-е сутки концентрация в них кальция и фосфора приближается к показателям неповрежденного диафиза. Нами впервые установлено, что дистракция оказывает декальцифицирующее влияние на костные регенераты, снижая в них в 2-3 раза содержание кальция и фосфора, более, чем в 4 раза - темп минерализации регенератов и стабилизирует на высоком уровне концентрацию мягкотканых структур. Установлено, что взаимоотношение структур мягкой и костной тканей на протяжении всего дистракционного периода остается постоянным и изменяется в сторону резкого увеличения содержания костной ткани лишь после прекращения дистракции. При этом особенно возрастает концентрация костной ткани после снятия аппарата. Содержание высоко кальцифицированных структур в формирующемся кортикальном слое регенератов после прекращения дистракции постоянно возрастает и через 180 суток после снятия аппарата приближается к показателям кортикального слоя неповрежденного диафиза. При проведении исследований в сравнительном аспекте установлено, что в дистракционных регенератах на 19 сутки после операции концентрация структур мягкой ткани более чем в 2 раза больше, а костной ткани - соответственно меньше, чем в регенератах при стабильной фиксации. Дистракция изменяет и качественный состав костной ткани, снижая почти в 1,5 раза долю высоко кальцифицированных компонентов, что обеспечивает высокую степень пластичности дистракционных регенератов.

Дистракция значительно изменяет объемно-пространственную организацию костных регенератов. При стабильной фиксации отломков регенерирующая костная ткань приобретает губчатое строение с формированием замкнутых сфероидальных лакун. В дистракционных регенератах вокруг линии излома, где под влиянием растяжения к концу первой недели дистракции формируется слабо минерализованная срединная прослойка, округлые костные лакуны трансформируются в продольно ориентированные первичные остеоны цилиндрической формы, которые растут навстречу друг другу с проксимальной и дистальной сторон. Регенераты при этом приобретают характерное зональное строение: к соединительнотканной прослойке примыкают по обе стороны цилиндрические первичные остеоны, граничащие с зонами сфероидальных костных лакун.

Костеобразование по вектору растяжения обеспечивается тем, что апикальные, растущие вершины первичных остеонов остаются незамкнутыми в течение всего дистракционного периода и выполняют функцию зон роста дистракционных регенератов. Здесь располагаются вертикально ори-

ентированные сосудистые петли и сосудистые почки. В первичных гаверсовых каналах находятся делящиеся периваскулярные клетки и многочисленные фибробластоподобные остеогенные клетки. Они продуцируют с проксимальной и дистальной сторон от срединной прослойки все новые и новые, наслаивающиеся друг на друга пласты слабо минерализованной костной ткани. Ультраструктурные особенности зон роста дистракционных регенератов свидетельствуют о способности формирующейся здесь костной ткани не только к аппозиционному, но и интерстициальному росту. Остеоциты в ней располагаются вертикальными колонками и содержат многочисленные структуры белоксинтезирующего аппарата, а участки кальцификации не образуют сплошного фронта минерализации, что облегчает вращение в прослойку кровеносных сосудов и обеспечивает быстрое удлинение регенератов.

Ю. М. Ирьянов (Курган)

**Растровая электронная микроскопия дистракционных
регенератов**

Scanning electron microscopy of distraction regenerates

Цель исследования - изучение объемно-пространственных особенностей дистракционных костных регенератов, на различных этапах удлинения голени по методу Г. А. Илизарова.

Материал и методы. Регенераты большеберцовых костей 80 взрослых собак исследовали при помощи сканирующего электронного микроскопа "JSM-840" на 3, 5, 7, 14, 21 и 28 сутки после остеоклазии, на 7, 14, 21 и 28 сутки дистракции, на 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 450, 480, 510, 540, 570, 600, 630, 660, 690, 720, 750, 780, 810, 840, 870, 900, 930, 960, 990, 1020, 1050, 1080, 1110, 1140, 1170, 1200, 1230, 1260, 1290, 1320, 1350, 1380, 1410, 1440, 1470, 1500, 1530, 1560, 1590, 1620, 1650, 1680, 1710, 1740, 1770, 1800, 1830, 1860, 1890, 1920, 1950, 1980, 2010, 2040, 2070, 2100, 2130, 2160, 2190, 2220, 2250, 2280, 2310, 2340, 2370, 2400, 2430, 2460, 2490, 2520, 2550, 2580, 2610, 2640, 2670, 2700, 2730, 2760, 2790, 2820, 2850, 2880, 2910, 2940, 2970, 3000, 3030, 3060, 3090, 3120, 3150, 3180, 3210, 3240, 3270, 3300, 3330, 3360, 3390, 3420, 3450, 3480, 3510, 3540, 3570, 3600, 3630, 3660, 3690, 3720, 3750, 3780, 3810, 3840, 3870, 3900, 3930, 3960, 3990, 4020, 4050, 4080, 4110, 4140, 4170, 4200, 4230, 4260, 4290, 4320, 4350, 4380, 4410, 4440, 4470, 4500, 4530, 4560, 4590, 4620, 4650, 4680, 4710, 4740, 4770, 4800, 4830, 4860, 4890, 4920, 4950, 4980, 5010, 5040, 5070, 5100, 5130, 5160, 5190, 5220, 5250, 5280, 5310, 5340, 5370, 5400, 5430, 5460, 5490, 5520, 5550, 5580, 5610, 5640, 5670, 5700, 5730, 5760, 5790, 5820, 5850, 5880, 5910, 5940, 5970, 6000, 6030, 6060, 6090, 6120, 6150, 6180, 6210, 6240, 6270, 6300, 6330, 6360, 6390, 6420, 6450, 6480, 6510, 6540, 6570, 6600, 6630, 6660, 6690, 6720, 6750, 6780, 6810, 6840, 6870, 6900, 6930, 6960, 6990, 7020, 7050, 7080, 7110, 7140, 7170, 7200, 7230, 7260, 7290, 7320, 7350, 7380, 7410, 7440, 7470, 7500, 7530, 7560, 7590, 7620, 7650, 7680, 7710, 7740, 7770, 7800, 7830, 7860, 7890, 7920, 7950, 7980, 8010, 8040, 8070, 8100, 8130, 8160, 8190, 8220, 8250, 8280, 8310, 8340, 8370, 8400, 8430, 8460, 8490, 8520, 8550, 8580, 8610, 8640, 8670, 8700, 8730, 8760, 8790, 8820, 8850, 8880, 8910, 8940, 8970, 9000, 9030, 9060, 9090, 9120, 9150, 9180, 9210, 9240, 9270, 9300, 9330, 9360, 9390, 9420, 9450, 9480, 9510, 9540, 9570, 9600, 9630, 9660, 9690, 9720, 9750, 9780, 9810, 9840, 9870, 9900, 9930, 9960, 9990, 10020, 10050, 10080, 10110, 10140, 10170, 10200, 10230, 10260, 10290, 10320, 10350, 10380, 10410, 10440, 10470, 10500, 10530, 10560, 10590, 10620, 10650, 10680, 10710, 10740, 10770, 10800, 10830, 10860, 10890, 10920, 10950, 10980, 11010, 11040, 11070, 11100, 11130, 11160, 11190, 11220, 11250, 11280, 11310, 11340, 11370, 11400, 11430, 11460, 11490, 11520, 11550, 11580, 11610, 11640, 11670, 11700, 11730, 11760, 11790, 11820, 11850, 11880, 11910, 11940, 11970, 12000, 12030, 12060, 12090, 12120, 12150, 12180, 12210, 12240, 12270, 12300, 12330, 12360, 12390, 12420, 12450, 12480, 12510, 12540, 12570, 12600, 12630, 12660, 12690, 12720, 12750, 12780, 12810, 12840, 12870, 12900, 12930, 12960, 12990, 13020, 13050, 13080, 13110, 13140, 13170, 13200, 13230, 13260, 13290, 13320, 13350, 13380, 13410, 13440, 13470, 13500, 13530, 13560, 13590, 13620, 13650, 13680, 13710, 13740, 13770, 13800, 13830, 13860, 13890, 13920, 13950, 13980, 14010, 14040, 14070, 14100, 14130, 14160, 14190, 14220, 14250, 14280, 14310, 14340, 14370, 14400, 14430, 14460, 14490, 14520, 14550, 14580, 14610, 14640, 14670, 14700, 14730, 14760, 14790, 14820, 14850, 14880, 14910, 14940, 14970, 15000, 15030, 15060, 15090, 15120, 15150, 15180, 15210, 15240, 15270, 15300, 15330, 15360, 15390, 15420, 15450, 15480, 15510, 15540, 15570, 15600, 15630, 15660, 15690, 15720, 15750, 15780, 15810, 15840, 15870, 15900, 15930, 15960, 15990, 16020, 16050, 16080, 16110, 16140, 16170, 16200, 16230, 16260, 16290, 16320, 16350, 16380, 16410, 16440, 16470, 16500, 16530, 16560, 16590, 16620, 16650, 16680, 16710, 16740, 16770, 16800, 16830, 16860, 16890, 16920, 16950, 16980, 17010, 17040, 17070, 17100, 17130, 17160, 17190, 17220, 17250, 17280, 17310, 17340, 17370, 17400, 17430, 17460, 17490, 17520, 17550, 17580, 17610, 17640, 17670, 17700, 17730, 17760, 17790, 17820, 17850, 17880, 17910, 17940, 17970, 18000, 18030, 18060, 18090, 18120, 18150, 18180, 18210, 18240, 18270, 18300, 18330, 18360, 18390, 18420, 18450, 18480, 18510, 18540, 18570, 18600, 18630, 18660, 18690, 18720, 18750, 18780, 18810, 18840, 18870, 18900, 18930, 18960, 18990, 19020, 19050, 19080, 19110, 19140, 19170, 19200, 19230, 19260, 19290, 19320, 19350, 19380, 19410, 19440, 19470, 19500, 19530, 19560, 19590, 19620, 19650, 19680, 19710, 19740, 19770, 19800, 19830, 19860, 19890, 19920, 19950, 19980, 20010, 20040, 20070, 20100, 20130, 20160, 20190, 20220, 20250, 20280, 20310, 20340, 20370, 20400, 20430, 20460, 20490, 20520, 20550, 20580, 20610, 20640, 20670, 20700, 20730, 20760, 20790, 20820, 20850, 20880, 20910, 20940, 20970, 21000, 21030, 21060, 21090, 21120, 21150, 21180, 21210, 21240, 21270, 21300, 21330, 21360, 21390, 21420, 21450, 21480, 21510, 21540, 21570, 21600, 21630, 21660, 21690, 21720, 21750, 21780, 21810, 21840, 21870, 21900, 21930, 21960, 21990, 22020, 22050, 22080, 22110, 22140, 22170, 22200, 22230, 22260, 22290, 22320, 22350, 22380, 22410, 22440, 22470, 22500, 22530, 22560, 22590, 22620, 22650, 22680, 22710, 22740, 22770, 22800, 22830, 22860, 22890, 22920, 22950, 22980, 23010, 23040, 23070, 23100, 23130, 23160, 23190, 23220, 23250, 23280, 23310, 23340, 23370, 23400, 23430, 23460, 23490, 23520, 23550, 23580, 23610, 23640, 23670, 23700, 23730, 23760, 23790, 23820, 23850, 23880, 23910, 23940, 23970, 24000, 24030, 24060, 24090, 24120, 24150, 24180, 24210, 24240, 24270, 24300, 24330, 24360, 24390, 24420, 24450, 24480, 24510, 24540, 24570, 24600, 24630, 24660, 24690, 24720, 24750, 24780, 24810, 24840, 24870, 24900, 24930, 24960, 24990, 25020, 25050, 25080, 25110, 25140, 25170, 25200, 25230, 25260, 25290, 25320, 25350, 25380, 25410, 25440, 25470, 25500, 25530, 25560, 25590, 25620, 25650, 25680, 25710, 25740, 25770, 25800, 25830, 25860, 25890, 25920, 25950, 25980, 26010, 26040, 26070, 26100, 26130, 26160, 26190, 26220, 26250, 26280, 26310, 26340, 26370, 26400, 26430, 26460, 26490, 26520, 26550, 26580, 26610, 26640, 26670, 26700, 26730, 26760, 26790, 26820, 26850, 26880, 26910, 26940, 26970, 27000, 27030, 27060, 27090, 27120, 27150, 27180, 27210, 27240, 27270, 27300, 27330, 27360, 27390, 27420, 27450, 27480, 27510, 27540, 27570, 27600, 27630, 27660, 27690, 27720, 27750, 27780, 27810, 27840, 27870, 27900, 27930, 27960, 27990, 28020, 28050, 28080, 28110, 28140, 28170, 28200, 28230, 28260, 28290, 28320, 28350, 28380, 28410, 28440, 28470, 28500, 28530, 28560, 28590, 28620, 28650, 28680, 28710, 28740, 28770, 28800, 28830, 28860, 28890, 28920, 28950, 28980, 29010, 29040, 29070, 29100, 29130, 29160, 29190, 29220, 29250, 29280, 29310, 29340, 29370, 29400, 29430, 29460, 29490, 29520, 29550, 29580, 29610, 29640, 29670, 29700, 29730, 29760, 29790, 29820, 29850, 29880, 29910, 29940, 29970, 30000, 30030, 30060, 30090, 30120, 30150, 30180, 30210, 30240, 30270, 30300, 30330, 30360, 30390, 30420, 30450, 30480, 30510, 30540, 30570, 30600, 30630, 30660, 30690, 30720, 30750, 30780, 30810, 30840, 30870, 30900, 30930, 30960, 30990, 31020, 31050, 31080, 31110, 31140, 31170, 31200, 31230, 31260, 31290, 31320, 31350, 31380, 31410, 31440, 31470, 31500, 31530, 31560, 31590, 31620, 31650, 31680, 31710, 31740, 31770, 31800, 31830, 31860, 31890, 31920, 31950, 31980, 32010, 32040, 32070, 32100, 32130, 32160, 32190, 32220, 32250, 32280, 32310, 32340, 32370, 32400, 32430, 32460, 32490, 32520, 32550, 32580, 32610, 32640, 32670, 32700, 32730, 32760, 32790, 32820, 32850, 32880, 32910, 32940, 32970, 33000, 33030, 33060, 33090, 33120, 33150, 33180, 33210, 33240, 33270, 33300, 33330, 33360, 33390, 33420, 33450, 33480, 33510, 33540, 33570, 33600, 33630, 33660, 33690, 33720, 33750, 33780, 33810, 33840, 33870, 33900, 33930, 33960, 33990, 34020, 34050, 34080, 34110, 34140, 34170, 34200, 34230, 34260, 34290, 34320, 34350, 34380, 34410, 34440, 34470, 34500, 34530, 34560, 34590, 34620, 34650, 34680, 34710, 34740, 34770, 34800, 34830, 34860, 34890, 34920, 34950, 34980, 35010, 35040, 35070, 35100, 35130, 35160, 35190, 35220, 35250, 35280, 35310, 35340, 35370, 35400, 35430, 35460, 35490, 35520, 35550, 35580, 35610, 35640, 35670, 35700, 35730, 35760, 35790, 35820, 35850, 35880, 35910, 35940, 35970, 36000, 36030, 36060, 36090, 36120, 36150, 36180, 36210, 36240, 36270, 36300, 36330, 36360, 36390, 36420, 36450, 36480, 36510, 36540, 36570, 36600, 36630, 36660, 36690, 36720, 36750, 36780, 36810, 36840, 36870, 36900, 36930, 36960, 36990, 37020, 37050, 37080, 37110, 37140, 37170, 37200, 37230, 37260, 37290, 37320, 37350, 37380, 37410, 37440, 37470, 37500, 37530, 37560, 37590, 37620, 37650, 37680, 37710, 37740, 37770, 37800, 37830, 37860, 37890, 37920, 37950, 37980, 38010, 38040, 38070, 38100, 38130, 38160, 38190, 38220, 38250, 38280, 38310, 38340, 38370, 38400, 38430, 38460, 38490, 38520, 38550, 38580, 38610, 38640, 38670, 38700, 38730, 38760, 38790, 38820, 38850, 38880, 38910, 38940, 38970, 39000, 39030, 39060, 39090, 39120, 39150, 39180, 39210, 39240, 39270, 39300, 39330, 39360, 39390, 39420, 39450, 39480, 39510, 39540, 39570, 39600, 39630, 39660, 39690, 39720, 39750, 39780, 39810, 39840, 39870, 39900, 39930, 39960, 39990, 40020, 40050, 40080, 40110, 40140, 40170, 40200, 40230, 40260, 40290, 40320, 40350, 40380, 40410, 40440, 40470, 40500, 40530, 40560, 40590, 40620, 40650, 40680, 40710, 40740, 40770, 40800, 40830, 40860, 40890, 40920, 40950, 40980, 41010, 41040, 41070, 41100, 41130, 41160, 41190, 41220, 41250, 41280, 41310, 41340, 41370, 41400, 41430, 41460, 41490, 41520, 41550, 41580, 41610, 41640, 41670, 41700, 41730, 41760, 41790, 41820, 41850, 41880, 41910, 41940, 41970, 42000, 42030, 42060, 42090, 42120, 42150, 42180, 42210, 42240, 42270, 42300, 42330, 42360, 42390, 42420, 42450, 42480, 42510, 42540, 42570, 42600, 42630, 42660, 42690, 42720, 42750, 42780, 42810, 42840, 42870, 42900, 42930, 42960, 42990, 43020, 43050, 43080, 43110, 43140, 43170, 43200, 43230, 43260, 43290, 43320, 43350, 43380, 43410, 43440, 43470, 43500, 43530, 43560, 43590, 43620, 43650, 43680, 43710, 43740, 43770, 43800, 43830, 43860, 43890, 43920, 43950, 43980, 44010, 44040, 44070, 44100, 44130, 44160, 44190, 44220, 44250, 44280, 44310, 44340, 44370, 44400, 44430, 44460, 44490, 44520, 44550, 44580, 44610, 44640, 44670, 44700, 44730, 44760, 44790, 44820, 44850, 44880, 44910, 44940, 44970, 45000, 45030, 45060, 45090, 45120, 45150, 45180, 45210, 45240, 45270, 45300, 45330, 45360, 45390, 45420, 45450, 45480, 45510, 45540, 45570, 45600, 45630, 45660, 45690, 45720, 45750, 45780, 45810, 45840, 45870, 45900, 45930, 45960, 45990, 46020, 46050, 46080, 46110, 46140, 46170, 46200, 46230, 46260, 46290, 46320, 46350, 46380, 46410, 46440, 46470, 46500, 46530, 46560, 46590, 46620, 46650, 46680, 46710, 46740, 46770, 4680

циальному росту.

После прекращения distraction зона первичных остеонов значительно сокращается, а затем и полностью резорбируется. Направленный интерстициальный рост костной ткани при этом прекращается, и замещение прослойки кальцифицированной тканью осуществляется за счет значительно более медленного аппозиционного роста мелких сфероидальных лакун.

Под влиянием distraction изменяется и ангиоархитектоника. Вены приобретают лентовидную форму, при этом растущие капиллярные терминалы часто пронизывают или спирально оплетают их. Ангиогенез осуществляется значительно более быстрыми темпами, чем при обычных регенерационных процессах. Рост сосудов в регенератах опережает суточный темп distraction (0,75-1 мм), о чем свидетельствует спиралевидность хода новообразующихся капиллярных терминалов. На коррозионных репликах сосудов обнаруживаются двуядерные эндотелиоциты и клетки на различных этапах карио- и цитотомии, что свидетельствует об активизации пролиферативных процессов в эндотелии. Ангиогенез в параоссальных тканях удлиняемых конечностей сопровождается формированием новых микроциркуляторных модулей и параартериальных венозных сплетений. Таким образом, применение растровой электронной микроскопии позволяет выявить характерные особенности остео- и ангиоархитектоники в distractionных регенератах. При этом установлено, что distraction значительно активизирует ангиогенез, тормозит темп кальцификации регенерирующей костной ткани и трансформирует костные лакуны в первичные остеоны, являющиеся провизорными структурами. Встрание навстречу друг другу первичных остеонов обеспечивает удлинение distractionных регенератов по вектору растяжения. Костная ткань первичных остеонов обладает способностью не только к аппозиционному, но и к значительно более быстрому интерстициальному росту.

