

COMPARTMENT SYNDROME И КОЛЛАТЕРАЛЬНОЕ КРОВООБРАЩЕНИЕ ПРИ СОЧЕТАННЫХ ОГНЕСТРЕЛЬНЫХ КОСТНО-АРТЕРИАЛЬНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЯХ КОНЕЧНОСТЕЙ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

А.В. Штейнле

Томский военно-медицинский институт
E-mail: steinle@mail.tomsknet.ru

COMPARTMENT SYNDROME AND COLLATERAL CIRCULATION IN ASSOCIATED GUNSHOT BONE-ARTERIAL INJURIES OF EXTREMITIES IN EXPERIMENT

A.V. Shteinle

Tomsk Military Medical Institute

Проанализированы особенности патогенеза и клинических проявлений синдрома внутрифутлярного давления и нарушения коллатерального кровообращения при сочетанных огнестрельных костно-артериальных повреждениях конечностей в эксперименте в условиях оригинальной хирургической тактики.

Ключевые слова: повреждения конечностей, повышение внутрифутлярного давления, коллатеральное кровообращение, ишемия, некроз.

The peculiarities of pathogenesis and clinical manifestations of compartment syndrome and collateral circulation disturbance in associated gunshot bone-arterial injuries of extremities in experiment under the condition of the original surgical approach have been analyzed by the author of the article.

Key words: injuries of extremities, compartment syndrome, collateral circulation, ischemia, necrosis.

Лечение раненых с сочетанными огнестрельными костно-артериальными повреждениями бедра, осложненными футлярным синдромом и нарушениями регионального кровотока в конечности, продолжает оставаться актуальной проблемой для современной хирургии. Актуальность данной проблемы объясняется не только ростом количества таких пострадавших (11–54% среди раненых в конечности) в связи с множественностью и обширностью современных механических, огнестрельных и взрывных травм, но и, как ни странно, с сокращением сроков и улучшением качества оказания им первой медицинской помощи [3, 11–19]. Подобных пострадавших доставляют в операционную в тяжелом и крайне тяжелом состоянии, в большинстве случаев под угрозой оказывается жизнеспособность конечности. Это объясняется выключением кровотока по поврежденной магистральной артерии в условиях сопутствующего массивного повреждения мышц, несущих главные окольные пути, и наличием огнестрельного дефекта кости, усугубляющего тяжесть состояния, что закономерно приводит к тяжелым нарушениям артериального, микроциркуляторного и венозного кровообращения, кислородного и кислотно-основного баланса тканей, к глубоким дистрофическим и некробиотическим изменениям ишемизированных тканей и резкому увеличению количества неблагоприятных исходов. В данном случае степень развития ишемии и скорость ее перехода в необратимую фазу определяется не только фактом повреждения сосуда, но и обширностью разрушения мягких тканей и кости. Этим данный вариант множествен-

ной травмы сосудов принципиально отличается как от изолированной перевязки артериальной магистрали, при которой возникающие изменения легко компенсируемы коллатеральными и обратимы, так и от неосложненного перелома кости сегмента конечности. Ни изолированная травма артерии, ни изолированный перелом сегмента конечности не представляют сегодня проблему для хирургии. Напротив, вышеуказанные отягощающие факторы сочетанных огнестрельных костно-артериальных повреждений конечностей существенно увеличивают количество неблагоприятных исходов. Нет сомнений, что для оптимального протекания раневого процесса требуются значительно более выгодные условия тканевой перфузии и метаболизма. Вероятность развития острого компартмент-синдрома и нарушения коллатерального кровообращения при сочетанных огнестрельных костно-артериальных повреждениях приближается к 100%.

При всей очевидности неблагоприятного течения случаев одновременного огнестрельного повреждения артерий, костей и мягких тканей конечностей специальных комплексных исследований, посвященных изучению данного раздела боевой хирургической патологии с фундаментальных анатомо-физиологических позиций, в литературе нет. В большинстве клинических работ сопоставление фактов повреждения артерии, кости, мягких тканей и величины раневого канала отсутствует, их интегральное взаимодействие не учитывается. Остаются неясными особенности раневого процесса в условиях отключения коллатерального кровообращения. В ряде мор-

фологических исследований отражены некоторые нюансы этой проблемы [2, 4–8]. Однако на основании отдельных, порой односторонних сообщений не представляется возможным объективно оценить всю сложность патологических и приспособительных реакций кровообращения и метаболизма, развивающихся при огнестрельных повреждениях магистральных артерий, сочетающихся с огнестрельными переломами и обширными разрушениями мягких тканей конечностей. Тяжесть клинического течения сочетанных огнестрельных костно-артериальных повреждений конечностей, большое число осложнений, недостаточная ясность механизма возникающих расстройств явились основанием для проведения исследования, которое позволит создать фундаментальную базу для патогенетически обоснованных хирургических мероприятий у раненых с учетом специфики подобной травмы.

