

doi: 10.25005/2074-0581-2022-24-1-123-131

## РОЛЬ И ЗНАЧЕНИЕ ПЕРЕНОСА НЕРВА ПРИ НЕВОССТАНОВИМЫХ ПОВРЕЖДЕНИЯХ НЕРВОВ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ

Г.М. ХОДЖАМУРАДОВ<sup>1</sup>, Р.Н. БЕРДИЕВ<sup>2</sup>, А.А. ДАВЛАТОВ<sup>1,3</sup>, Х.И. САТТОРОВ<sup>1</sup>, М.Ф. ОДИНАЕВ<sup>1</sup>, Б.А. ОДИНАЕВ<sup>3</sup><sup>1</sup> Республиканский научный центр сердечно-сосудистой хирургии, Душанбе, Республика Таджикистан<sup>2</sup> Кафедра нейрохирургии, Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибни Сино, Душанбе, Республика Таджикистан<sup>3</sup> Кафедра хирургических болезней № 2 им. акад. Н.У. Усманова, Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибни Сино, Душанбе, Республика Таджикистан**Цель:** показать возможности переноса нерва при невосстановимых повреждениях нервов верхних конечностей.**Материал и методы:** произведён анализ различных вариантов переноса нерва (операции невротизации) у 32 больных с повреждением нервов верхней конечности в возрасте от 22 до 59 лет (27 мужчин, 5 женщин). Повреждения нервов локализовались на уровне предплечья (18), плеча (11) и плечевого сплетения (3). В 22 случаях целью операции было восстановление чувствительности, в 10 – восстановление движений. Для чувствительной невротизации чаще использовали кожную ветвь лучевого нерва, тыльную ветвь локтевого нерва, поверхностную ветвь локтевого нерва, кожные нервы предплечья. Двигательную невротизацию осуществляли за счёт ветвей переднего межкостного нерва, торакодорсального нерва, мышечных ветвей локтевого нерва, межрёберных нервов, коротких ветвей плечевого и мышечных ветвей шейного сплетения.**Результаты:** отдалённые результаты наблюдались в сроки от 1 года до 8 лет. Чувствительность восстановилась до степени S3 (защитная чувствительность), а двигательные результаты достигли M3-M4.**Заключение:** перенос нерва при невосстановимых повреждениях нервов позволяет расширить возможности реконструктивной хирургии и открывает новые горизонты для проведения научных исследований с целью совершенствования современных концепций хирургического лечения повреждений периферических нервов.**Ключевые слова:** травма нерва верхней конечности, невосстановимые повреждения нервов верхней конечности, невротизация, перемещение нерва, перенос нерва.**Для цитирования:** Ходжамуратов ГМ, Бердиев РН, Давлатов АА, Сатторов ХИ, Одинаев МФ, Одинаев БА. Роль и значение переноса нерва при невосстановимых повреждениях нервов верхней конечности. *Вестник Авиценны*. 2022;24(1):123-31. Available from: <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2022-24-1-123-131>

## NERVE TRANSFER IN IRREVERSIBLE INJURIES OF UPPER LIMB NERVE: CURRENT KNOWLEDGE AND FUTURE PERSPECTIVE

G.M. KHODZHAMURADOV<sup>1</sup>, R.N. BERDIEV<sup>2</sup>, A.A. DAVLATOV<sup>1,3</sup>, KH.I. SATTOROV<sup>1</sup>, M.F. ODINAEV<sup>1</sup>, B.A. ODINAEV<sup>3</sup><sup>1</sup> Republican Scientific Center for Cardiovascular Surgery, Dushanbe, Republic of Tajikistan<sup>2</sup> Department of Neurosurgery, Avicenna Tajik State Medical University, Dushanbe, Republic of Tajikistan<sup>3</sup> Department of Surgical Diseases № 2 named after Academician N.U. Usmanov, Avicenna Tajik State Medical University, Dushanbe, Republic of Tajikistan**Objective:** To share the experience of using nerve transfer in the irreparable upper limb nerve damage.**Methods:** An analysis was made of various transfers (neurotization surgery) in 32 patients with upper limb nerve damage aged 22 to 59 years (27 males, 5 females). Nerve injuries were localised at the level of the forearm (18), shoulder (11) and brachial plexus (3). Surgical repair was aimed at restoring sensitivity and movement in 22 and 10 cases, respectively. For sensitive neurotization, the cutaneous branches of the radial nerve (RN), the dorsal branch of the ulnar nerve (UN), the superficial branch of the UN, and the cutaneous nerves of the forearm were more often used. Motor neurotization was achieved using the branches of the anterior interosseous nerve (AIN), thoracodorsal nerve (TDN), muscular branches of the UN, intercostal nerves (ICNs), and terminal and muscular branches of the brachial and cervical plexuses, respectively.**Results:** Long-term outcomes were evaluated between years 1 and 8. Sensitivity was restored to S3 grade (protective sensitivity), and motor strength reached M3-M4 grades according to British Medical Research Council (MRC) scale.**Conclusion:** Nerve transfer in irreparable nerve damage allows expanding the boundaries of reconstructive surgery. Furthermore, it opens new horizons for future scientific research to improve modern surgical treatment concepts of peripheral nerve injuries.**Keywords:** Upper limb nerve injury, irreparable damage to the upper limb nerves, neurotization, nerve displacement, nerve transfer.**For citation:** Khodzhamuradov GM, Berdiev RN, Davlatov AA, Sattorov KH, Odinaev MF, Odinaev BA. Rol' i znachenie perenosa nerva pri nevosstanovimykh povrezhdeniyakh nervov verkhney konechnosti [Nerve transfer in irreversible injuries of upper limb nerve: Current knowledge and future perspective]. *Vestnik Avitsenny [Avicenna Bulletin]*. 2022;24(1):123-31. Available from: <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2022-24-1-123-131>

## ВВЕДЕНИЕ

Повреждение нервов верхней конечности (ПНВК) по сей день остаётся одним из самых актуальных вопросов реконструктивной хирургии, травматологии, ортопедии и нейрохирургии, о чём свидетельствуют постоянные публикации новых научных исследований в этом направлении [1-6].

