

## Роль ультразвукового исследования плечевого сплетения при синдроме верхней апертуры

Д.С. Дружинин<sup>1,2</sup>, С.С. Никитин<sup>2</sup>, Л.М. Борискина<sup>2</sup>, Е.С. Дружинина<sup>2,3</sup>, М.Л. Новиков<sup>4</sup>, А.А. Елисеева<sup>5</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Ярославский государственный медицинский университет» Минздрава России; Россия, 150000 Ярославль, ул. Революционная, 5;

<sup>2</sup>Региональная общественная организация «Общество специалистов по нервно-мышечным болезням», Медицинский центр «Практическая неврология»; Россия, 117258 Москва, ул. Кржижановского, 17/2;

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России; Россия, 117997 Москва, ул. Островитянова, 1;

<sup>4</sup>Медицинский центр «Мотус»; Россия, 150033 Ярославль, Тутаевское шоссе, 93;

<sup>5</sup>СПб ГБУЗ «Городской консультативно-диагностический центр № 1»; Россия, 194354 Санкт-Петербург, ул. Сикейроса, 10 литера А

**Контактное лицо:** Дмитрий Сергеевич Дружинин [druzhininds@gmail.com](mailto:druzhininds@gmail.com)

**Введение.** Трудности в определении компрессии сосудисто-нервного пучка при синдроме выходного отверстия ставят вопрос о поиске доступного и воспроизводимого метода нейровизуализации плечевого сплетения и окружающих тканей.

**Цель исследования** — модифицировать алгоритм ультразвукового исследования для выявления уровня и причины компрессии плечевого сплетения в сопоставлении с результатами клинической оценки.

**Материалы и методы.** Обследованы 111 пациентов с верифицированной компрессией плечевого сплетения на уровне межлестничного (65,7 %) и косто-клавиккулярного промежутка (21,6 %), а также сухожилия малой грудной мышцы (12,6 %). Использован протокол исследования, включающий ультразвуковой стресс-тест Адсона, оценку нижнего ствола в межлестничном промежутке и тест с ультразвуковой оценкой подмышечной артерии на уровне сухожилия малой грудной мышцы при пассивном отведении руки назад и вверх.

**Результаты.** Атрофии коротких мышц кисти чаще обнаружены у пациентов с компрессией на уровне косто-клавиклярного промежутка ( $p < 0,05$ ). Изолированная атрофия мышц в основании большого пальца оказалась характерной для пациентов с увеличенным поперечным отростком С7. Число пациентов, имеющих атрофию мышц предплечья и кисти встречается в 3 раза чаще у лиц с увеличением площади поперечного сечения нижнего ствола плечевого сплетения, но при этом количество больных с увеличенными параметрами площади поперечного сечения и положительным/отрицательным стресс-тестом достоверно не отличалось.

**Заключение.** Ультразвуковое исследование плечевого сплетения продемонстрировало информативность в оценке факта, уровня и возможной причины компрессии, что открывает возможность применения метода в рутинной неврологической практике.

**Ключевые слова:** плечевое сплетение, синдром верхней апертуры, ультразвуковое исследование нервов, компрессионные нейропатии, TOS

**Для цитирования:** Дружинин Д.С., Никитин С.С., Борискина Л.М. и др. Роль ультразвукового исследования плечевого сплетения при синдроме верхней апертуры. *Нервно-мышечные болезни* 2020;10(1):43–52.

DOI: 10.17650/2222-8721-2020-10-1-43-52



### The role of the ultrasound examination of the brachial plexus in thoracic outlet syndrome

D.S. Druzhinin<sup>1,2</sup>, S.S. Nikitin<sup>2</sup>, L.M. Boriskina<sup>2</sup>, E.S. Druzhinina<sup>2,3</sup>, M.L. Novikov<sup>4</sup>, A.A. Eliseeva<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Yaroslavl' State Medical University, Ministry of Health of Russia; 5 Revolutsionnaya St., Yaroslavl' 150000, Russia;

<sup>2</sup>Association of Neuromuscular Disorders Specialists, Medical Center "Practical Neurology";

Buuld. 2, 17 Krzhizhanovskogo St., Moscow 117258, Russia;

<sup>3</sup>Pirogov Russian National Research Medical University, Ministry of Health of Russia; 1 Ostrovityanova St., Moscow 117997, Russia;

<sup>4</sup>Medical Center "Motus"; 93 Tutaevskoye Shosse, Yaroslavl' 150033, Russia

<sup>5</sup>City Consultative and Diagnostic Center No. 1; letter A, 10 Siqueirosa St., Saint Petersburg 194354, Russia

**Introduction.** Difficulties in determining the compression of the neurovascular bundle with the thoracic outlet syndrome raises the question of finding an accessible and reproducible method for the neuroimaging of the brachial plexus and surrounding tissues.

**Purpose of the study** — to develop an ultrasound diagnostic algorithm using a stress test to determine the level and cause of brachial plexus compression in comparison with the results of a clinical assessment.

**Materials and methods.** 111 patients with verified compression of the brachial plexus at the level of the interstitial (65.7 %) and bone-clavicular space (21.6 %), as well as the tendon of the pectoralis minor muscle (12.6 %) were examined. The study protocol including the Adson ultrasound stress test, the assessment of the lower trunk in the interstitial space, and the test with ultrasound evaluation of the axillary artery at the level of the tendon of the pectoralis minor muscle with passive abduction of the arm back and up was used.

**Conclusion.** An ultrasound study of the brachial plexus demonstrated informativeness in assessing the level and possible cause of compression, which opens up the possibility of using the method in routine neurological practice.

**Key words:** brachial plexus, thoracic outlet syndrome, nerves ultrasound examination, compression neuropathies, TOS

**For citation:** Druzhinin D.S., Nikitin S.S., Boriskina L.M. et al. The role of the ultrasound examination of the brachial plexus in thoracic outlet syndrome. *Nervno-Myshechnye Bolezni = Neuromuscular Diseases 2020;10(1):43–52. (In Russ.)*.

## Введение

Синдром верхней апертуры (СВА) – симптомокомплекс нейроваскулярных нарушений, связанных с компрессией плечевого сплетения (ПС) и/или магистральных сосудов (артерии и/или вены) в 1 из 3 анатомических зон: между лестничными мышцами (межлестничное пространство), в реберно-ключичном промежутке или субпекториальном пространстве (на уровне сухожилия малой грудной мышцы) [1]. Клиническая картина СВА определяется степенью и уровнем компрессии сосудисто-нервного пучка. На основании преимущественного вовлечения нервов и сосудов принята классификация, разделяющая СВА на 3 основных варианта: артериальный (1 %), венозный (3 %) и нейрогенный (>95 %) [2–6]. Последний разделяется рядом авторов на истинный СВА (симптомы доказаны инструментальным обследованием) и основанный только на данных клиники, рассматриваемый в литературе как «дискутабельный» СВА (от англ. *dispute* – обсуждаемый) [7].

