

ISSN 1607-0771(Print); ISSN 2408-9494 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0771-313>

Состояние гемодинамики в экстра- и интракраниальных отделах брахиоцефальных артерий у пациентов с метаболическим синдромом

А.Р. Вахитова^{1*}, А.Б. Бердалин², В.Г. Лелюк³, С.Э. Лелюк^{3, 4}

¹ ГБУЗ “Городская поликлиника № 64, филиал № 2 ДЗ города Москвы”;
107023 Москва, ул. Ладужская, д. 4-6, Российская Федерация

² ГБУЗ “Психиатрическая клиническая больница № 1 имени Н.А. Алексеева
ДЗ города Москвы”; 117152 Москва, ул. Загородное шоссе, д. 2, Российская Федерация

³ МПМЦ “Сосудистая клиника на Патриарших”; 123001 Москва,
Большой Козихинский пер., д. 22, стр. 1, Российская Федерация

⁴ ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального
образования” Минздрава России; 125993 Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1,
Российская Федерация

Цель исследования: изучение параметров гемодинамики в экстра- и интракраниальных отделах брахиоцефальных артерий (БЦА) у пациентов с метаболическим синдромом (МС) методом ультразвукового дуплексного сканирования.

Материал и методы. Обследовано 82 пациента, из них 62 с МС и 20 практически здоровых лиц. Всем пациентам проводилось ультразвуковое дуплексное сканирование экстра- и интракраниальных отделов БЦА с оценкой качественных и количественных характеристик: комплекса интимомедиа в бифуркации плечеголового ствола, общих сонных (ОСА), позвоночных артерий (ПА) и количественных показателей кровотока в ОСА, внутренних сонных артерий (ВСА), ПА, средних мозговых артериях (СМА), биохимическое исследование крови.

Результаты. У пациентов с МС выявляется статистически достоверное повышение индексов периферического сопротивления в ВСА (PI (пульсативный индекс) ВСА слева $p = 0,05$) и соотношения резистивных индексов в СМА и ВСА слева в сравнении с группой контроля ($p = 0,026$). Статистически значимых различий линейных и объемных скоростей кровотока в исследованных артериях не выявлено. Установлены статистически значимые взаимосвязи количественных параметров кровотока с компонентами МС при расчете коэффициента линейной корреляции Пирсона: максимальная конечная диастолическая скорость левой ВСА с липопротеидами низкой плотности

Вахитова Алия Рустемовна – врач ультразвуковой диагностики ГБУЗ “Городская поликлиника № 64, филиал № 2 ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0009-0005-3986-6586>

Бердалин Александр Берикович – канд. мед. наук, старший научный сотрудник ГБУЗ “Психиатрическая клиническая больница № 1 имени Н.А. Алексеева ДЗ города Москвы”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5387-4367>

Лелюк Владимир Геннадьевич – доктор мед. наук, профессор, исполнительный директор, научный руководитель МПМЦ “Сосудистая клиника на Патриарших”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9690-8325>

Лелюк Светлана Эдуардовна – доктор мед. наук, профессор, директор, главный врач МПМЦ “Сосудистая клиника на Патриарших”; профессор кафедры ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8428-8037>

Контактная информация*: Вахитова Алия Рустемовна – e-mail: aliafat@yandex.ru

(ЛПНП), общим холестерином (ХС), коэффициентом атерогенности, с абсолютной и относительной динамикой уровня глюкозы в глюкозотолерантном тесте; PI левой ВСА с индексом CARO, PI правой ПА с ЛПНП, ХС, PI СМА/ВСА слева с ЛПНП, липопротеидами высокой плотности, ХС, триглицеридами, триглицеридно-глюкозным индексом, а также взаимосвязи PI СМА/ВСА слева с инсулином фоновым, индексом HOMA-IR, индексом CARO. Коэффициенты линейной корреляции Пирсона варьировали от $-0,41$ до $0,24$ при $p < 0,05$.

Выводы. Комплексная ультразвуковая оценка состояния гемодинамики в экстра- и интракраниальных отделах БЦА у пациентов с МС позволяет выявить изменения кровотока, связанные со структурной перестройкой сосудистой стенки, обусловленной отрицательным воздействием комплекса факторов.

Ключевые слова: метаболический синдром; комплекс интима-медиа; скорость кровотока; индекс периферического сопротивления

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Цитирование: Вахитова А.Р., Бердалин А.Б., Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Состояние гемодинамики в экстра- и интракраниальных отделах брахиоцефальных артерий у пациентов с метаболическим синдромом. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2025; 31 (4): 67–80.

<https://doi.org/10.24835/1607-0771-313>

Поступила в редакцию: 21.11.2024.

Принята к печати: 23.09.2025.

Опубликована online: 28.11.2025.

Список сокращений

АГ – артериальная гипертония
АД – артериальное давление
АДГ – абсолютная динамика уровня глюкозы
АС – атеросклероз
БЦА – брахиоцефальные артерии
ВСА – внутренняя сонная артерия
ГТТ – глюкозотолерантный тест
ДАД – диастолическое артериальное давление
ИА – индекс атерогенности
ИБС – ишемическая болезнь сердца
ИМТ – индекс массы тела
ИР – инсулинорезистентность
КИМ – комплекс интима-медиа
ЛПВП – липопротеиды высокой плотности
ЛПНП – липопротеиды низкой плотности
МК – мочевая кислота
МРТ – магнитно-резонансная томография
МС – метаболический синдром
НМК – нарушение мозгового кровообращения
ОДГ – относительная динамика глюкозы
ОСА – общая сонная артерия
ОТ – окружность талии
ПА – позвоночная артерия
ПГС – плечеголовной ствол
ППА – правая позвоночная артерия
САД – систолическое артериальное давление
СД – сахарный диабет
СМА – средняя мозговая артерия
СрАД – среднее артериальное давление

ТГ – триглицериды
ТГИ – триглицеридно-глюкозный индекс
УЗДС – ультразвуковое дуплексное сканирование
ХС – общий холестерин
АТ (acceleration time) – время ускорения
D – межинтимальный диаметр сосуда
HbA_{1c} – гликированный гемоглобин
HOMA-IR – Homeostasis Model Assessment of Insulin Resistance
PI (pulsatility index) – пульсативный индекс
RI (resistive index) – резистивный индекс
TAMX (time average maximum velocity) – усредненная по времени максимальная скорость кровотока
V_{ed} (end diastolic velocity) – максимальная конечная диастолическая скорость кровотока
V_{ps} (peak systolic velocity) – пиковая систолическую скорость кровотока
V_{vol} – объемная скорость кровотока

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы определяется пандемической распространенностью метаболического синдрома (МС) в современной популяции и его ролью как значимого фактора риска развития нарушений мозгового кровообращения (НМК). МС встречается в среднем у каждого третьего взрослого человека в мире и по прогнозам в ближайшие 25 лет ожидается увеличение частоты МС в популяции примерно на 50% [1–4].