Несмотря на достигнутые значительные успехи в хирургическом лечении ПНВК, существуют случаи, когда общепринятые реконструктивные операции в функциональном плане остаются прогностически неблагоприятными и малообещающими. И по сей день ряд авторов, придерживаясь традиционной хирургической тактики, предпочитает ортопедическую коррекцию кисти при непоправимых повреждениях нервов, результаты которой всё же остаются субоптимальными [2, 7].

Другими основными недостатками нынешних стратегий лечения считаются отсроченная реиннервация при тяжёлых травмах, требующих аутотрансплантации нервов; функциональная неполноценность используемых для перемещения сухожилий и аутонервных трансплантатов, а также длительное и, порою, необоснованное проведение консервативной терапии вместо ранней хирургической коррекции [8].

Согласно сообщениям последних лет в настоящее время при микрохирургическом лечении травм проксимальных отделов нервов верхней конечности специалисты начали больше руководствоваться современной концепцией «from distal to proximal», подразумевающей восстановление нервной регуляции как можно ближе к парализованной мышце [9-11].

В связи с этим, всё больше проявляется интерес к операции по невротизации на дистальном уровне по технологии «nerve transfer», однако многие аспекты этой, относительно новой, концепции требуют проведения дальнейших исследований по детальному изучению различных её особенностей, чтобы рекомендовать для широкого внедрения в клиническую практику [12-14]. Следует отметить, что в русскоязычной литературе технологию «nerve transfer» по сей день называют по-разному: «операция невротизации», «переключение нерва» или же «перенос нерва» [1-3, 7, 15].

Всё вышеизложенное свидетельствует о появлении новых горизонтов для проведения научных исследований по оптимизации новых концепций при хирургическом лечении ПНВК.

## ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Показать возможности переноса нерва при невосстановимых повреждениях нервов верхних конечностей.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал настоящего исследования включает 32 больных с ПНВК, которым в отделении восстановительной хирургии и отделении реконструктивной и пластической микрохирургии Республиканского научного центра сердечно-сосудистой хирургии выполнена операция переключения нерва. Возраст больных варьировал от 22 до 59 лет, мужчин было 27, женщин – 5. ПНВК чаще всего носили обширный характер, вследствие получения травмы различными вращающимися частями станков (27 больных – 84,4%). В 3 случаях (9,4%) имели место последствия огнестрельного ранения и в 2 (6,2%) случаях – последствия резаных ран. Давность получения травмы на момент операции составила от 2 до 26 месяцев. Повреждения нервов локализовались на уровне предплечья в 18 случаях, на уровне плеча – в 11 и на уровне плечевого сплетения – в 3 случаях. В 7 случаях (21,9%) больные до поступле-

## INTRODUCTION

As evidenced by the multiple publications of new scientific studies on this issue, upper extremity peripheral nerve injuries (UEPNI) remain among the most pressing problems in reconstructive surgery, traumatology, orthopaedics, and neurosurgery [1-6].

Despite the significant advances in the surgical treatment of UEPNI, functional outcomes of the conventional reconstructive operations remain suboptimal. Thus, some authors, adhering to traditional surgical tactics, prefer orthopaedic correction of the hand in case of irreparable nerve damage, which outcomes remain less promising [2, 7].

Other major disadvantages of current treatment strategies are delayed reinnervation in severe injuries requiring autologous nerve transplantation, functional deficiency of tendons and autologous nerve grafts used for transplantation, as well as prolonged and sometimes inappropriate conservative therapy instead of early surgical correction [8].

According to recent reports, at present, in the microsurgical treatment of injuries of the proximal nerves of the upper limb, specialists have begun to be more guided by the modern concept of "from distal to proximal", which implies the restoration of nervous regulation as close as possible to the paralysed muscle [9-11].

There is more and more interest in neurotization procedures at the distal level using the "nerve transfer" technique. However, many aspects of this relatively new concept require further research on its various aspects to recommend it for widespread implementation in clinical practice [12-14]. In modern literature, variable terminologies are used for the nerve transfer technique, including neurotization procedure, nerve coaptation or nerve transfer [1-3, 7, 15].

All the above indicates the emergence of new horizons for scientific research on optimising new concepts in the surgical treatment of UEPNI.

## PURPOSE OF THE STUDY

To share the experience of using nerve transfer in the irreparable upper limb nerve damage.

