



УДК 611.833.4.019

<https://doi.org/10.20538/1682-0363-2023-2-21-27>

Вариантная анатомия и коды внутриствольных путей грудоспинного нерва

Горбунов Н.С.^{1,2}, Кобер К.В.³, Каспаров Э.В.², Ростовцев С.И.¹, Протасюк Е.Н.¹

¹ Красноярский государственный медицинский университет (КрасГМУ) им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого Россия, 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, 1

² Научно-исследовательский институт (НИИ) медицинских проблем Севера Россия, 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, 3и

³ Красноярский краевой клинический онкологический диспансер (КККОД) им. А.И. Крыжановского Россия, 660133, г. Красноярск, ул. 1-я Смоленская, 16

РЕЗЮМЕ

Цель – изучить варианты внутриствольных путей пучков грудоспинного нерва и разработать систему их кодирования.

Материалы и методы. После фиксации в 2%-м растворе уксусной кислоты с помощью стереоскопической лупы МБС-10 выполнено макромикроскопическое внутриствольное препарирование пучков грудоспинного нерва на 121 препарате плечевого сплетения от 105 трупов мужчин и женщин в возрасте 40–97 лет. Из полученных показателей в программе MS Excel 12 сформирована база данных и проведено определение количества встречающихся вариантов строения в абсолютных и относительных (% от 121 препарата) единицах.

Результаты. Проведенное исследование позволило выявить, что грудоспинной нерв является смешанным нервом, состоит из 1–3 чувствительных и одного двигательного пучков, которые неодинаково проходят через спинномозговые нервы, стволы, подмышечный нерв с образованием 20 внутриствольных путей. В 77% случаев чувствительные пучки от грудоспинного нерва проходят через задний пучок, заднее разделение, средний ствол и спинномозговой нерв С7 или нижний ствол и С8. В 22% у грудоспинного нерва кроме основного имеется еще один, редко – два дублирующих чувствительных пути. Двигательный пучок до грудоспинного нерва в 93% проходит через спинномозговой нерв С7 и средний ствол, заднее разделение и задний пучок. Кодирование вариантов внутриствольных путей в направлении чувствительный пучок → задний пучок → заднее разделение → ствол → спинномозговой нерв; двигательный пучок ← задний пучок ← заднее разделение ← ствол ← спинномозговой нерв позволяет кратко, наглядно и полно отобразить все морфологические разновидности строения.

Заключение. Выявленные варианты внутриствольных путей могут быть полезны при диагностике травм и заболеваний, расширяют показания использования спинномозговых нервов и ствол плечевого сплетения, грудоспинного нерва в реконструктивных операциях.

Ключевые слова: грудоспинной нерв, внутриствольные пути, чувствительные пучки, двигательный пучок, смешанный пучок, варианты, коды

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

Источник финансирования. Исследование поддержано Красноярским краевым фондом науки.

Соответствие принципам этики. Исследование одобрено локальным этическим комитетом КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого (протокол № 91 от 11.09.2018).

✉ Горбунов Николай Станиславович, gorbunov_ns@mail.ru

Для цитирования: Горбунов Н.С., Кобер К.В., Каспаров Э.В., Ростовцев С.И., Протасюк Е.Н. Вариантная анатомия и коды внутривольных путей грудоспинного нерва. *Бюллетень сибирской медицины*. 2023;22(2):21–27. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2023-2-21-27>.

Anatomical variations and coding of the intra-trunk pathways in the thoracodorsal nerve

Gorbunov N.S.^{1,2}, Kober K.V.³, Kasparov E.V.², Rostovtsev S.I.¹, Protasyuk E.N.¹

¹ V.F. Voyno-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University
1, Partizana Zheleznyaka Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation

² Research Institute of Medical Problems of the North
3i, Partizana Zheleznyaka Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation

³ A.I. Kryzhanovsky Krasnoyarsk Regional Clinical Oncology Center
16, 1st Smolenskaya Str., Krasnoyarsk, 660133, Russian Federation

ABSTRACT

Aim. To study anatomical variations of the intra-trunk pathways in the thoracodorsal nerve bundles and to develop a system for their coding.

