

**Особенности стереоультраструктуры
волокнуистой стромы эпи- и периневрия в нервах голени
при ее удлинении в эксперименте**

Ю.М. Ирьянов, А.В. Попков, С.А. Ерофеев, Д.А. Попков

***Characteristic features of stereoultrastructure of fibrillar stroma of
epi- and perineurium in the nerves of the leg in the process of its
experimental lengthening***

Y.M. Irianov, A.V. Popkov, S.A. Yerofeyev, D.A. Popkov

Государственное учреждение науки

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

Проведенные исследования позволили впервые выявить конкретный гистофизиологический механизм, обеспечивающий эластичность не только нервов в целом, но и входящих в их состав отдельных пучков нервных волокон. Установлено, что при удлинении конечностей по Илизарову эпи- периневральные оболочки подобно сегментам телескопической антенны способны скользить и выдвигаться друг относительно друга под воздействием растягивающих усилий, что способствует сохранению их анатомической целостности.

Ключевые слова: дистракционный остеосинтез, удлинение конечностей, нервы, ультраструктура.

The studies made gave the possibility for the first time to reveal a specific histophysiological mechanism, providing elasticity of not only nerves in general, but elasticity of some individual bundles of nervous fibers as a part of them as well. It is established, that during limb lengthening according to Ilizarov epi- and perineural membranes like segments of telescopic aerial are able to slide and move forward with respect to each other under the influence of tension forces, that contributes to maintenance of their anatomical integrity.

Keywords: distraction osteosynthesis, limb lengthening, nerves, ultrastructure.

При различных травмах конечностей (переломах костей, вывихах и др.) повреждения нервов происходят чаще всего по тракционному типу. В частности, установлено, что при переломах в области дистальных метаэпифизов плечевой и бедренной костей наблюдается сдавление и значительное растяжение сосудов и нервов [1]. Ряд авторов считает, что травма нервов в результате ушиба или длительного сильного сдавления без сопровождающего момента тракции вообще наблюдается сравнительно редко [2]. Однако тракция нервного ствола при травме происходит за очень короткое время, практически одномоментно. Совсем другой механизм тракции во время хронического растяжения — при дозированном удлинении конечности в течение нескольких недель или месяцев.

Известно, что нервы обладают значительной прочностью и эластичностью и могут быть растянуты до определенной степени без появления каких-либо повреждений [3]. В 50-60-х годах XX столетия использовалась методика удлинения бедра растяжением костных фрагментов на 3-4 см на операционном столе и замещение дефекта кос-

ти костным трансплантатом, взятым со здорового бедра [4]. Причем парезы и параличи наблюдались не более чем в 30 % случаев. В настоящее время широко используются методики удлинения конечностей по Илизарову, при этом практически не наблюдаются осложнения со стороны нервной системы [5]. Вместе с тем конкретные гистофизиологические механизмы, обеспечивающие эластичность не только нервов в целом, но и отдельных его структурных компонентов, а также возможность увеличения продольных размеров нервных волокон при дистракционном остеосинтезе, исследованы недостаточно. Решение этих вопросов имеет принципиальное значение для понимания медико-биологической сущности влияния дистракции на структурно-функциональное состояние нервно-мышечного аппарата и для формирования адекватной биомеханической модели поведения периферического нерва.

Цель работы - выявить и изучить стереоультраструктурные особенности волокнуистого каркаса эпи- и периневрия в нервах голени, обеспечивающие их эластичность и возможность удлинения нервов при дистракционном остеосинтезе.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

8 взрослым собакам удлинляли голень по Илизарову. Дистракцию начинали через 5 суток после закрытой флекссионной остеоклазии в средней трети диафиза берцовых костей и осуществляли с темпом 1 мм в сутки (4 раза в день по 0,25 мм за один прием) на протяжении 35 суток. Величина удлинения голени составила к концу периода дистракции $17,69 \pm 0,28\%$ от первоначальной длины голени. Большеберцовые нервы удлинненных и

неоперированных конечностей фиксировали в 2% растворе параформальдегида и глутарового альдегида, 1% растворе четырехоксида осмия и заключали в аралдит. Поверхности блоков с продольным и поперечным расположением нервов после дозированного удаления заливочной среды напыляли сплавом платины и палладия в ионном напылителе и исследовали при помощи сканирующего электронного микроскопа "JSM-840".