Хроническая боль в надключичной области, онемение в одной или обеих руках (иногда при определенной позе) – частая причина обращения к врачу. Обычно жалобы связывают с дегенеративными изменениями в шейном отделе позвоночника, радикулоишемией на шейном уровне, туннельными синдромами или патологией плечевого сустава. Осмотр и клинические стресс-тесты не всегда верифицируют компрессию ПС и требуют дополнительных инструментальных методов диагностики для установления факта и уровня компрессии.

Электрофизиологические методы (стимуляционная и игольчатая электромиография) имеют низкую чувствительность и специфичность при СВА, особенно при малой выраженности компрессии [8]. Это же относится к методу регистрации соматосенсорных вызванных потенциалов, которые также не имеют диагностической значимости при данном состоянии [9]. Сегодня использование этих методов сводится к дифференциальной диагностике нейрогенных нарушений в руках.

Известные методы нейровизуализации имеют низкую специфичность, что также ограничивает их использование. Информативность магнитно-резонансной томографии для исключения СВА по результатам

последних исследований увеличивается по мере совершенствования метода, однако пока позволяет обнаружить изменения только при выраженной компрессии ПС [10]. Проведение компьютерной томографии целесообразно для выявления костной патологии (добавочного шейного ребра, аномалии I ребра или удлинённого поперечного отростка позвонка C7, последствий травматических изменений ключицы), которая может приводить к компрессии сосудисто-нервных структур в реберно-ключичном промежутке [3, 11].

Трудности доказательства компрессии ПС ставят вопрос о поиске доступного и воспроизводимого способа визуализации его структур и окружающих тканей, что делает ультразвуковое исследование (УЗИ) оптимальным методом для диагностики и широко обсуждается в литературе [10–13]. Преимущество УЗИ состоит в возможности его использования как в покое, так и при динамической нагрузке (стресс-тест), а также в оценке окружающих тканей. Углубление и структурирование знаний необходимо для повышения информативности УЗИ с целью раннего выявления причин компрессии ПС.

**Цель исследования** – модифицировать алгоритм УЗИ для выявления уровня и причины компрессии ПС при сопоставлении с результатами клинической оценки.

## Материалы и методы

Исследование проведено на базе медицинского центра «Практическая неврология» (Москва) и клиники «Мотус» (Ярославль). За период с 2016 по 2018 г. осмотрены 338 пациентов: 196 женщин (средний возраст  $34,5 \pm 12,3$  года) и 142 мужчины (средний возраст  $42,8 \pm 11,6$  года), европеоидной расы, с жалобами на хроническую боль в плечелопаточной и надключичной областях, двигательный и/или чувствительный дефицит верхней конечности. Всем пациентам проводилось обследование в связи с подозрением на наличие СВА.

Критерии включения – наличие одного из представленных признаков:

- хронический болевой синдром в плечелопаточной области с чувствительными и/или двигательными нарушениями верхней конечности;
- положительные клинические стресс-тесты;

– а также обязательные ультразвуковые признаки, указывающие на компрессию ПС в 1 из 3 анатомических зон.

Критерии исключения:

- травма мягких тканей шеи и области лопатки;
- болезнь мотонейрона;
- лучевое повреждение ПС;
- миелопатия шейного отдела;
- радикулопатии;
- компрессионно-ишемические нейропатии;
- подозрение на дизиммунную и наследственную нейропатию.

По результатам осмотра, стресс-тестов и УЗИ у 111 из 338 пациентов обнаружена хроническая компрессия ПС. Эти больные были включены в настоящее клинико-инструментальное исследование. У 227 пациентов, не соответствующих критериям включения, симптоматика была обусловлена туннельными нейропатиями, радикулопатией, патологией сухожилий ротационной манжеты плеча, миофасциальным болевым синдромом и другими состояниями, подтвержденными дополнительными методами инструментальной диагностики. Во всех случаях стресс тесты на компрессию ПС были отрицательными.

В группе включения у всех 111 обследованных пациентов при осмотре определялась сила мышц плечевого пояса и кисти по Шкале количественной оценки мышечной силы (Medical Research Council Weakness Scale, MRC), визуально оценивалось наличие/отсутствие атрофий мышц верхних конечностей. Исследование является простым, проспективным, поперечным. С целью верификации компрессии ПС использовались клинические стресс-тесты, рекомендованные Департаментом труда и занятости Колорадо (США), включающие тест Адсона, Руса и Элвиса [13, 14]. Все включенные в исследование пациенты подписали добровольное согласие на участие в исследовании. Получено одобрение локального этического комитета (протокол № 24 от 2017 г.).

В работе использовался УЗ-сканер Sonoscape 20Pro (Китай) с применением линейного датчика с частотой 7–15 мГц. УЗИ проводилось в положении пациента сидя и включало оценку площади поперечного сечения (ППС) спинномозговых нервов C5, C6, C7 на уровне поперечных отростков позвонков, нижнего ствола ПС на уровне I ребра. Результаты ППС спинномозговых нервов сравнивали с нормативными значениями [15]. В связи с единственным сообщением в литературе по нормативным показателям ППС нижнего ствола ПС [16] в исследование включена контрольная группа, включающая 24 здоровых добровольца, которым проводилась оценка ППС на уровне I ребра с обеих сторон (всего 48 измерений). Полученные результаты собственных нормативных измерений были сопоставлены с полученными ранее.

Динамическая компрессия при визуализации стволов ПС в промежутке между передней и средней лест-

ничными мышцами определялась с помощью дополнительного стресс-теста: в процессе сканирования ПС на уровне межлестничного промежутка производилось пассивное отведение руки в плечевом суставе в сторону и назад с одновременным поворотом головы к противоположному плечу [17]. Если при этом стволы ПС не меняют положения, тест считается отрицательным. Любое изменение положения стволов относительно друг друга (расхождение или сближение) расценивается как положительный результат.

Также оценивалось изменение контура нижнего ствола ПС в промежутке между I ребром, краем передней лестничной мышцы и подключичной артерией для исключения феномена «серповидного вдавления», которое свидетельствует о выраженной компрессии этого участка сплетения в косто-клавикулярном промежутке [16].

Сонографическую оценку компрессии на уровне сухожилия малой грудной мышцы проводили по критериям, предложенным I.R. Odderson и соавт. [18], которые продемонстрировали деформацию контура подмышечной артерии на уровне сухожилия малой грудной мышцы при отведении руки в сторону у всех пациентов с СВА и восстановлением кровотока после селективной блокады малой грудной мышцы [18, 19]. С учетом близости вторичных пучков ПС деформацию артериального ствола не рассматривали как изолированный «сосудистый» вариант СВА [18]. ППС вторичных пучков ПС не измеряли в связи с отсутствием нормативной базы для этих уровней.

