

РЕЗУЛЬТАТЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ НЕРВОВ ПО ТИПУ «КОНЕЦ-В-БОК» В ЭКСПЕРИМЕНТЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДАННОГО МЕТОДА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЬНОЙ РЕИННЕРВАЦИИ ПРИ ТРАВМАХ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ НЕРВОВ

Ништ А.Ю.¹, Фомин Н.Ф.¹, Чирский В.С.¹, Орлов В.П.¹

¹ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова», Санкт-Петербург, e-mail: vmeda@mil.ru

Представлены результаты комплексного экспериментального и топографо-анатомического исследования, целью которого являлось определение перспективы применения шва периферических нервов по типу «конец-в-бок» для восстановления двигательной иннервации тканей, утраченной в результате травмы нервных стволов. В эксперименте на животных (54 кролика в основной группе и 24 в контрольной) исследованы особенности регенерации периферических нервов после их соединения микрохирургическими швами «конец-в-бок». На 52 верхних конечностях трупов изучены особенности строения и топографии периферических нервов верхних конечностей и выполнено моделирование на анатомическом материале отдельных этапов соединения нервов «конец-в-бок». Основным механизмом восстановления нерва-реципиента является невротизация его периневральных футляров ветвями регенерирующих нервных волокон из состава нерва-донора, неизбежно повреждаемых при выполнении микрохирургической операции. В эксперименте данным методом удается восстановить до $37,7\pm 5,4\%$ численного состава нервных волокон, что обеспечивает устойчивые положительные морфофункциональные результаты реиннервации тканей. Неизбежные потери со стороны нерва-донора составляют $14,2\pm 8,4\%$ нервных волокон, что приводит к транзиторным компенсированным неврологическим расстройствам в донорской зоне, не имеющим в долгосрочной перспективе выраженных негативных последствий. Исходя из основного механизма и объемов восстановления нерва-реципиента, а также особенностей строения и топографии периферических нервов верхней конечности наиболее обоснованным, на наш взгляд, является восстановление швом «конец-в-бок» не всего периферического сегмента поврежденного нервного ствола, а его отдельных ветвей, имеющих наибольшее значение для восстановления утраченных функций соответствующего сегмента конечности. В сообщении приведены способы соединения периневральных футляров нерва-реципиента с боковой поверхностью нерва-донора для создания морфологических условий, способствующих селективной реиннервации отдельных групп мышц верхней конечности. Представленные данные могут быть использованы на этапе доклинических обоснований приемов и техники восстановления периферических нервов швом по типу «конец-в-бок».

Ключевые слова: периферический нерв, строение периферических нервов, индивидуальная анатомическая изменчивость периферических нервов, травма периферических нервов, шов нервов «конец-в-бок», регенерация нервов, реиннервация тканей.

THE RESULTS OF THE END-TO-SIDE NERVE REPAIR IN THE EXPERIMENT AND PROSPECTS FOR USING THIS METHOD FOR MOTOR REINNERVATION IN PERIPHERAL NERVE INJURIES

Nisht A.Y.¹, Fomin N.F.¹, Chirskiy V.S.¹, Orlov V.P.¹

¹Military medical Academy, St. Petersburg, e-mail: vmeda@mil.ru

The article presents the results of a comprehensive experimental and anatomical study, the purpose of which was to determine the prospects for using the end-to-side nerve suture to restore the motor innervation of tissues that was lost as a result of an injury to nerve trunks. In an experiment on animals (54 rabbits in the main group and 24 in the control group) features of regeneration of peripheral nerves after their connection by end-to-side neurorrhaphy were studied. Features of the structure and topography of the peripheral nerves of the upper extremities were studied on 52 upper limbs of cadavers. Modeling of the end-to-side nerve connection stages on anatomical material was performed. The main mechanism for restoring the recipient nerve is the neurotization of its perineural tubes by branches of regenerating nerve fibers from the donor nerve, which are inevitably damaged during microsurgical surgery. In the experiment, this method can restore up to $37,7\pm 5,4\%$ number of nerve fibers, which provides stable positive morphofunctional results of tissue reinnervation. Unavoidable losses on the part of the donor nerve account for $14,2\pm 8,4\%$ of nerve fibers, which leads to transient compensated neurological disorders in the donor zone that do not have pronounced negative consequences in the long term.

