Малоберцовый нерв при удлинении голени собак автодистрактором в режиме 1 мм за 60 приемов

Т.Н. Варсегова, Н.А. Щудло, М.М. Щудло, Т.А. Ступина

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» имени академика Г.А. Илизарова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Курган

The peroneal nerve for canine leg lengthening using an autodistractor in the mode by 1 mm for 60 times

T.N. Varsegova, N.A. Shchudlo, M.M. Shchudlo, T.A. Stupina

FSBI RISC "RTO" of the RF Ministry of Health, Kurgan, Russia

Цель. С целью выявления морфологических и гистоморфометрических изменений поверхностного малоберцового нерва при удлинении голени автодистрактором в режиме 1 мм за 60 приемов в течение 12 часов ежедневно проведены опыты на 12 собаках. **Методы.** Участки поверхностного малоберцового нерва исследовали через 28 суток distraction, через 30 суток фиксации голени в аппарате и через месяц после демонтажа аппарата в поперечных аралдитовых полутонких срезах, окрашенных метиленовым синим и основным фуксином. **Результаты.** Фиброз и повышение клеточности эпинеурия выражены в конце distraction и фиксации. Выраженная гистологически документированная нейропатия малоберцового нерва (1 опыт из 12 – 8,3 %) выявлена в опыте с облитерацией просветов наиболее крупных эпинеуральных артерий и большинства эндоневральных капилляров, а также некробиотическими изменениями части из них. У остальных животных, наряду с увеличением количества сосудистых пучков в эпинеурии, выражена гипervasкуляризация эндоневрия, процентная доля деструктивно изменённых миелиновых волокон (МВ) в исследуемые сроки составила $4,0 \pm 0,84$ %, $3,3 \pm 0,08$ % и $2,40 \pm 0,55$ % соответственно (в интактном контроле – $1,92 \pm 0,31$ %). Изменения размерных характеристик МВ наиболее выражены на этапе distraction, распределения МВ по диаметрам – на этапе фиксации. Через 30 дней после снятия аппарата качественные и количественные структурные параметры малоберцового нерва у 11 животных из 12 не отличаются от интактного нерва. **Заключение.** Риск развития нейропатии малоберцового нерва при изученном способе удлинения голени обусловлен срывом компенсаторно-приспособительных возможностей эпинеурального сосудистого русла. У большинства животных важные для функции проводимости структурные характеристики нервных волокон меняются незначительно и восстанавливаются к концу опыта. **Ключевые слова:** оперативное удлинение голени, малоберцовый нерв, гистологические исследования.

Purpose. The authors performed the experiments performed in 12 dogs in order to determine the morphological and histomorphometrical changes in the superficial peroneal nerve in the process of leg lengthening using an autodistractor in the mode of 1 mm for 60 times during 12 hours daily. **Methods.** The sites of the superficial peroneal nerve studied 28 days after distraction of the leg, 30 days after its fixation with device, as well as one month after the device dismounting by means of transverse araldite semi-thin sections stained with Methylene blue and basic fuchsin. **Results.** Fibrosis and epineurium cellularity increase were marked at the end of distraction and fixation. The marked histologically documented neuropathy of the peroneal nerve (one experiment out of 12 – 8.3%) revealed in the experiment with obliterating the lumens the largest epineural arteries and the most endoneural capillaries, as well as with the necrobiotic changes in the part of them. In the remaining animals the endoneurium hypervascolarization marked, along with the increase in the number of vascular bundles in the epineurium, the percentage proportion of destructively changed myelin fibers (MF) in the studied periods amounted to 4.0 ± 0.84 %, 3.3 ± 0.08 %, and 2.40 ± 0.55 %, respectively (for intact control – 1.92 ± 0.31 %). The changes in MF size characteristics were the most marked at the stage of distraction, those in MF distribution by the diameters – at the stage of fixation. 30 days after the device removal the qualitative and quantitative structural parameters of the peroneal nerve in 11 animals of 12 did not differ from those of the intact nerve. **Conclusion.** The risk of developing the peroneal nerve neuropathy for the studied procedure of canine leg lengthening is caused by the failure of the compensatory-and-adaptive potentials of the epineural vascular bed. The nerve fiber structural characteristics important for conductivity function in most animals change slightly and restored by the end of the experiment. **Keywords:** surgical leg lengthening, peroneal nerve, histological investigations.

