



<https://doi.org/10.34883/PI.2026.16.2.053>
УДК 616.833-001.4:616.8-089



Короткевич Е.А.¹, Нечипуренко Н.И.¹, Пашковская И.Д.¹✉, Чистый А.А.²,
Рахмонов Э.Ш.¹

¹ Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии,
Минск, Беларусь

² Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии,
Минск, Беларусь

Современные возможности улучшения нейрохирургического лечения травматических повреждений нервов верхней конечности

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: Короткевич Е.А. – написание текста статьи, обработка данных научной литературы по теме статьи; Нечипуренко Н.И. – концепция и дизайн исследования, редактирование текста; Пашковская И.Д. – статистическая обработка и анализ данных исследования; Чистый А.А. – предоставление аллотрансплантата для пересадки; Рахмонов Э.Ш. – предоставление клинических наблюдений.

Подана: 10.02.2026

Принята: 18.05.2026

Контакты: irenapass@mail.ru

Резюме

Для успешного хирургического лечения травматических повреждений периферических нервов необходимы глубокие знания о происходящих в ране процессах их регенерации. Восстановление анатомической целостности нервных стволов методом эпинеуральной и межфасцикулярной нейрорафии является оптимальным методом при отсутствии значительного диастаза и натяжения между его отрезками. В таких случаях предпочтительны операции аутоотрансплантации кожных нервов, положительные результаты которых отмечаются лишь в 50% случаев. Использование аллотрансплантата чревато его отторжением, в связи с чем для подавления иммунологической несовместимости применяют методы его облучения, глубокого замораживания и децеллюризации. Вследствие развития фиброза в нерве и операционной ране применяют методы его тубулизации биологическими и синтетическими материалами. Использование нами амниотической мембраны плода человека в ранее выполненных исследованиях обеспечило восстановление двигательной и чувствительной функций срединного и локтевого нервов у 51 пациента (61 нерв) с синдромами запястного и кубитального каналов. Полученные результаты позволяют продолжить исследования по использованию амниотической мембраны для улучшения регенерации травмированных нервов верхней конечности после их хирургического лечения.

Ключевые слова: травмы периферических нервов, нейрорафия, аутопластика, аллопластика, тубулизация нервов, амниотическая мембрана, восстановление функций нервов

Korotkevich E.¹, Nechipurenko N.¹, Pashkovskaia I.¹✉, Chisti A.², Rachmonov E.¹

¹ Republican Research and Clinical Center of Neurology and Neurosurgery, Minsk, Belarus

² Minsk Scientific and Practical Center of Surgery, Transplantology and Hematology,
Minsk, Belarus

Current Opportunities for Improving Neurosurgical Treatment of Upper Extremities Traumatic Nerve Injury

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: Korotkevich E. – text writing, scientific supervision; Nechipurenko N. – study concept and design, article editing; Pashkovskaia I. – results statistical processing and analysis; Chisti A. – amniotic membrane preservation; Rachmonov E. – providing clinical observations.

Submitted: 10.02.2026

Accepted: 18.05.2026

Contacts: irenapass@mail.ru

Abstract

A successful surgical treatment of traumatic peripheral nerve injury requires a thorough understanding of regenerative processes in the wound. Primary end-to-end neurorrhaphy continues to be the most desirable approach for nerve repair. When direct repair without tension is not permitted either an autograft / allograft or a hollow nerve guidance conduit can be used to bridge the gap. Sensory nerves are far the most commonly used, but remain current gold standard although a success rate of only 50% patient treated. The use of allograft from cadaveric donors has attracted renewed interest, and pretreatment with cryopreservation and immunosuppression methods has been investigated. Recent surgical attempts consist in treating nerve injuries with tubulization method by amnion-muscle combined graft conduits. Following nerve injury scar formation is thought to be a considerable impediment to axonal regeneration. Nerve wrapping can protect the regenerating axons and amniotic membrane derived from human placenta is an effective material for that purpose. All 51 (61 nerves) patients with median and ulnar neuropathy had improved functional outcomes at 3–6 month follow up.