Цель исследования: изучить особенности коллатерального кровообращения, состояния тканей и регенераторные возможности раны при сочетанных огнестрельных костно-артериальных повреждениях конечностей в эксперименте.

Материал и методы

Исследование выполнено в соответствии с “Европейской конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей”, согласно “Правилам проведения работ с использованием экспериментальных животных” (приказ МЗ СССР № 755 от 12.08.1987 г.), Федеральному закону о защите животных от жестокого обращения от 01.01.1997 г., а также Директиве 86/609 ЕЭС, основанной на тексте соглашения “Dr. Robert Hubrecht, Current EU Legislation Controlling Animal Experiments”. Материалом явились 36 взрослых беспородных собак с массой тела от 20 до 40 кг и длиной бедра не менее 18 см. Модель сочетанного костно-артериального огнестрельного повреждения бедра получали под наркозом выстрелом в упор из пистолета “Марголин” патронами калибра 5,6 мм со свинцовой экспансивной омедненной пулей “Ковбой 410”. Остановка кровотечения наложением жгута, иммобилизация подручными средствами, асептическая повязка. Через 1–1,5 часа после ранения в условиях некомпенсированной ишемии по В.А. Корнилову [1, 9, 10] выполняли контроль жгута, после чего приступали к первичной хирургической обработке сочетанного огнестрельного костно-артериального повреждения, которая являлась по своей сути первой реконструктивно-восстановительной операцией (Патент РФ на изобретение № 2349282 от 20 марта 2009 г.).

Для характеристики особенностей коллатерального кровообращения, состояния тканей и регенераторных возможностей раны применялись физиологические методы (измерение уровней общего давления и периферического артериального давления, термометрия икроножных мышц, чрескожное измерение парциального давления кислорода в икроножных мышцах, измерение внутрифутлярного давления на бедре), ангиографические и ультразвуковые доплерографические исследования.

Статистическая обработка результатов исследования осуществлялась с применением методов статистического анализа, используемых в биологии и медицине, с помощью пакета прикладных программ STATISTICA 6.0. Нормально распределяемые показатели приведены в их среднем значении со стандартным отклонением: $X \pm u$. Достоверность различий анализировали с помощью непараметрического критерия Фридмана, с расчетом коэффициента конкордации Кендала, при дисперсионном анализе повторных измерений. Для оценки достоверности различий несвязанных выборок применяли критерий Манна–Уитни (U).

Результаты и обсуждение

Огнестрельное костно-артериальное повреждение бедра, последующая остановка кровотечения жгутом и иммобилизация огнестрельного перелома подручными средствами с проведенными через 1,5 ч после ранения мероприятиями контроля жгута приводили, помимо остановки кровотока по бедренной артерии, к выраженным нарушениям периферического кровообращения и ишемическим изменениям в тазовой конечности животного. Отмечались системные изменения гемодинамики и метаболизма тканей. Частота пульса варьировала в пределах 90–148 уд./мин, а частота дыханий – 60–88 в мин, что объясняется различиями в индивидуальной резистентности собак. Пусковым фактором в развитии сложных патологических и приспособительных реакций кровообращения, метаболизма и структурной перестройки в конечности явилось нарушение основных параметров регионарного кровообращения. К моменту окончания проведения комплекса мероприятий по контролю жгута у всех собак регистрировался подъем систолического артериального давления на 40–50 мм рт. ст. по сравнению с исходными данными. Динамика пульсовой величины артериального давления и частоты пульса отреагировала падением пульсового давления и заметным учащением пульса до 90–148 уд./мин и частоты дыхательных движений до 60–88 в мин, что свидетельствовало об увеличении общего сосудистого тонуса даже в условиях наркоза. Артериальное давление ниже уровня повреждения артерии было слишком низким – 10 мм рт.ст., а чаще не определялось. В икроножных мышцах, по данным полярографии, регистрировался практически нулевой уровень PO_2 . Внутрифутлярное давление достигало 42 ± 3 мм рт. ст. Температура кожи ишемизированной голени у животных с массивными разрушениями мышечных тканей на бедре, содержащих коллатерали, снизилась с $30,1 \pm 0,6$ до $25,2 \pm 0,4$ °C. Тепловой спад на коже голени составил в среднем 5,2 °C. На здоровой конечности снижение температуры было меньшим – в среднем на 2 °C. Икроножные мышцы при нарушении артериального притока охлаждались интенсивнее кожи. Если исходная температура составила $32,9 \pm 0,6$ °C, то к моменту наложения сосудистого шва – $26,3 \pm 0,6$ °C, тепловой спад составил в среднем 6,6 °C. В случаях с минимальным разрушением коллатералей в мышечных тканях бедра имело место менее интенсивное снижение температуры в мышцах голени (тепловой спад составил в среднем 3,1 °C) и менее интенсивное на коже голени (тепловой

