

# Методика ультразвукового исследования плечевого сплетения у взрослых в норме и при нейрогенном синдроме верхней апертуры

И.Х. Мухамбеталиева<sup>1</sup>, Е.С. Дружинина<sup>2</sup>, Д.С. Дружинин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Медицинский центр «Клиника нервно-мышечных болезней», Москва, Россия;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова», Москва, Россия;

<sup>3</sup>ГБОУ ВПО «Ярославский государственный медицинский университет», Ярославль, Россия

*Ультразвуковое исследование (УЗИ) плечевого сплетения (ПС) — доступный и информативный метод инструментальной диагностики. Хорошее знание нормальной и вариативной анатомии ПС и методики УЗИ ПС является залогом успеха. Представлена методика УЗИ ПС в норме у взрослых и пациентов с нейрогенным синдромом верхней апертуры.*

**Ключевые слова:** ультразвуковое исследование; периферические нервы; плечевое сплетение; синдром верхней апертуры; стресс-тесты.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии финансирования при проведении исследования.

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

**Адрес для корреспонденции:** 117556, Москва, ул. Болотниковская, д. 5, корп. 2. Медицинский центр «Клиника нервно-мышечных болезней». E-mail: i.mukhambetalieva@hotmail.com. Мухамбеталиева И.Х.

**Для цитирования:** Мухамбеталиева И.Х., Дружинина Е.С., Дружинин Д.С. Методика ультразвукового исследования плечевого сплетения у взрослых в норме и при нейрогенном синдроме верхней апертуры. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии* 2020; 14(4): 82–88.

DOI: 10.25692/ACEN.2020.4.11

Поступила 15.08.2020 / Принята в печать 08.10.2020

## Ultrasound imaging of the brachial plexus in healthy adults and those with neurogenic thoracic outlet syndrome

Irina Kh. Mukhambetalieva<sup>1</sup>, Evgeniya S. Druzhinina<sup>2</sup>, Dmitry S. Druzhinin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Medical Center «Clinic of neuromuscular diseases», Moscow, Russia;

<sup>2</sup>Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia, Moscow, Russia;

<sup>3</sup>Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russia

*Ultrasound of the brachial plexus (BP) is a readily available and informative imaging method. Good knowledge of normal BP anatomy and its variations, as well as the ultrasound technique for examining the BP, is the key to success. We present an ultrasound technique for BP assessment in healthy adults and patients with neurogenic thoracic outlet syndrome.*

**Keywords:** ultrasound; peripheral nerve; brachial plexus; thoracic outlet syndrome; stress tests.

**Acknowledgments.** The study had no sponsorship.

**Conflict of interest.** The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**For correspondence:** 117556, Russia, Moscow, Bolotnikovskaya str., 5, build. 2. Medical Center «Clinic of neuromuscular diseases». E-mail: i.mukhambetalieva@hotmail.com. Raskurazhev A.A.

**For citation:** Mukhambetalieva I.Kh., Druzhinina E.S., Druzhinin D.S. [Ultrasound imaging of the brachial plexus in healthy adults and those with neurogenic thoracic outlet syndrome]. *Annals of clinical and experimental neurology* 2020; 14(4): 82–88. (In Russ.)

DOI: 10.25692/ACEN.2020.4.11

Received 15.08.2020 / Accepted 08.10.2020

## Введение

Развитие технологий в медицинской радиологии, в том числе появление ультразвуковых сканеров с более высокой разрешающей способностью, позволило шире применять ультразвуковое исследование (УЗИ) в клинической практике разных специальностей. Так, УЗИ плечевого сплетения (ПС) стало достаточно информативным методом диагностики травматических и нетравматических поражений ПС [1, 2]. Залогом успеха при УЗИ ПС является знание анатомии, техники выполнения исследования и предполагаемой патологии. При преангионарном повреждении ПС в качестве стандартного метода диагностики применяются КТ-миелографию, тогда как при постангионарном уровне УЗИ оказывается достаточно информативным. Возможность проведения динамических проб во время исследования является одним из главных преимуществ УЗИ, что важно при диагностике синдрома верхней апертуры (СВА). В последнее время методика УЗИ при СВА претерпела изменения, что связано не только с техническим прогрессом, но и с проведением исследований по анатомическим сопоставлениям с УЗ-находками, а также специфичности и чувствительности метода при разных патологиях.