On the basis of underlying mechanism and volume of nerve repair recipient, as well as features of the structure and topography of peripheral nerves of the upper limb, the most reasonable, in our view, is the end-to-side nerve repair of not just a peripheral segment of the damaged nerve trunk but the repair of its branches that has greater bearing on restoring the lost functions of the corresponding limb segment. The report describes ways to connect the perineural cases of the recipient nerve with the lateral surface of the donor nerve to create morphological conditions that promote selective reinnervation of individual muscle groups of the upper limb. The presented data can be used at the stage of preclinical substantiation of methods and techniques for restoring peripheral nerves with an end-to-side suture.

Keywords: peripheral nerve, structure of peripheral nerves, individual anatomical variability of peripheral nerves, peripheral nerve injury, end-to-side neurography, nerve regeneration, reinnervation of tissues.

Лечение пациентов с последствиями травм периферических нервов является актуальной проблемой реконструктивной хирургии. В общей структуре травматизма мирного времени различные виды повреждений периферических нервов отмечаются у 3–14% пациентов [1, 2]. Среди участников вооруженных конфликтов огнестрельная травма периферической нервной системы выявляется у 9,6% раненых [3]. Как в мирное, так и в военное время пациентами с травмой периферических нервов являются люди наиболее трудоспособного периода жизни. К сожалению, даже применение современных высокотехнологичных методов хирургической реконструкции поврежденных нервных стволов в совокупности с методами фармакологического воздействия на регенеративные процессы нервных волокон не может гарантировать полного восстановления утраченных функций [4]. Наиболее тяжелую в прогностическом плане группу пациентов с травмой периферических нервов составляют пострадавшие с повреждениями крупных нервных стволов на проксимальном уровне, особенно сопровождающимися протяженными анатомическими дефектами. Из-за особого механизма и продолжительности дегенеративно-регенераторных процессов поврежденных нервных волокон длительное отсутствие моторной иннервации мышц дистальных сегментов конечностей становится причиной выраженных морфофункциональных изменений денервированной мышечной ткани, вплоть до необратимой атрофии мышечных волокон. Несмотря на своевременное и адекватное хирургическое лечение, пациентам с последствиями травм периферических нервов на высоком проксимальном уровне часто требуются дополнительные ортопедические вмешательства для восстановления функций дистальных сегментов конечностей, безвозвратно утраченных из-за атрофии длительно денервированных мышц [5, 6]. У 29,4% пациентов с посттравматическими невропатиями и плексопатиями проводимые лечебные и реабилитационные мероприятия не позволяют полностью восстановить утраченные функции, что становится причиной инвалидности и смены вида профессиональной деятельности [7].

В научной литературе активно обсуждается возможность восстановления утраченной иннервации за счет соединения дистального сегмента поврежденного периферического нерва

(нерва-реципиента) с боковой поверхностью расположенного в непосредственной близости интактного нерва (нерва-донора) в качестве альтернативы общепринятым способам замещения обширных дефектов периферических нервов, когда выполнение таких вмешательств не представляется возможным [8, 9]. На данный момент среди хирургов отсутствует однозначное мнение в отношении источника и механизма регенерации нерва-реципиента после таких вмешательств, полноты реиннервации тканей целевых зон его ветвей, целого ряда технических вопросов, а также последствий выполнения данного вида операций для донорской зоны. Все это препятствует обоснованию условий и техники выполнения таких вмешательств, а также внедрению данного способа реиннервации тканей в повседневную клиническую практику. Вместе с тем существуют отдельные наблюдения, свидетельствующие об определенной степени эффективности данного вида операций для восстановления утраченной при травме иннервации. Экспериментальные исследования, включая наши собственные опыты, свидетельствуют о достаточно стабильных результатах восстановления иннервации после соединения периферических нервов по типу «конец-в-бок» у лабораторных животных.

Цель исследования: определить перспективы применения шва периферических нервов по типу «конец-в-бок» для восстановления двигательной иннервации тканей, утраченной в результате травмы нервных стволов.

Материалы и методы исследования. Настоящее исследование включало 2 раздела, объединенных общей целью: экспериментальный и топографо-анатомический.

