

© Коллектив авторов, 2004

СТИМУЛЯЦИЯ КРОВООБРАЩЕНИЯ В ТКАНЯХ КОНЕЧНОСТЕЙ МЕТОДОМ ПОВТОРНЫХ ОСТЕОПЕРФОРАЦИЙ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-КЛИНИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

А.А. Ларионов, М.Ю. Речкин, Е.Н. Щурова, Г.Н. Филимонова, О.А. Кравчук

Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. Г.А. Илизарова, Курган

С помощью современных методов проведено экспериментальное (28 собак) и клиническое (24 больных с хронической ишемией) исследование состояния периферического кровообращения в нижних конечностях после применения метода повторных остеоперфораций. Показано, что простое и малотравматичное хирургическое вмешательство, направленное на создание множественных очагов репаративной регенерации и реактивной гиперемии, достоверно обеспечивает стойкое улучшение регионарной гемодинамики и метаболизма тканей как при компенсированных, так и при декомпенсированных расстройствах кровоснабжения конечностей.

The state of peripheral blood circulation of lower extremities after repeated osteoperforations was conducted in experiment (28 dogs) and in clinic (24 patients with chronic ischemic disease) using modern methods. It was shown that simple and low invasive surgical intervention for the creation of multiple reparative regeneration and reactive hyperemia foci provides stable improvement of regional hemodynamic and tissue metabolism both in compensated and decompensated disturbances of blood circulation in extremities.

Нарушение регионарного кровоснабжения при повреждениях опорно-двигательного аппарата значительно ухудшает репаративную регенерацию тканей, что обуславливает непрекращающийся поиск приемов стимуляции восстановительных процессов [10, 11]. Непременным условием оптимизации восстановительных процессов в тканях конечности является улучшение регионарного кровообращения и нормализация микроциркуляции в ишемизированных тканях, так как именно состояние микроциркуляторной системы определяет течение и исход репаративной регенерации [4, 8, 12].

Известно, что костная травма сопровождается появлением очагов артериальной гиперемии в кости и приводит к повышению интенсивности кровообращения на весь последующий период костеобразования [1, 3, 11, 13]. Для улучшения условий репаративной регенерации тканей в травматологии и ортопедии широко применяют методики стимуляции восстановительных процессов путем локального возбуждения очагов остеогенеза и артериальной гиперемии. Однако продолжительность их стимулирующего воздействия ограничена длительностью биологического цикла репаративной регенерации тканей. В РНЦ «ВТО» на основе проведенных экспериментально-теоретических исследований был разработан способ пролонгирования остеорепаляции и артериальной гиперемии, заключающийся в выполнении повторных остеоперфораций [2]. Эксперименты, выполненные на животных, показали, что при повторном воздействии агрессивного фактора формируется «кооперативный эффект» в ответной сосудистой реакции организма, проявляющийся повышением выраженнос-

ти и увеличением продолжительности периода артериальной гиперемии [6]. Методика повторных остеоперфораций была применена в клинической практике для стимуляции ангиогенеза и коллатерального кровотока при хронической ишемии нижних конечностей у больных с облитерирующим атеросклерозом.

Целью данной работы было экспериментально-клиническое изучение результатов применения методики повторных остеоперфораций конечностей с целью стимуляции регионарного кровообращения и восстановительных процессов в тканях конечностей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Экспериментальное исследование. Изменения васкуляризации и периферического кровообращения конечности, возникающие в ответ на хирургическое повреждение в виде повторных остеоперфораций, изучены на 28 беспородных собаках в возрасте от 1 года до 4 лет. Продолжительность эксперимента составила 122 сут.