Для уточнения дополнительных причин компрессии визуализировали мягкие ткани надключичной области, купола плевры и верхнего средостения.

Статистическая обработка проводилась с применением программы Statistika 10,0. Достоверные различия между двумя независимыми переменными определялись для непараметрических данных с применением критерия Манна–Уитни (*U*-тест) и для параметрических – с применением критерия Стьюдента. Соответствие критериям для нормального распределения выборки оценивалось с помощью теста Колмогорова–Смирнова и Шапиро–Вилке.

### Результаты

По результатам УЗИ с проведением стресс-тестов пациентов разделили на 3 группы в зависимости от уровня компрессии ПС и ее причины (табл. 1).

Таким образом, у большей части пациентов компрессия наблюдалась на уровне межлестничного промежутка ( $n = 73$ ), реже на уровне косто-клавикулярного промежутка ( $n = 24$ ) и сухожилия малой грудной мышцы ( $n = 14$ ).

Анализ состояния мышц (табл. 2), иннервируемых ПС показал, что из 73 (100 %) пациентов с компрессией сплетения в межлестничном промежутке атрофия мышц, соответствующая уровню компрессии, имела

**Таблица 1. Уровень и причина компрессии плечевого сплетения у 111 обследованных больных**
**Table 1. The level and cause of compression of the brachial plexus in 111 examined patients**

Уровень и причина компрессии Level and cause of compression	Число наблюдений, n (%) Number of cases, n (%)
<b>Межлестничный промежуток, n = 73 (100 %)</b> Intrascapular space, n = 73 (100 %)	
Между передней и средней лестничными мышцами Between the anterior and middle scalene muscles	33 (45,2)
Увеличенные лимфатические узлы Enlarged lymph nodes	3 (4,1)
Синовиальная киста Synovial cyst	2 (2,7)
Задняя артерия лопатки Arteria dorsalis scapulae	2 (2,7)
Дополнительная лестничная мышца Additional scalene muscle	5 (6,8)
Увеличенный поперечный отросток позвонка С7 Enlarged transverse process of the vertebra C7	24 (32,9)
Лопаточно-подъязычная мышца Scapular-hyoid muscle	1 (1,5)
Опухоль ствола плечевого сплетения Brachial plexus trunk tumor	3 (4,1)
<b>Косто-клавиккулярный промежуток, n = 24 (100 %)</b> Bone-clavicular gap, n = 24 (100 %)	
Между I ребром и краем лестничной мышцы Between the I rib and the edge of the scalene muscle	14 (58,3)
Аневризма подключичной артерии Subclavian artery aneurysm	2 (8,3)
Опухоль Панкоста Pancost's tumor	3 (12,5)
Мезотелиома Mesothelioma	1 (4,2)
Метастазы надключичной области Supraclavicular metastases	4 (16,7)
<b>Малая грудная мышца, n = 14 (100 %)</b> Pectoralis minor muscle, n = 14 (100 %)	
Край малой грудной мышцы The edge of the pectoralis minor muscle	9 (64,3)
Лимфатический узел Lymph node	5 (35,7)

у 31 человека (42,5 %). Из 24 (100 %) пациентов с компрессией в косто-клавиккулярном промежутке изменение объема мышц обнаружено у 17 (70,8 %) из них, а среди 14 (100 %) пациентов с компрессией на уровне малой грудной мышцы – только у 1 (7,14 %).

Достоверно чаще ( $U = 337; p < 0,05$ ) визуально определяемая атрофия обнаружена в мышцах гипотенара при компрессии в косто-клавиккулярном промежутке по сравнению с компрессией в межлестничном промежутке – 88,2 и 45,1 %, соответственно. Следующими по частоте развития атрофии на рассматриваемых уровнях оказались подостная мышца (22,5 и 17,6 % соответственно), большая грудная мышца (19,3 и 11,7 %) и мышцы-сгибатели кисти (12,9 и 17,6 %). При компрессии на уровне косто-клавиккулярного промежутка ни у одного пациента не было изменения объема мышц тенара и двуглавой мышцы, в то время как у больных с компрессией в межлестничном промежутке атрофия мышц тенара и двуглавой мышцы отмечены в 12,9 и 3,2 %, соответственно. Только в 1 случае компрессия нервных стволов на уровне малой грудной мышцы сопровождалась атрофией дельтовидной мышцы.

Во всех 4 представленных случаях компрессии ПС между передней лестничной мышцей и увеличенным поперечным отростком С7 позвонка выявлен одинаковый паттерн распределения атрофии мышц с вовлечением короткой мышцы, отводящей большой палец (рис. 1а), и мышц сгибателей предплечья.

У пациентов с компрессией нижнего ствола ПС в косто-клавиккулярном промежутке чаще всего наблюдалась атрофия короткой мышцы, приводящей большой палец (рис. 1б). Наибольшая выраженность атрофий в этом случае была выявлена у пациента с опухолью Панкоста.

По результатам УЗ-оценки положительный стресс-тест в исследуемой группе с СВА обнаружен у 60,3 % ( $n = 67$ ), увеличение ППС спинномозговых нервов и нижнего ствола ПС у 52,2 % ( $n = 58$ ) от общего числа пациентов. Увеличение ППС обнаружено как в случаях с отрицательным (39,6 %,  $n = 44$ ), так и положительным стресс-тестом (12,6 %,  $n = 14$ ).

В качестве примера на рис. 2, 3 показано увеличение ППС верхнего и нижнего ствола ПС у пациентов с СВА. Результаты измерений ППС спинномозговых нервов на разных уровнях компрессии и данных стресс-теста приведены в таблице 3.

Выявлено достоверное увеличение ППС нижнего ствола ПС у пациентов с компрессией на уровне косто-клавиккулярного промежутка в сравнении с группой контроля ( $p < 0,05$ ), при этом количественные показатели на других уровнях достоверно не отличаются от контроля и между группами.

