

## **Механизмы и патоморфозы повреждений артерий кисти и предплечья циркулярной пилой**

**В.И. Шевцов, Н.Г. Шихалёва, Н.А. Щудло, М.М. Щудло, И.В. Борисова**

### ***Mechanisms and pathomorphoses of injuries of hand and forearm arteries by a circular saw***

**V.I. Shevtsov, N.G. Shikhaleva, N.A. Chtchoudlo, M.M. Chtchoudlo, I.V. Borisova**

Федеральное государственное учреждение  
«Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г. А. Илизарова Росмедтехнологий», г. Курган  
(генеральный директор — заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РАМН, д.м.н., профессор В.И. Шевцов)

Проведено гистологическое исследование операционного материала от 14 пациентов с травмами предплечья и кисти циркулярной пилой, что позволило уточнить представления о механизмах травмы, феномена «no-reflow», а также определить гистологические корреляты тракционных и отрывных повреждений артерий.

Ключевые слова: травматические ампутации, циркулярная пила, повреждения артерий.

Histological study of operation material from 14 patients with forearm and hand injuries by a circular saw was performed, that made it possible to revise the insight into injury mechanisms, «no-reflow» phenomenon, as well as to determine the histological correlates of artery traction and avulsion injuries.

Keywords: traumatic amputations, circular saw, injuries of arteries.

#### ВВЕДЕНИЕ

Травмы кисти и предплечья относят к числу самых распространённых повреждений человеческого тела. По данным разных авторов, в 30-35 % случаев они вызываются электрическими механизмами [7, 11]. Среди пациентов старше 60 лет доля таких травм достигает 53 % [10]; из них повреждения циркулярной пилой преобладают, составляя 36 %.

Средний возраст пострадавших при травмах циркулярной пилой, по данным разных авторов, варьирует от 25 до 37 лет [5, 11]. Наряду с глубокими ранами и открытыми переломами, эти повреждения нередко приводят к отчленениям пальцев и конечностей.

Несмотря на то, что циркулярная пила – острый предмет, W. Vonte и R. Goldberg (3) отметили, что при случайных ранениях ею происходят не отсечения костей, а оскольчатые переломы. Современные классификации отчленений не предусматривают выделение циркулярной пилы в особый механизм повреждения. Например – классификация M. Langdorf & Z.N. Kazzi (8):

1. Острое отсечение (нож или мясной слайсер).
2. Тупое отсечение (пила, гребной винт).
3. Отсечение с узким сегментом раздавливания (штамповочный пресс).
4. Отсечение и отрыв машиной, которая вызывает частичное отчленение, рефлекторное

отдёргивание конечности и последующий отрыв, завершающий ампутацию.

5. Отрыв (якорной верёвкой или вожжами лошади).

6. Раздавленный отрыв – машиной с вращающимся цилиндром, который раздавливает палец или конечность, а затем отрывает её.

По мнению П.К. Абалмасова (1), при травме циркулярной пилой образуется незначительная зона повреждения тканей, «однако при широком разводе зубьев происходит повреждение тканей на значительном протяжении и сопровождается дефектом мягких тканей и скелета травмированного сегмента». В.Н. Дроботовым (2) в экспериментальном исследовании травм циркулярной пилой выявлено действие термического фактора: температура трупной кости животных повышается от 23 до 50 градусов, но в мягких тканях она достоверно не меняется. По мнению автора, циркулярная пила разрушает мягкие ткани с меньшей кинетической энергией, чем огнестрельный снаряд, что «соответствует феномену бокового удара».

Таким образом, анализ литературы свидетельствует, что, несмотря на высокую частоту травм циркулярной пилой, механизмы этих повреждений исследованы недостаточно. Изучение их необходимо для определения индивиду-

альной тактики лечения и особенно важно при тяжёлой травме.