Экспериментальный раздел исследования выполнен на 78 лабораторных животных (кроликах породы «Шиншилла», половозрелых здоровых особях). Исследования с участием животных одобрены локальным этическим комитетом, соответствовали Международным рекомендациям по проведению медико-биологических исследований с использованием животных (Женева, 1985). У животных основной группы (n=54) после моделирования травмы общего малоберцового нерва на уровне средней трети бедра выполнялось соединение дистального сегмента общего малоберцового нерва (нерва-реципиента) с краями специально сформированного дефекта периневральной оболочки на боковой поверхности большеберцового нерва (нерва-донора). У животных контрольной группы (n=24) анатомическая целостность поврежденного нервного ствола не восстанавливалась. Группы сравнения были сформированы таким способом для доказательства непосредственной связи полученных результатов реиннервации тканей с выполненными реконструктивными вмешательствами у животных основной группы, а также для опровержения возможности самопроизвольного восстановления утраченной при травме двигательной иннервации у животных контрольной группы в отсутствие восстановительных операций, например за счет

сохранившихся источников перекрестной иннервации. В послеоперационном периоде экспериментально-клиническими, электрофизиологическими, лучевыми, а после выведения животных из опыта – и морфологическими методами изучались особенности регенерации нерва-реципиента и восстановления двигательной иннервации в тканях его целевых зон.

Топографо-анатомический раздел исследования выполнен на 52 верхних конечностях трупов людей. На 37 фиксированных биологических объектах исследованы особенности строения, топографии и индивидуальной анатомической изменчивости наиболее функционально значимых двигательных ветвей периферических нервов для обоснования наиболее вероятных пар нервов «донор – реципиент» и определения наиболее перспективных уровней выполнения шва периферических нервов по типу «конец-в-бок» для создания анатомических условий восстановления иннервации в зоне распространения ветвей поврежденного нерва-реципиента. На 15 слабофиксированных верхних конечностях выполнено моделирование отдельных этапов соединения периферических нервов по типу «конец-в-бок» для обоснования приемов мобилизации нерва-реципиента, оценки технических возможностей сближения его с нервом-донором и выявления особенностей техники соединения по типу «конец-в-бок» отдельных ветвей периферических нервов в целях восстановления иннервации функционально значимых групп мышц при травмах периферических нервов.

Оценка количественных данных на предмет соответствия закону нормального распределения величин проводилась с использованием критерия Шапиро–Уилка. Различия между исследуемыми совокупностями оценивались непараметрическим методом с применением критерия Манна–Уитни.

Результаты исследования и их обсуждение. В настоящем исследовании во всех случаях перед соединением нервов по типу «конец-в-бок» на боковой поверхности нерва-донора иссекался участок периневрия, соответствовавший диаметру нерва-реципиента, для последующего формирования микрохирургического анастомоза между периневральными футлярами соединяемых нервов. Такой подход, по мнению авторов, способствует созданию наиболее благоприятных условий для невротизации нерва-реципиента за счет устранения преграды из соединительной ткани на пути роста аксонов нерва-донора. В доступной литературе существуют различные мнения относительно необходимости формирования дефектов соединительнотканых оболочек на боковой поверхности нерва-донора перед швом нервов «конец-в-бок». Одни исследователи считают, что дефект наружного эпиневирия и периневрия нерва-донора является необходимым условием для выполнения таких вмешательств [10]. Другие экспериментаторы приводят данные, свидетельствующие об отсутствии принципиальных различий результатов восстановления иннервации тканей

между опытами как с формированием дефектов соединительнотканых оболочек нерва-донора перед соединением его с нервом-реципиентом, так и без такового [11].

В условиях длительных хронических опытов экспериментально-клиническими и инструментальными методами были подтверждены положительные морфофункциональные результаты восстановления иннервации тканей после соединения периферических нервов швом «конец-в-бок». Результаты специального теста [12] для оценки функционального состояния восстановленного нерва свидетельствовали об участии реиннервированной группы мышц в составе комплексной ответной двигательной реакции безусловного рефлекса. Вместе с тем по данным электронейромиографии амплитуда моторного ответа мышц-мишеней нерва-реципиента при электростимуляции нерва-донора проксимальнее уровня оперативного вмешательства на поздних сроках наблюдения (через 9 месяцев после микрохирургических вмешательств) достигала лишь минимальных исходных значений. При этом на ранних сроках наблюдения по результатам электронейромиографии можно было судить о компенсированных расстройствах иннервации в целевых зонах нерва-донора, которые с увеличением времени наблюдений становились незначительными.