По статистике риск развития НМК при МС увеличивается в 7 раз [5, 6]. МС оказывает опосредованное влияние на причинные факторы развития НМК в виде артериальной гипертензии (АГ), атеросклероза (АС), сахарного диабета 2 типа (СД). При наличии МС вероятность развития АГ увеличивается на 50%, риск развития СД – в 5 раз. Атеросклеротические изменения при МС прогрессируют на 10–15 лет быстрее [6–8].

В основе развития гемодинамических нарушений в брахиоцефальных артериях (БЦА) при МС лежит структурная перестройка сосудистой стенки, связанная с отрицательным воздействием комплекса факторов, включая нарушения углеводного и липидного обмена, АГ. Возникающие изменения сосудистой стенки ограничивают регуляторные сосудистые реакции, влияют на проходимость дистального циркуляторного русла и, как следствие этого, являются потенциальным фактором, способствующим развитию нарушений кровообращения в веществе головного мозга [9].

Оптимальным методом оценки состояния экстра- и интракраниальных отделов БЦА является метод ультразвукового дуплексного сканирования (УЗДС). В доступных литературных источниках существует ограниченное количество исследований, посвященных оценке гемодинамики в БЦА у пациентов с МС, при этом данные имеют, как правило, разнонаправленный, противоречивый характер, в частности относительно изменений пиковых скоростей кровотока, индексов периферического сопротивления [7, 10–15]. В исследованиях О.А. Байковой и соавт. [13], К. Carter и соавт. [16] было выявлено снижение перфузии головного мозга, оцененное по результатам магнитно-резонансной томографии (МРТ), реографических методов, радиоизотопного исследования. В единичных работах обнаружены корреляционные взаимосвязи показателей кровотока с отдельными компонентами МС (индекс массы тела (ИМТ), индекс НОМА-IR, АГ) [12–14]. В большинстве исследований проводился комплексный анализ изменений показателей кровотока у пациентов с МС в сочетании с СД 2 типа без учета степени влияния метаболических нарушений, характерных для этих состояний. В имеющихся работах не оценивались зависимости параметров кровотока в БЦА

на экстра- и интракраниальном уровне, включая линейные и объемные характеристики, от наличия и степени структурных изменений сосудистой стенки, а также степени ее выраженности в различных сегментах БЦА. Отсутствуют сведения о взаимосвязи изменений параметров кровотока в БЦА и основных характеристик углеводного обмена, составляющих основу МС.

Цель исследования: изучение параметров гемодинамики в экстра- и интракраниальных отделах БЦА у пациентов с МС методом ультразвукового дуплексного сканирования.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проанализированы результаты клинического и лабораторного тестирования 82 пациентов, находившихся на амбулаторном обследовании и лечении в ГБУЗ МО МГКБ Мытищинская поликлиника №3, в период с 02.2022 по 08.2022. 1-ю группу составили 62 пациента с МС в возрасте от 19 до 54 (средний возраст 39 ± 9) лет, из них 5 (8,1%) мужчин, 57 (91,9%) женщин; 2-ю группу – 20 практически здоровых лиц в возрасте от 23 до 49 (средний возраст 36 ± 9) лет, из них 5 (25%) мужчин и 15 (75%) женщин.

Все пациенты проходили исследование в рамках поликлинического приема и согласие на проведение всех медицинских манипуляций содержится в их амбулаторных картах.

Критериями исключения из исследования были: наличие ультразвуковых признаков стенозов более 50% по диаметру и окклюзий экстра- и интракраниальных отделов БЦА, артериальных аневризм, артериовенозных мальформаций, СД, ИБС, перенесенные острые НМК, патологические заболевания центральной нервной системы (рассеянный склероз, нейроинфекции, дегенерации и т.п.), возраст (младше 18 лет и старше 60 лет).

МС диагностировался на основании классических (G.H. Reaven, 1988) и дополнительных критериев [1, 17].

У 62 (100%) пациентов 1-й группы было выявлено абдоминальное ожирение (по окружности талии (ОТ) и ИМТ), ИМТ в группе в целом составил $30,6 \pm 4,2$ (23,8–45,7) кг/м², ОТ – $96,9 \pm 11,4$ (81–127) см. У пациентов 2-й группы эти показатели

были в пределах нормативных величин – ИМТ в группе в целом составил $20,6 \pm 1,7$ ($16,7-21,9$) кг/м², ОТ – $73,9 \pm 8,4$ (63–89) см. У всех пациентов 1-й группы была диагностирована АГ I–II стадии. У пациентов 2-й группы клинических признаков АГ не выявлено.

Перед ультразвуковым исследованием сосудов у всех пациентов групп сравнения измеряли величину системного АД, включая систолическое АД (САД) и диастолическое АД (ДАД) и рассчитывали среднее артериальное давление (СрАД) как сумму показателя ДАД и трети разности систолического и диастолического давления. На момент исследования у всех пациентов в момент осмотра показатели АД соответствовали границам гомеостатического диапазона, учитывая, что у пациентов с АГ из-за адаптации периферических рефлексогенных зон, в частности рецепторов синокаротидной зоны, границы гомеостатического диапазона смещены вправо к более высоким показателям АД. У тех пациентов, у которых АД в момент исследования было выше 140/90 мм рт.ст. (15 (8%) пациентов: 11 (19%) женщин, 4 (80%) мужчины), для получения информации о соответствии АД границам гомеостатического диапазона проводили оценку цереброваскулярной реактивности. Выполнялся метаболический вазодилаторный тест в виде пробы с задержкой дыхания (кратковременная в течение 20–30 с задержка дыхания на фоне свободных дыхательных движений с динамической оценкой показателей кровотока через 3–5 с после выдоха) [18]. Во всех случаях реакция на тест была положительной, что свидетельствовало об отсутствии регуляторного вазоспазма в ответ на повышение АД за границы гомеостатического диапазона.