Возможность выполнения органосохраняющих операций при любых отчленениях определяется прежде всего наличием пригодных для анастомозирования артерий и вен. При визуальной оценке состояния травмированных сосудов микрохирургии разных стран описали специфические внешние признаки повреждения артерий, свидетельствующие о тракционном и отрывном механизмах травмы – терминальный тромбоз, «телескоп», «паутина» [6]; о растяжении и торсии – «лента» [6, 8]. Ещё один неблагоприятный признак – «красная линия» – трактуется как результат кровоизлияний

из ветвей осевых артерий при отрывном отчленении с большой срезающей силой [4], которая вызывает повреждение интимы на много дистальнее разрыва. Авторы справедливо предполагают, что повреждение сосудов происходит не только в зоне видимых разрушений. Однако сведения о гистологических исследованиях артерий и вен при разных видах отчленений, в том числе циркулярной пилой, в доступной литературе отсутствуют.

**Цель исследования** – изучение патоморфозов и механизмов повреждений сосудов при случайных ранениях кисти и предплечья циркулярной пилой.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проанализирован биопсийный материал от 14 больных, оперированных в сроки от 2 часов до 3 суток после травмы. Отчленённые и не подлежащие реплантации фрагменты пальцев, кусочки тканей, полученные при первичной хирургической обработке ран кисти и предплечья, фиксировали в течение 3-5 дней в нейтральном формалине либо в смеси параформ- и глутарового альдегидов с добавлением пикриновой кислоты, после чего по стандартным методикам заливали в парафин либо в эпоксидные смолы. Полученные блоки разлагали на продольные и поперечные срезы (парафиновые гистотопографические толщиной 10 мкм, парафиновые толщиной 5-7 мкм, эпоксидные полутонкие – 0,5-1 мкм). Срезы окрашивали гематоксилином–эозином и метиленовым синим–

основным фуксином по Уикли [3].

При исследовании срезов применяли обычную световую и цифровую микроскопию, а также модифицированную телемедицинскую технологию «электронного гистологического стекла» [9]. Для создания цифровых изображений использовали профессиональный сканер со слайд-приставкой, лупу и большой исследовательский фотомикроскоп “Ortop” (Германия), цифровую камеру и аппаратно-программный комплекс “DiaMorph” (Москва). При микроскопии срезов каждого кусочка оцифровывали полное изображение наиболее репрезентативного среза, после чего формировали серии изображений полей зрения этого среза на разных (от 30 до 1250×х) увеличениях.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ

При отчленениях пальцев и глубоких ранениях предплечья анатомический перерыв сосудисто-нервных пучков, как правило, характеризуется тем, что одна из культей артерии оказывается вытянутой и выдернутой из окружающих тканей, а другая подвергается сильной ретракции.

При макро-микроскопическом исследовании выявлены протяжённые (от 2 до 15 см) разноуровневые зоны повреждений мягких тканей с явлениями кавитации тканевого детрита и резко выраженными изменениями сосудистого русла. Характерны тромбозы и спазмы артерий (рис. 1 слева) и артериол, полное запустевание капилляров и вен в сочетании с эритроцитарным стазом в артериях, диссеминированными экстравазатами эритроцитов и лейкоцитов. Признаки повреждений сосудистой стенки включали отёк и денудацию эндотелия, мукоидное набухание и круглоклеточную инфильтрацию, рексис и пикноз ядер эндотелиоцитов и гладких миоцитов, разрывы эластических мембран. В местах надразов и разрывов сосудов располагались обширные внутритканевые кровоизлияния. Часто встречались профили сосудов с полной дезинте-

грацией клеточных и волокнистых элементов стенки и облитерацией просвета, что в большей мере было характерно для вен.

При анатомических перерывах осевых артерий пальцев, кисти и предплечья осмотр их концов под операционным микроскопом позволяет выявить многоуровневые порезы, надрывы и разможжения сосудистой стенки. При гистологическом исследовании артерий в зоне повреждения типичны множественные разрывы внутренней эластической мембраны, которые сопровождаются отслоением эндотелиальной выстилки, острым некрозом эндотелиальных и гладкомышечных клеток, набуханием и лизисом коллагеновых и эластических волокон. Отступив на 0,5-3,0 см от места макроскопически видимого повреждения, можно выявить микроскопические дефекты интимы и внутренней эластической мембраны при относительно сохранной мышечной оболочке и адвентиции.

