

© ГОРБУНОВ Н. С., РОСТОВЦЕВ С. И., САМОТЕСОВ П. А., КОБЕР К. В., РУССКИХ А. Н.

УДК 611.833.4:617-089

DOI: 10.20333/2500136-2020-2-13-19

## К вопросу о строении плечевого сплетения: современные взгляды в хирургии

Н. С. Горбунов, С. И. Ростовцев, П. А. Самотесов, К. В. Кобер, А. Н. Русских

Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В. Ф. Войно-Ясенецкого, Красноярск 660022, Российская Федерация

**Резюме.** В обзоре представлены основные сведения о строении плечевого сплетения и грудоспинального нерва. В современном аспекте отображена актуальность повреждений плечевого сплетения и периферических нервов. Представлен материал о вариантной анатомии плечевого сплетения, макро-микроскопическом и внутрисплеточном строении. Приведена историческая справка с указанием основных этапов развития периферической нейрохирургии от момента первого наложения шва на поврежденный нерв, до освоения микрохирургической техники и нервных переводов. Представлен материал о строении грудоспинального нерва, способах его применения и эффективности в условиях современной концепции хирургического лечения поврежденных нервов плечевого сплетения.

**Ключевые слова:** плечевое сплетение, спинномозговой нерв, грудоспинальный нерв, строение, нерв-донор, повреждение.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Для цитирования:** Горбунов НС, Ростовцев СИ, Самотесов ПА, Кобер КВ, Русских АН. К вопросу о строении плечевого сплетения: современные взгляды в хирургии. *Сибирское медицинское обозрение.* 2020;(2):13-19. DOI: 10.20333/2500136-2020-2-13-19

## To the problem of brachial plexus structure: modern views in surgery

N. S. Gorbunov, S. I. Rostovcev, P. A. Samotesov, K. V. Kober, A. N. Russkih

Prof. V. F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk 660022, Russian Federation

**Abstract.** The review provides basic information on brachial plexus structure and thoracodorsal nerve. The relevance of brachial plexus and peripheral nerves injury is displayed in the modern aspect. There is data on variant anatomy of brachial plexus, macro-/ microscopic and intra-beam structure. The article provides historical reference, indicating the main stages in the development of peripheral neurosurgery from the moment when the first suture was applied to the injured nerve, till the development of microsurgical techniques and neural transmissions. Material is presented on the structure of thoracodorsal nerve, methods of its use and effectiveness in modern concept of surgical treatment of injured nerves in brachial plexus.

**Key words:** brachial plexus, spinal nerve, thoracodorsal nerve, structure, donor nerve, injury.

**Conflict of interest.** The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest associated with the publication of this article.

**Citation:** Gorbunov NS, Rostovcev SI, Samotesov PA, Kober KV, Russkih AN. To the problem of brachial plexus structure: modern views in surgery. *Siberian Medical Review.* 2020;(2):13-19. DOI: 10.20333/2500136-2020-2-13-19

Повреждение плечевого сплетения (ПС), занимая 3 место от всех травм нервной системы, является одной из главных социальных и медицинских проблем, поскольку чаще встречается у лиц трудоспособного возраста [1]. При повреждении структур ПС наступает паралич или парез верхней конечности, что приводит к инвалидизации людей. По данным R. Kaiser et al., ведущей причиной травм плечевого сплетения являются дорожно-транспортные происшествия, которые составляют 81 % случаев. Наиболее распространенный тип травмы – отрыв верхнего ствола плечевого сплетения (46 %), полный отрыв стволов (17 %) и отрыв нижнего ствола ПС (9 %). У пациентов после автомобильных аварий одинаково встречаются верхние и нижние отрывы, тогда как у велосипедистов, в 68 % случаев, преимущественно наблюдается отрыв верхнего ствола ПС [2]. Причины травм плечевого сплетения могут быть разнообразны. Одним из неблагоприятных исходов родов в акушерской

практике является травма плечевого сплетения у новорожденных. M.J. Malessy, W. Pondaag [3] отмечают, что акушерская травма плечевого сплетения составляет около 2-3 случаев на 1000 родившихся живыми. По мнению S. K. Doumouchtsis et al. [4], ведущими факторами риска возникновения травмы ПС у новорожденных являются дистоция плечиков и вес новорожденного более 4 кг. При оказании акушерского пособия вынужденно производятся чрезмерные тракционные движения для извлечения плечиков плода, в результате чего в 80 % случаев повреждаются корешки C5-C6 плечевого сплетения. J. Wang et al. [5] описывают случаи контралатеральной травмы плечевого сплетения при катетеризации внутренней яремной вены. Частота встречаемости подобных осложнений после проведения центральной венозной катетеризации колеблется от 4 до 35 % случаев. В исследовании С.И. Родина с соавт. [6] выявлена зависимость компрессионных невротий от длительности

воздействия вредных производственных факторов и стадии профессиональной патологии рук у шахтеров угольных и железорудных шахт. На сегодняшний день частота травмы периферических нервов плечевого сплетения остается неизменной и составляет 15-16 %. По мнению B.J. Duffy et al. [7], диагностика и лечение травм плечевого сплетения должны быть построены на точном знании анатомической структуры и компонентов периферических нервов, это может помочь в определении мер предосторожности при диагностических манипуляциях и оперативных вмешательствах.