В 1-й группе 5 (8,1%) пациентов курили – 2 (40%) мужчин и 3 (60%) женщины, во 2-й группе 2 (10%) пациента курили, обе – женщины.

Всем пациентам выполняли биохимический анализ крови. Оценивали: уровни холестерина (ХС), триглицеридов (ТГ), холестерина липопротеидов высокой плотности (ХС ЛПВП), холестерина липопротеидов низкой плотности (ХС ЛПНП), мочевой кислоты (МК), гликированного гемоглобина (HbA_{1c}), рассчитывали индекс атерогенности (ИА) по формуле: (ХС-ЛПВП)/ЛПВП.

Для диагностики нарушений углеводного обмена оценивали уровень глюкозы и инсулина в глюкозотолерантном тесте (ГТТ), рассчитывали индексы НОМА-IR и CARO, триглицеридно-глюкозный индекс (ТГИ) по стандартным формулам [15]. Всем пациентам проводился ГТТ по стандартной методике [1]. По результатам нагрузочного теста оценивали фоновые показатели глюкозы и инсулина, параметры глюкозы и инсулина через 2 ч после нагрузочного тестирования. Кроме того, анализировали ряд расчетных показателей: абсолютный прирост уровня глюкозы в ГТТ, который оценивался как соотношение уровня глюкозы в плазме крови через 2 ч после нагрузочного тестирования к уровню глюкозы натощак (абсолютная динамика уровня глюкозы в ГТТ) (АДГ); относительный прирост уровня глюкозы, который оценивался как соотношение разности показателя глюкозы через 2 ч после нагрузочного тестирования и глюкозы натощак к показателю глюкозы через 2 ч после нагрузочного тестирования, выраженный в процентах (относительная динамика глюкозы, ОДГ).

Основными признаками инсулинорезистентности (ИР) считали: патологические изменения глюкозы и инсулина в ГТТ (глюкоза $\geq 7,8$ ммоль/л, инсулин > 40 мкЕД/мл), патологическое изменение индексов НОМА ($\geq 2,86$) и CARO ($< 0,33$), ТГИ $\geq 3,5$. Ряд основных биохимических показателей у пациентов с МС статистически достоверно отличался от аналогичных показателей у пациентов группы нормы: ХС ($p < 0,0005$), ТГ ($p < 0,0005$), ХС ЛПНП ($p < 0,0005$), МК ($p = 0,0049$), ИА ($p = 0,024$), индекс НОМА-IR ($p < 0,0005$), индекс CARO ($p = 0,001$), ТГИ ($p < 0,0005$), фоновый уровень глюкозы ($p = 0,007$), глюкоза через 2 ч ($p < 0,0005$), фоновый уровень инсулина ($p < 0,0005$), инсулин через 2 ч ($p = 0,001$), АДГ ($p = 0,043$), ОДГ ($p < 0,0005$).

Всем пациентам проводилось УЗДС экстра- и интракраниальных отделов БЦА на ультразвуковом сканере Рускан 60 (Россия) датчиком линейного формата, работающим в частотном диапазоне от 5 до 13 МГц, и секторного формата, работающим с частотой 2,5 МГц, по стандартным методикам [18]. При исследовании в В-режиме оценивали: проходимость, толщину комплекса интимомедиа (КИМ) по задней стенке в области би-

фуркации плечеголового ствола (ПГС), задней стенки общей сонной артерии (ОСА) на 1–1,5 см проксимальнее зоны ее бифуркации (зона стандартизированной оценки), а также в области бифуркации ОСА в мм, величину внутрипросветного межинтимального диаметра (D) ОСА, внутренних сонных артерий (ВСА) дистальнее луковицы и позвоночных артерий (ПА) в сегментах V2 в мм.

Оценка количественных показателей кровотока в ОСА, ВСА, ПА, средних мозговых артериях (СМА) с двух сторон проводилась при исследовании в спектральном доплеровском режиме. Анализировали ряд скоростных параметров:

- пиковую систолическую скорость кровотока (V_{ps} , peak systolic velocity), см/с;
 - максимальную конечную диастолическую скорость кровотока (V_{ed} , end diastolic velocity), см/с;
 - усредненную по времени максимальную скорость кровотока (TAMX, time average maximum velocity), см/с
- и рассчитывали индексы периферического сопротивления:
- индекс периферического сопротивления, или резистивный индекс (Pourcelot) (RI, resistive index);
 - пульсационный (пульсативный) индекс (Gosling) (PI, pulsatility index);
 - показатели, характеризующие в том числе состояние сосудистой стенки – время ускорения (AT, acceleration time), мс.

Проводился расчет объемной скорости кровотока в ОСА, ВСА, ПА с двух сторон по формуле:

$$\pi \cdot (D^2/4 \cdot TAMX/1,6) \cdot 60, \text{ мл/мин},$$

где D – межинтимальный диаметр сосуда, см; TAMX – time average maximum velocity; см/с); π – константа. В основной формуле расчета показателя объемной скорости кровотока используется показатель усредненной по времени средней скорости кровотока, который отражает усреднение показателей спектрального распределения за один или несколько сердечных циклов. Однако при плохом качестве доплеровского спектра этот показатель достоверно оценить сложно или практически невозможно из-за наложения на спектральное распределение шумовых составляющих. Поэтому в 1996 г. В.Г. Лелюк и С.Э. Лелюк разработали формулу пересчета показателя усредненной по

времени максимальной скорости кровотока, которая является результатом усреднения параметров огибающей доплеровского спектра за один или несколько сердечных циклов на показатель усредненной по времени средней скорости, получив поправочный коэффициент 1,6 [19, 20]. Рассчитывали тотальный объемный мозговой кровоток путем сложения объемных скоростей ВСА и ПА с обеих сторон в мл/мин.

С целью оценки влияния степени структурной перестройки стенок БЦА на экстра- и интракраниальном уровне на параметры кровотока в них проводился расчет производных показателей в виде соотношений RI, PI, AT, TAMX в СМА к аналогичным показателям в ВСА с двух сторон.

Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием программных пакетов SPSS Statistics версии 23.0 (IBM, США) и R software версии 3.3.2. Нулевую гипотезу отвергали при уровне значимости $p \leq 0,05$. Для описания количественных переменных применяли среднее арифметическое и стандартное отклонение или медиану и квартили (в случае несоответствия распределения показателя нормальному), для качественных – частоту и долю (в процентах). Для количественных зависимых переменных сравнения между группами осуществлялись при помощи t-теста Стьюдента, в случае несоответствия распределения переменной нормальному – критерия Манна–Уитни. Соответствие распределения количественных переменных нормальному проверяли методом построения частотных гистограмм и по результатам теста Шапиро–Уилка. При изучении корреляций между количественными или порядковыми переменными использовали метод расчета коэффициента корреляции по Пирсону. Сила корреляционной связи ранжировалась по шкале Чеддока. Для качественных зависимых переменных сравнения частот категорий между группами проводили при помощи критерия χ^2 или точного критерия Фишера.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

У всех обследованных пациентов БЦА были проходимы. В группе лиц с МС были выявлены изменения эхоструктуры КИМ в виде наличия в структуре КИМ дополни-

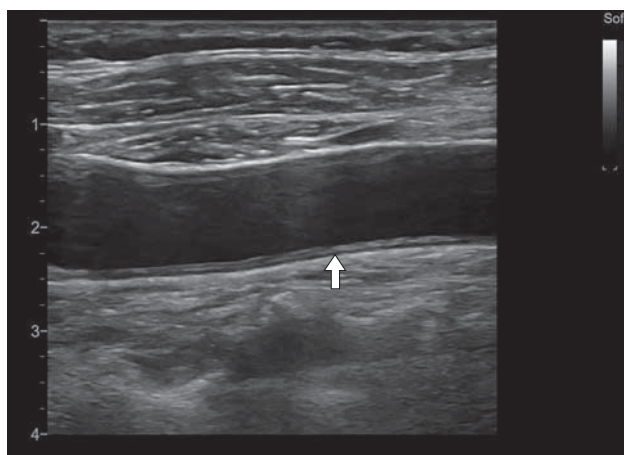


Рис. 1. “Патологическая слоистость” комплекса интима-медиа общей сонной артерии (стрелка).

Fig. 1. “Pathological layering” of the intima-media complex of the common carotid artery (arrow).

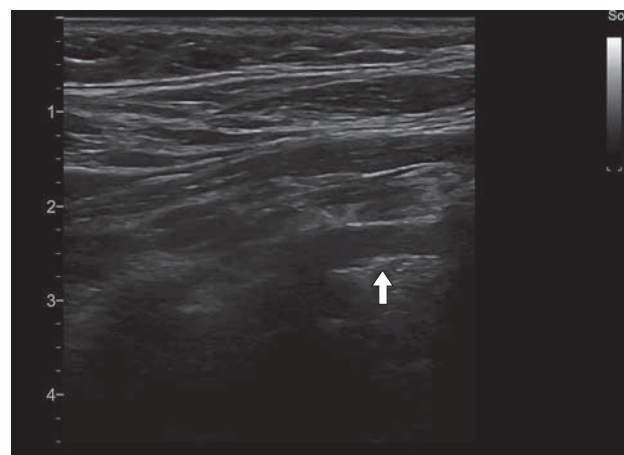


Рис. 2. Единичные гиперэхогенные включения в комплекс интима-медиа позвоночной артерии (стрелка).

Fig. 2. Single hyperechoic foci within the intima-media complex of the vertebral artery (arrow).

тельных слоев повышенной и сниженной эхогенности (патологической слоистости) и единичных гиперэхогенных включений (рис. 1, 2). Эти изменения выявлялись только у пациентов с МС, что подтверждается данными статистического анализа. Результаты сравнения частоты патологической слоистости, гиперэхогенных включений между группами (χ^2) с расчетом уровня значимости p : патологическая слоистость пра-

вой ОСА ($p = 0,003$), левой ОСА $p = 0,002$, бифуркации ОСА справа $p < 0,000005$, бифуркации ОСА слева $p < 0,000005$.

При количественном анализе толщины КИМ в различных зонах получены следующие данные, представленные в табл. 1.

Толщина КИМ в различных областях БЦА у пациентов с МС статистически достоверно превышала аналогичные показатели у пациентов группы контроля (толщи-

Таблица 1. Толщина КИМ у пациентов групп сравнения, мм (mean $\pm$ sd, min-max)

Table 1. Intima-media thickness in the comparison groups, mm (mean $\pm$ SD, min-max)

Зона исследования	1-я группа			2-я группа		
	мужчины	женщины	в целом в группе	мужчины	женщины	в целом в группе
ПГС	1,04 $\pm$ 0,17 0,8–1,2	1,09 $\pm$ 0,27 0,7–2,4	1,09 $\pm$ 0,26 0,7–2,4*	0,86 $\pm$ 0,05 0,8–0,9	0,88 $\pm$ 0,1 0,7–1	0,88 $\pm$ 0,09 0,7–1
ОСА:						
справа	0,94 $\pm$ 0,13 0,8–1,1	0,90 $\pm$ 0,15 0,6–1,2	0,90 $\pm$ 0,14 0,6–1,2*	0,74 $\pm$ 0,09 0,6–0,8	0,77 $\pm$ 0,1 0,6–0,9	0,76 $\pm$ 0,09 0,6–0,9
слева	0,92 $\pm$ 0,2 0,7–1,1	0,88 $\pm$ 0,16 0,6–1,2	0,88 $\pm$ 0,17 0,6–1,2*	0,70 $\pm$ 0,07 0,6–0,8	0,7 $\pm$ 0,1 0,6–0,9	0,70 $\pm$ 0,09 0,6–0,9
Бифуркация ОСА:						
справа	1,4 $\pm$ 0,85 0,9–2,9	1,16 $\pm$ 0,25 0,7–2,6	1,18 $\pm$ 0,32 0,7–2,9*	0,74 $\pm$ 0,09 0,6–0,8	0,77 $\pm$ 0,1 0,6–0,9	0,76 $\pm$ 0,09 0,6–0,9
слева	1,06 $\pm$ 0,23 0,7–1,3	1,1 $\pm$ 0,22 0,6–2,2	1,09 $\pm$ 0,22 0,6–2,2*	0,72 $\pm$ 0,11 0,6–0,9	0,72 $\pm$ 0,1 0,6–0,9	0,72 $\pm$ 0,1 0,6–0,9

Примечание. Здесь и в табл. 2–4: для всех параметров приведены средние значения (mean), величина стандартного отклонения (sd), минимальное (min) и максимальное (max) значение параметра выборки. * – различия достоверны между группами сравнения.

