

<https://doi.org/10.24835/1607-0771-2021-2-39-62>

# Ультразвуковое исследование срединного нерва при диагностике синдрома запястного канала

В.Г. Салтыкова<sup>1</sup>, Э.Ю. Малецкий<sup>2</sup>, Д.С. Каньшина<sup>3, 4</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО “Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup> ФГБУ “Национальный медико-хирургический центр имени Н.И. Пирогова” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва

<sup>4</sup> ГБУЗ г. Москвы “Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии Департамента здравоохранения г. Москвы”

Наиболее распространенным среди туннельных синдромов является синдром запястного канала (СЗК), вызванный компрессией срединного нерва. В иллюстрированном обзоре литературы представлены методика ультразвукового исследования срединного нерва и ультразвуковая картина срединного нерва при синдроме запястного канала. Проведен анализ критериев ультразвуковой диагностики синдрома запястного канала. Среди рекомендованных для практики критериев выделены: площадь поперечного сечения срединного нерва

на входе в запястный канал и (или) выходе из него  $\geq 0,11$  см<sup>2</sup> (11 мм<sup>2</sup>), при высоком делении нерва на два ствола –  $\geq 0,12$  см<sup>2</sup> (12 мм<sup>2</sup>); разница площади поперечного сечения срединного нерва на входе в запястный канал и (или) выходе из него и площади поперечного сечения срединного нерва на границе средней и нижней третей предплечья  $> 0,02$  см<sup>2</sup> (2 мм<sup>2</sup>) и (или) индекс увеличения площади поперечного сечения  $> 1,93$ ; изменение формы срединного нерва на продольных срезах по типу песочных часов с появлением участка компрессионной де-

В.Г. Салтыкова – д.м.н., профессор кафедры ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва. <https://orcid.org/0000-0003-3879-6457>

Э.Ю. Малецкий – к.м.н., доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБОУ ВО “Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова” Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-8677-3095>

Д.С. Каньшина – к.м.н., доцент кафедры неврологии с курсом нейрохирургии Института усовершенствования врачей ФГБУ “Национальный медико-хирургический центр имени Н.И. Пирогова” Министерства здравоохранения Российской Федерации; врач отделения функциональной диагностики ГБУЗ г. Москвы “Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии Департамента здравоохранения г. Москвы”. <https://orcid.org/0000-0002-5142-9400>

**Контактная информация:** 125993 г. Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, АОЦФТМ, кафедра ультразвуковой диагностики. Салтыкова Виктория Геннадиевна. E-mail: [doctor.saltykova@gmail.com](mailto:doctor.saltykova@gmail.com)

формации под поперечной запястной связкой; снижение эхогенности и потеря пучковой дифференцировки срединного нерва на входе в запястный канал, в канале и (или) на выходе из канала; локальное усиление васкуляризации срединного нерва в зоне утолщения на запястье перед входом в запястный канал (только в сочетании с признаком значимого увеличения площади поперечного сечения срединного нерва).

**Ключевые слова:** ультразвуковая диагностика, срединный нерв, синдром запястного канала (карпальный туннельный синдром).

**Цитирование:** Салтыкова В.Г., Малецкий Э.Ю., Каньшина Д.С. Ультразвуковое исследование срединного нерва при диагностике синдрома запястного канала. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2021; 2: 39–62. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2021-2-39-62>.

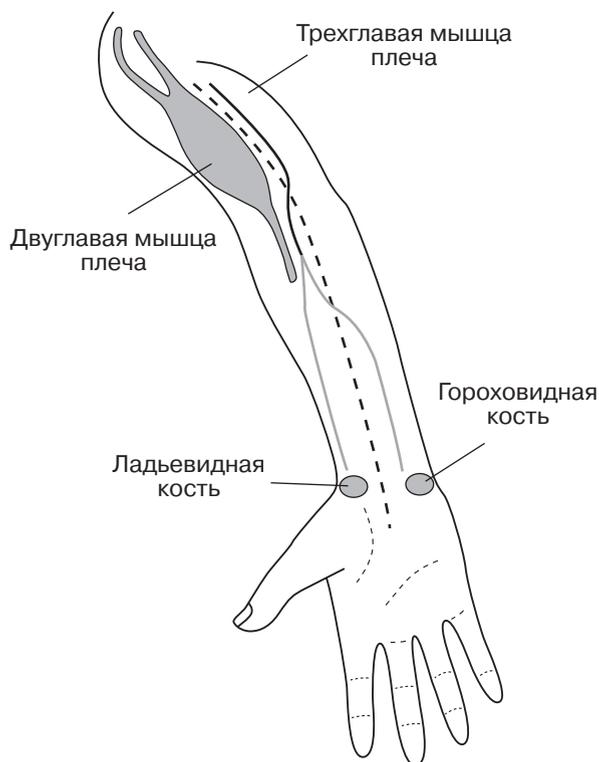
Туннельные невропатии – поражение периферических нервов вследствие их сдавления в местах анатомических сужений (туннелях): ригидных костно-фиброзных и фиброзно-мышечных каналах, апоневротических щелях и отверстиях в связках. Основным предрасполагающим фактором развития туннельной невропатии является узость анатомического туннеля, через который проходят нервы, зачастую в комплексе с другими анатомическими структурами [1, 2]. Наиболее распространенным среди туннельных синдромов является синдром запястного канала (СЗК) (карпальный туннельный синдром, *carpal tunnel syndrome (CTS)*), вызванный компрессией срединного нерва. В статье употребляется термин “СЗК”, поскольку именно он зафиксирован в русскоязычной версии МКБ-10 (код G56.0). Впервые туннельный синдром, вызванный компрессией срединного нерва внутри запястного канала (карпального канала, *carpal tunnel*), был описан Д. Педжетом в 1854 г. [2]. Механизмами поражения нервного ствола являются локальное раздражение, компрессия и ишемия, что позволяет говорить о компрессионно-ишемической невропатии [3–6].

### Анатомия срединного нерва

Срединный нерв (*nervus medianus*) сформирован волокнами передних ветвей спинномозговых нервов С6, С7, С8 и Т1. Он берет начало от медиального и латерального вторичных пучков плечевого сплетения на уровне передней подмышечной линии, латеральный пучок содержит преимущественно чувствительные волокна от спинномозговых нервов С6 и С7, а медиальный пучок – двигательные волокна от С8 и Th1 [1, 3, 4]. На всем протяжении от аксиллярной области до запястья нерв занимает срединное анатомическое положение, из чего и следует его название.

Сформировавшись из вторичных пучков плечевого сплетения в подмышечной впадине, срединный нерв на плече располагается латеральнее плечевой артерии. На границе средней и нижней трети плеча срединный нерв пересекает плечевую артерию и далее располагается по ее медиальному краю (рис. 1). После попадания в локтевую ямку срединный нерв проходит под апоневрозом двуглавой мышцы плеча, над плечевой мышцей, а затем между двумя головками круглого пронатора. После выхода в передний отдел предплечья срединный нерв проходит под апоневротической дугой поверхностного сгибателя пальцев и погружается в щель между поверхностным и глубоким сгибателями пальцев [2].

В нижней трети предплечья срединный нерв снова выходит на поверхность, располагаясь подкожно, над сухожилиями сгибателей пальцев, медиальнее сухожилия лучевого сгибателя запястья. Вариантом анатомического строения срединного нерва в этой области является его деление на два ствола (*bifid median nerve*) [7, 8]. В таком случае в запястный канал нерв входит двумя стволами, размер которых может различаться или быть равным. Как вариант анатомического строения раздвоенный срединный нерв впервые описал U. Lanz в 1977 г. [9]. Распространенность в популяции высокой бифуркации срединного нерва определяется различными авторами в пределах 2–15% [3, 7, 8]. Данная аномалия в 45% случаев сочетается с персистирующей срединной артерией запястья [7, 8]. Срединная артерия снабжает кровью кисть во время эмбрионального развития и затем атрофируется, но в ряде случаев сохраня-

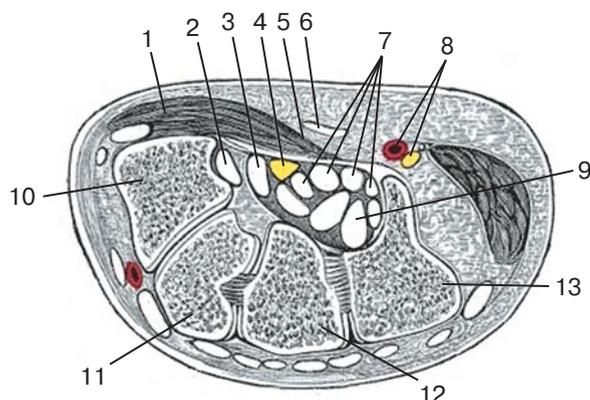


**Рис. 1.** Схема анатомического расположения срединного нерва (пунктирная линия) и основных анатомических ориентиров на протяжении плеча и предплечья: двуглавая мышца плеча, трехглавая мышца плеча, плечевая артерия (сплошная линия), гороховидная кость, ладьевидная кость. (По [46], с изменениями.)

**Fig. 1.** Scheme of median nerve location (dashed line) and the main anatomical landmarks of shoulder and forearm: biceps brachii, triceps brachii, brachial artery (solid line), pisiform, scaphoid. (According to [46], with changes.)

ется в виде мелкого функционирующего сосуда, сопровождающего срединный нерв. По данным литературы [7, 8, 10–12], персистирующая срединная артерия определяется в запястном канале у 20–26% здоровых добровольцев. Пройдя запястный канал, срединная артерия может соединяться с поверхностной ладонной дугой или, при отсутствии дуги, делиться и питать иннервируемые срединным нервом пальцы. Персистирующая срединная артерия иногда сопровождается персистирующими срединными венами [4, 12].

В запястном канале срединный нерв располагается над сухожилиями поверхностных сгибателей пальцев, под поперечной запястной (карпальной) связкой удерживателем сухожилий сгибателей пальцев (*reti-*

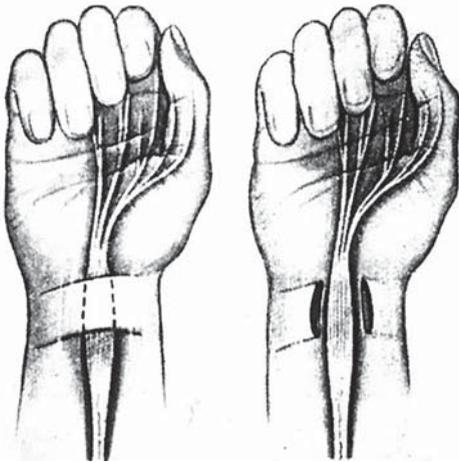


**Рис. 2.** Схема анатомического расположения срединного нерва в запястном канале. 1 – мышцы возвышения большого пальца, 2 – сухожилие лучевого сгибателя запястья, 3 – сухожилие длинного сгибателя большого пальца, 4 – срединный нерв, 5 – поперечная запястная связка, 6 – сухожилие длинной ладонной мышцы, 7 – сухожилия поверхностных сгибателей пальцев, 8 – локтевая артерия и локтевой нерв, 9 – сухожилия глубоких сгибателей пальцев, 10 – кость трапеция (*os trapezium*), 11 – трапецевидная кость (*os trapezoideum*), 12 – головчатая кость (*os capitatum*), 13 – крючковидная кость (*os hamatum*). (По [37], с изменениями.)

**Fig. 2.** Scheme of the median nerve location in the carpal tunnel. 1 – muscles of thenar eminence, 2 – flexor carpi radialis, 3 – flexor pollicis longus, 4 – median nerve, 5 – transverse carpal ligament, 6 – palmaris longus, 7 – flexor digitorum superficialis, 8 – ulnar artery and ulnar nerve, 9 – flexor digitorum profundus, 10 – trapezium, 11 – trapezoid, 12 – capitate, 13 – hamate. (According to [37], with changes.)

*naculum flexorum*), которая является своеобразной крышей канала, перебрасывающейся над костно-фиброзным желобом (рис. 2) [3, 6, 9–13]. Поперечная запястная связка, образованная из переплетенных пучков волокнистой соединительной ткани, отличается большой прочностью и малой эластичностью [13]. Ее средняя ширина составляет 25 мм, а длина – 31 мм [4, 9].

В некоторых источниках изображение поперечной запястной связки представлено неверно и не соответствует ее истинной анатомической локализации [13]. Если не вникнуть в суть анатомического строения этого сегмента верхней конечности, то можно повторить историческую ошибку, которую совершили W.R. Brain et al. в 1947 г. [5]. Обосновывая необходимость рассечения



**Рис. 3.** Иллюстрация из статьи W.R. Brain et al. (1947) [4] ошибочно представляет анатомию запястного канала, указывая, что связка удерживатель сухожилий сгибателей расположена проксимальнее кожной складки запястья, а не дистальнее нее.

**Fig. 3.** Incorrect illustration of carpal tunnel anatomy from W.R. Brain et al. (1947) [4] shows the flexor retinaculum location proximal to the wrist crease, while correctly it located distal.

поперечной запястной связки при СЗК, они сопроводили свою статью иллюстрацией, на которой поперечная запястная связка расположена в нижней трети предплечья (рис. 3), что соответствует расположению другой анатомической структуры – ладонной связки запястья (*ligamentum carpi palmare*). В реальности поперечная запястная связка располагается дистальнее (рис. 4).

Дном и стенками запястного канала является фиброзный футляр, покрывающий кости запястья. С локтевой стороны канал ограничивается гороховидной костью (*os pisiforme*) и крючком крючковидной кости (*hamulus ossis hamati*), а с лучевой – бугорком ладьевидной кости (*tuberculum ossis scaphoidei*) и бугорком кости трапеции (*tuberculum ossis trapezii*) [4, 6, 7, 10].

#### Функция срединного нерва

Срединный нерв смешанный и содержит в своем составе чувствительные, двигательные и вегетативные волокна. Он отвечает за чувствительную иннервацию кожи ладонной поверхности первого, второго, третьего и лучевой половины четвертого пальцев с соответствующей поверхностью ладони, а также тыльной поверхности дистальных



**Рис. 4.** Схематическое изображение ошибочного и правильного расположения поперечной запястной связки.

**Fig. 4.** Scheme of incorrect and correct location of the transverse carpal ligament.

фаланг второго, третьего и лучевой половины четвертого пальцев кисти [6, 7, 9, 10, 12]. Срединный нерв обеспечивает двигательную иннервацию большинства мышц сгибателей запястья и пальцев кисти (за исключением локтевого сгибателя запястья, глубокой головки короткого сгибателя большого пальца и сухожилий глубоких сгибателей четвертого и пятого пальцев), а также круглого и квадратного пронаторов, короткой мышцы, отводящей большой палец, первой и второй червеобразных мышц [2, 10, 14].

#### Эпидемиология СЗК

СЗК – это самый распространенный туннельный синдром, при котором ущемление срединного нерва в узком запястном канале проявляется характерным комплексом клинических признаков [2, 7, 11, 13–17]. Доля СЗК в структуре других туннельных невропатий достигает 90% [7, 15–19]. В объединенном анализе 6 популяционных исследований ( $n = 4\,321$ ) был зарегистрирован показатель распространенности 7,8%, при этом более высокие показатели СЗК наблюдались среди женщин старше 50 лет. Показатель заболеваемости составил 2,3 на 100 человеко-лет [19, 20]. По обобщенным данным, СЗК встречается у 2,7–5,8% населения в целом [19–21] с показателем заболеваемости 276 : 100 000 в год [4, 21, 22].