Ю. М. Ирьянов (Курган)

Особенности ангиогенеза в distractionных регенератах

Peculiarities of angiogenesis in distraction regenerates

Цель настоящей работы - изучение особенностей формирования кровеносных сосудов в distractionных регенератах на различных этапах удлинения голени по методу Г. А. Илизарова.

Материал и методы исследования. Изучали просветленные неокрашенные продольные распилы distractionных регенератов, полутонкие срезы, окрашенные гематоксилином и эозином, толуидиновым синим, метиленовым синим и ШИК-методом, с соответствующими контролями для выявления гликопротеинов. Ультратонкие срезы исследовали при помощи трансмиссионной электронной микроскопии, инъекционные коррозионные реплики сосудов - при помощи сканирующей электронной микроскопии. Определяли митотическую активность эндотелиоцитов и остеогенных клеток и проводили их ультраструктурометрию. Распределение и концентрацию кальция, фосфора и серы в регенератах определяли на их продольных шлифах с помощью рентгеновского электронно-зондового микроанализатора. Для сравнения исследовали большеберцовые кости интактных взрослых собак и регенераты, формирующиеся в условиях стабильной фиксации костных отломков и нейтрального остеосинтеза.

Проведенные исследования показали, что с первой недели distraction в регенератах формируются два морфофункциональных типа капилляров: транспортные с узким просветом, заполненные форменными элементами крови, и широкие обменно-трофические с ультраструктурой синусоидов, содержащие главным образом плазму и малодифференцированные остеогенные клетки, идентифицируемые по содержанию внутриклеточных маркеров - митохондрий с

кристаллами минерала в матриксе. Более дифференцированные остеогенные клетки локализовались в составе эндотелия, в периваскулярных и околососудистых пространствах.

Под влиянием distraction в регенератах вокруг линии излома формируется слабо минерализованная прослойка, в которую с проксимальной и дистальной сторон врастают вертикально ориентированные артериоларные, веноулярные и капиллярные петли, от вершин которых берут начало капиллярные почки и растущие терминалы. В вертикальном направлении прослойку пересекают удлиненные и резко утонченные под влиянием растяжения латеральные ветви питательной артерии и анастомозирующие капиллярные терминалы, что обеспечивает непрерывность сосудистого русла проксимального и дистального фрагментов регенерата.

Из надкостницы под прямым углом к ней в регенерат направляются артериолы и артериоло-веноулярные петли, связывающие в единую систему кровотоки в медуллярной и периостальной зонах.

На периостальной поверхности вокруг срединной прослойки новообразованные сосуды ориентируются в основном циркулярно и формируют петли в косо-поперечном направлении. Локализованные здесь вены приобретают лентовидную форму и через туннелеподобные структуры в их стенках пронизываются капиллярами.

Кортикальная пластинка новообразованного участка диафиза приобретает мелкогубчатое строение вследствие образования многочисленных перфорационных отверстий - дополнительных питательных каналов, через которые сосудистые ветви проникают как в регенерат, так и из него в окружающие мягкие ткани, обеспечивая их дополнительное кровоснабжение. В гаверсовых каналах периостальных остеонов новообразующейся кортикальной пластинки располагаются главным образом вены, соединяющиеся между собой циркулярно ориентированными сосудами. Ближе к концам костных фрагментов на периостальной поверхности наряду с продольными сосудами появляются и крупные, переплетающиеся, циркулярно ориентированные сосудистые пучки. Новообразованные сосуды в distractionных регенератах часто приобретают извитой спиралевидный ход и многочисленные циркулярные складки на люминальной поверхности, что свидетельствует о том, что скорость их роста опережает темп distraction (0,75-1 мм в сутки) и почти в 10 раз выше, чем при обычных регенерационных процессах. Это обеспечивается стимулирующим влиянием на ангиогенез "засасывающего" эффекта разрежения, возникающего вследствие расширения интерстициальных пространств в регенератах при distraction.

Таким образом, результаты проведенных нами исследований свидетельствуют о формировании в distractionных регенератах пространственно упорядоченной структуры путей притока и оттока крови под стимулирующим влиянием distraction на ангиогенез.

Ю. М. Ирьянов (Курган)

Влияние distraction на ангиогенез и микроангиоархитектонику в мягких тканях конечностей, удлиняемых по Илизарову

Effect of distraction on angiogenesis and microangioarchitectonics in soft tissues of limbs, elongated according to Ilizarov

Известно, что механическое растяжение стимулирует синтез белка гладкомышечными клетками, ускоряет миграцию эндотелиоцитов и регенерационные процессы в них, индуцирует ангиогенез в микрососудах наружной оболочки магистральных артерий [В.В.Куприянов, В.А.Миронов, А.А.Миронов и др., 1993].

Цель настоящей работы - изучение влияния distraction на ангиогенез и пространственную организацию сосудов гемо-

микроциркуляторного русла мягких тканей конечностей при их удлинении по методу Г. А. Илизарова.

С помощью сканирующей электронной микроскопии на коррозионных инъекционных репликах кровеносных сосудов исследована микроангиоархитектоника дермы, фасциального аппарата голени, передней большеберцовой и икроножной мышц взрослых собак, которым после закрытой флексии остеоклазии берцовых костей осуществляли удлинение голени по методу Г. А. Илизарова. Для сравнения исследовали материал у интактных собак.

У взрослых интактных животных сетчатый слой дермы содержит в основном магистральные сосуды и очень мало капилляров, что связано с низкой метаболической активностью коллагена, составляющего большую часть этого слоя кожи. Дистракция возбуждает ангиогенез в коже удлиняемой конечности. В сетчатом слое дермы появляются многочисленные продольно ориентированные артериолы и вены и густые сети капиллярных петель полигональной формы, ориентированные преимущественно циркулярно, параллельно поверхности эпидермиса. В терминальном сосудистом русле образуются метартериолы, выполняющие роль сквозного канала с низким сопротивлением, увеличивающие кровоток и открывающиеся непосредственно в собирающую венулу. Характерной особенностью новообразованного микроциркуляторного русла сетчатого слоя дермы удлиняемой конечности является формирование капиллярных петель между одноименными сосудами преимущественно венулярного звена. Новообразование магистральных сосудов в сетчатом слое дермы удлиняемой конечности осуществляется посредством боковых ответвлений от крупных циркулярных сосудистых ветвей.

Ангиоархитектоника фасций голени интактных собак характеризуется наличием триад, состоящих из терминальных артерий, двух сопровождающих ее параллельных вен и многочисленных хаотично расположенных капилляров. Под влиянием дистракции триады трансформируются в зигзагообразные сосудистые комплексы, в которых формируются параартериальные венозные сплетения. Терминальная артерия таким образом окружается многочисленными венозными трактами, что характерно, как известно (В.В.Куприянов, 1983), для тканей, испытывающих влияние длительных напряжений растяжения в естественных условиях. В микроциркуляторном русле фасций удлиняемой голени венулярное звено приобретает значительно большую протяженность и емкость по сравнению с артериальным. Образующиеся многочисленные сосудистые анастомозы создают определенную пространственно упорядоченную структуру путей притока и оттока крови, напоминающую по форме на отдельных участках веревочную лестницу. В скелетных мышцах удлиняемых конечностей отмечается новообразование капиллярных терминалей и рост артериол, которые распространяются на значительные расстояния без разветвлений на капилляры. Анастомозируя с венулами они образуют длинный прямой артериоло-венулярный путь, в котором можно идентифицировать капиллярное звено лишь по его значительно более утолщенному венулярному концу. Ангиогенез в скелетных мышцах, как и в фасциях сопровождается формированием новых микроциркуляторных модулей, приобретающих наибольшую протяженность и объем в продольном направлении.

Таким образом, установлено, что дистракция оказывает стимулирующее влияние на ангиогенез в мягких тканях удлиняемых конечностей, чем обеспечиваются необходимые условия для их роста в заданном направлении.

Н. Р. Карымов (Курган)

Ультраструктурные аспекты адаптации нервных стволов к дозированному растяжению

Ultrastructural aspects of adaptation of nervous trunks to graduated distraction

Нервные стволы имеют сложную, многокомпонентную организацию.

Целью работы явилось изучение ультраструктурных изменений, обеспечивающих координацию реакций структурных компонентов периферического нерва в ответ на дозированное растяжение.

Методом просвечивающей электронной микроскопии исследованы берцовые нервы 30 взрослых беспородных собак, голень которых удлинляли с темпом от 0,75 до 2 мм в сутки и различной дробностью. Удлинение составляло до 20 процентов от первоначальной длины голени. Контролем служили одноименные нервы интактных животных.

Результаты исследования показали, что в условиях дистракции с темпом до 1 мм в сутки и не более чем на 0,25 мм за 1 прием с началом удлинения увеличивается латеральная подвижность цитолеммы в нервных волокнах и их оболочках. Феномен этот проявляется образованием в структуре мембран чередующихся участков повышенной и пониженной электронной плотности. С цитоплазматической поверхности участков мембраны с повышенной электронной плотностью формируются микрофибрилярные агрегаты, дифференцирующиеся в специализированные адгезивные соединения, подобные десмосомам и полудесмосомам. Базальные мембраны утолщаются. В структуру их впадают коллагеновые фибриллы и фибронектин-содержащие микрофибриллы эластических волокон [С. Н. Асонова, 1993]. В процессе дистракции количество фибронектин-содержащих микрофибрилл в межклеточном матриксе эндо-, пери- и эпиневирия значительно увеличивается. Отростки леммоцитов, периневральных клеток, фибробластов окружают небольшие пучки коллагеновых фибрилл, образуя структуры, похожие на мезаксоны. Таким образом, дозированная дистракция в адекватном режиме существенно усиливает контактную интеграцию клеточных и межклеточных структур нервного ствола, увеличивая взаимную биомеханическую зависимость элементов. Возникновение продольных выпячиваний кариолеммы, связанных с пучками глиофиламентов, убеждает в возможности опосредованной передачи дистракционных деформаций на геном. Клетки приобретают фенотип, характерный для процессов активного биосинтеза. Ядерный хроматин деконденсируется, ядрышко приближается к поверхности кариолеммы, рибосомы организуются в полисомы, гипертрофируются гранулярный эндоплазматический ретикулум и комплекс Гольджи. В процессе дистракции в нерве изменяется энергетический обмен. Баланс его постепенно смещается в направлении гликолиза. На это указывает накопление в клетках, особенно периневральных, гранул гликогена, коррелирующее с новообразованием капилляров. По мнению отдельных авторов [О. С. Сотников, 1985] накопление гликогена может еще и служить для регуляции водносолевого состава эндоневральной среды. Значение сохранения последнего в определенных рамках особо ярко демонстрируют эксперименты с высоким темпом удлинения и малой дробностью. Возникающие в этих условиях нарушения структуры гистогематического и периневрального барьеров приводят к эндоневральному отеку, вторичным дистрофическим изменениям клеток, разрыву межклеточных и цитостромальных контактов, ретракции клеточных отростков и, соответственно, к несостоятельности вышеописанных контактных интеграционных механизмов, обеспечивающих координированный рост структурных компонентов нервов под влиянием дозированного растяжения.

Н. Р. Карымов (Курган)

Влияние дозированной дистракции на эластогенез в периферических нервах

Effect of graduated distraction on elastogenesis in peripheral nerves

Волокна эластической системы отличаются друг от друга

соотношением эластичного и микрофибриллярного компонентов. Преобладание в тканях того или иного типа волокон зависит от испытываемых ими механических нагрузок [В.В.Серов, А.Б.Шехтер, 1981].

Цель данной работы - исследовать возможности управления структурным составом эластических волокон посредством дозированной distraction.

Эксперименты проведены на 11 взрослых беспородных собаках, которым аппаратом Илизарова удлинляли голень с темпом 1 мм в сутки и четырехкратной дробностью. В просвечивающем электронном микроскопе изучены берцовые нервы удлинняемой голени. Контролем служили одноименные нервы 4 интактных животных.

Выявлено, что в нервах интактных животных качественный состав эластических волокон эпи-, пери-, и эндоневрия различен. Волокна эпиневирия представлены композицией обильного центрального аморфного ядра и окружающих его единичных микрофибрилл диаметром 10-12 нм. В волокнах наружных областей периневирия представительство микрофибрилл нарастает. Они образуют сплошной или несколько слоев вокруг овального, аморфного ядра. Во внутренних областях периневирия волокна образованы перемежающимися агрегатами аморфного и микрофибриллярного компонентов. Эндоневральные волокна состоят практически из одних микрофибрилл. Учитывая, что от соотношения микрофибриллярного и аморфного компонентов зависят эластические свойства волокон [А. Б. Шехтер, 1971], можно утверждать, что в норме они снижаются от эпи- к эндоневрию.

В процессе дозированной distraction в составе предсуществующих эластических волокон эпиневирия заметно увеличивается микрофибриллярный компонент. Кроме того, в эпиневирии появляются многочисленные пучки микрофибрилл, не связанные с аморфным компонентом, пучки микрофибрилл с крайне скудным центральным аморфным компонентом. Доля микрофибрилл нарастает и в составе волокон наружных областей периневирия. За счет увеличения численности микрофибрилл здесь происходит слияние отдельных овальных волокон в пластинчатые структуры. Мелкие пучки микрофибрилл формируются по всей толщине периневирия. В волокнах внутренних слоев периневирия микрофибриллы почти полностью вытесняют аморфные агрегаты. В эндоневрии увеличиваются поперечные размеры крупных пучков микрофибрилл. Обнаруживаются многочисленные микрофибриллы, рассеянные среди коллагеновых фибрилл.

Таким образом, полученные результаты показали, что, стимулируя эластогенез, дозированная distraction существенно меняет структурный состав волокон эластической системы. Данное обстоятельство может иметь два важных последствия: увеличение адгезивных свойств межклеточного матрикса и временное снижение эластичности тканей в период distraction.

Н. Р. Карымов (Курган)

Механизмы роста миелиновых нервных волокон в нервах удлинняемой по Илизарову конечности

Growth mechanisms of nervous myelin fibers in nerves of a limb, elongated according to Ilizarov

Методами световой, электронной микроскопии, морфометрии исследовали миелиновые нервные волокна в составе пучков нервов удлинняемой методом distractionного остеосинтеза конечности. Опыты проведены на 67 взрослых беспородных собаках.

Проведенные исследования выявили три базовых механизма роста миелиновых волокон.

Первый из них связан с удлинением имеющихся интернодальных миелиновых сегментов. Сохранность специализированных аксон-глиальных соединений в паранодальных областях растущих сегментов миелина подразумевает одновременный рост прилежащей к ним аксолеммы. В структуре

волокон возможно формирование перехватоподобных образований.

Второй механизм роста миелиновых нервных волокон основан на очаговой демиелинизации и последующей ремиелинизации удлинняющегося осевого цилиндра.

Третий механизм включается при нарушении непрерывности осевого цилиндра миелинового нервного волокна. В этом случае дистальный участок волокна подвергается валлеровской дегенерации. Аксон проксимальнее зоны повреждения образует ветви, которые прорастают вдоль удлинняющихся в процессе distraction леммоцитарных тяжей и миелинизируются.

Степень участия того или иного механизма роста связана с предоперационным состоянием нервных волокон, видом оперативного вмешательства при нарушении целостности кости, темпом и ритмом distraction, величиной удлинения.

К. П. Кирсанов, Г. А. Степанова (Курган)

Рентгенологические аспекты репаративной регенерации позвонка после его полной поперечной остеотомии в эксперименте в условиях наружной чрезкостной фиксации позвоночника аппаратом

Roentgenologic aspects of reparative regeneration of vertebra after its transverse osteotomy experimentally in the conditions of external transosseous spinal apparatus fixation

Опыты проведены на 18 собаках. Методика эксперимента заключалась в фиксации поясничного отдела позвоночника аппаратом внешней конструкции и полной поперечной остеотомии одного из поясничных позвонков (L4 или L5). Рентгенологические исследования выполняли до операции, после осуществления оперативного вмешательства, в периоде фиксации - через 5,7,9,14,21 и 28 дней. После снятия аппарата спондилограммы оперированного отдела позвоночника выполняли через один, три, шесть и двенадцать месяцев.

Результаты исследований показали, что в день операции на боковых рентгенограммах линия остеотомии определялась на всем протяжении позвонка. Она проходила от верхушки остистого отростка до его основания, далее по дужке с обеих сторон, переходила на тело и заканчивалась на его вентральной поверхности. Край фрагментов поврежденного позвонка по линии остеотомии имели четкие контуры, диастаз между ними отсутствовал. Корковая пластинка тела по дорсальной и вентральной поверхностям была прерывиста. На протяжении всего периода фиксации на спондилограммах, выполненных в двух стандартных проекциях, ось позвоночника и физиологический лордоз оставались без изменений. Межпозвоноковые отверстия, сагиттальный диаметр позвоночного канала, тела позвонков, межтеловые промежутки и дугоотростчатые суставы сохраняли исходные размеры и форму. Достигнутое на момент сопоставления положение фрагментов поврежденного позвонка стабильно удерживалось аппаратом. Через 5-9 дней фиксации значительных изменений в рентгенологической картине не наблюдалось. Спустя 14 дней после операции фрагменты позвонка в зоне перелома имели нечеткие контуры. Линия остеотомии, преимущественно в теле позвонка, прерывалась незначительными по величине и плотности тенями. Через 21 день фиксации она прослеживалась в виде едва заметной полосы просветления и на всем протяжении имела неоднородный характер за счет перекрывающих её теней различной плотности. К этому сроку сохранялась прерывистость контуров тела поврежденного позвонка. На рентгенограммах изолированных анатомических препаратов в конце периода фиксации (через 28 дней) на большем протяжении зоны травматического повреждения тело позвонка имело трабекулярный рисунок, а в задних структурах ещё прослеживалась полоса просветления. Контур позвонка приобрели непрерывность.

В периоде после снятия аппарата на обзорных спондило-

граммах и рентгенограммах изолированных анатомических препаратов отмечалась дальнейшая структурная перестройка позвонка. Уже через один месяц следов травматического повреждения в теле не выявлено. Чётко прослеживались его контуры по вентральной и дорсальной поверхностям. Тело позвонка сохраняло прямоугольную форму и "талию" и имело однородный трабекулярный рисунок. В остистом отростке и, частично, в дужке в отдельных участках прослеживались едва заметные следы линии остеотомии в виде прерывистой полосы просветления. Отдалённые результаты, наблюдаемые через один год после снятия аппарата не выявили существенных рентгенологических изменений оперированного отдела позвоночника. Поясничные позвонки и межтеловые промежутки имели исходные размеры и обычную форму. Ось позвоночника оставалась без изменений, сохранялся физиологический лордоз.

