

Дж. А. Бертелли, К. П. Такка, Э. К. В. Дуартэ, М. Ф. Чицони, Х. Дуартэ

## ПЕРЕСАДКА ВЕТВЕЙ ПОДМЫШЕЧНОГО НЕРВА В РЕКОНСТРУКЦИИ РАЗГИБАНИЯ В ЛОКТЕВОМ СУСТАВЕ ПРИ ТЕТРАПЛЕГИИ: АНАТОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХИРУРГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

J. A. Bertelli, C. P. Tacca, E. C. W. Duarte, M. F. Ghizoni, H. Duarte

## TRANSFER OF AXILLARY NERVE BRANCHES TO RECONSTRUCT ELBOW EXTENSION IN TETRAPLEGICS: A LABORATORY INVESTIGATION OF SURGICAL FEASIBILITY

*Департамент ортопедической хирургии Госпиталя Governador Celso Ramos (Florianopolis)*

*Департамент анатомии Federal University (Florianopolis, Бразилия)*

© Бертелли Дж. А., Такка К. П., Дуартэ Э. К. В., Чицони М. Ф., Дуартэ Х.

Повреждение спинного мозга в области шеи (С6) сопровождается выпадением функции разгибания локтевого сустава и нуждается в реконструкции. Традиционно реконструкцию разгибания локтевого сустава осуществляли пересадкой мышц, что давало незначительное улучшение этой функции. Мы выдвинули гипотезу, что результаты реиннервации разгибателя могут быть лучше, чем пересадка соседних мышц. Нами было проведено анатомическое исследование ветвей подмышечного нерва, идущих к малой круглой мышце и задним отделам дельтовидной мышцы как возможных донорских структур для двигательной реиннервации трехглавой мышцы плеча (трицепс). На 8 фиксированных формалином трупах осуществляли препаровку подмышечного нерва и его ветвей к малой круглой мышце и задним пучкам дельтовидной мышцы, двигательных ветвей лучевого нерва к длинной и медиальной головкам трицепса. На 2 свежих трупах мы симулировали хирургическую технологию пересадки ветвей подмышечного нерва (ветви к малой круглой мышце либо задней дельтовидной ветви) для реиннервации длинной головки трицепса (1) и на соединение с торакодорзальным нервом (2). Примечательно, что вышеуказанные ветви подмышечного нерва можно легко и без натяжения переместить до моторных ветвей трицепса и торакодорзального нерва.

**Ключевые слова:** *тетраплегия, подмышечный нерв, локтевой сустав.*

In spinal cord injuries at the C6 level, elbow extension is lost and needs reconstruction. Traditionally, elbow extension has been reconstructed by muscle transfers, which improve function only moderately. We have hypothesized that outcomes could be ameliorated by nerve transfers rather than muscle transfers. We anatomically investigated nerve branches to the teres minor and posterior deltoid as donors for transfer to triceps motor branches. In eight formalin-fixed cadavers, the axillary nerve, the teres minor branch, the posterior deltoid branch, the triceps long and upper medial head motor branches, and the thoracodorsal nerve were dissected bilaterally, their diameters measured and their myelinated fibers counted. To simulate surgery, using an axillary approach in two fresh cadavers, we transferred the teres minor or the posterior deltoid branch to the triceps long head and to the thoracodorsal nerve. The posterior division of the axillary nerve gave off the teres minor motor branch and then the branch to the posterior deltoid, terminating as the superior lateral brachial cutaneous nerve. The diameters of the teres minor motor branch, posterior deltoid, triceps long and upper medial head branches, and the thoracodorsal nerve all were ~2 mm, with minimal variation. The nerves varied little in their numbers of myelinated fibers, being consistently about 1,000. Via an axillary approach, either the teres minor or the posterior deltoid branch could be transferred directly to the thoracodorsal nerve or to triceps branches without any tension.

**Key words:** *tetraplegia, n. axillaris, elbow.*

УДК 616.616.833.341.6-089.843:616.727.3-009.11

### ВВЕДЕНИЕ

Повреждение спинного мозга в области шеи (С6) сопровождается выпадением функции

разгибания локтевого сустава, которая нуждается в реконструкции. Традиционно реконструкцию разгибания локтевого сустава осуществляли пересадкой мышц, что давало незначительное

улучшение этой функции. Мы выдвинули гипотезу, что результаты реиннервации разгибателя могут быть лучше, чем пересадка соседних мышц. Нами было поведено анатомическое исследование ветвей подмышечного нерва, идущих к малой круглой мышце и задним отделам дельтовидной мышцы как возможных донорских структур для двигательной реиннервации трехглавой мышцы плеча (трицепс). На восьми фиксированных формалином трупах осуществляли препарирование подмышечного нерва и его ветвей к малой круглой мышце и задним пучкам дельтовидной мышцы, двигательных ветвей лучевого нерва — к длинной и медиальной головкам трицепса. Кроме того, с обеих сторон препарировали торакодорзальные нервы, измеряли их диаметр и изучали их волоконный состав (число миелиновых волокон). На двух свежих трупах мы симулировали хирургическую технологию пересадки ветвей подмышечного нерва (ветви к малой круглой мышце либо задней дельтовидной ветви) для реиннервации длинной головки трицепса [1] и на соединение с торакодорзальным нервом [2]. После прохождения подмышечного нерва через заднюю стенку подмышечной впадины он отдает двигательную ветвь к малой круглой мышце и ветвь — к задним отделам дельтовидной мышцы, заканчиваясь в подкожной клетчатке наружной поверхности плеча в виде superior lateral brachial cutaneous nerve. Диаметр двигательных ветвей подмышечного нерва к малой круглой мышце, к дельтовидной мышце, а также двигательных ветвей лучевого нерва к длинной и медиальной головкам трицепса, торакодорзального нерва был в пределах 2 мм. Эти нервы не имеют больших различий по количеству содержащихся в них миелиновых нервных волокон (около 1000). Примечательно, что две вышеуказанные ветви подмышечного нерва можно легко и без натяжения переместить до моторных ветвей трицепса и торакодорзального нерва.