Все известные специфические признаки тракционных и отрывных повреждений на протяжении также выявлены в исследованном материале.

В частности, типичным признаком перерастяжения артерии является расслоение её стенки с выпячиванием внутренних слоёв тромбированной культи – «телескоп» и «паутина», описанные G.G. Gallico (6). В гистологических срезах обтурирующий тромб выявляется на значительном протяжении от уровня повреждения (иногда до 3 см и более). В стенке выпятившейся культи едва различимы остатки внутренней эластической мембраны, интима и прилежащие обрывки внутренних слоёв медики также утрачивают своё характерное строение, обрывки наружных слоёв медики и адвентиции имеют вид крупноячеистой сети (рис. 1, справа). При большом увеличении микроскопа среди разволокнённых обрывков адвентиции видны точечные кровоизлияния.

По-видимому, контакт артерии с вращающимся диском пилы вызывает не только её тупое рассечение, но также перерастяжение и торсию. Культи таких артерий лишены тургора и поэтому внешне действительно напоминают ленты [6]. В микроскопических препаратах на-

ряду с дезинтеграцией структур сосудистой стенки (рис. 2) обнаруживается характерный широко известный в гистологии «краш-артефакт» – раздавленные участки ткани утрачивают свойство окрашиваться гистологическими красителями.

«Красная линия» обычно трактуется как результат разрывов сосудов и кровоизлияний в клетчатку пальцев и кисти. Представляется более вероятным, что вид «красных линий» под операционным микроскопом имеют артерии малого калибра с некротизированной стенкой и эритроцитарным стазом в просвете (рис. 3).

Вне зоны видимых разрушений обнаруживаются реакции клеток на повреждение и изменения внеклеточного матрикса в органах артериях малого калибра – в подкожной клетчатке, брыжейках сухожилий, оболочках нервов. Они включают помимо дистрофии массовые явления клеточной смерти – некроз и апоптоз. Участки с изменениями такого рода в исследованном материале имели протяжённость от 0,5 до 3 см.

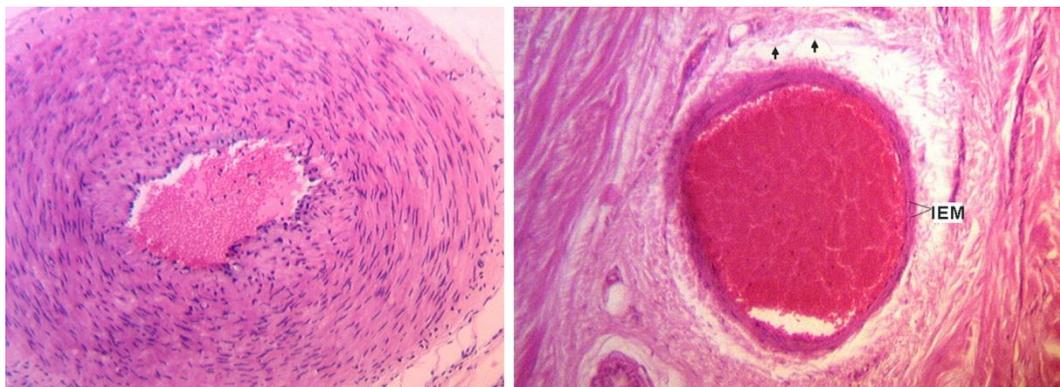


Рис. 1. Поперечные срезы пальцевых артерий при ампутации пальцев циркулярной пилой. Парафин; окраска: гематоксилин-эозин. Слева - спазм и обтурирующий тромбоз. Ув. 200×. Справа – тромбоз и разрывное расслоение стенки артерии при тракционном повреждении: IEM – остатки внутренней эластической мембраны; стрелки – «паутина» (пояснение в тексте). Ув. 80×