Таблица 2. Величины внутрипросветных диаметров и линейные показатели кровотока в ОСА, ВСА, ПА и СМА у пациентов групп сравнения (mean $\pm$ sd, min–max)
Table 2. Luminal diameters and linear blood-flow parameters in the CSA, ICA, VA, and MCA in the comparison groups (mean $\pm$ SD, min–max)

Артерия	V _{ps} , см/с		V _{ed} , см/с		TAMX, см/с		RI		PI		AT, мс		D, мм	
	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева
ОСА:														
1-я группа	94,0 $\pm$ 15,3 64,7–134	97,3 $\pm$ 15,9 66–129,2	26,9 $\pm$ 5,3 13–41,3	28,8 $\pm$ 6,5 13,5–49,9	44,5 $\pm$ 7,3 24,8–60,8	47,3 $\pm$ 9,3 27,9–75,5	0,7 $\pm$ 0,1 0,6–0,8	0,7 $\pm$ 0,1* 0,6–0,8	1,6 $\pm$ 0,3 1,0–2,5	1,5 $\pm$ 0,3* 0,8–2,2	52,8 $\pm$ 10,3 30–77	50,2 $\pm$ 10,6 24–72	5,8 $\pm$ 0,7* 4,6–8,4	5,6 $\pm$ 0,6 4–7,8
2-я группа	96,6 $\pm$ 13,3 72,8–124,7	102,2 $\pm$ 14,7 69,1–141,9	25,4 $\pm$ 5,8 13,3–36,6	27,2 $\pm$ 5,3 18,2–38,4	42,2 $\pm$ 7,7 30,2–56,5	46,8 $\pm$ 7,9 33,4–64,3	0,7 $\pm$ 0,1 0,6–0,9	0,7 $\pm$ 0,1 0,7–0,9	1,7 $\pm$ 0,4 1,1–2,7	1,7 $\pm$ 0,5 1,1–2,9	55,2 $\pm$ 9,7 43–81	54,5 $\pm$ 8,7 43–72	5,5 $\pm$ 0,6 4,5–6,8	5,4 $\pm$ 0,7 4,4–7
ВСА:														
1-я группа	75,1 $\pm$ 13,7 38,7–114	74,5 $\pm$ 15,9 39,1–102,5	31,8 $\pm$ 7,81 10,7–50,6	32,1 $\pm$ 8,5* 15,8–57,7	47,8 $\pm$ 9,5 22,6–68,1	48,3 $\pm$ 10,8 27,9–79,0	0,6 $\pm$ 0,1 0,4–0,9	0,6 $\pm$ 0,1 0,4–0,8	0,9 $\pm$ 0,3 0,6–2,8	0,9 $\pm$ 0,2* 0,6–1,6	51,2 $\pm$ 11,2 34–89	53,5 $\pm$ 11,4 21–81	4,3 $\pm$ 0,7 3–6,5	4,2 $\pm$ 0,6 3–6,1
2-я группа	76,7 $\pm$ 13,4 55–96,4	78,2 $\pm$ 16,6 44,8–105,7	33,5 $\pm$ 6,9 25,7–54,6	36,6 $\pm$ 9,6 17,2–53,4	51,2 $\pm$ 9,3 39,0–70,1	52,9 $\pm$ 12,5 27,9–74	0,6 $\pm$ 0,1 0,4–1	0,6 $\pm$ 0,1 0,5–0,8	0,8 $\pm$ 0,2 0,5–1,3	0,8 $\pm$ 0,2 0,6–1,2	56,4 $\pm$ 8,5 40–75	56,9 $\pm$ 7,8 43–72	4,2 $\pm$ 0,6 3–5,2	4,2 $\pm$ 0,6 3–5,3
ПА:														
1-я группа	37,7 $\pm$ 11,3 15,8–59,9	42,1 $\pm$ 12,2 18,9–73,6	13,6 $\pm$ 4,5 6,1–24,4	16,3 $\pm$ 5,7 7–30,6	22,5 $\pm$ 6,7 9,4–38,9	25,5 $\pm$ 8,1 11–47	0,6 $\pm$ 0,1 0,5–1	0,6 $\pm$ 0,1 0,4–0,8	1,1 $\pm$ 0,3* 0,6–2,1	1,0 $\pm$ 0,3 0,6–1,8	51,8 $\pm$ 10,5 26–79	50,2 $\pm$ 9,9 26–79	3,2 $\pm$ 0,6 1,8–4,5	3,5 $\pm$ 0,6 2–4,9
2-я группа	43,0 $\pm$ 12,5 23,4–67,1	45,8 $\pm$ 11,9 26,9–69,1	13,9 $\pm$ 4,9 6,6–25,9	16,6 $\pm$ 4,6 7,6–26,1	24,2 $\pm$ 7,4 13,7–39,4	26,6 $\pm$ 7,0 13,9–39,7	0,7 $\pm$ 0,1 0,5–0,8	0,6 $\pm$ 0,1 0,6–0,7	1,3 $\pm$ 0,5 0,7–2,8	1,1 $\pm$ 0,2 0,8–1,5	48,8 $\pm$ 11,3 30–70	47,7 $\pm$ 11,5 28–77	3,2 $\pm$ 0,6 2,2–4,2	3,5 $\pm$ 0,6 2,4–4,2
СМА:														
1-я группа	95,4 $\pm$ 20,6 11,7–158	96,9 $\pm$ 16,4 52–141	47,4 $\pm$ 8,2 21,7–70	46,8 $\pm$ 10,8 4,8–72	68,9 $\pm$ 12,7 29,6–110,4	68,9 $\pm$ 12,3 35,2–105,6	0,5 $\pm$ 0,1 0,4–0,9	0,5 $\pm$ 0,1 0,4–1,0	0,7 $\pm$ 0,1 0,5–1,0	0,7 $\pm$ 0,2 0,5–1,2	53,7 $\pm$ 9,4 34–79	54,9 $\pm$ 8,5 34–78	–	–
2-я группа	95,0 $\pm$ 9,3 79,3–114,5	95,5 $\pm$ 9,9 70,6–109,4	45,2 $\pm$ 7,2 35,6–66,1	47,7 $\pm$ 5,5 38,3–61,7	68,2 $\pm$ 7,8 57,8–89,2	68,7 $\pm$ 8,1 53,4–83,4	0,5 $\pm$ 0,1 0,4–0,6	0,5 $\pm$ 0,0 0,4–0,6	0,7 $\pm$ 0,1 0,5–1,0	0,7 $\pm$ 0,1 0,5–0,8	57,1 $\pm$ 7,6 44–71	56,1 $\pm$ 7,8 44–69	–	–

