

РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА КОСТЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ДИСТРАКЦИОННОМ ОСТЕОСИНТЕЗЕ ГОЛЕНИ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ С ТЕМПОМ 3 ММ В СУТКИ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

Кононович Наталья Андреевна, кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник

Попков Арнольд Васильевич, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник

Степанов Михаил Александрович, кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник

ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г. А. Илизарова» Минздрава России

640014, Курган, ул. М.Ульяновой, д. 6; e-mail: n.a.kononovich@mail.ru

Ключевые слова: Эксперимент, комбинированный distractionный остеосинтез, повышенный темп удлинения, рентгенография, остеогенез, гидроксипатит кальция, собака.

Экспериментально показана возможность удлинения костей конечностей в высокодробном режиме (0,125 мм/час) с темпом 3 мм в сутки методом Илизарова в сочетании с армированием сегмента спицами с гидроксипатитным покрытием. В созданных условиях сроки аппаратной фиксации сократились более чем в 2 раза по отношению к классическому варианту удлинения. Это подтверждено клиническим и рентгенографическим методами.

Введение

Проблема восстановления длины конечностей является одной из актуальных в ортопедии. Перечень причин, обуславливающих необходимость оперативной коррекции длинных костей, включает в себя системные заболевания скелета, врожденные и приобретенные укорочения.

Как показывает практика, на сегодняшний день метод остеосинтеза по Г.А. Илизарову позволяет получить наилучшие результаты при лечении подобного рода пациентов. Классическим режимом distraction принято считать удлинение по 1 мм в сутки, распределенное на 4 приема. Однако при данном режиме продолжительность остеосинтеза, а также в целом сроки лечения не всегда удовлетворяют врачей и самих пациентов [1, 2].

Сокращение периода лечения возможно путем увеличения суточного темпа distraction и создания условий для более быстрого формирования опороспособного участка диафиза, а также прекращения наружной аппаратной фиксации.

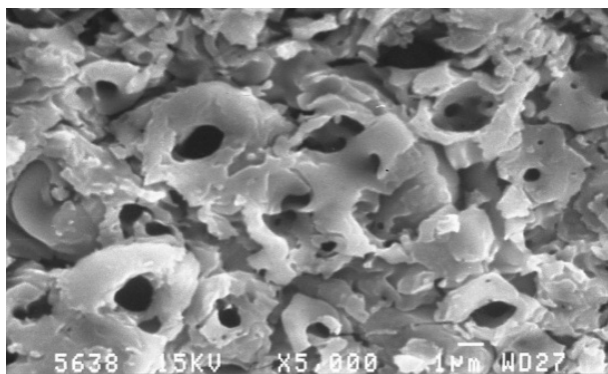
Экспериментальное обоснование воз-

можности увеличить темп distraction в 2-3 раза (до 3 мм в сутки) в сравнении с классическим режимом проведено в начале XXI века и продолжается до настоящего времени [3-5].

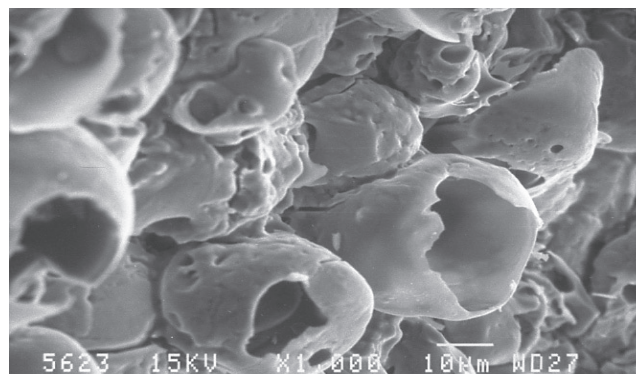
Сокращение периода аппаратной фиксации возможно получить путем применения наружных конструкций в сочетании с интрамедуллярными и накостными фиксаторами, а также собственно при стимуляции процессов остеогенеза. Последнее может быть достигнуто при использовании интрамедуллярных фиксаторов, в частности спицевых, с биосовместимым, а также биологически активным покрытием [6-10].

Вместе с тем до настоящего времени нет экспериментально обоснованных работ по объединению технологий комбинированного distractionного остеосинтеза, которые включали бы в себя использование автоматического удлинения конечности с повышенным суточным темпом, в частности 3 мм, и интрамедуллярного армирования спицами с гидроксипатитным покрытием (ГА).

Целью настоящего исследования яви-



а



б

Рис. 1 - Типичная морфология поверхности кальций-фосфатного покрытия, полученного методом дугового оксидирования, увеличение: а $\times 1000$, б $\times 10000$

лось определение эффективности использования комбинированного distractionного остеосинтеза при круглосуточном удлинении с темпом 3 мм в сутки.

