

Циркумференциальная деформация и локальная артериальная жесткость общих сонных артерий у здоровых лиц и пациентов с факторами сердечно-сосудистого риска

Для корреспонденции:

Татьяна Владимировна Матановская,
tania-larigina@yandex.ru

Поступила в редакцию 19 ноября 2020 г. Исправлена 14 января 2021 г. Принята к печати 18 января 2021 г.

Цитировать:

Синельников Ю.С., Орехова Е.Н., Матановская Т.В., Копытова Е.О., Баранова Д.О. Циркумференциальная деформация и локальная артериальная жесткость общих сонных артерий у здоровых лиц и пациентов с факторами сердечно-сосудистого риска. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2021;25(2):60-68. <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2021-2-60-68>

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Концепция и дизайн работы: все авторы

Сбор и анализ данных: Е.О. Копытова,
Д.О. Баранова

Статистическая обработка данных: Е.Н. Орехова,
Т.В. Матановская

Написание статьи: Е.Н. Орехова

Исправление статьи: Ю.С. Синельников

Утверждение окончательного варианта статьи:
все авторы

ORCID ID

Ю.С. Синельников,

<https://orcid.org/0000-0002-6819-2980>

Е.Н. Орехова, <https://orcid.org/0000-0002-7097-8771>

Т.В. Матановская,

<https://orcid.org/0000-0002-2277-8935>

Е.О. Копытова,

<https://orcid.org/0000-0002-5889-9050>

Д.О. Баранова,

<https://orcid.org/0000-0002-0261-4730>

Ю.С. Синельников, Е.Н. Орехова, Т.В. Матановская,
Е.О. Копытова, Д.О. Баранова

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии имени С.Г. Суханова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Пермь, Российская Федерация

Цель. Оценить параметры циркумференциальной деформации и локальной артериальной жесткости общих сонных артерий у здоровых лиц и пациентов с факторами сердечно-сосудистого риска.

Методы. Обследовано 111 взрослых лиц от 20 до 45 ($38,3 \pm 7,0$) года, 63,06 % — мужчины, без известных анамнестических данных о клиническом проявлении атеросклероза. Обследованных разделили на две группы: I ($n = 50$) — здоровые добровольцы без факторов сердечно-сосудистого риска, II ($n = 61$) — лица с одним из модифицируемых факторов риска (курение, ожирение, артериальная гипертония, гиперхолестеринемия). Исключили обследованных с сахарным диабетом, атеросклеротическими бляшками в брахиоцефальных артериях, нарушениями ритма сердца. Измеряли показатели общей сонной артерии: циркумференциальную деформацию, скорость деформации и время до ее пика, фракцию изменения площади, локальную артериальную жесткость.

Результаты. Показатели механики общей сонной артерии коррелируют с возрастом, артериальным давлением, индексом массы тела, индексом массы миокарда левого желудочка. Наименьшие значения циркумференциальной деформации в общей сонной артерии определялись у пациентов II группы с артериальной гипертонией ($2,4 \pm 0,9$ %, 95% доверительный интервал 2,07–2,86 %, против $3,6 \pm 1,1$ %, 95% доверительный интервал 3,2–4 %, без артериальной гипертонии). Локальная артериальная жесткость общей сонной артерии наиболее увеличена у пациентов с артериальной гипертонией ($19,3 \pm 6,1$ %, 95% доверительный интервал 16–21, против $13,5 \pm 4,5$ %, 95% доверительный интервал 13–16, без артериальной гипертонии). Фракция изменения площади общей сонной артерии обратно коррелирует с возрастом у обследованных как I ($R_s = -0,63$, $p = 0,0001$), так и II группы ($R_s = -0,61$, $p = 0,0001$).

Выводы. Циркумференциальная деформация, скорость деформации и фракция изменения площади общей сонной артерии снижаются с возрастом, тогда как время до пика деформации и локальная артериальная жесткость увеличиваются.

© Ю.С. Синельников, Е.Н. Орехова, Т.В. Матановская, Е.О. Копытова, Д.О. Баранова, 2021

Статья открытого доступа, распространяется по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Параметры механики и функции общей сонной артерии у пациентов с факторами сердечно-сосудистого риска демонстрируют тесную связь с артериальной гипертонией, ожирением, курением и гиперхолестеринемией.

Ключевые слова: общая сонная артерия; фактор сердечно-сосудистого риска; циркумференциальная деформация

Введение

Артериальная жесткость сонных артерий является независимым фактором риска цереброваскулярных заболеваний, когнитивных нарушений и смертности [1; 2]. Нарушения функции артериальной стенки предшествуют ее структурным изменениям и могут быть обнаружены до манифестации симптомов сердечно-сосудистых заболеваний [3; 4]. Изучение деформации каротидных артерий может предоставить уникальную информацию об их эластических свойствах, в том числе о локаль-

ной артериальной жесткости [5]. Использование ультразвуковых показателей speckle tracking, отражающих циркумференциальную механику сонных артерий, широко оценено как *in vitro* (с применением сономикрометрии), так и на большом клиническом материале, в том числе в сравнении с другими методиками [3; 4; 6–8]. Однако в повседневной клинической практике данные показатели применяются ограниченно. Исследования о связи показателей механики общих сонных артерий (ОСА) с цереброваскулярными заболеваниями единичны, а роль оценки локальной жесткости