## METHODS

The functional outcomes of 32 patients with UEPNI who underwent nerve transfer surgery at the Department of Reconstructive Surgery and Department of Reconstructive and Plastic Microsurgery of the Republican Center for Cardiovascular Surgery, Dushanbe, Tajikistan, were analysed. There were 27 males and 5 females aged 22 to 59 years. UEPNI were most often extensive due to injury from various rotating machine parts, with 27 (84.4%) patients affected. There were effects of gunshot and cut wounds in 3 cases (9.4%) and 2 (6.2%) cases, respectively. Time from injury to surgery ranged between 2 and 26 months. In 18, 11, and 3 cases, nerve injuries were localised at the forearm, shoulder, and brachial plexus levels, respectively. In 7 cases (21.9%), patients received conservative treatment before admission to the clinic to improve nerve trunk regeneration. In 20 and 12 cases, the indications for neurotization were irreparable damage to the nerve trunks and an unfavourable prognosis for achieving positive long-term outcomes, respectively. In the cate-



**Рис. 1** Аутонервная пластика СН с эпиневральными швами дистального конца поверхностной ветви ЛоН в бок аутонервного трансплантата

**Fig. 1** Autologous nerve grafting of MN with epineural sutures of the distal end of the superficial branch of the UN to the side of the graft

ния в клинику получали консервативное лечение для улучшения регенерации нервного ствола. Показанием к выполнению переключения нерва, с целью невротизации, были невосстановимые повреждения нервных стволов в 20 случаях и неблагоприятный прогноз достижения положительных отдалённых результатов – в 12 случаев. Следует отметить, что под невосстановимым повреждением нервов мы подразумеваем случаи, когда невозможно произвести прямую реконструкцию нервного ствола или же когда путём реконструкции самого повреждённого нерва невозможно достичь восстановления утраченных функций.

Операции были направлены на улучшение сенсорно-трофического состояния денервированной зоны в 22 случаях и коррекцию двигательного дефицита конечности – в 10 наблюдениях. Оперативные вмешательства по переключению нерва для улучшения чувствительности выполнены в нижней трети предплечья. При этом в качестве нерва «невротизатора» использовали кожную ветвь лучевого нерва (ЛуН), тыльную ветвь локтевого нерва (ЛоН), ветви кожных нервов предплечья (табл. 1).

Как видно из табл. 1, в 7 случаях имело место одновременное невосстановимое повреждение срединного нерва (СН) и ЛоН с большим дефектом между их концами, что не позволяло реконструировать оба нервных ствола. В таких случаях у 2 больных произведена аутонервная пластика СН, и наложены эпиневральные швы дистального конца поверхностной ветви ЛоН в бок аутонервного трансплантата СН (рис.1).

gory of irreparable nerve damage cases, we included cases when it is impossible to perform a direct nerve trunk repair or when it is impossible to restore nerve functions by damaged nerve repair.

In 22 and 10 cases, reconstructive surgeries aimed to improve denervated areas' sensory-trophic and upper limb motor functions, respectively. In addition, nerve transfers to improve sensitivity were performed in the lower third of the forearm. At the same time, a cutaneous branch of the radial nerve (RN), the dorsal branch of the ulnar nerve (UN) and the branches of the cutaneous nerves of the forearm were selected as the neurotizers (Table 1).

As shown in Table 1, in 7 cases, there was simultaneous irreparable damage to the median nerve (MN) and UN with a significant defect between their ends, which did not allow repair of both nerve trunks. In such cases, autologous nerve grafting of the MN was performed in 2 patients, and epineural sutures were placed from the distal end of the superficial branch of the UN to the side of the graft (Fig. 1).

To restore motor functions, neurotization was performed as close as possible to the denervated muscle. At the same time, the selection of nerves to be used as the neurotizers was based on minimising the damage associated with the denervation of a functioning muscle. Considering that, not all branches entering the muscle were used for neurotization, while the minimum number of uncrossed bundles in the muscle was left. In these cases, branches of the anterior interosseous nerve (AIN), muscular branches of the UN, intercostal nerves (ICNs), thoracodorsal nerve (TDN), terminal branches of the brachial plexus (BP), and muscular branches of the cervical plexus (CP) were used as the neurotizers (Table 2).

**Таблица 1** Чувствительная невротизация при невосстановимых ПНВК

Повреждённый нерв	Нерв «невротизатор»					Всего
	Кожная ветвь ЛуН	Тыльная ветвь ЛоН	Поверхностная ветвь ЛоН	Кожные нервы предплечья	Прочие варианты невротизации	
Срединный	4	2	-	3	-	9
ЛоН	2	1	-	2	1	6
Срединный и ЛоН	1	1	3	-	2	7
Итого	7	4	3	5	3	22

**Table 1** Sensitive neurotization in irreparable UEPNI

Injured nerve	The nerve used as a neurotizer					Total
	Cutaneous branch of RN	The dorsal branch of the UN	The superficial branch of the UN	Cutaneous nerves of the forearm	Other variants of neurotization	
Median	4	2	-	3	-	9
UN	2	1	-	2	1	6
Median and UN	1	1	3	-	2	7
Total	7	4	3	5	3	22

Для коррекции двигательного нарушения невротизация произведена максимально близко к денервированной мышце. При этом выбор нерва «невротизатора» осуществлялся из соображений наименьшего ущерба, связанного с денервацией функционирующей мышцы. С этой целью для переключения брались не все веточки, входящие в ворота мышцы, а оставлялось минимальное число не пересечённых пучков в мышце. В качестве «невротизаторов» в этих случаях использовались ветви переднего межкостного нерва, мышечные веточки ЛоН, межрёберные нервы, торакодорсальный нерв, короткие ветви плечевого сплетения и мышечные ветви шейного сплетения (табл. 2).