Объекты и методы исследований

Экспериментальное исследование было выполнено на 6 взрослых беспородных собаках обоего пола. Всем животным выполняли высокочувствительное автоматическое удлинение костей голени методом Илизарова в сочетании с интрамедуллярным армированием большеберцовой кости титановой спицей с биоактивным покрытием (гидроксиапатит кальция). Диаметр спицы составлял 1,8 мм, что соответствовало в среднем 37% от диаметра костномозгового канала большеберцовой кости.

Для нанесения покрытия использовался простой и экономичный способ получения КФ покрытий на титановых имплантатах - микродуговое оксидирование (МДО) из разряда электрохимических методов [11]. В качестве покрытия использовали Са-Р порошок, который, по данным рентгенофазового анализа и электронной микроскопии, являлся гетерофазной смесью гидроксиапатитов с включениями гранул наномасштабной структуры с зернами диаметром 10-100 нм, с площадью внутренней поверхности более 70 м²/г. Толщина покрытий интрамедуллярных спиц из титана, получаемых в дуговом режиме, составляет 20–40 мкм, пористость 20–30 %, размер пор варьирует от 5 до 100 мкм. Адгезионная прочность данного покрытия к титановой подложке составляет 20–30 МПа, шероховатость - $5,5 \pm 0,01$ мкм.

В ранее выполненных исследованиях с использованием гистологических и биомеханических тестов было показано, что данный вид нанесения КФ покрытий обеспечивает достаточно высокую степень остеогенной активности вокруг имплантата [12]. Типичная морфология поверхности таких покрытий приведена на рис.1.

При выполнении экспериментов во всех случаях остеосинтез был проведен в условиях операционной одной хирургической бригадой. Оперативное вмешательство начинали с проведения интрамедуллярной спицы. Для этого с медиальной поверхности большеберцовой кости в проекции ее бугристости при помощи фрезы диаметром 3 мм в кортикальном слое кости формировали сообщающееся с костномозговым каналом наклонное отверстие. Через образованное отверстие в костномозговой канал вводили спицу с биоактивным покрытием до уровня нижней трети диафиза либо дистального метафиза. Внеканальный конец спицы загибали в виде петли, которую помещали под фасцию сегмента (рис. 2). Следует отметить, что для введения спицы не требовалось дополнительного рассверливания костномозгового канала.

После этого в средней трети костей осуществляли остеотомию долотом. Отломки фиксировали аппаратом Илизарова, состоящим из четырех опор.

Через 7 суток после операции осуществляли удлинение голени с использованием автоматического дистрактора круглосуточно с темпом 0,125 мм/час (3 мм в сут-

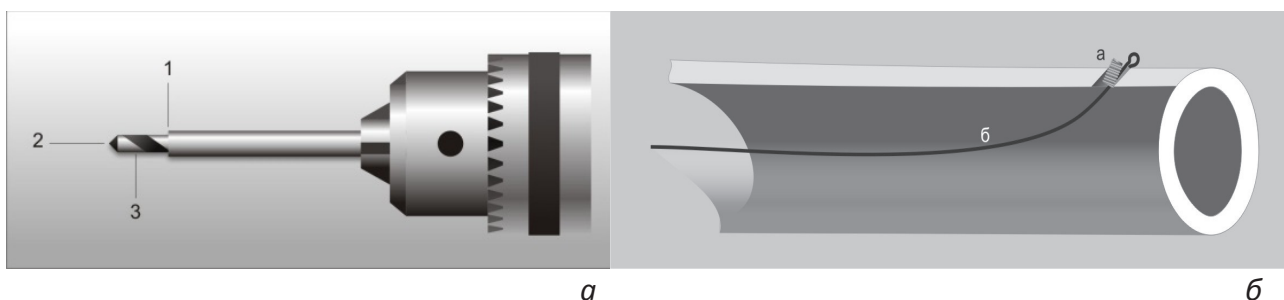


Рис. 2 - Фреза для формирования канала в кортикальном слое кости (а): 1 –ограничительная площадка; 2 – режущая поверхность сверла; 3 – режущая поверхность фрезы; б - фиксация спицы с петлей на конце в костном канале.

ки) в течение 10 суток. После прекращения периода удлинения фиксацию продолжали до образования опороспособного новообразованного участка диафиза, когда его биомеханические свойства позволяют демонтировать аппарат Илизарова без опасения формирования вторичной деформации или перелома кости.