Таким образом, выполненные рентгенологические исследования позволили изучить динамику репаративного остеогенеза при моделировании нестабильного перелома позвонка в условиях чрескостной фиксации повреждённого отдела позвоночника аппаратом. Полученные результаты показали, что внешняя фиксация компрессионно-дистракционным аппаратом позволяет стабильно удерживать фрагменты повреждённого позвонка в достигнутом на момент сопоставления положении на протяжении всего периода фиксации. Минимальная травматичность метода фиксации (берегательное отношение к остеогенным тканям и кровеносным сосудам), возможность осуществления чёткого сопоставления фрагментов повреждённого позвонка с отсутствием их дислокации создают оптимальные механико-биологические условия для репаративного остеогенеза. Это, в свою очередь, позволяет достичь консолидации нестабильного перелома позвонка через 28 дней фиксации.

А. А. Коломиец (Барнаул)

Регенерация и рост сухожилий в условиях дозированного растяжения

Regeneration and growth of tendons in the conditions of graduated distraction

Для обоснования новой методики удлинения сухожилий в условиях дозированного растяжения нами проведены экспериментальные исследования в двух группах животных, по 10 собак в каждой.

Методика экспериментов: Под наркозом стопу, голень и ахиллово сухожилие (АС) фиксировали в аппарате Илизарова. Затем пересекали АС поперечно на 15-20 мм выше пяточного бугра. В первой группе удлиняли его путем постепенного разгибания стопы со скоростью 1-1,25 мм ежедневно. Во второй группе сухожилия не удлиняли, добиваясь их сращения. Для характеристики гистологического строения и оценки прочностных свойств образованного регенерата АС иссекали на 6, 15, 20, 25, 35, 40, 50, 60, 75 и 80-е сутки после операции. При сравнительном анализе препаратов выявлена определенная закономерность. Цикл формирования "регенерационная blastoma - незрелая соединительная ткань - волокнистая сухожильная ткань" в первой группе заканчивался к 50-60, а во второй - к 40 суткам. В том и другом случае по внешнему виду регенерат имеет вид сухожильной ткани, у которой отсутствует перламутровый блеск.

Оптимальная растяжимость сухожильного регенерата восстанавливалась к 50-60 суткам, относительное удлинение составляло 0,2-0,17. Коэффициент упругости достигал 25-35 кг/мм² только к 60 суткам. Оптимальный предел прочности (5-6,6 кг/мм²) в первой группе восстанавливался к 60-70, второй - 40-50 суткам.

Полученные данные о возможности формирования полноценной сухожильной ткани путем дозированного растяжения регенерата позволили разработать и внедрить в практику лечения стойких сгибательных контрактур голеностопно-

го сустава и разгибательных - коленного, оригинальную методику удлинения сухожилий.

По описанной методике удлинено 74 АС и два сухожилия четырехглавой мышцы бедра у больных детским церебральным параличом, 10 АС - у пациентов с остаточными явлениями полиомиелита, 66 - косопалостью. У 12 больных гемофилией этот элемент операции был введен в аппаратную коррекцию эквинусных деформаций стоп. Независимо от характера патологии расчетная скорость удлинения составляла 1-2 мм/сутки, величина удлинения - 15-55 мм. К преимуществам метода можно отнести малую травматичность, высокую эффективность в условиях отеков или рубцовых тканей стопы и голени, безопасность операции при наличии близлежащих очагов инфекции. Во всех случаях сухожилия после их удлинения оказались состоятельными при нагрузке, хорошо смещались в окружающих тканях. В период отработки методики у 3 пациентов произошло досрочное сращение сухожилий. Случаев разрыва регенерата не зарегистрировано.

Таким образом, проведенные экспериментальные и клинические наблюдения свидетельствуют о высоких регенераторных возможностях сухожилий животных и человека и правомерности общепризнанного закона Г. А. Илизарова "напряжение растяжения" по отношению к сухожильной ткани.

**Л. Н. Кочуткина, И. П. Кудрявцева
(Екатеринбург)**

Гистогенетические особенности регенерации скелетной мышцы при дистракционном остеосинтезе по Г.А.Илизарову

Histogenetic peculiarities of skeletal muscle regeneration in distraction osteosynthesis according to Ilizarov

Изучение закономерностей гистогенеза скелетной мышечной ткани конечности, удлиняемой методами моно- и биллокального дистракционного остеосинтеза, представляет интерес для ортопедической практики, так как успех коррекции больших укорочений конечности зависит от состояния мышц. В ходе репаративной регенерации мышечной ткани проявляются, с некоторыми особенностями, общие закономерности эмбрионального гистогенеза - пролиферация, дифференциация, детерминация, интеграция и функциональная адаптация клеток.

Вопрос о закономерностях процессов регенерации в различных условиях функционирования мышц и определяющих их адаптационных возможностях при ликвидации укорочений конечностей различной этиологии методами дистракционного остеосинтеза остается актуальным и недостаточно полно изученным.

Цель настоящего исследования - показать некоторые закономерности и особенности регенерации мышц при дистракционном остеосинтезе. В эксперименте на 18 собаках с остеотомией большеберцовой кости удлиняли конечность методами моно- и биллокального дистракционного остеосинтеза с разовым суточным темпом 1 мм на каждом уровне остеотомии до 50% исходной длины. Использовали методы световой и электронной микроскопии.

Регенерация скелетной мышечной ткани, подвергающейся воздействию дозированного растяжения при моно- и биллокальном дистракционном остеосинтезе наблюдалась в ее внутриклеточной и клеточной формах. Внутриклеточные процессы регенерации были отмечены в конце периода дистракции в виде гипертрофированных мышечных волокон, крупных митохондрий, полиморфизма саркоплазматического ретикула. Клеточная форма регенерации представлена миосателлитоцитами, миобластами, миосимпластами, расположенными возле очагов некроза мышечных волокон. Исследование мышц в области мышечно-сухожильных соединений в условиях биллокального дист-

рационного остеосинтеза выявило продольнорасположенные миобласты, миосимпласты, продолжающиеся в мышечные волокна. При электронномикроскопическом исследовании в этих участках удалось обнаружить группы малодифференцированных клеток. Гистологический анализ материала позволяет предположить наличие в этих группах клеток миосателлитов, которые инкорпорируются в мышечное волокно в области мышечно-сухожильных соединений. Регенерирующие нервные волокна моторных нервных окончаний наблюдались около миотуб при монолокальном distractionном остеосинтезе, а при биллокальном distractionном остеосинтезе - вблизи миосимпластов. Описанная гистологическая картина регенерации скелетной мышечной ткани в условиях дозированного растяжения методом биллокального distractionного остеосинтеза имеет сходство с мюстогенезом в процессе постнатального роста: мышечные волокна в постнатальном онтогенезе удлиняются в результате слияния с миосателлитами в местах прикрепления мышечного волокна к плотной соединительной ткани.

Проведенное исследование показало, что воздействие растяжения в условиях применения метода биллокального distractionного остеосинтеза с остеотомией в проксимальной и дистальной зонах создает условия для активизации процессов регенерации, роста нервных и мышечных волокон в длину подобно их постнатальному росту при сохранении эпифизарных пластинок роста, действующих как биологические дистракторы, в отличие от монолокального distractionного остеосинтеза.

**А. А. Ларионов, А. И. Лапынин, Н. М. Ключин,
А. И. Топоров (Курган)**

Хирургическая стимуляция остеогенеза в distractionном регенерате

Surgical osteogenesis stimulation in distraction regenerate

Удлинение конечности или костного отломка длинной трубчатой кости по Илизарову основывается на формировании distractionного регенерата, постепенно превращающегося в зрелую костную ткань. Разнообразные биомеханические факторы, нередко сочетающиеся в конкретной клинической ситуации, способны задерживать формирование и перестройку distractionного регенерата, что вызывает необходимость активизировать костеобразовательные процессы.

С этой целью нами были разработаны в эксперименте приемы хирургической стимуляции остеогенеза в distractionном регенерате, которые были апробированы в клинической практике в процессе лечения больных с укорочениями и дефектами костей конечностей, осложненных хроническим остеомиелитом. Теоретической предпосылкой для производства хирургических манипуляций на distractionном регенерате явились известные положения о возбуждении репарации тканей и усилении их кровоснабжения после повреждения. Distractionный регенерат, как показали наши предварительные исследования, представляет собой молодую новообразовавшуюся ткань, богатую костеобразовательными элементами с высокими регенеративными потенциями. Реализация этого остеогенного потенциала облегчается на фоне активации организма distractionным остеосинтезом. Экспериментальное обоснование приемов стимуляции остеогенеза в distractionном регенерате было проведено на 12 собаках, которым моделировали удлинение голени на 30% при помощи аппарата Илизарова из 4-х колец после остеотомии диафизов берцовых костей. Distractionцию костных фрагментов начинали на 8-е сутки опыта с темпом 0,75 мм и продолжали в течение 42-х суток. Перестройка сформировавшегося distractionного регенерата в костный завершалась у контрольных животных через 90 суток, после чего аппарат снимали. У остальных животных

в первой группе опытов производили перфорации distractionного регенерата спицами Киршнера, во второй группе опытов осуществляли постепенное разрушение наружного слоя регенерата путем дозированного перемещения в нем спиц, в третьей группе опытов производили в период distractionции остеотомию костной части регенерата и продолжали distractionцию на новом уровне до необходимого удлинения, в четвертой группе опытов производили повреждение регенерата путем дозированного перемещения на его поверхности костного трансплантата. Использование вышеприведенных приемов у опытных животных позволило сократить сроки перестройки регенерата с 90 суток до 30-57 суток. Изучение рентгено-гистологической картины остеорепаляции показало, что по ходу спицевых каналов в молодой костной ткани регенерата возникали множественные очаги остеогенеза. Репаративная регенерация сопровождалась формированием в регенерате мелкопетлистой сети новых трабекул и наслоением на поверхности новообразованных трабекул дополнительного слоя новой костной ткани. Дефекты на месте спицевых каналов быстро заполнялись мелкопетлистой сетью трабекул. Бурная остеогенная реакция со стороны надкостницы, покрывающей distractionный регенерат, вызвала его муфтообразное утолщение. После остеотомии костной части distractionного регенерата формирование и перестройка нового distractionного регенерата отличались более ранним и активным развитием костеобразовательных процессов по сравнению с первоначальным этапом удлинения. Одновременно с этим наблюдали активизацию замещающих процессов на уровне мягкотканного компонента ранее сформированного distractionного регенерата.

Клиническая апробация предложенных приемов хирургической стимуляции остеогенеза у больных с замедленным формированием distractionного регенерата подтвердила их эффективность и выявила среди них наиболее перспективные методики. Анализ у пациентов клико-рентгенологических признаков формирования и перестройки distractionных регенератов высотой от 9 до 24 см выявил, что наибольшее ускорение замещающих процессов на месте мягкотканного компонента регенерата отмечалось при использовании методики, направленной на дозированное разрушение наружного слоя регенерата спицами или костным трансплантатом. Такой подход обеспечивал перестройку сформированного у них distractionного регенерата в зрелую костную ткань за относительно короткое время, а именно, требовалось не менее 4-5 суток фиксации аппарата на один сантиметр удлинения костного отломка или сегмента конечности.

Таким образом, предложенные приемы хирургической стимуляции остеогенеза отличаются простотой, осуществляют без специальных устройств и обеспечивают ускорение трансформации distractionного регенерата в костный с одновременным увеличением его объема и сохранением достигнутого удлинения, что существенно влияет на сроки реабилитации ортопедо-травматологических больных.

**А. А. Ларионов, Н. В. Офицерова, О. Б.
Устюжанина (Курган)**

Особенности формирования и перестройки distractionного регенерата при последовательном удлинении двух конечностей в эксперименте

Peculiarities of formation and reorganization of distraction regenerate during experimental consecutive elongation of two limbs

Медицинская реабилитация ортопедо-травматологических больных с использованием методов чрескостного остеосинтеза часто состоит из нескольких этапов хирургического лечения, в течение которых нередко наблюдается замедленное, по сравнению с первым этапом, развитие костеобразовательных процессов. Последнее обуславливает снижение

эффективности и увеличение сроков восстановительного лечения, что послужило основанием к изучению в эксперименте остеорепарации и ее регуляции некоторыми эндокринными органами при поочередном удлинении обеих конечностей.

Эксперимент был проведен на 6 взрослых собаках, которым в операционной накладывали на голень аппарат Илизарова из 4-х колец и производили пилой Джильи остеотомию берцовых костей. Дистракцию костных фрагментов начинали на 8-е сутки опыта с темпом 0,75 мм и продолжали 42 дня. Затем следовал период фиксации, необходимый для превращения сформировавшегося дистракционного регенерата в зрелую костную ткань, после чего аппарат снимали. Вначале производили удлинение одной голени, а через 8 месяцев после снятия аппарата и анатомо-функциональной перестройки участка кости, новообразованного при первом удлинении, осуществляли удлинение голени противоположной конечности.

Костеобразование оценивали рентгенологически с использованием денситометрии и планиметрии рентгенограмм. Радиоиммунологическим методом в сыворотке крови определяли концентрацию соматотропного гормона (СТГ), кальцитонина (КТ) и паратирина (ПТГ).

После первой операции рентгеноденситометрические признаки остеогенеза в межкостном диастазе обнаруживались в первую неделю дистракции. Новообразованное костное вещество занимало 6,6% площади формировавшегося дистракционного регенерата. К 14-м суткам дистракции в нем выделялись две костные части, разделенные посередине мягкотканной прослойкой. Доля новообразованного костного вещества к окончанию дистракции увеличивалась до 82,1%, а его минерализация составила 56% от оптической плотности кости в проекции костномозговой полости до операции. Перестройка дистракционного регенерата в костный продолжалась 90 суток. Минерализация новой кости увеличивалась к этому сроку наблюдения до 91%. Органотипическое строение нового диафизарного участка кости определяли через 3 месяца после снятия аппарата. Содержание остеотропных гормонов в организме изменялось в соответствии со спецификой их действия. С первых суток опыта обнаруживали увеличение в 5-6 раз концентрации ПТГ, регулирующего перестройку минерального и органического матрикса скелета, которая начинала снижаться в конце периода фиксации. Создание органического матрикса регенерата стимулировалось СТГ, концентрация которого постепенно нарастала до $5,0 \pm 2,1$ нг/мл в середине периода фиксации. Минеральная насыщенность регенерата контролировалась КТ, увеличивавшимся до 194 ± 27 пг/мл в процессе перестройки регенерата.

После второй операции в процессе удлинения второй голени выявляли задержку формирования и перестройки дистракционного регенерата в зрелую кость. Новое костное вещество появлялось в диастазе только к 14-м суткам дистракции. Доля его была достоверно уменьшена, по сравнению с первым удлинением, на 28%. Динамика минерализации не имела достоверных различий. Срок перестройки регенерата увеличивался в среднем на 2 месяца. Концентрация ПТГ накануне операции превышала норму в 3,5 раза, а в последующем - в 10-11 раз. Содержание СТГ и КТ было ниже нормальных значений как исходно, так и в процессе удлинения конечности. Концентрация СТГ увеличивалась до $2,48 \pm 0,59$ нг/мл, а КТ - до $151,7 \pm 23$ пг/мл.

Таким образом, сравнительное изучение остеорепарации при поочередном удлинении конечностей позволило обнаружить замедление костеобразования при повторном формировании дистракционного регенерата. Динамический контроль за гормональной регуляцией остеогенеза вскрыл существование после удлинения конечности восстановительного периода для систем организма, обеспечивающих костеобразование. Вышеуказанное целесообразно учитывать на этапах реабилитации ортопедо-травматологических больных при определении готовности организма к очередному удлинению конечности или к следующей костно-

пластической операции.

С. А. Логвенков (Москва)

Модель роста костного регенерата, полученного при дистракционном остеосинтезе. Распространение волны отвердения

A model of bone regenerate growth, produced in distraction osteosynthesis. Spread of an ossification wave

1. В ряде случаев хирургической практики возникает необходимость выращивания новой костной ткани. С этой целью отломки кости фиксируют в аппарате Илизарова, создавая условия для формирования первичного сращения, образованного слабодифференцированной остеогенной тканью и пристенной сетью костных балок. Формирование новой кости является результатом роста, удлинения и созревания ткани костной мозоли, первоначально полученной в преддистракционный период.

2. Предлагается математическая модель, позволяющая определять длину зоны роста и описывать изменение клеточного состава в костном регенерате, получаемом в результате дистракционного остеосинтеза при различных скоростях перемещения опорных колец. Предсказание напряженного состояния регенерата может позволить избежать достижения критических напряжений, вызывающих разрыв ткани.

В качестве основных структурных элементов модели костной мозоли рассматриваются остеогенные и хрящевые клетки, остеобласты, внеклеточный матрикс, кровеносные сосуды. Полученные балансовые уравнения описывают рождение и гибель клеток, продуцирование внеклеточного хрящевого и костного матрикса, а также превращение одного вида клеток в другие (известно, что остеогенные клетки дифференцируются в клетки кости или хряща в зависимости от концентрации кислорода в ткани).

Ткань регенерата рассматривается как растущее упругое тело с ростовыми коэффициентами, зависящими от концентрации кальция в ткани. Концентрации кальция и кислорода, в свою очередь, подчиняется соответствующим балансовым уравнениям, где учтено их поступление в ткань, связанное с плотностью сети кровеносных сосудов. Развитие сети кровеносных сосудов описывается как движение волнового фронта.

3. Изучение некоторых элементарных зависимостей изменения длины области роста от параметров задачи проведено с использованием сильно упрощенной модели.

Материал ткани регенерата считается круговым стержнем с реологией растущего упругого тела, при этом отброшены скорости упругих деформаций. Это допустимо, если время релаксации напряжений в стержне значительно меньше характерного времени растяжения. Ростовый коэффициент, связывающий напряжения и скорость деформации, считается функцией концентрации кальция доставляемого в ткань по кровеносным сосудам, плотность распределения которых является совокупностью двух волн, распространяющихся с постоянной скоростью с торцов стержня навстречу друг другу.

Зависимость ростового коэффициента от концентрации кальция считается такой, что он отличен от нуля пока концентрация кальция не превышает некоторого критического значения, его превышение означает прекращение роста и обращение в ноль ростового коэффициента. Точка, в которой концентрация кальция принимает критическое значение, является границей зоны роста.

В результате численного решения получены графики зависимости длины зоны роста и осевого напряжения как функции времени при варьировании скорости перемещения торцов, содержания кальция в крови и проницаемости стенок сосудов.

На основе этой упрощенной модели рассмотрен регуляторный механизм, управляющий скоростью перемещения торцов так, чтобы поддерживать постоянство осевого напряже-

ния в ткани. Оказалось, что путем выбора удачных начальных условий и характерного времени регуляции удастся продолжить время поддерживать стационарные значения напряжения и длины зоны растяжения. Однако это положение равновесия является неустойчивым. Представляется, что описанная модель является полезным инструментом при исследовании процессов роста во время дистракционного остеосинтеза. Однако исследование при этом должно быть дополнено уравнениями клеточной кинетики.

Е. Л. Матвеева, Т. В. Русова, С. А. Ерофеев, А. А. Шрейнер (Курган)

Изменения показателей углеводного компонента протеогликанов тканей коленного сустава при удлинении голени у собак

Changes of indices of proteoglycans carbohydrate component of the knee tissues during canine leg elongation

Удлинение костей в той или иной мере сопровождается сдвиганием суставных поверхностей смежных суставов. Состояние метаболизма одного из основных компонентов матрикса параартикулярных тканей - протеогликанов - в условиях дистракции голени с темпом 1 мм при 8-кратной дробности до сих пор еще никем не исследовалось. Поэтому мы изучали состояние протеогликанов (ПГ) в хряще и синовиальной оболочке коленного сустава фиксированной и контрлатеральной конечности собак в данном эксперименте.