РЕЗУЛЬТАТЫ

В эпиневррии большеберцовых нервов неоперированных конечностей пучки коллагеновых волокон толщиной 10-12 мкм располагаются преимущественно в косо-продольном направлении и объединены друг с другом системой циркулярных тонких коллагеновых волокон, располагающихся одиночно или небольшими пучками толщиной 0,8-1 мкм., при этом отдельные коллагеновые волокна свободно переходят из одного пучка в другой (рис. 1). Наблюдается значительная извилистость коллагеновых структур на всех уровнях организации: пучков, входящих в их состав отдельных коллагеновых волокон и фибрилл.

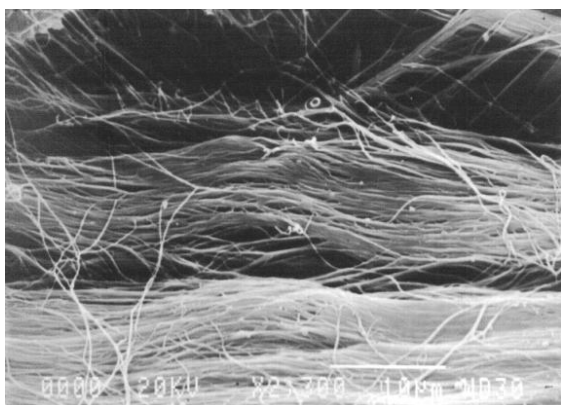


Рис. 1. Эпиневррий большеберцового нерва неоперированной конечности. Пучки коллагеновых волокон имеют уплотненную форму, ориентированы продольно и связаны между собой системой тонких связочных волокон, которые фиксируют их пространственное расположение. Связочные волокна разветвляются в местах контакта с пучками. Часть коллагеновых волокон в пучках, не разветвляясь, выходит в межпучковое пространство и, переплетаясь с волокнами рядом расположенных пучков, переходит из одного пучка в другой. Коллагеновые волокна в пучках и сами пучки имеют выраженную извилистость. Электронная сканограмма. Увеличение 1500.

Стереультраструктура волокнистого каркаса эпиневррия в большеберцовых нервах оперированных конечностей через 35 суток дистракции характеризуется наличием циркулярно ориентированных пучков коллагеновых волокон, которые располагаются на значительно большем расстоянии друг от друга, чем на неоперированной конечности, и разделены широкими промежутками аморфного межклеточного вещества (рис. 2, 3). Они выпрямлены,

извилистое волнообразное расположение их исчезает. Некоторые из них приобретают спиралевидную форму за счет переплетения входящих в их состав тонких коллагеновых волокон.

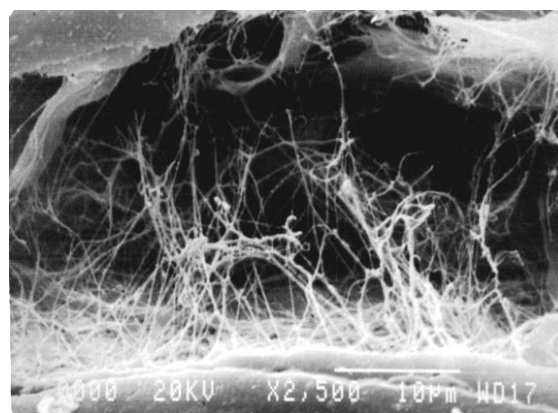


Рис. 2. Стереультраструктура волокнистой стромы на наружной поверхности перинеуральных клеток в большеберцовом нерве удлинненной голени через 35 суток дистракции. Перинеуральные клетки располагаются плотными слоями (в нижней части рисунка). На наружной поверхности перинеуральных клеток локализованы пучки коллагеновых волокон, ориентированные в двух взаимно перпендикулярных направлениях - продольно и циркулярно. Электронная сканограмма. Увеличение 1600.

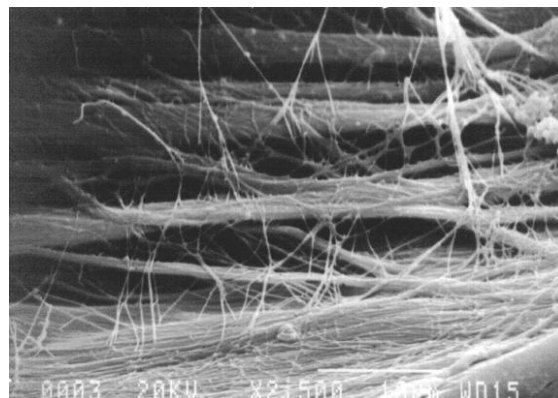


Рис. 3. Эпиневррий большеберцового нерва удлинненной голени через 35 суток дистракции. Продольно ориентированные грубые пучки спирально переплетенных коллагеновых волокон разделены широкими межпучковыми пространствами, в которых располагаются многочисленные разветвленные связочные волокна. Электронная сканограмма. Увеличение 1900.