Keywords: peripheral nerve traumatic injury, neurorrhaphy, sensory nerves autografts, cadaveric allograft, nerve wrapping, amniotic membrane, functional outcomes

■ ХИРУРГИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ НЕРВОВ КОНЕЧНОСТЕЙ

Через 24–48 часов после повреждения нерва дистальный сегмент нерва подвергается валлеровской дегенерации (от зоны травмы до двигательного и сенсорного рецепторов) и включает разрушение миелина и пролиферацию шванновских клеток. После дегенерации проксимального отдела нерва его волокна образуют функциональные единицы регенерации, которые после восстановления анатомической целостности нерва (нейрорафии) прорастают со скоростью 1 мм/сутки в образованные шванновскими клетками полосы Бюгнера дистальной культи [1, 2]. Результаты восстановления движений и чувствительности конечности зависят от длительности периода повреждения нерва до операции его реконструкции, уровня повреждения



(проксимальные и дистальные по отношению к реиннервируемым структурам), природы и распространенности травмы, развившейся невротомы центрального отрезка и фиброза на протяжении дистального участка нервного ствола (что создает дополнительный диастаз после их иссечения), анатомии поврежденного нерва и применяемой техники оперативного вмешательства. При этом лучшие результаты лечения достигаются при отсроченных операциях (через 3–4 недели после полученной травмы), когда становится возможным достоверно определить реальный объем поражения нервного ствола [3–5].

При хирургической реконструкции нервов во многих случаях отмечено удовлетворительное восстановление двигательных или чувствительных функций [6]. У 20–30% пациентов имели место рецидивы проявления невропатий и даже отсутствие клинического эффекта их хирургического лечения. Наиболее эффективным методом усиления регенерации нерва является комбинация следующих четырех методов: 1) удаление факторов, ингибирующих рост аксонов; 2) обеспечение факторов, стимулирующих рост аксонов, таких как нейротрофические факторы; 3) трансплантация клеток-предшественников; 4) обеспечение пути, подходящего для роста аксонов [7]. Восстановительному процессу в значительной мере препятствует образование спаек между нервом и окружающими тканями, нередко имеет место образование рубцовой ткани внутри нервного ствола.

Когда прямая реконструкция без натяжения невозможна, для соединения поврежденного нерва используют аутооттрансплантаты: одиночные, кабельные, стволовые, межфасцикулярные, васкуляризированные. Донорами являются чувствительные кожные нервы: икроножный, латеральный предплечевой кожный нервы, передняя ветвь медиального предплечевого кожного нерва, дорсальный кожный участок локтевого нерва и поверхностный чувствительный участок лучевого нерва [8]. При восстановлении обширных повреждений тканей использование аутологичных трансплантатов икроножного нерва в настоящее время является «золотым стандартом», но с успехом всего у 50% пациентов. Желательно выполнять пластику нерва аутооттрансплантатом при следующих условиях: увеличение длины трансплантата на 10–15% относительно величины дефекта нерва (что исключает его натяжение при движении конечности), соответствие калибра фасцикулярных групп калибру аутооттрансплантата, кооптирование фасцикулярных групп в одну хирургическую группу на проксимальном отрезке для соответствия количества фасцикулярных групп дистального отрезка нервного ствола [9].

Альтернативой аутооттрансплантации нерва является применение аллотрансплантата от трупных доноров [10]. Аллогенная нервная ткань требует иммуносупрессивной терапии для предотвращения отторжения трансплантата. Эти процедуры включают подбор главного комплекса гистосовместимости, предварительную обработку аллотрансплантата (включая консервацию, лиофилизацию, замораживание-оттаивание, облучение), иммуносупрессию реципиента (циклоспорин А) и индукцию толерантности (устранение иммунокомпетентных Т-клеток). Иммуносупрессивное лечение не требуется при применении обработанных нервных аллотрансплантатов (децеллюляризованный внеклеточный матрикс и очищенный нервный трансплантат), криоконсервированных и облученных нервов [11–14]. Обычно их можно использовать только при небольших дефектах (<3 см) пальцевых нервов.