Табл. 1. Общая характеристика участников исследования

Показатель	I группа	II группа	p
Возраст, лет	37,0 ± 7,3 [38; 20; 45]	39,4 ± 6,6 [43; 25; 45]	0,06
Площадь поверхности тела, м ²	1,83 ± 0,15 [1,85; 1,5; 2,26]	1,87 ± 0,16 [1,89; 1,49; 2,20]	0,2
Индекс массы тела, кг/м ²	24,9 ± 2,4 [25,3; 16,6; 30,0]	26,2 ± 3,3 [26,0; 19,8; 34,5]	0,02*
Рост, см	170,6 ± 7,8 [170; 155; 199]	169,2 ± 7,1 [169; 156; 185]	0,7
Вес, кг	72,80 ± 9,75 [74; 49; 90]	76,1 ± 11,0 [75; 50; 100]	0,1
Пол мужской, %	32 (64)	38 (62,29)	(χ ²) 0,93
Систолическое артериальное давление, мм рт. ст.	118,0 ± 7,5 [119; 110; 134]	130,4 ± 17,0 [120; 110; 160]	0,0001*
Диастолическое артериальное давление, мм рт. ст.	73 ± 7 [70; 60; 85]	80 ± 10 [85; 60; 100]	0,0001*
Пациенты с артериальной гипертонией, n (%)	–	23 (37,7)	–
Общий холестерин, ммоль/л	4,6 ± 0,6 [4,6; 3,4; 5,9]	5,6 ± 1,0 [5,4; 4,1; 8,3]	0,001*
Пациенты с гиперхолестеринемией, n (%)	–	10 (16,4)	–
Курящие пациенты, n (%)	–	18 (29,5)	–
Пациенты с ожирением, n (%)	–	10 (16,4)	–
Частота сердечных сокращений, уд./мин	67,0 ± 7,4 [67; 53; 90]	69,0 ± 7,2 [68; 55; 88]	0,4
Фракция выброса левого желудочка, %	64,5 ± 4,3 [65; 55; 73]	63,2 ± 5,5 [64; 54; 72]	0,2
Индекс массы миокарда левого желудочка, г/м ²	95,9 ± 14,0 [95; 73; 123]	120,0 ± 20,3 [122; 83; 172]	0,00001*
E/e'	5,00 ± 1,17 [5,0; 2,9; 7,3]	5,90 ± 1,18 [6,0; 3,2; 9,0]	0,01*

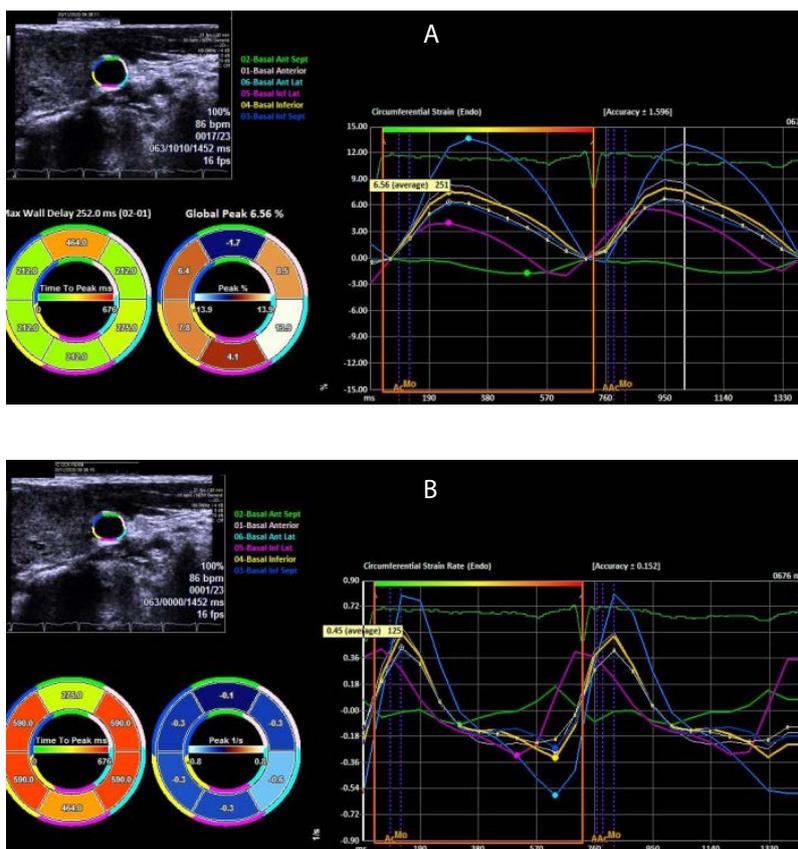
Примечание. Данные представлены как M ± SD [Me; min; max] или как n (%); E/e' — соотношение максимальной скорости трансмитрального кровотока во время раннего диастолического наполнения левого желудочка к скорости движения латеральной части фиброзного кольца митрального клапана; * значимость различий p < 0,05.