## Ультразвуковая анатомия плечевого сплетения

Особенностью анатомии ПС является его вариативность. Так А.Т. Кегг с коллегами по результатам секционного исследования 175 трупов впервые описал 29 анатомических вариантов ПС [3]. ПС образовано передними ветвями С5–Th1 сегментов спинного мозга, в ряде случаев включает в себя ветви С4 и Th2. Спинномозговые нервы (СМН), в англоязычной литературе определяемые как roots, часто ошибочно интерпретируются отечественными исследователями как «корешки», хорошо визуализируются при УЗИ, в то время как корешки спинного мозга недоступны для УЗИ в силу ограничения метода.

Наибольшими по объему СМН являются С7 и С8, наименьшим — С5 [4].

В межлестничном промежутке (МЛП), имеющем вид треугольника, образованном передними краями передней и средней лестничными мышцами (ЛМ) — боковые поверхности и первым ребром — основание треугольника, СМН С5, С6 формируют верхний, С7 — средний и С8–Th1 — нижний стволы ПС, расположенные компактно между ЛМ при классическом анатомическом варианте. СМН С8 после выхода из поперечного отростка Th1 виден на ограниченном участке ниже уровня дорсальной части первого ребра, находясь в его акустической тени, что часто затрудняет его визуализацию.

От верхнего ствола (в 90% случаев) отходят две крупные ветви — надлопаточный (в 10% случаев формируется задними ветвями СМН) и задний нерв лопатки, доступные для УЗ-визуализации. Сформированный из СМН С4, С5 и С6 диафрагмальный нерв также может быть визуализирован между передней ЛМ и грудино-ключично-сосцевидной

мышцей, которая расположена латерально и впереди от передней ЛМ. Средний и нижний ствол в МЛП не формируют крупных нервных стволов.

Классический анатомический вариант расположения стволов ПС в МЛП встречается всего в трети случаев [5]. Одним из частых вариантов, предрасполагающим к компрессии нервных стволов, является прорывание передней ЛМ С5 и С6 как по отдельности, так и вместе, что хорошо видно при УЗИ ПС. Расположение С5 над передней ЛМ является более редким анатомическим вариантом. Кроме того, С6 часто имеет разделение ствола, одна из ветвей которого ошибочно принимается за С7 [4]. Данную особенность необходимо учитывать при анестезиологическом пособии с введением анестетика при выполнении блокады ПС.

Помимо стволов ПС в МЛП проходит подключичная артерия, которая обычно отделена от одноименной вены брюшком передней ЛМ. Задняя артерия лопатки, которая в 30,3% случаев является ветвью подключичной артерии, хорошо визуализируется в этой зоне, однако она имеет разный ход по отношению к ветвям плечевого сплетения и проходит либо между средним и нижним стволами, либо между верхним и средним стволами. Последний вариант может провоцировать развитие СВА [6]. Редким вариантом является расположение задней артерии лопатки между С8 и Т1, а также ее прохождение над сплетением. В большинстве случаев (69,7%) эта артерия является ветвью поперечной артерии шеи, проходящей позади МЛП, и не пересекает ветви плечевого сплетения [7]. Дополнительная ЛМ (*Musculus scalenus minimus*), по данным разных авторов, может встречаться в 7,8–71,7% случаев [8], также может быть причиной компрессии нервных стволов ПС.

В надключичной ямке стволы ПС группируются на поверхности первого ребра и вместе с подключичной артерией проходят под ключицу. Реберно-ключичное пространство — самое узкое, которое проходят стволы ПС вместе с подключичной артерией и веной. Они могут быть компремированы в этом месте. Покидая его, артерия и вена называются уже подмышечными.

Ниже уровня ключицы ПС формирует вторичные пучки, которые, в зависимости от расположения по отношению к подмышечной артерии, называются медиальным, латеральным и задним. При этом количество артерий и вен может варьировать и, по данным разных авторов, с очень большим процентным разбросом. Редким (1,5% случаев) является анатомический вариант с двумя подмышечными артериями, две подмышечные вены встречаются в 9% случаев, одна вена — в 3,5%, ни одной вены — в 1,5% [9], тогда как, по данным других авторов, у 90% людей рядом с артерией видны две и более подмышечные вены [1]. Спускаясь ниже, сосудисто-нервный пучок проходит глубоко под сухожилие малой грудной мышцы. Это пространство, ограниченное клювовидным отростком лопатки, ребрами и сухожилием малой грудной мышцы, носит название малого ретропекторального пространства.

На уровне подмышечной впадины вторичные пучки переходят в основные длинные нервы руки, расположение которых определяется по отношению к подмышечной артерии с использованием циферблата часов. Так, срединный нерв находится на уровне 9–12 ч, локтевой — 12–3 ч, реже — 9–10 ч, лучевой — 4–6 ч [1].