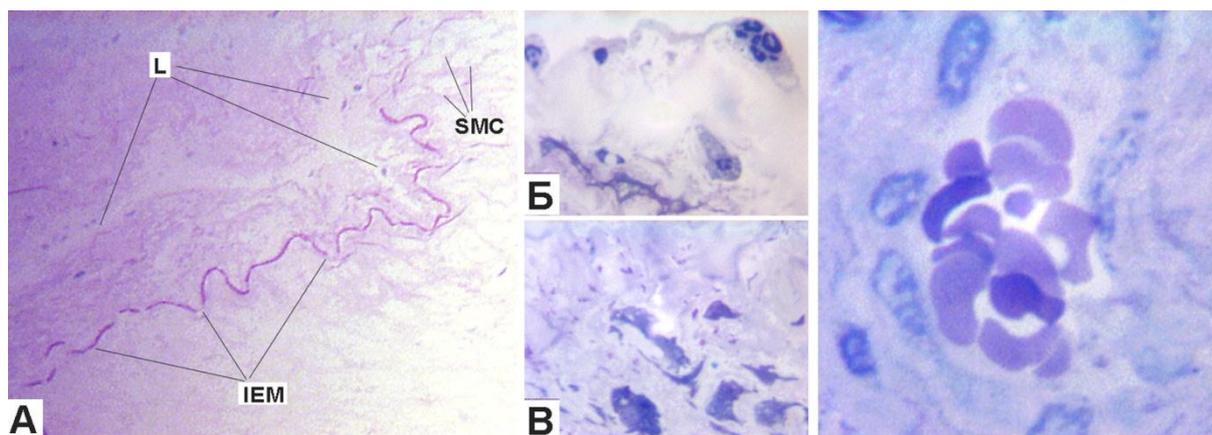


Рис. 2. Фрагменты полутонкого среза размозжённой пальцевой артерии в 2 см от уровня отчленения. Окраска по Уикли. А – увеличение 500х: L – щелевидный деформированный просвет артерии, IEM – остатки фуксинофильной внутренней эластической мембраны, SMC – неокрашенные тени гладкомышечных клеток. Б и В – увеличение 1250х. Б – погибающие клетки интимы; В – глыбки эластина и единичные тёмные гладкие миоциты в медики

Рис. 3. Ветвь пальцевой артерии, показанной на рис. 2. «Красная линия» в полутонком поперечном срезе (пояснение в тексте). Окраска по Уикли. Увеличение 1250×

Следует отметить, что явления массового некроза и апоптоза клеток микрососудов обнаружены в тканях отчленённых пальцев на фоне сохранности теноцитов, эпидермоцитов и даже осевых цилиндров и миелиновых оболочек нервных волокон. По-видимому, быстрая смерть клеток микрососудов – одна из главных, но ранее не обсуждавшихся причин известного феномена «no-reflow» – безуспешной реплантации при корректно выполненных сосудистых анастомозах [12].