ВВЕДЕНИЕ

К основным факторам, нарушающим иннервацию конечностей при их оперативном удлинении методом distractionного остеосинтеза, относят пролонгированное перерастяжение, которое наступает в результате превышения эластических и пластических свойств нервов [9], а также компрессию нервов с сопутствующей ишемизацией [4]. Идея академика Г.А. Илизарова о приближении режима ортопедического удлинения конечностей к параметрам естественного роста привела к созданию автоматизированного аппарата [7], который обеспечивает удлинение с темпом 1 мм в сутки за 60 включений. По сравнению с наиболее часто применяемым в клинике режимом ручной distraction (1 мм в сутки за 4 приёма) автодистракция позволила существенно уменьшить величину разового удлинения – с 250 до 17 мкм.

Ультроструктурные исследования нервов собак в эксперименте по удлинению голени автодистрактором не обнаружили признаков их травматизации [5]. Клинические испытания показали, что высокотехнологичный способ удлинения голени в автоматическом режиме позволяет сократить сроки остеосинтеза и время реабилитации пациентов, свести до минимума количество возможных осложнений [6], он менее травматичен по отношению к нервно-мышечной и сосудистой системам, чем ручной режим [4]. Однако признаки нервно-мышечной дисфункции наблюдались даже в отдалённые сроки наблюдения.

Следующим шагом в развитии метода автоматической distraction были опыты с удлинением голени по 1 мм за 60 приёмов в течение 12 часов ежедневно.

Предполагалось, что выключение автомата в остальное время суток повысит комфортность лечения. Доказана успешная структурная адаптация большеберцового нерва к такому режиму distraction [1, 3]. Аналогичные исследования малоберцового нерва в доступной литературе отсутствуют. Восполнение существующего пробела актуально, поскольку перонеальные нейропа-

тии преобладают среди неврологических осложнений оперативного удлинения голени в клинике [8].

Цель работы – выявление морфологических и гистоморфометрических изменений поверхностного малоберцового нерва при удлинении голени собак автодистрактором в режиме 1 мм за 60 приемов в течение 12 часов ежедневно.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

12 взрослым беспородным собакам (возраст 1-3 года, масса 14-16 кг) через 5 суток после закрытой флекссионной остеоклазии берцовых костей в течение 28 дней удлинляли голень аппаратом Илизарова с автоматическим приводом по 1 мм за 60 включений автодистрактора в течение 12 часов ежедневно (удлинение составило 14-15 % исходной длины голени), затем 30 дней конечность фиксировали в аппарате, после чего аппарат снимали. После эвтаназии животных передозировкой барбитуратов иссекали участки поверхностного малоберцового нерва оперированной и контралатеральной конечностей через 28 суток distraction, через 30 суток фиксации голени в аппарате и через 30 суток после снятия аппарата – по 4 животных на каждый срок. Поперечные аралдиковые полутонкие срезы окрашивали метиленовым синим и основным фуксином. Полноцветные изображения оцифровывали с помощью стереомикроскопа «AxioScope.A1» и цифровой камеры «AxioCam» (Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Германия). В программе «ВидеоТест Мастер-Морфология, 4.0» определяли общую площадь поперечного среза нервного

ствола и суммарную площадь фасцикул, средние диаметры миелинизированных нервных (MB) волокон (Dmf), их аксонов (Dax), толщину миелиновой оболочки (Lm), коэффициент G (Dax/Dmf). Строили гистограммы распределения миелиновых волокон по диаметрам с шагом 1 мкм. Подсчитывали количество эпинеуральных сосудистых пучков, рассчитывали численную плотность эндоневральных микрососудов – количество сечений артериол и капилляров в 1 мм² площади пучка, их средние диаметры и площади сечений. Рассчитывали долю (%) деструктивно измененных миелиновых волокон и долю ядросодержащих профилей в популяции крупных миелиновых волокон (более 7 мкм диаметром). Исследование проведено с соблюдением Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (Страсбург, 1986). Контроль – малоберцовые нервы 5 интактных собак. Достоверность различий оценивали с помощью парного двухвыборочного t-теста, критерия Вилкоксона для независимых выборок в программе AtteStat, версия 1.0 [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Оболочки нерва сохраняли целостность (рис. 1 а, б), микроскопических признаков его контактных повреждений спицами не выявлено, однако в конце периода distraction в эпиневрии существенно возрастало содержание фуксинофильного коллагена, фибробластов, фиброцитов, периваскулярных и тучных клеток, появлялось незначительное количество макрофагов и плазмодитов. Фиброз эпиневрии и повышенная клеточность сохранялись на этапе фиксации конечности в аппарате (рис. 1, б), но после его демонтажа уменьшались.