Анатомо-функциональное состояние кровообращения в нижних конечностях изучали при помощи сравнительной прижизненной ангиографии из чресплечевого доступа и флебографии на аппарате «Angioscop А-33» фирмы «Siemens», а также методом инвазивной ультразвуковой доплерометрии. Кровенаполнение конечности и метаболизм костной ткани оценивали по активности ^{99m}Tc-ДТПА (диэтилтриаминпентауксусная кислота) в сосудистом бассейне; радиофармпрепарат (РФП) вводили внутривенно в дозе 0,37–0,56 МБк/кг за 30 мин до исследования. Для оценки обменных про-

цессов в костной ткани использовали ^{99m}Tc и пирофосфатный комплекс, который вводили собакам внутривенно в дозе 0,64–1,11 МБк/кг. Сканирование и радиометрию проводили на планисканере KE-32 фирмы «Radiax».

Радиоиммунологическим методом в сыворотке крови определяли циклический аденозинмонофосфат (цАМФ), циклический гуанозинмонофосфат (цГМФ), паратгормон, соматотропный гормон и кальцитонин. Остеотропные гормоны выявляли при помощи специальных наборов (китов), производимых фирмами «Mallincrodt» (ФРГ), «Sea Ire Sorin» (Франция). Циклические нуклеотиды определяли при помощи наборов фирмы «Amersham» (Англия). Радиометрию исследуемого материала выполняли при помощи гамма-счетчика фирмы «Tracor Eurora» (Голландия). Васкуляризацию мягких тканей конечностей изучали методом количественной морфометрии при помощи окуляр-микрометра микроскопа МБС-2. Микроциркуляторное русло фасций маркировали гистохимическим методом на выявление АТФ-азы по Падекуле—Герману.

Клиническое исследование. Процесс компенсации хронической ишемии нижней конечности изучали у 24 больных с облитерирующим атеросклерозом в возрасте от 41 года до 72 лет в течение 1 года. Стадии ишемии определяли по классификации А.В. Покровского. С помощью ультразвуковой доплеровской установки («Ангиоплюс», Россия) оценивали магистральный линейный кровоток в конечностях и регистрировали прямую фазу максимальной линейной скорости, рассчитывали индекс пульсации и демпинг-фактор. Регионарное систолическое давление на нижней конечности определяли методом Рива-Роччи с ультразвуковой регистрацией артериального пульса. Напряжение кислорода и углекислого газа в крови кожи стопы регистрировали при помощи чрескожного монитора 840 (VED) PtCO₂/PtCO₂ фирмы «Novamatrix» (США). Состояние микроциркуляции оценивали с помощью лазерной доплеровской флоуметрии («Ангиоплюс», Россия). Регистрировали такие показатели, как капиллярный кровоток, частота флюктуаций, регионарное сосудистое сопротивление. Артериографию нижних конечностей выполняли на рентгенографической установке «Ангиомультекс» фирмы «Siemens».

Результаты исследования обрабатывали методами вариационной статистики с определением критерия Стьюдента.

Методика операции

В эксперименте после обработки операционного поля на тазовой конечности собак под внутривенным наркозом при помощи электродрели спицей для чрескостного остеосинтеза диаметром 1,5 мм создавали сквозные каналы в дистальном метафизе бедренной кости, в обоих метафизах большеберцовой кости, в пяточной и ладьевидной

костях. В последующем операцию повторяли дважды с интервалом в 10 сут.