Прицельные исследования особенностей микрохирургической анатомии операционной раны в области шва периферических нервов свидетельствовали о неизбежных повреждениях части нервных волокон из состава нерва-донора на различных этапах микрохирургического вмешательства. Исследования в отдаленном послеоперационном периоде структуры периферических нервов в области их соединения свидетельствовали о формировании в зоне операции боковой невротомы, состоящей из регенерирующих нервных волокон нерва-донора, которые многократно меняли свою траекторию и в дистальном направлении занимали позицию в футляре нерва-реципиента или внутри периневрального футляра самого нерва-донора.

Результаты морфометрических исследований, выполненных путем ручного подсчета миелинизированных нервных волокон на микропрепаратах нерва-донора (поперечные срезы большеберцового нерва выше и ниже уровня операции), свидетельствовали о близком к достоверному ($p=0,06$) уменьшении количества нервных волокон в составе его периневрального футляра. Проксимальнее уровня операции в составе нерва-донора насчитывалось 4666 ± 590 миелинизированных нервных волокон, а дистальнее – всего 3995 ± 561 нервное волокно, что соответствовало $85,8 \pm 8,4\%$ от исходного количества. В составе восстановленного в эксперименте нерва-реципиента (дистального сегмента общего малоберцового нерва, подшитого «конец-в-бок» к большеберцовому нерву) насчитывалось 658 ± 176 нервных волокон, что было достоверно меньше ($p=0,005$) и составляло только $37,7 \pm 5,4\%$ от 1694 ± 608 – количества миелинизированных нервных волокон в проксимальном

сегменте пересеченного общего малоберцового нерва. Таким образом, представленные данные свидетельствуют о восстановлении в составе нерва-реципиента $37,7 \pm 5,4\%$ исходного числа миелинизированных нервных волокон при малозначительных неизбежных потерях $14,2 \pm 8,4\%$ нервных волокон нерва-донора.

В контрольной группе в составе дистального сегмента пересеченного нервного ствола миелинизированные нервные волокна ни в одном случае не выявлены. Эти данные свидетельствуют об адекватности использованной экспериментальной модели травмы периферического нерва, а также подтверждают прямую связь восстановления утраченной при травме иннервации с выполненными экспериментальными реконструктивными вмешательствами у животных опытной группы.

Структура реиннервированных мышц-мишеней нерва-реципиента характеризовалась признаками умеренной очаговой атрофии мышечных волокон с незначительным увеличением удельного объема соединительной ткани. В противоположность этому, у животных группы контроля на фоне длительного отсутствия двигательной иннервации, подтвержденного морфофункциональными исследованиями, развились выраженные диффузные атрофические изменения денервированных мышц.

Таким образом, результаты комплексных экспериментально-клинических и морфологических исследований в целевых и контрольных опытах позволяют сделать вывод о том, что реиннервация тканей, денервированных при травме периферического нерва, происходит благодаря перенаправлению в футляры нерва-реципиента регенерирующих аксонов нерва-донора, неизбежно повреждаемых на этапах микрохирургического вмешательства. Иные механизмы восстановительных процессов периферических нервов (обратимая нейропраксия, коллатеральный спрутинг и контаминация собственными нервными волокнами) в изученные сроки (до 9 месяцев наблюдения) не играют существенной роли.

Сравнение данных литературы, отражающих клинические исходы после соединения периферических нервов «конец-в-бок», с экспериментальными результатами восстановления иннервации данным способом, включая свои личные данные, позволило сделать вывод, что наилучшие результаты применения данного вида реконструктивно-пластических вмешательств у пациентов отмечались в условиях, которые были принципиально схожи с моделированием восстановления периферических нервов в эксперименте. В условиях нашего эксперимента как нерв-реципиент, так и нерв-донор в своем составе содержали единственный пучок нервных волокон, окруженный собственной периневральной оболочкой. Удаленность сосудисто-нервных ворот мышц-мишеней нерва-реципиента не превышала 15 см относительно уровня микрохирургического вмешательства.