Materials and methods. After fixation in a 2% solution of acetic acid using the MBS-10 stereomicroscope, we performed macro- and microscopic intra-trunk dissection of thoracodorsal nerve bundles in 121 specimens obtained from 105 corpses of males and females who died at the age of 40–97 years. Using the obtained findings, we compiled a database in the MS Excel 12.0 software and determined the number of anatomical variations in absolute and relative (% from 121 specimens) units.

Results. The study revealed that the thoracodorsal nerve is a mixed nerve, which consists of 1 motor and 1–3 sensory bundles that variously pass through the spinal nerves, trunks, and the axillary nerve with the formation of 20 intra-trunk pathways. In 77% of cases, sensory bundles arising from the thoracodorsal nerve pass through the posterior bundle, the posterior division, the middle trunk, and the C7 spinal nerve or the inferior trunk and the C8 spinal nerve. In 22% of cases, the thoracodorsal nerve has one or, rarely, two duplicate sensory pathways besides the main one. In 93% of cases, the motor bundle to the thoracodorsal nerve passes through the C7 spinal nerve and the middle trunk, the posterior division, and the posterior bundle. Coding the anatomical variations of the intra-trunk pathways in the direction of sensory bundle «posterior bundle → posterior division → trunk → spinal nerve; motor bundle ← posterior bundle ← posterior division ← trunk ← spinal nerve allows to briefly yet clearly and fully display the morphological diversity of the nerve anatomy.

Conclusion. The identified anatomical variations of the intra-trunk pathways can be useful in the diagnosis of injuries and diseases. They expand indications for the use of spinal nerves, trunks of the brachial plexus, and the thoracodorsal nerve in reconstructive surgery.

Keywords: thoracodorsal nerve, intra-trunk pathways, sensory bundles, motor bundle, mixed bundle, anatomical variations, codes

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Source of financing. The study was supported by the Krasnoyarsk Regional Science Foundation.

Conformity with the principles of ethics. The study was approved by the local Ethics Committee at V.F. Voyno-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University (Protocol No. 91 of 11.09.2018).

For citation: Gorbunov N.S., Kober K.V., Kasparov E.V., Rostovtsev S.I., Protasyuk E.N. Anatomical variations and coding of the intra-trunk pathways in the thoracodorsal nerve. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2023;22(2):21–27. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2023-2-21-27>.

ВВЕДЕНИЕ

Плечевое сплетение характеризуется значительной вариабельностью строения и изучено довольно подробно [1, 2]. Однако на практике анатомическая вариабельность нервов плечевого сплетения встречается чаще, чем об этом сообщается, и составляет 50% от всех особенностей нервной системы [3]. Несмотря на высокую неопределенность соматотопической организации, чувствительные и двигательные волокна нервов имеют тенденцию группироваться в пучки [4], которые изучаются с помощью гистологических, гистохимических и иммуногистохимических методов на плоскостных срезах [5, 6]. В клинической практике востребованными являются знания вариантов внутриствольных путей пучков нервных волокон на всем протяжении – от исполнительных органов до центральных отделов нервной системы [7, 8]. Особенно это актуально в связи с развитием микрохирургических технологий на пучках периферических нервов [9, 10]. Тщательное сопоставление и сшивание однофункциональных пучков в соответствии с их внутриствольной топографией являются залогом успешного восстановления подвижности и чувствительности в полном объеме [11, 12].

Несмотря на активное использование грудоспинного нерва в клинической практике [13, 14], его пучковому строению посвящено ограниченное количество исследований [15–17]. Однако и в имеющихся работах не отражаются особенности прохождения каждого пучка грудоспинного нерва на всем протяжении с учетом их функциональной принадлежности.