■ МЕТОДЫ ПРОФИЛАКТИКИ ФИБРОЗА В ХИРУРГИИ НЕРВОВ

Препятствием в регенерации нервов является образование послеоперационных спаек и фиброза. Используемые защитные материалы обеспечивают механическую поддержку и уменьшают рубцевание. Это мотивировало хирургов к выполнению операций изоляции оперированных нервов различными материалами, что позволяло создавать разделительный барьер между нервным стволом и окружающими тканями [15]. Лучшие результаты операций достигались при обертывании нерва тканями собственного организма. Для предотвращения послеоперационного фиброза тубулизацию нервов выполняли аутотрансплантатами из вен, синовиальных оболочек, жировых лоскутов и мышц [16–18]. Интимальный слой вены создавал скользящую поверхность для нерва. Васкуляризированные жировые лоскуты на ножке улучшали реваскуляризацию нервной ткани, уменьшали фиброз, предотвращали прилипание нерва к окружающим структурам и позволяли нерву скользить в его естественной среде. Разветвленная капиллярная сеть в жировой ткани помогала поддерживать шванновские клетки и другие клеточные компоненты, обеспечивая постоянный приток факторов роста. Присущая им биосовместимость значительно снижала риск иммунного отторжения. Кроме того, с течением времени в них происходило естественное рассасывание жира, что устраняло необходимость его хирургического удаления [19, 20]. Коллаген как естественный компонент внеклеточного матрикса обеспечивал каркас для прикрепления клеток, адгезии шванновских клеток, пролиферации и миграции, поддерживая выравнивание регенерирующих аксонов, а также обладал минимальной антигенностью. Подслизистая оболочка тонкой кишки свиньи обеспечивала благоприятную среду для заживления нервов. Она полностью разлагалась в течение 3 месяцев после применения. Успех повторных операций в виде изоляции нервов в карпальном канале отмечен в 63–100% наблюдений и кубитальном канале – в 42–100% наблюдений [21].

Хитозан, полученный из хитина, природного полисахарида из экзоскелетов ракообразных, является биоразлагаемым и биосовместимым материалом. Он уменьшает рубцевание и поддерживает миграцию шванновских клеток. Присущие хитозану антимикробные свойства дополнительно снижают риск инфекции. Эпинеуральный пластырь, полученный из эпинеурия человека, обеспечивал длительный защитный эффект, поддерживая заживление нерва без индукции иммунного ответа. Наложение его на место повреждения усиливало регенерацию нерва и его васкуляризацию. Биоразлагаемый гидрогель на растительной основе состоит из гиалуроновой кислоты и альгината. Недавние исследования установили его потенциал в усилении регенерации нервов после повреждения периферических нервов. Биоразлагаемые полимеры используют при изготовлении каркасов для тканевой инженерии нервной ткани, причем поликапролактон является наиболее широко изученным для применения в качестве обертываний для нервов. Гибридные синтетико-биологические обертки – нановолоконные мембраны, состоящие из поликапролактона, – показали значительный потенциал в воздействии на нейробиологические процессы в поврежденных нервах путем модуляции поляризации макрофагов и регулирования воспалительной среды [22].



■ ПРИМЕНЕНИЕ АМНИОТИЧЕСКОЙ МЕМБРАНЫ ПЛОДА ЧЕЛОВЕКА В ХИРУРГИИ НЕРВОВ КОНЕЧНОСТЕЙ

В условиях эксперимента на животных барьерным материалом для профилактики послеоперационного фиброза послужила амниотическая мембрана (АМ), которая уменьшала воспалительную реакцию, подавляла инфекции, ограничивала рост послеоперационных грануляций. Структурные характеристики АМ обеспечивали материальную основу для ее использования в тканевой инженерии нервной ткани. Мезенхимальные стволовые клетки пуповины человека обладают сильным потенциалом самообновления и мультидифференциации и могут быть индуцированы к дифференцировке в клетки Шванна, способствовать регенерации периферических нервов. В РНПЦ неврологии и нейрохирургии у пациентов с туннельными компрессионно-ишемическими невропатиями (КИН) срединного и локтевого нервов изучены клинические и электронейромиографические показатели восстановления их функций после хирургической декомпрессии и окутывания АМ для предотвращения рубцово-спаечного процесса в операционной ране.