Из истории хирургических вмешательств [8], применяемых при лечении ранений периферических нервов, следует, что Salicetti в XIII веке впервые выполнил шов поврежденного нерва. Среди пионеров нейрорафии упоминаются Rhasez и Avicenna, B. Battiston, G. Lanfranchi, G. Chaliac, L. di Bertapaglia. В 1596 году G. Ferrare наиболее точно описал технику шва пересеченного нерва, которая очень похожа на современную. В 1819 году J. Swan доказал регенераторные возможности поврежденных периферических нервов, а A.V. Waller в 1850 г. описал процессы дегенерации нерва после его перерезки. В 1863-1864 гг. французские хирурги A. Nelaton и S. Laugier впервые выполнили первичный и вторичный эпинеуральные швы с помощью очень тонкой проволоки. В 1882 году J. Mikulicz разработал особые швы для уменьшения натяжения нерва. В 1880 году в качестве первого кондукта T. Gluck использовал декальцинированную кость. Однако применять кондукты хирурги не стремились, поскольку проблемой их применения является отсутствие в них шванновских клеток, которые служат фактором роста и регулятором направления роста аксонов.

В настоящее время проведены исследования, доказывающие недостаточную эффективность хирургического лечения поврежденных нервов методом стандартного невролиза и сшивания конец-в-конец с наложением эпинеурального и перинеурального швов в зоне повреждения [9]. По мнению R. Kaiser et al. [10], концепция лечения периферических нервов заключается в ранней хирургической реконструкции нервов с применением дистальных передач нервов при проксимальных повреждениях. С. А. Журавлев с соавт. [11] в 2015 году, при анализе результатов применения часто используемых вариантов невротизации при повреждении периферических нервов плечевого сплетения, отметили, что залогом успеха является доскональное знание топографической анатомии ветвей периферических нервов, владение прецизионной хирургической техникой и адекватное послеоперационное восстановительное лечение. Очевидно, что эффективное лечение повреждений

плечевого сплетения и внедрение новых операций по невротизации периферических нервов невозможно без знаний вариантной и возрастной анатомии, конституциональных особенностей его структуры [12-15].

С 1982 года Z. Urbanowicz изучал строение плечевого сплетения и его короткой ветви – грудоспинного нерва в постнатальном развитии человека [16]. Установлено, что к 22 годам в 3,4 раза увеличивается толщина корешков, площадь поперечного сечения пучков – в 2,9 раза, количество пучков – на 60 % [17]. Автором выявлено три типа плечевого сплетения: тип I (26,1 %), образован первичными стволами C4 – Th1, II (73,2 %) C5 – Th1, III (0,7 %), представлен корешками C5-Th2. Самый тонкий корешок Th1 – в 52,2 %, C5 – в 47,8 %, а самый толстый C7 – в 43,5 %, C8 – в 37,0 %, C6 – в 18,1 %, C5 – в 1,4 % случаев. Стволы характеризуются большой индивидуальной изменчивостью и асимметрией [18]. Y. D. Gu в 1997 году, изучив электрофизиологические свойства плечевого сплетения, установил, что C5 в основном формирует подмышечный, C6 мышечнокожный, C7 лучевой, C8 срединный, T1 локтевой нервы [19]. В исследовании V. Matejczik [20] установлено, что C4 принимает участие в формировании плечевого сплетения в 48 % случаев, Th2 – только в 2 %. Билатеральная изменчивость корешков плечевого сплетения и их ответвлений наблюдалась в 28 % случаев и чаще на левой стороне. По данным E. O. Johnson et al. [21], при анатомическом вскрытии 200 недоношенных плодов в 53 % случаев выявлены значительные вариации в строении плечевого сплетения, из них в 48 % случаев установлен префиксальный тип и в 5 % постфиксальный тип строения. Известно, что в классическом варианте строения плечевого сплетения верхний ствол формируется путем слияния спинномозговых нервов C5 и C6, средний – из C7, а нижний – из C8 и Th1 [22]. По данным I. M. Akboru et al. [23], длина вентральных ветвей C5 – Th1 находятся в порядке убывания C5>C6>C7>C8>Th1 и ширина их в порядке убывания C7>C8>C6>Th1>C5. Длина первичных стволов примерно одинакова, но ширина в порядке убывания нижний>верхний>средний. L. K. Fetty et al. (2010) обнаружили, что длина всех трех вторичных пучков плечевого сплетения преобладает у мужчин [24]. В исследовании В. Ю. Занина с соавт. [25] выявлена изменчивость плечевого сплетения у лиц с разным типом телосложения. Плечевое сплетение у лиц с брахиморфным типом телосложения смещено медиальнее относительно середины длины ключицы. При проведении анестезиологических манипуляций, в частности центральной венозной катетеризации и блокады плечевого сплетения, у них больше риск операционных осложнений.