Биохимические исследования проводились на 9 собаках с удлинением голени аппаратом Илизарова, начинаемом через 5 дней после флекссионной остеоклазии большеберцовой кости. Результаты были сгруппированы по срокам эксперимента следующим образом: 14 дней дистракции, без фиксации - I группа; 28 дней дистракции, без фиксации - II группа; 28 дней дистракции, 30 суток фиксации - III группа; 28 дней дистракции, 91 сутки фиксации - IV группа; Материал забирали после эвтаназии животного и включал в себя внутреннюю поверхность коленных суставов оперированной и контрлатеральной конечностей, из которых вычленился суставной хрящ и синовиальная оболочка сустава. Визуально поверхность хрящей у всех собак была гладкой, блестящей, молочного цвета, за исключением материала от собак II группы, у которых наблюдался синюшный цвет суставного хряща, истончение его и значительная эрозия на поверхности мыщелка как опытной, так и контрлатеральной конечности. У одной из собак этой группы (N 0919) было отмечено значительное увеличение объема суставной жидкости, которая имела признаки гемолиза.

Из тканей протеогликанов (ПГ) экстрагировали буферным раствором (0,1 М ацетатный буфер, pH 5,5) с последующей обработкой ткани папаином. После осаждения и очистки о количестве ПГ судили по содержанию уроновых кислот (УК) и сульфатированных гликозаминогликанов (ГАГ). Для сравнения использовались результаты исследований в контрольной группе собак. Фракционируя протеогликанов на экстрагируемые и выделяющиеся после протеолиза ткани, мы дифференцировали их на слабо и тесно связанные с внеклеточным матриксом.

По результатам количественного определения УК в хряще и синовиальной оболочке оперированной и контрлатеральной конечности выявились следующие закономерности:

- значительное снижение УК в экстрактах и статистически достоверное - в протеолизатах хряща и синовиальной оболочки обеих конечностей I группы животных, что связано, по-видимому, с потерей протеогликанового компонента матрикса обеих тканей в результате реакции на оперативное вмешательство;
- возрастание количества УК экстрактов и протеолизатов хряща и синовиальной оболочки во II группе животных,

гораздо более значительное в тканях оперированной конечности, что может быть связано с активацией синтетических процессов в обеих тканях, так как количество ПГ слабосвязанных с внеклеточным матриксом возрастало более значительно, чем количество ПГ тесно связанных с матриксом;

- в III, IV группах животных хрящ и синовиальная оболочка не проявляли тенденции к синхронизации метаболических процессов: в хряще оперированной конечности количество уроновых кислот снижалось ниже значений в контрольной группе. В контрлатеральной конечности данный показатель также снижался в экстрактах тканей, но возрастал в протеолизатах. В синовиальной оболочке обеих конечностей количество УК уменьшалось в экстрактах, но увеличивалось в протеолизатах, что может быть связано с более ранней стабилизацией метаболизма ПГ.

Во всех группах животных, как в хряще, так и в синовиальной оболочке снижалось общее количество сульфатированных ГАГ, но несколько возрастало их количество в экстрактах.

Таким образом, в I и II группах животных наблюдаются сходные изменения ПГ в оперированной и контрлатеральной конечностях как в хряще, так и в синовиальной оболочке, что можно связать с реакцией организма на оперативное вмешательство, т.к. в оперированной конечности они выражены более значительно. В последующие сроки эксперимента в оперированной конечности снижается общее количество и доля легкоэкстрагируемых ПГ, возможно, за счет срыва адаптивных процессов и развития дегенеративных изменений.

А. Н. Махова, А. В. Яшков (Самара)

Экспериментальное обоснование применения гипергравитации как средства усиления репаративного остеогенеза в условиях чрескостного остеосинтеза

Experimental substantiation of use of hypergravitation as means of reparative osteogenesis increase in the conditions of transosseous osteosynthesis

Чрезвычайно важное значение имеет исследование влияния повышенной гравитационной нагрузки на репаративный остеогенез в условиях патологии, так как эти вопросы практически не изучены. Для клинической медицины особый интерес представляет характер ответных реакций костной ткани на данный физический фактор в зависимости от вида ее повреждения и способов хирургического лечения, в том числе чрескостного остеосинтеза.

С целью изучения влияния гипергравитации на состояние костного регенерата проведено экспериментальное исследование на 48 крысах. В качестве модели формировали сквозной дефект в средней трети большеберцовой кости диаметром 1,5 мм. Гравитационные перегрузки величиной + 1.1 Gz кранио-каудального направления создавали на специальной центрифуге. Опытные животные были разделены на 4 подгруппы, из которых первые три получали перегрузку последовательно по одной неделе, а четвертая - еженедельно по три дня в течение трех недель. Пятая группа служила контролем. Материал для гистологических исследований забирали на 7, 14 и 21 сутки. Сравнительный анализ морфологических исследований опытной и контрольной групп показал, что воздействие перегрузок оказывало стимулирующее влияние на остеорепарацию. Это проявилось в более раннем и активном развитии эндостальной и периостальной мозоли, причем костный регенерат во всех опытных группах был выражен значительно сильнее по сравнению с хрящевым и соединительнотканым компонентом. В зоне дефекта регенерат отличался густой сетью кровеносных сосудов преимущественно синусоидального типа. По-видимому, с этим связаны ранний лизис и резорбция продуктов распада в

области дефекта, активная остеобластическая реакция и более ранняя перестройка первичной мозоли в пластинчатую.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что повышенная гравитационная нагрузка обладает стимулирующим воздействием на регенерацию костной ткани и, в связи с этим, может быть использована в хирургической практике при чрескостном остеосинтезе.

Н. С. Мигалкин (Курган)

Ультраструктурные характеристики роста и перестройки передних большеберцовых артерий на различных этапах удлинения голени и постнатального развития у собак

Ultrastructural characteristics of growth and reorganization of the anterior tibial arteries at different stages of leg elongation and postnatal development in dogs

Морфологические исследования, проведенные на различных этапах удлинения голени методом distractionного остеосинтеза в эксперименте у взрослых животных, а также на соответствующих сроках постнатального развития щенков демонстрируют ряд общих структурных проявлений, которые свидетельствуют о росте тканевых структур артериальной стенки. При этом обсуждая те или иные моменты роста компонентов сосудистой стенки, мы опираемся на понятие ангиогенеза, несмотря на то, что в классическом представлении под ангиогенезом подразумевается только возникновение новых кровеносных сосудов как результат чисто эндотелиальных событий, таких как образование лидирующих отростков эндотелиоцитов, возникновение сосудистых почек и последующее формирование капиллярных трубок. Расширяя понятие ангиогенеза мы полагаем, что не только возникновение и формирование капилляров, но и дальнейший рост, дифференцировку и морфологическую перестройку уже сформированных, в том числе и магистральных кровеносных сосудов, следует рассматривать как частные моменты этого процесса.

Материалом исследования послужили передние большеберцовые артерии 10 экспериментальных животных, которым производилось удлинение голени в течение 7, 14, 28 и 63 дней distraction по 0,75-1,0 мм в сутки за 3-4 приема. У 12 щенков материал получали на 7, 14, 30 и 60 дни после рождения. После перфузионной фиксации иссекали кусочки передних большеберцовых артерий, которые затем проводили по общепринятой процедуре для целей электронной микроскопии и заливали в арамидит или эпон. Ультратонкие срезы контрастировали уранилацетатом и цитратом свинца и исследовали в электронном микроскопе JEM-100B.

На 7 сутки удлинения голени и постнатального развития эндотелиоциты интимы артерий имеют признаки усиленной функциональной активности, в их цитоплазме повышено представительство рибосом и пиноцитозных везикул, в ядрах эндотелиоцитов преимущественное представительство эухроматина. Хорошо выраженные пучки филаментов цитоскелета, характерные для растущих животных, появляются и у экспериментальных собак. Межклеточные контакты в виде простых соединений и щелевых контактов расположены на значительных протяжениях цитолемм контактирующих эндотелиоцитов. В субэндотелиальном пространстве у экспериментальных животных отмечается появление ранних стадий новообразования эластических структур в виде мелких скоплений микрофибрилл и отложений аморфного компонента. У щенков эластогенез в интима развернут наиболее отчетливо. В средней оболочке исследованных артерий в этот срок развития преобладают гладкие мышечные клетки синтетического фенотипа, что характерно для кровеносных сосудов молодых животных. У экспериментальных животных некоторая часть гладких миоцитов меди также приобретает синтетический фенотип с заметным развитием органелл биосинтетического аппарата в их

цитоплазме. В адвентиции у щенков формирование эластических волокон находится на начальных этапах, тогда как у экспериментальных животных новообразующийся эластический материал откладывается по периферии уже сформированных волокон.

На 14 сутки как у экспериментальных, так и у растущих животных отмеченные ранее признаки роста активно выражены во всех оболочках передних большеберцовых артерий и проявлялись в виде функциональной активизации органелл цитоплазмы эндотелиоцитов и гладких мышечных клеток, а также в виде более выраженного эластогенеза в субэндотелиальном слое с интеграцией вновь образованного материала с внутренней эластической мембраной и новообразованием эластических волокон в адвентиции.

На сроках 1 месяц постнатального развития и 28 дней удлинения голени в эксперименте в интима исследованных артерий продолжается интенсивное образование вторичных эластических структур, в меди продолжают обнаруживаться гладкие миоциты синтетического фенотипа, а в наружной оболочке происходит дальнейшее разворачивание процессов эластогенеза. При этом у щенков зрелые эластические волокна до сих пор еще отсутствуют или имеют мелкие размеры.

Через 2 месяца у щенков и экспериментальных животных процессы эластообразования в интима и адвентиции наиболее выражены, а в меди гладкие миоциты преимущественно контрактильные с небольшим количеством активированных гладких мышечных клеток.

Таким образом, полученные данные позволяют выявить ряд сходных проявлений развития артерий в процессе постнатального роста и перестройки магистральных сосудов при удлинении голени.

Н. С. Мигалкин, С. Н. Асонова, Н. Р. Карымов, Н. К. Чикорина, М. М. Щудло (Курган)

Управляемые гисто- и морфогенезы

Controlled histo- and morphogenesis

Под управляемыми гисто- и морфогенезами мы понимаем процессы образования, перестройки и модификаций субклеточных, клеточных, тканевых и органных структур при целенаправленном воздействии экспериментатора или клинициста. Основными компонентами управляемых гистогенетических процессов, как и первичного развития, являются: клеточное размножение, рост, перемещения, дифференциация, фенотипическая модуляция клеток и их неклеточных производных, межклеточные и межтканевые взаимодействия, дифференциальная клеточная гибель. В основе управления морфогенезами лежит упорядоченное ориентированное тканеобразование в пространстве и времени.

Методы коррекции структурно-функциональной недостаточности органов и систем, восстановления поврежденных или утраченных органов и тканей, нормализации некоторых опухолевых процессов все шире входят в практику здравоохранения. Среди основных направлений исследований можно выделить: фармакологическую, биохимическую коррекции, реконструктивно-пластические операции, различные виды трансплантации и разработанный академиком Г. А. Илизаровым и его школой метод дозированного растяжения тканей, в основе которого лежит управление гисто- и морфогенезами с помощью пролонгированной, ритмичной, дозированной distraction. Сопоставляя результаты собственных исследований и литературные данные можно отметить, что данный способ управления характеризуется следующими моментами: возникновением в тканях внутренних напряжений, формированием и сохранением на протяжении всего периода distraction генеративных зон, активацией биосинтетических процессов в клеточных элементах, увеличением масштаба и объема регенерации, дифференцировкой клеточных и неклеточных структур, асин-

хронностью дифференциаций тканей, симметричной организацией, рекапитуляцией признаков онтогенетического развития. Продолжение изучения специфики реакций различных тканей, особенностей их взаимодействия на этапах дистракционного морфогенеза служит дальнейшему теоретическому обеспечению общей проблемы управляемых гисто- и морфогенезов.

Л. Н. Михайлова (Москва)

К вопросу о формировании капилляров и состоянии сосудистой сети при регенерации костной ткани

Considerations on the problem of capillary formation and vascular network condition in bone tissue regeneration

Нами было проведено морфологическое исследование с использованием световой и трансмиссионной электронной микроскопии морфогенеза дистракционного регенерата. Последний во многом определяется наличием соединительнотканной прослойки.

Ультраструктурно в соединительнотканной прослойке выявлялись коллагеновые фибриллы и клетки фибробластического ряда. Среди них имелись как малодифференцированные, так и дифференцированные коллагенобласты. Малодифференцированные клетки, выстилая своими отростками тканевые щели, образовавшиеся в результате перемещения коллагеновых фибрилл в соединительнотканной прослойке, формируют капилляры. Как видно, малодифференцированные клетки принимают участие не только в осте-, но и ангиогенезе, являясь источником этих процессов.

Известен факт зависимости происхождения дифференцированных фибробластических клеток от клеток сосудистых капилляров [Смоляниников А.В., Саркисов Д.С., 1983].

Аналогичные данные были получены нами в дальнейших исследованиях на специально созданной экспериментальной модели (при полном удалении тканей из костномозгового канала диафиза с обязательным сохранением периоста и нанесением в средней его трети поперечной насечки через всю толщу кортикальной пластинки, что сопровождается разрушением сосудистой сети).

Ультраструктурные исследования, электронномикроскопическая радиоавтография и метод клонирования дали новое подтверждение того, что процессы остеогенеза происходят сопряженно с ангиогенезом, а их источником являются малодифференцированные клетки соединительнотканного характера.

Через 24 часа после удаления костного мозга костномозговой канал заполняется кровяными сгустками. В области насечки кортикальной пластинки определяются единичные округлые клетки с крупным плотным ядром. На вторые сутки этих клеток вблизи кортикальной пластинки в поле зрения насчитывалось около десятка. Здесь же выявлялись единичные тканевые кисты. Выселившиеся из кортикальной диафизарной пластинки в костномозговой канал клетки обладали ультраструктурной мономорфностью. Они расценивались нами как малодифференцированные соединительнотканые клетки скелетогенной ткани, аналогичные малодифференцированным клеткам соединительнотканной пластинки дистракционного регенерата.

На 3-5 сутки после операции клеточные островки в костномозговом канале у кортикальной пластинки диафиза наряду с малодифференцированными клетками содержали зрелые дифференцированные фибро- и остеобластического типа клетки. Сосудов в костномозговом канале не выявлялось.

Таким образом, клеточный регенерат костномозгового канала, где был полностью удален костный мозг, аваскулярен. Единичные сосуды синусоидного типа в клеточном аваскулярном регенерате появлялись в конце первой недели после операции. Формирование таких сосудов происходит за счет одних и тех же малодифференцированных клеток соединительнотканного характера. Эти малодифференцированные клетки, являясь источником как осте-, так и ангиогенеза, в

условиях данного опыта происходят только от микрососудов сосудистых каналов кортикальной диафизарной пластинки.

Из сказанного явствует, что процесс формирования сосудистой сети в регенерате костномозгового канала отличается от такового в соединительнотканной прослойке дистракционного регенерата. В последней сосуды формируются на основе открытого кровотока в межтканевых щелях, идущих продольно соответственно силам напряжения растяжения. Образующиеся капилляры располагаются и между продольно идущими костными балочками по обе стороны соединительнотканной пластинки.

А регенерирующая сосудистая сеть костномозгового канала, где создавались другие биомеханические условия, имела центробежный ток жидкости и сетевидное расположение сосудов костномозгового канала, как в норме.

А. Д. Наумов, Н. И. Гордиевских, Л. С. Кузнецова (Курган)

Состояние кровоснабжения мягких тканей удлиняемой голени на фоне введения гепарина и действия постоянного магнитного поля

Blood supply status of soft tissues of an elongated leg during heparin infusion and effect of constant magnetic field

Исследованиями гемодинамики и активности гликолиза в венозной крови оценивали изменения состояния кровоснабжения конечности, удлиняемой аппаратом Илизарова в различных условиях.

Эксперименты проведены в 3-х сериях на 50 собаках. I серия (15 собак) - контрольная. Началом эксперимента послужило наложение аппарата Илизарова на голень и удлинение ее с темпом 1,0 мм за 4 приема в течение 28 суток. Период фиксации составлял 30 суток.

Во II серии (19 собак) постановка эксперимента была аналогична контрольной серии, с той лишь разницей, что сразу же после оперативного вмешательства и на протяжении 14 дней собакам вводили гепарин из расчета 750 ед. на кг массы тела.

В III серии (16 собак) эксперимент проводили как и в контрольной, но со 2-х по 14-е сутки омагничивали область перелома и удлинения постоянным магнитным полем (ПМП) 35 мТ по 20 минут.

Проведенные исследования показали, что с первых дней дистракции наблюдаются глубокие изменения показателей гемодинамики у животных I серии. Базисное сопротивление к концу первой недели дистракции резко падает и остается сниженным на протяжении всего эксперимента. Минимальная величина реографического индекса (РИ) отмечена также на 7-й день дистракции, после чего наблюдается увеличение, но к концу эксперимента РИ не достигает дооперационной величины. Индекс периферического сопротивления (ИПС) увеличивается с первых дней дистракции и остается на таком уровне до конца эксперимента. У животных, которым вводили гепарин, наибольшее снижение РИ отмечалось в конце второй недели дистракции, затем он приближался к исходному уровню. Отмечено менее глубокое падение ИПС и более быстрое его восстановление. У животных III серии снижение реографического индекса и базисного сопротивления наиболее выражено на 5-е сутки после операции. Одновременно на 48% возросло периферическое сопротивление тканей. На протяжении всего последующего периода дистракции изменения основного сопротивления и реографического индекса идут синхронно, носят компенсаторный характер. К концу эксперимента величина основного сопротивления составляла 88% от исходного, что говорит о нарастании кровенаполнения и наличии отека. При этом амплитуда пульсовой волны возрастала и превышала исходную на 49%. Соответственно, кривая ИПС на протяжении периода дистракции снижалась к исходному уровню,

составляя при этом 107%. К концу периода фиксации она снизилась до 81%.

Во всех сериях после операции и в периоде distraction процессы гликолиза активизируются, о чем свидетельствует увеличение активности ЛДГ в 3 и более раза, максимальное повышение отмечено к 2 - 3 неделям distraction. В последующие сроки прослеживается тенденция к нормализации, но значения остаются несколько выше физиологической границы. Увеличивается концентрация органических кислот, растет коэффициент МК/ПВК. Происходит перераспределение изоферментного спектра в сторону активности М-субъединиц. Анализ данных показателей свидетельствует, что на первых порах регенерирующие ткани с дыхания переходят на гликолиз. Перераспределение изоферментного спектра в сторону синтеза М-субъединиц следует рассматривать как адаптацию к анаэробным условиям.

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что действие ПМП и гепарина позитивно сказывается на адаптации кровообращения к новым условиям функционирования конечности.

Т. И. Погожева, А. Е. Авдеев (Москва)

Морфологический анализ состояния кожи, подвергшейся растяжению при использовании метода эндоэкспандерной дермотензии в пластической хирургии у детей

Morphologic skin analysis, subjected to expansion, using the method of endoexpander dermotension in plastic surgery of children

В клинике детской травмы ЦИТО (руководитель д.м.н. В. Н. Меркулов) в течение семи лет применяется метод кожной пластики рубцовых дефектов кожи с использованием интритканевых экспандеров, заключающийся в следующем: предварительная имплантация эндоэкспандера под неповрежденные кожные покровы, прилежащие к рубцовому дефекту, затем - проведение дермотензии путем постепенного нагнетания в экспандер физиологического раствора. В результате создается "прирост" поверхности кожных покровов до размеров, необходимых для закрытия рубцового дефекта растянутым кожным лоскутом. К преимуществам данного вида кожной пластики следует отнести сохранение естественного типа кровообращения и иннервации кожного лоскута, а также косметичность.