Как следует из табл. 2, большое значение имело прицельно направленное переключение нерва «невротизатора» к веточке нерва, входящего в конкретную мышцу, функцию которого планировалось возобновить. В большинстве случаев (6 случаев из всех 10) переключение нерва выполнялось с использованием тонких аутонервных трансплантатов, в связи с расположением коаптурируемых концов нерва «невротизатора» и невротизируемого нерва на определённом расстоянии (рис. 2-4).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Функциональные результаты оперативных вмешательств изучены в сроки от одного года до 8 лет после операции. Достижение аксонов конечного звена (кожная зона иннервации нерва реципиента) происходило в общеизвестные сроки, соответствующи-

As shown in Table 2, of great importance was the accurate coaptation of the donor nerve to a target branch of the nerve entering a specific muscle, the function of which was aimed to be restored. Therefore, in most cases (6 cases out of 10 in total), neurotization was performed using thin autologous nerve grafts due to the location of the coapted ends of the donor nerve and the target nerve at a certain distance (Fig. 2-4).

### RESULTS AND DISCUSSION

The postoperative functional outcomes of surgical interventions were studied between years 1 and 8. The axons reached the distal nerve end (the cutaneous innervation of the targeted nerve) and occurred within a timeframe corresponding to the average rate of axonal regeneration (1 mm per day). The H. Milleli scale was used to assess the recovery of sensory-trophic and motor functions. According to the scale, in all 22 cases, after sensitive neurotization, a satisfactory result was achieved, corresponding to the level of protective sensitivity or S3 grade, according to the British Medical Research Council criteria. Long-term motor function outcomes were within M3-M4 grades, corresponding to a satisfactory result on the H. Milleli scale.

Based on literature data review, in traumatic UEPNI, clinical outcomes after conventional surgical techniques, including tendon-muscle transposition and autologous nerve grafting, are con-

Таблица 2 Двигательная невротизация при невосстановимых ПНВК

Повреждённый нерв	Невротизируемая мышца	Нерв «невротизатор»						Всего
		Ветви переднего межкостного нерва	Торакодорсальный нерв	Мышечные веточки ЛоН	Межрёберные нервы	Короткие ветви плечевого сплетения	Мышечные ветви шейного сплетения	
СН	m. opponens policis	-	-	1	-	-	-	1
ЛуН	m. extensor digitorum longus	-	-	1	-	-	-	1
ЛоН	mm. interossei & lumbricalis	2	-	-	-	-	-	2
Мышечно-кожный	m. biceps brachii	-	2	-	-	1	-	3
Плечевое сплетение	m. deltoideus	-	-	-	2	-	1	3
Итого		2	2	2	2	1	1	10

Table 2 Motor neurotization in irreparable UEPNI

Injured nerve	Neurotized muscle	The nerve used as a neurotizer						Total
		Branches of AIN	TDN	Muscular branches of the UN	ICNs	Terminal branches of the BP	Muscular branches of the CP	
MN	m. opponens policis	-	-	1	-	-	-	1
RN	m. extensor digitorum longus	-	-	1	-	-	-	1
UN	mm. interossei & lumbricalis	2	-	-	-	-	-	2
Musculocutaneous	m. biceps brachii	-	2	-	-	1	-	3
BP	m. deltoideus	-	-	-	2	-	1	3
Total		2	2	2	2	1	1	10



**Рис. 2** Выделение двигательной ветви СН к мышцам возвышения большого пальца



**Fig. 2** Exposure of the motor branch of MN to muscles of the thenar eminence

щие средней скорости прорастания аксонов (1 мм в сутки). Для оценки восстановления сенсорно-трофической и двигательной функций использовали шкалу H. Millesi, согласно которой во всех 22 случаях после чувствительной невротизации достигнут удовлетворительный результат, который соответствует уровню защитной чувствительности или S3, согласно критериям Британского совета медицинских исследований. Двигательные отдаленные результаты были в пределах M3-M4, соответствующие также удовлетворительному результату шкале H. Millesi.

Что касается данных литературы, то при травматических ПНВК клинические результаты после использования общепринятых оперативных методик, включая сухожильно-мышечную транспозицию и аутотрансплантацию нерва, противоречивы и чаще бывают неоптимальными. В большинстве случаев считается, что после пересечения нерва даже экстренная его реконструкция позволяет достичь лишь степени защитной чувствительности S3 и двигательного результата до степени M4 (восстановление утраченного движения с преодолением умеренного сопротивления) [15-17].

Используемые на сегодняшний день операции по переносу нервов – это вариант хирургического лечения прогностически неблагоприятных ПНВК. При правильной постановке показаний и тщательном выполнении они имеют больше преимуществ перед сухожильно-мышечной транспозицией и аутотрансплантацией нервов [8].

Очень подробный и тщательный обзор литературы по вопросу переключения нерва опубликовали Domeshek L et al (2018), где всесторонне рассмотрены многие стороны этой, относительно молодой, концепции хирургического лечения повреждений нервов [5].