Цель настоящего исследования – изучить варианты внутриствольных путей пучков грудоспинного нерва и разработать систему их кодирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено в отделении экспертизы трупов Красноярского краевого бюро судебно-медицинской экспертизы на 121 препарате плечевого сплетения от 105 трупов мужчин и женщин в возрасте 40–97 лет. Большинство исследуемых трупов – мужчины (76, или 69%) и меньше – женщины (29, или 31%). Причиной смерти во всех случаях были общесоматические заболевания, без повреждений головы, шеи, верхних конечностей и грудной клетки.

У всех трупов плечевое сплетение изучено с правой стороны, а у 16 трупов одновременно справа и слева. Преимущественный выбор стороны связан с большим количеством правосторонних травм и оперативных вмешательств.

Изучение вариантов строения грудоспинного нерва осуществлялось с помощью макромикроско-

пического внутриствольного препарирования. Первым этапом проводилось послойное анатомическое препарирование с выделением фрагмента шейного и грудного отделов спинного мозга, корешковых нитей, передних (двигательных) и задних (чувствительных) корешков, передних ветвей спинномозговых нервов, стволов, задних разделений, задних пучков, подмышечного и грудоспинного нервов.

Выделенный препарат плечевого сплетения помещали на 1–3 сут в 10%-й раствор нейтрального формалина, а в дальнейшем фиксировали в 2%-м растворе уксусной кислоты. Выбор уксусной кислоты связан с ее свойствами противодействия усадочному эффекту и растворению коллагена эпи- и периневрия [18].

Вторым этапом с помощью стереоскопической лупы МБС-10 при $\times 16$ – 56 проводилось макромикроскопическое внутриствольное препарирование пучков грудоспинного нерва на всем протяжении плечевого сплетения – от широчайшей мышцы спины до спинного мозга. Исключительно повышенное внимание уделялось тому, через какие корешки спинномозговых нервов проходят пучки грудоспинного нерва, что позволило идентифицировать их функциональную принадлежность: через передние корешки проходят двигательные, через задние – чувствительные.

В статье результаты исследования приведены после изучения 121 препарата плечевого сплетения от 105 трупов людей без разделения их по половому признаку и билатеральной принадлежности. Это связано с тем, что статистически значимых половых и билатеральных различий в частоте встречаемости вариантов внутриствольных путей грудоспинного нерва нами не выявлено.

Все особенности внутриствольных путей грудоспинного нерва занесены в программу MS Excel 12.0 (Microsoft Corporation, США). Проведено определение количества встречающихся вариантов строения в абсолютных и относительных (% от 121 препарата) единицах.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Макромикроскопическое препарирование выявило, что грудоспинной нерв имеет четкое фасцикулярное внутриствольное строение и состоит из разного количества (1–4) пучков. Дальнейшее препарирование этих пучков в проксимальном направлении позволило определить их функциональную принадлежность и варианты внутриствольных путей. Функциональная принадлежность пучков грудоспинного нерва определена на основании их прохождения через корешки спинномозгового нерва: через задний – чувствительные, через передний – двигательный (рис.).

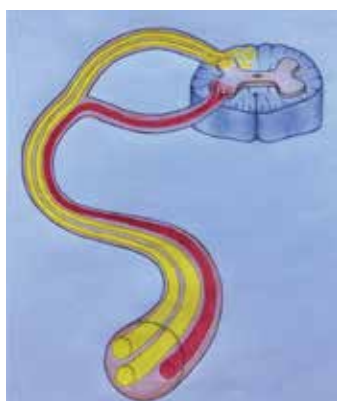


Рисунок. Схематическое изображение чувствительных (обозначены желтым цветом) и двигательного (красным) пучков грудоспинного нерва: 1 – спинной мозг, 2 – задний (чувствительный) корешок, 3 – передний (двигательный) корешок; 4 – спинномозговой нерв

Точно установленная функциональная принадлежность каждого пучка грудоспинного нерва позволила определить их количество. В 98% случаях (119/121) в грудоспинном нерве встречается 1–3 чувствительных пучка и только один двигательный. В двух сплетениях из 121 чувствительные и двигательные волокна в грудоспинном нерве плотно переплетаются между собой, определить их количество путем внутриствольного препарирования не представилось возможным. Из 119 сплетений, в которых определяется изолированное фасцикулярное строение грудоспинного нерва, чаще всего (77% – 92/119) один пучок является чувствительным, а другой – двигательным, реже (22% – 26/119) – два чувствительными и один двигательным, в одном сплетении из 119 – три чувствительными и один двигательным.