В лаборатории ультраструктурной морфологии соединительной ткани (руководитель д.м.н. Н. П. Омеляненко) проведено морфологическое исследование растянутой эндоэкспандером и нормальной кожи, рубцовой ткани и соединительнотканной капсулы, сформированной вокруг эндоэкспандера. Морфологический анализ показал, что после растяжения в течение 1,5-2 месяцев кожа сохраняет все свои основные характеристики, однако, приобретает и некоторые особенности. В растянутой коже уменьшается складчатость эпидермиса, появляется неравномерность его ширины при общей тенденции к увеличению количества всех слоев с участками выраженной усиленной пролиферации клеток. В результате образуются многоклеточные "выросты" в сосочковый слой дермы, напоминающие сосочки нормальной кожи, внутри которых часто видны кровеносные сосуды. Обращено внимание на увеличение кровеносных сосудов в сосочковом слое дермы. В сетчатом слое дермы изменений не отмечено. Волосные фолликулы и железы сохраняют свою структуру, увеличения их количества не наблюдалось. Отмечается умеренная периваскулярная инфильтрация и увеличение диаметров заполненных эритроцитами кровеносных сосудов.

К 1,5-2 месяцам вокруг эндоэкспандера четко сформирована соединительнотканная капсула, в которой различаются несколько слоев, ширина которых очень варьирует в пределах исследуемого фрагмента. Внутренний слой, прилегающий к эндоэкспандеру местами значительно увеличен до

половины всей толщины капсулы. В этом слое четко выделяется зона некроза и воспаления, иногда значительного, с наличием лейкоцитарного вала, отделяющего участок некроза от подлежащей молодой соединительной ткани. В зоне воспаления видны скопления фибриллярных масс, расширенные кровеносные сосуды, заполненные эритроцитами с периваскулярной инфильтрацией. Из клеточных элементов преобладают клетки лимфоидного ряда, лейкоциты, особенно сегментоядерные, макрофаги, а также плазматические и фибробластические клетки.

Слой растущей молодой соединительной ткани не равномерен по ширине и состоит из ориентированных коллагеновых волокон и многочисленных фибробластических клеток. Вокруг кровеносных сосудов сохраняется умеренная периваскулярная инфильтрация. Внешний слой представляет фиброзную ткань, состоящую из неориентированных коллагеновых волокон и клеток, преимущественно фибробластов, среди которых есть и жировые, много кровеносных сосудов, заполненных эритроцитами.

Учитывая морфологический анализ состояния растянутой кожи, свидетельствующий о хорошей сохранности ее структуры, в клинике детской травмы с применением метода эндоэкспандерной дермотензии прооперировано 35 пациентов в возрасте от 5 до 15 лет с площадью рубцового дефекта от 40 до 230 см², в том числе 5 пациентов с посттравматическими алопециями, которым удалось полностью восстановить волосную покров головы.

М. С. Сайфутдинов, С. А. Ерофеев, Н. Р. Карымов, Н. К. Чикорина, А. А. Шрейнер (Курган)

Значение величины разового удлинения для состояния двигательной функции удлиняемой конечности

Importance of one-time elongation amount for condition of elongated limb motor function

Эксперименты проведены на 65 взрослых беспородных собаках. Животным накладывали аппарат Илизарова, осуществляли закрытую флекссионную остеоклазию голени, начинали distraction с темпом 1 мм в сутки с разной величиной разового удлинения в сравниваемых 4-х сериях. Максимальное разовое удлинение составило 1 мм, минимальное - 0,017 мм, длительность периода distraction - 28 суток, удлинение голени - до 20% от первоначального ее размера. В различные сроки эксперимента измеряли подвижность в коленном и голеностопном суставах. Проводили функциональное тестирование нервно-мышечного аппарата голени посредством стимуляционной электромиографии. Методами световой и просвечивающей электронной микроскопии изучали структурные изменения тестируемых нервов и мышц.

Сравнение результатов, полученных в различных сериях экспериментов, позволило сделать следующие выводы:

- большая величина разового удлинения ведет к грубым дегенеративно-деструктивным изменениям структурных компонентов двигательных единиц, существенному ухудшению электрофизиологических параметров и выраженным контрактурам суставов,
- уменьшение величины разового удлинения снижает травматизацию нервных и мышечных элементов, активизирует процессы их регенерации и роста, обеспечивает более быстрое структурное и функциональное восстановление локомоторного аппарата в постdistraction период, что сдерживает развитие контрактур,
- значение величины разового удлинения для морфофункциональных исходов distraction снижается по мере уменьшения этой величины.

Г. Д. Сафонова (Курган)

Особенности течения репаративного процесса в травмированном спинном мозге при стабилизации и изменении формы позвоночника

Peculiarities of reparative process of injured spinal cord in stabilization and change of spinal shape

Исследование выполнено на 18 беспородных собаках в возрасте от 1 до 3 лет, которым после ламинэктомии производили гемисекцию спинного мозга слева в поясничном отделе на уровне L4 позвонка (I серия). У собак II серии после аналогичной операции изменяли форму поясничного отдела позвоночника с целью создания контакта концов рассеченного участка мозга и стабилизировали поясничный отдел позвоночника посредством аппарата внешней фиксации (эксперимент проведен к.м.н. А. М. Мархашовым и научным сотрудником Ю. А. Муштаевой). Срок эксперимента - от 1 суток до 3 месяцев. Непосредственно после эвтаназии животного извлекали спинной мозг, фиксацию материала осуществляли в 12% растворе нейтрального формалина. Продольные парафиновые срезы, содержащие оперированный и прилежащие сегменты мозга, окрашивали по методикам Ниссля, Ван-Гизона, гематоксилином-эозином и импрегнировали азотнокислым серебром по Е. И. Рассказовой. Выполнены морфометрические исследования по программе APAMOS на цитоспектрофотометре фирмы OPTON. Контролем служил спинной мозг 3 интактных животных. В позвоночном канале животных I серии был выражен спаянный процесс в области оперативного вмешательства: наблюдались сращения между костными структурами, мозговыми оболочками и спинным мозгом, вследствие чего обнаруживались деформации спинного мозга. В спинном мозге данных животных выявлялся диастаз шириной до 2 мм, заполненный рубцом. Появление элементов соединительной ткани в диастазе обнаружено на 3-4 день эксперимента, через 2 недели он был заполнен рыхлой соединительной тканью с включением глиальных элементов. Далее прослеживалось созревание соединительной ткани, приводящее к более плотному расположению пучков, отмечалось вращение ее в прилежащие участки мозга. Вследствие расстройств кровообращения наблюдалась деструкция нервной ткани в пределах половины сегмента как краниально, так и каудально, а также в контрлатеральном участке мозга. Отмечалось снижение плотности ткани в этих участках, что соответствовало, в среднем, 85% интенсивности, выявлялись смещения гистограмм вправо и неравномерность профильных графиков. В ранние сроки эксперимента преобладала аутономия нервных волокон, через 2-3 месяца отмечалось формирование полостей в вышеуказанных участках мозга.

У животных II серии течение репаративного процесса имело значительные отличия. В позвоночном канале данных животных спаянный процесс в области оперативного вмешательства был не выражен, деформаций спинного мозга не выявлено. Расхождения краев рассеченного участка мозга не отмечалось, последние были сопоставлены достаточно плотно. Заполнения диастаза соединительной тканью не обнаружено во все сроки эксперимента, в нем присутствовали глиальные элементы. Спустя 2 недели выявлялись единичные глиоциты, далее прослеживалось увеличение их количества. Распределение последних было неравномерно: через 1 месяц эксперимента в латеральном участке наблюдалось большое количество глиоцитов, в медиальном - ограниченное количество, они формировали "мостики", соединяющие края раны. Спустя 2 месяца прослеживалось дальнейшее заполнение рассеченного участка мозга глиоцитами и появление в нем нервных волокон. Аналогичная картина заполнения диастаза с увеличением количества глиоцитов и нервных волокон наблюдалась через 3 месяца эксперимента. Другим важным отличительным признаком была достаточная сохранность прилежащих участков мозга

- умеренная деструкция прослеживалась лишь по краям диастаза. Среднее значение интенсивности в этих участках мозга составило 70%, сдвига гистограмм не отмечалось, профильные графики были достаточно равномерными. Значительных расстройств кровообращения не обнаружено. Таким образом, в спинном мозге животных I серии помимо формирования поперечно ориентированного рубца выявлены обширные деструктивные изменения в прилежащих участках мозга, что делало несостоятельным процесс регенерации интраспинальных нервных волокон. В спинном мозге животных II серии были созданы благоприятные условия для регенерации интраспинальных нервных волокон: плотное сопоставление краев рассеченного участка мозга, сохранность прилежащих участков, отсутствовал барьер в виде глиосоединительнотканного рубца.

Г. Д. Сафонова, А. М. Мархашов, Ю. А. Муштаева (Курган)

Роль травмирования мозговых оболочек при повреждениях спинного мозга

Role of meninges damage in case of spinal cord injury

Эксперимент выполнен на 30 беспородных собаках в возрасте от 1 до 3 лет, которым моделировали травму спинного мозга. I серия (15 животных) - после ламинэктомии производили гемисекцию спинного мозга слева в поясничном отделе на уровне L4-L5 позвонков. II серия (15 животных) - на этом же уровне после ламинэктомии в эпидуральном пространстве под спинной мозг с целью компрессии подводили ленту шириной 4-5 мм (лавсан или тефлон). Срок эксперимента - от 1 суток до 1 года. Непосредственно после эвтаназии животного извлекали спинной мозг, фиксацию материала осуществляли в 12% растворе нейтрального формалина. Продольные парафиновые срезы, содержащие оперированный и прилежащие сегменты мозга, окрашивали по методикам Ниссля, Ван-Гизона, гематоксилином-эозином и импрегнировали азотнокислым серебром по Е. И. Рассказовой.

У животных I серии вследствие травмирования мозговых оболочек при выполнении гемисекции наблюдалось формирование рубца в образовавшемся диастазе спинного мозга. После половинного рассечения спинного мозга в поясничном отделе у собак отмечалось расхождение краев раны до 1,5-2 мм, в ранние сроки эксперимента прослеживалось утолщение пересеченных концов мозговых оболочек. Появление элементов соединительной ткани в диастазе обнаружено на 3-4 день эксперимента. Через 2 недели он был заполнен рыхлой соединительной тканью с включением глиальных элементов, ориентация пучков соединительной ткани - преимущественно вдоль диастаза, выявлялось вращение ее от травмированных мозговых оболочек. Через 2 месяца прослеживалось созревание соединительной ткани, приводящее к более плотному расположению пучков, отмечалось вращение в прилежащие участки мозга. В отдаленные сроки диастаз был заполнен плотным глиосоединительнотканым рубцом. Имелись сращения мозгового рубца с оболочками и прилежащими костными структурами. Вследствие расстройств кровообращения наблюдалась деструкция нервной ткани в пределах половины сегмента как краниально, так и каудально, а также в контрлатеральном участке мозга.

У животных II серии вследствие сдавливания лентой в участке мозга, прилежащем к ленте, через 3-4 дня эксперимента выявлялось разрушение его структуры практически по всему поперечнику. Наблюдалось пропитывание элементами крови прилежащих участков мозга как краниально, так и каудально на протяжении сегмента, которое больше прослеживалось в центральных участках. Сосуды мозга полнокровны, отмечалось формирование тромбов. В срок эксперимента от 2 недель до 2 месяцев отмечалось нарастание

соединительной ткани вокруг ленты по вентральной поверхности. В этом участке спинного мозга выявлялась деструктурированная нервная ткань, содержащая глиоциты и макрофаги; в одном случае (срок эксперимента - 1 месяц) обнаружена соединительная ткань в небольшом количестве в виде узкой полоски. Выражена деструкция нервной ткани и в прилежащих участках мозга, больше в каудальном участке, с наличием здесь глиальных узелков (до 20 клеток). У животных после 2 месяцев эксперимента характерным было наличие в участке мозга, прилежащем к ленте, большого количества глиальных элементов, среди которых имелись сетевидно расположенные пучки и волокна соединительной ткани, фиброциты. По периферии выявлялись кистозные изменения мозга: вблизи обнаруживались крупные кисты, вытянутые вдоль, далее - овальной формы, меньших размеров. В отдаленные сроки эксперимента в одном случае имелось нарастание соединительной ткани на твердой мозговой оболочке, больше по вентральной поверхности и формирование глиосоединительнотканного рубца в разрушенном участке мозга. Обнаруживались также сращения твердой мозговой оболочки с прилежащими костными структурами. В одном случае через 1 год не наблюдалось формирования рубца: в участке мозга, прилежащем к ленте, выявлялась щелевидная полость, располагающаяся преимущественно в области серого вещества.

Таким образом, при травмировании мозговых оболочек происходит врастание соединительной ткани в поврежденный участок мозга в ранние сроки, при целостности мозговых оболочек - в более поздние сроки.

А. А. Свешников, Н. Ф. Обанина, А. Н. Дьячков
(Курган)

Изменения содержания минеральных веществ в костях черепа при замещении их дефектов

Changes of mineral content in cranial bones during substitution of their defects

Для выявления изменений, происходящих в костях черепа после оперативных вмешательств, при формировании регенерата в процессе замещения дефектов нами был использован метод фотонной абсорбциометрии. Содержание минеральных веществ (СМВ) определяли в костях на стороне замещаемого дефекта (область регенерата, перемещаемый фрагмент, каудальный и краниальный края дефекта), а также в симметричном участке костей черепа. Подсчитывали площадь каждого участка и содержание минеральных веществ в нем.

Обследованы собаки, у которых дефект костей свода черепа замещали в разных для регенерации условиях: 1) путем перемещения в дефекте полнослойного костного фрагмента на питающей ножке; 2) тем же способом, но после удаления твердой мозговой оболочки (ТМО) или ее изоляции от формирующегося регенерата; 3) путем перемещения свободного фрагмента костей черепа.

Результаты исследований показали, что в серии экспериментов с перемещением в дефекте плоских костей свода черепа фрагмента на мышечной ножке уже на 7 день содержание минералов в регенерате составило 75 ± 4 мг/см², а в симметричном участке черепа - $307 \pm 8,0$ мг/см² ($P < 0,05$). В экспериментах с удалением твердой мозговой оболочки СМВ было равно 50 ± 3 мг/см² ($P < 0,05$), в серии опытов с перемещением в дефекте свободного костного фрагмента достигало только 38 ± 4 мг/см² ($P < 0,05$), а в опытах с изоляцией твердой мозговой оболочки тефлоновой пленкой - 24 ± 3 мг/см² ($P < 0,01$).

На 14 день distraction большее насыщение минералами наблюдалось также в первой серии экспериментов - 135 ± 6 мг/см². В группе животных с удалением ТМО содержание минеральных веществ было равно 103 ± 8 мг/см² ($P < 0,05$), с изоляцией ТМО - 45 ± 4 мг/см² ($P < 0,05$), а в серии экспе-

риментов с перемещением свободного фрагмента - 55 ± 6 мг/см² ($P < 0,05$). В дальнейшем аналогичные различия сохранялись, хотя СМВ в регенерате непрерывно нарастало во всех сериях опытов. Восстановление происходило через полгода после операции.

В перемещаемых фрагментах перед началом distraction СМВ составило 235 ± 11 мг/см². Во время distraction во всех случаях отмечена однонаправленная реакция - снижение содержания минеральных веществ, наиболее выраженное на 21-й день. Однако количественные показатели различались в разных сериях и группах экспериментов. Так, в первой серии, при сохранении питающих связей фрагмента СМВ снижалось до 135 ± 9 мг/см² ($P < 0,05$), в экспериментах с удалением твердой мозговой оболочки - до 95 ± 8 мг/см² ($P < 0,05$), в серии с перемещением свободного фрагмента - до 75 ± 6 мг/см² ($P < 0,01$). На 4 неделе эксперимента СМВ начинало увеличиваться во всех сериях, но наиболее быстро - в сериях с сохранением питающей ножки. Нормализация показателей СМВ в перемещаемом фрагменте происходила в конце периода фиксации. В опытах с удалением твердой мозговой оболочки и при перемещении свободного фрагмента костей черепа восстановление СМВ затягивалось на более длительный срок.

Некоторое снижение содержания минеральных веществ в периоде distraction отмечено в каудальном крае дефекта, но в большей мере - в краниальном. Нормализация происходила примерно в те же сроки, что и в перемещаемом фрагменте.

Таким образом, наиболее быстрыми темпами минерализация регенерата происходила в первой серии опытов, при перемещении в дефекте костного фрагмента на мышечной ножке. Удаление или изоляция твердой мозговой оболочки, применение для формирования distractionного регенерата свободного фрагмента костей черепа замедляет скорость образования регенерата и его минерализацию.

В перемещаемом фрагменте в течение первых трех недель происходит интенсивная деминерализация. В меньшей мере она выражена в экспериментах с перемещением в дефекте костного фрагмента на питающих связях и увеличивается по мере углубления нарушений кровообращения. Начиная с четвертой недели distraction во фрагменте усиливаются репаративные процессы и параллельно в нем происходит нарастание СМВ. Наиболее медленными темпами регенерат формируется при изоляции ТМО тефлоновой пленкой.

В участках черепа, прилежащих к дефекту, также происходит некоторая деминерализация. В каудальном крае она выражена в несколько меньшей степени. Можно предположить, что это происходит за счет более быстрой перестройки каудального края в процессе distraction.

Полученные нами с помощью метода фотонной абсорбциометрии данные тесно коррелируют с результатами рентгенологических и морфологических исследований.

А. Е. Стрижков (Уфа)

Гистотопография переходных зон у мест костной фиксации связок суставов нижней конечности в условиях возрастающей механической нагрузки на начальных этапах онтогенеза у человека

Histotopography of transitional zones of lower limb articular ligaments near the sites of bone fixation in the conditions of increasing mechanical load at the initial stages of human ontogenesis

В ходе онтогенеза у человека отмечается постепенное увеличение нагрузки, приходящейся на капсульно-связочный аппарат суставов. Наибольшие изменения биомеханики соединений костей отмечаются на начальных этапах развития: в фетальном, неонатальном и грудном возрастных периодах. Это справедливо и в отношении крупных суставов нижней конечности человека.

На материале трупов плодов, новорожденных и грудных детей человека с использованием макро-микрoанатомических, гистологических и поляризационно-оптических методов проведено изучение строения вне- и внутрисуставных связок тазобедренного, коленного и голеностопного суставов. Выявлены закономерности возрастных преобразований фиброструктуры, клеточного состава и сосудистого русла в разных зонах связок. Проведен анализ возрастных изменений строения в зависимости от биомеханического состояния сочленения.

Биомеханический статус суставов обусловлен, с одной стороны, статическим фактором, связанным с преобладающим положением сочленяющихся костей друг относительно друга внутри утробы матери и изменением его после рождения ребенка; с другой стороны, динамическим фактором, характеризующим подвижность сустава и определяющимся мышечной системой конечности. Для оценки последней проведено изучение возрастной динамики анатомического поперечника мышц нижней конечности. Выявлено преобладание определенных групп мышц над другими, что ведет к закреплению преимущественного положения (сгибание, ротация) конечности в целом и отдельных ее фрагментов. Анализ полученных данных позволил выявить зависимость возрастных преобразований гистотопографических участков зоны роста и зоны прикрепления связок крупных суставов нижней конечности человека от биомеханического статуса сустава и предположить морфогенетическую роль возрастающей механической нагрузки в онтогенезе связки как органа.