Переломы и дислокации в шейном отделе позвоночника нередко сопровождаются повреждением спинного мозга. Наиболее часто это повреждение происходит на уровне С6. У этих пациентов остаются сохранными функция плечевого сустава и сгибание в локтевом суставе, однако разгибание в локтевом суставе отсутствует либо резко ослаблено. Несмотря на сохранение разгибания в области запястья, функция захвата резко ослаблена, т. к. имеется паралич сгибателей и разгибателей большого пальца других пальцев кисти либо их очень ослабленная функция (2-я группа по Международной классификации функции

мышц при тетраплегии) [1]. В настоящее время только в США проживает 100 000 пациентов с тетраплегией [2]. Пациенты-тетраплегички борются за свою «независимость», в которой восстановление функции верхних конечностей является приоритетной в реабилитационном лечении [3]. Процедура пересадки сухожилий показана для восстановления базисных движений верхней конечности, улучшающих способность ухаживать за собой, самостоятельно питаться, самостоятельно себя катетеризировать, поднимать объекты, писать, плавать и водить автомобиль [4, 5]. Для пациента приоритетной для выполнения всех этих функций является реконструкция функции разгибания локтевого сустава, которая затем становится хорошей базой для последующей реконструкции функции кистевого захвата [1, 6]. Редко, но это очень важно — восстановление возможности собственного передвижения на инвалидной коляске. Разумеется, такой прогресс возможен только при хорошей (сильной) функции разгибания в локтевом суставе, сохранности функции широчайшей мышцы спины с обеих сторон, что улучшает функцию плечевых суставов и стабилизирует торс [7]. Следующий общепринятый метод — пересадка задней порции дельтовидной мышцы или двуглавой мышцы в положение трицепса; огромное большинство пациентов только восстанавливают достаточную силу сопротивляться силе тяжести [6]. Следующий этап связан с результатами анатомических исследований по разработке новых технологий в реконструкции плечевого нервного сплетения [8, 9] которые мы удачно внедрили в свою клиническую практику реабилитации тетраплегиков — это наша оригинальная концепция «дистальных нервных трансферов» для восстановления разгибания большого и других пальцев кисти путем пересадки n. supinator в n. interosseus posterior [10].

В данной работе мы приводим результаты анатомических исследований возможности пересадки моторных ветвей подмышечного нерва, идущих к малой круглой мышце и задним пучкам дельтовидной мышцы, в моторные нервы трехглавой мышцы плеча. Суть данной работы — в анатомическом обосновании возможности реиннервации трицепса при повреждении спинного мозга на уровне С6. При этом функция малой круглой мышцы и задних пучков дельтовидной мышцы сохраняется, поскольку их мотонейроны находятся выше уровня повреждения спинного мозга. Трицепс в этом случае парализован, поскольку его мотонейроны находятся дистальнее

места повреждения спинного мозга и они потеряли супраспинальный контроль.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Восемь фиксированных в формалине и два свежих трупа человека были использованы для анатомических исследований. Специальным разрезом в подмышечной ямке (с обеих сторон) выполняли доступ к подмышечному нерву и двигательным ветвям лучевого нерва, идущим к трицепсу. Подмышечную вену идентифицировали вместе с сухожилием широчайшей мышцы спины. Выделение подмышечного нерва начинали на уровне медиального края широчайшей мышцы спины. Головка плечевой кости была надежным ориентиром в этой работе. До того момента как окончательно идентифицировать подмышечный нерв, находили *a. circumflexa humeri posterior*. Лучевой нерв идентифицировали сразу кпереди от сухожилия широчайшей мышцы спины, а затем находили двигательные ветви лучевого нерва к трицепсу. Для выделения ветвей подмышечного нерва сначала верифицировали широчайшую мышцу спины, большую круглую мышцу, длинную головку трицепса, т.е. мышцы, отходящие от лопатки и плечевой кости. С помощью калипера измеряли расстояние между подмышечным нервом (в месте его входа в четырехстороннее отверстие) и медиальным краем сухожилия широчайшей мышцы спины, расстояние между моторной ветвью к малой круглой мышце и моторной ветвью к дельтовидной мышце (*n. deltoideus posterior*), а также расстояние между местом входа в мышцу заднего дельтовидного нерва и задним краем дельтовидной мышцы. Кроме того, измеряли диаметр заднего дельтовидного нерва, моторной ветви к малой круглой мышце, торакодorzального нерва и моторных ветвей к длинной и медиальной головкам трицепса. В завершение измеряли длину моторных ветвей подмышечного нерва и забирали образцы этих нервов для гистологического исследования (заливка в парафин, окраска поперечных срезов гематоксилином и эозином). Подсчитывали число миелиновых нервных волокон в различных нервных ветвях с использованием окулярной сетки; различия в количестве миелиновых волокон оценивали методом вариационной статистики. Статистически достоверными считались различия, если  $P < 0,05$ . Результаты выражались как средняя  $\pm$  SD.