При изучении вариантной анатомии плечевого сплетения отличительные особенности выявлены в 15-36 % случаев. Q. H. Mao et al. (2016) установили, что в верхней части заднего пучка плечевого сплетения отходят над и подлопаточный нервы, подмышечный нерв, а от нижней части, образованной задними отделами среднего и нижнего первичными стволами, грудоспинной и лучевой нервы [26]. Согласно исследованию Л. И. Чурикова с соавт. [27], в 25 % случаев в формировании лучевого нерва, помимо заднего пучка, принимают участие волокна медиального и латерального пучков плечевого сплетения. Архитектоника лучевого нерва в области плеча достаточно вариабельна, нерв может быть представлен как одним основным, так и двумя дочерними стволами равного калибра. По данным J. M. Muthoka et al. [28], только в 11 % случаев задний пучок плечевого сплетения имеет классическую картину ветвления. В классическом варианте строения из заднего вторичного пучка плечевого сплетения формируются верхний и нижний подлопаточные нервы, грудоспинной, подмышечный нерв и лучевой нерв, однако в 57 % случаев нижний подлопаточный, в 10 % грудоспинной и 10 % верхний подлопаточный нервы формируются из подмышечного нерва. Было обнаружено, что в 5 % случаев медиальные кожные нервы плеча и предплечья формируются из заднего вторичного пучка, в отличие от их обычного происхождения из медиального вторичного пучка плечевого сплетения. Участие стволов и пучков в формировании того или иного нерва имеет принципиальное значение в диагностике при проксимальных повреждениях плечевого сплетения. При полной перерезке ствола или пучка выпадают все функции нервов, в формировании которых они участвовали. В исследовании H. Claassen et al. [29] выявлено, что вариабельность строения срединного и мышечно-кожного нервов в виде дополнительных анастомозов встречается чаще в сравнении с другими нервами. В статье A. A. Padur et al. описаны случаи отсутствия мышечно-кожного нерва и наличие дополнительной ветви от срединного нерва к клювовидно-плечевой, плечевой и двуглавой мышцам [30].

Очевидно, вариабельность плечевого сплетения и его ветвей может представлять интра- и послеоперационные осложнения, которые в конечном итоге влияют на нормальные сенсорные и моторные функции верхней конечности.

В последнее время со стороны хирургов отмечается повышенный практический интерес к грудоспинному нерву, который все чаще используют не только в реконструктивной хирургии, но и в качестве нерва-донора при невротизации периферических нервов плечевого сплетения. В связи с этим проводится множество исследований, раскрывающих различные

анатомические особенности этого нерва. Однако, несмотря на достаточно большое количество работ по грудоспинному нерву, отмечается неоднозначность и противоречивость полученных результатов.

Грудоспинный нерв является короткой ветвью плечевого сплетения, возникает из заднего вторичного пучка и выходит из под подмышечной вены в подмышечную ямку поверхностнее подлопаточной артерии [31]. K. S. Lee (2007) выявил, что наиболее частый тип (60 %) формирования грудоспинного нерва из корешков C7 и C8, в 25 % C6, C7 и C8, в 10 % C6 и C7 и в 5 % C7 [32]. Согласно исследованию W. Lu et al. [33], главным компонентом, участвующим в формировании грудоспинного нерва, является спинномозговой нерв C7, поскольку на его задней поверхности локализовано более 52 % моторных волокон грудоспинного нерва. P. P. Сидорович с соавт. [34] установили, что иннервация широчайшей мышцы спины осуществляется грудоспинным нервом, который справа в 65 % случаях отходит от заднего вторичного пучка, в 15 % от подлопаточного. Слева грудоспинной нерв в 60,0 % случаях отходит от подлопаточного нерва, в 15 % случаях – от заднего вторичного ствола. По данным S. M. Potter, S. I. Ferris [35], грудоспинной является двигательным нервом с высоким количеством моторных пучков и наиболее часто формируется от C7-C8 (60 %). Средняя хирургически полезная длина нерва составляет 12,3 см (8,5-19,0 см), а диаметр – 2,1-3,0 мм. Количество миелиновых волокон в нерве 1530-2470, что выгодно отличает его от других часто используемых нервов доноров (межреберные 500-700, спинальный добавочный 1700, диафрагмальный 800). A. Malalasekera et al. [36] выявили, что общая длина боковой ветви грудоспинного нерва составляет 8,14 см (5,99-12,29 см), а внутри широчайшей мышцы спины до разветвления – 3,36 см (1,3-7,71 см).