Пример оценки циркуференциальной деформации и скорости деформации в правой общей сонной артерии

Примечание. Пациент 38 лет, площадь поверхности тела 1,7 м². Индекс массы тела 25,5 кг/м², артериальное давление 110/70 мм рт. ст., факторы сердечно-сосудистого риска отсутствуют. Общая сонная артерия по короткой оси на 10 мм проксимальнее бифуркации после трассировки внутреннего контура артерии. С помощью программного модуля визуализации вектора скорости для изучения циркуференциальной механики окружность общей сонной артерии делится на 6 сегментов одинакового размера. Эти сегменты формируют сегментарные параметры деформации, из которых программа рассчитывает усредненное значение.

Кривые деформации и круговые диаграммы времени до пика деформации от 6 сегментов общей сонной артерии и усредненные значения этих данных. Циркуференциальная деформация общей сонной артерии в представленном примере 6,56 %, среднее время до пика деформации 176 мс (А);

Скорость деформации общей сонной артерии 0,45 с⁻¹. Локальная артериальная жесткость общей сонной артерии = $\ln(110/70)$ / циркуференциальная деформация общей сонной артерии = 6,89 (в нормативном диапазоне) (В).



и деформации ОСА среди пациентов с модифицируемыми факторами сердечно-сосудистого риска не установлена [2; 8].

Цель — оценить параметры циркуференциальной деформации и локальной артериальной жесткости ОСА у здоровых лиц и пациентов с факторами сердечно-сосудистого риска.

Методы

Работа проведена в Федеральном центре сердечно-сосудистой хирургии имени С.Г. Суханова (г. Пермь). Исследование одобрено локальным этическим комитетом учреждения (протокол № 12 от 28.11.2019 г.), письменное информированное согласие получено от всех участников. Обследовано 111 сопоставимых по полу и возрасту лиц от 20 до 45 ($38,3 \pm 7,0$) года, 63,06 % мужчин, без известных анамнестических данных о цереброваскулярных заболеваниях, ишемической болезни сердца, атеросклеротическом поражении периферических артерий. Общая характеристика групп представлена в табл. 1. Обследованные разделены на 2 группы:

I (n = 50) — здоровые добровольцы без факторов сердечно-сосудистого риска, II (n = 61) — обследованные с одним из модифицируемых факторов риска (курение, гиперхолестеринемия, ожирение, артериальная гипертензия (АГ)) [9]. Критерии невключения: бессимптомные, в том числе гемодинамически незначимые, атеросклеротические изменения в сонных артериях, сахарный диабет, хроническая болезнь почек, хронические заболевания легких, нарушения ритма сердца, семейный анамнез раннего развития сердечно-сосудистых заболеваний, постоянная медикаментозная терапия АГ, прием статинов, неудовлетворительная визуализация общих сонных артерий.

Ультразвуковое дуплексное исследование брахиоцефальных артерий и эхокардиографическое исследование проводили на аппарате Acuson SC 2000 (Siemens Medical Systems, США) с использованием линейного (9L4, диапазон рабочих частот 3,5–9 МГц) и фазированного матричного (4V1c, диапазон рабочих частот 1,75–4,3 МГц) датчиков с программами сканирования в соответствии

Табл. 2. Показатели циркумференциальной механики и функции общей сонной артерии

Показатель	I группа	II группа	p
Циркумференциальная деформация ОСА, %	5,6 ± 1,0 [5,5; 4,1; 9,0]	3,2 ± 1,2 [2,3; 1,2; 5,5]	0,0001*
Скорость циркумференциальной деформации ОСА, с ⁻¹	0,49 ± 0,15 [0,50; 0,22; 0,87]	0,30 ± 0,14 [0,24; 0,15; 0,69]	0,0001*
Время до пика циркумференциальной деформации ОСА, мс	150,6 ± 26,8 [143; 105; 219]	179,5 ± 50,6 [168; 109; 288]	0,0004*
Артериальная жесткость ОСА	7,2 ± 2,2 [6,9; 3,0; 10,0]	14,7 ± 4,5 [15; 5; 24]	0,00001*
Фракция изменения площади ОСА, %	12,1 ± 3,8 [14,4; 6,6; 22,0]	8,6 ± 3,2 [7,7; 3,0; 16,2]	0,0001*

Примечание. Данные представлены как M ± SD [Me; min; max]; ОСА — общая сонная артерия; * значимость различий p < 0,05.

с действующими рекомендациями [10; 11]. Во всех случаях также с использованием визуализации вектора скорости движения (англ. velocity vector imaging) измеряли: циркумференциальную деформацию и скорость деформации ОСА, время до пика циркумференциальной деформации, фракцию изменения площади (ФИП) и локальную артериальную жесткость (β_2) ОСА по описанным ранее методикам (рисунок) [12; 13]. Измерения проводили при синхронизации с электрокардиографией для левой и правой ОСА трижды, получили значения без асимметрии, параметры для представления суммировали и усреднили [12–14].