В процессе УЗИ были обнаружены дополнительные причины компрессии ПС и подключичной артерии, на долю которых приходится 47,1 % ( $n = 53$ ). Среди них выделены случаи компрессии синовиальной кистой – 1,8 % ( $n = 2$ ), дополнительной лестничной мышцей – 4,5 % ( $n = 5$ ) (рис. 4а), лопаточно-подъязычной мышцей – 0,9 % ( $n = 1$ ), псевдоаневризмой подключичной артерии – 1,8 % ( $n = 2$ ), опухолью Панкоста – 2,7 % ( $n = 3$ ) (рис. 4б), метастатическим поражением в области ПС – 1,8 % ( $n = 2$ ), доброкачественным

Таблица 2. Представленность атрофии мышц, соответствующая уровню компрессии плечевого сплетения

Table 2. Representation of muscle atrophy corresponding to the level of compression of the brachial plexus

Мышцы Muscles	Число случаев с наличием мышечных атрофий в зависимости от уровня компрессии, n (%) The number of cases with the presence of muscle atrophy depending on the level of compression, n (%)		
	Межлестничный промежуток, 31 (100) Interscalene space, 31 (100)	Косто-клавиккулярный промежуток, 17 (100) Bone-clavicular gap, 17 (100)	Малая грудная мышца, 1 (100) Pectoralis minor muscle, 1 (100)
Подостная/надостная Infraspinatus/supraspinatus	7 (22,5)	3 (17,6)	0
Ромбовидная Rhomboides	1 (3,2)	1 (5,8)	0
Большая грудная Pectoralis major	6 (19,3)	2 (11,7)	0
Дельтовидная Deltoides	2 (6,4)	1 (5,8)	1 (100)
Двуглавая Biceps brachii	1 (3,2)	0	0
Общий разгибатель пальцев кисти Extensor digitorum communis	1 (3,2)	2 (11,7)	0
Сгибатели кисти Flexors of the hand	4 (12,9)	3 (17,6)	0
Мышцы тенара Thenar	4 (12,9)	0	0
Мышцы гипотенара Hypothenar	14 (45,1)	15 (88,2) *	0

\*U = 337 (p < 0,05)

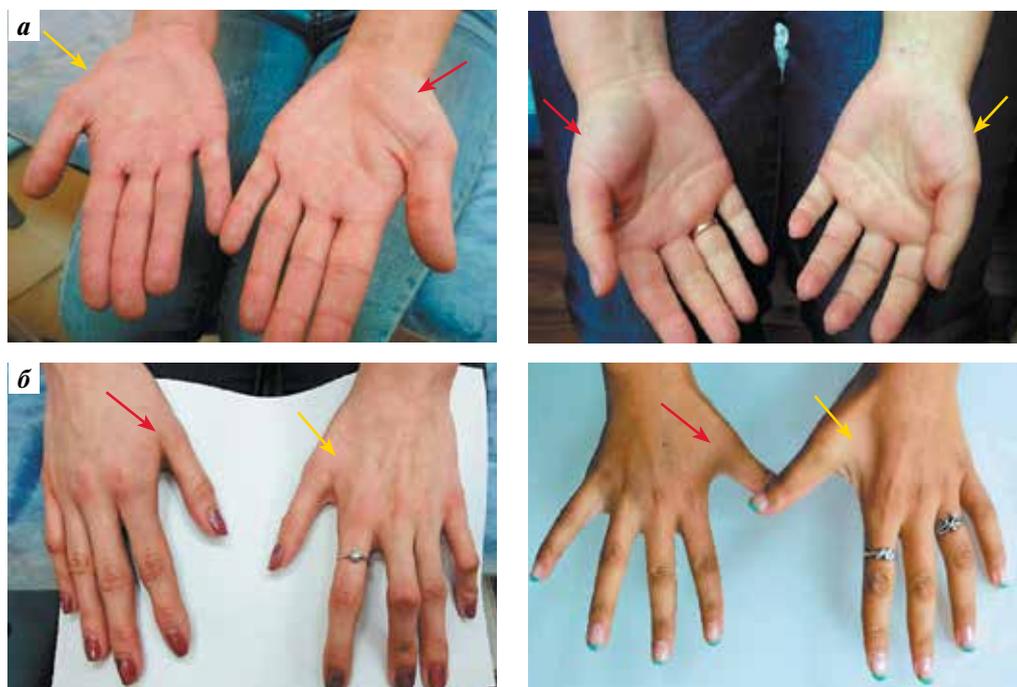
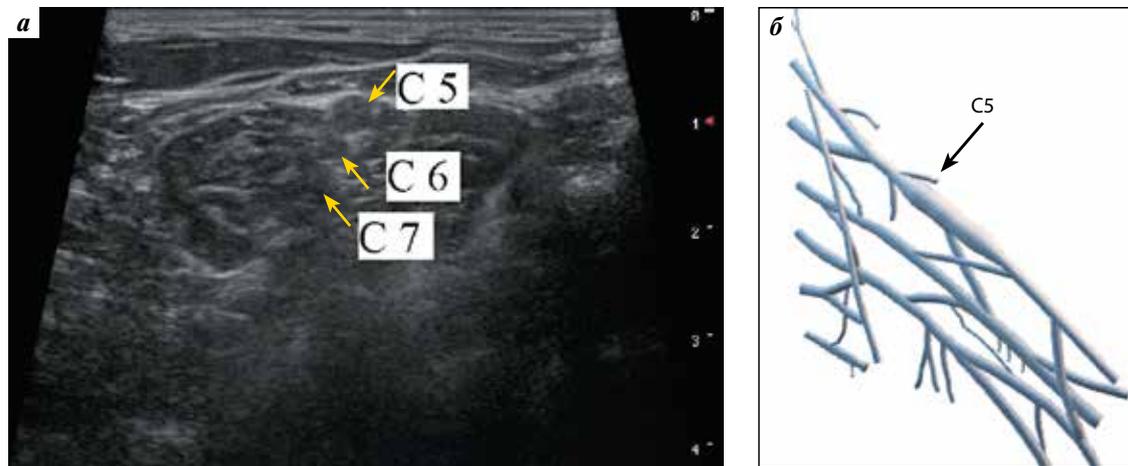


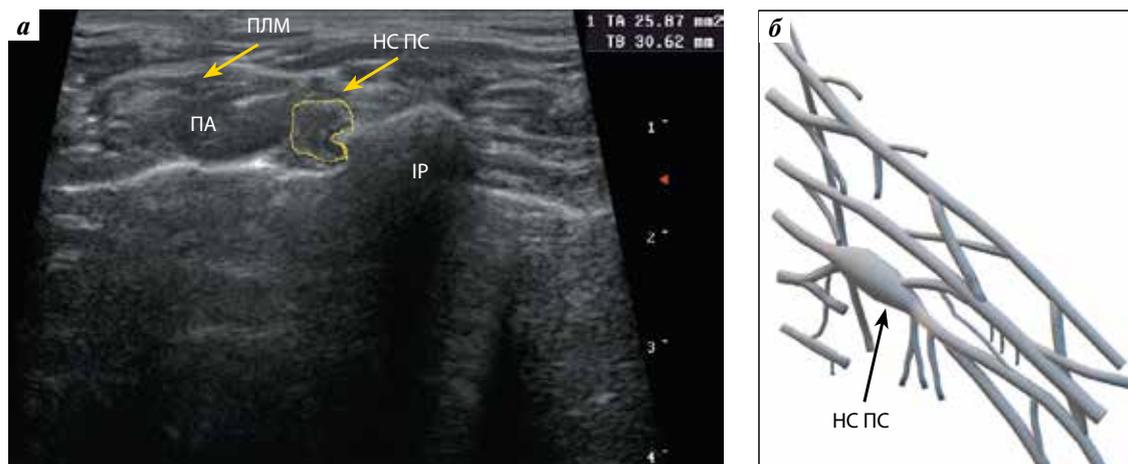
Рис. 1. Атрофии мышц кисти при компрессии плечевого сплетения на разных уровнях: а – атрофия короткой мышцы, отводящей большой палец, при компрессии плечевого сплетения шейным ребром; б – атрофия короткой мышцы, приводящей большой палец, при компрессии плечевого сплетения на уровне косто-клавиккулярного промежутка. Желтая стрелка – атрофия мышцы, красная стрелка – отсутствие атрофии