Чаще встречается у женщин, чем у мужчин, с показателем распространенности 9,2% у женщин и 6% у мужчин [4, 21]. Распространенность СЗК наиболее высока у женщин с ожирением и самая низкая у мужчин нормостенического и астенического телосложения [23, 24]. Чаще всего (в 80% случаев) СЗК наблюдается в возрастном диапазоне от 40 до 60 лет [4, 21, 22]. СЗК находится на шестом месте в регистре профессиональных заболеваний [13].

### Этиология СЗК

Причины, способствующие развитию компрессионного синдрома на уровне запястного канала, многочисленны. Толчком к развитию СЗК могут являться профессиональные, бытовые и спортивные нагрузки на определенную группу мышц, длительное вынужденное разгибательное положение кисти. Наиболее частыми причинами, приводящими к развитию СЗК, являются [2, 4, 7, 10, 19]:

1) профессиональные факторы – патология часто возникает у лиц, выполняющих постоянную работу, связанную со статической нагрузкой на кисть (пианисты, художники, программисты, теннисисты, врач-стоматологи), или при длительном вибрационном воздействии у людей строительных специальностей;

2) возрастные и физиологические изменения тканей – гормональная перестройка тканей при беременности и во время перименопаузы у женщин;

3) травмы запястья и кисти (ушибы, вывихи, переломы);

4) наследственная предрасположенность;

5) эндокринные заболевания, такие как сахарный диабет (распространенность СЗК составляет 14% у пациентов с сахарным диабетом и 30% у пациентов с диабетической полинейропатией), гипотиреоз;

6) остеоартроз суставов запястья;

7) системные заболевания соединительной ткани, такие как ревматоидный артрит, подагра, болезнь отложения пирофосфата кальция, амилоидоз, акромегалия и мукополисахаридоз;

8) опухоли и опухолеподобные (чаще кистозные) образования с локализацией в области сгибательной поверхности запястья (например, суставные и сухожильные ганглии);

8) туберкулез;

9) анатомические особенности строения тканей запястья и т.д.

Известно, что у здоровых людей при нейтральном положении кисти давление внутри запястного канала составляет около 3–5 мм рт. ст. [25, 26]. Было обнаружено, что повышение давления в запястном канале более 20 мм рт. ст. вызывает нарушение кровотока в срединном нерве вследствие его компрессии. Даже обычное функциональное сгибание или разгибание запястья, например, при использовании компьютерной мыши, может привести к увеличению давления в запястном канале до уровней, достаточно высоких, чтобы нарушить интраневральный кровоток и запустить процесс компрессии нерва [23, 26]. Неподвижное расположение кисти на компьютерной мыши приводит к повышению давления в запястном канале до 16–21 мм рт. ст. При многократном нажатии или удерживании клавиши мыши указательным пальцем кисти давление может достигать 28–33 мм рт. ст. [24]. В отдельных случаях этиология заболевания может быть многофакторной. Кроме того, индивидуальные факторы, такие как возраст, рост и вес, также являются факторами риска развития СЗК. Заболевание чаще двустороннее, в первую очередь поражается доминантная рука [6, 14, 15, 17, 19].

Несмотря на то что в структуре СЗК преобладают первичные (идиопатические) формы, роль локальных объемных патологических процессов достаточно высока [7, 13, 14, 19, 20]. Разделение выявленных морфологических изменений на патологические процессы, потенциально чувствительные к консервативному лечению (синовиты с расширением полостей суставов и сухожильных влагалищ, отек периневральных тканей), и объемные патологические образования, требующие хирургического вмешательства (интраневральные и периневральные опухоли и кисты, рубцовые изменения тканей запястного канала, дислокация или деформация костей, формирующая канал), позволяет оптимизировать тактику ведения пациента [4, 27].

Кроме того, в качестве дополнительных факторов, способствующих сдавлению нерва в туннеле или его ятрогенному повреждению при хирургической декомпрессии,

могут выступать анатомические аномалии строения запястного канала [22]. Среди них наиболее часто встречаются: аберрантная мышца сгибатель указательного пальца, аномальное удлинение брюшек поверхностного сгибателя пальцев и червеобразных мышц, персистирующая срединная артерия запястья, деление срединного нерва на два ствола проксимальнее запястья [4, 7, 8, 12, 17, 19, 21]. Увеличенная, тромбированная или кальцифицированная персистирующая срединная артерия или ее расширение в запястном канале может явиться самостоятельной причиной развития СЗК [4, 7, 8, 11, 12, 19].

### **Клиническая картина и инструментальная диагностика**

Клиническая картина СЗК разнообразна и зависит от степени выраженности процесса. Однако анамнез, характерные симптомы, а также высокоспецифичные провокационные тесты позволяют заподозрить невропатию срединного нерва и локализовать поражение на уровне запястного канала. К клиническим признакам СЗК можно отнести следующие [2, 4, 7, 9, 13, 20, 23, 28].

– Нарушение чувствительности в виде онемения и (или) покалывания (парестезии) в пальцах кисти, иннервируемых срединным нервом. Боль в кисти, возникающая на пике парестезий (парестетическая брахиалгия). Возможна иррадиация боли в предплечье, локоть и плечо. Жалобы в начале заболевания могут носить неустойчивый характер, но по мере прогрессирования становятся постоянными, усиливающимися при работе рукой или во сне, приводя к пробуждению пациента. Чтобы уменьшить интенсивность боли и онемения, пациенты обычно трясут кистью, как будто стряхивая термометр (симптом стряхивания, или симптом щелчка).

– Слабость и гипотрофия мышц в зоне дистальной иннервации срединного нерва, в том числе мышцы, отводящей большой палец кисти (*m. abductor pollicis brevis*).

– Изменение кожных покровов кисти в виде отека пальцев и ладонной поверхности кисти. Трофические изменения кожи и ногтей.

– Положительные провокационные тесты (Фалена (*reverse Phalen's test*), Тинеля (*Tinel's sign*), Дуркана (*Durkan's test*),

турникетный и др.), вызывающие или усиливающие парестезии при локальном воздействии на срединный нерв, позволяют определить уровень поражения нерва.

Несмотря на то что диагноз “СЗК” может быть поставлен клинически, для определения характера и степени поражения нерва необходимо применение инструментальных методик. Изменение функционального состояния нерва можно с высокой точностью оценить с помощью электрофизиологического исследования, включающего стимуляционную электронейромиографию (ЭНМГ) с исследованием проведения по нерву и, при необходимости, игольчатую электромиографию (ЭМГ) с исследованием биоэлектрической активности мышц. Исследование нервной проводимости считается надежным и объективным методом инструментальной диагностики СЗК [4, 6, 14, 19, 29]. Оценка стандартного проведения импульсов по срединному нерву на запястье позволяет выявить сначала снижение скорости распространения возбуждения по чувствительным волокнам (<50 м/с), затем задержку мышечного сокращения (увеличение латентности М-ответа) при стимуляции двигательных волокон >4,2 м/с, что косвенно указывает на ущемление нерва в запястном канале [4, 30–32].

Что касается информативности различных электрофизиологических тестов, используемых в диагностике СЗК, то взвешенное среднее значение чувствительности колеблется от 56,2 до 73,4%, а специфичности – от 93,6 до 95,8% [33].

Однако электрофизиологические тесты болезненны и нелегко воспринимаются пациентом. Также электрофизиологическое обследование не может предоставить информацию о морфологических изменениях туннеля и проходящего в нем нервного ствола [4, 11, 12, 15, 17, 19, 21, 34], что требует визуальной оценки тканей.

Применение большинства методов лучевой диагностики при СЗК ограничено из-за их низкой контрастности, небольшого поперечного размера срединного нерва и значительной его протяженности [7, 17, 21, 25, 35, 36].

Общая диагностическая ценность рентгенологических методик недостаточна для включения их в рутинное обследование пациентов с СЗК [3, 6, 7, 11, 19, 37].

Так, в исследовании D. Jafari et al. [38] только у 0,6% пациентов результаты рентгенографии кисти повлияли на тактику лечения. Тем не менее рентгенография и компьютерная томография могут быть использованы для исключения патологии костных структур, образующих запястный канал.

При магнитно-резонансной томографии (МРТ) возможно выявление сдавления срединного нерва в запястном канале и факторов, провоцирующих компрессионный конфликт [17, 39–41]. Но МРТ отличается высокой стоимостью, трудоемкостью, сложностью укладки больного, необходимостью наличия специальных магнитных катушек, а также достаточными временными затратами на исследование. Вместе с тем известна определенная роль МРТ в дифференциальной диагностике СЗК: исключение сходных с СЗК по клиническим проявлениям проксимальных вариантов поражения (шейная радикулопатия, плечевая плексопатия) [39–41].

В сравнении с другими визуальными методами ультразвуковое исследование располагает рядом преимуществ, обеспечивающих его комплементарное включение в общий диагностический алгоритм. Обладая сопоставимым с МРТ уровнем дифференцировки мягких тканей, ультразвуковое исследование проще и быстрее в исполнении, что позволяет за одно исследование осмотреть основные пары нервов конечностей на всем протяжении [6–9, 11, 12, 15, 17, 28–30, 42]. Важным преимуществом ультразвуковой диагностики является возможность проведения динамических исследований с оценкой в режиме реального времени изменяющегося положения нерва и окружающих его анатомических структур [17, 43]. Использование доплеровских методик позволяет быстро и неинвазивно оценить васкуляризацию нерва [7, 11, 17, 19, 30]. Поэтому ультразвуковое исследование может быть первым и основным визуализирующим методом диагностики СЗК [7, 9, 11, 14, 17, 30].

СЗК имеет надежные диагностические критерии, основанные на данных клинического осмотра, ЭНМГ и ультразвукового исследования. Однако в ряде случаев требуется диагностика дополнительных проксимальных уровней поражения (радикулопатии, плексопатии, редкие пронаторный

и лацертус-синдром, полиневропатии), а также сопутствующей ортопедической патологии (щелкающий палец, синдром Де Кервена, тендиниты, теносиновиты, артриты и др.) [4, 7, 17–19, 40, 41].

#### **Методика ультразвукового исследования срединного нерва и эхографическая семиотика неизмененного нервного ствола**

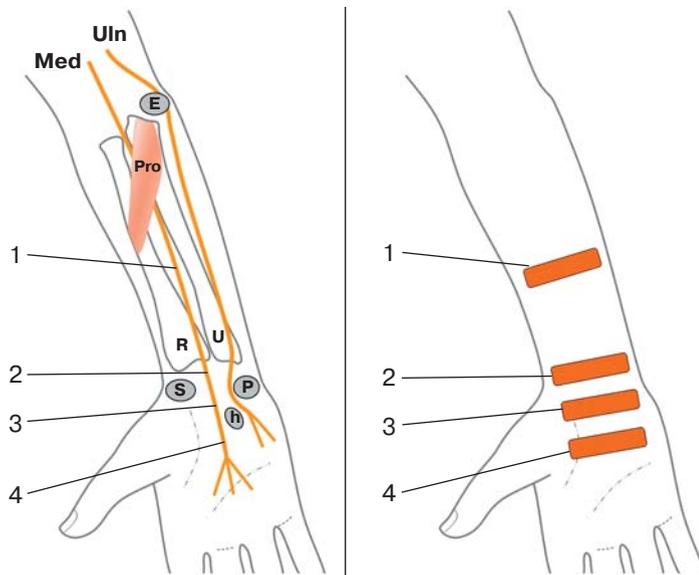
Предварительная подготовка и обезболивание области исследования при ультразвуковом сканировании срединного нерва не требуются. Исследование проводится в положении пациента сидя лицом к исследователю с рукой, расположенной, например, на поверхности приставного столика. Рука пациента слегка согнута в локтевом суставе и расположена ладонью вверх. Также возможно сканирование в положении пациента лежа на кушетке с рукой, запрокинутой за голову, или расположенной вдоль туловища ладонью вверх.

На первом этапе после идентификации нервного ствола проводится его *поперечное сканирование* от середины предплечья к запястью, перемещаясь от неизмененных сегментов нерва к месту его возможной компрессии в запястном канале [7, 11, 17, 21, 42, 44, 45]. При этом оцениваются анатомическая целостность нерва, ход нерва относительно окружающих анатомических ориентиров, равномерность размера на протяжении нерва, экзогенность и сохранность пучковой структуры нерва, наличие патологических образований по ходу нерва, а также выполняются измерения. Форма нерва на уровне предплечья может быть округлая, на уровне проксимальной запястной складки и в проекции запястного канала – эллипсоидная.

Во время исследования последовательно проводится измерение площади поперечного сечения (ППС) срединного нерва на четырех уровнях (рис. 5) [46].

Уровень 1 – на границе средней и нижней трети предплечья (в щели между мышечными брюшками поверхностного и глубокого сгибателей пальцев кисти) (рис. 6).

Уровень 2 – перед входом в запястный канал (на уровне проксимальной кожной поперечной запястной складки или на уровне суставной щели лучезапястного сустава) (рис. 7).



**Рис. 5.** Уровни (1–4) выполнения измерений ППС срединного нерва (Med) для диагностики СЗК (пояснения в тексте). Анатомические ориентиры: лучевая кость (R), локтевая кость (U), ладьевидная кость (S), гороховидная кость (P), крючок крючковой кости (h), локтевой нерв (Uln), мышца круглый пронатор (Pro), медиальный надмыщелок плечевой кости (E). (По [42].)

**Fig. 5.** Levels (1–4) for cross-sectional area measurement of median nerve (Med) in the diagnosis of carpal tunnel syndrome (explanations in the text). Anatomical landmarks: radius (R), ulna (U), scaphoid (S), pisiform (P), hamulus of hamate (h), ulnar nerve (Uln), pronator teres (Pro), medial epicondyle of humerus (E). (According to [42].)

Уровень 3 – в запястном канале (на 15 мм дистальнее лучезапястного сустава) (рис. 8).

Уровень 4 – на выходе из запястного канала (на 30 мм дистальнее лучезапястного сустава) (рис. 9).