### Методика УЗИ ПС в норме

Для проведения УЗИ ПС необходимо использовать линейный датчик с частотой не ниже 10 МГц. УЗ-изображение должно быть оптимизировано подбором достаточной глубины, частоты сканирования, настройки серой шкалы, а также оптимального фокуса УЗ-луча на «области интереса». На протяжении всего исследования основное положение датчика поперечное или поперечно-косое, при необходимости в зоне интереса изображение может быть повернуто продольно.

Существуют 2 положения пациента, в котором проводится УЗИ ПС:

- в положении лежа на спине, руки лежат вдоль туловища, голова повернута в противоположную сторону от исследователя;
- сидя на стуле перед монитором УЗ-аппарата, руки опущены вдоль туловища, исследователь стоит сзади.

У пациентов с короткой шеей, страдающих ожирением, визуализация ПС может быть затруднена. Эта проблема решается техническим приемом, при котором между лопатками больного помещается подушка, и голова запрокидывается назад.

УЗ-оценка ПС проводится на 4 стандартных уровнях:

- исследование СМН С5–С8 на уровне поперечных отростков соответствующих позвонков, при этом Th1 СМН, как правило, не визуализируется из-за акустической тени вышележащего первого ребра;
- на уровне МЛП оцениваются стволы ПС между передней и средней ЛМ;
- при смещении датчика ниже в надключичную область на первом ребре вместе с подключичной артерией и веной исследуются стволы ПС;
- в подключичной области вокруг подмышечной артерии визуализируются вторичные пучки ПС под сухожилием малой грудной мышцы.

Оптимальным началом сканирования является середина надключичной ямки, где датчик располагается параллельно ключице. Метка на датчике расположена наружу. В этой зоне хорошо визуализируются подключичная артерия, вена и стволы ПС (рис. 1, D). Для визуализации СМН на уровне выхода из поперечных отростков шейных позвонков датчик перемещается краниально и в обратном направлении — «lift technique» [10]. Для хорошей визуализации важно постоянно менять положение датчика при движении от поперечно-косого до строго поперечного. При движении датчика краниально от ключицы сначала виден гипоехогенный поперечный отросток С7 позвонка, он обычно большой с хорошо заметным задним бугорком и маленьким, иногда невыраженным передним. Такая особенность строения поперечного отростка С7 позвонка делает его особенным в качестве анатомического ориентира. СМН С7 находится на передней поверхности поперечного отростка в виде округлого гипоехогенного образования (рис. 1, С).

Следующим визуализируется поперечный отросток С6 позвонка с хорошо выраженными передним и задним бугорками и расположенным между ними С6 СМН (рис. 1, B). Именно на этом уровне, двигаясь вперед и назад, возможно увидеть интраневральное разделение С6 нерва [4]. Выше визуализируется меньший по размеру поперечный отросток с выраженными и передним и задним бугорками С5 позвонка и С5 СМН, расположенным между ними в виде круглого гипоехогенного образования (рис. 1, A). Именно на этих уровнях измеряется площадь поперечного сечения СМН, для которых рассчитаны нормативные значения [11, 12].

Для визуализации С8 и Т1 СМН датчик необходимо смещать обратно вниз до появления акустической тени первого ребра и гиперэхогенной полоски плевры легкого, затем при постепенном наклоне в 30–40° каудально и медленном смещении в этом же направлении датчика выявляются медиально расположенные по отношению к первому ребру два гипоехогенных округлых образования С8 и Т1 (рис. 1, E), которые при смещении датчика ниже сливаются в нижний ствол ПС [13].

Нормативные значения площади поперечного сечения нижнего ствола на этом уровне также определены и составляют 9–23 мм<sup>2</sup> [14, 15]. Подключичный отдел ПС визуализируется при продольном или косом расположении датчика, при этом нервные стволы ПС в этой области называются пучками и располагаются вокруг подмышечной артерии в виде гиперэхогенных образований (рис. 1, F). Пользуясь циферблатом часов, чаще всего латеральный пучок можно обнаружить на 10–11 ч, задний — между 5–9 ч и медиальный — между 2 и 6 ч [2]. Однако такое типичное расположение пучков вокруг артерии встречается не всегда и, кроме того, не всегда хорошо визуализируется при УЗИ. В этом случае аксилярный доступ с отведенной рукой предпочтительнее. Позиция датчика при этом поперечная, ориентиром служит подмышечная артерия, вокруг которой располагаются уже конечные ветви ПС — срединный, локтевой и лучевой нервы — на 9–12, 12–3 и 4–6 ч циферблата соответственно [1] (рис. 1, G). Каждый из нервов при необходимости можно проследить дистально. При этом датчик продолжает располагаться поперечно, и только в случае необходимости применяют продольное сканирование обнаруженных изменений для оценки соотношения с окружающими анатомическими структурами и определения размера изменений.