Вторым шагом в нашем исследовании была работа на двух свежих трупах с целью симуляции

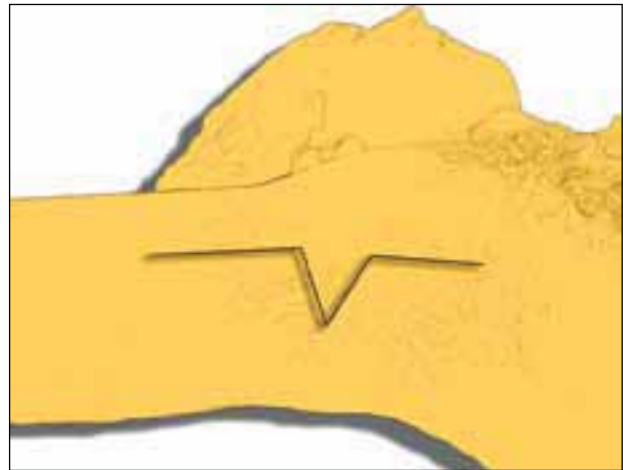


Рис. 1. Оперативный доступ к ветвям подмышечного нерва

новой хирургической процедуры *in vitro*. Хотя оперативные доступы к самому стволу подмышечного нерва были известны [11], наша задача состояла в необходимости выйти к его двигательным ветвям, направляющимся к малой круглой мышце и задним пучкам дельтовидной мышцы, пересечь их в самом дистальном участке, переместить к двигательным ветвям лучевого нерва (длинная головка трицепса) либо к тракодorzальному нерву (рис. 1).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Подмышечный нерв является последней ветвью заднего пучка плечевого нервного сплетения (C5), тогда как сам задний пучок непосредственно продолжается в лучевой нерв (C6–C8, Th1). Нерв находится на расстоянии  $49,6 \pm 14,3$  мм медиальнее сухожилия широчайшей мышцы спины. В пределах подмышечной ямки подмышечный нерв можно найти в центре треугольника, образованного медиально — подлопаточной артерией, латерально — сухожилием широчайшей мышцы спины и краниально (cephalad) — задней артерией, огибающей плечевую кость (рис. 2). Вдоль латерального края подлопаточной мышцы подмышечный нерв последовательно делится на две ветви. На расстоянии  $12,7 \text{ мм} \pm 2 \text{ мм}$  от своего начала задняя ветвь подмышечного нерва отдает ветвь к малой круглой мышце. На  $13 \text{ мм} \pm 2,4 \text{ мм}$  дистальнее предыдущей ветви отходит ветвь, которая затем делится на две: двигательную — к задним пучкам дельтовидной мышцы, чувствительную — как *n. cutaneus brachii lateralis superior*, выходящую под кожу между

задним краем дельтовидной и мышцы и длинной головкой трицепса (рис. 3). Моторная ветвь малой круглой мышцы достигает ее передней или боковой поверхности (проксимальной порции), проходя в тесном контакте с длинной головкой трицепса и латеральным краем подлопаточной мышцы (рис. 4). Ветвь подмышечного нерва к задним пучкам дельтовидной мышцы появляется более латерально, на 1–2 см дистальнее сухожилия длинной головки трицепса (рис. 5).

Моторная ветвь к дельтовидной мышце проникает в нее в точке, расположенной в  $38 \pm 8$  мм от начала заднего края дельтовидной мышцы. В среднем длина моторной ветви к малой круглой мышце составляет  $18 \pm 5$  мм, длина ветви к заднему краю дельтовидной мышцы —  $19 \pm 6$  мм. Средний диаметр моторной ветви к малой круглой мышце —  $2,5 \pm 0,7$  мм, а ветви к задним пучкам дельтовидной мышцы —  $1,8 \text{ мм} \pm 0,7 \text{ мм}$  (рис. 3). Диаметр и число миелиновых нервных волокон

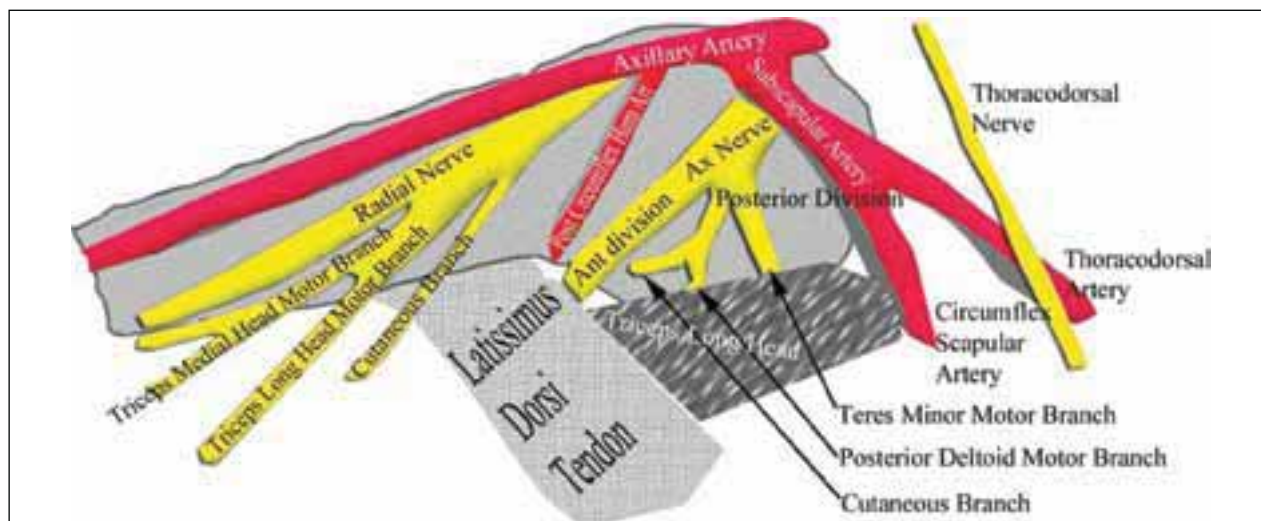


Рис. 2. Схема расположения лучевого и подмышечного нервов в правой подмышечной ямке