Статистический анализ

Статистическую обработку выполняли с использованием программы Statistica 12.0 (StatSoft Inc., США). Результаты выражали как среднее значение и стандартное отклонение, медиану, минимальное и максимальное значения. Нормальность распределения параметров проверяли с помощью тестов Шапиро – Уилка, Колмогорова – Смирнова. Для сравнения непрерывных переменных применяли t-критерий Стьюдента. Зависимость между переменными изучали с использованием ранговой корреляции Спирмена. Выполняли многофакторный дисперсионный анализ с несколькими группируемыми переменными (АГ, курение, гиперхолестеринемия, ожирение) MANOVA / Factorial ANOVA (англ. Multivariate ANalysis Of VAriance / ANalysis Of VAriance) для проверки связи факторов сердечно-сосудистого риска и показателей циркумференциальной механики ОСА и выявления

главного эффекта (с оценкой суммой квадратов SS, значением критерия Фишера (F) и уровнем значимости p). Для всех сравнений статистически значимым считалось p < 0,05.

Результаты

Показатели циркумференциальной деформации, скорости деформации и ФИП ОСА статистически значимо выше у обследованных I группы (табл. 2). У участников II группы время до пика деформации ОСА (179,5 ± 50,6 против 150,6 ± 26,8 мс, p = 0,0004) и локальная артериальная жесткость (β_2) (14,7 ± 4,5 против 7,2 ± 2,2, p = 0,00001) существенно выше, чем у обследованных I группы. Показатели механики ОСА продемонстрировали статистически значимую связь с возрастом, систолическим и диастолическим артериальным давлением, индексом массы тела, индексом массы миокарда левого желудочка (ЛЖ) в обеих группах (табл. 3). Не выявлено достоверной связи показателей циркумференциальной деформации ОСА с полом (I группа Rs = -0,16, p = 0,2; II — Rs = -0,14, p = 0,2), частотой сердечных сокращений (I группа Rs = 0,17, p = 0,2; II — Rs = 0,19, p = 0,1), толщиной комплекса интима – медиа ОСА (I группа Rs = -0,24, p = 0,08; II — Rs = -0,15, p = 0,1), фракцией выброса ЛЖ (I группа Rs = 0,16, p = 0,2; II — Rs = 0,14, p = 0,9).

Поскольку в корреляционном анализе выявлена связь артериального давления (систолического и диастолического) и циркумференциальной деформации ОСА только во II группе, проведен дисперсионный многофакторный анализ для проверки значимости связи изучаемых факторов риска

Табл. 3. Статистически значимые корреляции параметров циркуференциальной механики и функции общей сонной артерии

Показатель	I группа		II группа	
	Rs	p	Rs	p
Циркуференциальная деформация ОСА – возраст	-0,8	0,0001	-0,63	0,012
Скорость циркуференциальной деформации ОСА – возраст	-0,71	0,0001	-0,5	0,0001
Время до пика циркуференциальной деформации ОСА – возраст	0,43	0,002	0,31	0,04
$\beta 2$ ОСА – возраст	0,7	0,0001	0,6	0,004
ФИП ОСА – возраст	-0,63	0,0001	-0,61	0,0001
Скорость циркуференциальной деформации ОСА – индекс массы тела	-0,4	0,02	-0,69	0,001
Циркуференциальная деформация ОСА – систолическое артериальное давление	-0,2	0,16	-0,44	0,001
Циркуференциальная деформация ОСА – диастолическое артериальное давление	-0,1	0,6	-0,53	0,001
Время до пика циркуференциальной деформации ОСА – общий холестерин	0,15	0,2	0,5	0,001
ФИП ОСА – общий холестерин	-0,07	0,6	-0,39	0,002
$\beta 2$ ОСА – систолическое артериальное давление	0,3	0,08	0,51	0,012
$\beta 2$ ОСА – диастолическое артериальное давление	0,13	0,3	0,33	0,008
$\beta 2$ ОСА – индекс массы тела	0,38	0,01	0,52	0,001
Циркуференциальная деформация ОСА – индекс массы миокарда ЛЖ	-0,29	0,036	-0,412	0,001
Время до пика циркуференциальной деформации ОСА – E/e'	0,1	0,6	0,3	0,018

Примечание. ОСА — общая сонная артерия; Rs — коэффициент ранговой корреляции Спирмена; $\beta 2$ — индекс жесткости общей сонной артерии, полученный с использованием циркуференциальной деформации; ФИП — фракция изменения площади; ЛЖ — левый желудочек; E/e' — соотношение максимальной скорости трансмитрального кровотока во время раннего диастолического наполнения левого желудочка к скорости движения латеральной части фиброзного кольца митрального клапана.