спад составил в среднем $2,6^{\circ}\text{C}$).

Через 30 мин после окончания мероприятий по контролю жгута и к моменту окончания осуществления иммобилизации огнестрельного перелома бедра методом чрескостного остеосинтеза – первого этапа нашей оперативной техники – тахикардия несколько уменьшилась и составила $82\text{--}134$ мм рт. ст., количество дыхательных движений сократилось до $55\text{--}72$ в мин. Артериальное давление ниже уровня наложения зажима на дистальный конец артерии резко повысилось, но колебалось в широких пределах ($10\text{--}45$ мм рт. ст.) у различных животных. При этом нами была выявлена закономерность – у животных с массивными разрушениями мышц задней поверхности бедра (1-я группа), содержащими многочисленные коллатерали, артериальное давление ниже уровня повреждения – 26 ± 3 мм рт. ст., напряжение кислорода в икроножных мышцах не превышало 5 ± 3 мм рт. ст., внутрифутлярное давление сохранялось высоким – 41 ± 4 мм рт. ст., тепловой спад сохранялся. Напротив, во всех случаях минимального разрушения мышечного массива задних мышц бедра (2-я группа) уровень артериального давления ниже уровня повреждения – 45 ± 3 мм рт. ст., а напряжение кислорода в икроножных мышцах достигало 12 ± 3 мм рт. ст., внутрифутлярное давление – 34 ± 2 мм рт. ст., тепловой спад уменьшался незначительно. Таким образом, в случаях разрушения мышц, несущих основные коллатеральные пути, развивалась более тяжелая артериальная недостаточность по сравнению с опытами, в которых были повреждены менее значимые для развития окольных путей мышечные ткани, напряжение кислорода в ишемизированных тканях целиком и полностью определяется величиной окольного кровообращения и тесно коррелирует с уровнем давления ниже лигатуры.

В 1-е сутки после выполнения разработанной нами операции (чрескостный остеосинтез, сосудистый шов, тотальная фасциотомия) при условии поддержания на должном уровне системного артериального давления на ангиограммах в обеих группах животных определялась проходимость поврежденной бедренной артерии и сужение сосуда в месте сшивания. Допплерографически скорость кровотока в восстановленной артерии увеличивалась почти в три раза и достигала в среднем $148,18\pm 3,63$ см/с (в интактной артерии $57,85\pm 1,65$ см/с). Диаметр просвета анастомоза восстановленной артерии составлял $2,93\pm 0,08$ мм ($p<0,05$), интактной – $3,46\pm 0,06$ мм. Индекс резистентности восстановленной артерии составлял $0,91\pm 0,01$ ($p<0,05$), интактной – $0,82\pm 0,04$. Индекс пульсативности восстановленной артерии достигал $2,98\pm 0,18$ ($p<0,05$), интактной – $4,13\pm 0,45$. Уровень пульсового артериального давления в бедренной артерии в 1-й группе животных составил 24 ± 2 мм рт. ст., напряжение кислорода в икроножных мышцах не превышало 4 ± 1 мм рт. ст., внутрифутлярное давление сохранялось высоким – 38 ± 4 мм рт. ст., тепловой спад сохранялся. Напротив, во 2-й группе экспериментальных животных уровень пульсового артериального давления в бедренной артерии – 50 ± 2 мм рт. ст., а напряжение кислорода в икроножных мышцах достигало 16 ± 4 мм рт. ст., внутрифутлярное давление

– 19 ± 3 мм рт. ст., тепловой спад продолжал уменьшаться. Таким образом, разрушение коллатералей вследствие травмы и повышения внутрифутлярного давления является прогностически неблагоприятным признаком в восстановительном лечении. В данном случае предельно низкий уровень пульсового артериального давления в бедренной артерии в 1-й группе животных, составивший 24 ± 2 мм рт. ст., даже при поддержании на необходимом уровне системного артериального давления ($136\pm 5,3$ мм рт. ст.) и сохранении высокой скорости кровотока, привел в половине случаев к некрозу конечностей у животных и необходимости выполнения ампутаций.