Таблица 3. Соотношения показателей кровотока (TAMX, RI, AT, PI) в средних мозговых и внутренних сонных артериях у пациентов групп сравнения (mean $\pm$ sd, min–max)**Table 3.** Ratios of blood-flow indices (TAMX, RI, AT, PI) in the middle cerebral and internal carotid arteries in the comparison groups (mean $\pm$ SD, min–max)

Группа	TAMX СМА/ TAMX ВСА		RI СМА/ RI ВСА		PI СМА/ PI ВСА		AT СМА/ AT ВСА	
	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева
1-я	1,5 $\pm$ 0,4 0,6–2,8	1,5 $\pm$ 0,4 0,7–2,8	0,9 $\pm$ 0,2 0,6–1,7	0,9 $\pm$ 0,2 0,6–1,5	0,8 $\pm$ 0,2 0,2–1,3	1,2 $\pm$ 0,4* 0,7–2,3	1,1 $\pm$ 0,3 0,6–2,1	1,1 $\pm$ 0,3 0,6–2,3
2-я	1,4 $\pm$ 0,2 1,1–1,8	1,4 $\pm$ 0,4 0,9–2,6	0,9 $\pm$ 0,2 0,5–1,2	0,9 $\pm$ 0,1 0,6–1,1	0,9 $\pm$ 0,3 0,5–1,4	1,5 $\pm$ 0,3 0,9–2,5	1,0 $\pm$ 0,2 0,7–1,4	1,0 $\pm$ 0,1 0,7–1,3

Таблица 4. Объемные скорости кровотока в ВСА, ПА у пациентов групп сравнения (mean $\pm$ sd, min–max)**Table 4.** Volumetric blood-flow velocities in the ICA and VA in the comparison groups (mean $\pm$ SD, min–max)

Группа	V _{vol} ВСА, мл/мин		V _{vol} ПА, мл/мин	
	справа	слева	справа	слева
1-я	272 $\pm$ 103 129–768	261 $\pm$ 99 106–696	70,2 $\pm$ 33 21,1–171	99 $\pm$ 58 16–308
2-я	265,7 $\pm$ 85,5 111–449,6	285,8 $\pm$ 115,8 112,2–496,6	78,9 $\pm$ 41,1 22,7–158,9	97 $\pm$ 37,7 37,9–206,1

на КИМ ПГС $p < 0,005$, правая ОСА $p < 0,0005$, левая ОСА $p < 0,00005$, бифуркации правой ОСА $p < 0,00005$, бифуркации левой ОСА $p < 0,000005$). Максимальная выраженность изменений толщины КИМ так же, как и структурной перестройки, фиксировалась в области бифуркации ОСА [21].

При количественном анализе величин внутрипросветных диаметров и параметров кровотока в различных отделах БЦА получены следующие данные, представленные в табл. 2.

Статистически достоверных различий скоростных показателей кровотока, межинтимальных диаметров, показателя времени ускорения в исследованных артериях у пациентов групп сравнения выявлено не было.

Индексы периферического сопротивления (RI, PI) у пациентов с МС были ниже в ОСА, ПА и выше таковых в ВСА по сравнению со значениями у пациентов группы контроля (RI в ОСА слева $p = 0,041$; PI в ОСА слева $p = 0,043$; PI в ВСА слева $p = 0,05$; PI в ПА справа $p = 0,003$).

Данные, полученные при оценке соотношения параметров кровотока в артериях экстра- и интракраниального уровня у пациентов групп сравнения, представлены в табл. 3.

Соотношения TAMX СМА/TAMX ВСА, RI СМА/RI ВСА, AT СМА/AT ВСА у пациентов с МС не отличались от таковых группы контроля. Соотношение PI СМА/PI ВСА слева у пациентов с МС было достоверно ниже аналогичных показателей у пациентов группы контроля слева ($p = 0,026$).

Объемные скорости кровотока в ВСА и ПА, полученные у пациентов групп сравнения, представлены в табл. 4.

Суммарный объемный приток к мозгу у пациентов 1-й группы составил $701,9 \pm 177$ (372–1279) мл/мин, у пациентов 2-й группы – 727 ± 199 (382–1097) мл/мин.

Статистически достоверных различий объемных скоростей кровотока в сонных и позвоночных артериях и величины суммарного объемного кровотока у пациентов групп сравнения выявлено не было.

Проводился статистический анализ взаимосвязи показателей кровотока в экстра- и интракраниальных отделах БЦА, расчетных показателей кровотока и диаметров сосудов и основных составляющих МС с расчетом коэффициента линейной корреляции Пирсона. В проведенном исследовании получено большое количество значимых корреляций между V_{ps} , V_{ed} , TAMX, RI, PI, AT, оцененными в ОСА, ВСА, ПА и СМА с обеих сторон, D ОСА, объемной скоростью

Таблица 5. Результаты корреляционного анализа (коэффициенты линейной корреляции Пирсона) между параметрами кровотока в БЦА, компонентами МС, толщиной КИМ в ОСА, измеренной в различных зонах

Table 5. Results of correlation analysis (Pearson's coefficients) between BCA blood-flow parameters, MS components, and IMT in the CCA measured in various zones

Параметры	RI левой ОСА	V _{ed} левой ВСА	PI левой ВСА	PI ППА	PI СМА/ВСА слева
ЛПНП		–0,24		–0,26	–0,23
ЛПВП					–0,24
ХС		–0,24		–0,28	–0,41
ТГ					–0,22
КА		–0,25			
ТГИ					–0,23
Фоновый уровень инсулина					–0,31
Индекс НОМА-IR					–0,28
Индекс CARO			–0,24		0,26
АДГ ГГТ		0,24			
ОДГ		0,24			
Толщина КИМ левой ОСА		–0,26			–0,28
Толщина КИМ правой ОСА	–0,25		0,25	–0,29	–0,31
Толщина КИМ бифуркации левой ОСА					–0,23
Толщина КИМ бифуркации правой ОСА			–0,23	–0,28	

Примечание. Показаны только значимые корреляции, $p < 0,05$.