АМ полупрозрачна, имеет толщину 0,02–0,05 мм и состоит из эпителия, метаболически активных кубовидных клеток с обильными микроворсинками, базальной мембраны, богатой коллагеном IV и VII типов, а также фибронектином, ламининами, гиалуроновой кислотой и аваскулярной стромой [23–25]. Амниотическая оболочка способна транспортировать воду, растворимые соединения, продуцировать факторы роста, такие как эпителиальный фактор роста, основной фактор роста фибробластов, фактор роста гепатоцитов, фактор роста кератиноцитов, а также факторы роста опухолей, которые эффективны в эпителизации и обладают противовоспалительным, антиангиогенным и антимикробным потенциалом [26]. Мембрана богата коллагеном, факторами роста и гликопротеинами. Регенеративный потенциал АМ усиливается содержащимися в ней противовоспалительными цитокинами; антифибротические и антибактериальные свойства АМ способствуют заживлению нервов и снижают частоту послеоперационных спаек. Одним из ключевых преимуществ АМ является отсутствие экспрессии человеческого лейкоцитарного антигена, что значительно снижает риск иммунного ответа. Она способствует васкуляризации и иммуномодуляции, еще больше улучшая восстановление нервов. Ее противовоспалительные и антифибротические свойства уменьшают периневральное рубцевание.

Консервация АМ плода человека приобретает все большую актуальность в современной регенеративной медицине и трансплантологии, поскольку обеспечивает длительное сохранение биологических свойств ткани при минимальной потере ее структурно-функциональных характеристик. Этот метод уже позволил сформировать банки АМ для последующего использования в офтальмологии, комбустиологии, дерматологии. Он также представляется перспективным для применения и в других клинических направлениях, где требуются высокоэффективные биоматериалы с выраженными противовоспалительными, противоспаечными и регенеративными свойствами. В условиях растущего спроса на безопасные и стандартизированные трансплантаты оптимизация технологий консервации становится важным научно-практическим направлением, повышающим доступность и качество биологических имплантатов.

Консервация в зависимости от используемой технологии может влиять на морфологию АМ, включая повреждение клеток, деструкцию межклеточного матрикса и снижение ее функциональной активности. Однако степень этих изменений зависит от методов консервации и размораживания. Замораживание и оттаивание могут привести к повреждению эпителиальных и стромальных клеток АМ, что проявляется в виде потери их целостности и апоптоза. Консервация может повлиять на адгезивные свойства мембраны, что будет снижать ее способность к прикреплению к раневой поверхности и способствует образованию рубцовой ткани. Изменения в клеточной структуре могут привести к снижению способности АМ содействовать процессам регенерации и заживления ран. Избирательное выживание или гибель определенных субпопуляций клеток АМ, например стволовых, может повлиять на клеточный состав и потенциал регенерации. Стволовые клетки, полученные из плацентарной оболочки, обладают потенциалом к дифференцировке в различные типы клеток и используются в медицине для регенерации и заживления тканей. Они имеют ряд преимуществ, таких как низкая иммуногенность, что снижает риск отторжения. Фибробласты АМ, предшественники соединительной ткани, присутствующие в амниотической оболочке плаценты, синтезируют коллаген, фибронектин и ламинин, необходимые для заживления ран. Они также производят различные факторы роста (EGF, bFGF, TGF и др.), способствующие регенерации тканей.

Проводилось исследование на 12 пациентах, которым после невролиза лучевого нерва на эпиневрйй вдоль поврежденного сегмента делали три или четыре продольных разреза по 1,0–1,5 см каждый и окутывали каждый сегмент АМ плода человека, содержащей мезенхимальные стволовые клетки пуповины, при этом клетки располагали на внутренней поверхности. Два конца АМ пришивали к эпиневрью [27]. Через 12 недель после трансплантации АМ более чем у 80% пациентов было явное увеличение мышечной силы, улучшение тактильной и болевой чувствительности. У пациентов контрольной группы улучшение наблюдалось только у 55–65% пациентов. Через 8 и 12 недель электрофизиологическая функция мышц в области, где преимущественно был поврежден лучевой нерв, значительно улучшилась в группе с трансплантацией, чем в контрольной группе.

Другими авторами в исследование были включены 30 пациентов с травмами периферических нервов верхней конечности в области запястья и дистальной части предплечья (срединный или локтевой нерв). После полного удаления невромы под микроскопическим контролем использовалась эпиневральная нейрорафия «конец в конец» с применением монофиламентных нейлоновых нитей 8-0. Нерв был обернут АМ толщиной от 0,2 до 0,5 мм [28]. В ходе последующего наблюдения через 12 месяцев проводилось сравнение результатов лечения. Восстановление функции нерва в обеих группах определялось на основе клинических данных и с использованием ЭНМГ. Объем невромы в восстановленном участке выявляли с помощью ультразвукового исследования. Функциональный результат определялся с помощью шкалы быстрой оценки функциональных нарушений руки, плеча и кисти (Quick DASH) в конце периода наблюдения. В группе с использованием обертывания нервов АМ у всех пациентов наблюдались регенерация и восстановление нервов. В контрольной группе у 5 пациентов (33,4%) не было восстановления нервов и отмечались функциональные и сенсорные нарушения.



■ СОБСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ АМНИОТИЧЕСКОЙ МЕМБРАНЫ

На основе разработанной экспериментальной унифицированной модели дозированной КИН нами изучена динамика морфологических изменений участков седалищного нерва животных (кроликов) в различные сроки после пересадки АМ плода человека. Наблюдавшаяся в первые недели местная воспалительная реакция через 3–4 месяца сменялась восстановлением структуры нерва, отсутствием признаков развития фиброза и рассасыванием АМ [29]. Полученные данные создали предпосылки для использования в нейрохирургической клинике разработанного нового метода лечения компрессионно-ишемических моновневропатий верхних конечностей с использованием аллогraftа амниотической мембраны (ААМ) для профилактики рубцово-спаечного процесса срединного и локтевого нервов [30].

Сотрудники Минского научно-практического центра хирургии, трансплантологии и гематологии обеспечили изготовление и хранение ААМ. После извлечения плода при выполнении планового кесарева сечения у рожениц из пуповинно-плацентарного комплекса АМ прецизионно отделялась от подлежащего хориона и разрезалась на лоскуты размером 30×40 мм, которые хранились в криоконсерванте при –80 °С. В нейрохирургической операционной ААМ извлекали из термоконтейнера, размораживали и многократно промывали физиологическим раствором. Пациента на операционном столе укладывали на спину. Выполняли анестезиологическое пособие с использованием проводниковой анестезии на внутреннем сегменте средней трети плеча или общей анестезии с применением внутривенных и ингаляционных лекарственных препаратов с целью обезболивания без использования миорелаксантов, чтобы обеспечить проведение интраоперационного нейромониторинга.

Использование ААМ для окутывания срединного нерва после его декомпрессии при синдроме запястного канала (СЗК) способствовало облегчению болевого синдрома с уменьшением баллов по ВАШ ($p=0,001$) и его нейропатического компонента по шкале LANSS ($p=0,003$), улучшению состояния пациентов по данным оценки тяжести симптомов заболевания (SSS) с помощью Бостонского опросника ($p=0,004$), а также восстановлению чувствительности в пальцах пораженной руки ($p=0,01$) по сравнению с операцией традиционной декомпрессии и невролиза (табл. 1).

Таблица 1

Клинические проявления синдрома запястного канала в основной группе и группе сравнения после лечения

Table 1

Clinical manifestations of carpal tunnel syndrome in the main and comparison groups after treatment

Показатель	Основная группа через 2,9±0,8 мес. после операции, n=32	Группа сравнения через 3,1±1,0 мес. после операции, n=25	Статистическая значимость различий
ВАШ, балл	1,0 (0; 2)	3,0 (3,0; 5,0)	U, $p=0,001$
LANSS, балл	3,5 (0; 5)	8,0 (7,0; 16,0)	U, $p=0,003$
SSS, балл	1,3 (1,2; 1,5)	2,5 (1,9; 3,0)	U, $p=0,004$
Нарушение чувствительности в пальцах пораженной руки, абс. (%)	14 (44)	20 (80)	χ^2 , $p=0,01$

По данным ЭНМГ, через $2,9\pm0,8$ мес. у пациентов с ААМ отмечалось уменьшение латентного периода дистального М-ответа ($p=0,0001$), возрастание амплитуды ПДЧН ($p=0,005$) и СПИ по чувствительным волокнам срединного нерва ($p=0,0003$). Через $6,4\pm0,9$ мес. наблюдали дальнейшее возрастание амплитуды ПДЧН ($p=0,001$) и СПИ по чувствительным волокнам срединного нерва ($p=0,01$); увеличилась амплитуда М-ответа на запястье ($p=0,004$) (табл. 2).

При ультразвуковом исследовании (УЗИ) срединного нерва спустя $2,9\pm0,8$ мес. после операции декомпрессии с применением ААМ у пациентов отмечено статистически значимое ($p=0,019$) уменьшение площади поперечного сечения срединного нерва. При этом наблюдалась тенденция к восстановлению волокнистой дифференцировки срединного нерва при повышении его эхогенности (табл. 3).