Очень важные вопросы о функции грудоспинного нерва пытались выявить многие исследователи. Достаточно подробно освещен вопрос, связанный с двигательной иннервацией грудоспинного нерва и его применением. Вместе с тем, остается недостаточно изученным вопрос, связанный с наличием чувствительной иннервации грудоспинного нерва, который и в настоящее время вызывает дискуссии. По данным T. Zin et al. (2012), грудоспинной нерв выполняет только двигательную иннервацию широчайшей мышцы спины [37]. Была проанализирована статья S. M. Potter, S. I. Ferris [35], в которой затронут вопрос о применении грудоспинного нерва в качестве нерва-донора. С целью полного восстановления внешней ротации плеча при повреждении надлопаточного нерва в качестве нервного перевода был выбран грудоспинной нерв. Перед проведением операции, в нерве произвели подсчет количества миелиновых волокон

и моторных аксонов, поскольку от этого зависит качество и сила восстановления двигательной функции. Было выявлено большое количество миелиновых волокон и аксонов, что позволило определить грудоспинной нерв чисто двигательным и выполнить успешный перевод нерва. В 1999 году G. Schultes et al. [38] была опубликована статья о восстановлении чувствительности пересаженного кожно-мышечного лоскута широчайшей мышцы спины. В исследовании, пациентам, с целью замещения дефекта после резекции опухоли в полости рта, проведена трансплантация свободным лоскутом широчайшей мышцы спины. Для реиннервации и приживления лоскута выполнен анастомоз между чувствительным большим ушным нервом и грудоспинным нервом. Чувствительную реиннервацию лоскута определяли у пациентов по ощущению боли, температуры, вибрации и давления. У всех пациентов после операции выявлены положительные результаты по оценке чувствительности свободного кожно-мышечного лоскута. Однако до сих пор остается спорным вопросом концепция восстановления данной чувствительности.

В. Ф. Байтингер, К. А. Силкина [39] в 2014 году предложили концепцию афферентной (чувствительной) иннервации микрохирургических лоскутов, в частности кожно-мышечного лоскута широчайшей мышцы спины, в которой выделяют дерматомный (афферентная иннервация кожи задними ветвями IV-VIII межреберных нервов) и осевой (афферентными пучками грудоспинного нерва) уровни иннервации. Для определения и сохранения осевого уровня афферентной иннервации широчайшей мышцы спины интраоперационно, с помощью электромиостимуляции, проводится внутривольная верификация пучков грудоспинного нерва и селективное иссечение только двигательных волокон.

С развитием микрохирургии грудоспинной нерв стал широко использоваться для невротизации поврежденных нервов плечевого сплетения. Одним из главных преимуществ использования грудоспинного нерва в качестве нерва-донора, помимо достаточной длины, является сохранение функции широчайшей мышцы спины за счет дополнительного источника иннервации нижним подлопаточным нервом. По мнению М. В. Wood, Р. М. Murray (2007), стратегия невротизации поврежденных нервов заключается в изолированном сшивании двигательных пучков, раннем сшивании нервов одинакового диаметра и как можно ближе к мышце, которая парализована [40]. По данным М. М. Samardzic et al. [41], установлено, что при травме корешков C5 и C6 пересадка грудоспинного нерва в позицию мышечно-кожного нерва дает наилучшие результаты реиннервации мышц. С. Уеррайджит et al. [42] при отрыве корешков C5

и C6 произвели нервный перевод ветвей грудоспинного нерва в позицию надлопаточного и подмышечного нервов, что восстановило функцию мышц лопатки и отведение плеча. R. Raksakulkiat et al. [43] приводят данные о соответствии количества аксонов и достаточной длины боковой ветви грудоспинного нерва для транспозиции к длинному грудному нерву. По мнению J. J. Schreiber et al. (2015), клинический успех при нервных переводах зависит от соответствия размеров между нервом-донором и реципиентом [44]. Т. Hems (2011) сообщает, что после нервных переводов наблюдаются осложнения: болезненность и сокращение мышц в области донорского нерва [45]. W. Z. Ray et al. (2012) после невротизации подмышечного нерва грудоспинным в 50 % случаях наблюдали превосходное восстановление, в 25 % – хорошее, в 12,5 % – удовлетворительное и в 12,5 % – плохое [46]. Однако при сравнении результатов выполнения дистальных нервных переводов и нервных графтов при проксимальных повреждениях периферических нервов, восстановление двигательной функции конечности лучше при выполнении нервных переводов [47]. По данным А. А. Sallam et al. (2017), эффективность нервных переводов, по сравнению с нервными графтами, значительно выше в восстановлении не только двигательной, но и чувствительной функции руки у пациентов с полной, изолированной проксимальной травмой локтевого нерва [48]. Е. Karamanos et al. (2018) считают дистальный нервный перевод безопасным и наиболее эффективным методом хирургической коррекции травм плечевого сплетения [49].