Из грудоспинного нерва чувствительные и двигательные пучки в 94% (114/121) переходят в задний пучок плечевого сплетения, а в семи сплетениях из 121 – сначала в подмышечный нерв, затем также в задний пучок. В дальнейшем пучки грудоспинного нерва из заднего пучка проникают во всех случаях только в задние разделения, но разных стволов плечевого сплетения. Далее установлено, что пучки грудоспинного нерва неодинаково проходят в передних ветвях трех спинномозговых нервов С6, С7 и С8.

При изучении хода каждого пучка непрерывно на всем протяжении от широчайшей мышцы спины до спинного мозга выявлено 20 вариантов функционально обусловленных внутриствольных путей грудоспинного нерва. Для наглядности отображения выявленных путей разработали систему кодирования вариантов в направлении: чувствительный пучок → задний пучок → заднее разделение → ствол → спинномозговой нерв; двигательный пучок ← задний пучок ← заднее разделение ← ствол ← спинномозговой нерв (таблица). Как следует из таблицы, чаще встречаются первые три варианта (73% – 87/121), реже с четвертого по восьмой (18% – 22/121), а остальные 12 вариантов являются редкими и встречаются каждый в единственном случае (10% – 12/121).

Таблица

Коды вариантов внутриствольных путей грудоспинного нерва, n = 121		
Номер варианта	Код	Количество
1	ЧП→ЗП→ЗР→СС→С7; ДП←ЗП←ЗР←СС←С7	43
2	ЧП→ЗП→ЗР→НС→С8; ДП←ЗП←ЗР←СС←С7	30
3	ЧП→ЗП→ЗР→СС→С7; ЧП→ЗП→ЗР→НС→С8; ДП←ЗП←ЗР←СС←С7	14
4	ЧП→ЗП→ЗР→НС→С8; ДП←ЗП←ЗР←НС←С8	7
5	ЧП→ЗП→ЗР→СС→С7; ЧП→ЗП→ЗР→СС→С7; ДП←ЗП←ЗР←СС←С7	5
6	ЧП→ЗП→ЗР→ВС→С6; ДП←ЗП←ЗР←СС←С7	4
7	ЧП→ЗП→ЗР→ВС→С6; ЧП→ЗП→ЗР→НС→С8; ДП←ЗП←ЗР←СС←С7	4
8	ЧП→Ах→ЗП→ЗР→НС→С8; ДП←Ах←ЗП←ЗР←НС←С8	2
9	ЧП→ЗП→ЗР→ВС→С7; ДП←ЗП←ЗР←ВС←С7	1
10	ЧП→ЗП→ЗР→НС→С8; ДП←ЗП←ЗР←ВС←С7	1
11	ЧП→Ах→ЗП→ЗР→НС→С8; ДП←Ах←ЗП←ЗР←СС←С7	1
12	ЧП→Ах→ЗП→ЗР→НС→С8; ДП←Ах←ЗП←ЗР←НС←С7	1
13	ЧП→Ах→ЗП→ЗР→СС→С7; ЧП→Ах→ЗП→ЗР→СС→С7; ДП←Ах←ЗП←ЗР←СС←С7	1
14	ЧП→Ах→ЗП→ЗР→ВС→С6; ДП←Ах←ЗП←ЗР←СС←С7	1
15	ЧП→ЗП→ЗР→ВС→С6; ДП←ЗП←ЗР←НС←С7	1
16	ЧП→ЗП→ЗР→СС→С6; ЧП→ЗП→ЗР→НС→С8; ДП←ЗП←ЗР←СС←С7	1
17	ЧП→ЗП→ЗР→ВС→С6; ЧП→ЗП→ЗР→С→С7; ДП←ЗП←ЗР←СС←С7	1
18	СПДЗПДЗРДССДС7	1
19	СПДАхДЗПДЗРДССДС7	1
20	ЧП→ЗП→ЗР→ВС→С6; ЧП→ЗП→ЗР→СС→С7; ЧП→ЗП→ЗР→НС→С8; ДП←ЗП←ЗР←СС←С7	1