Общая площадь поперечного сечения нерва удлиняемой голени на протяжении опыта не отличалась от площади сечения контралатерального нерва. Суммарная площадь фасцикул в нервах оперированных конечностей в конце distraction снижалась у всех животных в среднем на 15,6 % ($p < 0,05$). В дальнейшем достоверные различия по данному параметру отсутствовали.

В отдельных эпинеуральных кровеносных сосудах определялась частичная облитерация просветов и признаки деструктивных изменений клеточных элементов

стенки, однако количество сосудов микроциркуляторного русла и магистральных сосудистых пучков возрастало.

Так, в конце distraction в эпиневрии нервов удлиняемой голени насчитывалось от 4 до 7 сосудистых пучков ($5,3 \pm 1,5$), в контралатеральных нервах – 2-3 сосудистых модуля ($2,3 \pm 0,6$). В период фиксации отмечен прирост количества сосудистых пучков в нервах обеих конечностей: до 5-8 ($6,3 \pm 1,5$) и 3-4 ($3,3 \pm 0,6$) соответственно. Через 30 суток после демонтажа аппарата в эпиневрии нервов удлинённой голени насчитывалось также от 5 до 8 сосудистых пучков ($6,5 \pm 1,3$), а в контралатеральных нервах – 3-5 сосудистых модуля ($3,8 \pm 1,0$). В периневрии отмечалось возрастание количества слоев перинеуральных клеток и объема соединительнотканых прослоек между ними. Эндоневральные артериолы и капилляры сохраняли нормальное строение. При неизмененных средних диаметрах и площади капилляров их численная плотность (табл. 1) в опытных нервах достоверно превышала контроль во все сроки опыта – на 17 %, 21 % и 17 % соответственно ($p < 0,01$).

Рис. 1. Тотальные поперечные полутонкие срезы контралатерального (а) и опытного (б) малоберцовых нервов собак через 30 суток фиксации голени в аппарате. Фрагмент поперечного полутонкого среза малоберцового нерва через 28 суток удлинения голени (в): MB – миелиновое волокно, BV – безмиелиновые волокна, К – эндоневральный капилляр. Окраска метиленовым синим и основным фуксином. Об. – 2,5, ок. 12,5 (а, б), об. 100 (масляная иммерсия), ок. 12,5 (в)

Таблица 1

Численные плотности (NA_{mv}), диаметры (D_{mv}) и площади эндоневральных капилляров ($Scap$) малоберцового нерва

Параметр	Контроль	Дистракция 28 суток	Фиксация 30 суток	Без аппарата 30 суток
NA_{mv}	140,9±8,1	164,2±7,8*	170,5±29,4*	164,3±27,5*
D_{mv}	8,8±1,8	8,6±0,3	8,0±1,7	8,9±0,7
S^{cap}	30,1±7,3	30,0±10,9	43,4±24,8	29,5±9,3

* – различия между опытным и интактным нервами достоверны по критерию Вилкоксона для независимых выборок при $p < 0,01$.

В отличие от интактной группы во все сроки опыта обнаруживались закрытые капилляры, было увеличено представительство капилляров со щелевидными просветами, а доля открытых уменьшена (рис. 2).

Рис. 2. Процентное соотношение эндоневральных капилляров с различным состоянием просвета в интактном малоберцовом нерве и в разные сроки удлинения голени

В эндоневрии обнаруживались единичные картины арборизации миелиновых волокон и незначительное количество мелких миелинизирующихся аксонов в составе регенерационных кластеров, признаки демиелинизации и аксональной дегенерации, валлеровской дегенерации единичных миелиновых волокон. Большинство проводников имело нормальное строение (рис. 1, в). Массовая деструкция нервных волокон (>40 %) обнаружена в одном опыте из 12. У этой собаки отмечено формирование максимального количества сосудистых модулей в эпиневии (семь по сравнению с двумя в интактном нерве), однако наиболее крупные

эпиневральные сосуды и большинство эндоневральных капилляров имело закрытые просветы, причём численная плотность последних снижена по сравнению с интактным нервом, что позволяет сделать заключение об ишемической природе деструкции нервных волокон. У остальных собак процентная доля измененных миелиновых волокон была незначительной и составляла в исследуемые сроки опыта $4,0 \pm 0,84$ %, $3,3 \pm 0,08$ % и $2,40 \pm 0,55$ % соответственно (в контроле $1,92 \pm 0,31$ %). Численная плотность миелиновых волокон по сравнению с интактным нервом была увеличена на 7,2 % в конце дистракции и на 4,6 % – через 30 дней фиксации, но в конце опыта была снижена на 6,4 % ($p < 0,05$) по сравнению с интактным нервом.