А. Е. Стрижков, В. Ш. Вагапова (Уфа)

Динамика возрастных изменений биомеханических свойств укрепляющих структур коленного сустава в плодном и новорожденном периодах развития человека

Dynamics of age changes of biomechanical properties of strengthening structures of the knee in the fetal and neonatal periods of human development

Проведено испытание биомеханических свойств связок и некоторых участков заднего отдела капсулы коленного сустава у трупов плодов и новорожденных детей человека при растяжении стандартных образцов на разрывной машине ZM-40 при постоянной скорости деформации и стандартных условиях эксперимента. Простейший расчет по полученным данным позволил получить значения предела прочности и относительного удлинения деформации, а математическое моделирование по результатам кривой "напряжение-деформация" дало значения модуля упругости (Юнга) и остаточной деформации.

Анализ полученных данных позволил выявить неодинаковые тенденции возрастных изменений, во-первых, разных биомеханических параметров у одной связки (одного участка капсулы), во-вторых, одного биомеханического показателя у разных групп связок (включая капсулу) коленного сустава.

Так, в частности, внесуставные связки (большеберцовая и малоберцовая коллатеральные, косая и дугообразная подколенные связки и связка надколенника) и задний отдел капсулы сустава имеют минимумы временной функции предела прочности на 20-24-й и 32-36-й неделях, а внутрисуставные (крестообразные) связки - на 24-28-й. В эти же сроки отмечаются наибольшие деформативные и наименьшие упругие показатели у указанных групп укрепляющих структур сустава. К моменту рождения зарегистрирована относительная стабилизация по параметру времени всех биомеханических свойств у всех изучаемых объектов, однако сроки наступления стабилизации были неодинаковые: раньше (32-40 нед.) они были отмечены у крестообразных связок, позже - у других образований.

Гистологическое исследование связок и капсулы сустава показало, что наименьшие прочностные свойства обследо-

ванных элементов сустава наблюдаются в моменты наибольшей морфологической нестабильности, когда происходит переход от одного уровня организации ткани на другой, и характеризуется относительным увеличением рыхлой соединительной ткани в прослойках эндотения.

**Е. Б. Трифонова, А. В. Осипенко
(Екатеринбург)**

Влияние различной величины удлинения на энергетический обмен регенерирующей скелетной мышечной ткани

Effect of different lengthening amount on energy metabolism of regenerating skeletal muscle tissue

Как известно, морфологические аспекты регенерации скелетной мышечной ткани при моно- и биллокальном дистракционном остеосинтезе связаны с различными клеточными и внутриклеточными механизмами. Это дает основания считать, что в мышцах при растяжении должны активизироваться процессы биоэнергетики.

Показано, что при монолокальном дистракционном остеосинтезе в скелетных мышцах происходит активация анаэробного гликолиза, в то время как роль окислительного фосфорилирования этой ткани, особенно в условиях биллокального дистракционного остеосинтеза, практически не изучена.

Целью работы является комплексная оценка биоэнергетики регенерирующей мышцы при удлинении голени на 50% исходной величины.

Эксперимент проведен на 89 взрослых беспородных собаках, у которых после компактомии осуществляли удлинение голени с применением методов монолокального и биллокального дистракционного остеосинтеза аппаратом Илизарова. Были выполнены 3 серии опытов. В первой серии удлинение голени проводили методом монолокального дистракционного остеосинтеза с темпом дистракции 1 мм в сутки.

Во второй и третьей сериях удлинение голени осуществляли методом биллокального дистракционного остеосинтеза с темпами дистракции 1 и 2 мм в сутки, соответственно. В динамике исследовали активность ключевых ферментов биоэнергетики малоберцовой мышцы и сыворотки крови: лактатдегидрогеназы (ЛДГ) и ее изоэнзимный спектр, малатдегидрогеназы (МДГ), креатинфосфокиназы, а также количество молочной и пировиноградной кислот (на фоне контроля за уровнем белка, глюкозы и лейкоцитарной формулы). Одновременно определяли тканевое дыхание и некоторые показатели окислительного фосфорилирования методом полярографии. Полученные данные свидетельствуют об активном участии аэробных и анаэробных механизмов синтеза АТФ в регенерации скелетных мышечных волокон при больших удлинениях голени.

Так, в начальные периоды дистракции обнаружена интенсификация гликолиза на фоне снижения активности креатинфосфокиназы и незначительных изменений МДГ. Степень выраженности этих процессов зависит от темпа и условий удлинения. К концу периода дистракции постепенно возрастает роль окислительного фосфорилирования в энергетическом метаболизме, о чем наглядно свидетельствует увеличение скорости эндогенного дыхания. Возможно, что гипоксический характер ткани, определяемый с помощью морфологических методов исследования, не является истинным, так как сопровождается повышением активности кислородзависимых процессов и окислительного фосфорилирования. При фиксации конечности в мышечной ткани наблюдается дальнейшая перестройка путей ресинтеза АТФ. Продолжает нарастать активность МДГ, креатинфосфокиназы, концентрация пировиноградной кислоты, последняя может характеризовать интенсификацию глюконеогенеза; нормализуется активность и изоферментный спектр

ЛДГ. Аналогичные тенденции отмечены и для исследуемых показателей сыворотки крови.

Полученные результаты позволяют считать, что большие удлинения голени вызывают существенные сдвиги биоэнергетики в скелетной мышечной ткани. Они выражаются во взаимодействии разных путей образования АТФ (окислительное фосфорилирование, гликолиз, креатинкиназная система), что, возможно, создает благоприятные условия течения регенерации мышцы при удлинении конечности. По данным биоэнергетики оптимальным можно считать удлинение в условиях биолокального distractionного остеосинтеза с темпом 1 мм в сутки на каждом уровне.

Н. К. Чикорина, Н. Р. Карымов (Курган)

Структура нервно-мышечных соединений в условиях дозированной distraction в эксперименте

Structure of neuromuscular connections in experimental graduated distraction

Координированное во времени и пространстве взаимодействие гистогенезов нервной и мышечной тканей - основа функциональной надежности и пластичности двигательного аппарата.

Целью данной работы явилось изучение зависимости между состоянием иннервации мышечных волокон, процессами их вставочного роста и новообразованием мионов в скелетных мышцах удлиняемого сегмента конечности.

Опыты проведены на 9 взрослых беспородных собаках. Животным осуществляли закрытую флекссионную остеоклазию голени и накладывали аппарат Илизарова. Через 5 дней после операции начинали удлинение с темпом 1 мм в сутки и четырехкратной дробностью. Максимальная длительность периода distraction составила 28 суток, величина удлинения голени - до 20% от первоначального ее размера. На различных сроках эксперимента методом трансмиссионной электронной микроскопии изучали участки передней большеберцовой мышцы.

Проведенные исследования показали, что на протяжении всего периода distraction большинство нервно-мышечных синапсов сохраняют принципиальную структурную организацию. Концевые терминалы осевого цилиндра погружены в углубления сарколеммы, образующей глубокие вторичные инвагинации. Синаптическая щель заполнена материалом базальных мембран. Пресинаптические терминалы содержат округлые и овальные синаптические пузырьки, структуры гладкого эндоплазматического ретикулума, микрофиламенты и митохондрии. Миелоноподобные покрыты леммоцитами. В субцитолеммальном слое леммоцитов и сарколеммальных складках хорошо дифференцируются участки повышенной электронной плотности, свойственные адгезивным цитостромальным соединениям. В мышечных волокнах с сохранной иннервацией увеличивается число ядер. Часть активизированных ядер смещается внутрь волокна. В подсарколеммальных участках параллельно с биосинтезом миофибрилл происходит образование элементов саркотубулярной системы. К 28-м суткам distraction наряду с иннервированными волокнами встречаются мышечные волокна с нарушенной структурой синаптических соединений. Углубления и вторичные складки постсинаптической сарколеммы таких волокон сглаживаются. Теряется связь с аксонами и шванновскими клетками. В окружении денервированных мышечных волокон появляются миобласты и миотубы, не обнаруживающиеся вокруг волокон, имеющих синапсы. Полученные результаты позволяют утверждать, что стимулированный дозированной distraction вставочный рост мышечных волокон происходит в условиях их сохранной иннервации, в то время как для новообразования волокон по миобластическому типу необходима денервация отдельных предсуществующих волокон.

Н. К. Чикорина, К. П. Кирсанов, Л. О. Марченкова (Курган)

Морфологические изменения в вентральной группе мышц при "удлинении" поясничного позвонка в эксперименте

Morphologic changes in ventral group muscles during experimental "elongation" of lumbar vertebra

В настоящем сообщении проанализированы морфологические изменения в подвздошно-поясничных мышцах, надостистых и межостистых связках взрослых беспородных собак после фиксации поясничного отдела позвоночника аппаратом внешней конструкции, полной поперечной остеотомии поясничного позвонка (L5) и последующего увеличения его высоты до 90-100% от исходной путем формирования distractionных регенератов. Животных выводили из эксперимента через 14 и 42 дня distraction, 30 и 45 дней фиксации позвоночника аппаратом. Материалом для исследования явились гистологические препараты (парафиновые срезы толщиной 8-10 мкм) мышц и связок от 9 собак, окрашенные гематоксилин-эозином и по Ван-Гизону. Результаты исследований показали, что через 14 дней distraction в пояснично-подвздошной мышце выявляются минимальные изменения: очаговое отсутствие поперечной исчерченности в мышечных волокнах и увеличение общего числа мышечных ядер. На уровне удлинения позвонка встречается много активизированных клеток-сателлитов и мышечные трубки. Веточки двигательного аксона сохранены, кровоснабжение нормальное. В надостистой и межостистой связках коллагеновые волокна расположены компактно, выявляется очаговая пролиферация фибробластов и единичные лимфоидно-плазматические инфильтраты вокруг сосудов. Через 42 дня distraction в подвздошно-поясничной мышце нарастают реактивно-дистрофические и пролиферативные изменения в мышечной ткани в виде полос пересокращения и фрагментации части мышечных волокон, увеличения числа мышечных ядер, миобластов и мышечных трубок. В эндомизии коллагеновые волокна расположены компактно, в перимизии определяется застойное полнокровие сосудов и отек периферических веточек аксона и афферентных мышечных веретен. На уровне удлинения позвонка описанные явления более выражены, и участками мышечная ткань напоминает "мышечный фарш": большинство мышечных волокон лишены сарколеммы, на фоне гомогенной цитоплазмы просматривается огромное количество больших прозрачных ядер овальной формы с 1-2 ядрышками. В нижней трети мышцы наблюдается атрофия мышечных волокон. В надостистой и межостистой связках в участках фрагментации коллагеновых волокон отмечается бурная пролиферация фибробластов и образование коллагеновых волокон. Вены расширены, кровенаполнены, есть диапедезные кровоизлияния. К концу периода фиксации позвоночника в аппарате в пояснично-подвздошной мышце мышечные волокна расположены компактно, большинство из них имеют меньший диаметр, по сравнению с интактной мышцей, увеличенное число мышечных ядер и регулярную поперечную исчерченность. В глубоких слоях мышцы встречаются мио-симпласты, в поверхностных слоях наблюдается очаговая атрофия мышечных волокон и жировая дистрофия отдельных групп волокон. Склеротические изменения в строении отсутствуют. В надостистой и межостистой связках коллагеновые волокна расположены компактно, в отдельных участках продолжается пролиферация фибробластов и новообразование кровеносных сосудов.

Таким образом, проведенные исследования показали, что наложение аппарата и оперативное вмешательство с целью остеотомии тела позвонка не касаются мышц и связок и все происходящие в них изменения можно отнести на счет растяжения. Начиная с первых дней distraction в мышце наблюдаются реактивные изменения в виде регенерации и роста мышечных волокон. К 42 дню distraction мышца

почти полностью превращается в регенерат, причем склерозирования при этом не происходит. К концу периода фиксации позвоночника процесс перестройки удлиненной мышцы не заканчивается, о чем свидетельствует продолжающаяся дифференцировка молодых мышечных волокон. В надостистой и межостистой связках пролиферативно-репаративные изменения выражены слабее, вследствие большей устойчивости коллагена к растяжению.

Н. К. Чикорина, Н. С. Шеховцова (Курган)

Морфологические изменения в фасциально-мышечном аппарате в условиях ишемии и стимулирования регионарного кровообращения в эксперименте

Morphologic changes in the fascial-and-muscular system in experimental ischemia and stimulation of regional circulation

С целью изучения морфологических изменений в фасциально-мышечном аппарате голени проводили гистологические и электронно-микроскопические исследования образцов поверхностной и собственной фасции и передней большеберцовой и икроножной мышц голени у взрослых беспородных собак после создания хронической ишемии, реваскуляризации конечности по Илизарову и проведения дополнительных спиц Киршнера через различные участки берцовой кости (В. С. Бунов, Н. В. Петровская).

Исследования показали, что через 79-90 суток после моделирования ишемии в фасциях голени наблюдается отек, дегенерация и очаговый лизис пучков волокон основного слоя на фоне выраженного нарушения органного кровообращения. Отмечены деструктивные процессы стенки сосудистых звеньев органного кровеносного русла с явлениями тромбоза, облитерации и заустения их просвета. На отдельных участках встречаются ангионы с небольшим количеством функционирующих сосудов. В исследуемых мышцах развиваются очаговые дегенеративные изменения по типу асептических некрозов мышечных волокон с явлениями спазмов или облитерации сосудов. Недостаточность регионарного кровообращения вызывает компенсаторное раскрытие резервных сосудов и новообразование капилляров, что способствует активизации вставочного роста мышечных волокон. Дистракционный остеосинтез по Илизарову стимулирует ангио- и фибриллогенез в фасциях голени. Увеличивается число фибробластов по ходу пучков волокон основного слоя с новообразованием тонких коллагеновых волокон по вектору сил натяжения. Наряду с дегенеративно измененными сосудами, от стенки переживших сосудов прослеживается формирование почек роста. Местами встречаются парноидущие новообразованные капилляры с иглообразными концами, не вступающие в контакт с рядом лежащими. Формируются множественные капиллярные связи между пережившими сосудистыми звеньями. В мышцах голени дистракционный остеосинтез также стимулирует и пролонгирует ангио- и миогенез, что ведет к постепенной реваскуляризации мышечной ткани ишемизированной конечности и восстановлению ультраструктуры поврежденных мышечных волокон (155-360 суток). После проведения дополнительных спиц через различные участки берцовых костей (480-530 суток) основной слой поверхностной и собственной фасции утолщены за счет новообразования коллагеновых волокон по периферии пучков, основу которых составляют, преимущественно, волокна с очаговым склерозом. Сосудистое русло усилено за счет образования паравазальных капилляров от стенки переживших сосудов. Следует отметить, что между парноидущими капиллярами образуются шунтовые связи и сифоны, что свидетельствует о формировании превентивных микроциркуляторных сетей. В основной массе мышечных волокон исследуемых мышц патологических изменений не обнаружено. В отдельных пучках встречаются атрофированные волокна и мышечные трубки, определяется умеренно выраженный склероз стро-

мы. Усиленная сосудистая реакция эндомизия наблюдается во всех случаях эксперимента.

Таким образом, дополнительная стимуляция регионарного кровообращения ишемизированных скелетных мышц и фасций голени в эксперименте благотворно влияет на ангиоархитектонику сосудистого русла, восстанавливает структуру пучков коллагеновых волокон основного слоя фасций и нормализует гистоструктуру скелетных мышц.

В. И. Шевцов, В. М. Куртов, С. Н. Асонова, Т. В. Русова, Е. Л. Матвеева (Курган)

Новый способ создания суставов и структурные особенности ткани моделируемой суставной поверхности

A new method of joint formation and structural peculiarities of modelled articular surface tissue

В РНЦ "ВТО" им. акад. Г. А. Илизарова разработана методика моделирования суставной поверхности путем воздействия специальным формообразующим элементом на регенерирующую костную ткань. Данное исследование касается изучения модели суставной впадины, полученной в крыле подвздошной кости взрослых беспородных собак. Экспериментально полученная модель суставной впадины представляет собой сферическое углубление в кости с гладкой выстилкой. Методами световой микроскопии, гистохимии, трансмиссионной электронной микроскопии и биохимии исследована ткань, выстилающая моделируемую суставную поверхность.

Установлено, что выстилка равномерно застилает всю впадину, создаваемую в кости, и образована фиброзной тканью. В ней выявляются тонкостенные синусоидного типа сосуды разного калибра, многочисленные в зоне, прилежащей к материнской кости. Толщина выстилки составляет от 300 до 500 мкм.

Гистохимическое окрашивание толудиновым синим не выявило метакромазии в ткани выстилки. Обработка по методу Yamabayashi показала очень слабую альцианофилию межклеточного матрикса и отсутствие ШИК-положительных зон. Известно, что в гиалиновом хряще положительно окрашиваются гликопротеины поверхностной зоны хряща и интенсивно ШИК-позитивна зона минерализации на границе гиалинового хряща и субхондральной кости. Отсутствие метакроматического окрашивания толудиновым синим, слабая альцианофилия выстилки свидетельствуют о низкой концентрации протеогликанов, их дисперсном распределении и не строго упорядоченной упаковке в исследуемой ткани.

При изучении полутонких срезов было установлено, что соединительная ткань, формирующая выстилку, отчетливо двуслойна, в ней очень высокая плотность клеточных элементов, в основном, фибробластов. В слое выстилки, обращенном в просвет формируемого сустава, клетки и межклеточные структуры плотно упакованы, ориентированы вдоль поверхности и строго параллельно. Слой, прилежащий к материнской кости, образован более рыхлым и менее упорядоченно упакованным межклеточным матриксом.

Ультраструктурное исследование показало, что основным клеточным элементом формируемой выстилки являются удлиненные, веретеновидные активные фибробласты разной степени зрелости. Преобладают юные и молодые формы фибробластов, специализированные на синтезе гликозаминогликанов, о чем свидетельствует гипертрофия комплекса Гольджи в перинуклеарных зонах фибробластов и низкая плотность немногочисленных узких цистерн шероховатого эндоплазматического ретикулаума в их цитоплазме. В перипеллюлярных зонах фибробластов выявляются обширные поля тонкофибриллярного и хлопьевидного материала, идентифицируемого как агрегаты протеогликанов и гликопротеинов, немногочисленны тонкие пучки коллагеновых

фибрилл очень малого диаметра.

На ультраструктурном уровне межклеточный матрикс сформированной выстилки помимо перицеллюлярных хлопьевидных агрегатов протеогликанов представлен очень рыхло упакованными коллагеновыми фибриллами малого диаметра. В более глубоких слоях выстилки они формируют пучки фибрилл одного направления, диаметр фибрилл здесь составляет от 60 до 90 нм. Организация межклеточных структур также, как и ультраструктура фибробластов, типична для волокнистой соединительной ткани. В поверхностной зоне выстилки, обращенной в полость формируемого сустава, коллагеновые фибриллы имеют меньший диаметр - около 40 - 50 нм, они образуют тонкие пучки разных направлений.

Большинство кислых гликозаминогликанов в ткани выстилки представлено гиалуроновой кислотой и хондроитинсульфатом. Низкое содержание сульфатированных гликозаминогликанов характеризует ткань выстилки как незрелую соединительную ткань.

Таким образом, смоделированная суставная впадина имеет форму, приближенную к естественной, а методика её моделирования может быть использована для формирования суставных элементов при их отсутствии или необратимых патологических изменениях.

**В. И. Шевцов, В. М. Куртов, Н. С. Шеховцова
(Курган)**

Морфологическая характеристика модели суставной впадины

Morphologic characteristic of articular cavity model

Проблема воссоздания костных суставных элементов, по структуре близких к естественным, является одной из актуальных в ортопедии.