и величин деформации и локальной артериальной жесткости внутри группы и выявления определяющего фактора риска, в наибольшей степени связанного с циркуференциальной деформацией и локальной артериальной жесткостью. Среди обследованных II группы самые низкие значения циркуференциальной деформации ОСА определялись у пациентов с АГ ($2,4 \pm 0,9$ %, 95% доверительный интервал (ДИ) $2,07$ – $2,86$ %, против $3,6 \pm 1,1$ %, 95% ДИ $3,2$ – 4 %, без АГ; $SS = 18$, $F = 15,24$, $p = 0,0002$). Циркуференциальная деформация у обследованных с фактором риска «курение» $3,8 \pm 1,29$ %, «ожирение» $2,97 \pm 1,2$ %, «гиперхолестеринемия» $3,8 \pm 0,8$ %. Индекс артериальной жесткости ($\beta 2$) ОСА был также максимально повышен у обследованных с АГ ($19,3 \pm 6,1$, 95% ДИ 16 – 21 , против $13,5 \pm 4,5$, 95% ДИ 13 – 16 , у пациентов без АГ; $SS = 147,3$, $F = 7,8$, $p = 0,007$). Локальная артериальная жесткость у лиц с фактором риска «курение» $13,1 \pm 4,1$, «ожирение» $15,4 \pm 5,6$, «гиперхолестеринемия» $12,2 \pm 3,9$.

Параметры скорости циркуференциальной деформации ОСА продемонстрировали обратную связь с индексом массы тела (в I группе $Rs = -0,4$, $p = 0,02$, во II — $Rs = -0,69$, $p = 0,001$). Самая низкая скорость деформации выявлена у обследованных с ожирением ($0,18 \pm 0,03$ с⁻¹, 95% ДИ $0,1$ – $0,2$ с⁻¹, против $0,33 \pm 0,14$ с⁻¹, 95% ДИ $0,28$ – $0,37$ с⁻¹, без ожирения; $SS = 194$, $F = 11,4$, $p = 0,001$). Скорость деформации у лиц с фактором риска «АГ» $0,35 \pm 0,16$ с⁻¹, «курение» $0,31 \pm 0,14$ с⁻¹, «гиперхолестеринемия» $0,32 \pm 0,1$ с⁻¹.

Максимальные значения времени до пика циркуференциальной деформации выявлены у курящих обследованных ($249,3 \pm 19$ мс, 95% ДИ $239,8$ – 260 мс, против $150,4 \pm 23,6$ мс, 95% ДИ 143 – 157 мс, без фактора риска «курение»; $SS = 123$, $F = 24$, $p = 0,00001$). Время до пика циркуференциальной деформации с фактором риска «АГ» $152,9 \pm 22,6$ мс, «ожирение» $137,6 \pm 16$ мс, «гиперхолестеринемия» $157,4 \pm 29,3$ мс.

Функциональный показатель ФИП ОСА продемонстрировал статистически значимую обратную связь с общим холестерином только у обследованных II группы ($R_s = -0,39$, $p = 0,002$ против $R_s = -0,07$, $p = 0,6$). ФИП ОСА наиболее значимо снижен у обследованных с гиперхолестеринемией ($5,5 \pm 1,3$ %, 95% ДИ 4,5–6,4 %, против $9,2 \pm 3,2$ %, 95% ДИ 8,3–10 %, без гиперхолестеринемии; $SS = 113$, $F = 13$, $p = 0,001$). С фактором риска «курение» ФИП ОСА $9,5 \pm 3,4$ %, «ожирение» $8,8 \pm 2,9$ %, «АГ» $9,04 \pm 3,1$ %. Таким образом, наличие даже одного модифицируемого фактора сердечно-сосудистого риска ассоциировано с нарушением циркумференциальной механики ОСА (снижением циркумференциальной деформации, скорости деформации), снижением ФИП ОСА и увеличением времени до пика циркумференциальной деформации и локальной артериальной жесткости.

Обсуждение

Успех профилактических мер по снижению смертности от сердечно-сосудистых заболеваний зависит от своевременного выявления и лечения лиц с факторами сердечно-сосудистого риска [15; 16]. Однако шкалы рисков сердечно-сосудистых заболеваний и их фатальных осложнений (Фраммингемская шкала, SCORE, ASCVD, RRS, QRISK) не позволяют определить всех, у кого в конечном итоге разовьется сердечно-сосудистое заболевание или фатальное осложнение [9; 15]. У молодых людей (большинство шкал риска не применяется к лицам моложе 40–45 лет) без клинических проявлений атеросклероза часто встречается только один или вообще не выявляется традиционных факторов сердечно-сосудистого риска [15; 16]. Тем не менее при относительно низком общем риске указанные заболевания у молодых людей развиваются, что стимулирует расширить поиск новых, более чувствительных факторов сердечно-сосудистого риска [9; 15].