У больных с хронической ишемией нижних конечностей после обработки операционного поля под местной или перидуральной анестезией спицей диаметром 1,8–2 мм производили с помощью электродрели повреждения метафизов длинных костей, костей стопы так, чтобы верхний уровень нанесения сквозных остеоперфораций располагался проксимальнее зоны нарушенного кровоснабжения. В послеоперационном периоде проводили инфузионную терапию вазоактивными препаратами, назначали антикоагулянты, дезагреганты. С целью получения кооперативного эффекта в ответной реакции кровеносной системы на хирургическую костную травму через 10–14 дней остеоперфорацию повторяли.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Однократное выполнение остеоперфораций в эксперименте сопровождалось увеличением кровоснабжения оперированной конечности по сравнению с контралатеральной, которое достигало максимума в течение 2–3-й недели после операции и проявлялось в раннем контрастировании и дилатации артерий. К концу 4-й недели опыта различия в артериографической картине оперированной и контралатеральной конечностей отсутствовали. Повторное выполнение остеоперфораций с интервалом в 10 сут приводило к более выраженному и продолжительному увеличению кровоснабжения оперированной конечности. Ангиографически через 1 мес после операции регистрировались расширение подкожной артерии и признаки ускорения кровотока в виде более раннего контрастирования артериального русла. Ускорение кровотока и более развитая сосудистая сеть на стороне операции обнаруживались на сравнительных артериограммах и через 2,5 мес после повторных остеоперфораций. Повышенное кровенаполнение оперированной конечности регистрировалось также при сравнительной восходящей флебографии, выявлявшей дилатацию магистральных вен и более «густую» архитектуру венозной сети.

Радионуклидные исследования кровообращения в тазовых конечностях собак показали, что на 7-е сутки после первой операции остеоперфорации активность РФП максимально повышалась на уровне нижней трети голени в 2,6 раза по сравнению с противоположной конечностью. По данным инвазивной ультразвуковой доплерометрии, на 10–14-е сутки опыта объемная скорость кровотока в бедренной артерии оперированной конечности возрастала в 2 раза. К 30-м суткам разница в активности РФП в сосудистых бассейнах оперированной и контралатеральной конечностей исчезала.

После повторения остеоперфораций на 18–20-е сутки эксперимента отмечалось достоверное повышение в 3,2 раза активности РФП в сосудистом

бассейне, а инвазивная ультразвуковая доплерометрия показывала дальнейшее нарастание в 2,5 раза объемной скорости кровотока в бедренной артерии на стороне остеоперфораций. После третьей операции регистрировалось дальнейшее повышение в 1,8–3,5 раза активности РФП в сосудистом бассейне. Значительно возрастала величина включения пирофосфатного комплекса, особенно в зоне повреждения и репарации тканей. Повышенное кровенаполнение оперированной конечности и высокий уровень обменных процессов сохранялись в течение всего срока эксперимента.

Сравнительное изучение состояния гемомикроциркуляторного русла мышц и фасций обеих голей собак показало, что усиление капилляризации тканей происходило в первые 2 нед после однократной операции и было максимально выражено на 10–14-е сутки опыта. С 3-й недели после операции капилляризация мышц и величина гематотканевой диффузии снижались до контрольного уровня, что согласуется с данными других авторов о продолжительности реакции микроваскулярной сети на повреждение [5, 9]. После повторения остеоперфораций относительный объем сосудистого русла оставался увеличенным по сравнению с контролем, что может свидетельствовать о перекалибровке микрососудов и увеличении доли микрососудов большего диаметра, т.е. о стойком вазодилатирующем эффекте [6, 7].

Повторные остеоперфорации тазовой конечности животных сопровождались резкими изменениями гормонального фона и вызывали значительное повышение концентрации в крови остеотропных гормонов и циклических нуклеотидов. На протяжении первых 2 мес опыта содержание гормонов в сыворотке крови медленно убывало, но оставалось выше исходного. Лишь концентрация кальцитонина к окончанию 3-го месяца опыта возвращалась к дооперационному уровню. Содержание соматотропного гормона и паратиринна было повышенным в течение всего срока эксперимента. Динамика циклических нуклеотидов отражала реципрокные отношения и проявлялась постепенным снижением и нормализацией содержания цАМФ и одновременным повышением уровня цГМФ, который не возвращался к дооперационному значению.

Клиническое и инструментальное изучение в динамике периферического кровообращения у больных с облитерирующим атеросклерозом нижних конечностей показало, что ближайший послеоперационный период характеризовался улучшением локомоторной функции и выраженной реакцией артерий дистальных отделов конечности и микроциркуляторного русла [8].