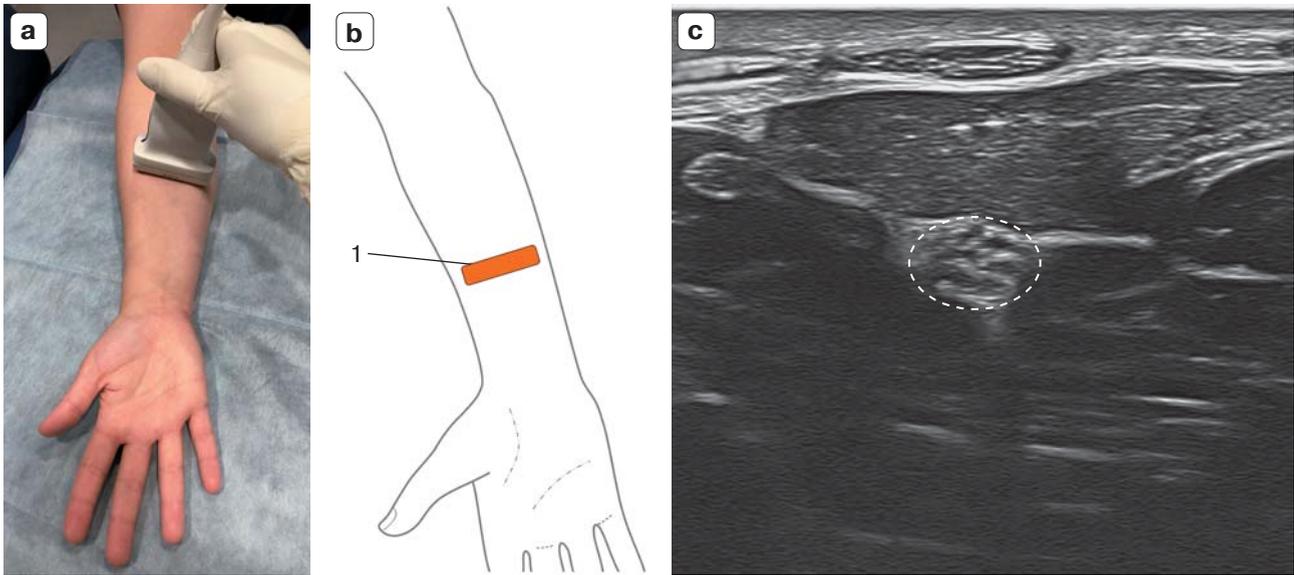
Измерение ППС нерва проводится по общепринятой методике с исключением наружного гиперэхогенного ободка (наружного эпинеурия) и оценкой только гипоэхогенной части, соответствующей пучкам нервных волокон [4, 19, 21, 42, 47, 48]. Для измерения ППС используется срез, ориентированный строго перпендикулярно оси нерва. При округлой или овальной форме поперечного среза нерва ППС измеряется методом эллипса, при неправильной форме – методом трассировки [7, 19, 48, 49]. Результат вычисляется автоматически по заложенной во всех ультразвуковых аппаратах программе. При варианте анатомического строения срединного нерва в виде его высокого деления на два ствола (рис. 10) ППС стволов суммируется [7, 8, 12, 30]. Значения ППС неизмененного срединного нерва на уровне входа в запястный канал обычно определяются в границах от 0,06 до 0,11 см<sup>2</sup> (6–11 мм<sup>2</sup>), а у пациентов с высоким делением нерва на два ствола сумма ППС обеих ветвей не превышает 0,12 см<sup>2</sup> (12 мм<sup>2</sup>) [7, 8, 12, 30, 42, 44].

Даже у здоровых людей ППС нерва на запястье может быть больше, чем на предплечье, но не более чем в 1,3–1,93 раза [42, 50–54]. При СЗК это соотношение меняется, поэтому в дополнение к стандарт-

ному измерению ППС на четырех уровнях может быть рассчитан относительный показатель “индекс увеличения ППС”. Для этого необходимо наибольшее значение ППС нерва, полученное на входе или выходе из запястного канала, разделить на ППС нерва на предплечье [4, 19, 21, 42, 45, 47].

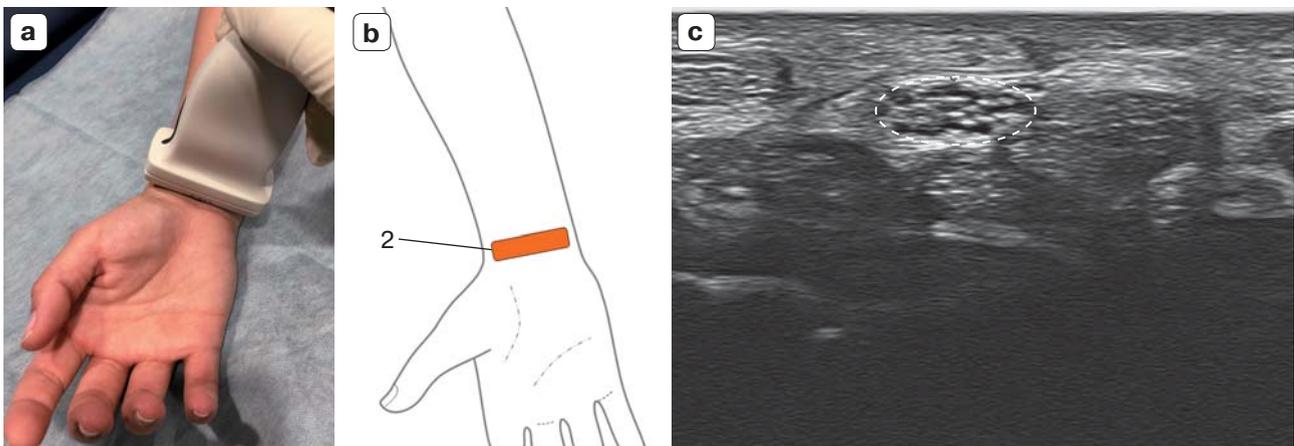
Четкая визуализация срединного нерва в среднем или дистальном отделе запястного канала иногда ухудшается из-за небольшого искривления ладони, выраженной толщины кожи и подкожно-жировой клетчатки, относительно глубокого расположения и косо го хода нерва. Это может объяснить, почему исследователи не всегда проводят оценку ППС срединного нерва дистальнее поперечной кожной складки запястья. Возможными способами улучшения качества визуализации в этой области являются: расправленное положение кисти пациента (рис. 11), изменение угла наклона ультразвукового датчика при исследовании нерва на протяжении запястного канала и изменение настроек ультразвукового аппарата. Кроме того, установлено, что измерение ППС срединного нерва на входе и на выходе из запястного канала может привести к большей диагностической чувствительности для выявления СЗК [55].

На поперечных срезах запястного канала дополнительно проводится исследование поперечной запястной связки и измеряется ее толщина (рис. 12), которая в норме не превышает 1,2 мм [4, 11, 44].



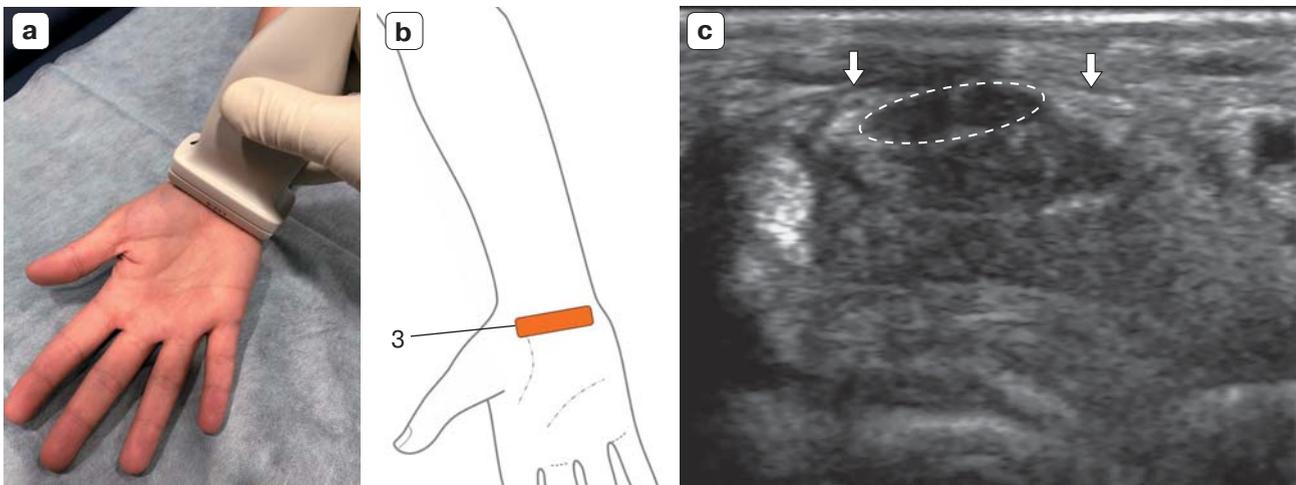
**Рис. 6.** Методика сканирования срединного нерва на границе средней и нижней трети предплечья (уровень 1). а – поперечное расположение ультразвукового датчика. б – схематическое изображение уровня выполнения измерений ППС срединного нерва. с – эхограмма неизмененного срединного нерва (эллипс). В-режим. Поперечное сканирование.

**Fig. 6.** Technique of the median nerve imaging at the border of the middle and distal third of the forearm (level 1). а – transverse probe position. б – level for cross-sectional area measurement of the median nerve (scheme). с – ultrasound image of normal median nerve (ellipse). B-mode. Short axis view.



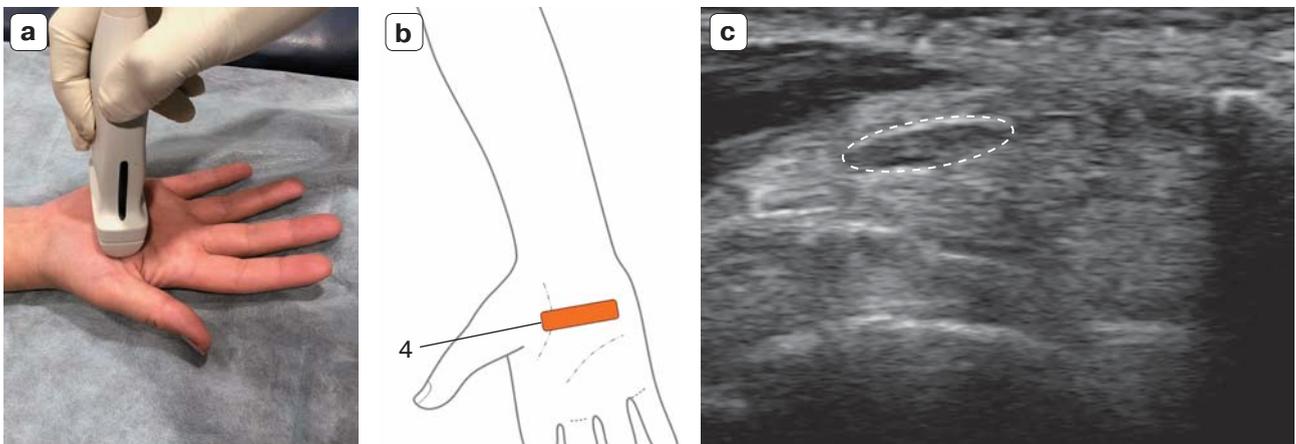
**Рис. 7.** Методика сканирования срединного нерва перед его входом в запястный канал (уровень 2). а – поперечное расположение ультразвукового датчика на уровне проксимальной поперечной кожной запястной складки. б – схематическое изображение уровня выполнения измерений ППС срединного нерва. с – эхограмма неизмененного срединного нерва (стрелки). В-режим. Поперечное сканирование.

**Fig. 7.** Technique of the median nerve imaging right proximal to the carpal tunnel (level 2). а – transverse probe position over proximal wrist flexion crease. б – level for cross-sectional area measurement of the median nerve (scheme). с – ultrasound image of normal median nerve (ellipse). B-mode. Short axis view.



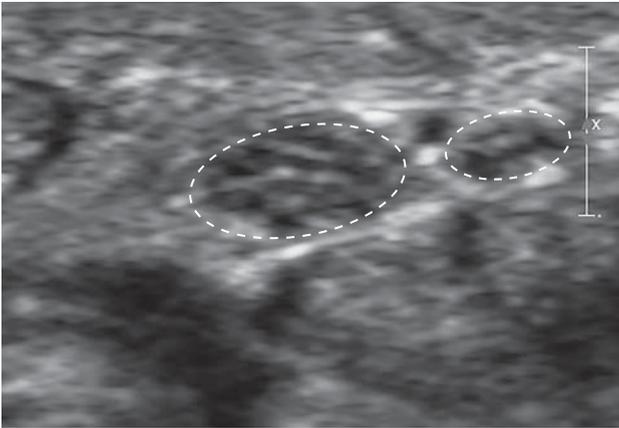
**Рис. 8.** Методика исследования срединного нерва в запястном канале (уровень 3). а – поперечное расположение ультразвукового датчика. б – схематическое изображение уровня выполнения измерений ППС срединного нерва. с – эхограмма неизмененного срединного нерва (эллипс) и поперечной запястной связки (стрелки). В-режим. Поперечное сканирование.

**Fig. 8.** Technique of the median nerve imaging in the carpal tunnel (level 3). а – transverse probe position. б – level for cross-sectional area measurement of the median nerve (scheme). с – ultrasound image of normal median nerve (ellipse) and transverse carpal ligament (arrows). B-mode. Short axis view.



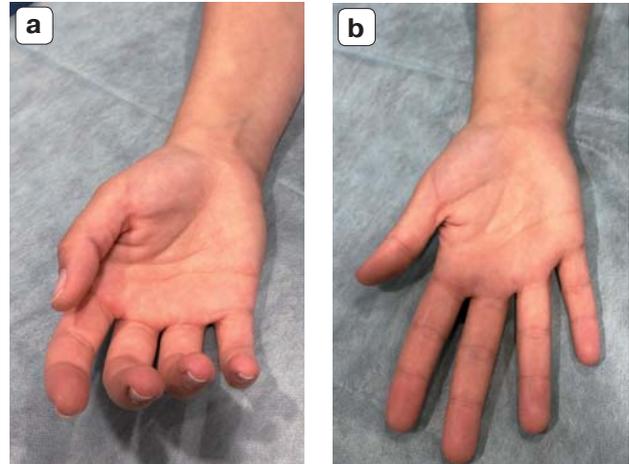
**Рис. 9.** Методика сканирования срединного нерва на выходе из запястного канала до деления на ветви (уровень 4). а – поперечное расположение ультразвукового датчика. б – схематическое изображение уровня выполнения измерений ППС срединного нерва. с – эхограмма неизмененного срединного нерва перед его бифуркацией на ветви (эллипс). В-режим. Поперечное сканирование.

**Fig. 9.** Technique of the median nerve imaging at the exit from the carpal tunnel before dividing into branches (level 4). а – transverse probe position. б – level for cross-sectional area measurement of the median nerve (scheme). с – ultrasound image of normal median nerve before its bifurcation (ellipse). B-mode. Short axis view.



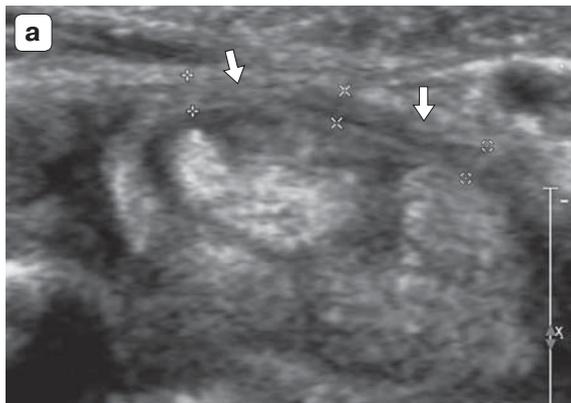
**Рис. 10.** Удвоение ствола срединного нерва (эллипсы) на уровне дистальной трети предплечья. В-режим. Поперечное сканирование.

**Fig. 10.** Ultrasound image of bifid median nerve (ellipses) at the distal third of the forearm. B-mode. Short axis view.