Через 15 суток после операции (5 суток distraction) проходимость артерий в обеих группах сохранялась. Незначительное сужение в зоне анастомоза было в большей степени выражено у оставшихся в эксперименте животных 1-й группы, коллатеральные сосуды в отличие от 2-й группы не визуализировались. В процессе distraction на 15-е сутки наблюдения зона анастомоза не разрушалась. Скорость кровотока в оперированной артерии снижалась по сравнению с 1-ми сутками после операции с $148,18\pm 3,63$ ($p<0,05$) до $98,73\pm 8,58$ см/с. Индекс резистентности оперированной артерии составлял $0,98\pm 0,08$ ($p<0,05$), контрлатеральной – $0,81\pm 0,08$. В области анастомоза определялось незначительное сужение сосуда ($3,14\pm 0,09$ мм, $p<0,05$ против $3,41\pm 0,15$ мм в интактной артерии) и уменьшение индекса пульсативности ($2,39\pm 1,03$, $p<0,05$ против $4,19\pm 0,71$ в интактном сосуде), что расценивалось нами как некоторое снижение его эластических свойств. Уровень пульсового артериального давления в бедренной артерии в 1-й группе животных составил 31 ± 3 мм рт. ст., напряжение кислорода в икроножных мышцах не превышало 8 ± 2 мм рт. ст., внутрифутлярное давление – 16 ± 2 мм рт. ст. Напротив, во 2-й группе экспериментальных животных уровень пульсового артериального давления в бедренной артерии – 62 ± 2 мм рт. ст., а напряжение кислорода в икроножных мышцах достигало 21 ± 2 мм рт. ст., внутрифутлярное давление – 12 ± 1 мм рт. ст. Таким образом, развитие distractionных усилий способствовало в обеих группах уменьшению гофрирования мягких тканей сегмента конечности и, как следствие, улучшению коллатерального кровообращения, снижению внутрифутлярного давления. Независимо от топографии раневого канала, степени раневых инфекционных осложнений, индивидуальных особенностей коллатерального кровообращения максимум патоморфологических нарушений в обеих группах животных, но в большей степени в 1-й группе, всегда развивался в дистальных отделах ран. Ишемия, влияющая на этом уровне в сочетании с травмой, отягощала все фазы раневого процесса, и являлась причиной поздних трофических расстройств. Требования к объему публикации, принципы разумной достаточности и медленная, но явная положительная динамика в 1-й группе экспериментальных животных позволяют автору остановить подробное описание на сроке в 15 суток. В последующем раневой процесс характеризовался более благоприятным течением во 2-й группе животных и более выраженными трофическими расстройствами в 1-й группе.

Заключение

Характер раневого процесса, глубина, обширность циркуляторных нарушений в конечности и возможности компенсации ишемических расстройств при сочетанных огнестрельных костно-артериальных повреждениях с обширным повреждением мышечных тканей, содержащих коллатеральные пути, определяются топографией раневого канала, ориентацией ран к очагу ишемии, индивидуальными особенностями коллатерального кровообращения, степенью инфекционных осложнений в ране и общей реактивностью организма.

Разрушение мышечных массивов конечности, внутриорганные русла которых не принимают участия в общем кровообращении, фатальным отягощающим фактором сочетанного огнестрельного костно-артериального повреждения не является. При своевременном восстановлении кровотока по магистральной артерии, проведении противошоковых мероприятий имеющиеся гемодинамические нарушения компенсируются за счет управляемой активности коллатералей путем восстановления анатомии и функции конечности методом чрескостного остеосинтеза. В случае прямого совпадения локализации огнестрельного раневого канала с топографией основных коллатералей конечности, на протяжении ближайших суток в конечности и организме в целом развиваются выраженные ишемические структурно-функциональные нарушения. Нагноение раны резко угнетает пластические свойства кровеносных сосудов, способствует некрозу тканей, в том числе ишемической гангрене конечностей. Независимо от давности ранения, степени раневых инфекционных осложнений и индивидуальных особенностей максимум патоморфологических нарушений всегда развивается в дистальной части раны ишемизированной конечности. Степень и скорость включения артериальных коллатералей у раненых с сочетанными огнестрельными костно-артериальными повреждениями конечностей оказываются тем выше, чем меньше по объему дефекты артериальной магистрали, окружающих мышечных тканей и длинной трубчатой кости, чем скорее будет восстановлена анатомия (длина) сегмента конечности и чем эффективнее будет устранено повышение внутрифулярного давления. Кроме того, коллатеральное кровообращение активнее там, где кровотечение остановлено не жгутом, а давящей повязкой или зажимом, где эффективнее меры борьбы с централизацией кровообращения и спазмом микроциркуляции.