Средние размерные характеристики миелиновых волокон малоберцового нерва удлиняемой конечности во все сроки опыта снижены по сравнению с контролем: D_{mf} – на 14 %, 13 % и 5 %; D_{ax} – на 15 %, 11 % и 6 %; L_m – на 12 %, 18 % и 3 % соответственно (табл. 2).

Наибольшее увеличение коэффициента G отмечено на этапе фиксации конечности в аппарате; то же самое следует отметить и по параметру N_{nuc} .

Распределение миелиновых волокон по диаметрам у всех собак, за исключением опыта с массовой деструкцией нервных проводников, сохраняло бимодальный характер (рис. 3). В конце дистракции выражено увеличение доли мелких миелиновых волокон (диаметры от 2 до 5 мкм) при снижении доли волокон диаметром более 7 мкм. Через 30 дней фиксации гистограмма укорочена на один класс, и главные пики заострены. В конце опыта различия с гистограммой интактного нерва незначительны (рис. 3).

Таблица 2

Размерные характеристики миелиновых волокон малоберцовых нервов и относительные показатели миелинизации ($m \pm \sigma$)

Срок опыта/ параметр	Контроль	Дистракция 28 суток	Фиксация 30 суток	Без аппарата 30 суток
D_{mf} (мкм)	6,46±0,07	5,56±0,26*	5,62±0,07*	6,17±0,45
D_{ax} (мкм)	4,39±0,08	3,70±0,53*	3,91±0,09*	4,14±0,16
L_m (мкм)	1,04±0,04	0,92±0,13*	0,85±0,07*	1,01±0,06
G	0,679±0,010	0,691±0,060	0,709±0,011	0,693±0,030
N_{nuc} (%)	2,63±0,71 %	3,07±0,71 %	3,42±0,31 %*	3,11±0,64

D_{mf} – средний диаметр миелинового волокна, D_{ax} – средний диаметр аксона, L_m – толщина миелина, G – коэффициент (D_{ax}/D_{mf}), N_{nuc} – доля ядросодержащих профилей в популяции крупных миелиновых волокон. * – различия между значениями размерных характеристик опытного и интактного нервов достоверны по критерию Вилкоксона для независимых выборок при $p < 0,01$.

ДИСКУССИЯ

Достоверное уменьшение в конце периода дистракции суммарной площади фасцикул на 15,6 % свидетельствовало о наличии деформации растяжения и поперечной контракции интрафасцикулярного содержимого [10]. Аналогичные, но менее выраженные, изменения планиметрических показателей обнаружены ранее при данном режиме удлинения в большеберцовом нерве [1]. Истончение фасцикул является одной из причин повышения в конце периода дистракции

численной плотности нервных проводников и эндоневральных гемокapилляров вследствие их топографического перераспределения. Постепенное растяжение малоберцового нерва у большинства животных не сопровождается выраженными повреждениями сосудов нерва, хотя некоторые имеют облитерированные просветы, а единичные – признаки ультраструктурных повреждений клеток интимы и меди. Комплекс компенсаторно-приспособительных реакций сосудистого

Рис. 3. Гистограммы распределения миелиновых нервных волокон по диаметрам в интактных и опытных малоберцовых нервах на этапах эксперимента. Ось абсцисс – размерные классы волокон, ось ординат – доли волокон каждого класса (в %)

русла включает выраженную гиперваскуляризацию эпинеурия и эндоневрия, что свидетельствует об активации капиллярно- и ангиогенеза. Тот факт, что у одной собаки из 12 обнаружена деструкция миелиновых волокон малоберцового нерва вследствие облитерации крупных эпинеуральных артерий и большинства эндоневральных капилляров, указывает на то, что даже при щадящем режиме удлинения голени существует риск развития перонеальной нейропатии.