### Методика УЗИ плечевого сплетения при нейрогенном СВА

СВА — это комплекс невровазкулярных симптомов верхних конечностей, обусловленных компрессией сосудов и нервных стволов ПС структурами верхней апертуры. Основными жалобами пациента с СВА являются боль, онемение и слабость в руках. В зависимости от того, какие структуры преимущественно сдавливаются, выделяют 3 варианта СВА — артериальный, венозный и нейрогенный. Последний в свою очередь делится на «истинный» и «дискутабельный». Нейрогенный СВА является самым распространенным вариантом обсуждаемой патологии [16], при этом нижний ствол ПС поражается более чем в 90% случаев [1].

Вопрос о чувствительности и специфичности клинических стресс-тестов для диагностики СВА сегодня продолжает

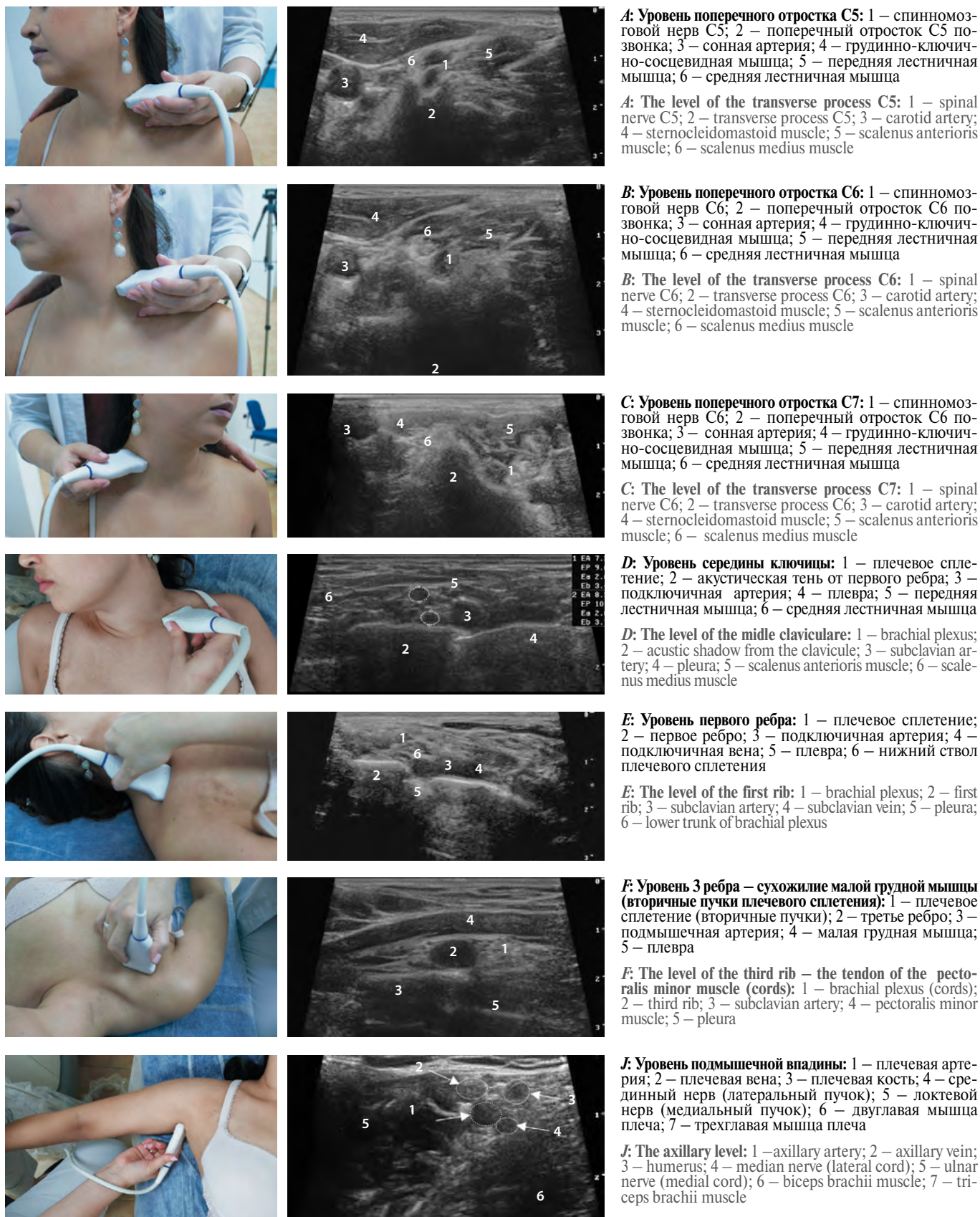


Рис. 1. УЗ-визуализация ПС.