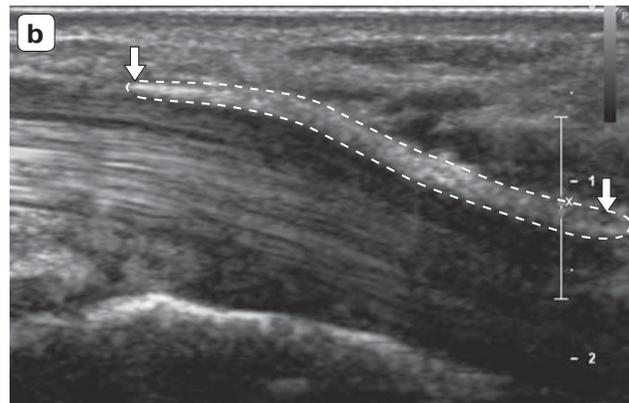
**Рис. 11.** Положение ладони пациента при исследовании срединного нерва внутри запястного канала. а – положение кисти, затрудняющее исследование нерва в канале. б – правильное положение кисти.

**Fig. 11.** Position of the patient's hand for median nerve examination at the level of carpal tunnel. a – hand position, complicates the imaging of nerve in the tunnel. b – correct hand position.



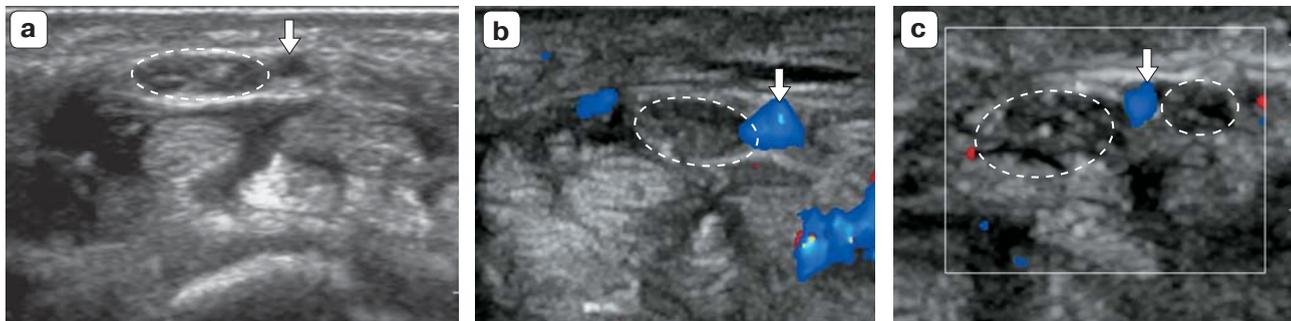
**Рис. 12.** Поперечная запястная связка (стрелки, маркеры, обводка). В-режим. а – поперечное сканирование. б – продольное сканирование.

**Fig. 12.** Transverse carpal ligament (arrows, markers, outline). B-mode. a – transverse view. b – longitudinal view.



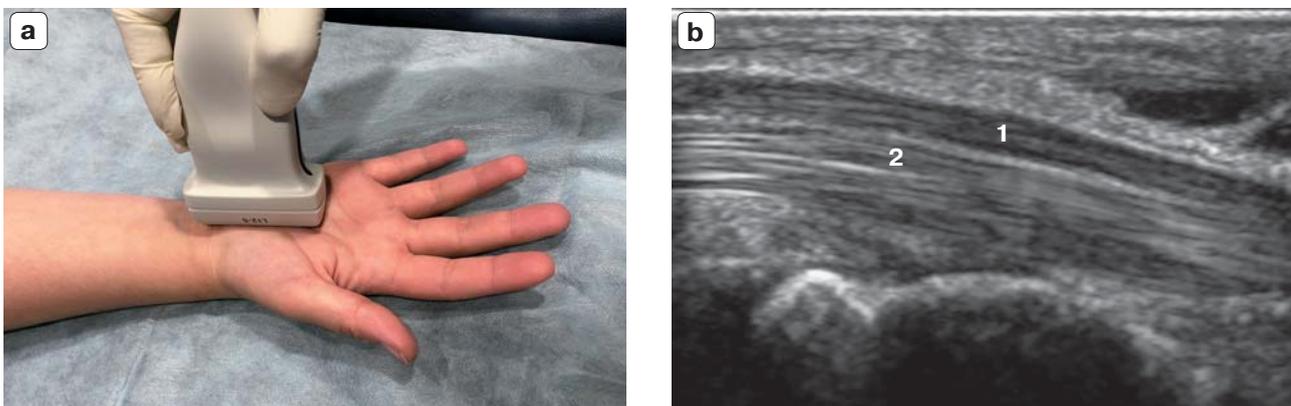
После исследования нерва в серошкальном режиме проводится его доплерографическая оценка в цветокодированных доплеровских режимах (цветовое доплеровское картирование, энергетическое доплеровское картирование, микродоплеровское исследование). Ткань неизменного срединного нерва полностью аваскулярна [7, 11, 30, 42]. У пациентов с персистирующей срединной артерией рядом с нервом может определяться сосудистый

сигнал, который не следует принимать за повышение интра- или периневральной васуляризации (рис. 13). Наличие персистирующей срединной артерии следует отразить в протоколе исследования, а хирург должен быть осведомлен о наличии данной сосудистой аномалии, что позволит избежать повреждения сосуда при пересечении поперечной запястной связки, особенно в условиях ограниченного визуального доступа.



**Рис. 13.** Персистирующая срединная артерия (стрелка) в непосредственной близости от срединного нерва (эллипс) на уровне запястья. Поперечное сканирование. а – срединный нерв и персистирующая срединная артерия. В-режим. б – срединный нерв и персистирующая срединная артерия. В-режим + цветное доплеровское картирование. в – удвоение ствола срединного нерва и персистирующая срединная артерия. В-режим + цветное доплеровское картирование.

**Fig. 13.** Persistent median artery (arrow) in close proximity to the median nerve (ellipse) at wrist level. Transverse view. а – median nerve and persistent median artery. В-режим. б – median nerve and persistent median artery. В-режим + color Doppler imaging. в – bifid median nerve and persistent median artery. В-режим + color Doppler imaging.



**Рис. 14.** Срединный нерв на уровне запястного канала. а – продольное расположение ультразвукового датчика. б – неизменный срединный нерв (1) и сухожилия сгибателей пальцев (2). В-режим. Продольное сканирование.

**Fig. 14.** Median nerve inside the carpal tunnel. а – longitudinal probe position. б – normal median nerve (1) and flexor digitorum tendons (2). В-режим. Long axis view.

На втором этапе исследования проводится **продольное сканирование** срединного нерва, когда ультразвуковой датчик располагается вдоль его длинной оси на протяжении предплечья и в запястном канале. При продольном сканировании оцениваются форма и контуры нерва, проводятся поиск участка компрессионной деформации (странгуляционной борозды) и его сопоставление с факторами, вызывающими компрессию (поперечной запястной связкой, объемными патологическими процессами и др.).

На продольных изображениях в серо-шкальном режиме в норме толщина сре-

динного нерва на всех уровнях должна быть равномерной, контуры – ровными, четкими, эхоструктура – с чередованием непрерывных гипо- и гиперэхогенных линий (фасцикул и эпинеуральных оболочек) (рис. 14). Неизменный срединный нерв в запястном канале умеренно подвижен и может смещаться в продольном направлении до 9,6 мм (при сгибании-разгибании пальцев кисти) [4, 11, 56]. Поэтому во время сканирования нерва в этой проекции желательно провести функциональную пробу со сгибанием пальцев при одновременном исследовании срединного нерва.

### Ультразвуковая картина срединного нерва при СЗК

Во всех современных научных работах рассматриваются количественные и качественные эхографические признаки изменения срединного нерва и поперечной запястной связки при СЗК.

К прямым количественным признакам СЗК следует отнести [3, 4, 6, 7, 11, 21, 35, 37, 44, 47, 49, 55]: 1) увеличение ППС нерва на входе в запястный канал и (или) выходе из него в сравнении со средне-популяционным пороговым значением (рис. 15); 2) увеличение ППС нерва на входе и (или) выходе из запястного канала в сравнении с сегментом этого же нерва на предплечье; 3) уплощение нерва под поперечной запястной связкой (определяется как отношение максимальной ширины нерва к его толщине); 4) увеличение ладонного выбухания поперечной запястной связки; 5) утолщение поперечной запястной связки.

К прямым качественным признакам СЗК относятся [4, 7, 11, 17, 21, 42, 49, 56, 57]: 1) снижение эхогенности и потеря пучковой дифференцировки нерва на входе в запястный канал, в канале и на выходе из него (рис. 16); 2) изменение формы срединного нерва на продольных срезах по типу песочных часов с появлением участка компрессионной деформации под запястной связкой (см. рис. 16); 3) локальное усиление васкуляризации утолщенной части срединного нерва на уровне запястья (рис. 17).

К косвенным признакам СЗК также можно отнести выявление при ультразвуковом исследовании объемных патологических процессов в запястном канале [4, 21, 42, 58], хотя в большинстве случаев такие изменения отсутствуют и сдавление нерва является результатом дегенеративных изменений самого канала. Кроме того, признаки атрофии мышц ладонной поверхности кисти в зоне дистальной иннервации срединного нерва также косвенно подтверждают диагноз “СЗК” (рис. 18).

Повышение жесткости срединного нерва на протяжении запястного канала при ультразвуковой эластографии также можно отнести к признакам СЗК, однако показатели информативности в современных научных публикациях значительно разнятся (чувствительность – 65–100%, специфичность – 45–100%) [59–63].

Роль различных ультразвуковых симптомов в диагностике СЗК неравноценна. По результатам большинства исследований, наиболее эффективным признаком является увеличение ППС срединного нерва на входе в запястный канал и (или) выходе из него [19, 21, 47, 51, 54, 55]. Другие симптомы, такие как уплощение, снижение эхогенности и степени пучковой дифференцировки нерва и др., являются дополнительными и без увеличения его ППС не имеют решающего значения, так как могут встречаться и у здоровых лиц [55].

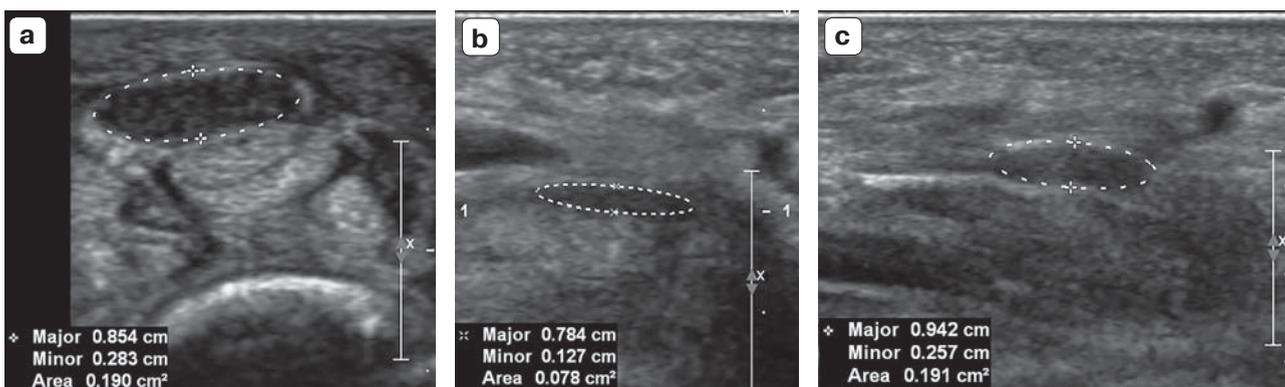
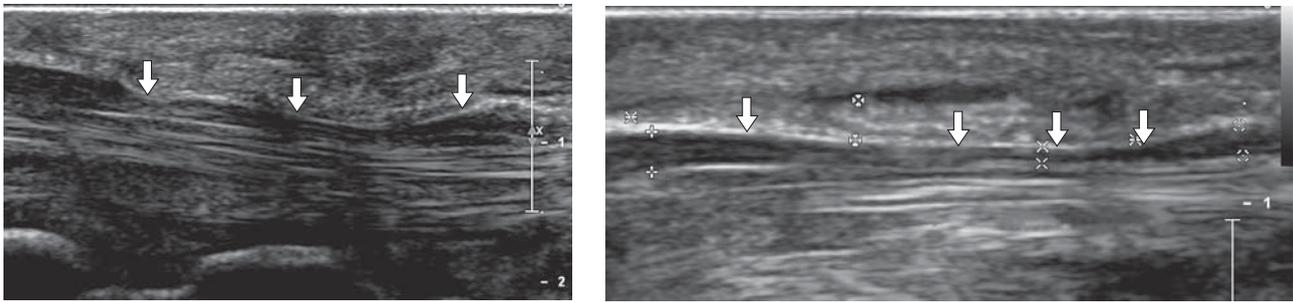


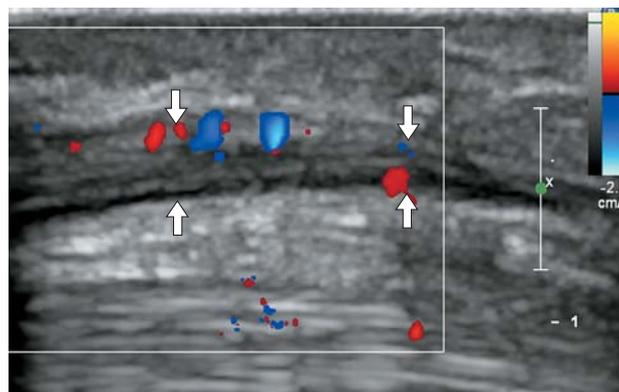
Рис. 15. Срединный нерв (эллипс) на различных уровнях запястного канала при СЗК. В-режим. Поперечное сканирование. а – перед входом в запястный канал. б – внутри запястного канала на уровне средней трети. с – после выхода из запястного канала.

Fig. 15. Ultrasound images of median nerve (ellipse) at different carpal tunnel levels in carpal tunnel syndrome. B-mode. Short axis view. a – right before median nerve enters to the carpal tunnel. b – at the level of middle third of carpal tunnel. c – distal to the carpal tunnel.



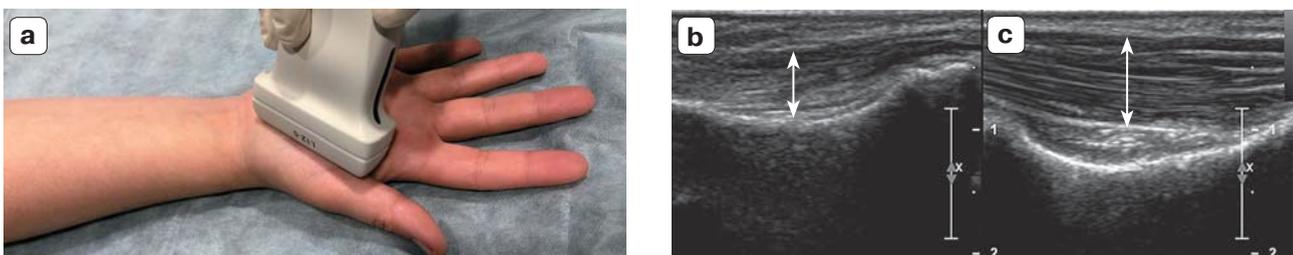
**Рис. 16.** Примеры сдавления и изменения эхоструктуры и эхогенности срединного нерва (стрелки, маркеры) на протяжении запястного канала при СЗК. Над срединным нервом маркерами показана поперечная запястная связка, деформирующая наружный контур нерва. В-режим. Продольное сканирование.