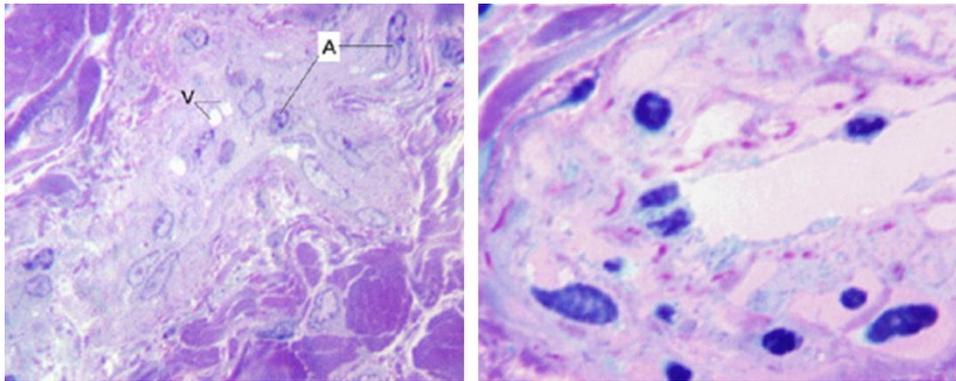


Рис. 4. Полутопкие срезы тканей отчленённого пальца, помещённых в альдегидный коктейль через 6 часов после травмы. 3 см от уровня отчленения. Слева – мышечная оболочка артерии подкожной клетчатки в косопродольном срезе; реактивно-деструктивные изменения: V – вакуоли – признак баллонной дистрофии миоцитов; A – апоптозные ядра с субкариолемальными конденсатами хроматина. Справа – фрагмент поперечного среза артерии эпинеерия пальцевого нерва: внутриклеточный отёк, карпиопикноз и карпирексис, набухание межклеточного матрикса в интимае и меди. Окраска по Уикли. Увеличение 1250×

Таким образом, результаты проведённых исследований показали, что при случайных ранениях циркулярной пилой даже частичное отчленение не сводится к тупому отсечению, поскольку анатомические перерывы артерий часто имеют характерные признаки тракционных и торсионных повреждений. Полная травматическая ампутация циркулярной пилой с высокой долей вероятности может включать отрывной компонент и соответствовать отчленению четвёртого типа по классификации M. Langdorf & Z.N. Kazzi (8).

## ВЫВОДЫ

1. Гистологическое исследование операционного материала в парафиновых и заклочённых в эпоксидные смолы полутопких срезах позволило уточнить представления о механизмах и патоморфозах повреждений сосудов при травмах циркулярной пилой.

2. Кроме многоуровневых тупых рассечений, тракционных перерастяжений и отрывов артерий на расстоянии от 0,5 до нескольких сантиметров от видимых повреждений формируется зона контузии и молекулярного сотрясения, в которой в условиях аноксии в течение нескольких часов после травмы развиваются необратимые деструктивные изменения микрососудов, диктующие необходимость экстренного выполнения рева-

скуляризирующей операции и реплантации.

3. Лечение повреждений циркулярной пилой должно проводиться в специализированных отделениях и центрах хирургии кисти, поскольку уже при первичной хирургической обработке следует считать обязательным применение оптического увеличения, позволяющего полноценно провести ревизию ран и уточнить степень и механизм повреждения сосудисто-нервных пучков.

4. Органосохраняющие операции при повреждениях циркулярной пилой должны быть поддержаны экстренной интенсивной терапией, направленной на компенсацию аноксии, стимуляцию ангио- и артериогенеза.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абалмасов, П. К. Первичное замещение дефектов тканей верхних конечностей васкуляризованными аутотрансплантатам : автореф. дис... канд. мед. наук / П. К. Абалмасов. – М., 2007. – 27 с.
2. Дроботов, В. Н. Местное лечение ран дистальных сегментов конечности с помощью перфторана (экспериментальное исследование) / В. Н. Дроботов // Сибир. мед. журн. - 2006. – Т. 21, № 4. – С. 54-58.
3. Уикли, Б. Электронная микроскопия для начинающих / Б. Уикли. – М. : Мир, 1975. – 300 с.
4. Bonte, W. Accidental circular saw injuries / W. Bonte, R. Goldberg // Z. Rechtsmed. - 1982. – Bd. 89, H. 3. - S.173-180.
5. Fingertip replantation : determinants of survival / J. Li [et al.] // Plast. Reconstr. Surg. - 2008. - Vol. 122, No 3. - P. 833-839.
6. Hand trauma from table saw : best prevention / T. Fikry [et al.] // Chir. Main. - 2004. – Vol. 23, No 2. - P. 96-99.
7. Gallico, G. G. Replantation and revascularization of upper extremity / G. G. Gallico // Plastic Surgery / ed. by J. G. McCarthy. - Philadelphia : W. B. Saunders, 1990. – Vol. 7. - P. 4355-4383.
8. Recent changes in the pattern of hand injuries in Hong Kong : a regional hospital survey / L. K. Hung [et al.] // Hong Kong Med. J. - 1997. – Vol. 3, No 2. - P. 141-148.
9. Langdorf, M. Replantation / M. Langdorf, Z. N. Kazzi // URL: www.emedicine.com/emerg/topic502.htm (Updated: Sep 4, 2007).