Операция по переключению нерва включает извлечение нервных ветвей от соседнего нерва и их перенаправление к дистальному концу поврежденного нерва. Функционирующие ветви, расположенные рядом с нефункционирующим нервом-реципиентом, являются идеальными донорами, если функция донорского нерва избыточна или менее важна. Аксоны регенерируют по новому пути, а моторные центры коры головного мозга впоследствии перестраивают себя, чтобы адаптироваться к новым функциям реиннервированной мышцы. Этот метод обеспечивает ближайший источник нерва для более быстрого восстановления,

**Рис. 3** Невротизация *m. opponens pollicis* мышечной ветвью ЛОН



**Fig. 3** Neurotization of *m. opponens pollicis* using muscular branches of UN



**Fig. 4** Neurotization of the motor portion of the UN using the branch of the AIN

**Рис. 4** Невротизация двигательной порции ЛОН ветвью переднего межкостного нерва

troversial and often suboptimal. Thus, in most cases, it is believed that after nerve transection, even with its emergency reconstruction, it is possible to achieve only protective sensitivity S3 and a motor function result improved to M4 (movement against moderate resistance) [15-17].

Current nerve transfer procedures are a surgical option for treating prognostically unfavourable UEPNI. With thorough consideration of indications and performance of correct surgery, they have more advantages over tendon-muscle transposition and nerve allografting [8].

A very detailed and thorough literature review on nerve transferring was published by Domeshek L et al (2018), where many aspects of this relatively young concept of surgical repair of nerve injuries were comprehensively considered [5].

Neurotization involves removing nerve branches from an adjacent nerve and redirecting them to the distal end of the damaged nerve. Functioning nerve branches adjacent to a non-functioning recipient nerve are ideal donors if the function of the donor's nerve is redundant or less important. The axons regenerate along the new path, and the motor centres of the cerebral cortex

поскольку регенерация происходит ближе к целевому участку по ходу реципиентного нерва. В связи с этим, операция по переключению нервов может устранить многие недостатки других хирургических методов [8].

На сегодняшний день считается, что невротизация представляет собой универсальный метод реконструктивной техники, которая может быть использована в различных ситуациях. При тяжёлых высоких ПНВК это может быть единственным вариантом хирургической реконструкции [12].

В последние годы начали применять способ усиленной регенерации при высоких повреждениях ЛОН. При этом сначала восстанавливают ЛОН в месте повреждения, а затем переключают мышечную ветвь квадратного пронатора на глубокую ветвь ЛОН на уровне запястья. Считается, что этот метод значительно уменьшает атрофию собственных мышц кисти и обеспечивает лучшее функционирование кисти в целом. Эту технику авторы пропагандируют как рутинную стратегию в клинической практике [6].

На наш взгляд, переключение нерва или операции по невротизации дистального отрезка (сегмента) повреждённого нерва, являющиеся альтернативой «традиционным» способам хирургического лечения, позволяют пересмотреть категорию повреждённых нервов конечностей, которые на сегодняшний день считаются застарелыми. Мы считаем, что основными показаниями для невротизации являются:

#### 1. Абсолютные:

- Невозможность прямой реконструкции функционально важного повреждённого нерва.
- Прогностически неблагоприятное повреждение нервного ствола в плане запоздалого достижения регенерирующих аксонов конечной мышечной цели.

#### 2. Относительные:

- Необходимость в сокращении общей длительности лечения и реабилитации по настойчивой просьбе больного для скорейшего улучшения состояния и функций повреждённой конечности.
- Неудовлетворительный отдалённый результат ранее проведённой реконструкции повреждённого нерва.

Оптимальный результат после травмы нерва можно достигнуть путём сочетания различных хирургических вариантов реконструкции. В этом аспекте перенос или перемещение нерва является логическим продолжением ранее проведённых восстановления или аутотрансплантации нерва, и является новой ступенью в реконструкции повреждённых нервов [5, 16, 17].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, перенос нерва с целью невротизации дистального сегмента повреждённого нерва, который считается невосстановимым или его восстановление является бесперспективным, позволяет расширить возможности реконструктивной хирургии и открывает новые возможности для дальнейшей оптимизации тактики хирургического лечения повреждения периферических нервов и проведения новых научных и клинических исследований.

subsequently rewire themselves to adapt to the new functions of the reinnervated muscle. This technique provides the nearest nerve source for faster recovery as regeneration occurs closer to the target along the course of the recipient's nerve. In this regard, nerve transfer surgery can eliminate many of the shortcomings of other surgical methods [8].

Today it is believed that neurotization is a universal reconstructive technique used in various situations. For example, in severe high UEPNI, this may be the only option for surgical repair [12].

In recent years, a method of enhanced regeneration has begun to be used for high UN injuries. In this case, UN is first restored at the injury site, and then the motor branch of the pronator quadratus is bridged to the deep branch of UN at the wrist level. It is believed that this method significantly reduces the atrophy of hand muscle and provides a better functioning of the hand. Therefore, the authors suggest implementing this technique as a routine procedure in clinical practice [6].

In our opinion, nerve transfer or neurotization of the distal segment of the damaged nerve, which is an alternative to the conventional surgical treatment methods, allows us to make the paradigm shift to using the category of peripheral nerve injuries (PNI) as chronic injuries. We believe that the main indications for neurotization are as follows:

#### I. Absolute:

- The impossibility of direct reconstruction of a functionally crucial damaged nerve.
- Prognostically unfavourable damage to the nerve trunk in terms of a delay in reaching the distal muscle by regenerating axons.

#### II. Relative:

- The need to shorten the total treatment and rehabilitation time followed the insistent request of the patient to improve the condition and restore the functions of the injured limb as soon as possible.
- Unsatisfactory long-term outcomes of the previous repair of the damaged nerve.

Optimal outcomes after nerve injury can be achieved by combining different surgical reconstruction options. In this aspect, nerve transfer is a logical continuation of the previously performed nerve repair or allografting techniques and is a new step toward further improvement of reconstructing damaged nerves [5, 16, 17].