На сегодняшний день, применение грудоспинного нерва не ограничилось нервным переводом для невротизации поврежденных нервов плечевого сплетения. Опубликованы результаты успешного использования грудоспинного нерва в качестве аутонейротрансплантата. По данным F. Biglioli et al. [50], пациентам после проведения паротидэктомии и иссечения участка лицевого нерва одномоментно проведена реконструкция грудоспинным нервом имеющегося дефекта лицевого нерва. После операции в течение 7-8 месяцев отмечалось восстановление функций большей части мимических мышц, достигнута полная симметричность лица.

Таким образом, проведенный анализ научной литературы показал наличие повышенного интереса к проблемам, связанным с плечевым сплетением. Подобный интерес вызван не только актуальностью повреждения плечевого сплетения и развития ранних осложнений, но и сложностью хирургической коррекции. Достаточно подробно изучена вариантная анатомия плечевого сплетения, его составных элементов, макро-микроскопическое и внутривольное

строение, взаимоотношение чувствительной и двигательной порций в нервных пучках. Несмотря на это, вариабельность плечевого сплетения продолжает вызывать сложности в диагностике повреждений и способах хирургической коррекции. Современная концепция хирургического лечения повреждений плечевого сплетения методом дистального нервного перевода изменила взгляды на данную патологию, значительно улучшила результаты лечения. Особое внимание отведено грудоспинному нерву в составе плечевого сплетения. Выявленные ранее анатомические особенности строения грудоспинного нерва создают преимущества его использования в качестве дистального нервного перевода по сравнению с другими нервами и методами хирургического лечения. Однако до конца не изученным остался вопрос о наличии чувствительной порции в грудоспинном нерве, что возможно, послужит развитию новых способов восстановления чувствительности в зоне повреждения.

### Литература/References

1. Баландина ИА, Судюков ОА, Веселовский АЕ. Морфологические изменения вторичных пучков плечевого сплетения в различные сроки после их компрессии. *Морфологические ведомости*. 2007;(3-4):12-15. [Balandina IA, Sudyukov OA, Veselovskiy AE. Morphological changes of the secondary bundles of the brachial plexus at various times after their compression. *Morphological Newsletter*. 2007;(3-4):12-15. (In Russian)]
2. 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):1293-1297. DOI: 10.1007/s00701-012-1291-7
3. Malessy MJ, Pondaag W. Obstetric brachial plexus injuries. *Neurosurgery Clinics of North America*. 2009;20(1):1-14. DOI: 10.1016/j.nec.2008.07.024
4. Doumouchtsis SK, Arulkumaran S. Are all brachial plexus injuries caused by shoulder dystocia? *Obstetrical and Gynecological Survey*. 2009;64(9):615-623. DOI: 10.1097/OGX.0b013e3181b27a3a
5. Wang J, Liu F, Liu S, Wang N. An uncommon cause of contralateral brachial plexus injury following jugular venous cannulation. *The American Journal of Case Reports*. 2018;(19):289-291. DOI: 12659/AJCR.908125
6. Родин СИ, Матвеева ОВ. Компрессионные невропатии верхних конечностей у шахтеров. *Медицина труда и промышленная экология*. 2006;(6):31-34. [Rodin SI, Matveeva OV. Compression neuropathies of the upper limbs in miners. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2006;(6):31-34. (In Russian)]
7. Duffy BJ, Tubog TD. The Prevention and Recognition of Ulnar Nerve and Brachial Plexus Injuries. *Journal of Perianesthesia Nursing*. 2017;32(6):636-649. DOI: 10.1016/j.jopan.2016.06.005
8. Золотов АС, Пак ОИ. К вопросу об истории хирургических операций при ранениях периферических нервов. *Травматология и ортопедия России*. 2013;3(69):162-166. [Zolotov AS, Pak OI. On the history of surgical operations for wounds of peripheral nerves. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2013;3(69):162-166. (In Russian)]
9. Байтингер ВФ, Байтингер АВ. Шов нерва конец-в-конец: прошлое и настоящее. *Вопросы реконструктивной и пластической хирургии*. 2013;1(44):20-27. [Baytinger VF, Baytinger AV. The nerve suture end-to-end: past and present. *Reconstructive and Plastic Surgery*. 2013;1(44):20-27. (In Russian)]
10. Kaiser R, Ullas G, Havránek P, Homolková H, Miletín J, Tichá P, Sukop A. Current concepts in peripheral nerve injury repair. *Acta Chirurgiae Plasticae*. 2017;59(2):85-91.
11. Журавлев СА, Голубев ОВ. Варианты невротизаций при повреждениях плечевого сплетения и нервов верхней конечности. *Вестник травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова*. 2015;(4):77-82. [Zhuravlev SA, Golubev OV. Variants of neurotization for injuries of the brachial plexus and nerves of the upper limb. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2015;(4):77-82. (In Russian)]
12. Schnick U, Dähne F, Tittel A, Vogel K, Vogel A, Eisenschenk A, Ekkernkamp A, Böttcher R. Traumatic lesions of the brachial plexus : Clinical symptoms, diagnostics and treatment. *Der Unfallchirurg*. 2018;121(6):483-496. DOI: 10.1007/s00113-018-0506-7
13. Калмин ОВ. Изменчивость внутривольного строения срединного и локтевого нервов на плече. *Российские морфологические ведомости*. 2001;(1-2):207-209. [Kalmin OV. Variability of the intra-trunk structure of the median and ulnar nerves on the shoulder. *Russian Morphological Statements*. 2001;(1-2):207-209. (In Russian)]
14. Золотова ЮА. Особенности хирургической анатомии лучевого нерва на уровне плеча. *Гений ортопедии*. 2009;(2):87-89. [Zolotova YuA. Features of the surgical anatomy of the radial nerve at shoulder level. *Genij Ortopedii*. 2009;(2):87-89. (In Russian)]
15. Yang HJ, Gil YC, Lee HY. Intersegmental origin of the axillary artery and accompanying variation in the brachial plexus. *Clinical Anatomy (New York, N.Y.)*. 2009;22(5):586-594. DOI: 1002/ca.20811
16. Urbanowicz Z. Fascicles of the thoracodorsal nerve in human postnatal development. *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska. Sectio D: Medicina*. 1982;(37):267-273.
17. Urbanowicz Z. Fascicular structure of the root of the brachial plexus from C7 in post-fetal life in man. *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska. Sectio D: Medicina*. 1992;(47):67-71.