В нашей работе оценены ультразвуковые параметры механики ОСА как потенциальные маркеры дисфункции артериальной стенки у лиц до 45 лет. Снижение циркумференциальной деформации, скорости деформации ОСА и увеличение времени до пика деформации и локальной артериальной жесткости ОСА связаны с наличием модифицируемых факторов сердечно-сосудистого риска, следовательно, могут отражать ранние проявления атеросклеротических изменений в брахиоцефаль-

ных артериях. Показатель циркумференциальной деформации ОСА обратно коррелирует с возрастом в обеих группах, что отражает ассоциацию между снижением этого показателя и «сосудистым старением». Аналогичные данные получили E.Y. Yang и соавт., но среди обследованных здоровых лиц старше 45 лет ($56,6 \pm 1,9$ года): в среднем циркумференциальная деформация ОСА составила $5,48 \pm 0,3$ % и значимо коррелировала с возрастом [17]. Референсные значения для циркумференциальной механики ОСА (средний возраст обследованных 29 ± 11 лет), которые представили S. Yuda и соавт., и полученные в настоящей работе данные у обследованных в I группе сопоставимы [14]. Отсутствие связи параметров каротидной механики и артериального давления в I группе объясняется нормальными значениями систолического и диастолического артериального давления среди здоровых обследованных, тогда как во II группе обнаружена статистически значимая связь артериального давления и деформации, циркумференциальной деформации ОСА и локальной артериальной жесткости. Также циркумференциальная деформация ОСА обратно коррелирует с индексом массы миокарда ЛЖ и давлением наполнения ЛЖ, что подтверждает связь сосудистых изменений с ремоделированием ЛЖ у пациентов с АГ. Результаты согласуются с данными J.H. Yoon и соавт., показавших связь АГ с повышенной локальной артериальной жесткостью ОСА [4]. Однако H. Lino и соавт. не выявили связи между артериальным давлением и циркумференциальной деформацией ОСА [8], что объясняется иным возрастом обследованных (64 ± 12 лет) и наличием у них верифицированных цереброваскулярных заболеваний и ишемической болезни сердца, тогда как в настоящее исследование включены лица $38,3 \pm 7,0$ года без заболеваний, ассоциированных с атеросклерозом, и лишь с одним модифицированным фактором риска во II группе.

Скорость циркумференциальной деформации ОСА в обеих группах статистически значимо обратно коррелирует с индексом массы тела. Избыточный вес и ожирение являются независимыми факторами риска сахарного диабета 2-го типа, АГ, ишемической болезни сердца и инсульта [9; 16]. Выявленная связь ожирения и скорости циркумференциальной деформации ОСА позволяет использовать этот показатель как ранний маркер сосудистого ремоделирования у пациентов с ожирением. При этом среди обследованных не

было лиц с индексом массы тела выше 34,5 кг/м², а их доля во II группе составила только 16,4 %.

Отсутствие корреляции параметров циркумференциальной механики и толщины комплекса интима – медиа объясняется молодым возрастом обследованных и критериями невключения (любые атеросклеротические изменения в брахиоцефальных артериях, сахарный диабет). Кроме того, измерение толщины комплекса интима – медиа как маркера сердечно-сосудистого риска имеет существенные ограничения [4; 15; 16; 18].

Результаты согласуются с данными других исследований: измерение параметров функции и циркумференциальной механики ОСА значимо как для оценки локальной жесткости артериальной стенки, так и для стратификации риска сердечно-сосудистых осложнений [2–5; 8; 18]. Дальнейшие крупные исследования и метаанализы, направленные на выявление связи между нарушениями механики брахиоцефальных артерий у пациентов с факторами сердечно-сосудистого риска, позволят оптимизировать тактику обследования и лечения и обеспечат более эффективные подходы к профилактике фатальных сердечно-сосудистых осложнений.

Выводы

Показатели циркумференциальной механики ОСА можно использовать как нормативные у здоровых взрослых. Циркумференциальная деформация, скорость деформации и ФИП ОСА снижаются с возрастом, локальная артериальная жесткость увеличивается. Параметры механики и функции ОСА у пациентов с факторами сердечно-сосудистого риска демонстрируют тесную связь с артериальной гипертонией, ожирением, курением и гиперхолестеринемией.