У больных с компенсированной недостаточностью кровообращения (IIА–IIБ стадии) при исследовании магистрального кровотока в конечности выявлено, что в подколенной артерии и тыльной артерии стопы через 2 нед после повторных остеоперфораций демпинг-фактор кровотока увеличи-

вался соответственно на 19 и 80% ($p < 0,05$), индекс пульсации возрастал на 36% ($p < 0,05$) только в тыльной артерии стопы. Через 0,5 года после операций отмечалось повышение индексов давления на 22% ($p < 0,05$). Микроциркуляторное русло кожных покровов конечности реагировало еще более бурно. Капиллярный кровоток увеличивался на 63% ($p < 0,05$), а сосудистое сопротивление снижалось на 46% ($p < 0,05$) и достигало показателя контрольной группы (здоровые мужчины). Напряжение кислорода возрастало на 72% ($p < 0,05$), напряжение углекислого газа снижалось на 22% ($p < 0,05$).

При III–IV стадиях хронической ишемии характер кровотока в бедренной и подколенной артериях после операций почти не изменялся, что свидетельствовало о существовании на этом уровне сформировавшихся путей окольного кровотока, поскольку в задней большеберцовой артерии отмечалось увеличение индекса пульсации и демпинг-фактора соответственно на 40 и 69% ($p < 0,05$). Как и при II стадии ишемии, увеличивался индекс давления в нижней трети бедра и в нижней трети голени на 29 и 58% ($p < 0,05$). Степень изменения показателей микроциркуляции была несколько выше, чем при II стадии ишемии. Капиллярный кровоток возрастал на 143% ($p < 0,05$), сосудистое сопротивление снижалось на 56% ($p < 0,05$). Напряжение кислорода в коже стопы увеличивалось на 46%, а напряжение углекислого газа снижалось на 41% ($p < 0,05$).

Проведенные исследования показали, что остеорецептивная система кости реагирует как единое целое, участвуя в регуляции общих и системных реакций организма [14].

Установленные в эксперименте изменения гемомикроциркуляторного русла мышечно-фасциального аппарата оперированной конечности были наиболее выражены в передней большеберцовой мышце, повреждаемой в процессе опыта в связи с проведением спиц, и максимально проявлялись при повторном проведении спиц, что отражало кооперативный эффект в сосудистой реакции. Главными компонентами ответной реакции на неоднократное проведение спиц являлись увеличение емкости гемомикроциркуляторного русла и ангиогенез.

Динамика остеотропных гормонов и циклических нуклеотидов в сыворотке крови после повторных остеоперфораций указывает на стимуляцию функции эндокринных желез и продукции мессенджеров вегетативной нервной системы. Регуляторное влияние их на регенераторные процессы проявлялось последовательной сменой адренергической фазы на холинергическую, которая завершала метаболическую перестройку организма с перераспределением пластических и энергетических материалов. Длительная гиперпродукция остеотропных гормонов, в том числе соматотропного гормона, обеспечивала активное развитие восстановительных процессов.

Динамика состояния периферического кровообращения у больных с облитерирующим атеросклерозом после выполнения повторных остеоперфораций соответствовала общей картине ранее выявленных при чрескостном остеосинтезе особенностей компенсаторно-приспособительных реакций систем организма, обеспечивающих регенераторные процессы, изменений регионарной гемодинамики в связи с увеличением емкости циркуляторного русла и ускорением кровотока, а также с образованием ангиогенных факторов физической и химической природы, стимулирующих новообразование и структурную перестройку уже существовавшего кровеносного русла [6]. В крупных магистральных артериях изменения гемодинамики практически отсутствовали, что свидетельствует, на наш взгляд, о более высокой степени их поражения атеросклеротическим процессом и об организации на этом уровне системы коллатерального кровотока.

Следует отметить, что после повторных остеоперфораций показатели микроциркуляции и напряжения кислорода в коже стопы почти вдвое превышали их значения после реконструктивных операций [10]. Одновременно с повышением напряжения кислорода кожи стопы мы отмечали снижение напряжения углекислого газа, что может косвенно свидетельствовать об улучшении тканевого дыхания.