Во внутренней зоне эпиневрия появляются плотные пучки циркулярно ориентированных коллагеновых волокон, которые располагаются вплотную друг к другу на поверхности локализованных здесь плоских мембраноподобных структур (рис. 4). В наружной зоне эпиневрия выявляются грубые продольно ориентированные пучки спирально переплетенных коллагеновых волокон, разделенных широкими межпучковыми пространствами, в которых располагаются многочисленные разветвленные связочные коллагеновые волокна, жировые клетки, кровеносные и лимфатические сосуды (рис. 4).

Периневрй в большеберцовых нервах неоперированных конечностей собак образован 4-5 пластами уплотненных клеток, которые располагаются концентрическими слоями вокруг пучков нервных волокон. В нем отчетливо различаются две зоны: внутренняя, примыкающая к нервным волокнам и состоящая из 2-3 слоев плотно расположенных клеток, и наружная, образованная 1-2 слоями более рыхло расположенных клеток, окруженных сетью хаотично переплетенных тонких коллагеновых волокон.

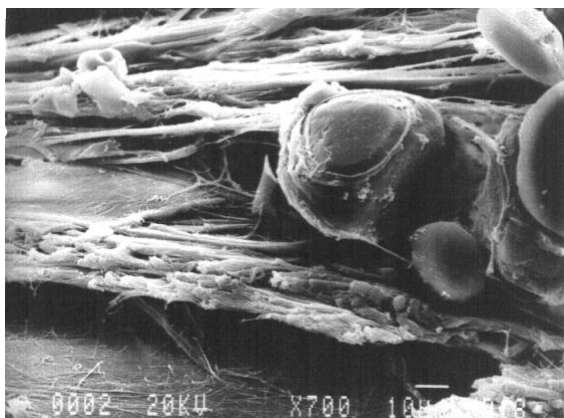


Рис. 4. Эпиневральная оболочка в большеберцовом нерве удлинненной голени через 35 суток дистракции. На наружной поверхности эпиневрия располагаются крупные, округлой формы, жировые клетки, кровеносные сосуды и продольно ориентированные пучки коллагеновых волокон. Во внутренней зоне эпиневрия сформирован слой циркулярно ориентированных пучков коллагеновых волокон. В эпипериневральной прослойке (в нижней части рисунка) располагаются одиночные пучки коллагеновых волокон, ориентированные в косо-поперечном направлении и связывающие внутреннюю поверхность эпиневрия с периневрием. Электронная сканограмма. Увеличение 400.

В нервах удлинняемой голени в наружной зоне периневрия формируется коллагенэластический каркас (рис. 5), состоящий из двух концентрических мембран, образованных комплексом

эластических волокон, имеющих форму дугообразных, черепицеподобных уплощенных пластин, соединенных друг с другом коллагеновыми волокнами и фибриллами и ориентированными под углом 70-80 градусов к длинной оси нерва, что указывает на их спиралевидный ход.

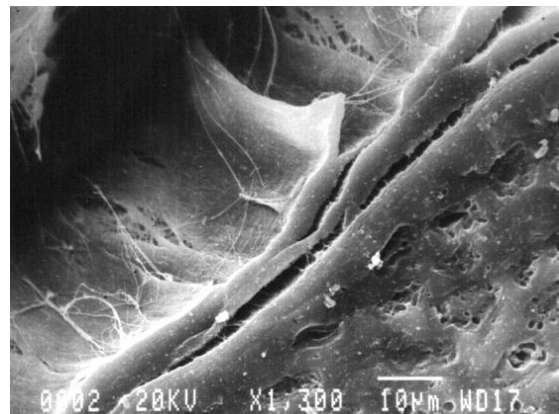


Рис. 5. Стереомикроструктура фрагмента пучка нервных волокон на поперечном срезе большеберцового нерва через 35 суток дистракции. Периневрй (по диагонали рисунка) состоит из внутреннего слоя компактно расположенных перинеуральных клеток и более рыхлого наружного слоя. В последнем сформирован коллагенэластический каркас, образованный уплощенными черепицеподобными эластическими волокнами, связанными друг с другом тонкими коллагеновыми волокнами и ориентированными в косо-продольном направлении, закрученными по спирали вокруг пучка нервных волокон. Электронная сканограмма. Увеличение 800.