Fig. 1. Ultrasound image of the brachial plexus.

дискутироваться. Однако для тестов Райта, Халстеда и Циракса определён уровень доказательности В; для тестов, которые применимы только для диагностики СВА, — уровень доказательности С [17]. Для дифференциальной диагностики стресс-тесты использовать нельзя. В таких случаях УЗИ структур верхней аперттуры является незаменимым методом инструментальной диагностики и дифференциальной диагностики.

Целью УЗИ при СВА является определение уровня компрессии сосудисто-нервного пучка структурами верхней аперттуры и воспроизведение жалоб, предъявляемых пациентом при динамическом исследовании с использованием стресс-тестов.

Исследование у пациента с подозрением на СВА проводится в положении сидя на стуле, руки опущены, при этом исследователь стоит сзади, оба смотрят на монитор УЗ-сканера. Сканирование начинают с надключичной области с нейтральным положением рук больного.

В этой позиции в покое и при отведении руки назад до 180° (тест Райта) оценивается контур подключичной артерии при дуплексном сканировании, который может быть деформирован краем передней ЛМ, также оценивается наличие турбулентного кровотока в артерии или его редукция. Исследование проводится с двух сторон, даже если пациент не предъявляет жалоб на контралатеральную сторону, т.к. сосудистая компрессия может быть и на асимптомной стороне [18].

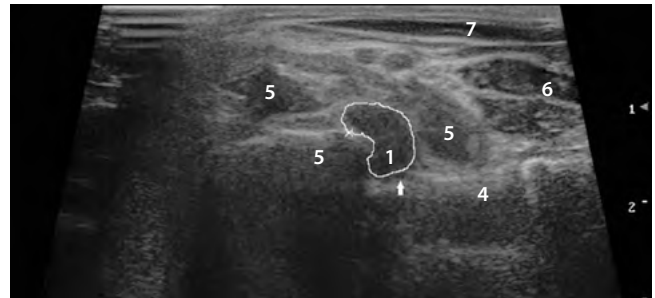
Поднимаясь выше в МЛП, оценивается наличие предрасполагающих к компрессии нервных стволов следующих анатомических вариантов:

- 1) прободение СМН С5, С6 передней ЛМ;
- 2) дополнительная ЛМ;
- 3) прохождение через ПС задней артерии лопатки.

На этом уровне проводится динамическая проба с пассивным отведением руки на 90°, которая считается положительной, если нервные стволы ПС меняют свое положение в МЛП и при воспроизведении предъявляемых пациентом жалоб [19]. Проводя сканирование в этой области, необходимо обращать внимание на акустические тени от поперечных отростков шейных позвонков, особенно С7, который может быть увеличенным и взаимодействовать со стволами ПС как в покое, так и при динамической пробе. Возвращаясь в надключичную область, оценивают контур и площадь поперечного сечения нижнего ствола. Так, деформация контура нижнего ствола по типу «месяца» является высокочувствительным 95% признаком для компрессии нижнего ствола [14, 15] (рис. 2).

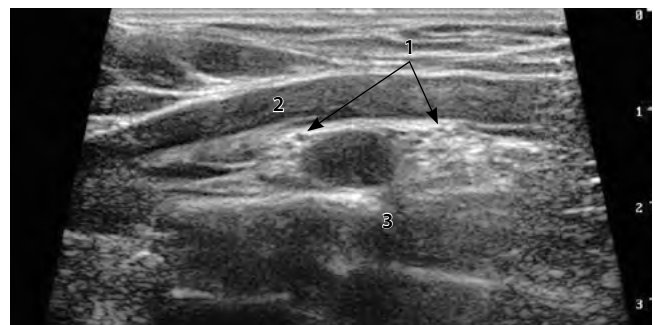
Увеличение площади поперечного сечения нижнего ствола на этом уровне также является достоверным признаком СВА [14, 15]. Следующий уровень, на котором оценивается компрессия сосудисто-нервного пучка, — это ретропекторальное пространство под сухожилием малой грудной мышцы в покое и при гиперабдукции руки с оценкой деформации контура подмышечной артерии (рис. 3).