Примечание. ЧП – чувствительный пучок; ДП – двигательный пучок; СП – смешанный пучок; Ах – подмышечный нерв; ЗП – задний пучок плечевого сплетения; ЗР – заднее разделение; ВС – верхний ствол; СС – средний ствол; НС – нижний ствол; С6, С7, С8 – ventральные ветви спинномозговых нервов; →, ←, ↔ – направление проведения нервного импульса.

Система кодирования позволяет кратко, наглядно и полно отобразить все разнообразие внутриствольных путей грудоспинального нерва. Так, первый вариант строения расшифровывается следующим образом: грудоспинальный нерв имеет двухпучковое строение, при котором чувствительный и двигательный пучки проходят по спинномозговому нерву C7, далее через средний ствол, его заднее разделение и задний пучок.

Проведенное исследование показало, что чувствительные пучки грудоспинального нерва проходят через большее количество элементов плечевого сплетения. Преимущественно чувствительные пучки проходят через спинномозговой нерв C7 и средний ствол (42% – 51/121), а также через C8 и нижний ствол (35% – 42/121). Возможно, что они являются основными чувствительными путем у грудоспинального нерва. В 22% (26/121) у грудоспинального нерва кроме основных имеется еще один дублирующий чувствительный путь, а в одном сплетении из 121 – два.

В отличие от чувствительных пучков, двигательный путь не дублируется и проходит через спинномозговой нерв C7 (93% – 112/121) и средний ствол (89% – 108/121), реже – через C8 (девять сплетений из 121) и нижний ствол (11 сплетений из 121), совсем редко – через C7 и верхний ствол (два сплетения из 121).

Таким образом, с помощью макромикроскопического препарирования у грудоспинального нерва выявлено 20 вариантов функционально обусловленных внутриствольных путей. Установлены дублирующие пути чувствительных пучков. Для наглядности отображения всего разнообразия, а также с целью упрощения использования в клинической практике предложена система кодирования выявленных вариантов внутриствольных путей. Полученные данные о вариантах внутриствольных путей грудоспинального нерва могут использоваться в клинической практике при диагностике травм и заболеваний, выполнении реконструктивных операций.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное нами внутриствольное макромикроскопическое препарирование выявило, что грудоспинальный нерв имеет четкое фасцикулярное строение, является смешанным и содержит больше (1–3) чувствительных пучков и только один – двигательный. Эти результаты подтверждают данные В. Gesslbauer и соавт. (2017), которые с помощью иммунофлуоресцентного метода подсчитали в грудоспинальном нерве 6 904 (± 3 070) аксонов, из которых 5 977 (± 3 066) являются сенсорными, а 927 (± 79) – моторными [17]. Такое преобладание в нерве чувствительных воло-

кон и пучков над двигательными позволяет получить полную информацию о состоянии широчайшей мышцы спины, проводить постоянную координацию и коррекцию ее сокращений.

Определение функциональной принадлежности пучков грудоспинального нерва достигнуто благодаря проведенному тщательному препарированию их на всем протяжении плечевого сплетения после фиксации в 2%-м растворе уксусной кислоты. W. Lu и соавт. (2008) по аналогичной методике смогли препарировать пучки грудоспинального нерва только до уровня стволов плечевого сплетения [15]. Нам удалось проследить пучки грудоспинального нерва дальше – в спинномозговых нервах, их передних (двигательных) и задних (чувствительных) корешках. Аналогичных работ в доступной литературе нами не обнаружено.