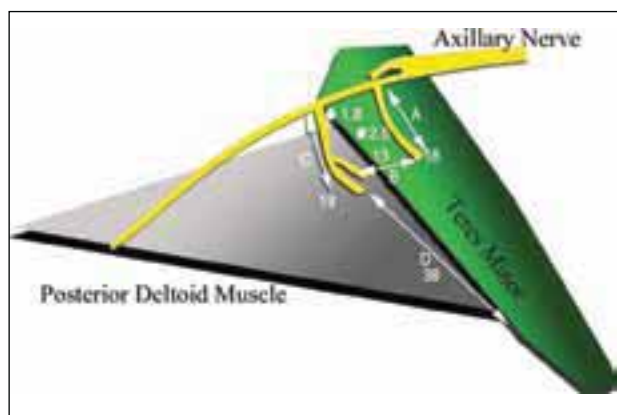


Рис. 3. Схематическое представление задней ветви подмышечного нерва и ее деления: А — средняя длина моторной ветви к малой круглой мышце (мм); В — среднее расстояние между моторными ветвями к малой круглой мышце и дельтовидной мышце (мм); С — средняя длина моторной ветви к дельтовидной мышце (мм); D — среднее расстояние между задним краем дельтовидной мышцы и точкой вхождения в нее моторной ветви подмышечного нерва. Кружками обозначен диаметр моторных ветвей к малой круглой и дельтовидной мышцам

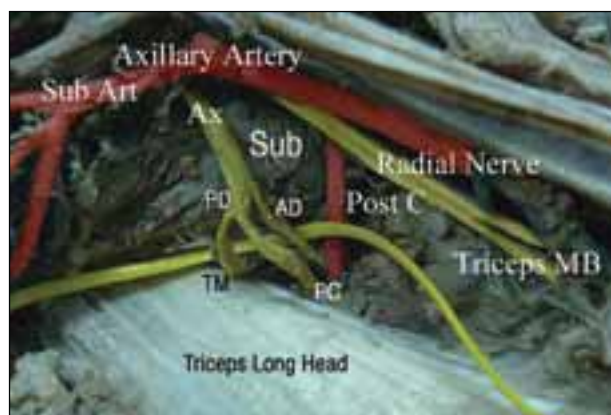


Рис. 4. Взаимоотношение между задним делением подмышечного нерва (PD) и сухожилием длинной головки трицепса в левой подмышечной ямке. Показана близость расположения моторной ветви к малой круглой мышце (ТМ), к сухожилию длинной головки трицепса и латеральному краю подлопаточной мышцы (Sub); AD — переднее деление подмышечного нерва; PC — ветвь к заднему краю дельтовидной мышцы и коже вокруг дистальной порции дельтовидной мышцы; Post C — задняя, огибающая плечевую кость артерия; Triceps MB — моторные ветви лучевого нерва к длинной и медиальной головкам трицепса; Sub Art — подлопаточная артерия

в моторных ветвях к малой круглой мышце, задним пучкам дельтовидной мышцы, длинной головке трицепса, медиальной головке трицепса, торакодорзальном нерве сведены в табл. 1. Статистически значимого различия в количестве миелиновых нервных волокон в перечисленных нервах нет. На двух свежих трупах выполнена симуляция хирургической операции трансфера моторных ветвей подмышечного нерва (к малой круглой мышце и задним пучкам дельтовидной мышцы) к моторным ветвям, иннервирующим длинную головку трицепса и широчайшую мышцу спины. Оказалось, что совершенно без натяжения удается выполнить нейрорафию конец-в-конец. При этом различия между

донорскими и реципиентными нервами в части количества миелиновых нервных волокон минимальны (рис. 6).

**ОБСУЖДЕНИЕ**

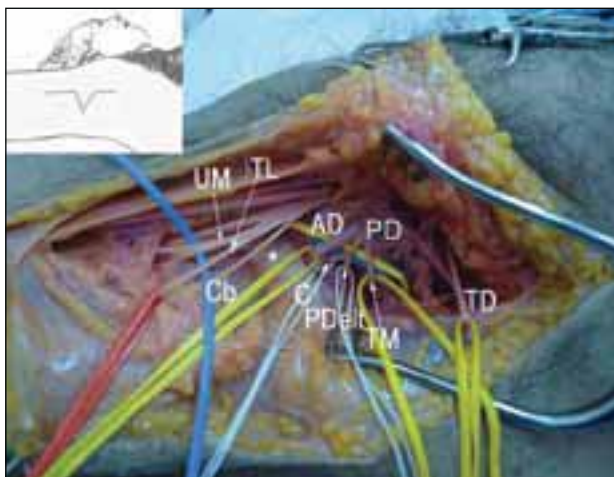
*АНАТОМИЧЕСКИЕ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ НАХОДКИ В ОТНОШЕНИИ ВЕТВЕЙ ПОДМЫШЕЧНОГО НЕРВА*

После своего появления на уровне латерального края подлопаточной мышцы нерв делится на две ветви. Одна из задних ветвей направляется к малой круглой мышце. Эта ветвь находится в близком соседстве с длинной головкой трицепса и латеральным краем подлопаточной мышцы. Задняя дельтовидная ветвь подмышечного нерва и ветвь к малой круглой мышце (моторные ветви), как и кожная ветвь — *n. cutaneus brachii lateralis superior* — являются производными общего ствола подмышечного нерва. Эта последовательность отхождения ветвей от подмышечного нерва была описана Uz et al. [12]. На всех наших 10 препаратах (трупы взрослых людей, препаровка подмышечной впадины с обеих сторон)