10. Szymas, J. Telepathology, an innovative tool for versatile education and training in diagnostic pathology / J. Szymas // *Electronic J. Pathol. Histol.* - 2002-2003. - Vol. 8, No 1-4. - P. 7.
11. Trybus, M. Hand injuries in elderly patients / M. Trybus, P. Guzik, J. Lorkowsky // *Przegl. Lek.* - 2004. - Vol. 61, No 12. – P. 1356-1359.
12. Causes and consequences of hand injuries / M. Trybus [et al.] // *Am. J. Surg.* - 2006. - Vol. 192, No 1. - P. 52-57.
13. Zdeblick, T. A. An ischemia-induced model of revascularization failure of replanted limbs / T. A. Zdeblick, J. W. Shaffer, G. A. Field // *J. Hand Surg.* - 1985. - Vol. 10-A, No 1. – P. 125-131.

Рукопись поступила 20.04.09.

#### Сведения об авторах:

1. Шихалева Наталья Геннадьевна – старший научный сотрудник лаборатории новых технологий в ортопедии ФГУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова», к.м.н.
2. Щудло Наталья Анатольевна – ведущий научный сотрудник лаборатории новых технологий в ортопедии ФГУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова», д.м.н.
3. Щудло Михаил Моисеевич – ведущий научный сотрудник научно-медицинского отдела восстановительного лечения, д.м.н.
4. Борисова Ирина – научный сотрудник лаборатории новых технологий в ортопедии ФГУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова», к.б.н.

## Предлагаем вашему вниманию



**А.П. Шейн, М.С. Сайфутдинов, Г.А. Криворучко**

### **ЛОКАЛЬНЫЕ И СИСТЕМНЫЕ РЕАКЦИИ СЕНСОМОТОРНЫХ СТРУКТУР НА УДЛИНЕНИЕ И ИШЕМИЮ КОНЕЧНОСТЕЙ**

Курган : ДАММИ, 2006. – 284 с.

*Книга вышла при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), проект № 06-04-62019.*

В книге отражены результаты многоплановых нейрофизиологических исследований реактивности и адаптации нервов и мышц при удлинении конечностей методом дистракционного остеосинтеза по Илизарову, а также анализа характеристик вызванной биоэлектрической активности соматосенсорной коры головного мозга и локальных изометрических моторных тестов, построенных на принципах непрерывного и дискретного зрительно-моторного слежения. Сформулированы и обоснованы концептуальные представления о развитии и фиксации парциальных нарушений в системе взаимодействия периферических сенсомоторных структур с системой "схема тела". Проанализированы механизмы формирования постдистракционной сенсомоторной недостаточности, связанной с глубокими перестройками в периферической части двигательных единиц, т.е. возникновением и развитием несоответствия генетически предопределенных и сформированных в онтогенезе центральных моторных программ исполнительным возможностям эффекторов, а также формирования дефицита адекватного сенсорного обеспечения движений с участием удлинённой конечности. Предложены методы диагностики и коррекции постдистракционных двигательных расстройств, основанные на технологиях электромиографии, регистрации и анализа вызванной биоэлектрической активности соматосенсорной коры головного мозга, электромиостимуляции, функционального биоуправления и гипербарической оксигенации.

Книга рассчитана на нейрофизиологов, психофизиологов, ортопедов-травматологов, невропатологов, реабилитологов.