Такой анатомический подход обладает двумя преимуществами над гистохимическими, электрофизиологическими, инструментальными методами и позволяет не только точно определить функциональную принадлежность каждого пучка, но и проследить их путь на всем протяжении плечевого сплетения – от широчайшей мышцы спины до спинного мозга. В результате выявлено 20 вариантов функционально обусловленных внутриствольных путей грудоспинального нерва. Причем установлены вариabельные и стабильные участки. Стабильными являются корешки спинномозговых нервов (чувствительные пучки проходят через задние, двигательный – через передний), задние разделения и задний пучок, а вариabельными – спинномозговые нервы и стволы.

Основное количество вариантов связано с неодинаковым прохождением чувствительных и двигательных пучков через верхний, средний и нижний стволы, спинномозговые нервы C6, C7 и C8. Выделение остальных шести вариантов связано с прохождением пучков грудоспинального нерва через подмышечный нерв. По данным R. Rastogi и соавт. (2013), грудоспинальный нерв отходит от подмышечного нерва в 23% случаев [19], а по нашим данным – в семи сплетениях из 121.

Преобладающим путем для чувствительных пучков является средний ствол и C7 (42%) или нижний ствол и C8 (35%), а для двигательного – C7 (93%) и средний ствол (89%). Это несколько отличается от данных W. Lu и соавт. (2008), которые установили, что более 52% двигательных волокон грудоспинального нерва берет свое начало в C7 [15]. По данным K.S. Lee (2007), наиболее часто (в 60% случаев) формирование грудоспинального нерва осуществляется двумя спинномозговыми нервами C7 и C8, реже – C6, C7 и C8 (25%), C6 и C7 (10%) и C7 (5%) [20].

Нами выявлен еще один вариант участия только спинномозгового нерва С8 в формировании грудоспинного нерва, который встретился в девяти сплетениях из 121 и в литературе не описан. Полученные нами данные отличаются от результатов W. Lu и соавт. (2008), которые выявили только три варианта прохождения пучков грудоспинного нерва через стволы: верхний и средний (5%), все три ствола (85%), средний и нижний (10%) [15]. По нашим данным, вариант прохождения пучков через все три ствола выявлен только в пяти сплетениях из 121. Все выявленные различия, очевидно, связаны с региональными, этническими особенностями или разным количеством изучаемого материала.

Проведенное исследование выявило у грудоспинного нерва единственный двигательный путь и дублирующие чувствительные пути, которые встречаются в 22% случаев. В литературе отсутствуют сведения о дублирующих чувствительных путях грудоспинного нерва.

Для наглядности отображения всего разнообразия, а также с целью упрощения использования в клинической практике разработана система кодирования выявленных вариантов внутриствольных путей в направлении: чувствительный пучок → задний пучок → заднее разделение → ствол → спинномозговой нерв; двигательный пучок ← задний пучок ← заднее разделение ← ствол ← спинномозговой нерв.

На основании полученных данных определена закономерность формирования внутриствольных путей грудоспинного нерва, которая характеризуется большей вариантностью чувствительных пучков в проксимальных отделах плечевого сплетения. Возможно, эмбриональный рост отростков нейронов в зачатке руки на начальных этапах пути очень восприимчив к препятствиям, что и приводит к такому внутриствольному разнообразию чувствительных пучков [21]. Более стабильный внутриствольный путь двигательного пучка связан с тем, что дендриты прорастают быстрее и по их ходу, с отставанием ориентируются аксоны [22]. Более поздние двигательные волокна движутся по уже существующим трактам и меньше встречают препятствия [23].

Выявленные варианты внутриствольных путей могут быть полезными при диагностике травм и заболеваний, расширяют показания использования спинномозговых нервов и стволов плечевого сплетения, грудоспинного нерва в реконструктивных операциях.

ВЫВОДЫ

1. Грудоспинной нерв является смешанным нервом, состоит из 1–3 чувствительных и одного двигательного пучков, которые неодинаково проходят

через спинномозговые нервы, стволы, подмышечный нерв с образованием 20 внутриствольных путей.

2. В большинстве случаев чувствительные пучки от грудоспинного нерва проходят через задний пучок, заднее разделение и средний ствол в спинномозговой нерв С7 (42%) или нижний ствол и С8 (35%). В 22% случаев у грудоспинного нерва кроме основного имеется еще один, редко – два дублирующих чувствительных пути.