Через $3,2\pm1,3$ мес. после декомпрессии локтевого нерва и его окутывания ААМ у пациентов с синдромом кубитального канала наблюдалось достоверное снижение выраженности боли по ВАШ с $4,0$ ($3,0$; $5,0$) балла до 0 (0 ; $1,5$), $p=0,0002$, и LANSS с $13,0$ ($8,0$; $18,0$) балла до $8,0$ ($5,0$; $8,0$), $p=0,02$. В дооперационном периоде определялось увеличение площади поперечного сечения локтевого нерва на уровне медиального надмыщелка в среднем до $17,5$ ($15,9$; 22) мм^2 при норме $12\pm1,3$ мм^2 ($p<0,001$), через $3,2\pm1,3$ мес. после хирургического вмешательства с ААМ она уменьшилась до $16,0$ (12 ; 25). При выполнении ЭНМГ спустя $3,2\pm1,3$ мес. отмечалось достоверное увеличение СПИ по моторным волокнам на сегменте локтевой сгиб – нижняя треть плеча до $44,5\pm8,8$ м/с ($p=0,028$) относительно дооперационных значений ($35,7\pm11,3$),

Таблица 2
ЭНМГ-данные пациентов с КИН срединного нерва до и после хирургического лечения с применением ААМ, М $\pm$ SD

Показатель	Здоровые лица	Пациенты после декомпрессии нерва с его окутыванием ААМ			Статистическая значимость различий
		до операции (1)	через $2,9\pm0,8$ мес. после операции (2)	через $6,4\pm0,9$ мес. после операции (3)	
Латентный период дистального М-ответа, мс	$3,1\pm0,3$	$7,2\pm2,8$	$5,0\pm1,8$	$5,0\pm2,6$	$t, p_{\text{норма-1}}<0,001$ $t, p_{1-2}=0,0001$
Амплитуда М-ответа, запястье, мВ	$8,1\pm2,3$	$3,8\pm3,0$	$4,0\pm3,1$	$5,1\pm2,9$	$t, p_{\text{норма-1}}<0,001$ $t, p_{2-3}=0,004$
СПИ по моторным волокнам на сегменте запястье – локтевой сгиб, м/с	$56,3\pm4,4$	$42,8\pm15,0$	$46,9\pm5,9$	$50,7\pm6,5$	$t, p_{\text{норма-1}}<0,001$ $t, p_{1-2}=0,07$
Амплитуда ПДЧН, мкВ	$44,8\pm21,1$	$3,7\pm3,1$	$5,9\pm4,3$	$7,1\pm3,6$	$t, p_{\text{норма-1}}<0,001$ $t, p_{1-2}=0,005$ $t, p_{1-3}=0,001$ $t, p_{2-3}=0,01$
СПИ по чувствительно-му нерву, м/с	$62,2\pm6,8$	$20,5\pm16,2$	$32,3\pm15,6$	$39,1\pm4,2$	$t, p_{\text{норма-1}}<0,001$ $t, p_{1-2}=0,0003$ $t, p_{1-3}=0,01$

Таблица 3
Площадь поперечного сечения срединного нерва (по данным УЗИ) у пациентов до и спустя 3 месяца после хирургического лечения с применением ААМ (основная группа) и в группе сравнения, Ме (квартили)
Table 3
Cross-sectional area of the median nerve (according to ultrasound data) in patients before and 3 months after surgical treatment using AAM (main group) and in the comparison group, Me (quartiles)

Показатель	Здоровые лица	Основная группа		Группа сравнения	
		до операции	через 2,9±0,8 мес. после операции	до операции	через 3,1±1,0 мес. после операции
Площадь поперечного сечения нерва, мм ²	9,3±2,1	16 (13; 18) U, p<0,001	15,5 (14; 16,8) U, p<0,001 T, p=0,019	16 (14; 17) U, p<0,001	15 (14; 17) U, p<0,001

что свидетельствовало о тенденции к улучшению ЭНМГ-показателей оценки эффективности предложенного метода лечения пациентов. Утвержденный Министерством здравоохранения Республики Беларусь разработанный метод нейрохирургического лечения компрессионно-ишемических невропатий верхних конечностей с использованием аллогraftа амниотической мембраны (рег. № 046-0925 от 30.10.2025) доказал свою эффективность у 51 оперированного пациента по данным клинического, электрофизиологического и ультразвукового исследований, что предполагает его широкое внедрение в нейрохирургическую практику.

■ ПЛАНИРУЕМЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Консервация АМ должна обеспечивать длительное сохранение ее биологических свойств с минимальной потерей структурно-функциональных характеристик. Однако замораживание и оттаивание могут привести к повреждению эпителиальных и стромальных клеток АМ, что проявляется потерей их целостности и развитием апоптоза. Кριοконсервация может повлиять на адгезивные свойства АМ, снизить ее возможность к прикреплению к раневой поверхности и способствовать образованию рубцовой ткани, ухудшить ее возможности в содействии процессам регенерации. После кριοконсервации и размораживания в АМ отмечается наличие жизнеспособных фибробластов, что при ее имплантации или трансплантации в иммунонепривилегированную область реципиента приводит к воспалительной инфильтрации. До настоящего времени при объективной оценке биологического действия АМ в операционной ране после выполнения реконструкции поврежденного нервного ствола отсутствуют диагностические биохимические критерии механизмов неоваскуляризации и ремоделирования внеклеточного матрикса. В этом плане представляет интерес изучение маркера ремоделирования внеклеточного матрикса – тканевого ингибитора матричных металлопротеаз. Наконец, не разработан научно обоснованный метод хирургического лечения травм нервов конечностей путем применения АМ.

В наших дальнейших исследованиях планируется повысить эффективность нейрохирургического лечения пациентов с травмами периферических нервов после нейрорафии и трансплантации ААМ, усиливающего регенерацию нервных волокон. Будет разработана оптимальная технология консервации ААМ, которая позволит обеспечить сочетание структурной стабильности с наличием оптимального

соотношения коллагеновых и эластических волокон. Для реализации поставленных задач планируется изучить биохимические показатели воспалительного процесса, неоангиогенеза (VEGF-A) и маркера ремоделирования внеклеточного матрикса (TIMP-1) в крови пациентов до и после операций с использованием ААМ. С целью оценки функционального состояния нервно-мышечного аппарата конечностей пациентов будут использованы шкалы MRC, DASH, а также электрофизиологические (ЭНМГ) и ультразвуковые диагностические показатели восстановления травмированных нервов после нейрохирургических вмешательств.