Простая и малотравматичная методика позволяла создавать очаги репаративной регенерации и артериальной гиперемии равномерно с вовлечением в зону воздействия проксимальных отделов конечности, где сохранялись условия достаточного кровоснабжения.

ВЫВОДЫ

1. Остеоперфорации конечностей вызывают развитие репаративной реакции в зоне повреждения и сопровождаются компенсаторно-приспособительными изменениями систем организма, регулирующих восстановительные процессы. Увеличение кровенаполнения оперированной конечности происходит за счет расширения всех звеньев циркуляторного русла, раскрытия резервных и формирования новых кровеносных сосудов.

2. Перестройка сосудистого русла стимулируется дополнительным воздействием внутрисосудистых механических факторов (давление, скорость кровотока), сопутствующих изменениям регионарной гемодинамики в связи с увеличением емкости циркуляторного бассейна и ускорением кровотока. Максимальное повышение кровенаполнения конеч-

ности после однократных остеоперфораций отмечается в течение 2 нед. Затем ответная сосудистая реакция на операционную травму подвергается обратному развитию.

3. Повторные остеоперфорации пролонгируют течение восстановительных процессов в конечности и вызывают изменения регионарной гемодинамики. Повышенное кровенаполнение конечности сохраняется более 3 мес.

4. При сохранении функциональных резервов кровеносной системы конечностей у больных с облитерирующим атеросклерозом повторные остеоперфорации являются эффективной методикой компенсации хронической ишемии.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 1061803 СССР, МКИ³, А61 В17/00. Способ лечения хронической ишемии конечности /Г.А. Илизаров, Ф.Н. Зусманович //Бюл. изобрет. — 1983. — N 47.
2. Заявка на изобрет. N 93045689/14, РФ, МКИ5 А61 В17/56. Способ лечения хронической артериальной недостаточности /В.И. Шевцов, А.А. Ларионов //Бюл. изобрет. — 1995. — N 21.
3. Зусманович Ф.Н. Новый метод активизации коллатерального кровообращения — ревазуляризирующая остеотрепанация //Вестн. хир. — 1991. — N 5-6. — С. 114-115.
4. Козлов В.П. Сравнительная оценка результатов изолированных и комбинированных реконструктивных операций и поясничной симпатэктомии при окклюзионных заболеваниях брюшной аорты и артерий нижних конечностей: Дис. ... канд. мед. наук. — М., 1990.
5. Куприянов В.В., Караганов Я.Л., Козлов В.И. Микроциркуляторное русло. — М., 1975.
6. Ларионов А.А. Дистракционный остеосинтез и эволюция костных трансплантатов: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. — Пермь, 1995.
7. Ларионов А.А., Асонова С.Н., Филимонова Г.Н. и др. //Материалы 28-й науч.-практ. конф. — Курган, 1996. — С. 146-148.
8. Ларионов А.А., Щурова Е.Н., Речкин М.Ю. //Гений ортопедии. — 2000. — N 4. — С. 32-35.
9. Оноприенко Г.А. Вазкуляризация костей при переломах и дефектах. — М., 1993.
10. Прохоров Г.Г., Сазонов А.Б., Скородумов Ю.Ф. //Вестн. хир. — 1992. — N 4-6. — С. 78-82.
11. Фишкин В.И., Львов С.Е., Удадьцов В.Е. Региональная гемодинамика при переломах костей. — М., 1981.
12. Фищенко П.Я. Посттравматические нарушения кровообращения в конечностях и их последствия. — Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. — М., 1969.
13. Шевцов В.И., Ларионов А.А., Десятниченко К.С. и др. //Ангиол. и сосуд. хир. — 1995. — N 2. — С. 132.
14. Jankovsky G. //Latv. Zinatnu. Acad. Vestis. — 1992. — N 4. — P. 54.