Fig. 1. Atrophy of the muscles of the wrist during compression of the brachial plexus at different levels: a – atrophy of the musculus abductor pollicis brevis with compression of the brachial plexus by the cervical rib; б – atrophy of musculus adductor pollicis brevis with compression of the brachial plexus at the level of the bone-clavicular gap. Yellow arrow – muscle atrophy, red arrow – no atrophy



**Рис. 2.** Пациентка А., 38 лет. Диагноз: синдром верхней апертуры с положительным стресс-тестом: а – ультразвуковое исследование плечевого сплетения: увеличение площади поперечного сечения ствола C5 на уровне межпозвоночного промежутка до 15 мм<sup>2</sup>; б – 3D-моделирование по результатам ультразвукового исследования. Стрелка – измененный участок

**Fig. 2.** Patient A., 38 years old. Diagnosis: thoracic outlet syndrome with a positive stress test: a – the ultrasound investigation: an increase in the cross-sectional area of the C5 trunk at the level of the inter-stair gap to 15 mm<sup>2</sup>; б – 3D-modeling according to the results of ultrasound. The arrow – the changed area



**Рис. 3.** Пациентка Б., 44 года. Диагноз: синдром верхней апертуры, стресс-тест отрицательный. а – ультразвуковое исследование плечевого сплетения: площадь поперечного сечения нижнего ствола на уровне костно-клавического промежутка – 25 мм<sup>2</sup>; б – 3D-моделирование по результатам ультразвукового исследования. Стрелка – измененный участок, ПА – подключичная артерия, НС ПС – нижний ствол плечевого сплетения, IP – первое ребро, ПЛМ – передняя лестничная мышца

**Figure 3.** Patient B., 44 years old. Diagnosis: upper aperture syndrome, stress test is negative. a – the ultrasound investigation: the cross-sectional area of the lower trunk at the level of the bone-clavicular gap – 25 mm<sup>2</sup>; б – 3D-modeling according to the results of ultrasound. The arrow – the changed area, ПА – subclavian artery, НС ПС – the lower trunk of the brachial plexus, IP – the first rib, ПЛМ – anterior scalene muscle

новообразованием (мезотелиома) – 0,9 % ( $n = 1$ ) (рис. 4В), увеличенными лимфатическими узлами – 2,7 % ( $n = 3$ ).

В качестве причины компрессии ПС в надключичном отделе часто оказывался увеличенный поперечный отросток С7 позвонка (рис. 4Г).

Сонографическая оценка компрессии ПС на уровне сухожилия малой грудной мышцы проводилась по деформации контура подмышечной артерии при отведении руки в сторону (рис. 5). Дополнительных образований на этом уровне у исследуемых пациентов обнаружено не было.

Сопоставление результатов измерения ПС и наличия атрофий мышц руки в зависимости от уровня

компрессии показало, что отсутствие изменений мышц совпадает с нормальными параметрами ППС, что показано в 55,8 % (табл. 4). Атрофия мышц предплечья и кисти встречается в 3 раза чаще у пациентов с увеличением ППС нижнего ствола ПС. При этом число пациентов с увеличенными параметрами ППС, имеющих положительный или отрицательный стресс-тест, достоверно не отличалось. Аналогичные тенденции отмечены для пациентов с СВА атрофией проксимальных мышц.

#### Обсуждение

Термин «синдром верхней апертуры» подразумевает под собой совокупность нарушений с широким

**Таблица 3.** Площадь поперечного сечения спинномозговых нервов в зависимости от уровня компрессии и результатов стресс-теста у пациентов с синдромом верхней апертуры и здоровых лиц

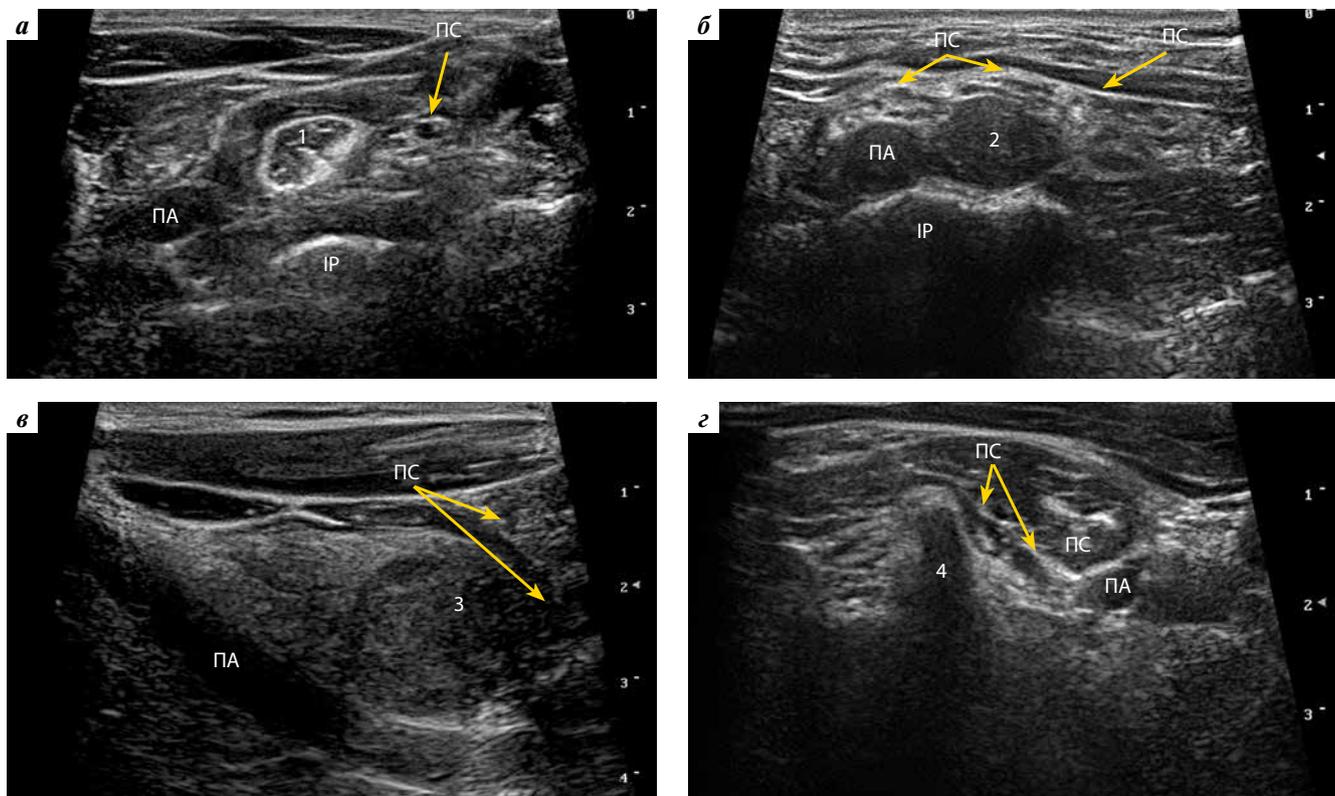
**Table 3.** Cross-sectional area of the spinal nerves, depending on the level of compression and the results of the stress test in patients with thoracic outlet syndrome and healthy individuals