**Fig. 16.** Examples of compression, abnormality of echostructure and echogenicity of the median nerve (arrows, calipers) inside the carpal tunnel in carpal tunnel syndrome. The transverse carpal ligament (calipers above the median nerve) deforms the outer contour of nerve. B-mode. Long axis view.



**Рис. 17.** Усиление васкуляризации утолщенного срединного нерва (стрелки) на уровне его входа в запястный канал. В-режим + цветное доплеровское картирование. Продольное сканирование.

**Fig. 17.** Hypervascularity of the enlarged median nerve (arrows) at the level of its entrance to the carpal tunnel. B-mode + color Doppler imaging. Long axis view.



**Рис. 18.** Исследование мышц возвышения большого пальца. а – косо-продольное расположение ультразвукового датчика. б – денервационная гипотрофия мышц возвышения большого пальца (двухсторонняя стрелка) – уменьшение толщины мышц и повышение их эхогенности. В-режим. с – мышцы возвышения большого пальца на здоровой кисти (двухсторонняя стрелка). В-режим.

**Fig. 18.** Ultrasound examination of the thenar muscles. a – oblique-longitudinal probe position. b – denervation hypotrophy of the thenar muscles (double-headed arrow) – decreased thickness and increased echogenicity of muscles. B-mode. c – thenar muscles of a healthy hand (double-headed arrow). B-mode.

Значения ППС увеличиваются с тяжестью заболевания. На всех стадиях СЗК ППС нерва коррелирует со степенью поражения нерва, определяемой электрофизиологическими методами ( $r = 0,69$ ,  $P < 0,05$ ) [64]. Кроме того, на стадиях с сохраненной сенсорной проводимостью существует значимая обратная корреляция между значениями ППС срединного нерва и скорости проводимости импульсов по нему ( $r = -0,72$ ,  $P < 0,05$ ) [42].

Пороговые значения ППС срединного нерва для диагностики СЗК, полученные различными авторами при измерениях на входе в запястный канал и (или) выходе из него, определяются в пределах от  $0,065 \text{ см}^2$  ( $6,5 \text{ мм}^2$ ) до  $0,15 \text{ см}^2$  ( $15 \text{ мм}^2$ ) (чувствительность –  $62,0$ – $97,9\%$ , специфичность –  $57,1$ – $100,0\%$ ) [35, 42, 43, 65–68]. При этом в большинстве исследований пороговые значения были  $0,10$  и  $0,11 \text{ см}^2$  ( $10$  и  $11 \text{ мм}^2$ ) (чувствительность –  $81,0$ – $98,0\%$ , специфичность –  $70,0$ – $97,8\%$ ) [8, 35, 42, 43, 69–72]. Для пациентов с высоким делением нерва на два ствола возможна корректировка порогового значения ППС на  $0,01 \text{ см}^2$  ( $1 \text{ мм}^2$ ) больше принятого [7, 8]. Выбор величины порогового значения определяется задачами, решаемыми на конкретном этапе диагностики [43]. При увеличении порогового значения ППС снижается чувствительность (растет число пропущенных СЗК) и увеличивается специфичность (снижается число ложно-положительных результатов).

Дополнительное измерение ППС нерва на предплечье и сопоставление результата с аналогичным показателем, полученным на запястье, повышает точность ультразвуковой диагностики. Так, разница между ППС нерва в месте его максимального утолщения (на входе в запястный канал или на выходе из него) и ППС нерва на уровне верхнего края мышцы квадратного пронатора имеет лучшую чувствительность ( $99\%$ ) и специфичность ( $100\%$ ), чем измерения, полученные только на уровне запястного канала, при оптимальном пороговом значении разницы ППС  $0,02 \text{ см}^2$  ( $2 \text{ мм}^2$ ) [73]. По данным D. Azman et al. [74], разница максимальной ППС срединного нерва на входе или выходе запястного канала к ППС нерва на уровне средней трети предплечья

при вышеуказанном пороговом значении также дает высокую чувствительность ( $93,5\%$ ) и специфичность ( $91,1\%$ ) для выявления СЗК. У пациентов с высоким раздвоением срединного нерва оптимальный порог разницы ППС составляет  $0,04 \text{ см}^2$  ( $4 \text{ мм}^2$ ) (чувствительность –  $92,5\%$ , специфичность –  $94,6\%$ ) [7]. Пороговое значение индекса увеличения ППС срединного нерва определяется в различных исследованиях в пределах от  $1,30$  до  $1,93$  (чувствительность –  $55$ – $99\%$ , специфичность –  $71$ – $100\%$ ) [42, 52, 54, 55, 68].

При проведении ультразвукового исследования необходимо учитывать то, что представленные в публикациях пороговые значения ППС рассчитаны для диагностики СЗК у пациентов с нерассеченной поперечной запястной связкой. Ультразвуковая картина срединного нерва и запястного канала после хирургической декомпрессии значительно отличается и имеет свои критерии оценки, требующие отдельного рассмотрения. Уменьшение ППС срединного нерва после своевременного и правильно выполненного хирургического вмешательства происходит медленно, в течение  $2$ – $18$  мес. Срединный нерв не всегда восстанавливается до исходного (нормативного) размера [4, 19, 30, 41, 75].

Для оценки степени сдавления срединного нерва в запястном канале во многих публикациях предлагается использовать индекс (коэффициент) деформации (уплощения) нерва под поперечной запястной связкой, вычисляемый по соотношению ширины нервного ствола к его толщине в месте его максимального уплощения на протяжении запястного канала. Пороговое значение данного показателя определяется в пределах от  $2,77$  до  $4,00$  при чувствительности  $20$ – $65\%$ , специфичности  $48$ – $95\%$  [19, 42, 45, 76]. Некоторые авторы не получили по данному показателю оптимального порогового значения [77] или даже достоверных различий между группами больных и здоровых [78]. Возможно, большой разброс показателей чувствительности и специфичности объясняется существенными техническими ограничениями при ультразвуковом измерении ширины и толщины нерва в канале. Большое число артефактов, возникающих из-за неплотного прилегания

стандартного линейного датчика к ладонной поверхности запястья на границе возвышения большого пальца (*thenar*) и возвышения мизинца (*hypothelar*), значительно снижает уровень дифференциации контуров срединного нерва, что неизбежно сказывается на качестве измерений. Учитывая данные научных исследований, индекс деформации срединного нерва внутри запястного канала предпочтительнее использовать в комплексе с другими признаками туннельной невропатии, так как самостоятельное его значение невелико [18, 21, 24, 42]. При ультразвуковом исследовании использование расчетов данного коэффициента не всегда удобно и может значительно увеличить продолжительность диагностики, что делает его применение в рутинной практике нецелесообразным.

Степень ладонного смещения поперечной запястной связки в различных исследованиях определяется на одном или двух уровнях: 1) между крючковидной костью и костью трапецией; 2) между гороховидной и ладьевидной костями. Полученные пороговые значения разнятся в пределах от 1,5 до 3,7 мм (чувствительность – 40–81%, специфичность – 52–90%) [7, 79].

Эхогенность поперечной запястной связки при СЗК обычно умеренно повышена, толщина варьирует в диапазоне  $1,2 \pm 0,2$  мм [48],  $1,54 \pm 0,33$  мм [80]. При измерении толщины неизменной поперечной запястной связки с помощью МРТ этот показатель составляет  $1,26 \pm 0,32$  мм [79], что практически совпадает с данными ультразвукового исследования.

У пациентов с СЗК при поперечном ультразвуковом сканировании на предплечье значительных различий в структуре, форме, эхогенности и размерах срединного нерва в сравнении с нормативными показателями обычно не выявляется. По мере приближения к запястному каналу вместе с увеличением ППС происходит изменение эхоструктуры нерва. Определяется снижение его эхогенности перед входом в запястный канал и на уровне компрессии в канале (чувствительность – 100%, специфичность – 92,8%) с одновременным отсутствием четкой внутренней дифференцировки нерва на фасцикулы (чувствительность – 76,5%, специфичность – 98,6%) [11, 48, 70]. Несмотря

на то что признак “отсутствие дифференцировки на пучки” имеет не очень высокую чувствительность, его можно использовать в работе. Однако необходимо помнить, что на начальной стадии компрессии срединного нерва, когда в нервном стволе еще не произошли выраженные изменения, интраневральная дифференцировка на фасцикулы может быть сохранена.

Важным диагностическим критерием СЗК при продольном сканировании срединного нерва является визуализация его компрессионной деформации в виде участка уплощения (углубления, вдавления, волнообразной деформации) в месте максимального сдавления с одновременным увеличением размеров смежных сегментов по типу песочных часов [7, 18, 48, 49, 77]. Чувствительность признака “локальное уменьшение размера срединного нерва с деформацией его наружного контура” для диагностики СЗК достигает 96,0%, специфичность – 97,5% [19].

Изменение подвижности (поперечного и продольного скольжения) срединного нерва в запястном канале достаточно сложно оценить количественно, однако качественную оценку данного признака можно использовать как дополнительный параметр при диагностике СЗК, особенно в случаях, когда величина ППС принимает пограничное значение [19].

С появлением возможностей микроультразвукового и микродоплеровского исследований стала осуществима более четкая детализация интра- и периневральной васкуляризации [81]. При компрессии срединного нерва возникают повышение тканевого давления в туннеле и, вследствие этого, локальное нарушение кровообращения в нервном стволе и окружающих тканях [57, 82]. В результате возникают ишемия и гипоксия тканей с последующим увеличением капиллярно-тканевой проницаемости, выходом в межтканевое пространство мелкодисперсных белков, развитием отека и набухания нерва проксимальнее зоны компрессии, а также ишемия тканей внутри туннеля [49, 71, 83]. Хроническая или повторяющаяся компрессия срединного нерва вызывает локальную демиелинизацию, а иногда – дегенерацию аксонов нерва [83]. В патогенезе СЗК большую роль

играют и местные аутоиммунные механизмы, вызывающие спаечные процессы, сдавливающие нервы и сосуды [7, 18, 84]. Васкуляризация может быть выявлена в стволе срединного нерва у пациентов с СЗК на различных стадиях его развития, однако показатели информативности свидетельствуют о том, что этот признак не может рассматриваться как самостоятельный для выявления синдрома сдавления срединного нерва в запястном канале (чувствительность – 94,8–98,1%, специфичность – 21,2–21,7%) [19, 48]. Однако сочетание увеличения ППС срединного нерва с одновременным усилением его васкуляризации в зоне утолщения перед входом в запястный канал дают чувствительность и специфичность 86 и 84% соответственно [30].

Проведенный анализ многочисленных публикаций позволяет рекомендовать следующие ультразвуковые критерии диагностики СЗК.

1. ППС срединного нерва на входе в запястный канал и (или) выходе из него  $\geq 0,11 \text{ см}^2$  ( $11 \text{ мм}^2$ ), при высоком делении нерва на два ствола –  $\geq 0,12 \text{ см}^2$  ( $12 \text{ мм}^2$ ) (пороговые значения выбраны на основании оптимального соотношения чувствительности и специфичности при приоритете высокой чувствительности).

2. Разница ППС срединного нерва на входе в запястный канал и (или) выходе из него и ППС срединного нерва на границе средней и нижней трети предплечья  $> 0,02 \text{ см}^2$  ( $2 \text{ мм}^2$ ) и (или) индекс увеличения ППС  $> 1,93$  раза (пороговые значения выбраны на основании оптимального соотношения чувствительности и специфичности при приоритете высокой чувствительности).

3. Изменение формы срединного нерва на продольных срезах по типу песочных часов с появлением участка компрессионной деформации под поперечной запястной связкой.

4. Снижение эхогенности и потеря пучковой дифференцировки срединного нерва на входе в запястный канал, в канале и (или) на выходе из канала.

5. Локальное усиление васкуляризации срединного нерва в зоне утолщения перед входом в запястный канал (только в сочетании с признаком значимого увеличения ППС срединного нерва).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Paget J. *Lectures on surgical pathology*. 3<sup>rd</sup> ed. Philadelphia: Lindsay & Blakiston, 1865. 737 pp.
2. Рассел С.М. *Диагностика повреждения периферических нервов*. Пер. с англ. М.: БИНОМ, 2009. 251 с.
3. Yoshii Y., Zhao C., Amadio P.C. Recent advances in ultrasound diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Diagnostics (Basel)*. 2020; 10 (8): 596. <https://doi.org/10.3390/diagnostics10080596>
4. Ghasemi-Rad M., Nosair E., Vegh A., Mohammadi A., Akkad A., Leshia E., Mohammadi M.H., Sayed D., Davarian A., Maleki-Miyandoab T., Hasane A. A handy review of carpal tunnel syndrome: From anatomy to diagnosis and treatment. *World J. Radiol.* 2014; 6 (6): 284–300. <https://doi.org/10.4329/wjr.v6.i6.284>
5. Brain W.R., Wright A.D., Wilkinson M. Spontaneous compression of both median nerves in the carpal tunnel; six cases treated surgically. *Lancet*. 1947; 1 (6443–6445): 277–282. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(47\)90093-7](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(47)90093-7)
6. Kanikannan M.A., Boddu D.B., Umamahesh, Sarva S., Durga P., Borgohain R. Comparison of high-resolution sonography and electrophysiology in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Ann. Indian Acad. Neurol.* 2015; 18 (2): 219–225. <https://doi.org/10.4103/0972-2327.150590>
7. Meyer P., Lintingre P.F., Pesquer L., Poussange N., Silvestre A., Dallaudiere B. The median nerve at the carpal tunnel ... and elsewhere. *J. Belg. Soc. Radiol.* 2018; 102 (1): 17. <https://doi.org/10.5334/jbsr.1354>
8. Bayrak I.K., Bayrak A.O., Kale M., Turker H., Diren B. Bifid median nerve in patients with carpal tunnel syndrome. *J. Ultrasound Med.* 2008; 27 (8): 1129–1136. <https://doi.org/10.7863/jum.2008.27.8.1129>
9. Lanz U. Anatomical variations of the median nerve in the carpal tunnel. *J. Hand Surg. Am.* 1977; 2 (1): 44–53. [https://doi.org/10.1016/s0363-5023\(77\)80009-9](https://doi.org/10.1016/s0363-5023(77)80009-9)
10. Гайворонский И.В., Гайворонский А.И., Ничипорук Г.И. *Функциональная анатомия нервной системы: учебное пособие*. Изд. 8-е, перераб. и доп. СПб.: СпецЛит, 2016. 353 с.
11. Салтыкова В.Г., Шток А.В. Возможности высокоразрешающего ультразвукового сканирования в диагностике состояния структур карпального канала при развитии туннельного синдрома. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2009; 4: 47–59.
12. Chen L., Chen J., Hu B., Jiang L.X. Sonographic findings of the bifid median nerve and persistent median artery in carpal tunnel: a preliminary study in Chinese individuals. *Clinics (Sao Paulo)*. 2017; 72 (6): 358–362. [https://doi.org/10.6061/clinics/2017\(06\)05](https://doi.org/10.6061/clinics/2017(06)05)
13. Luchetti R., Amadio P. *Carpal tunnel syndrome*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2002. 392 pp.
14. Cartwright M.S., Hobson-Webb L.D., Boon A.J., Alter K.E., Hunt C.H., Flores V.H., Werner R.A., Shook S.J., Thomas T.D., Primack S.J., Walker F.O.; American Association of Neuromuscular and Electrodiagnostic Medicine. Evidence-