18. Urbanowicz Z. Brachial plexus roots in man. *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska. Sectio D: Medicina*. 1994;(49):47-55.
19. Gu YD. Functional motor innervation of brachial plexus roots. An intraoperative electrophysiological study. *Journal of Hand Surgery. (Edinburgh, Scotland)*. 1997;22(2):258-260. DOI: 10.1016/s0266-7681(97) 80076-9
20. Matejcik V. Variations of nerve roots of the brachial plexus. *Bratislavské Lekárske Listy*. 2005;106(1):34-36.
21. Johnson EO, Vekris M, Demesticha T, Soucacos PN. Neuroanatomy of the brachial plexus: normal and variant anatomy of its formation. *Surgical and Radiologic Anatomy: SRA*. 2010;32(3):291-297. DOI: 10.1007/s00276-010-0646-0
22. Singla RK, Sharma RK, Shree B. A two trunked brachial plexus: a case report. *Journal of Clinical and Diagnostic Research: JCDR*. 2013;7(4):704-705. DOI 10.7860/JCDR/2013/4580.2886
23. Akboru IM, Solmaz I, Secer HI, Izci Y, Daneyemez M. The surgical anatomy of the brachial plexus. *Turkisch Neurosurgery*. 2010;20(2):142-150. DOI: 10.5137/1019-5149.JTN.2368-09.2
24. Fetty LK, Shea J, Toussaint CP, McNulty JA. A quantitative analysis of variability in brachial plexus anatomy. *Clinical Anatomy (New York, N.Y.)*. 2010;23(2):210-215. DOI: 1002/ca.20927
25. Занин ВЮ, Сельцова ТС, Донская ЕВ. Топографо-анатомические особенности подключичного отдела плечевого сплетения при различных типах телосложения. *Морфология*. 2009;136(4):60-61. [Zanin VYu, Sel'tsova TS, Donskaya EV. Topographic and anatomical features of the subclavian brachial plexus with various types of physique. *Morphology*. 2009;136(4):60-61. (In Russian)]
26. Mao QH, Meng YX, Li J. A rare variant of the posterior cord of the brachial plexus. *European Journal of Anatomy: Official Journal of the Spanish Society of Anatomy*. 2016;20(2):191-193.
27. Чуриков ЛИ, Гайворонский ИВ, Гайворонский АИ, Савчук АН. Особенности формирования и вариантной анатомии лучевого нерва в области плеча. *Морфология*. 2017;151(2):41-45. [Churikov LI, Gayvoronskiy IV, Gayvoronskiy AI, Savchuk AN. Features of the formation and variant anatomy of the radial nerve in the shoulder. *Morphology*. 2017;151(2):41-45. (In Russian)]
28. Muthoka JM, Sinkeet SR, Shahbal SH, Matakwa LC, Ogeng'o JA. Variations in branching of the posterior cord of brachial plexus in a Kenyan population. *Journal of Brachial Plexus and Peripheral Nerve Injury*. 2011;(6):1. DOI: 10.1186/1749-7221-6-1
29. Claassen H, Schmitt O, Wree A, Schulze M. Variations in brachial plexus with respect to concomitant accompanying aberrant arm arteries. *Anatomischer Anzeiger*. 2016;(208):40-48. DOI: 10.1016/j.aanat.2016.07.007
30. Padur AA, Kumar N, Shanthakumar SR, Shetty SD, Prabhu GS, Patil J. Unusual and unique variant branches of lateral cord of brachial plexus and its clinical implications – a cadaveric study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research: JCDR*. 2016;10(4):AC01-4. DOI: 10.7860/JCDR/2016/15244.7482
31. Khatri VP, Hurd T, Edge SB. Simple technique of early identification of the thoracodorsal nerve during axillary dissection. *Journal of Surgical Oncology*. 2001;76(2):141-142.
32. Lee KS. Variation of the spinal nerve compositions of thoracodorsal nerve. *Clinical Anatomy (New York, N.Y.)*. 2007;20(6):660-662. DOI: 10.1002/1096-9098(200102)76:2<141::aid-jso1026>3.0.co;2-q
33. Lu W, Xu, JG, Wang DP, Gu YD. Microanatomical study on the functional origin and direction of the thoracodorsal nerve from the trunks of brachial plexus. *Clinical Anatomy (New York, N.Y.)*. 2008;21(6):509-513. DOI: 10.1002/ca.20656
34. Сидорович РР, Юдина ОА, Гузов СА. Анатомо-топографические особенности широчайшей мышцы спины с позиции использования её в качестве трансплантата при хирургическом лечении последствий травматического повреждения плечевого сплетения. *Вестник ВГМУ*. 2004;3(1):1-13. [Sidorovich RR, Yudina OA, Guzov SA. Anatomical and topographic features of the latissimus dorsi from the position of using it as a transplant in the surgical treatment of the effects of traumatic injury to the brachial plexus. *Vestnik VGMU*. 2004;3(1):1-13. (In Russian)]
35. Potter SM, Ferris SI. Vascularized thoracodorsal to suprascapular nerve transfer, a novel technique to restore shoulder function in partial brachial plexopathy. *Journal Frontiers in Surgery*. 2016;(3):17. DOI: 10.3389/fsurg.2016.00017
36. Malalasekera A, Beneragama T, Kanesu S, Sathathavan V, Jayasekara R. Extra and intramuscular distribution of the thoracodorsal nerve with regard to nerve reconstruction Surgeries. *Journal Reconstructive Microsurgery*. 2016;32(5):358-360. DOI: 10.1055/s-0036-1579541
37. Zin T, Maw M, Oo S, Pai D, Paijan R, Kyi M. How I do it: Simple and effortless approach to identify thoracodorsal nerve on axillary clearance procedure. 2012;(6):255. DOI: 10.3332/ecancer.2012.255
38. Schultes G, Gaggl A, Kärcher H. Reestablishment of sensitivity in the latissimus dorsi transplant through anastomosis of the thoracodorsal nerve with sensitive nerves. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1999;103(3):857-861. DOI: 1097/00006534-199903000-00012
39. Байтингер ВФ, Силкина КА. Чувствительная иннервация микрохирургических лоскутов, применяемых в реконструктивной маммопластике. *Вопросы реконструктивной и пластической хирургии*. 2014;(2):11-19. [Baytinger VF, Silkina KA. Sensitive