Для оценки течения дистракционного остеогенеза использовали рентгенографический метод исследования. Применяли рентгеновский аппарат «VER X Technology Premium VET» (Испания). Технические условия съемки во всех случаях были одинаковыми. Фокусное расстояние составляло 97 см, сила тока – 2,5-3,2 мА, напряжение на трубке – 44-46 kV.

Полученные изображения подвергали качественной оценке, а также рентгенограмметрическому анализу. На рентгенограммах измеряли высоту диастаза, высоту проксимального и дистального костных регенератов, высоту срединной зоны просветления («зоны роста»), диаметр дистракционного регенерата в проекции «зоны роста». Количественные данные подвергали статистической обработке. С этой целью использовали программу AtteStat 13.1 (Россия). Статистическое исследование включало в себя описательную статистику: средние значения (M) и стандартное отклонение (SD). Сравнительные исследования производились с применением критерия Стьюдента и Вилкоксона для независимых и парных выборок. Различия показателей считали достоверными при $p \leq 0,05$. Размер выборки предварительно не рассчитывался.

Дополнительно использовали клини-

ческий метод исследования, который позволял оценить общее состояние животных и функцию оперированной конечности на протяжении всего периода эксперимента.

Эксперименты выполнены в соответствии с требованиями «Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей» и были одобрены Комитетом по этике ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова».

Результаты исследований

На протяжении эксперимента при клиническом обследовании изменений общего состояния животных, отклонения в потреблении корма и воды выявлено не было. Осложнений неврологического и инфекционного характера не определяли. Через одни сутки после остеосинтеза локально, в средней трети голени определяли незначительно выраженный отек мягких тканей, а к четвертым суткам – признаки отека не выявляли.

Опорная функция опытного сегмента сохранялась до окончания эксперимента. Однако в преддистракционном периоде и на этапе удлинения сопровождалась хромотой опирающегося типа. В последующем функция конечности восстанавливалась.

На рентгенограммах, выполненных непосредственно после оперативного вмешательства, ось сегмента была правильная. В средней трети костей голени определяли поперечный либо косопоперечный перелом диафиза. Контуры концов отломков были четкие, неровные. Между отломками наблюдали диастаз высотой 0,5-1,0 мм.

Анализ результатов качественной и

количественной оценки рентгенограмм показал, что по окончании периода удлинения диастаз между костными отломками составлял $29,32 \pm 0,65$ мм (14-16% от исходной длины сегмента). В его полости был сформирован костный дистракционный регенерат продольноисчерченной структуры, нормо- или гиперпластической формы и типичного зонального строения. Хорошо визуализировались эндостальный и периостальный компоненты регенерата. В этот период периостально образованные регенераты, отходящие от проксимального и дистального костных отломков, между собой не объединялись. Высота проксимального отдела дистракционного регенерата составляла $15,03 \pm 4,25$ мм (от 9 до 16 мм), дистального отдела регенерата – $13,21 \pm 3,32$ мм (от 10 до 17 мм), соединительнотканной зоны роста – $6,0 \pm 2,14$ мм (3 мм в центральной части, до 9 мм - по периферии). Диаметр регенерата в области зоны роста составлял: в прямой проекции $16,25 \pm 5,68$ мм, в боковой проекции – $13,62 \pm 3,36$ мм.

В созданных условиях формирование опороспособного новообразованного участка диафиза костей голени происходило уже через $13,83 \pm 4,02$ суток аппаратной фиксации. В этот период при выполнении клинической пробы, патологическую подвижность костных отломков и болезненность в области удлинения не определяли. На рентгенограммах контуры концов отломков были нечеткие, дистракционный регенерат гиперпластического типа утрачивал выраженное зональное строение и продольную исчерченность. Был представлен в большей степени гомогенными тенями разной степени интенсивности. Зона роста, высотой в среднем $1,62 \pm 0,66$ мм, определялась в виде отдельных участков просветления либо тонкой зигзагообразной полосы. Периостальные компоненты регенерата объединялись между собой, чаще с двух сторон. Диаметр регенерата на уровне зоны роста увеличивался по отношению к предыдущему периоду обследования и составлял: в прямой проекции $18,0 \pm 4,24$ мм ($p=0,203$), в боковой проекции – $18,4 \pm 4,52$ мм ($p=0,174$).

Через 30 суток после прекращения

фиксации деформации или перелома новообразованного участка диафиза не происходило. Контуры концов костных отломков были размытые. Высота диастаза не изменялась по отношению к предыдущему периоду обследования. Его полость перекрывали тени гомогенной структуры. Был сформирован костномозговой канал и единая непрерывная корковая пластинка. Зона роста не определялась. Диаметр регенерата в прямой проекции составлял $17,13 \pm 1,42$ мм, в боковой проекции – $18,74 \pm 1,13$ мм.