- based guideline: neuromuscular ultrasound for the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Muscle Nerve*. 2012; 46 (2): 287–293. <https://doi.org/10.1002/mus.23389>
15. Torres-Costoso A., Martinez-Vizcaino V., Alvarez-Bueno C., Ferri-Morales A., Caverro-Redondo I. Accuracy of ultrasonography for the diagnosis of carpal tunnel syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2018; 99 (4): 758–765.e10. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2017.08.489>
  16. Bongers F.J., Schellevis F.G., van den Bosch W.J., van der Zee J. Carpal tunnel syndrome in general practice (1987 and 2001): incidence and the role of occupational and non-occupational factors. *Br. J. Gen. Pract.* 2007; 57 (534): 36–39.
  17. Малецкий Э.Ю., Короткевич М.М., Бутова А.В., Александров Н.Ю., Ицкович И.Э. Измерение периферических нервов: сопоставление ультразвуковых, магнитно-резонансных и интраоперационных данных. *Медицинская визуализация*. 2015; 2: 78–86.
  18. Kele H. Ultrasonography of the peripheral nervous system. *Perspect. Med.* 2012; 1: 417–421.
  19. Gonzalez-Suarez C.B., Fidel B.C., Cabrera J.T.C., Dela Cruz F.C., Gesmundo M.V.T., Regala C.F.G., Saratan R., Suarez C.G., Grimmer K. Diagnostic accuracy of ultrasound parameters in carpal tunnel syndrome: additional criteria for diagnosis. *J. Ultrasound Med.* 2019; 38 (11): 3043–3052. <https://doi.org/10.1002/jum.15012>
  20. Dale A.M., Harris-Adamson C., Rempel D., Gerr F., Hegmann K., Silverstein B., Burt S., Garg A., Kapellusch J., Merlino L., Thiese M.S., Eisen E.A., Evanoff B. Prevalence and incidence of carpal tunnel syndrome in US working populations: pooled analysis of six prospective studies. *Scand. J. Work Environ. Health.* 2013; 39 (5): 495–505. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3351>
  21. Ibrahim I., Khan W.S., Goddard N., Smitham P. Carpal tunnel syndrome: a review of the recent literature. *Open Orthop. J.* 2012; 6: 69–76. <https://doi.org/10.2174/1874325001206010069>
  22. Mondelli M., Giannini F., Giacchi M. Carpal tunnel syndrome incidence in a general population. *Neurology*. 2002; 58 (2): 289–294. <https://doi.org/10.1212/wnl.58.2.289>
  23. Rydevik B., Lundborg G., Bagge U. Effects of graded compression on intraneural blood flow. An in vivo study on rabbit tibial nerve. *J. Hand Surg. Am.* 1981; 6 (1): 3–12. [https://doi.org/10.1016/s0363-5023\(81\)80003-2](https://doi.org/10.1016/s0363-5023(81)80003-2)
  24. Keir P.J., Bach J.M., Rempel D. Effects of computer mouse design and task on carpal tunnel pressure. *Ergonomics*. 1999; 42 (10): 1350–1360. <https://doi.org/10.1080/001401399184992>
  25. Gelberman R.H., Hergenroeder P.T., Hargens A.R., Lundborg G.N., Akeson W.H. The carpal tunnel syndrome. A study of carpal canal pressures. *J. Bone Joint Surg. Am.* 1981; 63 (3): 380–383.
  26. Rojviroj S., Sirichativapee W., Kowsuwon W., Wongwiwattananon J., Tamnanthong N., Jeeravipoolvarn P. Pressures in the carpal tunnel. A comparison between patients with carpal tunnel syndrome and normal subjects. *J. Bone Joint Surg. Br.* 1990; 72 (3): 516–518. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.72b3.2187880>
  27. Aroori S., Spence R.A. Carpal tunnel syndrome. *Ulster Med. J.* 2008; 77 (1): 6–17.
  28. Elsobky H., Kassem M., Youssif T., Abd-Elkhalek A., Khalil A. Ultrasound role in diagnosis of carpal tunnel syndrome and postoperative evaluation in endoscopic carpal tunnel release. *Open J. Mod. Neurosurgery*. 2019; 9: 248–257. <https://doi.org/10.4236/ojmn.2019.93024>
  29. Elnady B., Rageh E.M., Ekhoully T., Fathy S.M., Alshaar M., Fouda E.S., Attar M., Abdelaal A.M., El Tantawi A., Algethami M.M., Bong D. Diagnostic potential of ultrasound in carpal tunnel syndrome with different etiologies: correlation of sonographic median nerve measures with electrodiagnostic severity. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2019; 20 (1): 634. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-3010-5>
  30. Ghasemi-Esfe A.R., Khalilzadeh O., Mazloumi M., Vaziri-Bozorg S.M., Niri S.G., Kahnouji H., Rahmani M. Combination of high-resolution and color Doppler ultrasound in diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Acta Radiol.* 2011; 52 (2): 191–197. <https://doi.org/10.1258/ar.2010.100299>
  31. Basiri K., Katirji B. Practical approach to electrodiagnosis of the carpal tunnel syndrome: A review. *Adv. Biomed. Res.* 2015; 4: 50. <https://doi.org/10.4103/2277-9175.151552>
  32. Atroshi I., Gummesson C., Johnsson R., Ornstein E. Diagnostic properties of nerve conduction tests in population-based carpal tunnel syndrome. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2003; 4: 9. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-4-9>
  33. Demino C., Fowler J.R. The sensitivity and specificity of nerve conduction studies for diagnosis of carpal tunnel syndrome: a systematic review. *Hand (N Y)*. 2021; 16 (2): 174–178. <https://doi.org/10.1177/1558944719855442>
  34. Малецкий Э.Ю., Александров Н.Ю., Ицкович И.Э., Лобзин С.В., Вильяр Ф.Ф. Изменение площади поперечного сечения срединного нерва на различных стадиях синдрома запястного канала. *Медицинская визуализация*. 2014; 1: 102–109.
  35. McDonagh C., Alexander M., Kane D. The role of ultrasound in the diagnosis and management of carpal tunnel syndrome: a new paradigm. *Rheumatology (Oxford)*. 2015; 54 (1): 9–19. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/keu275>
  36. Bouche P. Compression and entrapment neuropathies. *Handb. Clin. Neurol.* 2013; 115: 311–366. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-52902-2.00019-9>
  37. El-Najjar A.R., Abu-Elsoaud A.M., Sabbah D.A., Zeid A.F. Emerging role of ultrasonography in the diagnosis of carpal tunnel syndrome: relation to risk factors, clinical and electrodiagnostic severity. *Egyptian Rheumatologist*. 2021; 43 (4): 341–345. <https://doi.org/10.1016/j.ejr.2020.07.006>
  38. Jafari D., Mazhar F., Joudi S., Shokooh H., Shariatzadeh H., Hassany Sh., Panahy P. Trapeziohamate distance in carpal tunnel view as a risk factor for carpal tunnel syndrome. *Shafa Ortho. J.* 2015; 2 (4): e3877. <https://doi.org/10.17795/soj-3877>

39. Husarik D.B., Saupé N., Pfirrmann C.W., Jost B., Hodler J., Zanetti M. Elbow nerves: MR findings in 60 asymptomatic subjects – normal anatomy, variants, and pitfalls. *Radiology*. 2009; 252 (1): 148–156. <https://doi.org/10.1148/radiol.2521081614>
40. Ng A.W.H., Griffith J.F., Tong C.S.L., Law E.K.C., Tse W.L., Wong C.W.Y., Ho P.C. MRI criteria for diagnosis and predicting severity of carpal tunnel syndrome. *Skeletal Radiol*. 2020; 49 (3): 397–405. <https://doi.org/10.1007/s00256-019-03291-0>
41. Campagna R., Pessis E., Feydy A., Guerini H., Le Viet D., Corlobe P., Drape J.L. MRI assessment of recurrent carpal tunnel syndrome after open surgical release of the median nerve. *AJR. Am. J. Roentgenol*. 2009; 193 (3): 644–650. <https://doi.org/10.2214/ajr.08.1433>
42. Малецкий Э.Ю. *Возможности ультразвукового исследования при диагностике туннельных невропатий верхней конечности*: Дис. ... канд. мед. наук. СПб.: СЗГМУ им. И.И. Мечникова, 2017.
43. Roll S.C., Case-Smith J., Evans K.D. Diagnostic accuracy of ultrasonography vs. electromyography in carpal tunnel syndrome: a systematic review of literature. *Ultrasound Med. Biol*. 2011; 37 (10): 1539–1553. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2011.06.011>
44. Wessel L.E., Marshall D.C., Stepan J.G., Sacks H.A., Nwawka O.K., Miller T.T., Fufa D.T. Sonographic findings associated with carpal tunnel syndrome. *J. Hand Surg. Am*. 2019; 44 (5): 374–381. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2018.07.015>
45. Малецкий Э.Ю., Александров Н.Ю., Розенгауз Е.В., Ицкович И.Э., Короткевич М.М. Каскадное утолщение нервов в многоуровневых туннелях. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2017; 1: 65–78.
46. Малецкий Э.Ю., Ицкович И.Э. *Ультразвуковая анатомия и методика исследования нервов верхней конечности: учебное пособие*. СПб., 2018. 48 с.
47. Tagliafico A., Martinoli C. Reliability of side-to-side sonographic cross-sectional area measurements of upper extremity nerves in healthy volunteers. *J. Ultrasound Med*. 2013; 32 (3): 457–462. <https://doi.org/10.7863/jum.2013.32.3.457>
48. Салтыкова В.Г. *Ультразвуковая диагностика состояния периферических нервов (норма, повреждения, заболевания)*: Дис. ... докт. мед. наук. М.: РМАПО, 2011. 397 с.
49. Bianchi S. Ultrasound of the peripheral nerves. *Joint Bone Spine*. 2008; 75 (6): 643–649. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2008.07.002>
50. Altinok T., Baysal O., Karakas H.M., Sigirci A., Alkan A., Kayhan A., Yologlu S. Ultrasonographic assessment of mild and moderate idiopathic carpal tunnel syndrome. *Clin. Radiol*. 2004; 59 (10): 916–925. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2004.03.019>
51. Hobson-Webb L.D., Padua L. Median nerve ultrasonography in carpal tunnel syndrome: findings from two laboratories. *Muscle Nerve*. 2009; 40 (1): 94–97. <https://doi.org/10.1002/mus.21286>
52. Kang S., Kwon H.K., Kim K.H., Yun H.S. Ultrasonography of median nerve and electrophysiologic severity in carpal tunnel syndrome. *Ann. Rehabil. Med*. 2012; 36 (1): 72–79. <https://doi.org/10.5535/arm.2012.36.1.72>
53. Keberle M., Jenett M., Kenn W., Reiners K., Peter M., Haerten R., Hahn D. Technical advances in ultrasound and MR imaging of carpal tunnel syndrome. *Eur. Radiol*. 2000; 10 (7): 1043–1050. <https://doi.org/10.1007/s003300000386>
54. Ulasli A.M., Duymus M., Nacir B., Rana Erdem H., Kosar U. Reasons for using swelling ratio in sonographic diagnosis of carpal tunnel syndrome and a reliable method for its calculation. *Muscle Nerve*. 2013; 47 (3): 396–402. <https://doi.org/10.1002/mus.23528>
55. Fu T., Cao M., Liu F., Zhu J., Ye D., Feng X., Xu Y., Wang G., Bai Y. Carpal tunnel syndrome assessment with ultrasonography: value of inlet-to-outlet median nerve area ratio in patients versus healthy volunteers. *PLoS One*. 2015; 10 (1): e0116777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116777>
56. Gonzalez N.L., Hobson-Webb L.D. Neuromuscular ultrasound in clinical practice: a review. *Clin. Neurophysiol. Pract*. 2019; 4: 148–163. <https://doi.org/10.1016/j.cnp.2019.04.006>
57. Carroll A.S., Simon N.G. Current and future applications of ultrasound imaging in peripheral nerve disorders. *World J. Radiol*. 2020; 12 (6): 101–129. <https://doi.org/10.4329/wjr.v12.i6.101>
58. Bagatur A.E., Yalcinkaya M. Unilateral carpal tunnel syndrome caused by an occult palmar lipoma. *Orthopedics*. 2009; 32 (10): orthosupersite.com/view.asp?rID=43775. <https://doi.org/10.3928/01477447-20090818-20>
59. Wee T.C., Simon N.G. Ultrasound elastography for the evaluation of peripheral nerves: a systematic review. *Muscle Nerve*. 2019; 60 (5): 501–512. <https://doi.org/10.1002/mus.26624>
60. Ghajarzadeh M., Dadgostar M., Sarraf P., Emami-Razavi S.Z., Miri S., Malek M. Application of ultrasound elastography for determining carpal tunnel syndrome severity. *Jpn. J. Radiol*. 2015; 33 (5): 273–278. <https://doi.org/10.1007/s11604-015-0416-3>
61. Kantarci F., Ustabasioglu F.E., Delil S., Olgun D.C., Korkmazer B., Dikici A.S., Tutar O., Nalbantoglu M., Uzun N., Mihmanli I. Median nerve stiffness measurement by shear wave elastography: a potential sonographic method in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Eur. Radiol*. 2014; 24 (2): 434–440. <https://doi.org/10.1007/s00330-013-3023-7>
62. Paluch L., Pietruski P., Walecki J., Noszczyk B.H. Wrist to forearm ratio as a median nerve shear wave elastography test in carpal tunnel syndrome diagnosis. *J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg*. 2018; 71 (8): 1146–1152. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2018.03.022>
63. Tatar I.G., Kurt A., Yavasoglu N.G., Hekimoglu B. Carpal tunnel syndrome: elastosonographic strain ratio and cross-sectional area evaluation for the diagnosis and disease severity. *Med. Ultrason*. 2016; 18 (3): 305–311. <https://doi.org/10.11152/mu.2013.2066.183.tat>
64. Maletskiy E., Alexandrov N., Itskovich I., Lobzin S., Villar Flores R. Correlations between median nerve cross-sectional area, measured on different segments and degree of neuropathy in carpal