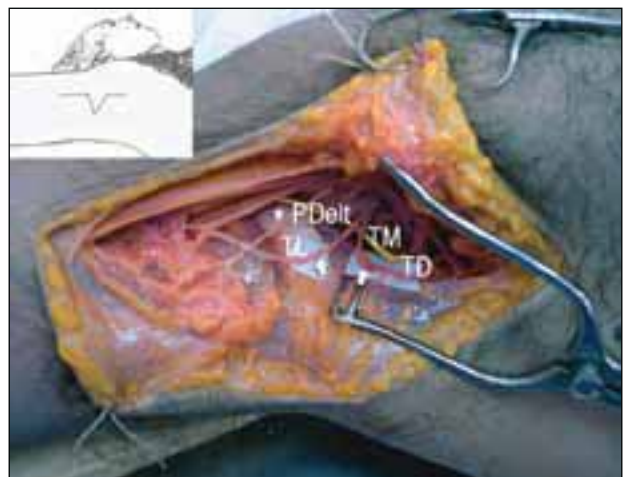
Таблица 1

**Средний диаметр и количество миелиновых нервных волокон**

Нерв	Диаметр (мм)	Количество миелиновых волокон
Teres minor	2,5 ± 0,6	961 ± 204
Post deltoid	1,8 ± 0,6	937 ± 163
Triceps long head	1,5 ± 0,5	1 329 ± 353
Triceps medial head	1,7 ± 0,6	987 ± 283
Thoracodorsal	1,9 ± 0,5	1 160 ± 506



**Рис. 5.** Фото анатомического препарата правой подмышечной ямки: переднее (AD) и заднее (PD) деления подмышечного нерва. Заднее деление (PD) отдает моторную ветвь к малой круглой мышце (TM) и моторную ветвь к задним пучкам дельтовидной мышцы (Pdelt). Заднее деление заканчивается как верхний латеральный кожный нерв плеча (C). Звездочкой показано сухожилие широчайшей мышцы спины. TD — *n. thoracodorsalis*. Cb — кожная ветвь лучевого нерва. UM — ветвь к медиальной головке трицепса. TL — ветвь к длинной головке трицепса



**Рис. 6.** Хирургический эксперимент трансфера моторной ветви малой круглой мышцы (TM) в торакодорзальный нерв (TD) и задней дельтовидной ветви (Pdelt) в моторную ветвь лучевого нерва к длинной головке трицепса (TL). Оба варианта коаптации показаны стрелками, они выполнены совершенно без натяжения. Различия диаметров сшиваемых нервов минимальны. Звездочкой показано сухожилие широчайшей мышцы спины

мы, как и Hong et al. [13] и Loukas et al., постоянно идентифицировали заднюю дельтовидную ветвь подмышечного нерва. По данным Ball et al. [15], задняя дельтовидная ветвь подмышечного нерва отсутствовала на 5 из 20 препаратов, по Zhao et al. [16] — на 4 из 40 препаратов, по Uz et al. [12] — только на одном из 30 препаратов. Мы не нашли подтверждения данным Ball et al. [15] о двойной моторной иннервации (в 100% случаев) задних пучков дельтовидной мышцы как со стороны «заднего, так и переднего деления» подмышечного нерва на уровне латерального края подлопаточной мышцы. По нашим данным, только в одном случае на 20 препаратов подмышечной ямки мы обнаружили «двойную» иннервацию задних пучков дельтовидной мышцы. Эти различия в иннервации дельтовидной мышцы обусловлены, по-видимому, тем, что исследователи не дифференцируют задние мышечные пучки этой мышцы от средних. Мы отметили небольшие различия диаметров ветвей подмышечного нерва, идущих к малой круглой и дельтовидной мышцам (потенциальных донорских для трансфера) и реципиентных нервов (моторные ветви к широчайшей мышце спины, к длинной и средней головкам трицепса). В среднем диаметр тех и других колебался в пределах 2 мм. Все эти нервы имели в своем составе примерно 1000 миелинизированных нервных волокон; различия статистически недостоверны, поэтому их можно вполне использовать для реиннервации трицепса и широчайшей мышцы спины. По данным Witoonchart et al. [17], которые близки к нашим, в моторных ветвях к длинной головке трицепса «упаковано» примерно 1200 миелинизированных нервных волокон. Соответственно, в торакодорзальном нерве мы насчитали примерно 1160 миелинизированных нервных волокон. При этом Bonnel and Mansat [18] насчитали в нем всего 800 волокон. Такая разница, по-нашему мнению, может быть обусловлена индивидуальными различиями. Такие различия в количестве миелинизированных нервных волокон в торакодорзальном нерве (от 1530 до 2470) находили Samardzic et al. [19]. Большая вариация в количестве миелинизированных нервных волокон описана во всех ветвях плечевого нервного сплетения [18]. Например, Bonnel and Mansat [18] подсчитали, что в самом подмышечном нерве количество миелинизированных нервных волокон колеблется от 2073 до 12711. Подсчет количества нервных волокон в моторных нервах, идущих к малой круглой мышце и задним пучкам дельтовидной мышцы, ни в одном