Деформация подмышечной артерии в связи с близостью расположения пучков ПС расценивается как компрессия всего сосудисто-нервного пучка [20]. Таким образом, во время проведения сонографического исследования структур верхней аперттуры с динамическими пробами оценивается МЛП, косто-клавиккулярный и ретропекторальный

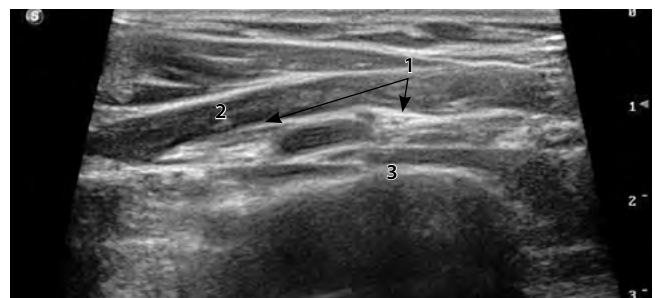


**Рис. 2. Феномен серповидного вдавления нижнего ствола ПС.**  
1 — феномен серповидного вдавления нижнего ствола ПС; 2 — первое ребро; 3 — подключичная артерия; 4 — плевра; 5 — средняя ЛМ; 6 — передняя ЛМ; 7 — грудинно-ключично-сосцевидная мышца

**Fig. 2. Compression of the lower trunk of the brachial plexus («wedge-sickle» sign).**  
1 — «Wedge-Sickle sign» of the lower trunk of the brachial plexus; 2 — first rib; 3 — subclavian artery; 4 — pleura; 5 — scalenus medius muscle; 6 — scalenus anterioris muscle; 7 — sternocleidomastoid muscle



A



B

**Рис. 3. Стресс-тест — компрессия подмышечной артерии под сухожилием малой грудной мышцы.**  
A — поперечное сканирование на уровне подмышечной артерии; B — при отведении руки в сторону. 1 — пучки; 2 — сухожилие малой грудной мышцы; 3 — подмышечная артерия

**Fig. 3. Stress test with axillary artery compression under the pectoralis minor tendon.**  
A — transversus ultrasound at the axillary artery; B — abduction shoulder to the side. 1 — cords; 2 — pectoralis minor muscle; 3 — axillary artery

промежутки. Появление во время исследования сходных жалоб у пациента служит дополнительным критерием диагноза СВА.

## Заключение

УЗИ у пациентов с СВА является информативным методом инструментальной диагностики с высокочувствительными признаками. Оно объективизирует уровень компрессии и может использоваться в рутинной практике невролога.