3. Путь двигательного пучка до грудоспинного нерва не дублируется и в большинстве случаев проходит через спинномозговой нерв С7 (93%) и средний ствол (89%), а далее через заднее разделение и задний пучок.

4. Кодирование вариантов внутриствольных путей грудоспинного нерва позволяет кратко, наглядно и полно отобразить все морфологические разнообразия строения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Emamhadi M., Chabok S.Y., Samini F., Alijani B., Behzadnia H., Firozabad F.A. et al. Anatomical Variations of Brachial Plexus in Adult Cadavers; A Descriptive Study. *Archives of Bone and Joint Surgery*. 2016;4(3):253–258.
- Golarz S.R., White J.M. Anatomic variation of the phrenic nerve and brachial plexus encountered during 100 supraclavicular decompressions for neurogenic thoracic outlet syndrome with associated postoperative neurologic complication. *Annals of Vascular Surgery*. 2020;62:70–75. DOI: 10.1016/j.avsg.2019.04.010.
- Hassan A., Jan N. Anatomical variations in brachial plexus formation and branching pattern in adult cadavers. *Annals of R.S.C.B.* 2021;25(4):4869–4876.
- Mioton L., Dumanian G.A., De la Garza M., Ko J.H. Histologic analysis of sensory and motor axons in branches of the human brachial plexus. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2019;144(6):1359–1368. DOI: 10.1097/PRS.0000000000006278.
- Agarwal P., Bajaj J., Sharma D. Techniques for Differentiating Motor and Sensory Fascicles of a Peripheral Nerve – A Review. *Indian Journal of Neurotrauma*. 2020;17(1). DOI: 10.1055/s-0040-1713458.
- Zhou X., Du J., Qing L., Mee T., Xu X., Wang Zh. et al. Identification of sensory and motor nerve fascicles by immunofluorescence staining after peripheral nerve injury. *J. Transl. Med.* 2021;19(1):207. DOI: 10.1186/s12967-021-02871-w.
- Osborne N.R., Anastakis D.J., Davis K.D. Peripheral nerve injuries, pain, and neuroplasticity. *Journal of Hand Therapy*. 2018;31(2):184–194. DOI: 10.1016/j.jht.2018.01.011.
- Llusá M., Morro M.R., Casañas J., Moore A.M. Surgical anatomy of the brachial plexus. In: Shin A.Y., Pulos N. (eds). *Operative Brachial Plexus Surgery*. Springer, Cham. 2021;19–31. DOI: 10.1007/978-3-030-69517-0_2.
- Beris A., Gkiatas I., Gelalis I., Papadopoulos D., Kostas-Agnantis I. Current concepts in peripheral nerve surgery. *European Journal of Orthopaedic Surgery and Traumatology*. 2019;29:263–269. DOI: 10.1007/s00590-018-2344-2.