На основании общебиологического свойства тканей отвечать на дозированное растяжение ростом и регенерацией (эффект Илизарова), были проведены экспериментальные исследования по моделированию вертлужной впадины в условиях полного ее отсутствия. Методика экспериментов заключалась в дозированном воздействии на регенерирующую костную ткань крыла подвздошной кости специальным формообразующим элементом. Полученная модель суставной впадины представляет собой ямку, ограниченную краем, и губу, выступающую над поверхностью подвздошной кости, в совокупности составляющие единую сферическую форму. Внутренняя поверхность модели сформированной впадины гладкая и имеет выстилку.

Гистологически исследованы 5 сформированных вертлужных впадин от 5 собак, в сравнительном аспекте с впадинами контрлатеральных конечностей. Исследования препаратов на светопрозрачном уровне показали, что вновь сформированная вертлужная впадина сферической формы, заданных размеров, представлена губчатой костной тканью, с ячеистыми костномозговыми полостями, по своей морфоструктуре сходной со строением впадины контрлатерального сустава. В области дна созданной впадины сеть костно-остеоидных балочек компактизирована, с вытянутыми в горизонтальном направлении узкими костномозговыми синусами в виде щелей. Однако, на серийных срезах встречаются трабекулы, расположенные параллельно основной оси сустава с более широкими полостями, местами с артериальными сосудами в них мышечного типа. Полости заполнены ретикулярной тканью, полнокровны.

По боковым поверхностям модели сформированной впадины со стороны надкостницы подвздошной кости отмечаются костно-остеоидные напластования. Ближе к краю вертлужной губы сформированной впадины такие напластования более выражены и в виде двурядных, разной степени зрелости костно-остеоидных сетевидных балок перекрывают край губы, переходя на переднюю поверхность впадины.

Причем нижележащий более компактный зрелый слой сетевидно-ячеистых балок располагается на четко выраженной спаечной линии, ограничивающей губчатую костную ткань материнского матрикса от реактивно измененной надкостницы. Верхний слой нежных остеоидных балочек, окруженных остеообластами и полиморфноядерными клетками, среди которых встречаются митотически делящиеся, представляет собой продолжение более зрелого, ниже расположенного слоя остеоидных напластований.

Боковые поверхности и вертлужные губы сформированной впадины покрыты соединительной тканью, представленной упорядоченно идущими, концентрически расположенными пучками коллагеновых волокон разной стадии зрелости. В области сформированных вертлужных губ в толще пучков волокон обнаруживаются скопления очагов волокнистого и гиалинового хряща. Губа вертлужной впадины более утолщена по сравнению с боковыми поверхностями и по анатомическим параметрам и морфологическим данным близка к естественной контрлатеральной сустава.

Созданная впадина выстлана пучками коллагеновых волокон, являющихся продолжением костно-остеоидных балочек. На серийных срезах в толще пучков волокон отмечены очаговые скопления волокнистого хряща и лишь в области сформированной вертлужной губы обнаруживаются очаги гиалинового хряща с густо расположенными изогенными группами. Однако тотальная выстилка впадины хрящем ни в одном опыте не наблюдалась. В некоторых случаях в сформированной губе преобладала тенденция роста соединительнотканых пучков и, в меньшей мере, грубоволокнистой костной ткани. На серийных срезах в таких опытах отмечены те же особенности в формировании края и губы суставной впадины с очагами костно-остеоидных трабекул по десмальному типу.

Таким образом, созданная модель суставной впадины по своим анатомическим критериям близка к естественной вертлужной впадине. Анализ структуры полученной модели дает основание считать возможным формирование суставной впадины в условиях полного ее отсутствия.

**В. И. Шевцов, С. Н. Лунева, А. А. Ларионов,
К.С.Десятниченко, Л. И. Грачева (Курган)**

Биохимические и биомеханические изменения суставного хряща при многоэтапном удлинении конечности у собак

Biochemical and biomechanical changes of articular cartilage during canine limb elongation of several stages

Среди поражений опорно-двигательного аппарата у лиц зрелого возраста дегенеративно-дистрофические изменения (ДДИ) в суставном хряще занимают одно из первых мест. Исследования, ранее проведенные в нашем Центре, показали, что при длительном чрескостном остеосинтезе (ЧДОС) изменения двигательного стереотипа, содружественные реакции в оперированной и контрлатеральной конечностях нередко приводят к аналогичным изменениям, требующим длительного периода анатомо-функционального восстановления. Вместе с тем, стремление к ускорению медицинской реабилитации ортопедических больных определило тенденцию к сокращению сроков между повторными вмешательствами при многоэтапном удлинении конечностей посредством ЧДОС. Поэтому представляет научно-практический интерес изучить продолжительность ДДИ в суставном хряще и возможность их инволюции до осуществления очередного этапа ЧДОС. С этой целью были исследованы химический состав и вязкоупругие свойства гиалинового хряща коленных суставов 25 собак, из которых 5 животным аппарат Илизарова накладывали на интактную голень, 7 собакам осуществляли удлинение голени на 30%, 5 животным с той же величиной удлинения голени через 8 месяцев после 1-ой операции производили удлинение контрлатеральной конеч-

ности, 8 животных составили интактный контроль. Измерение вязкоупругих свойств суставного хряща осуществляли по ранее нами описанной методике. Протогликаны (ПГ) фракционировали по модифицированной нами методике Д.В.Косягина, определяя содержание каждой из фракций анализом на урановые кислоты. 4-ю - нерастворимую - фракцию подвергали папаиновому протеолизу, гликозаминоглики (ГАГ) осаждали цетавлоном и разделяли на колонке анионообменника ДЭФЭ-сефадекс А-25. Надосадочную жидкость использовали для определения количества и типа коллагена по Л.И.Слуцкому в нашей модификации.

Уже при наложении аппарата на интактную голень мы на фоне слабовыраженных макроскопических изменений суставной поверхности обнаружили снижение вязкоупругих свойств более, чем на 25% - на контралатеральной и на 30% - на оперированной конечности. Наибольшие изменения были обнаружены нами в хряще коленных суставов группы экспериментальных животных с последовательным удлинением обеих голеней, где мы отмечали участки прорастания субхондральной кости. В этих группах животных податливость суставного хряща и степень его гидратированности были вдвое ниже нормальных значений.

При исследовании распределения фракций ПГ по степени агрегации обнаружено увеличение доли ПГ низкой степени агрегации и уменьшение в 2 раза доли ПГ, входящих в состав суперагрегатов, прочно связанных с коллагеном у животных с наложением аппарата на интактную голень. При 30%-м удлинении голени отмечено уменьшение в 1,5 раза доли ПГ, прочно связанных с коллагеном. В группе животных с последовательным удлинением обеих голеней обнаружено практически полное отсутствие доли ПГ, связанной с коллагеном, в хряще коленных суставов, прооперированных в первую очередь. Очевидно, это связано с тем, что "клинико-рентгенологическая готовность" к повторной операции на совпадает с восстановлением механохимических свойств суставного хряща и назначение последующей операции является преждевременным.

При исследовании хроматографических профилей фракций ПГ найдено увеличение степени сродства к аниообменнику 4-й фракции ПГ суставного хряща коленных суставов во всех группах экспериментальных животных, по сравнению с интактными, увеличение доли высокосульфатированных ГАГ в данных фракциях ПГ, причем, наибольшие изменения претерпевал хрящ коленных суставов дважды прооперированных животных.

При изучении степени однородности коллагена нами получен дополнительный пик коллагена, не свойственный здоровой хрящевой ткани, и значительное увеличение пика минорных коллагенов. В случае дважды прооперированных собак наблюдалось увеличение площади этого пика в 5 раз. Таким образом, проведенные нами исследования состава и биомеханических свойств выявили, что суставной хрящ при длительном чрескостном остеосинтезе подвержен глубоким структурным нарушениям и при подготовке больных к повторным операциям, по-видимому, следует большее внимание уделять реабилитационным процедурам и фармакологической коррекции, направленным на восстановление свойств суставного хряща.

**В. И. Шевцов, А. М. Мархашов,
Ю.А.Муштаева, Г.Д.Сафонова (Курган)**

**Изменение формы позвоночника как фактор,
определяющий характер репаративного процесса в
травмированном спинном мозге (экспериментальное
исследование)**

**Change of spinal shape as a factor, determining character of
reparative process in injured spinal cord (experimental
study)**

Исследование выполнено в трех сериях экспериментов на

44 беспородных собаках. В I серии (контроль) производилась гемисекция спинного мозга слева на уровне L3 - L4 позвонка. Во II серии выполнялось аналогичное рассечение спинного мозга собаки в остром опыте. У них выполнены исследования по изучению влияния изменений формы позвоночника на рану спинного мозга. В III серии после гемисекции спинного мозга аппаратом целенаправленно изменяли форму поясничного отдела позвоночника с формированием в нем гиперлордоза. Длительность эксперимента - от 14 дней до 3,5 лет. У собак I и III серий выполнены нейрогистологические исследования. Измерения позвоночника собак проводились по рентгенограммам до операции, после операции и в различные сроки эксперимента, при этом в сагиттальной плоскости за нейтральное положение позвоночника принималась линия, проведенная по передней поверхности VI поясничного позвонка. Относительно этой линии проводились замеры расстояния до передней поверхности тел поясничных и нижних грудных позвонков. По данным измерений строились графики, отражающие положение позвоночника в изучаемые сроки, которые отражают динамику изменений в форме позвоночника после гемисекции. На основании полученных данных в I серии установлено, что изменение формы позвоночника в сагиттальной плоскости происходит в направлении изгиба в вентральную сторону до формирования гиперлордоза (1 группа), в дорзальном направлении - до создания полого горба (2 группа). В 3 группу выделены животные, позвоночник которых смещался вначале в вентральном, затем - в дорзальном направлении. Последовательность изменения формы поясничного отдела позвоночника: вначале происходит уменьшение величины угла поясничного лордоза, затем его уплощение, устранение грудно-поясничного изгиба и формирование горба.

У собак 1 группы (I серия) после гемисекции спинного мозга отмечается изгиб позвоночника во фронтальной плоскости на 2-3° в сторону гемисекции и ротация позвонков поясничного отдела. Через 3-4 недели ротация позвонков исчезает, но сохраняется наклон позвоночника, который через 3 месяца достигает 5-6°. Сочетание бокового изгиба поясничного отдела позвоночника и гиперлордоза следует рассматривать как положительный признак для восстановления функции спинного мозга.

У собак 2 группы (I серия) поясничный отдел позвоночника после повреждения спинного мозга слева образует изгиб вправо. В первый месяц эксперимента величина изгиба составила 3-4°, через 4-5 месяцев - 6-7°, уплощается лордоз, отмечается перекос таза. В отдаленные сроки выражена ротация позвонков с сохранением изгиба позвоночника до 10-12°. Сочетание бокового изгиба вправо и формирование полого горба в сагиттальной плоскости является неблагоприятным признаком для восстановления функции спинного мозга.

У собак 3 группы (I серия) изгиб позвоночника составил 2-3°, отмечается уплощение лордоза. Через 2-3 месяца позвоночник становился прямым как во фронтальной, так и в сагиттальной плоскостях. В таком состоянии он находился до конца эксперимента (1,5 года). Сочетание прямого позвоночника с уплощенным лордозом является также отрицательным прогностическим признаком для репаративной регенерации поврежденного участка спинного мозга.

Данные I серии эксперимента подтверждаются результатами, полученными в остром опыте (II серия) и нейрогистологическими данными животных I и III серий. У животных с созданием гиперлордоза поясничного отдела в участке рассечения мозга выявлены глиальные элементы, располагающиеся произвольно или образующие соединения между краями диастаза в виде "глиальных мостиков". Соединительной ткани в последнем не обнаружено. Край диастаза плотно сомкнуты, не отмечается выраженных деструктивных изменений в прилежащих участках. У собак 2 и 3 групп I серии в диастазе выявлена соединительная ткань, ее края отстоят на 1,5-2 мм. В прилежащих участках, включая контралатеральный, имеются выраженные деструктивные

изменения, препятствующие регенерации нервных волокон. Итак, изменение формы позвоночника с формированием гиперлордоза благоприятно сказывается на течении репаративного процесса в поврежденном участке спинного мозга. В противоположность этой форме позвоночника уплощенный лордоз поясничного отдела, переходящий в пологий горб, ухудшает условия для регенерации спинного мозга, что подтверждается гистологическими данными.

В. И. Шевцов, А. М. Чиркова, С. А. Ерофеев
(Курган)

К обоснованию срока начала удлинения после разрыва дистракционного регенерата

Considerations concerning substantiation of the period of elongation start after distraction regenerate break

В проведенном нами ранее эксперименте по удлинению голени у собак с помощью автоматических дистракторов наблюдались отдельные случаи сращения костных отделов регенерата в процессе дистракции. При продолжающемся удлинении конечности происходил разрыв регенерата, после чего процесс костеобразования замедлялся и для полного замещения диастаза костной тканью требовался длительный (4 - 6 месяцев) период фиксации.

Д.Палей (1990), отмечая клинические случаи преждевременного сращения и последующего разрыва дистракционного регенерата, относит их к серьезным осложнениям. В литературе отсутствуют сведения о врачебной тактике в подобной ситуации.

Для определения оптимального срока начала дистракции после разрыва дистракционного регенерата нами проведены опыты на 6 взрослых собаках. Голень удлиняли с помощью автодистракторов (темп 1 мм, 60-кратная дробность) через 5 дней после флексииной остеоклазии большеберцовой кости в средней части диафиза. В одном случае получили сращение регенерата на 17-й день дистракции. В остальных опытах дистракция продолжалась 21 день и для сращения регенерата потребовался период фиксации, составивший в среднем 10 дней. Разрыв регенерата осуществлялся одномоментно, отломки сближали до контакта. В самом первом опыте (фиксация 5 дней после разрыва регенерата) в результате технических погрешностей образовался диастоз до 5 мм, у остальных собак он не превышал 1-2 мм. Животных выводили из опыта через 5, 7 и 10 дней фиксации. Использовали рентгенологический, ангиографический и морфологический методы исследования.

При изучении рентгенограмм отмечено, что к 7 дням фиксации в проекции костномозговой полости линия разрыва была завуалирована тенями регенерата. Через 10 дней происходило слияние тени линии разрыва с прилежащими участками регенерата. На ангиограммах (инъекция сосудов рентгеноконтрастной массой Гауха) во всех опытах обнаружен разрыв нисходящей ветви а. nutriticia. Результаты гистологического изучения показали, что через 5 дней фиксации после разрыва, прошедшего через проксимальный отдел регенерата вблизи от отломка, диастоз высотой 3 - 5 мм был заполнен фибрином и, частично, скелетогенной тканью с одиночными остеонными трабекулами. На границе с диастазом определялись скопления остеогенных клеток. Во втором наблюдении линия разрыва прошла через соединительнотканную прослойку. В последней обнаружены участки некроза, деформированные пучки коллагеновых волокон, микрошли.

К 7 дням фиксации в обоих случаях разрыв произошел по соединительнотканной прослойке. В ней прослеживалась щель высотой 1 - 2 мм, частично заполненная фибрином. Наряду с продолжающимся остеогенезом часть новообразованных трабекул подвергалась остеокластической резорбции.

Через 10 дней после разрыва, прошедшего через дисталь-

ную часть регенерата, отмечалось костное сращение отломков. Сохранялась "зона роста" регенерата, представленная участками соединительной ткани и хряща. В другом опыте, где линия разрыва прошла по "зоне роста" регенерата, сращение между отломками образовалось за счет соединительной и хрящевой тканей.

Результаты проведенного исследования показали, что сроки начала дистракции после разрыва регенерата зависят от уровня разрыва (губчатая кость регенерата или соединительнотканная прослойка), а также величины образовавшегося диастаза. Если линия разрыва проходит через костные отделы регенерата и образовавшийся диастоз не превышает 1 - 2 мм, дистракцию можно начинать через 7 дней. В тех случаях, когда разрыв происходит по "зоне роста" регенерата, срок фиксации должен быть увеличен до 10 дней.

А. П. Шеин, Г. А. Криворучко,
М.С.Сайфутдинов (Курган)

Дистракционный остеосинтез: концепция реконструктивного нейромиогенеза (нейрофизиологические аспекты)

Distraction osteosynthesis: Conception of reconstructive neuromyogenesis (Neurophysiologic aspects)

На основании результатов проводимых в РНЦ"ВТО" с 1971 года клинко-нейрофизиологических исследований функциональных изменений в периферических нейромоторных и нейросенсорных структурах удлиняемой конечности и сопоставления их с морфологическими данными сформулирована концепция реконструктивного (индуцированного медленным дозированным растяжением окружающих кость мягких тканей) нейромиогенеза, включающая в себя три положения: 1) пограничные состояния; 2) двустадийность нейромиогенеза; 3) парциальные нарушения в системе "схема тела".

Первое положение, определяемое как следствие неоднородности реологических и морфо-функциональных свойств подвергаемых медленному дозированному растяжению мягкотканых композиций, отражает особенности вовлечения в структурно-функциональную реорганизацию различных типов мышц, мышечных и нервных волокон, а также иннервируемых последними эфферентных и афферентных образований. В условиях пролонгированного альтерирующего и, одновременно, формообразующего воздействия экзогенного механического фактора реактивные изменения затрагивают, прежде всего, фракцию толстых миелинизированных волокон - аксоны быстрых двигательных единиц, афференты сухожильных и мышечных рецепторов, а также механорецепторов кожи и суставов. Термин "пограничное состояние" предполагает наличие некоторых пределов растяжения магистральных участков нервных стволов (с учетом т.н. "слайдинг-эффекта" - 20-30% от исходной длины удлиняемого сегмента конечности), их концевых ветвей, претерминалей, терминалей и непосредственно мышечных волокон, превышение которых влечет за собой появление реактивно-репаративных ответов, формирующих, в генерализованном варианте, электрофизиологическую картину синдрома комплекса по типу "полимиозит-полиневропатия". Процесс реконструктивного нейромиогенеза в условиях дистракционного остеосинтеза носит достаточно четко выраженный двустадийный характер. В первой (альтерационной) стадии, совпадающей во времени с дистракционным остеосинтезом, происходит пассивное, статичное по характеру удлинение нервных стволов и мышц, вначале - за счет имеющегося запаса в их длине и эластичности, а на последующих этапах - за счет интенсификации физиологической и активации репаративной регенерации нервных и мышечных волокон, сопровождаемой отчетливым угнетением их функции. Вторая (адаптационная) стадия характеризуется преобладанием репаративных про-

цессов в мышечной и нервной ткани над альтерационными, связанными с динамическими тракционными нагрузками на мышцы и нервные стволы. Последние обусловлены нарастающим во времени пассивным и активным вовлечением в двигательную активность удлиненной конечности после прекращения distraction и, особенно, после снятия аппарата Илизарова. В указанной стадии происходит формирование резерва длины и эластичности мышц и нервных стволов, обеспечивающего восстановление необходимого объема активных и пассивных движений в смежных суставах.

Положение о развитии и фиксации парциальных нарушений в системе "схема тела" касается механизмов формирования постdistractionных двигательных расстройств, связанных с возникновением и развитием несоответствия генетически предопределенных и сформированных в онтогенезе центральных моторных программ исполнительным возможностям эффекторов, а также дефицита и искажения (неадекватности) сенсорного обеспечения движений с участием удлиненной конечности.