кровотока в ПА, соотношением RI, PI, AT в СМА и ВСА, с толщиной КИМ ОСА в зоне стандартизованной оценки, в области бифуркации ОСА с двух сторон, в области бифуркации ПГС и параметрами МС (с ИМТ, ОТ, АГ, показателями липидного профиля – ЛПНП, ЛПВП, ХС, ТГ и коэффициент атерогенности (КА), углеводного профиля – ТГИ, ХС/ТГ, фоновым уровнем инсулина, индексами НОМА-IR, CARO, АДГ ГГТ). Коэффициенты линейной корреляции Пирсона при обратных связях варьировали от –0,407 до –0,217; при прямых – от 0,22 до 0,395 при $p < 0,05$. Корреляционные связи средней силы были выявлены между ДАД и толщиной КИМ бифуркации правой ОСА (0,406); СрАД и толщиной КИМ бифуркации правой ОСА (0,418); ХС-ЛПНП и толщиной КИМ левой ОСА (0,45), толщиной КИМ правой ОСА (0,42), толщиной КИМ бифуркации левой ОСА (0,52); ХС и RI ЛПА (0,4), PI СМА/ВСА слева (0,41), толщиной КИМ бифуркации левой ОСА (0,44); ТГ и толщиной КИМ бифуркации правой ОСА 0,41; КА и толщиной КИМ бифуркации левой ОСА (0,44); ТГИ и толщи-

ной КИМ левой ОСА (0,42), толщиной КИМ бифуркации левой ОСА (0,54), толщиной КИМ бифуркации правой ОСА (0,51), индексом НОМА-IR и толщиной КИМ бифуркации левой ОСА (0,45), толщиной КИМ бифуркации правой ОСА (0,43).

Был проведен дополнительный анализ взаимосвязей показателей кровотока, которые демонстрировали статистически достоверные межгрупповые различия у пациентов групп сравнения (индексы периферического сопротивления, V_{ed}, PI СМА/ВСА), с разными компонентами МС и толщиной КИМ ОСА, измеренной в различных зонах. Результаты проведенного анализа представлены в табл. 5.

Выявлены корреляционные связи с показателями липидного и углеводного профиля. Установлено, что V_{ed} в левой ВСА имеет обратную связь с ЛПНП, ХС, КА и прямую связь с АДГ ГГТ и ОДГ; обратные связи выявлены между PI в левой ВСА и индексом CARO, PI в ППА и ЛПНП, ХС. Обращает на себя внимание большое число значимых корреляций с PI СМА/ВСА слева. Обратные связи выявлены с ЛПНП,

ЛПВП, ХС, ТГ, ТГГ, фоновым уровнем инсулина, индексом НОМА-IR и прямая связь с индексом CARO. Все связи имели слабую силу, однако между PI СМА/ВСА слева и ХС выявлена связь средней силы ($k = -0,41$). Толщина КИМ также продемонстрировала значимые корреляции с оцениваемыми параметрами: толщина КИМ левой ОСА с V_{ed} в левой ВСА, PI СМА/ВСА слева; толщина КИМ правой ОСА с RI левой ОСА, PI в левой ВСА, PI в ППА, PI СМА/ВСА слева; толщина КИМ бифуркации левой ОСА с PI СМА/ВСА слева; толщина КИМ бифуркации правой ОСА с PI в левой ВСА, PI в ППА.

ОБСУЖДЕНИЕ

АГ, нарушения липидного и углеводного обмена, являющиеся основными компонентами МС, оказывают влияние на структуру сосудистой стенки БЦА, приводя к развитию метаболической ангиопатии, предрасполагающей к формированию гемодинамических нарушений в церебральной сосудистой системе, что, в свою очередь, может повысить риск развития НМК [6, 14]. В проведенном исследовании у пациентов с МС были выявлены специфические изменения эхоструктуры КИМ в области бифуркации ПГС и различных зонах ОСА, а также в ПА в виде патологической слоистости КИМ и единичных гиперэхогенных включений. Специфический характер изменений подтверждается данными статистического анализа (патологическая слоистость правой ОСА $p = 0,003$, левой ОСА $p = 0,002$, бифуркации ОСА справа $p < 0,000005$, бифуркации ОСА слева $p < 0,000005$, гиперэхогенные включения в правой ПА $p = 0,075$). Также у пациентов основной группы выявлено статистически значимое увеличение толщины КИМ в оцениваемых зонах в сравнении с таковыми показателями в группе контроля, преобладающее в области бифуркации ОСА [21]. Полученные нами данные согласуются с результатами ранее проведенных исследований. По результатам ряда исследований пациентов с МС выявили увеличение толщины КИМ в ОСА преимущественно в области ее бифуркации [12, 15, 22, 23]. В работе В.В. Башук и соавт. [24] описывается наличие патологической слоистости КИМ в ОСА в зоне стандартизован-

ной оценки КИМ у 68 обследованных пациентов с СД 2 типа.

Структурные изменения стенок сонных и позвоночных артерий на экстра- и интракраниальном уровне приводят к повышению жесткости сосудистой стенки, что отражается на ряде количественных параметров кровотока. К основным показателям кровотока, коррелирующим с изменениями структуры сосудистой стенки, относятся максимальная конечная диастолическая скорость кровотока, индексы периферического сопротивления, время ускорения.

В соответствии с полученными нами данными индексы периферического сопротивления (RI, PI) у пациентов с МС были достоверно ниже в ОСА, ПА и выше в ВСА. Средние значения скоростных показателей кровотока (V_{ps} , V_{ed}) в ВСА, ПА, показатели АТ у пациентов с МС были ниже в сосудах экстра- и интракраниального уровня в сравнении с аналогичными показателями у пациентов группы контроля. При этом все выявленные различия не достигали статистически значимых величин. Отсутствие однонаправленной динамики параметров кровотока в исследованных артериях, по всей видимости, является следствием разной степени выраженности структурных изменений сосудистой стенки в артериях экстра- и интракраниального уровня.