У остальных животных деструктивные изменения выявлены не более чем в 4 % нервных проводников, однако к концу опыта обнаружено статистически значимое снижение численности миелиновых волокон (на 6 %). Анализ изменений распределения миелиновых волокон по диаметру и их средних размерных характеристик выявляет наличие в течение всего экс-

перимента как аксональной атрофии некоторой части волокон, наиболее выраженной через 28 суток дистракции (средний диаметр аксона снижен на 15 %), так и гипомиелинизации, наиболее выраженной на этапе фиксации голени (толщина миелина снижена на 18 %). Повышение доли ядросодержащих профилей крупных миелиновых волокон, наиболее выраженное в период фиксации, свидетельствует о том, что снижение средней толщины миелина связано не только с эпизодами де- и ремиелинизации, но и формированием коротких (вставочных) сегментов миелина, что является одним из проявлений адаптации к удлинению – интеркалярного роста ультраструктур нерва под действием дозированного растяжения [5]. В конце опыта толщина миелина приближается к контрольным значениям, аксональная атрофия уменьшается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Морфологическое исследование выявило хорошую сохранность оболочек и проводниковой части малоберцового нерва в условиях изученного режима высокочастотной дистракции у 11 животных из 12. Количественный анализ свидетельствует о выраженных компенсаторно-приспособительных изменениях эпинеурального и эндоневрального сосудистого русла, нарушениях вазомоторики эндоневральных сосудов, статистически значимой потере численности миелинизированных волокон, аксональной атрофии и гипо-

миелинизации некоторой их части. Наличие массовой деструкции нервных волокон у одного животного из 12 указывает на риск развития нейропатии малоберцового нерва даже при применении высокочастотной дистракции с темпом 1 мм в день. У 11 животных из 12 морфометрические характеристики миелинизированных волокон восстанавливаются после снятия аппарата.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 14-44-00010).

ЛИТЕРАТУРА

1. Варсегова Т.Н. Реактивно-деструктивные изменения большеберцового нерва при удлинении голени дробной и высокочастотной дистракцией в эксперименте // Бюл. ВСНЦ СО РАМН. 2011. № 4-1. С. 234-237.

- Гайдышев И.П. Анализ и обработка данных: спец. справочник. СПб.: Питер. 2001. 752 с.
- Динамика изменений большеберцового нерва при удлинении голени собак автодистрактором / В.И. Шевцов, Т.Н. Варсегова, М.М. Щудло, С.А. Ерофеев // Гений ортопедии. 2004. № 1. С. 51-54.
- Изменение функционального состояния нервно-мышечной и сосудистой систем укороченных конечностей в условиях дистракционного остеосинтеза / Г.А. Урьев, И.А. Ильясевич, А.В. Заровская, О.А. Соколовский, А.И. Юзefович // Мед. журн. 2008. № 2 (24). С. 97-100.
- Реакция нервов на растяжение и их структурная адаптация к удлинению конечности / М.М. Щудло, Н.А. Щудло, Т.Н. Варсегова, И.В. Борисова // Гений ортопедии. 2009. № 4. С. 48-55.
- Удлинение нижних конечностей в автоматическом режиме / В.И. Шевцов, А.В. Попков, Д.А. Попков, С.О. Мурадисинов // Гений ортопедии. 1999. № 3. С. 20-24.
- Привод к компрессионно-дистракционному аппарату : а. с. 1423114 СССР. № 3601258/13 ; заявл. 06.04.83 ; опубл. 15.09.88 , Бюл. № 34. С. 24.
- Limb lengthening and peripheral nerve function-factors associated with deterioration of conduction / A.H. Simpson, J. Halliday, D.F. Hamilton, M. Smith, K. Mills // Acta Orthop. 2013. Vol. 84, N 6. P. 579-584.
- Nogueira M.P., Paley D. Prophylactic and therapeutic peroneal nerve decompression for deformity correction and lengthening // Oper. Tech. Orthop. 2011. Vol. 21, N 2. P. 180-183.
- Topp K.S., Boyd B.S. Structure and biomechanics of peripheral nerves: nerve responses to physical stresses and implications for physical therapist practice // Phys. Ther. 2006. Vol. 86, N 1. P. 92-109.