## CONCLUSION

Neurotization of the distal segment of the damaged nerve, which is considered irreparable, or its restoration is unpromising, considerably expands reconstructive surgery boundaries. In addition, it opens new opportunities for further optimisation of surgical treatment of peripheral nerve damage and further scientific and clinical studies.

## ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

1. Бехтерев АВ, Ткаченко СА, Машталов ВД. Тактика при повреждениях нервов верхней конечности. Главный врач юга России. *Травматология, нейрохирургия*. 2017;57(4):28-32.
1. Bekhterev AV, Tkachenko SA, Mashtalov VD. Taktika pri povrezhdeniyakh nervov verkhney konechnosti [Tactics for injuries of the nerves of the upper limb]. Glavnyy vrach yuga Rossii. *Travmatologiya, neyrokhirurgiya*. 2017;57(4):28-32.
2. Коротченко ЕН, Семёнова ЖБ. Селективная невротизация срединного нерва у молодых пациентов с осложнённой позвоночно-спинномозговой травмой на уровне CV-CVII. *Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко*. 2020;84(6):59-66. Available from: <https://doi.org/10.17116/neiro20208406159>
2. Korotchenko EN, Semyonova ZhB. Selektivnaya nevrotizatsiya sredinnogo nerva u molodykh patsientov s oslozhnyonnoy pozvonochno-spinnomozgovoy travmoy na urovne CV-CVII [Selective neurotization of the median nerve in young patients with complicated spinal cord injury at the level of CV-CVII]. *Voprosy neyrokhirurgii imeni N.N. Burdenko*. 2020;84(6):59-66. Available from: <https://doi.org/10.17116/neiro20208406159>
3. Горбунов НС, Кобер КВ, Протасюк ЕН, Ростовцев СИ, Самотёсов ПА. Анатомическое обоснование транспозиции грудоспинного нерва при невротизации повреждённых нервов плечевого сплетения. *Бюллетень сибирской медицины*. 2021;20(1):31-8. Available from: <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2021-1-31-38>
3. Gorbunov NS, Kober KV, Protasyuk YeN, Rostovtsev SI, Samotyosov PA. Anatomicheskoe obosnovanie transpozitsii grudospinnogo nerva pri nevrotizatsii povrezhdyonnykh nervov plechevogo spleteniya [Anatomical substantiation of the transposition of the thoracodorsal nerve in case of neurotization of damaged nerves of the brachial plexus]. *Byulleten' sibirskoy meditsiny*. 2021;20(1):31-8. Available from: <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2021-1-31-38>
4. Chuang DC. Distal nerve transfer: Perspective of reconstructive microsurgery. *J Reconst Microsurg*. 2018;34(9):675-7. Available from: <https://doi.org/10.1055/s-0038-1639369>
4. Chuang DC. Distal nerve transfer: Perspective of reconstructive microsurgery. *J Reconst Microsurg*. 2018;34(9):675-7. Available from: <https://doi.org/10.1055/s-0038-1639369>
5. Domeshek LF, Novak CB, Patterson JM, Hasak JM, Yee AB, Kahn LC, Mackinnon SE. Nerve transfers – a paradigm shift in the reconstructive ladder. *Plastic and Reconstructive Surgery - Global Open*. 2019;7(6):e2290. Available from: <https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000002290>
5. Domeshek LF, Novak CB, Patterson JM, Hasak JM, Yee AB, Kahn LC, Mackinnon SE. Nerve transfers – a paradigm shift in the reconstructive ladder. *Plastic and Reconstructive Surgery - Global Open*. 2019;7(6):e2290. Available from: <https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000002290>
6. Ding W, Li X, Pan J, Zhang P, Yin S, Zhou X, et al. Repair method for complete high ulnar nerve injury based on nerve magnified regeneration. *Therapeutics and Clinical Risk Management*. 2020;16:155-68.
6. Ding W, Li X, Pan J, Zhang P, Yin S, Zhou X, et al. Repair method for complete high ulnar nerve injury based on nerve magnified regeneration. *Therapeutics and Clinical Risk Management*. 2020;16:155-68.
7. Ходжамурадов ГМ. Операции невротизации при невосстановимых дефектах нервных стволов верхних конечностей. *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова*. 2012;4:118-22.
7. Khodzhamuradov GM. Operatsii nevrotizatsii pri nevostanovimyykh defektakh nervnykh stvolov verkhnikh konechnostey [Operations of neurotization for irreparable defects of the nerve trunks of the upper extremities]. *Rossiyskiy mediko-biologicheskii vestnik imeni akademika I.P. Pavlova*. 2012;4:118-22.
8. Karamanos E, Rakitin I, Dream S, Siddiqui A. Nerve transfer surgery for penetrating upper extremity injuries. *Perm J*. 2018;22:17-156. Available from: <https://doi.org/10.7812/TPP/17-156>
8. Karamanos E, Rakitin I, Dream S, Siddiqui A. Nerve transfer surgery for penetrating upper extremity injuries. *Perm J*. 2018;22:17-156. Available from: <https://doi.org/10.7812/TPP/17-156>