Список литературы / References

- van Sloten T.T., Protogerou A.D., Henry R.M.A., Schram M.T., Launer L.J., Stehouwer C.D.A. Association between arterial stiffness, cerebral small vessel disease and cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev.* 2015;53:121-130. PMID: 25827412; PMCID: PMC5314721. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.03.011>
- de Havenon A., Wong K.-H., Elkhetafi A., McNally J.S., Majersik J.J., Rost N.S. Carotid artery stiffness accurately predicts white matter hyperintensity volume 20 years later: a secondary analysis of the atherosclerosis risk in the community study. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2019;40(8):1369-1373. PMID: 31248859; PMCID: PMC7048485. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A6115>
- Saito M., Okayama H., Inoue K., Yoshii T., Hiasa G., Sumimoto T., Nishimura K., Ogimoto A., Higaki J. Carotid arterial circumferential strain by two-dimensional speckle tracking: a novel parameter of arterial elasticity. *Hypertens Res.* 2012;35(9):897-902. PMID: 22495610. <https://doi.org/10.1038/hr.2012.39>
- Yoon J.H., Cho I.-J., Chang H.-J., Sung J.M., Lee J., Ryou H., Shim C.Y., Hong G.-R., Chung N. The value of elastic modulus index as a novel surrogate marker for cardiovascular risk stratification by dimensional speckle-tracking carotid ultrasonography. *J Cardiovasc Ultrasound.* 2016;24(3):215-222. PMID: 27721952; PMCID: PMC5050310. <https://doi.org/10.4250/jcu.2016.24.3.215>
- Rizi F.Y., Au J., Yli-Ollila H., Golemati S., Makūnaitė M., Orkisz M., Navab N., MacDonald M., Laitinen T.M., Behnam H., Gao Z., Gastouniotti A., Jurkonis R., Vray D., Laitinen T., Sérusclat A., Nikita K.S., Zahnd G. Carotid wall longitudinal motion in ultrasound imaging: an expert consensus review. *Ultrasound Med Biol.* 2020;46(10):2605-2624. PMID: 32709520. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2020.06.006>
- Larsson M., Heyde B., Kremer F., Brodin L.-A., D'hooge J. Ultrasound speckle tracking for radial, longitudinal and circumferential strain estimation of the carotid artery — an *in vitro* validation via sonomicrometry using clinical and high-frequency ultrasound. *Ultrasonics.* 2015;56:399-408. PMID: 25262347. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2014.09.005>
- Zhou K.N., Sung K.-T., Yen Ch.-H., Su Ch.-H., Lee P.-Y., Hung T.-Ch., Huang W.-H., Chien Sh.-Ch., Tsai J.-P., Yun Ch.-H., Chang Sh.-Ch., Yeh H.-I., Hung Ch.-L. Carotid arterial mechanics as useful biomarker of extracellular matrix turnover and preserved ejection fraction heart failure. *ESC Heart Fail.* 2020;7(4):1615-1625. PMID: 32449609; PMCID: PMC7373904. <https://doi.org/10.1002/ehf2.12714>
- Lino H., Okano T., Daimon M., Sasaki K., Chigira M., Nakao T., Mizuno Y., Yamazaki T., Kurano M., Yatomi Y., Sumi Y., Sasano T., Miyata T. Usefulness of carotid arterial strain values for evaluating the arteriosclerosis. *J Atheroscler Thromb.* 2019;26(5):476-487. PMID: 30344204; PMCID: PMC6514172. <https://doi.org/10.5551/jat.45591>
- Piepoli M.F., Hoes A.W., Agewall S., Albus C., Brotons C., Catapano A.L., Cooney M.-T., Corrà U., Cosyns B., Deaton C., Graham I., Hall M.S., Hobbs F.D.R., Løchen M.-L., Löllgen H., Marques-Vidal P., Perk J., Prescott E., Redon J., Richter D.J., Sattar N., Smulders Y., Tiberi M., van der Worp H.B., van Dis I., Verschuren W.M.M., Binno S.; ESC Scientific Document Group. 2016 European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: The Sixth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and Other Societies on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice (constituted by representatives of 10 societies and by invited experts); Developed with the special contribution of the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation (EACPR). *Eur Heart J.* 2016;37(29):2315-2381. PMID: 27222591; PMCID: PMC4986030. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw106>
- Johri A.M., Nambi V., Naqvi T.Z., Feinstein S.B., Kim E.S.H., Park M.M., Becher H., Sillesen H. Recommendations for the assessment of carotid arterial plaque by ultrasound

- for the characterization of atherosclerosis and evaluation of cardiovascular risk: from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2020;33(8):917-933. PMID: 32600741. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2020.04.021>
11. Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V., Afilalo J., Armstrong A., Ernande L., Flachskampf F.A., Foster E., Goldstein S.A., Kuznetsova T., Lancellotti P., Muraru D., Picard M.H., Rietzschel E.R., Rudski L., Spencer K.T., Tsang W., Voigt J.-U. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr.* 2015;28(1):1-39.e14. PMID: 25559473. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2014.10.003>
 12. Teixeira R., Viera M.J., Goncalves A., Cardim N., Goncalves L. Ultrasonographic vascular mechanics to assess arterial stiffness: a review. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2016;17(3):233-246. PMID: 26546802. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jev287>
 13. Rosenberg A.J., Lane-Cordova A.D., Wee S.O., White D.W., Hilgenkamp T.I.M., Fernhall B., Baynard T. Healthy aging and carotid performance: strain measures and β -stiffness index. *Hypertens Res.* 2018;41(9):748-755. PMID: 29968848. <https://doi.org/10.1038/s41440-018-0065-x>
 14. Yuda S., Kaneko R., Muranaka A., Hashimoto A., Tsuchihashi K., Miura T., Watanabe N., Shimamoto K. Quantitative measurement of circumferential carotid arterial strain by two-dimensional speckle tracking imaging in healthy subjects. *Echocardiography.* 2011;28(8):899-906. PMID: 21827536. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8175.2011.01443.x>
 15. Lloyd-Jones D.M., Braun L.T., Ndumele C.E., Smith S.C. Jr, Sperlberg L.S., Virani S.S., Blumenthal R.S. Use of risk assessment tools to guide decision-making in the primary prevention of atherosclerotic cardiovascular disease: A special report from the American Heart Association and American College of Cardiology. *Circulation.* 2019;139(25):e1162-e1177. PMID: 30586766. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000638>
 16. Европейские рекомендации по профилактике сердечно-сосудистых заболеваний в клинической практике (пересмотр 2016). *Российский кардиологический журнал.* 2017;22(6):7-85. [2016 European guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice. *Russian Journal of Cardiology.* 2017;22(6):7-85. (In Russ.)] <http://dx.doi.org/10.15829/1560-4071-2017-6-7-85>
 17. Yang E.Y., Dokainish H., Virani S.S., Misra A., Pritchett A.M., Lakkis N., Brunner G., Bobek J., McCulloch M.L., Hartley C.J., Ballantyne C.M., Nagueh S.F., Nambi V. Segmental analysis of carotid arterial strain using speckle-tracking. *J Am Soc Echocardiogr.* 2011;24(11):1276-1284.e5. PMID: 21907541; PMCID: PMC3200442. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2011.08.002>
 18. Jiang Y., Kohara K., Hiwada K. Association between risk factors for atherosclerosis and mechanical forces in carotid artery. *Stroke.* 2000;31(10):2319-2324. PMID: 11022057. <https://doi.org/10.1161/01.str.31.10.2319>