## Список литературы

1. Griffith J.F. Ultrasound of the Brachial Plexus. *Semin Musculoskelet Radiol* 2018; 22: 323–333. DOI: 10.1055/s-0038-1645862. PMID: 29791960.
2. Baute V., Strakowski J.A., Reynolds J.W. et al. Neuromuscular ultrasound of the brachial plexus: A standardized approach. *Muscle Nerve* 2018; 58: 618–624. DOI: 10.1002/mus.26144. PMID: 29672872.
3. Kerr A.T. The brachial plexus of nerves in man, the variations in its formation and branches. *Am J Anat* 1918; 23: 285–395. DOI: 10.1002/aja.1000230205.
4. Franco C.D., Williams J.M. Ultrasound-guided interscalene block: reevaluation of the “stoplight” sign and clinical implications. *Reg Anesth Pain Med* 2016; 41: 452–459. DOI: 10.1097/AAP.0000000000000407. PMID: 27203394.
5. Leonhard V., Caldwell G., Goh M. et al. Ultrasonographic diagnosis of thoracic outlet syndrome secondary to brachial plexus piercing variation. *Diagnostics* 2017; 7: 40. DOI: 10.3390/diagnostics7030040. PMID: 28677632.
6. Leonhard V., Smith R., Caldwell G., Smith H.F. Anatomical variations in the brachial plexus roots: implications for diagnosis of neurogenic thoracic outlet syndrome. *Ann Anat* 2016; 206: 21–26. DOI: 10.1016/j.aanat.2016.03.011. PMID: 27133185.
7. Huelke D.F. A study of the transverse cervical and dorsal scapular arteries. *Anat Rec* 1958; 132: 233–245. DOI: 10.1002/ar.1091320302. PMID: 13637401.
8. Natsis K., Totlis T., Didagelos M. et al. Scalene minimus muscle: overestimated or not? An anatomical study. *Am Surg* 2013; 79: 372–374. PMID: 23574846.
9. Kumar A., Kumar A., Sinha C. et al. Topographic sonoanatomy of infraclavicular brachial plexus: variability and correlation with anthropometry. *Anesth Essays Res* 2018; 12: 814–818. DOI: 10.4103/aer.AER\_140\_18. PMID: 30662113.
10. Bianchi S., Martinoli C. Ultrasound of the musculoskeletal system. *Medical Radiology* 2007. DOI: 10.1007/978-3-540-28163-4.
11. Haun D.W., Cho J.C., Kettner N.W. Normative cross-sectional area of the C5–C8 nerve roots using ultrasonography. *Ultrasound Med Biol* 2010; 36: 1422–1430. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2010.05.012. PMID: 20800169.
12. Наумова Е.С., Никитин С.С., Дружинин Д.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.
13. Karmakar M.K., Pakpirom J., Songthamwat B., Areeruk P. High definition ultrasound imaging of the individual elements of the brachial plexus above the clavicle. *Reg Anesth Pain Med* 2020; 45: 344–350. DOI: 10.1136/rapm-2019-101089. PMID: 32102798.
14. 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: 2357–2366. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2016.06.005. PMID: 27444863.
15. 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.
16. Муртазина А.Ф., Никитин С.С., Наумова Е.С. Синдром верхней апертуры грудной клетки: клинические и диагностические особенности. *Нервно-мышечные болезни* 2017; 7(4): 10–19. DOI: 10.17650/2222-8721-2017-7-4-10-19.
17. Hixson K.M., Horris H.B., McLeod T.C.V., Bacon C.E.W. The diagnostic accuracy of clinical diagnostic tests for thoracic outlet syndrome. *J Sport Rehabil* 2017; 26: 459–465. DOI: 10.1123/jsr.2016-0051. PMID: 27632823.
18. Orlando M.S., Likes K.C., Mirza S. et al. Preoperative duplex scanning is a helpful diagnostic tool in neurogenic thoracic outlet syndrome. *Vasc Endovascular Surg* 2016; 50: 29–32. DOI: 10.1177/1538574415623650. PMID: 26744377.
19. Fried S.M., Nazarian L.N. Dynamic neuromusculoskeletal ultrasound documentation of brachial plexus/thoracic outlet compression during elevated arm stress testing. *Hand (N Y)* 2013; 8: 358–365. DOI: 10.1007/s11552-013-9523-8. PMID: 24426950.
20. Odderson I.R., Chun E.S., Kolokythas O., Zierler R.E. Use of sonography in thoracic outlet syndrome due to a dystonic pectoralis minor. *J Ultrasound Med* 2009; 28: 1235–1238. DOI: 10.7863/jum.2009.28.9.1235. PMID: 19710222.

## Информация об авторах

*Мухамбеталиева Ирина Хилашевна* — врач-невролог Медицинского центра «Клиника нервно-мышечных болезней», Москва, Россия  
*Дружинина Евгения Сергеевна* — к.м.н., доцент кафедры неврологии, нейрохирургии и медицинской генетики имени академика Л.О. Бадаляна педиатрического факультета ФГАУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия  
*Дружинин Дмитрий Сергеевич* — к.м.н., ассистент кафедры нервных болезней с медицинской генетикой и нейрохирургией ГБОУ ВПО «Ярославский государственный медицинский университет», Ярославль, Россия