При исследовании особенностей строения, топографии и индивидуальной анатомической изменчивости периферических нервов верхней конечности было выяснено, что наилучшие технические условия для соединения периферических нервов по типу «конец-в-бок» с перспективой реиннервации тканей целевых зон нерва-реципиента отмечаются на уровне конечных двигательных ветвей периферических нервов. На этом уровне каждой отдельной мышце или группе мышц соответствует одна или несколько ветвей периферического нерва с минимальным количеством пучков. По нашим предположениям, наилучшие функциональные результаты восстановления нервов швом «конец-в-бок» независимо от уровня первичной травмы нервного ствола могут быть достигнуты при выполнении селективной реиннервации наиболее функционально значимых мышц-мишеней поврежденного нерва. Такой подход позволит не только увеличить вероятность реиннервации отдельных мышц за счет уменьшения количества конечных мишеней для регенерирующих аксонов, но и сократить время до восстановления иннервации путем приближения реконструктивно-пластических вмешательств к сосудисто-нервным воротам денервированных мышц. Еще одним способом повышения эффективности таких вмешательств за счет уменьшения вероятности гетерогенной реиннервации может быть использование в качестве нерва-донора преимущественно двигательных ветвей интактных периферических нервов.

Исходя из данных соображений была разработана альтернативная концепция применения шва периферических нервов по типу «конец-в-бок», основная идея которой заключается в селективной реиннервации данным способом отдельных ветвей поврежденного нерва, а не всего дистального сегмента пересеченного нервного ствола [13].

Для решения частных задач применения шва периферических нервов «конец-в-бок» в интересах реиннервации как отдельных мышц-мишеней, так и группы мышц, денервированных при травме периферического нерва, были разработаны способы селективной невротизации отдельных двигательных ветвей поврежденного периферического нерва. При травмах периферических нервов на высоком проксимальном уровне наибольший риск развития необратимых изменений характерен для мышц дистальных сегментов конечностей. Данное обстоятельство заставляет в первую очередь рассматривать в качестве потенциальной пары нервов «донор – реципиент» наиболее дистальные двигательные ветви периферических нервов верхней конечности.

С учетом особой значимости большого пальца для функции кисти разработан и апробирован на анатомическом материале способ соединения по типу «конец-в-бок» двигательных ветвей периферических нервов, направленный на создание морфологических условий для восстановления иннервации мышц возвышения I пальца [14]. Суть данного

способа заключается в селективной невротизации возвратной двигательной ветви срединного нерва (нерва-реципиента), поврежденного на высоком проксимальном уровне, регенерирующими нервными волокнами из состава глубокой ветви локтевого нерва (нерва-донора).

С топографо-анатомических позиций представляется возможным применение шва периферических нервов по типу «конец-в-бок» для восстановления иннервации разгибательной мускулатуры предплечья, утраченной при травмах лучевого нерва на высоком проксимальном уровне. Мобилизация дистального сегмента глубокой ветви лучевого нерва в передней латеральной локтевой борозде, транспозиция на медиальную сторону и последующее соединение микрохирургическими швами с боковой поверхностью срединного нерва позволяют создать анатомические условия для реиннервации разгибателей кисти и пальцев [15].

Наилучшие условия для выполнения таких вмешательств исходя из особенностей индивидуальной анатомической изменчивости периферических нервов отмечаются на относительно узких и длинных конечностях. В этом случае относительно проксимальное разделение лучевого нерва на поверхностную и глубокую ветви, а также более обособленное строение периферических нервов и их ветвей создают благоприятные условия для выполнения реконструктивно-пластических вмешательств на периферических нервах, включая их соединение по типу «конец-в-бок». В другом случае – на конечностях с относительно короткими и широкими сегментами – большое количество связей между периферическими нервами и их вторичными ветвями создает определенное препятствие для атравматичной мобилизации нерва-реципиента и нерва-донора.

Заключение. Соединение периферических нервов по типу «конец-в-бок» является перспективным хирургическим вмешательством, направленным на восстановление иннервации тканей, утраченной при травмах нервных стволов. Основным механизмом восстановления нерва-реципиента является невротизация его периневральных футляров ветвями регенерирующих нервных волокон из состава нерва-донора, неизбежно повреждаемых при выполнении микрохирургической операции. В эксперименте данным методом удается восстановить до $37,7 \pm 5,4\%$ численного состава нервных волокон, что обеспечивает устойчивые положительные морфофункциональные результаты реиннервации тканей. Неизбежные потери со стороны нерва-донора составляют $14,2 \pm 8,4\%$ нервных волокон, что приводит к транзиторным компенсированным неврологическим расстройствам в донорской зоне, не имеющим в долгосрочной перспективе выраженных негативных последствий. Исходя из основного механизма и объемов восстановления нерва-реципиента, а также особенностей строения и топографии периферических нервов верхней конечности

наиболее обоснованным, на наш взгляд, является восстановление швом «конец-в-бок» не всего периферического сегмента поврежденного нервного ствола, а его отдельных ветвей, имеющих наибольшее значение для восстановления утраченных функций соответствующего сегмента конечности. Представленные способы реконструктивных вмешательств позволяют за счет соединения периневральных футляров нерва-реципиента с боковой поверхностью нерва-донора создать морфологические условия для селективной реиннервации отдельных групп мышц верхней конечности и могут представлять интерес в качестве доклинических обоснований приемов и техники восстановления периферических нервов швом по типу «конец-в-бок».