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые в Республике Беларусь разработан метод нейрохирургического лечения компрессионно-ишемических невропатий верхних конечностей с использованием аллогraftа амниотической мембраны, который доказал свою эффективность в профилактике рубцово-спаечного процесса по данным клинического, электрофизиологического и ультразвукового исследований, что предполагает его широкое внедрение в нейрохирургическую практику. Планируются исследования по изучению возможности использования амниотической мембраны плода при нейрорафии и аутопластике травматических разрывов периферических нервов, что позволит улучшить функциональное восстановление конечностей и, соответственно, качество жизни пациентов.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Carriel V., Garzón I., Alaminos M., et al. Histological assessment in peripheral nerve tissue engineering. *Neural Regeneration Research*. 2014;9(18):1657–1660. doi: 10.4103/1673-5374.141798
2. Caceres Z.B., Peress L., Rameshwar P., et al. Pathophysiology of peripheral nerve injury: A brief review. *Neurosurgical Focus*. 2016;16(5):E1.
3. Seddighi A., Nikouei A., Seddighi A.S., et al. Peripheral nerve injury: A review article. *International Clinical Neuroscience Journal*. 2016;3(1):1–6.
4. Palispis W.A., Gupta R. Surgical repair in humans after traumatic nerve injury. *Exp. Neurol*. 2017;290:106–114.
5. Carvalho C.R., Oliveira J.M., Reis R.L. Modern trends for peripheral nerve repair and regeneration: beyond the hollow nerve guidance conduit. *Front. Bioeng. Biotechnol*. 2019;7:1–30.
6. Kemp S.W.P., Cederna P.S., Widha R. Comparative outcome measures in peripheral regeneration studies. *Experimental Neurology*. 2017;287:348–357.
7. Riccio M., Marchesini A., Pugliese P., et al. Nerve repair and regeneration. Biological tubulization limits and future perspectives. *J Cell Physiol*. 2018;1–14. doi: 10.1002/jcp.27299.
8. Matsuyama T., Mackay M., Midha R. Peripheral nerve repair and grafting technique. *Neurologia Medico-Chirurgica (Tokio)*. 2000;40:187–199.
9. Shezelev I.N. (2011) *Microsurgery of peripheral nerves*. Moscow. (in Russian)
10. Mackinnon S.E., Doolabh V.B., Novak C.B., et al. Clinical outcome following nerve allograft transplantation. *Plast. Reconstr. Surg*. 2001;107:1419–1429.
11. Squintani G., Bonetti B., Paolin A., et al. Nerve regeneration across cryopreserved allografts from cadavers donors. *J. Neurosurg*. 2013;119:907–913.
12. Brooks D.N., Weber R.V., Chao J.D., et al. Processed nerve allografts for peripheral nerve reconstruction. *Microsurgery*. 2012;32:1–14.
13. Safa B., Buncke G. Autograft substitutes: Conduits and processed nerve allografts. *Hand Clinics*. 2016;32(2):127–140.
14. Thrumble T.E., Shon F.G. The physiology of nerve transplantation. *Hand Clinics*. 2000;16:105–122.
15. Siemenow M., Uygar S., Ozturk C., et al. Techniques and materials for peripheral nerve regeneration. *Microsurgery*. 2013;33:318–328.
16. Leuzzi S., Armenio A., Leone L., et al. Repair of peripheral nerve with vein wrapping. *Giornale di Chirurgia*. 2014;35(3–4):101–106.
17. Karthick K., Nanda R., Stornald J. Recurrent carpal tunnel syndrome – analysis of the impact of patient personality in altering functional outcome following a vascularized hypothenar pad flap. *J. Hand Microsurg*. 2012;4:1–6.
18. Sud V., Tucci M.A., Freeland A.E., et al. Absorptive properties of synovium harvested from the carpal tunnel. *Microsurgery*. 2002;22:316–319.
19. Noor S., Rajaratnam V., Jose R. The adipofascial flap based on an ulnar artery perforator for recurrent carpal tunnel syndrome. *J. Hand Surg. Eur. Vol*. 2012;37:895.
20. Goitz R.J., Stechen J.B. Microvascular omental transfer for the treatment of severe recurrent median neuritis of the wrist. *Plast. Reconstr. Surg*. 2005;115:163–171.
21. Soltani A.M., et al. Revision decompression and collagen nerve wrap for recurrent and persistent compression neuropathies of the upper. *Ann. Plast. Surg*. 2014;72(5):572–578.
22. Peng S.W., et al. Nerve guidance conduit with a hybrid structure of a PLGA microfibrillar bundle wrapped in a micro/nanostructured membrane. *International Journal of Nanomedicine*. 2017;12:421–432.



23. Li W., He H., Chen Y.T., et al. Reversal of myofibroblasts by amniotic membrane stromal extract. *Journal of Cellular Physiology*. 2008;215:657–664.
24. Mamede A.C., Carvalho M.J., Abrantes A.M., et al. Amniotic membrane. From structure and functions to clinical applications. *Cell and Tissue Research*. 2012;349:447–458.
25. Tosi G., Massaro-Giordano M., Caparossi A. Amniotic membrane transplantation in ocular surface disorders. *Journal of Cellular Physiology*. 2005;202:849–851.
26. Niknejad H., Peirovi H., Jordani M., et al. Properties of the amniotic membrane for potential use in tissue engineering. *European Cells and Materials*. 2008;15:88–99.
27. Li Z., Qin H., Feng Z., et al. Human umbilical cord mesenchymal stem cell-loaded amniotic membrane for the repair of radial nerve injury. *Neural Regen Res*. 2013;8(36):3441–3448. doi: 10.3969/j.issn.1673-5374.2013.36.010
28. Shahraki S.S., Yavari M., Tabrizi A. Effect of Amniotic Membrane Nerve Wrapping in Final Results of Traumatic Peripheral Nerve Repair. *World J. Plast. Surg*. 2022;11(2):90–94.
29. Nechipurenko N., Korotkevich E., Rakhmonov E., et al. Amniotic membrane transplant use in surgical treatment of median nerve tunnel neuropathy: an experimental and clinical study. *Neurology and Neurosurgery Eastern Europe*. 2025;15(1):8–23. (in Russian)
30. Korotkevich E.A., Nechipurenko N.I., Rahmonov E.Sh., et al. Surgical treatment of tunnel neuropathy of upper extremities with amnion graft nerve wrapping. *Medical news*. 2026;2:51–57. (in Russian)