- tunnel syndrome. In: *ECR 2014*, paper no. C-0539. <https://doi.org/10.1594/ecr2014/C-0539>
65. Sonofuchi K., Hatta T., Goto H. Ultrasonographic measurement of the median nerve transverse diameter at the wrist for diagnosing carpal tunnel syndrome. *J. Hand Surg. Asian Pac. Vol.* 2021; 26 (2): 223–228. <https://doi.org/10.1142/s2424835521500223>
  66. Mondelli M., Filippou G., Gallo A., Frediani B. Diagnostic utility of ultrasonography versus nerve conduction studies in mild carpal tunnel syndrome. *Arthritis Rheum.* 2008; 59 (3): 357–366. <https://doi.org/10.1002/art.23317>
  67. Descatha A., Huard L., Aubert F., Barbato B., Gorand O., Chastang J.F. Meta-analysis on the performance of sonography for the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Semin. Arthritis Rheum.* 2012; 41 (6): 914–922. <https://doi.org/10.1016/j.semarthrit.2011.11.006>
  68. Hobson-Webb L.D., Massey J.M., Juel V.C., Sanders D.B. The ultrasonographic wrist-to-forearm median nerve area ratio in carpal tunnel syndrome. *Clin. Neurophysiol.* 2008; 119 (6): 1353–1357. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.01.101>
  69. Sucher B.M., Schreiber A.L. Carpal tunnel syndrome diagnosis. *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.* 2014; 25 (2): 229–247. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2014.01.004>
  70. Tai T.W., Wu C.Y., Su F.C., Chern T.C., Jou I.M. Ultrasonography for diagnosing carpal tunnel syndrome: a meta-analysis of diagnostic test accuracy. *Ultrasound Med. Biol.* 2012; 38 (7): 1121–1128. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2012.02.026>
  71. Schminke U. Ultrasonography of peripheral nerves – clinical significance. *Perspect. Med.* 2012; 1: 422–426. <https://doi.org/10.1016/j.permed.2012.03.012>
  72. Roomizadeh P., Eftekharsadat B., Abedini A., Ranjbar-Kiyakalayeh S., Yousefi N., Ebadi S., Babaei-Ghazani A. Ultrasonographic assessment of carpal tunnel syndrome severity: a systematic review and meta-analysis. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* 2019; 98 (5): 373–381. <https://doi.org/10.1097/phm.0000000000001104>
  73. Klauser A.S., Halpern E.J., De Zordo T., Feuchtner G.M., Arora R., Gruber J., Martinoli C., Loscher W.N. Carpal tunnel syndrome assessment with US: value of additional cross-sectional area measurements of the median nerve in patients versus healthy volunteers. *Radiology.* 2009; 250 (1): 171–177. <https://doi.org/10.1148/radiol.2501080397>
  74. Azman D., Hrabac P., Demarin V. Use of multiple ultrasonographic parameters in confirmation of carpal tunnel syndrome. *J. Ultrasound Med.* 2018; 37 (4): 879–889. <https://doi.org/10.1002/jum.14417>
  75. Yoshii Y., Tung W.L., Yuine H., Ishii T. Post-operative diagnostic potentials of median nerve strain and applied pressure measurement after carpal tunnel release. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2020; 21 (1): 22. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-3033-y>
  76. Takata S.C., Kysh L., Mack W.J., Roll S.C. Sonographic reference values of median nerve cross-sectional area: a protocol for a systematic review and meta-analysis. *Syst. Rev.* 2019; 8 (1): 2. <https://doi.org/10.1186/s13643-018-0929-9>
  77. Keles I., Karagulle Kendi A.T., Aydin G., Zog S.G., Orkun S. Diagnostic precision of ultrasonography in patients with carpal tunnel syndrome. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* 2005; 84 (6): 443–450. <https://doi.org/10.1097/01.phm.0000163715.11645.96>
  78. Sarria L., Cabada T., Cozcolluela R., Martinez-Berganza T., Garcia S. Carpal tunnel syndrome: usefulness of sonography. *Eur. Radiol.* 2000; 10 (12): 1920–1925. <https://doi.org/10.1007/s003300000502>
  79. Shen Z.L., Li Z.M. Ultrasound assessment of transverse carpal ligament thickness: a validity and reliability study. *Ultrasound Med. Biol.* 2012; 38 (6): 982–988. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2012.02.021>
  80. Vanhees M., Verstreken F., van Riet R. What does the transverse carpal ligament contribute to carpal stability? *J. Wrist Surg.* 2015; 4 (1): 31–34. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1398486>
  81. Митьков В.В., Митькова М.Д., Салтыкова В.Г. Микроультразвуковое исследование – новые технологии, новые возможности. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2021; 1: 89–99. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2021-1-89-99>
  82. Mallouhi A., Pulzl P., Trieb T., Piza H., Bodner G. Predictors of carpal tunnel syndrome: accuracy of gray-scale and color Doppler sonography. *AJR Am. J. Roentgenol.* 2006; 186 (5): 1240–1245. <https://doi.org/10.2214/ajr.04.1715>
  83. Thatte M.R., Mansukhani K.A. Compressive neuropathy in the upper limb. *Indian J. Plast. Surg.* 2011; 44 (2): 283–297. <https://doi.org/10.4103/0970-0358.85350>
  84. Gallardo E., Noto Y., Simon N.G. Ultrasound in the diagnosis of peripheral neuropathy: structure meets function in the neuromuscular clinic. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry.* 2015; 86 (10): 1066–1074. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2014-309599>

## REFERENCES

1. Paget J. *Lectures on surgical pathology*. 3<sup>rd</sup> ed. Philadelphia: Lindsay & Blakiston, 1865. 737 pp.
2. Russel S.M. *Examination of peripheral nerve injuries*. Translation from English into Russian. Moscow: BINOM, 2009. 251 pp. (in Russian)
3. Yoshii Y., Zhao C., Amadio P.C. Recent advances in ultrasound diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Diagnostics (Basel)*. 2020; 10 (8): 596. <https://doi.org/10.3390/diagnostics10080596>
4. Ghasemi-Rad M., Nosair E., Vegh A., Mohammadi A., Akkad A., Lasha E., Mohammadi M.H., Sayed D., Davarian A., Maleki-Miyandoab T., Hasan A. A handy review of carpal tunnel syndrome: From anatomy to diagnosis and treatment. *World J. Radiol.* 2014; 6 (6): 284–300. <https://doi.org/10.4329/wjr.v6.i6.284>
5. Brain W.R., Wright A.D., Wilkinson M. Spontaneous compression of both median nerves in the carpal tunnel; six cases treated surgically. *Lancet*.

- 1947; 1 (6443–6445): 277–282.  
[https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(47\)90093-7](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(47)90093-7)
6. Kanikannan M.A., Boddu D.B., Umamahesh, Sarva S., Durga P., Borgohain R. Comparison of high-resolution sonography and electrophysiology in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Ann. Indian Acad. Neurol.* 2015; 18 (2): 219–225.  
<https://doi.org/10.4103/0972-2327.150590>
  7. Meyer P., Lintingre P.F., Pesquer L., Poussange N., Silvestre A., Dallaudiere B. The median nerve at the carpal tunnel ... and elsewhere. *J. Belg. Soc. Radiol.* 2018; 102 (1): 17.  
<https://doi.org/10.5334/jbsr.1354>
  8. Bayrak I.K., Bayrak A.O., Kale M., Turker H., Diren B. Bifid median nerve in patients with carpal tunnel syndrome. *J. Ultrasound Med.* 2008; 27 (8): 1129–1136.  
<https://doi.org/10.7863/jum.2008.27.8.1129>
  9. Lanz U. Anatomical variations of the median nerve in the carpal tunnel. *J. Hand Surg. Am.* 1977; 2 (1): 44–53. [https://doi.org/10.1016/s0363-5023\(77\)80009-9](https://doi.org/10.1016/s0363-5023(77)80009-9)
  10. Gayvoronsky I.V., Gayvoronsky A.I., Nichiporuk G.I. *Functional anatomy of the nervous system.* 8<sup>th</sup> ed. Saint-Petersburg: SpetsLit, 2016. 353 pp. (in Russian)
  11. Saltykova V.G., Shtok A.V. The value of high-resolution ultrasound in the diagnosis of carpal channel structures condition in tunnel syndrome. *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2009; 4: 47–59. (in Russian)
  12. Chen L., Chen J., Hu B., Jiang L.X. Sonographic findings of the bifid median nerve and persistent median artery in carpal tunnel: a preliminary study in Chinese individuals. *Clinics (Sao Paulo).* 2017; 72 (6): 358–362. [https://doi.org/10.6061/clinics/2017\(06\)05](https://doi.org/10.6061/clinics/2017(06)05)
  13. Luchetti R., Amadio P. *Carpal tunnel syndrome.* Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2002. 392 pp.
  14. Cartwright M.S., Hobson-Webb L.D., Boon A.J., Alter K.E., Hunt C.H., Flores V.H., Werner R.A., Shook S.J., Thomas T.D., Primack S.J., Walker F.O.; American Association of Neuromuscular and Electrodiagnostic Medicine. Evidence-based guideline: neuromuscular ultrasound for the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Muscle Nerve.* 2012; 46 (2): 287–293.  
<https://doi.org/10.1002/mus.23389>
  15. Torres-Costoso A., Martinez-Vizcaino V., Alvarez-Bueno C., Ferri-Morales A., Cavero-Redondo I. Accuracy of ultrasonography for the diagnosis of carpal tunnel syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2018; 99 (4): 758–765.e10.  
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2017.08.489>
  16. Bongers F.J., Schellevis F.G., van den Bosch W.J., van der Zee J. Carpal tunnel syndrome in general practice (1987 and 2001): incidence and the role of occupational and non-occupational factors. *Br. J. Gen. Pract.* 2007; 57 (534): 36–39.
  17. Maletskiy E.Yu., Korotkevich M.M., Butova A.V., Alexandrov N.Yu., Itskovich I.E. Measurements of peripheral nerves: comparison of ultrasound, MRI and direct intraoperative data. *Medical Visualization.* 2015; 2: 78–86. (in Russian)
  18. Kele H. Ultrasonography of the peripheral nervous system. *Perspect. Med.* 2012; 1: 417–421.
  19. Gonzalez-Suarez C.B., Fidel B.C., Cabrera J.T.C., Dela Cruz F.C., Gesmundo M.V.T., Regala C.F.G., Saratan R., Suarez C.G., Grimmer K. Diagnostic accuracy of ultrasound parameters in carpal tunnel syndrome: additional criteria for diagnosis. *J. Ultrasound Med.* 2019; 38 (11): 3043–3052.  
<https://doi.org/10.1002/jum.15012>
  20. Dale A.M., Harris-Adamson C., Rempel D., Gerr F., Hegmann K., Silverstein B., Burt S., Garg A., Kapellusch J., Merlino L., Thiese M.S., Eisen E.A., Evanoff B. Prevalence and incidence of carpal tunnel syndrome in US working populations: pooled analysis of six prospective studies. *Scand. J. Work Environ. Health.* 2013; 39 (5): 495–505.  
<https://doi.org/10.5271/sjweh.3351>
  21. Ibrahim I., Khan W.S., Goddard N., Smitham P. Carpal tunnel syndrome: a review of the recent literature. *Open Orthop. J.* 2012; 6: 69–76.  
<https://doi.org/10.2174/1874325001206010069>
  22. Mondelli M., Giannini F., Giacchi M. Carpal tunnel syndrome incidence in a general population. *Neurology.* 2002; 58 (2): 289–294.  
<https://doi.org/10.1212/wnl.58.2.289>
  23. Rydevik B., Lundborg G., Bagge U. Effects of graded compression on intraneural blood flow. An in vivo study on rabbit tibial nerve. *J. Hand Surg. Am.* 1981; 6 (1): 3–12.  
[https://doi.org/10.1016/s0363-5023\(81\)80003-2](https://doi.org/10.1016/s0363-5023(81)80003-2)
  24. Keir P.J., Bach J.M., Rempel D. Effects of computer mouse design and task on carpal tunnel pressure. *Ergonomics.* 1999; 42 (10): 1350–1360.  
<https://doi.org/10.1080/001401399184992>
  25. Gelberman R.H., Hergenroeder P.T., Hargens A.R., Lundborg G.N., Akeson W.H. The carpal tunnel syndrome. A study of carpal canal pressures. *J. Bone Joint Surg. Am.* 1981; 63 (3): 380–383.
  26. Rojviroj S., Sirichativapee W., Kowsuwon W., Wongwiwattananon J., Tamnanthong N., Jeeravipoolvarn P. Pressures in the carpal tunnel. A comparison between patients with carpal tunnel syndrome and normal subjects. *J. Bone Joint Surg. Br.* 1990; 72 (3): 516–518. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.72b3.2187880>
  27. Aroori S., Spence R.A. Carpal tunnel syndrome. *Ulster Med. J.* 2008; 77 (1): 6–17.
  28. Elsobky H., Kasseem M., Youssif T., Abd-Elkhalek A., Khalil A. Ultrasound role in diagnosis of carpal tunnel syndrome and postoperative evaluation in endoscopic carpal tunnel release. *Open J. Mod. Neurosurgery.* 2019; 9: 248–257.  
<https://doi.org/10.4236/ojmn.2019.93024>
  29. Elnady B., Rageh E.M., Ekhoully T., Fathy S.M., Alshaar M., Fouda E.S., Attar M., Abdelaal A.M., El Tantawi A., Algethami M.M., Bong D. Diagnostic potential of ultrasound in carpal tunnel syndrome with different etiologies: correlation of sonographic median nerve measures with electrodiagnostic severity. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2019; 20 (1): 634. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-3010-5>
  30. Ghasemi-Esfe A.R., Khalilzadeh O., Mazloumi M., Vaziri-Bozorg S.M., Niri S.G., Kahnouji H., Rahmani M. Combination of high-resolution and