Список литературы

1. Берснев В.П., Кокин Г.С., Извекова Т.О. Практическое руководство по хирургии нервов. М.: Умный доктор, 2017. 552 с.
2. Литвиненко И.В., Живолупов С.А., Булатов А.Р., Кузина Е.Э., Рашидов Н.А., Иванов В.С., Труфанов А.Г. Анализ диагностических и тактических ошибок при ведении пациентов с травматическими невропатиями конечностей // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2019. № 2. С 204-208.
3. Алексеев Е.Д. Дифференцированное лечение современных боевых огнестрельных повреждений периферических нервов: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Санкт-Петербург, 1998. 16 с.
4. Щедрина М.А., Новиков А.В., Донченко Е.В. Оценка качества жизни больных после хирургического восстановления нервов на уровне предплечья и реабилитации // Вопросы травматологии и ортопедии. 2012. № 1. С. 28-32.
5. Дейкало В.П., Болобошко К.Б., Толстик А.Н., Аскерко Э.А., Крылов А.И., Ходьков Е.К. Сухожильно-мышечные транспозиции в реабилитации пациентов с нарушениями функции кисти и пальцев // Вестник Витебского Государственного медицинского университета. 2017. № 3. С. 46-53.
6. Дюсембеков Е.К., Халимов А.Р., Никатов К.А., Юнусов Р.Ю., Курмаев И.Т., Николаева А.В., Жайлаубаева А.С. Роль сухожильно-мышечной пластики в улучшении результатов хирургического лечения пациентов с повреждениями периферических нервов конечностей // Нейрохирургия и неврология Казахстана. 2015. № 2. С. 15-21.
7. Вишневский В.А. Причины, диагностические ошибки при повреждениях периферических нервов конечностей // Запорожский медицинский журнал. 2014. № 4. С. 50-55.

8. Millesi H., Schmidhammer S. End-to-side coaptation – controversial research issue or important tool in human patients. *Acta Neurochirurgica*. 2007. Vol. 100. P. 103-106.
9. Байтингер В.Ф., Байтингер А.В. Шов нерва конец-в-бок: стратегия «получения» аксонов из интактного нерва (часть I) // *Вопросы реконструктивной и пластической хирургии*. 2013. № 2. С. 6-12.
10. Paralia I., Magaudda L., Righi M., Giulia Ronchi, Viano N., Geuna S., Colonna M.R. Epineurial window is more efficient in attracting axons than simple coaptation in a sutureless (cyanoacrylate-bound) model of end-to-side nerve repair in the rat upper limb: functional and morphometric evidences and review of the literature. *PLoS One*. 2016. Vol. 11 (2). e0148443.
11. Viterbo F., Teixeira E., Hoshino K., Padovani C.R. End-to-side neuroorrhaphy with and without perineurium. *Sao Paulo Medical Journal*. 1998. Vol. 116. no 5. P. 1808-1814.
12. Ништ А.Ю., Фомин Н.Ф., Микулич А.А. Способ определения функционального состояния периферических нервов после их микрохирургической реконструкции в эксперименте // Патент РФ № 2647649. Патентообладатель Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации. 2018. Бюл. №8.
13. Ништ А.Ю., Фомин Н.Ф. Способ ускоренного восстановления иннервации мышц дистальных отделов конечностей при травмах периферических нервов в проксимальных отделах // Патент РФ № 2712294. Патентообладатель Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации. 2020. Бюл. №4.
14. Ништ А.Ю., Фомин Н.Ф. Способ ускоренного восстановления иннервации мышц возвышения I пальца при ранениях срединного нерва в проксимальном отделе // Патент РФ № 2718740. Патентообладатель Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации. 2020. Бюл. №11.
15. Ништ А.Ю., Фомин Н.Ф. Способ восстановления иннервации разгибательной мускулатуры предплечья при травмах лучевого нерва // Патент РФ № 2726590 РФ Патентообладатель Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации. 2020. Бюл. №20.