Уровень компрессии Level of compression	Число пациентов, <i>n</i> Patients number, <i>n</i>	Верхний ствол Upper trunk		Средний ствол Middle trunk	Нижний ствол Lower trunk	Стресс-тест «+/-» Stress test “+/-”
		C5	C6	C7	(C8+Th1)	
		(M ± SD) мм <sup>2</sup>				
Межлестничный промежуток Interscalene space	38	9,3 ± 2,8	9,2 ± 2,1	11,2 ± 1,6	—	«+» 38 (53)
	35	9,1 ± 1,3	8,6 ± 1,9	10,1 ± 1,4	—	«-» 35 (47)
Косто-клавиккулярный промежуток Bone-clavicular gap	24	7,6 ± 3,2	7,9 ± 2,7	10,2 ± 3,8	21,2 ± 4,6*	«-» 24 (100)
Малая грудная мышца Pectoralis minor muscle	14	7,9 ± 3,1	8,4 ± 3,5	9,6 ± 4,5	12,9 ± 3,9	«-» 14 (100)
Группа контроля Control group	48	8,7 ± 4,4	9,5 ± 6,8	8,1 ± 4,9	14,2 ± 0,8*	«-» 48 (100)

\**U* = 4; *p* < 0,05.

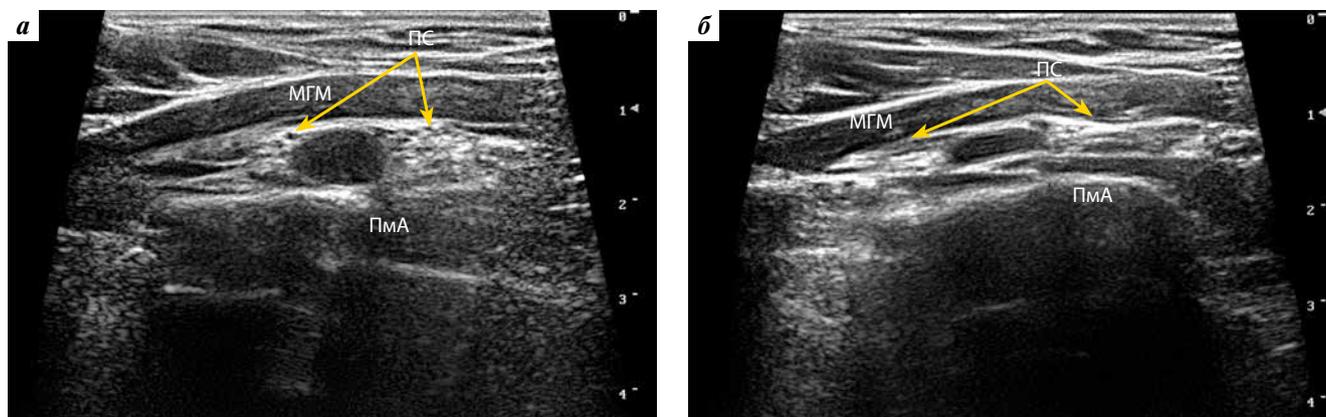
**Примечание.** *M* – среднее отклонение, *SD* – стандартное отклонение.

**Note.** *M* – average deviation, *SD* – standard deviation.



**Рис. 4.** Варианты компрессии плечевого сплетения дополнительными образованиями: а – поперечное сканирование плечевого сплетения на уровне межлестничного промежутка: малая лестничная мышца (1); б – поперечное сканирование: компрессия плечевого сплетения метастазом опухоли Панкоста (2) в надключичном отделе; в – продольное сканирование: компрессия плечевого сплетения мезотелиомой (3) в надключичном отделе; г – поперечное сканирование плечевого сплетения: увеличенный поперечный отросток С7 позвонка (4). ПА – подключичная артерия, ПС – плечевое сплетение, IP – первое ребро

**Fig. 4.** Options for compression of the brachial plexus by additional formations: а – cross scan of the brachial plexus at the level of the interstitial space: musculus scalenus minimus (1); б – cross scan: compression of the brachial plexus with metastasis of a Pancost tumor (2) in the supraclavicular region. Pancost's tumor; в – longitudinal scan: compression of the brachial plexus with mesothelioma (3) in the supraclavicular region; г – cross scan of the brachial plexus: enlarged transverse process of C7 vertebra (4). ПА – subclavian artery, ПС – brachial plexus, IP – first rib



**Рис. 5.** Ультразвуковая картина стресс-теста на компрессию вторичных пучков плечевого сплетения и подмышечной артерии на уровне сухожилия малой грудной мышцы: а – поперечное сканирование плечевого сплетения в статическом положении; б – поперечное сканирование плечевого сплетения. Тест с отведением руки в сторону: деформация контура подмышечной артерии. ПМА – подмышечная артерия, МГМ – малая грудная мышца, ПС – плечевое сплетение

**Fig. 5.** Ultrasound picture of a stress test for compression of the secondary bundles of the brachial plexus and axillary artery at the level of the tendon of the pectoralis minor muscle: а – cross scan of the brachial plexus in the static position, б – cross scan of the brachial plexus: arm-to-side test: deformation of the axillary artery. ПМА – axillary artery, МГМ – pectoralis minor muscle, ПС – brachial plexus

**Таблица 4.** Встречаемость гипотрофий мышц верхней конечности и изменение площади поперечного сечения спинномозговых нервов и нижнего ствола плечевого сплетения

**Table 4.** The occurrence of muscle atrophy of the upper limb and changes in the cross-sectional area of the spinal nerves and the lower trunk of the brachial plexus

Состояние мышц Muscle condition	Стресс тест «+» Stress test “+”		Стресс тест «-» Stress test “-”	Всего Total
	Площадь поперечного сечения = норма Cross-sectional area = normal	Площадь поперечного сечения > норма Cross-sectional area > normal	Площадь поперечного сечения > норма Cross-sectional area > normal	
	n (%)			
Нет атрофий No atrophy	50 (45,0)	12 (10,8)	0	62 (55,8)
Атрофия мышц предплечья и кисти Atrophy of the forearm and hand muscles	8 (7,2)	9 (8,1)	14 (12,6)	31 (27,9)
Атрофия мышц плечевого пояса Atrophy of the shoulder girdle muscles	0	8 (7,2)	10 (9,01)	18 (16,2)
<b>Всего:</b> <i>Total</i>	<b>58 (52,2)</b>	<b>29 (26,1)</b>	<b>2 (21,6)</b>	<b>111 (100)</b>

**Примечание.** «+» – положительный, «-» – отрицательный.  
*Note.* “+” – positive; “-” – negative.

спектром клинических проявлений и разной этиологией, требующих дифференциального подхода в оценке и лечении пациента.