На рис. 3 и 4 представлены рентгенограммы и фото животного, выполненные на разных этапах эксперимента.

Полученные результаты мы сравнили с данными ранее выполненного экспериментального исследования (далее группа сравнения), когда проводили удлинение голени у собак с темпом 3 мм на протяжении 10 суток в условиях круглосуточной высокодобротной автоматической дистракции, но без армирующего элемента [4]. Как отмечают авторы, в созданных условиях по окончании периода удлинения регенерат имел форму песочных часов. Высота срединной зоны просветления («зоны роста») достигала 15 мм. Протяженность костных отделов регенерата варьировала от 5 мм до 15 мм. У этих животных через 15 суток после прекращения дистракции прослеживалось зональное строение регенерата. «Зона роста» определялась в виде отдельных участков просветления высотой до 4 мм. В 75% наблюдений тени периостальных компонентов регенерата (формирующейся корковой пластинки) не объединялись между собой. Подобная рентгенологическая картина не позволяла прекратить аппаратную фиксацию в этот период. Формирование опороспособного участка диафиза происходило не ранее чем через 30 суток фиксации, когда после выполнения клинической пробы аппарат демонтировали.

В нашем исследовании использование интрамедуллярных спиц с биоактивным покрытием оказало стимулирующее воздействие на процессы костеобразования. В конце периода дистракции в полости диастаза был сформирован дистракционный



Рис. 3 Комбинированный дистракционный остеосинтез в повышенном автоматическом темпе, рентгенограммы и фото животного №5464: *а* – окончание периода дистракции; *б* – окончание периода фиксации; *в* – вид животного, окончание периода фиксации.

костный регенерат нормо- или гиперпластического типа. Подобная форма регенерата является предпочтительней, так как обеспечивает более высокую механическую прочность новообразованному участку диафиза в сравнении с гипопластическим типом. В этот период рентгенологически, по отношению к группе сравнения, высота «зоны роста» была меньше на 4-6 мм, а протяженность костных отделов регенерата - больше в среднем на 4 мм.

Уже через 2 недели после окончания удлинения регенерат утрачивал зональное строение. Отдельные участки просветления, представляющие «зону роста», были высотой менее 2 мм. Происходило объединение периостальных компонентов дистракционного регенерата, чего не наблюдали у животных группы сравнения. В выполненном исследовании в этот период на основании рентгенологической картины и результатов клинической пробы прекращали фиксацию аппаратом.

В том и другом экспериментах через 30 суток после прекращения аппаратной фиксации рефрактуры либо деформации регенерата не происходило. Опорная функ-

ция конечности была сохранена.

Существует мнение, что удлинение конечностей с использованием наружных конструкций в сочетании с интрамедуллярным остеосинтезом (техника LON) негативно влияет на эндостальное кровоснабжение и соответственно на регенерацию костной ткани в целом. Это связано с тем, что для введения интрамедуллярного штифта необходимо дополнительное рассверливание костномозгового канала, при этом штифт занимает весь его диаметр [13].

В нашем исследовании были использованы интрамедуллярные фиксаторы меньшего диаметра, и для их введения не требовалось дополнительного рассверливания костномозгового канала удлиняемой кости. Следовательно, нахождение использованной армирующей спицы не оказывало отрицательного воздействия на процессы дистракционного остеогенеза. О чем также свидетельствует значительное сокращение периода аппаратной фиксации.

Таким образом, результаты данного исследования показали возможность удлинения голени на величину 14-16% от исходной длины сегмента в режиме круглосу-



Рис. 4 Комбинированный дистракционный остеосинтез в повышенном автоматическом темпе, рентгенограммы и фото животного № 5464: *а* – через 30 суток после прекращения фиксации; *б* – вид животного через 30 суток после прекращения фиксации; *в* – через 3 месяца после прекращения фиксации.

точной автоматической дистракции с повышенным темпом (3 мм в сутки) в сочетании с интрамедуллярным армированием титановыми спицами с биоактивным покрытием, нанесенным методом МДО.

Сочетание высокодетального автоматического удлинения с повышенным темпом и интрамедуллярного армирования спицами с биоактивным покрытием позволило более чем в 2 раза сократить сроки аппаратной фиксации.

В созданных условиях индекс фиксации сократился в среднем до 4,8 суток/см, а индекс остеосинтеза – до 14,68 сут/см.