Circumferential strain and local arterial stiffness in carotid arteries in healthy individuals and in patients with cardiovascular risk factors

Yuri S. Sinelnikov, Ekaterina N. Orekhova, Tatyana V. Matanovskaya, Evgeniya O. Kopytova, Darya O. Baranova
Sukhanov Federal Center of Cardiovascular Surgery, Perm, Russian Federation

Corresponding author. Tatyana V. Matanovskaya, tania-larigina@yandex.ru

Aim. To assess the parameters affecting circumferential strain and local arterial stiffness in carotid arteries in healthy individuals and in patients with cardiovascular risk factors.

Methods. We analysed data from 111 adults, aged 20–45 years (38.3 ± 7 years). Of these, 63.06% of men had no known medical history of clinically manifest atherosclerosis. Study participants were categorised into two groups—group I ($n = 50$) comprising of healthy volunteers without known cardiovascular risk factors and group II ($n = 61$) consisting of individuals with one of the modifiable risk factors (e.g., smoking, obesity, hypertension or hypercholesterolemia). Patients with diabetes mellitus, cardiac arrhythmias or asymptomatic atherosclerotic plaques in the carotid arteries, even if hemodynamically insignificant, were excluded. The following were measured for the common carotid artery (CCA): circumferential strain (CS, %), strain rate (CSR, s^{-1}), time to peak (TTP) strain (ms), and fraction area change CCA (FAC, %) and local arterial stiffness (β_2).

Results. CCA mechanics correlated with age, blood pressure, body mass index and left-ventricular myocardial mass index. The lowest CS values were seen in group II patients with hypertension (HTN) (with HTN, $2.4\% \pm 0.9\%$, 95% CI = 2.07–2.86; without HTN, $3.6\% \pm 1.1\%$, 95% CI = 3.2–4). β_2 increased to the greatest extent in patients with HTN ($19.3\% \pm 6.1\%$, 95% CI = 16–21) as compared to those without HTN ($13.5\% \pm 4.5\%$, 95% CI = 13–16). FAC was inversely correlated with age, both in healthy subjects ($R_s = -0.63$, $p = 0.0001$) and in patients with cardiovascular risk factors ($R_s = -0.61$, $p = 0.0001$).

Conclusion. While CS, strain rate and FAC decreased with age, TTP strain and local arterial stiffness increased. Both mechanics and function of the CCA in patients at risk of developing cardiovascular complications demonstrate a close association with hypertension, obesity, smoking and hypercholesterolemia.

Keywords: cardiovascular risk factor; circumferential strain; common carotid artery

Received 19 November 2020. Revised 14 January 2021. Accepted 18 January 2021.

Funding: The study did not have sponsorship.

Conflict of interest: Authors declare no conflict of interest.

Author contributions

Conception and study design: Yu.S. Sinelnikov, E.N. Orekhova, T.V. Matanovskaya, E.O. Kopytova, D.O. Baranova

Data collection and analysis: E.O. Kopytova, D.O. Baranova

Statistical analysis: E.N. Orekhova, T.V. Matanovskaya

Drafting the article: E.N. Orekhova

Critical revision of the article: Yu.S. Sinelnikov

Final approval of the version to be published: Yu.S. Sinelnikov, E.N. Orekhova, T.V. Matanovskaya, E.O. Kopytova, D.O. Baranova

ORCID ID

Yu.S. Sinelnikov, <https://orcid.org/0000-0002-6819-2980>

E.N. Orekhova, <https://orcid.org/0000-0002-7097-8771>

T.V. Matanovskaya, <https://orcid.org/0000-0002-2277-8935>

E.O. Kopytova, <https://orcid.org/0000-0002-5889-9050>

D.O. Baranova, <https://orcid.org/0000-0002-0261-4730>

Copyright: © 2021 Sinelnikov et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

How to cite: Sinelnikov Yu.S., Orekhova E.N., Matanovskaya T.V., Kopytova E.O., Baranova D.O. Circumferential strain and local arterial stiffness in carotid arteries in healthy individuals and in patients with cardiovascular risk factors. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2021;25(2):60-68. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2021-2-60-68>