В ходе проведенного исследования продемонстрирована возможность УЗИ в доказательстве наличия и определении уровня компрессии ПС при постановке диагноза СВА. Клинические стресс-тесты в ряде случаев не позволяют объективизировать факт компрессии ПС в связи с наличием ложноположительных результатов. По данным литературы, наличие компрессии не зависит от возраста пациента и давности жалоб [19–23]. Возникающие трудности в дифференциальной диагностике СВА при электрофизиологической и кли-

нической оценке связаны с отсутствием единых стандартов данного симптомокомплекса, что ставит вопрос о необходимости совершенствования и упорядочивания диагностических приемов.

Мы объединили в единый протокол исследования описанные ранее в литературе тесты [16, 17, 19] и продемонстрировали отсутствие достоверной связи УЗ-изменений с клиническими проявлениями СВА. В первую очередь это связано с разной продолжительностью и степенью компрессии. Анализ состояния мышц кисти в зависимости от уровня компрессии ПС продемонстрировал, что гипотрофия мышц кисти обнаруживается в 2 раза чаще у пациентов с компрессией

в косто-клавикулярном (88,2 %), чем в межлестничном (45,1 %) промежутках. Данный факт обусловлен анатомической близостью ПС к костным структурам и хронической травматизацией при стереотипных нагрузках [24].

Особое внимание следует обратить на изолированную одностороннюю атрофию короткой мышцы, приводящей большой палец кисти, обнаруженную только у пациентов с увеличенным поперечным отростком позвонка С7. Указанный симптомокомплекс описан в 1975 г. R. W. Gilliant и A. J. Summner и получил название феномена Gilliant–Sumner Hand [25]. УЗИ позволяет визуализировать тень от увеличенного поперечного отростка С7 и определить ее взаимоотношение с нервными структурами [26]. «Золотым стандартом» для объективизации дополнительного шейного ребра сегодня является компьютерная томография [3].

Предложенный протокол УЗИ в комбинации с клиническими стресс-тестами позволяет верифицировать компрессию ПС и подтвердить диагноз СВА после исключения шейной миелопатии, туннельной нейропатии и т. д. Одновременное отсутствие гипотрофий мышц кисти при жалобах на парестезии и боль в области плечевого пояса, сонографические изменения ПС

и положительные результаты стресс-тестов позволяют иначе взглянуть на пациентов, имеющих диагноз «дискутабельный» или «сомнительный» СВА, по данным литературы [3, 7, 27]. При положительном стресс-тесте под контролем УЗИ происходит изменение положения стволов ПС относительно друг друга, что делает проведение динамического теста обязательным для верификации компрессии.

Примерно в половине случаев в процессе диагностики СВА необходимо обращать внимание на дополнительные факторы, оказывающие компрессионное влияние на ПС (см. табл. 1). Обнаруженные изменения всегда следует сопоставлять с данными клинического осмотра и анамнеза.

### Заключение

Проведенное исследование продемонстрировало информативность УЗИ ПС для выявления компрессии, ее уровня и возможной причины, что открывает возможность применения метода в ежедневной неврологической практике. Гипотрофия мышц является неспецифичным признаком при СВА, за исключением варианта компрессии ПС поперечным отростком С7 позвонка.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Freischlag J., Orion K. Understanding thoracic outlet syndrome. *Scientifica* (Cairo) 2014;2014:248163. DOI:10.1155/2014/248163. PMID: 25140278.
- Buller L.T., Jose J., Baraga M., Lesniak B. Thoracic outlet syndrome: current concepts, imaging features, and therapeutic strategies. *Am J Orthop* (Belle Mead NJ) 2015;44(8):376–82. PMID: 26251937.
- Sanders R.J., Hammond S.L., Rao N.M. Diagnosis of thoracic outlet syndrome. *J Vasc Surg* 2007;46(3):601–4. DOI: 10.1016/j.jvs.2007.04.050. PMID: 17826254.
- Klaassen Z., Sorenson E., Tubbs R.S. et al. Thoracic outlet syndrome: a neurological and vascular disorder. *Clin Anat* 2014;27(5):724–32. DOI: 10.1002/ca.22271. PMID: 23716186.
- Ozoa G., Alves D., Fish D.E. Thoracic outlet syndrome. *Phys Med Rehabil Clin North Am* 2011;22(3):473–83. DOI: 10.1016/j.pmr.2011.02.010. PMID: 21824588.
- Criado E., Berguer R., Greenfield L. The spectrum of arterial compression at the thoracic outlet. *J Vasc Surg* 2010;52(2):406–11. DOI: 10.1016/j.jvs.2010.03.009. PMID: 20541346.
- Ferrante M.A., Ferrante N.D. The thoracic outlet syndromes: Part 1. Overview of the thoracic outlet syndromes and review of true neurogenic thoracic outlet syndrome. *Muscle Nerve* 2017;55(6):782–93. DOI: 10.1002/mus.25536. PMID: 28006844.
- Cruz-Martínez A., Arpa J. Electrophysiological assessment in neurogenic thoracic outlet syndrome. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 2001;41(4):253–6. PMID: 11441643.
- Nichols A.W. Diagnosis and management of thoracic outlet syndrome. *Curr Sports Med Rep* 2009;8(5):240–9. DOI: 10.1249/JSR.0b013e3181b8556d. PMID: 19741351.
- Singh V.K., Jeyaseelan L., Kyriacou S. et al. Diagnostic value of magnetic resonance imaging in thoracic outlet syndrome. *J Orthop Surg* (Hong Kong) 2014;22(2):228–31. DOI: 10.1177/230949901402200224. PMID: 25163962.
- Boulanger X., Ledoux J.B., Brun A.L. et al. Imaging of the non-traumatic brachial plexus. *Diagn Interv Imaging* 2013;94(10):945–56. DOI: 10.1016/j.diii.2013.06.015. PMID: 23891030.
- Bottros M.M., AuBuchon J.D., McLaughlin L.N. et al. Exercise-enhanced, ultrasound-guided anterior scalene muscle/pectoralis minor muscle blocks can facilitate the diagnosis of neurogenic thoracic outlet syndrome in the high-performance overhead athlete. *Am J Sports Med* 2017;45(1):189–94. DOI: 10.1177/0363546516665801. PMID: 27664077.
- Colorado Department of Labor and Employment, Division of Worker's Compensation. Thoracic outlet syndrome medical treatment guidelines. Colorado: FLEX CEUs, 2015. URL: <https://www.colorado.gov/pacific/cdle/guidelines-methodology-article-critiques>.
- Illig K.A., Donahue D., Duncan A. et al. Reporting standards of the Society for vascular surgery for thoracic outlet syndrome. *Journal of Vascular Surgery* 2016;64(3):e23–35. DOI: 10.1016/j.jvs.2016.04.039. PMID: 27565607.
- Наумова Е.С., Дружинин Д.С., Никитин С.С. Количественные сонографические характеристики периферических нервов у здоровых людей. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии* 2017;11(1):55–61. DOI: 10.18454/ACEN.2017.1.6162. [Naumova E.S., Druzhinin D.S., Nikitin S.S. Quantitative sonographic characteristics of peripheral nerves in healthy people. *Annaly klinicheskoy i experimentalnoy nevrologii* = *Annals of clinical and experimental neurology* 2017;11(1):55–61. (In Russ.)].
- Arányi Z., Csillik A., Böhm J., Schelle T. Ultrasonographic identification of fibromuscular bands associated