innervation of microsurgical flaps used in reconstructive mammoplasty. *Issues of Reconstructive and Plastic Surgery*. 2014;(2):11-19. (In Russian)]

40. Wood MB, Murray PM. Heterotopic nerve transfers: recent trends with expanding indication. *The Journal of Hand Surgery*. 2007;32(3):397-408. DOI: 10.1016/j.jhsa.2006.12.012

41. Samardzic MM, Grujicic DM, Rasulic LG, Milicic BR. The use of thoracodorsal nerve transfer in restoration of irreparable C5 and C6 spinal nerve lesions. *British Journal of Plastic Surgery*. 2005;58(4):541-546. DOI: 10.1016/j.bjps.2003.12.027

42. Uerpaiojkit C, Leechavengvongs S, Witoonchart K, Malungpaishorpe K, Raksakulkiat R. Nerve transfer to serratus anterior muscle using the thoracodorsal nerve for winged scapula in C5 and C6 brachial plexus root avulsions. *The Journal of Hand Surgery*. 2009;34(1):74-78. DOI: 10.1016/j.jhsa.2008.08.005

43. Raksakulkiat R, Leechavengvongs S, Malungpaishorpe K, Uerpaiojkit C, Witoonchart K, Chongtham-makun S. Restoration of winged scapula in upper arm type brachial plexus injury: anatomic feasibility. *Journal of the Medical Association of Thailand*. 2009;92(6):244-250.