REFERENCES

- Varsegova T.N. Reaktivno-destrukivnye izmeneniia bol'shebertsovoogo nerva pri udlinenii goleni drobnnoi i vysokodrobnnoi distraktsiei v eksperimente [Reactive-and-destructive changes of the tibial nerve in experimental leg lengthening using divisional and high-divisional distraction] // Biul. VSNTs SO RAMN. 2011. N 4-1. S. 234-237.
- Gaidyshev I.P. Analiz i obrabotka dannykh: spets. Spravochnik [Data analysis and processing: a special reference book]. SPb.: Piter. 2001. 752 s.
- Dinamika izmenenii bol'shebertsovoogo nerva pri udlinenii goleni sobak avtodistraktorom [The dynamics of tibial nerve changes in the process of canine leg lengthening using an autodistractor] / V.I. Shevtsov, T.N. Varsegova, M.M. Chtchoudlo, S.A. Yeropfeev // Genij Ortop. 2004. N 1. S. 51-54.
- Izmenenie funktsional'nogo sostoiianiia nervno-myshechnoi i sosudistoi sistem ukorochennykh konechnostei v usloviakh distraktsionnogo osteosinteza [The change in the functional condition of the neuromuscular and vascular system of the shortened limbs under distraction osteosynthesis] / G.A. Ur'ev, I.A. Il'iasevich, A.V. Zarovskaia, O.A. Sokolovskii, A.I. Iuzefovich // Med. Zhurn. 2008. N 2 (24). S. 97-100.
- Reaktsiia nervov na rastiazhenie i ikh strukturnaia adaptatsiia k udlineniiu konechnosti [Reaction of nerves to stretching and their structural adaptation to limb lengthening] / M.M. Shchudlo, N.A. Shchudlo, T.N. Varsegova, I.V. Borisova // Genij Ortop. 2009. N 4. S. 48-55.
- Udlinenie nizhnikh konechnostei v avtomaticheskom rezhime [Elongation of lower limbs by an automatic mode] / V.I. Shevtsov, A.V. Popkov, D.A. Popkov, S.O. Muradisinov // Genij Ortop. 1999. N 3. S. 20-24.
- Privod k kompressionno-distraktsionnomu apparatu: a. s. [A drive for the compression-distraction device] 1423114 SSSR. No 3601258/13; zaiaavl. 06.04.83; opubl. 15.09.88. Biul. N 34. S. 24.
- Limb lengthening and peripheral nerve function-factors associated with deterioration of conduction / A.H. Simpson, J. Halliday, D.F. Hamilton, M. Smith, K. Mills // Acta Orthop. 2013. Vol. 84, N 6. P. 579-584.
- Nogueira M.P., Paley D. Prophylactic and therapeutic peroneal nerve decompression for deformity correction and lengthening // Oper. Tech. Orthop. 2011. Vol. 21, N 2. P. 180-183.
- Topp K.S., Boyd B.S. Structure and biomechanics of peripheral nerves: nerve responses to physical stresses and implications for physical therapist practice // Phys. Ther. 2006. Vol. 86, N 1. P. 92-109.

Рукопись поступила 22.05.2015.

Сведения об авторах:

- Варсегова Татьяна Николаевна – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава РФ, старший научный сотрудник лаборатории морфологии, к. б. н.; e-mail: varstn@mail.ru.
- Щудло Наталья Анатольевна – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава РФ, заведующая клинико-экспериментальной лабораторией реконструктивно-восстановительной микрохирургии и хирургии кисти, д. м. н.
- Щудло Михаил Моисеевич – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава РФ, ведущий научный сотрудник клинико-экспериментальной лаборатории реконструктивно-восстановительной микрохирургии и хирургии кисти, д. м. н.
- Ступина Татьяна Анатольевна – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава РФ, старший научный сотрудник лаборатории морфологии, д. б. н.

Information about the authors:

- Varsegova Tat'iana Nikolaevna – FSBI RISC "RTO" of the RF Ministry of Health, Laboratory of Morphology, a senior researcher, Candidate of Biological Sciences; e-mail: varstn@mail.ru
- Shchudlo Natal'ia Anatol'evna – FSBI RISC "RTO" of the RF Ministry of Health, Head of Clinical-and-Experimental Laboratory of Reconstructive-and-Restorative Microsurgery and Surgery of the Hand, Doctor of Medical Sciences.
- Shchudlo Mikhail Moiseevich – FSBI RISC "RTO" of the RF Ministry of Health, Clinical-and-Experimental Laboratory of Reconstructive-and-Restorative Microsurgery and Surgery of the Hand, a leading researcher, Doctor of Medical Sciences.
- Stupina Tat'iana Anatol'evna – FSBI RISC "RTO" of the RF Ministry of Health, Laboratory of Morphology, a senior researcher, Doctor of Biological Sciences.