9. Bergmeister KD, Schönle P, Böcker AH, Kronlage M, Godel T, Daeschler S. Improved diagnostics and therapeutic decision making in traumatic peripheral nerve lesions using MR-neurography. *Handchir Mikrochi. Plas. Chir*. 2018;50(4):232-40. Available from: <https://doi.org/10.1055/s-0044-101833>
9. Bergmeister KD, Schönle P, Böcker AH, Kronlage M, Godel T, Daeschler S. Improved diagnostics and therapeutic decision making in traumatic peripheral nerve lesions using MR-neurography. *Handchir Mikrochi. Plas. Chir*. 2018;50(4):232-40. Available from: <https://doi.org/10.1055/s-0044-101833>
10. Chuang DC. Distal nerve transfer: Perspective of reconstructive microsurgery. *J Reconst Microsurg*. 2018;34(9):675-7. Available from: <https://doi.org/10.1055/s-0038-1639369>
10. Chuang DC. Distal nerve transfer: Perspective of reconstructive microsurgery. *J Reconst Microsurg*. 2018;34(9):675-7. Available from: <https://doi.org/10.1055/s-0038-1639369>
11. Emamhadi M, Andalib S. The first experience of triple nerve transfer in proximal radial nerve palsy. *World Neurosurg*. 2018;109:351-5. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.10.033>
11. Emamhadi M, Andalib S. The first experience of triple nerve transfer in proximal radial nerve palsy. *World Neurosurg*. 2018;109:351-5. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.10.033>
12. Foroni L, Siqueira MG, Martins RS, Oliveira GP. The intercostobrachial nerve as a sensory donor for hand reinnervation in brachial plexus reconstruction is a feasible technique and may be useful for restoring sensation. *Arq Neuropsiquiatr*. 2017;75(7):439-45. Available from: <https://doi.org/10.1590/0004-282X20170073>
12. Foroni L, Siqueira MG, Martins RS, Oliveira GP. The intercostobrachial nerve as a sensory donor for hand reinnervation in brachial plexus reconstruction is a feasible technique and may be useful for restoring sensation. *Arq Neuropsiquiatr*. 2017;75(7):439-45. Available from: <https://doi.org/10.1590/0004-282X20170073>
13. Kaiser R, Waldauf P, Haninec P. Types and severity of operated supraclavicular brachial plexus injuries caused by traffic accidents. *Acta Neurochirurgica (Wien)*. 2012;154(7):1293-7. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00701-012-1291-7>
13. Kaiser R, Waldauf P, Haninec P. Types and severity of operated supraclavicular brachial plexus injuries caused by traffic accidents. *Acta Neurochirurgica (Wien)*. 2012;154(7):1293-7. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00701-012-1291-7>
14. Malalasekera A, Beneragama T, Kanesu S, Sahathevan V, Jayasekara R. Extra and intramuscular distribution of the thoracodorsal nerve with regard to nerve reconstruction surgeries. *J Reconst Microsurg*. 2016;32(5):358-60. Available from: <https://doi.org/10.1055/s-0036-1579541>
14. Malalasekera A, Beneragama T, Kanesu S, Sahathevan V, Jayasekara R. Extra and intramuscular distribution of the thoracodorsal nerve with regard to nerve reconstruction surgeries. *J Reconst Microsurg*. 2016;32(5):358-60. Available from: <https://doi.org/10.1055/s-0036-1579541>
15. Журавлёв СА, Голубев ИО. Варианты невротизаций при повреждениях плечевого сплетения и нервов верхней конечности. Обзор литературы. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2015;4:77-82.
15. Zhuravlyov SA, Golubev IO. Varianty nevrotizatsiy pri povrezhdeniyakh plechevogo spleteniya i nervov verkhney konechnosti. Obzor literatury [Variants of neurotization in injuries of the brachial plexus and nerves of the upper limb. Literature review]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova*. 2015;4:77-82.
16. Morris M, Brogan DM, Boyer MI, Dy CJ. Trends in nerve transfer procedures among board-eligible orthopedic hand surgeons. *Journal of Hand Surgery Global Online*. 2021;3:24-9.
16. Morris M, Brogan DM, Boyer MI, Dy CJ. Trends in nerve transfer procedures among board-eligible orthopedic hand surgeons. *Journal of Hand Surgery Global Online*. 2021;3:24-9.
17. Маликов МХ, Хасанов МА, Мирзобеков ХФ, Сатторов ХИ. Некоторые аспекты диагностики и хирургического лечения повреждений нервных стволов верхней конечности. *Вестник Авиценны*. 2020;22(4):613-9. Available from: <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2020-22-4-613-619>
17. Malikov MKh, Khasanov MA, Mirzobekov KhF, Sattorov KhI. Nekotorye aspekty diagnostiki i khirurgicheskogo lecheniya povrezhdeniy nervnykh stvolov verkhney konechnosti [Some aspects of diagnosis and surgical treatment of injuries of the nerve trunks of the upper limb]. *Vestnik Avitsenny [Avicenna Bulletin]*. 2020;22(4):613-9. Available from: <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2020-22-4-613-619>