- color Doppler ultrasound in diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Acta Radiol.* 2011; 52 (2): 191–197. <https://doi.org/10.1258/ar.2010.100299>
31. Basiri K., Katirji B. Practical approach to electrodiagnosis of the carpal tunnel syndrome: A review. *Adv. Biomed. Res.* 2015; 4: 50. <https://doi.org/10.4103/2277-9175.151552>
  32. Atroshi I., Gummesson C., Johnsson R., Ornstein E. Diagnostic properties of nerve conduction tests in population-based carpal tunnel syndrome. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2003; 4: 9. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-4-9>
  33. Demino C., Fowler J.R. The sensitivity and specificity of nerve conduction studies for diagnosis of carpal tunnel syndrome: a systematic review. *Hand (NY)*. 2021; 16 (2): 174–178. <https://doi.org/10.1177/1558944719855442>
  34. Maletskiy E.Yu., Alexandrov N.Yu., Itskovich I.E., Lobzin S.V., Villar F.F. Cross sectional area change of the median nerve at different stages of carpal tunnel syndrome. *Medical Visualization*. 2014; 1: 102–109. (in Russian)
  35. McDonagh C., Alexander M., Kane D. The role of ultrasound in the diagnosis and management of carpal tunnel syndrome: a new paradigm. *Rheumatology (Oxford)*. 2015; 54 (1): 9–19. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/keu275>
  36. Bouche P. Compression and entrapment neuropathies. *Handb. Clin. Neurol.* 2013; 115: 311–366. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-52902-2.00019-9>
  37. El-Najjar A.R., Abu-Elsoaud A.M., Sabbah D.A., Zeid A.F. Emerging role of ultrasonography in the diagnosis of carpal tunnel syndrome: relation to risk factors, clinical and electrodiagnostic severity. *Egyptian Rheumatologist*. 2021; 43 (4): 341–345. <https://doi.org/10.1016/j.ejr.2020.07.006>
  38. Jafari D., Mazhar F., Joudi S., Shokooh H., Shariat-zadeh H., Hassany Sh., Panahy P. Trapeziohamate distance in carpal tunnel view as a risk factor for carpal tunnel syndrome. *Shafa Ortho. J.* 2015; 2 (4): e3877. <https://doi.org/10.17795/soj-3877>
  39. Husarik D.B., Saupe N., Pfirrmann C.W., Jost B., Hodler J., Zanetti M. Elbow nerves: MR findings in 60 asymptomatic subjects – normal anatomy, variants, and pitfalls. *Radiology*. 2009; 252 (1): 148–156. <https://doi.org/10.1148/radiol.2521081614>
  40. Ng A.W.H., Griffith J.F., Tong C.S.L., Law E.K.C., Tse W.L., Wong C.W.Y., Ho P.C. MRI criteria for diagnosis and predicting severity of carpal tunnel syndrome. *Skeletal Radiol.* 2020; 49 (3): 397–405. <https://doi.org/10.1007/s00256-019-03291-0>
  41. Campagna R., Pessis E., Feydy A., Guerini H., Le Viet D., Corlobe P., Drape J.L. MRI assessment of recurrent carpal tunnel syndrome after open surgical release of the median nerve. *AJR. Am. J. Roentgenol.* 2009; 193 (3): 644–650. <https://doi.org/10.2214/ajr.08.1433>
  42. Maletsky E.Yu. *The possibilities of ultrasound examination in the diagnosis of tunnel neuropathies of the upper limb*. PhD Thesis, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg, Russia, 2017. (in Russian)
  43. Roll S.C., Case-Smith J., Evans K.D. Diagnostic accuracy of ultrasonography vs. electromyography in carpal tunnel syndrome: a systematic review of literature. *Ultrasound Med. Biol.* 2011; 37 (10): 1539–1553. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmed-bio.2011.06.011>
  44. Wessel L.E., Marshall D.C., Stepan J.G., Sacks H.A., Nwawka O.K., Miller T.T., Fufa D.T. Sonographic findings associated with carpal tunnel syndrome. *J. Hand Surg. Am.* 2019; 44 (5): 374–381. <https://doi.org/10.1016/j.jhssa.2018.07.015>
  45. Maletskiy E.Yu., Alexandrov N.Yu., Rozen-gauz E.V., Itskovich I.E., Korotkevich M.M. Cascade thickening of nerves in multilevel tunnels. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2017; 1: 65–78. (in Russian)
  46. Maletsky E.Yu., Itskovich I.E. *Ultrasound anatomy and protocol of upper limb nerves ultrasound*. Saint-Petersburg, 2018. 48 p. (in Russian)
  47. Tagliafico A., Martinoli C. Reliability of side-to-side sonographic cross-sectional area measurements of upper extremity nerves in healthy volunteers. *J. Ultrasound Med.* 2013; 32 (3): 457–462. <https://doi.org/10.7863/jum.2013.32.3.457>
  48. Salytkova V.G. *Peripheral nerves ultrasound (norm, damage, diseases)*. PhD Thesis, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia, 2011. (in Russian)
  49. Bianchi S. Ultrasound of the peripheral nerves. *Joint Bone Spine*. 2008; 75 (6): 643–649. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2008.07.002>
  50. Altinok T., Baysal O., Karakas H.M., Sigirci A., Alkan A., Kayhan A., Yologlu S. Ultrasonographic assessment of mild and moderate idiopathic carpal tunnel syndrome. *Clin. Radiol.* 2004; 59 (10): 916–925. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2004.03.019>
  51. Hobson-Webb L.D., Padua L. Median nerve ultrasonography in carpal tunnel syndrome: findings from two laboratories. *Muscle Nerve*. 2009; 40 (1): 94–97. <https://doi.org/10.1002/mus.21286>
  52. Kang S., Kwon H.K., Kim K.H., Yun H.S. Ultrasonography of median nerve and electrophysiologic severity in carpal tunnel syndrome. *Ann. Rehabil. Med.* 2012; 36 (1): 72–79. <https://doi.org/10.5535/arm.2012.36.1.72>
  53. Keberle M., Jenett M., Kenn W., Reiners K., Peter M., Haerten R., Hahn D. Technical advances in ultrasound and MR imaging of carpal tunnel syndrome. *Eur. Radiol.* 2000; 10 (7): 1043–1050. <https://doi.org/10.1007/s003300000386>
  54. Ulasli A.M., Duymus M., Nacir B., Rana Erdem H., Kosar U. Reasons for using swelling ratio in sonographic diagnosis of carpal tunnel syndrome and a reliable method for its calculation. *Muscle Nerve*. 2013; 47 (3): 396–402. <https://doi.org/10.1002/mus.23528>
  55. Fu T., Cao M., Liu F., Zhu J., Ye D., Feng X., Xu Y., Wang G., Bai Y. Carpal tunnel syndrome assessment with ultrasonography: value of inlet-to-outlet median nerve area ratio in patients versus healthy volunteers. *PLoS One*. 2015; 10 (1): e0116777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116777>
  56. Gonzalez N.L., Hobson-Webb L.D. Neuromuscular ultrasound in clinical practice: a review. *Clin. Neurophysiol. Pract.* 2019; 4: 148–163. <https://doi.org/10.1016/j.cnp.2019.04.006>

57. Carroll A.S., Simon N.G. Current and future applications of ultrasound imaging in peripheral nerve disorders. *World J. Radiol.* 2020; 12 (6): 101–129. <https://doi.org/10.4329/wjr.v12.i6.101>
58. Bagatur A.E., Yalcinkaya M. Unilateral carpal tunnel syndrome caused by an occult palmar lipoma. *Orthopedics.* 2009; 32 (10): orthosupersite.com/view.asp?rID=43775. <https://doi.org/10.3928/01477447-20090818-20>
59. Wee T.C., Simon N.G. Ultrasound elastography for the evaluation of peripheral nerves: a systematic review. *Muscle Nerve.* 2019; 60 (5): 501–512. <https://doi.org/10.1002/mus.26624>
60. Ghajarzadeh M., Dadgostar M., Sarraf P., Emami-Razavi S.Z., Miri S., Malek M. Application of ultrasound elastography for determining carpal tunnel syndrome severity. *Jpn. J. Radiol.* 2015; 33 (5): 273–278. <https://doi.org/10.1007/s11604-015-0416-3>
61. Kantarci F., Ustabasioglu F.E., Delil S., Olgun D.C., Korkmazer B., Dikici A.S., Tutar O., Nalbantoglu M., Uzun N., Mihmanli I. Median nerve stiffness measurement by shear wave elastography: a potential sonographic method in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Eur. Radiol.* 2014; 24 (2): 434–440. <https://doi.org/10.1007/s00330-013-3023-7>
62. Paluch L., Pietruski P., Walecki J., Noszczyk B.H. Wrist to forearm ratio as a median nerve shear wave elastography test in carpal tunnel syndrome diagnosis. *J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg.* 2018; 71 (8): 1146–1152. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2018.03.022>
63. Tatar I.G., Kurt A., Yavasoglu N.G., Hekimoglu B. Carpal tunnel syndrome: elastosonographic strain ratio and cross-sectional area evaluation for the diagnosis and disease severity. *Med. Ultrason.* 2016; 18 (3): 305–311. <https://doi.org/10.11152/mu.2013.2066.183.tat>
64. Maletskiy E., Alexandrov N., Itskovich I., Lobzin S., Villar Flores R. Correlations between median nerve cross-sectional area, measured on different segments and degree of neuropathy in carpal tunnel syndrome. In: *ECR 2014*, paper no. C-0539. <https://doi.org/10.1594/ecr2014/C-0539>
65. Sonofuchi K., Hatta T., Goto H. Ultrasonographic measurement of the median nerve transverse diameter at the wrist for diagnosing carpal tunnel syndrome. *J. Hand Surg. Asian Pac. Vol.* 2021; 26 (2): 223–228. <https://doi.org/10.1142/s2424835521500223>
66. Mondelli M., Filippou G., Gallo A., Frediani B. Diagnostic utility of ultrasonography versus nerve conduction studies in mild carpal tunnel syndrome. *Arthritis Rheum.* 2008; 59 (3): 357–366. <https://doi.org/10.1002/art.23317>
67. Descatha A., Huard L., Aubert F., Barbato B., Gorand O., Chastang J.F. Meta-analysis on the performance of sonography for the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Semin. Arthritis Rheum.* 2012; 41 (6): 914–922. <https://doi.org/10.1016/j.semarthrit.2011.11.006>
68. Hobson-Webb L.D., Massey J.M., Juel V.C., Sanders D.B. The ultrasonographic wrist-to-forearm median nerve area ratio in carpal tunnel syndrome. *Clin. Neurophysiol.* 2008; 119 (6): 1353–1357. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.01.101>
69. Sucher B.M., Schreiber A.L. Carpal tunnel syndrome diagnosis. *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.* 2014; 25 (2): 229–247. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2014.01.004>
70. Tai T.W., Wu C.Y., Su F.C., Chern T.C., Jou I.M. Ultrasonography for diagnosing carpal tunnel syndrome: a meta-analysis of diagnostic test accuracy. *Ultrasound Med. Biol.* 2012; 38 (7): 1121–1128. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2012.02.026>
71. Schminke U. Ultrasonography of peripheral nerves – clinical significance. *Perspect. Med.* 2012; 1: 422–426. <https://doi.org/10.1016/j.permed.2012.03.012>
72. Roomizadeh P., Eftekharsadat B., Abedini A., Ranjbar-Kiyakalayeh S., Yousefi N., Ebadi S., Babaei-Ghazani A. Ultrasonographic assessment of carpal tunnel syndrome severity: a systematic review and meta-analysis. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* 2019; 98 (5): 373–381. <https://doi.org/10.1097/phm.0000000000001104>
73. Klauser A.S., Halpern E.J., De Zordo T., Feuchtner G.M., Arora R., Gruber J., Martinoli C., Loscher W.N. Carpal tunnel syndrome assessment with US: value of additional cross-sectional area measurements of the median nerve in patients versus healthy volunteers. *Radiology.* 2009; 250 (1): 171–177. <https://doi.org/10.1148/radiol.2501080397>
74. Azman D., Hrabac P., Demarin V. Use of multiple ultrasonographic parameters in confirmation of carpal tunnel syndrome. *J. Ultrasound Med.* 2018; 37(4): 879–889. <https://doi.org/10.1002/jum.14417>
75. Yoshii Y., Tung W.L., Yuine H., Ishii T. Post-operative diagnostic potentials of median nerve strain and applied pressure measurement after carpal tunnel release. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2020; 21 (1): 22. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-3033-y>
76. Takata S.C., Kysh L., Mack W.J., Roll S.C. Sonographic reference values of median nerve cross-sectional area: a protocol for a systematic review and meta-analysis. *Syst. Rev.* 2019; 8 (1): 2. <https://doi.org/10.1186/s13643-018-0929-9>
77. Keles I., Karagulle Kendi A.T., Aydin G., Zog S.G., Orkun S. Diagnostic precision of ultrasonography in patients with carpal tunnel syndrome. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* 2005; 84 (6): 443–450. <https://doi.org/10.1097/01.phm.0000163715.11645.96>
78. Sarria L., Cabada T., Cozcolluela R., Martinez-Berganza T., Garcia S. Carpal tunnel syndrome: usefulness of sonography. *Eur. Radiol.* 2000; 10 (12): 1920–1925. <https://doi.org/10.1007/s003300000502>
79. Shen Z.L., Li Z.M. Ultrasound assessment of transverse carpal ligament thickness: a validity and reliability study. *Ultrasound Med. Biol.* 2012; 38 (6): 982–988. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2012.02.021>
80. Vanhees M., Verstreken F., van Riet R. What does the transverse carpal ligament contribute to carpal stability? *J. Wrist Surg.* 2015; 4 (1): 31–34. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1398486>

81. Mitkov V.V., Mitkova M.D., Saltykova V.G. Microultrasound – new technologies, new capabilities. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2021; 1: 89–99. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2021-1-89-99> (in Russian)
82. Mallouhi A., Pulzl P., Trieb T., Piza H., Bodner G. Predictors of carpal tunnel syndrome: accuracy of gray-scale and color Doppler sonography. *AJR Am. J. Roentgenol.* 2006; 186 (5): 1240–1245. <https://doi.org/10.2214/ajr.04.1715>
83. Thatte M.R., Mansukhani K.A. Compressive neuropathy in the upper limb. *Indian J. Plast. Surg.* 2011; 44 (2): 283–297. <https://doi.org/10.4103/0970-0358.85350>
84. Gallardo E., Noto Y., Simon N.G. Ultrasound in the diagnosis of peripheral neuropathy: structure meets function in the neuromuscular clinic. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry.* 2015; 86 (10): 1066–1074. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2014-309599>

## Median nerve ultrasound in carpal tunnel syndrome diagnosis (pictorial review)

V.G. Saltykova<sup>1</sup>, E.Yu. Maletskiy<sup>2</sup>, D.S. Kanshina<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow

<sup>2</sup> North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg

<sup>3</sup> National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov, Moscow

<sup>4</sup> Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology, Moscow

V.G. Saltykova – M.D., Ph.D., Professor, Diagnostic Ultrasound Division, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-3879-6457>

E.Yu. Maletskiy – M.D., Ph.D., Associate Professor, Division of Radiology, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg. <https://orcid.org/0000-0001-8677-3095>

D.S. Kanshina – M.D., Ph.D., Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology; Associate Professor, Division of Neurology, National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-5142-9400>

Correspondence to Dr. Viktoriya V. Saltykova. E-mail: [doctor.saltykova@gmail.com](mailto:doctor.saltykova@gmail.com)

*Of all tunnel syndromes the most common is the carpal tunnel syndrome (CTS), causing by the median nerve compression. The pictorial review presents the median nerve examination technique and the ultrasound images of carpal tunnel syndrome. The ultrasound criteria for carpal tunnel syndrome diagnosis were analyzed, following of them are recommended for routine clinical practice: an increase of the median nerve cross-sectional area at the carpal tunnel entrance and (or) exit  $\geq 0.11 \text{ cm}^2$  ( $11 \text{ mm}^2$ ), in the bifid median nerve –  $\geq 0.12 \text{ cm}^2$  ( $12 \text{ mm}^2$ ); the difference in the median nerve cross-sectional areas at the level of carpal tunnel entrance (and) or exit and at the border of the middle and lower third of the forearm  $> 0.02 \text{ cm}^2$  ( $2 \text{ mm}^2$ ) and (or) index of the cross-sectional area  $> 1.93$ ; the hourglass shape of the median nerve at the long-axis view with the area of nerve compression deformity under the transverse carpal ligament; decrease of nerve echogenicity and loss of the fascicular pattern at the carpal tunnel entrance, carpal tunnel and (or) carpal tunnel exit; local hypervascularity of the enlarged median nerve (necessarily combined with a significant increase of the median nerve cross-sectional area).*

**Key words:** ultrasound, median nerve, carpal tunnel syndrome.

**Citation:** Saltykova V.G., Maletskiy E.Yu., Kanshina D.S. Median nerve ultrasound in carpal tunnel syndrome diagnosis (pictorial review). *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2021; 2: 39–62. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2021-2-39-62> (in Russian)