- with neurogenic thoracic outlet syndrome: the “Wedge–Sickle” sign. *Ultrasound Med Biol* 2016;42(10):2357–66. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2016.06.005
17. Fried S.M., Nazarian L.N. Dynamic neuromusculoskeletal ultrasound documentation of brachial plexus/thoracic outlet compression during elevated arm stress testing. *Hand (NY)* 2013;8(3):358–65. DOI: 10.1007/s11552-013-9523-8. PMID: 24426950.
  18. Odderson I.R., Chun E.S., Kolokythas O. et al. Use of sonography in thoracic outlet syndrome due to a dystonic pectoralis minor. *J Ultrasound Med* 2009;28(9):1235–8. DOI: 10.7863/jum.2009.28.9.1235. PMID: 19710222.
  19. Jordan S.E., Ahn S.S., Freischlag J.A. et al. Selective botulinum chemodenervation of the scalene muscles for treatment of neurogenic thoracic outlet syndrome. *Ann Vasc Surg* 2000;14(4):365–9. DOI: 10.1007/s100169910079. PMID: 10943789.
  20. Hooper T.L., Denton J., McGalliard M.K. et al. Thoracic outlet syndrome: a controversial clinical condition. Part 1: anatomy, and clinical examination/diagnosis. *J Man Manip Ther* 2010;18(2):74–83. DOI: 10.1179/106698110X12640740712734. PMID: 21655389.
  21. Stewman C., Vitanzo P.C., Harwood M.I. Neurologic thoracic outlet syndrome: summarizing a complex history and evolution. *Curr Sports Med Rep* 2014;13(2):100–6. DOI: 10.1249/JSR.0000000000000038. PMID: 24614423.
  22. Nord K.M., Kapoor P., Fisher J. et al. False positive rate of thoracic outlet syndrome diagnostic maneuvers. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 2008;48(2):67–74. PMID: 18435210.
  23. Maru S., Dosluoglu H., Dryjski M. et al. Thoracic outlet syndrome in children and young adults. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2009;38(5):560–4. DOI: 10.1016/j.ejvs.2009.06.015. PMID: 19703780.
  24. Laulan J. Thoracic outlet syndromes. The so-called “neurogenic types”. *Hand Surg Rehabil* 2016;35(3):155–64. DOI: 10.1016/j.hansur.2016.01.007. PMID: 27740456.
  25. Gillard J., Pérez-Cousin M., Hachulla E. et al. Diagnosing thoracic outlet syndrome: contribution of provocative tests, ultrasonography, electrophysiology, and helical computed tomography in 48 patients. *Joint Bone Spine* 2001;68(5):416–24. DOI: 10.1016/s1297-319x(01)00298-6. PMID: 11707008.
  26. Lapegue F., Faruch-Bilfeld M., Demon-dion X. et al. Ultrasonography of the brachial plexus, normal appearance and practical applications. *Diagn Interv Imaging* 2014;95(3):259–75. DOI: 10.1016/j.diii.2014.01.020. PMID: 24603038.
  27. Laulan J., Fouquet B., Rodaix C. et al. Thoracic outlet syndrome: definition, aetiological factors, diagnosis, management and occupational impact. *J Occup Rehabil* 2011;21(3):366–73. DOI: 10.1007/s10926-010-9278-9. PMID: 21193950.

#### Вклад авторов

Д.С. Дружинин: разработка дизайна исследования, сбор клинических данных, анализ и интерпретация данных, написание текста рукописи;  
 С.С. Никитин: разработка дизайна исследования, поиск и обзор публикаций по теме статьи, написание текста рукописи, окончательное утверждение текста рукописи;

Л.М. Борискина, Е.С. Дружинина: редактирование текста рукописи, поиск и обзор публикаций по теме статьи;

М.Л. Новиков: сбор клинических данных, поиск и обзор публикаций по теме статьи;

А.А. Елисева: сбор клинических данных, анализ данных.

#### Authors' contributions

D.S. Druzhinin: research design development, clinical data collection, data analysis and interpretation, writing the text of the manuscript;

S.S. Nikitin: development of research design, search and review of publications on the topic of the article, writing the text of the manuscript, final approval of the text of the manuscript;

L.M. Boriskina, E.S. Druzhinina: manuscript text editing, search and review of publications on the topic of an article;

M.L. Novikov: collection of clinical data, search and review of publications on the topic of the article;

A.A. Eliseeva: clinical data collection, data analysis.

#### ORCID авторов/ORCID authors

Д.С. Дружинин/D.S. Druzhinin: <https://orcid.org/0000-0002-6244-0867>

С.С. Никитин/S.S. Nikitin: <http://orcid.org/0000-0003-3292-2758>

Л.М. Борискина/L.M. Boriskina: <https://orcid.org/0000-0003-3232-1573>

Е.С. Дружинина/E.S. Druzhinina: <https://orcid.org/0000-0001-7853-0210>

А.А. Елисева/A.A. Eliseeva: <https://orcid.org/0000-0001-8152-2668>

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

**Financing.** The study was performed without external funding.

Статья поступила: 15.10.2019. Принята к публикации: 06.04.2020.

Article submitted: 15.10.2019. Accepted for publication: 06.04.2020.