На поверхности наружной базальной мембраны перинеуральных клеток коллагеновые волокна приобретают характерное расположение, ориентируясь в двух взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 6), при этом на продольно ориентированные коллагеновые волокна наслаиваются коллагеновые волокна с циркулярной ориентацией. Эпипериневральная прослойка в нервах удлинняемой голени представлена рыхлой волокнистой тканью, фибриллярные структуры в ней немногочисленны и располагаются в косо-поперечном направлении (рис 7). Хорошо заметно, что эпиневральная оболочка играет роль своеобразного футляра, обеспечивающего возможность скольжения в нем периневрия вместе с пучком нервных волокон. Слои периневрия также обладают возможностью скольжения друг относительно друга, но, как видно из рисунка 7, в значительно меньшей степени.

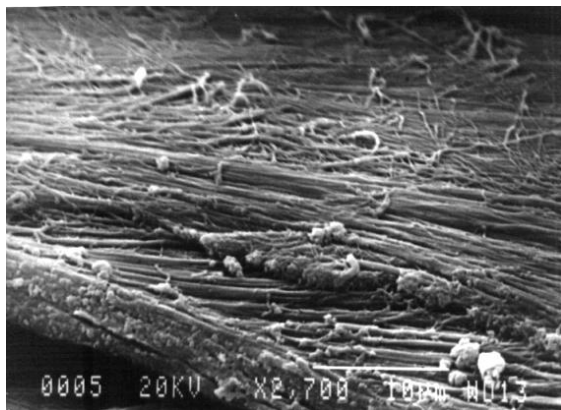


Рис. 6. Стереультраструктура волокнистой стромы на наружной поверхности периневральных клеток в большеберцовом нерве удлиненной голени через 35 суток дистракции. Периневральные клетки располагаются плотными слоями (в нижнем левом углу рисунка). На наружной поверхности периневральных клеток локализуются пучки коллагеновых волокон, ориентированные в двух взаимно перпендикулярных направлениях – продольно и циркулярно. Электронная сканограмма. Увеличение 1700.

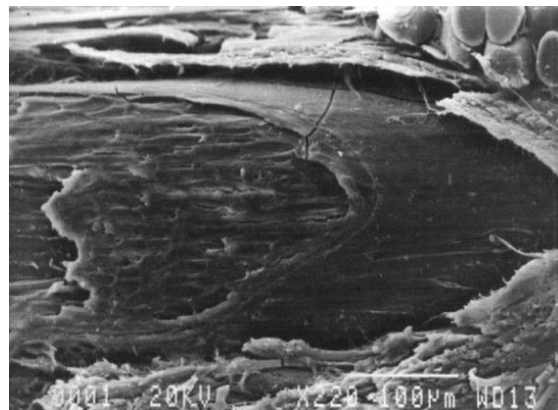


Рис. 7. Стереультраструктура эпи- периневральной оболочек и прослойки между ними вокруг пучка нервных волокон в большеберцовом нерве (косо-продольный срез) удлиненной голени через 35 суток дистракции. В наружных участках эпинеурия (в верхнем правом углу рисунка) видны жировые клетки. Внутренний слой эпинеурия образован мембраноподобными структурами и пучками коллагеновых волокон с продольной и циркулярной ориентацией. От наружной мембраны периневрия они отделены структурными компонентами прослойки рыхлой соединительной ткани. Электронная сканограмма. Увеличение 150.

ОБСУЖДЕНИЕ

Было показано [1], что нарушений анатомической целостности нервов в силу значительной эластичности их компонентов не происходит даже при одномоментном растяжении до 25-30% исходной длины. Полный анатомический перерыв всего нервного ствола наблюдается лишь при одномоментном растяжении конечностей на 35-38%. Разрывы пучков и нервных волокон происходят при растяжении на 25-30%, а разрывы небольшого числа тонких нервных волокон отмечаются при растяжении до 20%. При растяжении до 10% каких-либо морфологических изменений в нервах не было выявлено.