из известных нам исследований не проводился. Мы посчитали количество миелинизированных нервных волокон в чисто моторных нервах. Однако, по данным Bertelli et al. [20], не менее 50% миелинизированных нервных волокон в моторных нервах, т. е. входящих в скелетные мышцы плечевого пояса, на самом деле чувствительные. Обе группы нервных волокон (моторные и проприоцептивные) — это толстые миелиновые нервные волокна, дифференциация которых по диаметру невозможна. Более того, не существует соответствующих гистологических методов исследований, позволяющих отифференцировать моторные и чувствительные нервные волокна в периферических нервах. Мы не думаем, что нет гистологических различий между моторными и чувствительными нервными волокнами в срезе периферических нервов, в донорских и реципиентных нервах для трансфера. Это очень важно, поскольку несоответствия между донорскими и реципиентными нервами (волоконный состав) имеют негативные функциональные последствия для результата трансфера. Действительно, в каждом конкретном клиническом случае успех трансфера нервов базируется на анатомических исследованиях и на результатах подсчета миелинизированных нервных волокон — комбинации моторных и чувствительных [9, 10]. Чувствительные нервные волокна в моторных нервах выполняют специфическую функцию; реиннервация мышечных проприоцепторов должна, по-видимому, улучшить функциональные результаты трансфера моторных нервов [21].

У пациентов с тетраплегией при повреждении спинного мозга на уровне С6 некоторое число мотонейронов, иннервирующих малую круглую и дельтовидную мышцы, могут погибнуть. Это могло ограничить количество сохранных моторных нервных волокон, достигающих малой круглой и задних пучков дельтовидной мышцы. Тем не менее, мы не думаем, что погибшие мотонейроны, при известных обстоятельствах, должны стать препятствием для успешной реиннервации задней группы мышц плеча после трансфера ветвей подмышечного нерва в двигательные нервы трицепса, поскольку для восстановления нормальной функции мышцы достаточно реиннервировать только 20–30% мышечных волокон [22, 23]. При подходящем клиническом случае возможного использования трансфера нервов, на дооперационном этапе, может быть интересной электромиография задних пучков дельтовидной мышцы и малой круглой мышцы для определения объема повреждения их мотонейронов [24].

*ХИРУРГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ  
ТРАНСФЕРА ВЕТВЕЙ ПОДМЫШЕЧНОГО  
НЕРВА ЧЕРЕЗ ПОДМЫШЕЧНЫЙ ДОСТУП*

Наши анатомические исследования показали возможность хирургической техники трансфера задних ветвей подмышечного нерва непосредственно и напрямую в моторные ветви трицепса и в торакодорзальный нерв после выполнения подмышечного оперативного доступа. Мы показали, что после пересечения нерва-донора он легко и без натяжения может быть сшит с реципиентным моторным нервом конец-в-конец. Эта технология предполагает трансфер нервов, подобный трансферу при реконструкции плечевого нервного сплетения, т. е. ветви подмышечного нерва пересекались проксимально, а ветвь трицепса — дистально. При восстановлении плечевого нервного сплетения для реиннервации трицепса был предложен задний доступ (со стороны спины), через который осуществлялся подход к подмышечному нерву [25, 26]. У тетраплегиков такой доступ нельзя считать адекватным. Через задний доступ моторные ветви трицепса не могут быть пресечены проксимально, так как широчайшая мышца спины и малая круглая мышца прикрывают своей массой место отхождения моторных ветвей трицепса от лучевого нерва [28]. В этой связи технически затруднительно выполнить шов между донорским и реципиентным нервами. Это факт, поскольку выгоды от переднего (подмышечного) доступа реальны. Мы отказались от заднего доступа при восстановлении плечевого нервного сплетения, касающегося реиннервации трицепса ветвями подмышечного нерва [28].

*ТРИЦЕПС  
И ШИРОЧАЙШАЯ МЫШЦА  
СПИНЫ КАК МИШЕНЬ  
ДЛЯ РЕИННЕРВАЦИИ  
ПРИ ТЕТРАПЛЕГИИ*

Трицепс крайне необходим для выполнения функции разгибания в локтевом суставе. Более того, длинная головка трицепса начинается на лопатке (латеральный край, вблизи плечевого сустава) и способствует стабилизации плечевого пояса, приведению плеча; кроме того, работает в синергизме с широчайшей мышцей спины, перекрывающей нижний угол лопатки, и фиксируясь на верхней трети передней поверхности плечевой кости. Мы наблюдали, что тетраплегики

с сохраненной функцией разгибания в локтевом суставе и сохраненной функцией широчайшей мышцы спины, когда садились в инвалидную коляску, облегчали давление на нижнюю часть своего тела при сгибании рук в локтевых суставах и опоре на предплечье. В этом положении движение вызывается за счет сохраненной функции широчайшей мышцы спины. Тетраплегики также используют оба трицепса и обе широчайшие мышцы спины для стабилизации тела и препятствия падению тела вперед (на колени). Когда тело падает на колени, возможен его подъем благодаря сокращению широчайших мышц спины на фоне депрессии плечевого сустава. Когда руки фиксированы, широчайшие мышцы спины стабилизируют спину [30]. Торакодорзальные нервы формируются за счет аксонов мотонейронов С7–8 [31]; следовательно, при травме спинного мозга на уровне С6 широчайшие мышцы спины полностью парализованы. Основываясь на этих соображениях, была сформулирована идея реиннервации длинной головки трицепса и широчайшей мышцы спины ветвями подмышечного нерва, направляющимися к малой круглой мышце и к задним пучкам дельтовидной мышцы, с целью восстановления функции разгибания в локтевом суставе и стабилизации тела пациента.

*ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕТВЕЙ К МАЛОЙ  
КРУГЛОЙ МЫШЦЕ И ЗАДНИМ ПУЧКАМ  
ДЕЛЬТОВИДНОЙ МЫШЦЫ В КАЧЕСТВЕ  
НЕРВОВ-ДОНОРОВ*

Оба эти нерва вполне пригодны для трансфера в моторную ветвь длинной головки трицепса, отходящую от лучевого нерва. Задние мышечные пучки дельтовидной мышцы, ответственные за экстензию в плечевом суставе, могут быть легко обнаружены еще до операции. У тетраплегиков задние пучки дельтовидной мышцы, приносящиеся в жертву ради восстановления функции разгибания в локтевом суставе, не оказывают заметного влияния на функцию верхней конечности [1]. Наоборот, использование моторной ветви задних пучков дельтовидной мышцы должно быть очень деликатным, поскольку недостаток длины этого нерва чреват невыполнением реиннервации. Использование технологии пересадки мышц, например, двуглавой, препятствует в дальнейшем трансферу *n. supinator* для восстановления функции разгибания пальцев кисти [11], поскольку комбинация пересадки двуглавой

мышцы с приношением в жертву мышцы-супинатора будет сопровождаться нарушением функции супинации. Ветвь к малой круглой мышце должна быть с запасом длины, так как наружная ротация в плечевом суставе может быть избирательно сохранена за счет *m. infraspinatus*, которая иннервируется *n. suprascapularis* (С4–6) [29]. Находить ветви подмышечного нерва к малой круглой мышце непросто. Единственная возможность (адекватный тест) для поиска этой мышцы — это выполнение блока *n. suprascapularis* каким-либо анестетиком и посредством этого выключение функции *m. infraspinatus*, тогда как функция малой круглой мышцы будет сохранена.

#### *ВРЕМЕННОЙ ФАКТОР ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТРАНСФЕРА ВЕТВЕЙ ПОДМЫШЕЧНОГО НЕРВА У ТЕТРАПЛЕГИКОВ*

Продолжительность времени между получением травмы и операцией реиннервации — весьма существенный фактор в хирургии периферических нервов [32]. При тетраплегии, между тем, мышцы-мишени не денервированы, следовательно, успех реиннервации потенциально возможен даже тогда, когда эта операция выполняется позднее общепринятых временных рамок. Число научных работ в этом направлении очень

ограничено. Требуются серьезные экспериментальные исследования.

В целом, пересадка сухожилий у параплегиков рекомендуется не ранее чем через 1 год после травмы [1, 3]. В отношении пересадки нервов мы считаем оптимальным ее выполнение через 6 месяцев после травмы спинного мозга. Мы думаем, что выполнение хирургических реконструкций в сроки до 1 года после травмы не может воспрепятствовать процессу иногда встречающегося спонтанного восстановления функции верхних конечностей, поскольку если оно происходит, то только в первые 6 месяцев после спинальной травмы [33]. Если быть еще более конкретным, то нет даже виртуального шанса на спонтанное восстановление функции полностью (в течение 6 месяцев) парализованных мышц, то есть вряд ли возможно спонтанное восстановление полезной моторной активности ранее парализованных мышц в большей степени, чем за прошедшие 6 месяцев бездействия [33].

Таким образом, с анатомической точки зрения обе ветви подмышечного нерва — к малой круглой мышце и к задним пучкам дельтовидной мышцы — в комбинации либо раздельно могут быть использованы для реиннервации длинной и/или медиальной головок трицепса и/или торакодорзального нерва у параплегиков при травме спинного мозга на уровне С6.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Hentz VR, Leclercq C. Surgical Rehabilitation of the Upper Limb in Tetraplegia. New York: W.B. Saunders; 2002: 97–117.
2. National Spinal Cord Injury Statistical Center. Spinal cord injury: Facts and figures at a glance. J Spinal Cord Med 2008; 31: 357–358.
3. Welraeds D, Ismail AA, Parent A. Functional reconstruction of the upper extremity in tetraplegia: Application of Moberg's and Allieu's procedures. Acta Orthop Belg 2003; 69: 537–545.
4. Allieu Y, Benichou M, Ohanna F, Rabischong E, Benoit P. Functional surgery of the upper limbs in tetraplegic patients (Current trends after 10 years of experience at the Propara Center). Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot 1993; 79: 79–88.
5. Curtin CM, Hayward RA, Kim HM, Gater DR, Chung KC. Physician perceptions of upper extremity reconstruction for the person with tetraplegia. J Hand Surg 2005; 30A: 87–93.
6. Hamou C, Shah NR, DiPonio L, Curtin CM. Pinch and elbow extension restoration in people with tetraplegia: A systematic review of the literature. J Hand Surg 2009; 34A: 692–699.
7. Waters RL, Sie IH, Gellman H, Tognella M. Functional hand surgery following tetraplegia. Arch Phys Med Rehabil 1996; 77: 86–94.
8. Bertelli JA, Kechele PR, Santos MA, Besen BA, Duarte H. Anatomical feasibility of transferring supinator motor branches to the posterior interosseous nerve in C7–T1 brachial plexus palsies. Laboratory investigation. J Neurosurg 2009; 111: 326–331.
9. Bertelli JA, Ghizoni MF. Transfer of supinator motor branches to the posterior interosseous nerve in C7–T1 brachial plexus palsy. J Neurosurg 2009; 111: 1–4.
10. Bertelli JA, Tacca CP, Ghizoni MF, Kechele PR, Santos MA. Transfer of supinator motor branches to the posterior interosseous nerve to reconstruct thumb and finger extension in tetraplegia: case report. J Hand Surg 2010; 35A: 1647–1651.
11. Bertelli JA, Kechele PR, Santos MA, Duarte H, Ghizoni MF. Axillary nerve repair by triceps motor branch transfer through an axillary access: Anatomical basis and clinical results. J Neurosurg 2008; 107: 370–377.
12. Uz A, Apaydin N, Bozkurt M, Elhan A. The anatomic branch pattern of the axillary nerve. J Shoulder Elbow Surg 2007; 16: 240–244.