Выводы

Выполненные исследования привели нас к убеждению, что высокодетальный дистракционный остеосинтез позволяет автоматизировать процесс удлинения и увеличить его темп в три раза по сравнению с классическим дистракционным остеосинтезом по Илизарову. Более того, процесс репаративной регенерации в этих условиях можно значительно стимулировать при использовании интрамедуллярного армирования тонкой спицей, имеющей биоактивное по-

крытие в виде гидроксиапатита. Реально сократился индекс остеосинтеза до 14 суток/см, что более чем в 2 раза меньше отличного результата по мировым стандартам. Данные исследования вплотную приблизили нас к воплощению мечты врача-ортопеда, когда окончание периода дистракции станет показанием к прекращению остеосинтеза конечности аппаратом внешней фиксации с гарантированным положительным исходом лечения пациента.

Библиографический список

1. Gubin, A.V. Gubin Ilizarov method for bone lengthening and defect management: Review of contemporary literature / A.V. Gubin, D.Y. Borzunov, T.A. Malkova // Bulletin of the Hospital for Joint Diseases. – 2016. – Vol. 74(2). – P. 145-154.
2. Начальные этапы дистракционного остеогенеза / С.П. Миронов, Н.П. Омеляненко, И.Н. Карпов, А.В. Иванов, А.В. Хлыстова // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2015. - №1. – С. 6-11.
3. Ерофеев, С.А. Реакция мышц голени на ее удлинение с высоким темпом в усло-

виях автоматической дистракции (в эксперименте) / С.А. Ерофеев, Н.К. Чикорина, М.С. Сайфутдинов // Вопросы реконструктивной и пластической хирургии. – 2004. - №3-4. – С. 43-45.

4. Шевцов, В.И. Особенности костеобразования при удлинении голени автоматическими дистракторами с темпом 3 мм за 180 приемов (экспериментальное исследование) / В.И. Шевцов, С.А. Ерофеев, Е.Н. Горбач // Гений ортопедии. – 2006. - № 1. – С. 10-16.

5. Горбач, Е.Н. Особенности морфогенеза костной ткани при удлинении голени методом чрескостного дистракционного остеосинтеза при повышенном суточном темпе / Е.Н. Горбач, М.А. Степанов // Морфология. – 2015. – Том 147. - №.7. – С. 42-47.

6. Popkov, D **Role of flexible intramedullary nails in reducing of period of external fixation in limb lengthening in children** / D. Popkov, P. Lascombes, P. Journeau, Th. Haumont, A. Popkov // Annual Meeting of the Pediatric Orthopaedic Society of North America. – 2009. Paper 8.

7. Степанов, М.А. Репаративная регенерация костной ткани при удлинении конечности методикой комбинированного дистракционного остеосинтеза / М.А. Степанов, Н.А. Кононович, Н.Е. Горбач // Гений ортопедии. – 2010. - №3. – С. 89-94.

8. Harbacheuski R. Does Lengthening and Then Plating (LAP) Shorten Duration of External Fixation? / Ryhor Harbacheuski, Austin T.

Fragomen, S. Robert Rozbruch // Clin Orthop Relat Res. – 2012. - Vol. 470(6). – P. 1771-1781.

9. Исследование взаимодействия биосовместимого покрытия из смеси нитридов металлов IV группы с тканями живого организма / И.Ф. Ахтямов, Э.Б. Гатина, Ф.Ф. Кадыров, М.Ф. Шаехов, Ф.В. Шакирова // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т.15(20). – С. 176-178.

10. Dorozhkin Biocomposites and hybrid biomaterials based on calcium orthophosphates. / S.V. Dorozhkin // Biomatter. – 2011. - Vol. 1 – P. 3–56.

11. Rama Krishna L. The tribological performance of ultra-hard ceramic composite coatings obtained through microarc oxidation / L. Rama Krishna., K.R.C. Somaraju, G. Sundararajan // Surf. Coat. Tech. – 2003. - Vol. 163-164 – P. 484–490.

12. Возможности остеогенной активности интрамедуллярных имплантатов в зависимости от технологии нанесения кальций-фосфатного покрытия (экспериментальное исследование) / А.В. Попков, Д.А. Попков, Н.А. Кононович, Е.Н. Горбач, С.И. Твердохлебов // Успехи современного естествознания. – 2015. – №5. – С. 142-145.

13. Ryu K.J. Reamed Intramedullary Nailing has an Adverse Effect on Bone Regeneration During the Distraction Phase in Tibial Lengthening. / KJ Ryu, BH Kim, JH Hwang, HW Kim, DH Lee // Clin Orthop Relat Res. – 2016. – Vol. 474(3) – P. 816-24. doi: 10.1007/s11999-015-4613-2.