44. Schreiber JJ, Byun DJ, Khair MM, Rosenblatt L, Lee SK, Wolfe SW. Optimal axon counts for brachial plexus nerve transfers to restore elbow flexion. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2015;135(1):135e-141e. DOI: 10.1097/PRS.0000000000000795

45. Hems T. Nerve transfers for traumatic brachial plexus injury: advantages and problems. *Journal of Hand and Microsurgery*. 2011;3(1):6-10. DOI: 10.1007/s12593-011-0031-1

46. Ray WZ, Murphy RK, Santosa K, Johnson PJ, Mackinnon SE. Medial pectoral nerve to axillary nerve neurotization following traumatic brachial plexus injuries: indications and clinical outcomes. *Hand (New York)*. 2012;7(1):59-65. DOI: 10.1007/s11552-011-9378-9

47. Flores Comparative Study of Nerve Grafting versus Distal Nerve Transfer for Treatment of Proximal Injuries of the Ulnar Nerve. *Journal Reconstructive Microsurgery*. 2015;31(9):647-653. DOI: 10.1055/s-0035-1556871

48. Sallam AA, El-Deeb MS, Imam MA. Nerve Transfer Versus Nerve Graft for Reconstruction of High Ulnar Nerve Injuries. *The Journal of Hand Surgery*. 2017;42(4):265-273. DOI: 10.1016/j.jhsa.2017.01.027

49. Karamanos E, Rakitin I, Dream S. Nerve transfer surgery for penetrating upper extremity injuries. *The Permanente Journal*. 2018;(22):17- DOI: 10.7812/TPP/17-156

50. Biglioli F, Tarabbia F, Allevi F, Colombo V, Gio-vanditto F, Latiffa M, Lozzab A, Previterac A, Cappelloc S, Rabbiosi D. Immediate facial reanimation in oncological parotid surgery with neurotization of the masseteric-thoracodorsal-facial nerve branch. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2016;54(5):520-525. DOI: org/10.1016/j.bjoms.2016.02.014

### Сведения об авторах

Горбунов Николай Станиславович, д.м.н., профессор, Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого; адрес: Российская Федерация, 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, д. 1; тел.+7(391)2201410, e-mail: gorbunov\_ns@mail.ru, http://orcid.org/0000-0003-4809-4491

Ростовцев Сергей Иванович, д.м.н., доцент, Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого; адрес: Российская Федерация, 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, д. 1; тел.+79039220105, e-mail: rostovcev.1960@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1462-7379

Самотесов Павел Афанасьевич, д.м.н., профессор, Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого; адрес: Российская Федерация, 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, д. 1; тел.+7(391)2428506, e-mail: pa\_samotesov@ro.ru, https://orcid.org/0000-0002-1022-4070

Кобер Кристина Владимировна, ординатор, Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого; адрес: Российская Федерация, 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, д. 1; тел. моб. +79233747709; e-mail: k-kober@mail.ru, http://orcid.org/0000-0001-5209-182X

Русских Андрей Николаевич, к.м.н., доцент, Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого; адрес: Российская Федерация, 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, д. 1; тел. моб. +7(391)2201410; e-mail: chegevara-84@mail.ru, http://orcid.org/0000-0002-2548-8044

### Author information

Nikolai S. Gorbunov, Dr.Med.Sci., Professor, Prof. V. F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University; Address: 1, Partizan Zheleznyak Str., Krasnoyarsk, Russian Federation 660022; Phone: +7(391)2201410, e-mail: gorbunov\_ns@mail.ru, http://orcid.org/0000-0003-4809-4491

Sergei I. Rostovcev, Dr.Med.Sci., Associate Professor, Prof. V. F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University; Address: 1, Partizan Zheleznyak Str., Krasnoyarsk, Russian Federation 660022; Phone: +79039220105, e-mail: rostovcev.1960@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1462-7379

Pavel A. Samotesov, Dr.Med.Sci., Professor, Prof. V. F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University; Address: 1, Partizan Zheleznyak Str., Krasnoyarsk, Russian Federation 660022; Phone: +7(391)2428506, e-mail: pa\_samotesov@ro.ru, https://orcid.org/0000-0002-1022-4070

Kristina V. Kober, resident physician, Prof. V. F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University; Address: 1, Partizan Zheleznyak Str., Krasnoyarsk, Russian Federation 660022; Phone: +79233747709; e-mail: k-kober@mail.ru, http://orcid.org/0000-0001-5209-182X

Andrei N. Russkih, Cand.Med.Sci., Associate Professor, Prof. V. F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University; Address: 1, Partizan Zheleznyak Str., Krasnoyarsk, Russian Federation 660022; Phone: +7(391)2201410; e-mail: chegevara-84@mail.ru, http://orcid.org/0000-0002-2548-8044

Дата поступления 11.11.2019 г.

Дата рецензирования 06.02.2020 г.

Принята к печати 03.03.2020 г.

Received 11 November 2019

Revision Received 06 February 2020

Accepted 03 March 2020



This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.