13. Hong TC, Kumar VP, Nather A. The posterior neuromuscular compartment of the deltoid. *Plast Reconstr Surg* 2005; 115: 1660–1664.
14. Loukas M, Grabska J, Tubbs RS, Apaydin N, Jordan R. Mapping the axillary nerve within the deltoid muscle. *Surg Radiol Anat* 2009; 31: 43–47.
15. Ball CM, Steger T, Galatz LM, Yamaguchi K. The posterior branch of the axillary nerve: An anatomic study. *J Bone Joint Surg* 2003; 85A: 1497–1501.
16. Zhao X, Hung LK, Zhang GM, Lao J. Applied anatomy of the axillary nerve for selective neurotization of the deltoid muscle. *Clin Orthop Relat Res* 2001; 390: 244–251.
17. Witoonchart K, Leechavengvongs S, Uerpaiojkit C, Thuvasethakul P, Wongnopsuwan V. Nerve transfer to deltoid muscle using the nerve to the long head of the triceps. I. An anatomic feasibility study. *J Hand Surg Am* 2003; 28: 628–632.
18. Bonnel F, Mansat M. *Nerfs Peripheriques. Anatomie et Pathologie Chirurgicale*. Paris: Masson: 31–37.
19. Samardzic M, Antunovic V, Joksimovic M, Bacetic D. Donor nerves in the innervation of brachial plexus. *Neurol Res* 1986; 8: 117–122.
20. Bertelli JA, Taleb M, Saadi A, Mira JC, Pecot-Dechavassine M. The rat brachial plexus and its terminal branches: An experimental model for the study of peripheral nerve regeneration. *Microsurgery* 1995; 16: 77–85.
21. Bertelli JA, Orsal D, Mira JC. Median nerve neurotization by peripheral nerve grafts directly implanted into the spinal cord: Anatomical, behavioural and electrophysiological evidences of sensorimotor recovery. *Brain Res* 1994; 25: 644: 150–159.
22. De Medinaceli L. *Cell Surgery to Repair Divided Nerves*. Paris: C.A.S.I.S.-C.I.D.; 1994: 90–101.
23. Gordon T, Yang JF, Ayer K, Stein RB, Tyreman N. Recovery potential of muscle after partial denervation: A comparison between rats and humans. *Brain Res Bull* 1993; 30: 477–482.
24. Ericson U, Borg J, Borg K. Macro-EMG and muscle biopsy of pa-retic foot dorsiflexors in Charcot-Marie-Tooth disease. *Muscle Nerve* 2000; 23: 217–222.
25. Leechavengvongs S, Witoonchart K, Uerpaiojkit C, Thuvasethakul P. Nerve transfer to deltoid muscle using the nerve to the long head of the triceps. II. A report of 7 cases. *J Hand Surg Am* 2003; 28: 633–638.
26. Bertelli JA, Ghizoni MF. Reconstruction of C5 and C6 brachial plexus avulsion injury by multiple nerve transfers: Spinal accessory to suprascapular, ulnar, fascicles to biceps branch, and triceps long or lateral head branch to axillary nerve. *J Hand Surg Am* 2004; 29: 131–139.
27. Bertelli JA, Santos MA, Kechele PR, Ghizoni MF, Duarte H. Triceps motor nerve branches as a donor or receiver in nerve transfers. *Neurosurgery* 2007; 61 (Suppl 2): 333–338.
28. Bertelli JA, Ghizoni MF. Nerve root grafting and distal nerve transfers for C5–C6 brachial plexus injuries. *J Hand Surg Am* 2010; 35: 769–775.
29. Kapandji A. *The Physiology of the Joints*. New York: Churchill Livingstone/Elsevier; 2007: 62–72.
30. Reyes ML, Gronley JK, Newsam CJ, Mulroy SJ, Perry J. Electro-myographic analysis of shoulder muscles of men with low-level paraplegia during a weight relief raise. *Arch Phys Med Rehabil* 1995; 76: 433–439.
31. Lee KS. Variation of the spinal nerve compositions of thoracodorsal nerve. *Clin Anat* 2007; 20: 660–662.
32. Midha R, Munro CA, Chan S, Nitising A, Xu QG, Gordon T. Regeneration into of transferring supinator motor branches to the posterior interosseous nerve in protected and chronically denervated peripheral nerve stumps. *Neurosurgery* 2005; 57: 1288–1289.
33. Waters RL, Sie IH, Gellman H, Tognella M. Functional hand surgery following tetraplegia. *Arch Phys Med Rehabil* 1996; 77: 86–94.

*Поступила в редакцию 25.12.2011  
Утверждена к печати 27.01.2012*

**Author:**

**Jayme A. Bertelli** — MD, PhD Joana de Gusmão Children’s Hospital and the University of Southern Santa Catarina (Unisul), Florianópolis, SC, Brazil.

**Contacts:**

*e-mail: drbertelli@gmail.com, bertelli@matrix.com.br*

**Перевод:**

**Байтингер В. Ф.** — д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой оперативной хирургии и топографической анатомии им. Э. Г. Салищева ГБОУ ВПО СибГМУ Минздрава России, г. Томск.

**Контакты:**

**Байтингер Владимир Федорович**  
*e-mail: baitinger@mail.tomsknet.ru*