Вместе с тем, было установлено [1], что одномоментное растяжение на 25-30% сопровождается длительной, стойкой потерей проводимости, разрывом кровеносных сосудов, нервов, появлением субэпинеуральных и внутристволовых кровоизлияний. Через 2-3 месяца наблюдается разрастание соединительнотканых элементов, образование внутристволовой невromы, четкообразные вздутия аксонов и валлеровское перерождение. Дегенерировали и участки синапсов. В межпозвоночных узлах 30-35% клеток погибало, а в передних и задних рогах спинного мозга погибало 25% клеток. При одномоментном растяжении до 20% проводимость полностью нарушалась на 10-15 мин., а затем восстанавливалась, однако порог возбудимости при этом возрастал почти в 10 раз. Изменения сохранялись на протяжении 1,5-2 месяцев. При

одномоментном растяжении до 10% исходной длины несмотря на отсутствие макро- и микроизменений проводимость полностью нарушалась на 4-5 мин., а затем постепенно восстанавливалась.

При электрофизиологических исследованиях нервов в условиях дистракционного остеосинтеза [6] установлено, что пределы растяжения магистральных участков нервных стволов без появления выраженных реактивно-репаративных ответов составляют 20-30% от исходной длины удлиняемого сегмента конечности.

Устойчивость нервных волокон к растяжению объясняется тремя факторами: наличием анатомического запаса длины нервов, извилистостью волокон и их поверхностных мембран, а также способностью нервов к продольному смещению в тканевых ложах [3, 4].

Проведенные нами исследования позволили впервые выявить конкретный гистофизиологический механизм, обеспечивающий эластичность не только нервов в целом, но и эластичность входящих в их состав отдельных пучков нервных волокон. Установлено, что при удлинении конечностей по Илизарову эпи- периневральные оболочки подобно сегментам телескопической антенны способны скользить и выдвигаться друг относительно друга под воздействием растягивающих усилий, что способствует сохранению их анатомической целостности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попович М.И. Морфофункциональные изменения элементов сосудисто-нервного пучка при дисторсионной травме. //Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. - 1986. - №9. - С.39-45.
2. Григорович К.А. Хирургическое лечение повреждений нервов. - Л.: Медицина, 1981. - 310 с.
3. Хэм А., Кормак Д. Гистология. Т. 3. - М.: Мир, 1983. - 292 с.
4. Exner G. Beinlangendifferenzen // Dtsch. Arztblatt. - 1977. - Bd. 36. - S. 2171 - 2175.
5. Шевцов В.И., Попков А.В. Оперативное удлинение нижних конечностей. - М.: Медицина, 1998. - 190 с.
6. Шейн А.П. Механизмы дезинтеграции в системе "сенсомоторный аппарат - схема тела" периферического генеза на модели удлинения конечностей // Гений ортопедии. - 1998. - №4. - С.65-71.

Рукопись поступила 27.07.00.

Предлагаем вашему вниманию

**ПСЕВДОАРТРОЗЫ,
ДЕФЕКТЫ
ДЛИННЫХ КОСТЕЙ
ВЕРХНЕЙ
КОНЕЧНОСТИ
И КОНТРАКТУРЫ
ЛОКТЕВОГО СУСТАВА**

базовые технологии лечения аппаратом Илизарова

**В. И. Шевцов
В. Д. Макушин
Л. М. Куфтырев
Ю. П. Солдатов**

В.И. Шевцов, В.Д. Макушин, Л.М. Куфтырев, Ю.П. Солдатов

**ПСЕВДОАРТРОЗЫ, ДЕФЕКТЫ ДЛИННЫХ КОСТЕЙ
ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ И КОНТРАКТУРЫ ЛОКТЕВОГО СУСТАВА**

(БАЗОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛЕЧЕНИЯ АППАРАТОМ ИЛИЗАРОВА)

Курган, Зауралье, 2001. – 406 с. ISBN 5-8.7247-072-X

В книге обобщен опыт лечения больных с псевдоартрозами, дефектами длинных костей верхней конечности и контрактурами локтевого сустава. Приводятся рациональные компоновки аппарата Илизарова при различных анатомо-функциональных нарушениях. Представлены приемы расчета величины дефекта кости и классификации патологии.

Описываются не имеющие аналогов в практике ортопедии тактико-технологические варианты реконструкции костей верхней конечности. Приведенные сведения помогут ортопеду в выработке альтернативных решений анатомо-функциональной реабилитации больных. Анализ возможных технических ошибок и лечебных осложнений имеет большое значение для практикующего врача.

Приведенные результаты лечения дают возможность оценить его эффективность в сравнении с традиционными хирургическими подходами в решении данной проблемы.

Книга иллюстрирована схемами остеосинтеза, клиническими примерами, способствующими усвоению представленного материала.

Монография рассчитана на широкий круг хирургов, ортопедов и врачей, использующих метод чрескостного остеосинтеза аппаратами наружной фиксации.