## References

1. Griffith J.F. Ultrasound of the Brachial Plexus. *Semin Musculoskelet Radiol* 2018; 22: 323–333. DOI: 10.1055/s-0038-1645862. PMID: 29791960.
2. Baute V., Strakowski J.A., Reynolds J.W. et al. Neuromuscular ultrasound of the brachial plexus: A standardized approach. *Muscle Nerve* 2018; 58: 618–624. DOI: 10.1002/mus.26144. PMID: 29672872.
3. Kerr A.T. The brachial plexus of nerves in man, the variations in its formation and branches. *Am J Anat* 1918; 23: 285–395. DOI: 10.1002/aja.1000230205.
4. Franco C.D., Williams J.M. Ultrasound-guided interscalene block: reevaluation of the “stoplight” sign and clinical implications. *Reg Anesth Pain Med* 2016; 41: 452–459. DOI: 10.1097/AAP.0000000000000407. PMID: 27203394.
5. Leonhard V., Caldwell G., Goh M. et al. Ultrasonographic diagnosis of thoracic outlet syndrome secondary to brachial plexus piercing variation. *Diagnostics* 2017; 7: 40. DOI: 10.3390/diagnostics7030040. PMID: 28677632.
6. Leonhard V., Smith R., Caldwell G., Smith H.F. Anatomical variations in the brachial plexus roots: implications for diagnosis of neurogenic thoracic outlet syndrome. *Ann Anat* 2016; 206: 21–26. DOI: 10.1016/j.aanat.2016.03.011. PMID: 27133185.
7. Huelke D.F. A study of the transverse cervical and dorsal scapular arteries. *Anat Rec* 1958; 132: 233–245. DOI: 10.1002/ar.1091320302. PMID: 13637401.
8. Natsis K., Totlis T., Didagelos M. et al. Scalene minimus muscle: overestimated or not? An anatomical study. *Am Surg* 2013; 79: 372–374. PMID: 23574846.
9. Kumar A., Kumar A., Sinha C. et al. Topographic sonoanatomy of infraclavicular brachial plexus: variability and correlation with anthropometry. *Anesth Essays Res* 2018; 12: 814–818. DOI: 10.4103/aer.AER\_140\_18. PMID: 30662113.
10. Bianchi S., Martinoli C. Ultrasound of the musculoskeletal system. *Medical Radiology* 2007. DOI: 10.1007/978-3-540-28163-4.
11. Haun D.W., Cho J.C., Kettner N.W. Normative cross-sectional area of the C5–C8 nerve roots using ultrasonography. *Ultrasound Med Biol* 2010; 36: 1422–1430. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2010.05.012. PMID: 20800169.
12. Naumova E.S., Nikitin S.S., Druzhinin D.S. [Quantitative sonographic characteristics of peripheral nerves in healthy people]. *Annaly klinicheskoy i eksperimental'noy neurologii* 2017; 11(1): 55–61. DOI: 10.18454/ACEN.2017.1.6162. (In Russ.)
13. Karmakar M.K., Pakpirom J., Songthamwat B., Areeruk P. High definition ultrasound imaging of the individual elements of the brachial plexus above the clavicle. *Reg Anesth Pain Med* 2020; 45: 344–350. DOI: 10.1136/rapm-2019-101089. PMID: 32102798.
14. 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: 2357–2366. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2016.06.005. PMID: 27444863.
15. Druzhinin D.S., Nikitin S.S., Borisкина L.M. et al. [The role of ultrasound examination of the brachial plexus in superior aperture syndrome]. *Nervno-myshcheynye bolezni* 2020; 10(1): 43–52. DOI: 10.17650/2222-8721-2020-10-1-43-52. (In Russ.)
16. Murtaзина A.F., Nikitin S.S., Naumova E.S. [Syndrome of the upper thoracic outlet: clinical and diagnostic features]. *Nervno-myshcheynye bolezni* 2017; 7(4): 10–19. DOI: 10.17650/2222-8721-2017-7-4-10-19. (In Russ.)
17. Hixson K.M., Horris H.B., McLeod T.C.V., Bacon C.E.W. The diagnostic accuracy of clinical diagnostic tests for thoracic outlet syndrome. *J Sport Rehabil* 2017; 26: 459–465. DOI: 10.1123/jsr.2016-0051. PMID: 27632823.
18. Orlando M.S., Likes K.C., Mirza S. et al. Preoperative duplex scanning is a helpful diagnostic tool in neurogenic thoracic outlet syndrome. *Vasc Endovascular Surg* 2016; 50: 29–32. DOI: 10.1177/1538574415623650. PMID: 26744377.
19. Fried S.M., Nazarian L.N. Dynamic neuromusculoskeletal ultrasound documentation of brachial plexus/thoracic outlet compression during elevated arm stress testing. *Hand (N Y)* 2013; 8: 358–365. DOI: 10.1007/s11552-013-9523-8. PMID: 24426950.
20. Odderson I.R., Chun E.S., Kolokythas O., Zierler R.E. Use of sonography in thoracic outlet syndrome due to a dystonic pectoralis minor. *J Ultrasound Med* 2009; 28: 1235–1238. DOI: 10.7863/jum.2009.28.9.1235. PMID: 19710222.

## Information about the authors

*Irina Kh. Mukhambetalieva* — neurologist, Medical Center «Clinic of neuromuscular diseases», Moscow, Russia  
*Evgeniya S. Druzhinina* — PhD (Med.), Assoc. Prof., Department of neurology, neurosurgery and medical genetics named after academician L.O. Badalyan, Faculty of pediatric, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia  
*Dmitry S. Druzhinin* — PhD (Med.), assistant, Department of nervous diseases with medical genetics and neurosurgery, Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russia