**И** СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Ходжамурадов Гафур Мухаммадмухсинович**, доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник отделения восстановительной хирургии, Республиканский научный центр сердечно-сосудистой хирургии

Researcher ID: F-4112-2018

ORCID ID: 0000-0002-7095

SPIN-код: 1726-7169

E-mail: gafur@tojikiston.com

**Бердиев Рустам Намозович**, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой нейрохирургии Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибни Сино

ORCID ID: 0000-0002-4804-1931

Author ID: 909287

SPIN-код: 6410-5833

E-mail: rnamozzoda@mail.ru

**Давлатов Абдумалик Абдулхаквич**, кандидат медицинских наук, больничный ординатор отделения реконструктивной и пластической микрохирургии, Республиканский научный центр сердечно-сосудистой хирургии; ассистент кафедры хирургических болезней № 2 им. акад. Н.У. Усманова, Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибни Сино

Researcher ID: AAF-6440-2022

Scopus ID: 21933830600

ORCID ID: 0000-0003-2776-074X

SPIN-код: 3766-9641

Author ID: 998715

E-mail: davlatov.abdumalik@mail.ru

**Саторов Хабибullo Изатуллоевич**, очный аспирант Республиканского научного центра сердечно-сосудистой хирургии

ORCID ID: 0000-0002-2891-0570

SPIN-код: 9244-3489

Author ID: 1066984

E-mail: habibullo.sattorov0009@mail.ru

**Одинаев Мирали Файзуллоевич**, больничный ординатор отделения восстановительной хирургии, Республиканский научный центр сердечно-сосудистой хирургии

Researcher ID: C-5172-2019

ORCID ID: 0000-0002-5361-1724

SPIN-код: 5388-9704

E-mail: mirali67@mail.ru

**Одинаев Баходур Аvezович**, докторант PhD кафедры хирургических болезней № 2 им. акад. Н.У. Усманова, Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибни Сино

ORCID ID: 0000-0002-9613-2467

SPIN-код: 4147-6409

E-mail: medicodinaev@mail.ru

**Информация об источнике поддержки в виде грантов, оборудования, лекарственных препаратов**

Финансовой поддержки со стороны компаний-производителей лекарственных препаратов и медицинского оборудования авторы не получили

**Конфликт интересов:** отсутствует

**✉ АДРЕС ДЛЯ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ:**

**Ходжамурадов Гафур Мухаммадмухсинович**

доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник отделения восстановительной хирургии, Республиканский научный центр сердечно-сосудистой хирургии

734003, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Санои, 33

Тел.: +992 (918) 421194

E-mail: gafur@tojikiston.com

**И** AUTHOR INFORMATION

**Khodzhamuradov Gafur Mukhammadmukhsinovich**, Doctor of Medical Sciences, Leading Researcher of the Department of Reconstructive Surgery, Republican Scientific Center for Cardiovascular Surgery

Researcher ID: F-4112-2018

ORCID ID: 0000-0002-7095

SPIN: 1726-7169

E-mail: gafur@tojikiston.com

**Berdiev Rustam Namozovich**, Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Neurosurgery, Avicenna Tajik State Medical University

ORCID ID: 0000-0002-4804-1931

Author ID: 909287

SPIN: 6410-5833

E-mail: rnamozzoda@mail.ru

**Davlatov Abdumalik Abdulkhakovich**, Candidate of Medical Sciences, Hospital Resident of the Department of Reconstructive and Plastic Microsurgery, Republican Scientific Center for Cardiovascular Surgery; Assistant of the Department of Surgical Diseases № 2 named after Academician N.U. Usmanov, Avicenna Tajik State Medical University

Researcher ID: AAF-6440-2022

Scopus ID: 21933830600

ORCID ID: 0000-0003-2776-074X

SPIN: 3766-9641

Author ID: 998715

E-mail: davlatov.abdumalik@mail.ru

**Sattorov Khabibullo Izatulloevich**, Postgraduate Student, Republican Scientific Center for Cardiovascular Surgery

ORCID ID: 0000-0002-2891-0570

E-mail: habibullo.sattorov0009@mail.ru

**Odinaev Mirali Fayzulloevich**, Hospital Resident of the Department of Reconstructive Surgery, Republican Scientific Center for Cardiovascular Surgery

Researcher ID: C-5172-2019

ORCID ID: 0000-0002-5361-1724

SPIN: 5388-9704

E-mail: mirali67@mail.ru

**Odinaev Bakhodur Avezovich**, PhD Student, Department of Surgical Diseases № 2 named after Academician N.U. Usmanov, Avicenna Tajik State Medical University

ORCID ID: 0000-0002-9613-2467

SPIN: 4147-6409

E-mail: medicodinaev@mail.ru

**Information about support in the form of grants, equipment, medications**

The authors did not receive financial support from companies manufacturing medications and medical equipment

**Conflicts of interest:** The authors have no conflicts of interest

**✉ ADDRESS FOR CORRESPONDENCE:**

**Khodzhamuradov Gafur Mukhammadmukhsinovich**

Doctor of Medical Sciences, Leading Researcher of the Department of Reconstructive Surgery, Republican Scientific Center for Cardiovascular Surgery

734003, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Sanoi str., 33

Tel.: +992 (918) 421194

E-mail: gafur@tojikiston.com



## ВКЛАД АВТОРОВ

Разработка концепции и дизайна исследования: ХГМ, БРН  
Сбор материала: ДАА, СХИ, ОБА  
Статистическая обработка данных: ДАА, СХИ  
Анализ полученных данных: ХГМ, БРН, ОМФ  
Подготовка текста: ДАА, ОМФ, ОБА  
Редактирование: ХГМ, БРН  
Общая ответственность: ХГМ

*Поступила* 14.02.22

*Принята в печать* 31.03.22

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conception and design: KhGM, BRN  
Data collection: DAA, SKhI, OBA  
Statistical analysis: DAA, SKhI  
Analysis and interpretation: KhGM, BRN, OMF  
Writing the article: DAA, OMF, OBA  
Critical revision of the article: KhGM, BRN  
Overall responsibility: KhGM

*Submitted* 14.02.22

*Accepted* 31.03.22