В рамках изложенных концептуальных представлений разработаны практические рекомендации, касающиеся способов контроля и коррекции функционального состояния центральных и периферических эфферентных и афферентных структур в процессе и после удлинения конечности. В частности, создан специализированный ЭМГ-диагностикум, ориентированный на прогнозирование пограничных состояний и мониторинг реактивно-репаративных изменений в нейромоторных структурах на различных этапах distractionного остеосинтеза. Предложен и апробирован комплекс методов коррекции функции мышц и двигательных центров, основанный на применении электростимуляции и функционального биоуправления.

Н. С. Шеховцова (Курган)

Формирование кровеносного русла фасций в условиях distractionного остеосинтеза по Илизарову

Formation of fascial circulatory bed in the conditions of distraction osteosynthesis according to Ilizarov

Поэтапная последовательность формирования гемомикроциркуляторного русла органов не изучена до конца и продолжает оставаться предметом специальных исследований морфологов.

В опытах на 18 взрослых собаках, разделенных на 2 серии, прослежена последовательность формирования звеньев гемомикроциркуляторного русла фасций голени, удлиняемой по методу Илизарова с постоянным темпом по 1 мм в сутки, но разными ритмами: в I серии distraction осуществляют за 4 раза (по 0,25 мм), во II серии за 60 раз (по 0,017 мм) в сутки в автоматическом режиме (опер. хирурги А.А.Шрейнер, С.А.Ерофеев). Животных выводили из опыта на разные сроки наблюдения. Проводили исследование на светооптическом уровне гистологических препаратов, а также импрегнированных нитратом серебра пленочных препаратов фасций, расслоенных на пластины (а.с. 1674808) и сосудов фасциального русла, налитого тушью с просветлением в глицерине.

Результаты исследования показали, что к 14 суткам удлинения голени дозированное растяжение тканей активизирует ангиогенез с формированием миоэндотелиальных тяжей от стенки артериоларных сосудов и эндотелиоплазматических - от стенки посткапиллярных венул, а также способствует росту почек от стенки капилляров в переходной зоне артериального конца в венозный, с миграцией одной-двух клеток за пределы сосудов в интерстициальную ткань.

К 21-28 суткам в обеих сериях опытов процессы ангиогенеза значительно активизируются, о чем свидетельствуют многочисленные капилляры и значительной длины миоэндотелиальные тяжи, отрастающие от прекапилляров и эндотелиальные тяжи - от стенки венул, растущие навстречу друг другу. Во II серии к 28 суткам опыта сформированные

ангионы достигают значительной длины. От их стенки отмечено появление почек роста, а на верхушке - новообразованных капилляров. В устьях тяжей, отрастающих от прекапилляров, отмечено муфтообразное скопление клеток, в то время как по ходу тяжа они располагаются попеременно его длины, аналогично гладкомышечным клеткам сосудов материнского звена. Конец тяжа заканчивается клеткой с крупным ядром. Отшнуровки от посткапиллярных венул представлены эндотелиоплазматическими тяжами с четкой базальной мембраной. Просветы в тяжах не определяются. В I серии к этому времени тяжи, соединяясь верхушками, образуют первичные ангионы, вытянутые по ходу сил натяжения. Вдоль тяжей отмечена миграция перicyтов.

На отдаленные сроки distraction (I серия - 42 дня) ангионы достигают значительной длины и парноидными сосудами формируют микроциркуляторное русло, вступающее в малососудистые зоны. На протяжении от стенки таких сосудов формируются капиллярные почки и разной длины капилляры, отрастающие как от артериального, так и венозного сосудов. В местах перехода артериального конца сосуда в венозный формируются новые почки и разной длины капилляры, которые отходя от артериального сосуда переходят в тонкий капилляр, анастомозирующий с венозным сосудом соседней сети. Концы растущих основных сосудов ангионов заканчиваются расщеплением артериального, образующего капилляр с широким просветом, один конец которого по центру анастомозирует с вклинившимся сюда подростшим венозным сосудом этого ангиона. Другой конец артериального капилляра образует сосуд с широким просветом, который распадается на несколько капилляров (5-7), с одновременным формированием базальной мембраны. Концы капилляров заканчиваются крупной клеткой с ядром. На этапе фиксации (30 суток) и после снятия аппарата (30 суток) в обеих сериях опытов сформированные сосудистые звенья микроциркуляторного русла отличаются от материнских сосудов меньшим количеством капиллярных петель, как паравазальных, так и концевых.

Таким образом, при удлинении голени по Илизарову дозированная distraction является стимулирующим фактором ангиогенеза не только на уровне формирования почек роста и новообразования капилляров, но и отрастания многоклеточных тяжей от стенки артериоларных и венозных сосудов с формированием и дифференцировкой их в дальнейшем, на большие сроки наблюдения, ангионов и микроциркуляторных сетей. Герминативными центрами являются прекапилляры, переходный конец капилляра в венозный и посткапиллярные венулы. Процесс ангиогенеза во II серии значительно опережает рост и формирование микроциркуляторных сетей по сравнению с I серией опытов.

А. А. Шрейнер, А. М. Чиркова (Курган)

Биомеханические и морфологические аспекты частичных кортикотомий диафиза

Biomechanical and morphologic aspects of partial diaphyseal corticotomies

Исследованиями сотрудников РНЦ "ВТО" выявлены высокие остеогенные свойства костного мозга диафиза, которые наиболее активно проявляются при его сохранности и адекватном уровне кровоснабжения. Убедительные экспериментальные и клинические данные о зависимости репаративного и формообразовательного процессов в кости от степени сохранности остеогенных тканей и источников кровоснабжения способствовали разработке и широкому использованию щадящих методик оперативного нарушения целостности кости. В основе используемых модификаций лежит способ "частичной кортикотомии" ("компактотомии"), разработанный академиком Г. А. Илизаровым и заключающийся в неполном рассечении корковой пластинки долотом и остеоклази оставшейся части кости путем поворота долота или торсии руками за опоры аппарата.

Исследование биомеханики и морфологии оперативного перелома кости имеет важное значение, особенно на уровне диафиза, имеющего трубчатое строение, цилиндрическую форму костного мозга и магистральный тип кровоснабжения.

С помощью силового стенда конструкции А. А. Утенкина и последующей рентгенографии изучены прочностные и деформативные свойства, а также виды получаемых переломов 106 свежих длинных трубчатых костей при их изгибе и кручении после различных видов частичного рассечения диафиза, а также интактных контралатеральных костей собак. В 23 острых опытах на голених собак методами рентгенологии, морфологии и ангиографии исследовано состояние экстра- и интраоссальных тканей при различных видах кортикотомии.

Установлено, что в основе механизма перелома кости при ее торсии руками за кольца аппарата лежит кручение, при повороте долота в поперечной костной ране - изгиб, а в косой - также кручение. Частичная кортикотомия существенно снижает прочность кости как на изгиб, так и кручение, что обусловлено не только уменьшением площади поперечного сечения кости, но и качественным изменением ее профиля. Последнее, по-видимому, и объясняет тот факт, что с уменьшением площади поперечного сечения кости (с увеличением глубины кортикотомии) в выраженной прогрессии снижаются величины разрушающих усилий. Так, прочность кости на изгиб после поперечного надпила диафиза на 1/2, 2/3 и 3/4 диаметра меньше, чем неповрежденной кости в среднем в 7,1 раза, в 11,8 раза и в 25 раз, соответственно.

При изгибной деформации кости после поперечной или косой кортикотомии возникают переломы поперечной или близкой к ней формы. При торсионном нарушении целостности кости возникают переломы как винтообразные, так и косые. Поперечное надсечение кости и последующая ее ротация образуют на одном из фрагментов треугольный зубец, протяженность которого находится в обратной зависимости от глубины рассечения кости. Косая кортикотомия и последующее кручение в относительно равных и круглых костях (типа бедренной) дают классический винтообразный перелом, в то время как в большеберцовой кости формируется протяженный косой перелом диафиза.

Воспроизведение на диафизе кости одного из вариантов "кортикотомии" - поперечное рассечение кости на 2/3 - 3/4 поперечника и последующая торсия руками за кольца аппарата - в большинстве случаев приводит к выраженному повреждению костного мозга с разрывом диафизарных артерий, что обусловлено возникновением срезающего эффекта при перемещении отломков.

Минимальные повреждения экстра- и интраоссальных тканей наблюдаются при использовании специальных аппаратов при флексии кости после поперечной, а при торсии - после косой кортикотомии.

Таким образом, соблюдение определенных биологических и биомеханических условий при выполнении кортикотомий диафиза позволяет произвести оперативное нарушение целостности кости с максимальным сохранением остеогенных тканей и кровоснабжающих кость сосудов.

А. А. Шрейнер, А. М. Чиркова, И. В. Ручкина
(Курган)

Возможности и условия репарации сегментарных дефектов диафиза

Possibilities and conditions of reparation of segmental diaphyseal defects

Для изучения остеогенных потенций костного мозга диафиза и параоссальных тканей проведено экспериментальное исследование на 45 взрослых собаках, у которых создавали сегментарные чрезнадкостничные дефекты средней трети

большеберцовой кости протяженностью 20 - 24 мм (1,5 - 2 поперечника кости).

В 1-й группе экспериментов при создании дефекта корковой пластинки сохраняли целостность цилиндра жирового костного мозга, при этом в одних опытах он контактировал с параоссальными тканями, в других - зону дефекта изолировали от них целлоидиновой пленкой. Во 2-й группе экспериментов резецировали участок диафиза пилой Джигли с удалением костного мозга, при этом в разных опытах костные фрагменты либо контактировали с параоссальными тканями, либо изолировались от них. С концов костных фрагментов удаляли надкостницу, жестко фиксировали их аппаратом Илизарова. При наблюдении в 1-й группе до 2-х месяцев, а во 2-й - до 1,5 лет использовали рентгенологический и морфологический методы исследования.

В опытах 1-й группы в течение первых 2 - 3-х недель сохраненный костный мозг оксифицировался, костные фрагменты соединялись новообразованной губчатой костной тканью. К 2 месяцам опыта процессы перестройки приводили к формированию разреженной корковой пластинки, покрытой типичной надкостницей, и костномозговой полости, заполненной, преимущественно, жировым костным мозгом. В опытах без изоляции от параоссальных тканей поперечные размеры кости не восстанавливались. При плотной изоляции наступало полное восстановление кости до исходного состояния, а при слабой изоляции от параоссальных тканей объем костной мозоли значительно превышал исходную величину костного дефекта, существенно увеличивался поперечник кости.

В опытах 2-й группы, при удалении костного мозга и без изоляции от параоссальных тканей, формировался хронический дефект, заполненный грубоволокнистой соединительной тканью с немногочисленными атрофичными мышечными волокнами. К 4 месяцам на концах костных фрагментов образовывались эндостальные регенераты в виде "колпачков" высотой до 3 мм с замыкательными пластинками. В дальнейшем остеогенез отсутствовал, в наблюдениях до 1 года восстановления формы и целостности кости не происходило, наступали остеопороз и атрофия концов фрагментов.

В опытах с изоляцией зоны дефекта от параоссальных тканей через 3 недели протяженность эндостальных регенератов, имеющих строение губчатой костной ткани, составляла 3 - 9 мм. Центральную часть диастаза занимала гематома. На границе ее с костными регенератами обнаруживались поля остеобластов и многочисленные капилляры. К 4 - 5 неделям опыта величина костных регенератов увеличивалась, гематома замещалась соединительной тканью, в которой определялись фибробласты и малодифференцированные клетки, а также тяжкие остеогенные клетки, направленные от регенерата к центру диастаза. К 3 - 5 месяцам концы регенерата соединялись между собой, а к 4 - 6 - целостность большеберцовой кости восстанавливалась. В дальнейшем наступала органотипическая перестройка новообразованного участка диафиза с восстановлением поперечника кости.

Таким образом, сохранение целостности костного мозга, полноценное кровоснабжение и изоляция от параоссальных тканей обеспечивают в короткие сроки полное восстановление целостности и формы кости в зоне сегментарного дефекта диафиза. Параоссальные ткани не проявляют остеогенных потенций. Их внедрение в зону дефекта корковой пластинки при сохранении костного мозга ограничивает объем образующейся костной ткани, а без сохранения - приводит к формированию хронического костного дефекта. При удалении костного мозга изоляция зоны дефекта от параоссальных тканей обеспечивает медленную, но полноценную репарацию диафиза кости, источником которой являются остеогенные элементы костного мозга фрагментов.

М. М. Щудло, Н. А. Щудло (Курган)

Тракционный рост нервных стволов

Traction growth of nerve trunks

Интактные, поврежденные и сшитые после повреждения нервные стволы подвергали дозированному растяжению в продольном или поперечном направлении со скоростью V_{daily} не более 1000 мкм в день и разовым удлинением (шагом) $Lstep$, 250 мкм. При морфологическом исследовании удлинённых участков признаки травматизации структур не обнаружены. В то же время, обратило на себя внимание увеличение диаметров пучков нервных волокон и нервов в целом, утолщение периневральных и, особенно, эпиневральных оболочек. В последних наблюдалось активное новообразование гемокпилляров, формировавших вытянутые вдоль нерва петли. Стереологический анализ внутриствольных эпиневральных артерий позволил количественно охарактеризовать процесс их тракционного роста. На репрезентативном количестве электронограмм и полутонких срезов в каждой артерии были замерены диаметр просвета сосуда и круга, ограниченного его внутренней эластической мембраной, высота эндотелия, толщина средней и адвентициальной оболочек, а также площади, занимаемые в срезах сосудом в целом, каждой из оболочек его стенки и клеточными элементами в их составе, для чего использовали метод точечной объёмометрии по Салтыкову. Полученные цифры позволили вычислить более 10 параметров, отражающих объёмные отношения структур. Данные обработаны методами непараметрической статистики. Установлено, что растяжение не вызвало достоверных изменений калибра артерий. В то же время, на фоне выраженной гипертрофии биосинтетического аппарата практически всех клеточных элементов их стенок существенно возросла высота эндотелиоцитов; они стали больше походить на высокий цилиндрический эпителий. За 14 дней удлинения объём эндотелия на единицу площади ляминальной поверхности увеличился в 1,94 раза ($a < 0,01$) по сравнению с аналогичными артериями контрлатеральной конечности. Ещё более - в 2,9 раза ($a < 0,01$) - вырос относительный объём средней оболочки при неизменной объёмной плотности гладкомышечных клеток в её составе (92%). Наибольший рост относительного объёма - в 8,45 раза ($a < 0,01$) - обнаружили адвентициальные оболочки с одновременным трехкратным увеличением в них объёмной плотности клеток (с 15,1% до 45,5% при $p < 0,05$). Это значит, что масса адвентициальных клеток за 14 дней возросла в 25,46 раза. Характерно, что такие изменения стенок не сопровождалось достоверными изменениями диаметра просвета артерий и в нервах не были обнаружены морфологические признаки гемодинамических расстройств. Увеличение объёмной плотности клеток с повышением их биосинтетической, двигательной активности и формированием многочисленных межклеточных и цитостромальных контактов наблюдалось и в эпиневральной соединительной ткани, и в периневрии; в последнем при этом возрастало количество эпителиальных слоев. На более поздних сроках удлинения обнаружены признаки новообразования межклеточных структур: в эпиневррии это была популяция ориентированных вдоль нерва коллагеновых волокон, а в периневрии у внешней поверхности каждого эпителиального слоя между его базальной мембраной и циркулярным фибриллярным слоем формировалась прослойка из продольных коллагеновых фибрилл. Приведенные данные позволяют говорить о стадийности процесса тракционного роста - на первом этапе активация метаболизма обеспечивает интенсивный прирост преимущественно клеточной массы, причем этот процесс приобретает опережающий характер, а позже биосинтетическая активность клеток обеспечивает перестройку межклеточных структур.

В. А. Щуров, Е. Н. Щурова, Т. И. Менщикова,
Л. Ю. Горбачева (Курган)

Функциональное состояние мышц как фактор, опосредующий стимулирующее влияние напряжения растяжения на процессы регенерации и роста

Functional status of muscles as a factor, which mediates stimulating effect of tension stress on regeneration and growth processes

Функциональное единство скелетной и мышечной систем подтверждено при изучении их взаимосвязей в процессе роста и развития общностью кровообращения и нервной регуляции. Тем не менее, при анализе механизмов регенерации происходящие в костной ткани процессы нередко рассматриваются в отрыве от динамики состояния окружающих мышц, что, на наш взгляд, затрудняет их интерпретацию с позиций открытых Г. А. Илизаровым общеприродных закономерностей.

Ранее было показано, что совершенствование методик остеосинтеза, приводящее к увеличению масштабов ортопедических вмешательств и улучшению функциональных исходов лечения шло, в частности, по пути снижения травмирующего воздействия на ткани, что сроки сращения переломов костей в значительной степени определяются степенью повреждения мышц в момент травмы [В. И. Шевцов с соавт., 1995].

При исследовании внутримышечного давления в процессе лечения по Илизарову больных с переломами костей голени (23 человека) выявлена линейная корреляционная взаимосвязь изучаемого показателя и поперечной твердости икроножной мышцы. Повышение внутримышечного давления способствовало снижению трансмурального давления в артериях и его трансмиссии вдоль сосудистого русла, что, по-видимому, является фактором стимуляции ангиогенеза. Условием функционирования системы координации и коррекции естественного продольного роста конечностей является наличие обратных связей. Информация о достигнутых продольных размерах конечностей и симметричности их размеров может быть получена с неадаптирующихся рецепторов растяжения мышц в случае, если напряжение растяжения мышц отслеживает изменение продольных размеров конечности. На примере икроножной мышцы показано, что рост показателя поперечной твердости у здоровых детей и подростков (425 человек) прямо пропорционален изменению продольных размеров голени. В свою очередь, напряжение растяжения мышц создает противодействие на соответствующие метаэпифизарные пластинки роста и является местным механическим фактором регуляции скорости продольного роста длинных трубчатых костей [Г. А. Илизаров, В. А. Щуров, 1981].

В процессе естественного роста, по мере увеличения длины и степени напряжения растяжения мышц у детей растут их относительная и абсолютная сила, резервные возможности сосудистого русла (индекс пикового кровотока), просвет артерий. В то же время, у больных с последствиями перенесенного полиомиелита (70) снижение кровотока покоя и пикового кровотока пропорциональны степени атрофии тканей нижней конечности.

Предположено, что просвет артерий конечностей должен увеличиваться с ростом массы тканей после удлинения конечности по Илизарову. Однако, проведенные исследования позволили установить, что без соответствующей прибавки сократительной способности мышц увеличения диаметра магистральных артерий не происходит.

Анализ функциональных исходов лечения по Илизарову больных с облитерирующим тромбангиотом и облитерирующим атеросклерозом сосудов нижних конечностей (52) позволил сделать заключение, что на длительность ремиссии влияет степень восстановления локомоторной активности больных, определяемая созданием резервов функциональной адаптации периферического кровообращения.

После удлинения конечностей по Илизарову у больных с ахондроплазией (73) уровень функциональной реабилитации мышц и интенсивность их кровоснабжения зависят от достигаемых дефинитивных размеров бедра и голени. Оптимальная величина удлинения голени определяется степенью нормализации напряжения растяжения мышц, наблюдающееся при достижении этим сегментом 80% от дефинитивных размеров у взрослых здоровых людей.

Имеющаяся функциональная взаимосвязь костной и мы-

шечной систем позволяет, с одной стороны, воздействуя на кость улучшить трофику мышц и купировать синдром перемежающейся хромоты, а с другой - регулируя напряжение растяжения мышц и функциональную нагрузку, повлиять на процесс репаративной регенерации. Очевидно, что состояние мышц является не только фактором, определяющим восстановление их сократительной способности и функции суставов, но и влияющим на структурную перестройку кости.