В хирургической тактике при сочетанных огнестрельных костно-артериальных повреждениях конечностей с массивным повреждением мышечных тканей наряду с восстановлением магистрального кровотока и остеосинтеза возбуждением дистракционного регенерата равноценное значение имеет восстановление коллатерального кровообращения.

Литература

1. Военно-полевая хирургия : учебник / под ред. Е.К. Гуманенко. – СПб. : Фолиант, 2004. – 464 с.

2. Гончарь М.Г. Морфофункциональные изменения в конечности при ранении ее магистральных артерий и их хирургическая коррекция : автореф. дис. ... док. мед. наук. – Киев, 1986. – 38 с.
3. Жигунов А.К. Хирургическое лечение больных с сочетанными сосудисто-костными повреждениями конечностей : автореф. дис. ... док. мед. наук. – Нальчик, 2007. – 24 с.
4. Купчак С.В. Коллатеральное кровообращение грудной конечности при огнестрельном ранении плеча в эксперименте : автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Иваново-Франковск, 1969. – 19 с.
5. Лаббок А.И. Об участии надкостничных артерий и сосудов нервных стволов в околном кровообращении при обширной травме артериальных стволов и мягких тканей // Вопросы морфологии. – Караганда, 1970. – С. 40–41.
6. Мельман Е.П., Фучко В.И. Развитие околных путей кровообращения после огнестрельного ранения бедренной артерии и нервов бедра у собаки // Анатомофизиологические и патоморфологические аспекты микрохирургии и огнестрельной травмы. – Л., 1990. – С. 14–115.
7. Петров А.П. Некоторые данные о потенциальных возможностях коллатерального кровообращения конечностей и о путях его улучшения // Вопросы коллатерального кровообращения в функционально-анатомическом и клиническом освещении. – Иваново-Франковск, 1964. – С. 399–401.
8. Тусбаев Г.Т. Участие каудальных ягодичных артерий в развитии коллатерального кровообращения после множественных резекций артериальных стволов тазовой конечности // Материалы науч. конф. морфологов Казахстана, посвящ. 50-летию Сов. Власти. – Караганда, 1967. – С. 218–220.
9. Указания по военно-полевой хирургии / ЦВМУ. – М. : Б.и., 1988. – 218 с.
10. Указания по военно-полевой хирургии / утвержд. начальником ГВМУ МО РФ. – Изд. 2-е, перераб. – М., 2000. – 416 с.
11. Andrikopoulos V., Antoniou I., Panoussis P. Arterial injuries associated with lower-extremity fractures // *Cardiovasc. Surg.* – 1995. – P. 15–18.
12. Atteberry L.R., Dennis J.W., Russo-Alesi F. et al. Changing patterns of arterial injuries associated with fractures and dislocations // *J. Am. Coll. Surg.* – 1996. – P. 377–383.
13. Brusov P.G., Nikolenko V.K. Experience of treating gunshot wounds of large vessels in Afghanistan // *World. J. Surg.* – 2005. – № 1. – P. 25–29.
14. Clouse W.D., Rasmussen T.E., Peck M.A. et al. In-theater management of vascular injury: 2 years of the Balad Vascular Registry // *J. Am. Coll. Surg.* – 2007. – Vol. 4. – P. 625–632.
15. Clouse W.D., Rasmussen T.E., Perlstein J. et al. Upper extremity vascular injury: a current in-theater wartime report from Operation Iraqi Freedom // *Ann. Vasc. Surg.* – 2006. – Vol. 4. – P. 429–434.
16. Jie Q., Yang L., Zhu Q.S. et al. Orthopedic trauma of limbs associated with vascular injuries // *Chin. J. Traumatol.* – 2007. – P. 371–375.
17. Ketterhagen J.P., Wright O.B. Vascular trauma // *Milit. Med.* – 1987. – Vol. 152, № 1. – P. 2–5.
18. Shah D.M., Corson J.D., Karmody A.M. et al. Optimal management of tibial arterial trauma // *J. Trauma.* – 1988. – Vol. 28, № 2. – P. 228–234.
19. Trooskin S.Z., Sclafani S., Winfield J. et al. The management of vascular injuries of the extremity associated with civilian firearms // *Surg. Gynecol. Obstet.* – 1993. – Vol. 176, № 4. – P. 350–354.

Поступила 08.03.2010