10. Park S.O., Kim J., Kim Il-K., Chung J.H., Jin U.S., Chang H. Minimizing donor site morbidity using the interfascicular nerve splitting technique in single-stage latissimus neuromuscular transfer for facial reanimation. *Correspondence and Communications*. 2021;74(5):1101–1160. DOI: 1016/j.bjps.2020.10.030.
11. Manoukian O.S., Baker J.T., Rudraiah S., Arul M.R., Vella A.T., Domb A.J. et al. Functional polymeric nerve guidance conduits and drug delivery strategies for peripheral nerve repair and regeneration. *Journal of Controlled Release*. 2020;10(317):78–95. DOI: 10.1016/j.jconrel.2019.11.021.
12. Gordon T. Peripheral nerve regeneration and muscle reinnervation. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020;21(22):8652. DOI: 10.3390/ijms21228652.
13. Bedarida V., Qasemyar Q., Temam S., Janot F., Kolb F. Facial functional outcomes analysis after reconstruction by vascularized thoracodorsal nerve free flap following radical parotidectomy with facial nerve sacrifice. *Head & Neck*. 2020;42(5):994–1003. DOI: 10.1002/hed.26076.
14. Guyonvarch P., Benmoussa N., Moya-Plana A., Leymarie N., Mangialardi M.L., Honart J. et al. Thoracodorsal artery perforator free flap with vascularized thoracodorsal nerve for head and neck reconstruction following radical parotidectomy with facial nerve sacrifice: Step-by-step surgical technique video. *Head & Neck*. 2021;43(7):2255–2258. DOI: 10.1002/hed.26701.
15. Lu W., Xu J.G., Wang D.P., Gu Y.D. Microanatomical study on the functional origin and direction of the thoracodorsal nerve from the trunks of brachial plexus. *Wiley InterScience*. 2008;21(6):509–513. DOI: 10.1002/ca.20656.
16. Raksakulkiat R., Leechavengvongs S., Malungpaishrope K., Uerpaiojkit C., Witoonchart K., Chongthammakun S. Restoration of winged scapula in upper arm type brachial plexus injury: anatomic feasibility. *J. Med. Assoc. Thai*. 2009;92(6):S244–250.
17. Gesslbauer B., Hruby L.A., Roche A.D., Farina D., Blumer R., Oskar C. et al. Axonal components of nerves innervating the human arm. *Ann. Neurol*. 2017;82(3):396–408. DOI: 10.1002/ana.25018.
18. Oh S.Y., Jung K., Kim E.H. Production of collagen nanofiber using electrospinning dope of acid-soluble collagen isolated from fish skin. *Textile Science and Engineering*. 2020;57(3):186–191. DOI: 10.12772/TSE.2020.57.186.
19. Rastogi R., Budhiraja V., Bansal K. Posterior cord of brachial plexus and its branches: anatomical variations and clinical implication. *ISRN Anat*. 2013;2013:501813. DOI: 10.5402/2013/501813.
20. Lee K.S. Variation of the spinal nerve compositions of thoracodorsal nerve. *Clin. Anat*. 2007;20(6):660–662. DOI: 10.1002/ca.20484.
21. Leijnse J.N., Bakker B.S., D’Herde K. The brachial plexus – explaining its morphology and variability by a generic developmental model. *J. Anat*. 2020;236(5):862–882. DOI: 10.1111/joa.13123.
22. Brushart T., Kebaisch F., Wolinsky R., Skolasky R., Li Z., Barker N. Sensory axons inhibit motor axon regeneration *in vitro*. *Experimental Neurology*. 2019;323:113073. DOI: 10.1016/j.expneurol.2019.113073.
23. Spead O., Poulain F.E. Trans-axonal signaling in neural circuit wiring. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020;21(14):5170. DOI: 10.3390/ijms21145170.

Вклад авторов

Горбунов Н.С. – научный руководитель работы, окончательное утверждение для публикации рукописи. Кобер К.В., Каспаров Э.В., Ростовцев С.И., Протасюк Е.Н. – проведение исследования, сбор и анализ данных.

Информация об авторах

Горбунов Николай Станиславович – д-р мед. наук, профессор, кафедра оперативной хирургии и топографической анатомии, КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого; вед. науч. сотрудник, НИИ медицинских проблем Севера, г. Красноярск, gorbunov_ns@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4809-4491>

Кобер Кристина Владимировна – хирург-онколог, КККОД им. А.И. Крыжановского, г. Красноярск, k-kober@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5209-182X>

Каспаров Эдуард Вильямович – д-р мед. наук, профессор, директор НИИ медицинских проблем Севера, г. Красноярск, rsimpn@scn.ru, <http://orcid.org/0000000259881688>

Ростовцев Сергей Иванович – д-р мед. наук, доцент, кафедра анестезиологии и реаниматологии, КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, г. Красноярск, rostovcev.1960@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1462-7379>

Протасюк Екатерина Николаевна – ординатор, КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, г. Красноярск, demonshire@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1204-7821>

✉ Горбунов Николай Станиславович, gorbunov_ns@mail.ru

Поступила в редакцию 29.06.2022;
одобрена после рецензирования 03.11.2022;
принята к публикации 08.12.2022