Выявлены статистически достоверные различия соотношения показателя PI в СМА к аналогичной величине в ВСА (PI СМА / PI ВСА слева ($p = 0,026$)).

Не получено достоверных различий объемных скоростей кровотока в ВСА, ПА и величины суммарного объемного притока к мозгу у пациентов групп сравнения.

По результатам исследований, имеющих доступную литературу, посвященных оценке параметров кровотока в различных отделах БЦА, выявленные изменения имеют разнонаправленный характер. Так, в исследовании Р.А. Рзаевой и соавт. [9] у 233 пациентов с МС было выявлено снижение пиковых систолических и диастолических скоростей кровотока, повышение индексов периферического сопротивления в ОСА и ВСА в сравнении с таковыми группы контроля. Аналогичное изменение пиковых систолических скоростей кровотока установлено другими авторами [13]. J.S. Park и соавт. [11] выявили повышение

пульсативного индекса в СМА у пациентов с ИР. Г.Г. Кадырова [10] установила повышение диастолической скорости и снижение индексов периферического сопротивления в ВСА у 30 пациентов с МС.

Результаты корреляционного анализа с расчетом коэффициента линейной корреляции Пирсона позволили выявить корреляционные связи слабой и средней силы между компонентами МС, толщиной КИМ и показателями кровотока у пациентов с МС.

Диагностически значимые взаимосвязи зафиксированы для показателей максимальной конечной диастолической скорости кровотока, пульсативного, резистивного индексов, а также соотношения пульсативного индекса в СМА к аналогичным показателям в ВСА. Основными факторами, определяющими изменения этих величин, являются, с одной стороны, толщина КИМ ОСА в зоне стандартизированной оценки, зоны бифуркации ОСА, с другой стороны, ряд метаболических показателей, напрямую связанных с формированием структурной перестройки сосудистой стенки при МС, в виде: уровня холестерина, ЛПНП, ТГ, инсулина, индекса НОМА, Caro, абсолютной и относительной динамики показателя глюкозы в ГГТ. При этом практически все из вышеперечисленных факторов демонстрировали значимые корреляции с расчетным показателем, отображающим соотношение пульсативного индекса в СМА и ВСА.

Наличие взаимосвязей показателей кровотока в БЦА с различными компонентами МС согласуется с данными литературы. Е.А. Лопина и соавт. [14] описали результаты исследования, проведенного на 88 пациентах, где были выявлены корреляционные связи ОТ со скоростью кровотока в ВСА ($R\ 0,02$). J.S. Park и соавт. [11] у 90 пациентов выявили корреляции АД ($R\ 0,285$), ИР ($R\ -0,3590$) с PI СМА. В исследовании N. Sasaki и соавт. [15], в котором участвовали 4218 пациентов с нарушением толерантности к глюкозе, установили корреляционные связи индекса НОМА- IR с RI и PI ($R\ -0,054$) в ОСА.

ВЫВОДЫ

1. У пациентов с МС не выявлено статистически значимых различий линейных (пиковой систолической, максимальной

конечной диастолической, усредненной по времени максимальной) и объемных скоростей кровотока в сонных, позвоночных артериях в сопоставлении с таковыми показателями у практически здоровых лиц.

2. У пациентов с МС определяется статистически достоверное повышение индексов периферического сопротивления во внутренних сонных артериях и снижение соотношения показателей резистивного индекса в средней мозговой и внутренней сонной артериях по сравнению с пациентами группы контроля.

3. Результаты статистического анализа с расчетом коэффициента линейной корреляции Пирсона выявили комплекс факторов, демонстрирующих взаимосвязь с рядом количественных параметров кровотока (максимальной конечной диастолической скоростью, пульсативным, резистивным индексами, соотношением пульсативного индекса в средней мозговой и внутренней сонной артериях) в виде толщины КИМ ОСА в зоне стандартизированной оценки, зоне бифуркации ОСА, уровня холестерина, ЛПНП, ТГ, инсулина, индекса НОМА, Caro, абсолютной и относительной динамики показателя глюкозы в ГГТ.

Участие авторов

Вахитова А.Р. – проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи.

Бердалин А.Б. – сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста.

Лелюк В.Г. – концепция и дизайн исследования, обзор публикаций по теме статьи, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Лелюк С.Э. – концепция и дизайн исследования, обзор публикаций по теме статьи, участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Vakhitova A.R. – conducting research, collection and analysis of data, review of publications, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, text preparation and editing, participation in scientific design, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Berdalin A.B. – collection and analysis of data, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing.

Lelyuk V.G. – concept and design of the study, review of publications, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Lelyuk S.E. – concept and design of the study, review of publications, participation in scientific design, approval of the final version of the article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мычка В.Б., Верткин А.Л., Вардаев Л.И., Дружилов М.А., Ипаткин Р.В., Калинин А.Л., Кузнецова И.В., Кузнецова Т.Ю. Консенсус экспертов по междисциплинарному подходу к ведению, диагностике и лечению больных с метаболическим синдромом. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2013; 12: 41–82.
2. Архипова Э.В. Метаболический синдром: патогенез, критерии диагностики и лечение. *Вестник БГУ. Медицина и фармация*. 2019; 2: 3–9. <https://doi.org/10.18101/2306-1995-2019-2-3-9>
3. Kleindorfer D.O., Towfighi A., Chaturvedi S. et al. 2021 Guideline for the Prevention of Stroke in Patients With Stroke and Transient Ischemic Attack: A Guideline From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. 2021; 52 (7). <https://doi.org/10.1161/STR.0000000000000375>
4. Bushnell C., Kernan W.N., Chaturvedi S. et al. 2024 Guideline for the Primary Prevention of Stroke: A Guideline From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. 2024; 55 (12). <https://doi.org/10.1161/STR.0000000000000475>
5. Мищенко Т.С., Перцева Т.Г. Сахарный диабет и цереброваскулярные заболевания. *Новости медицины и фармации. Неврология*. 2010; 6 (312). <http://www.mif-ua.com/archive/article/11876>
6. Ефимова Н.Ю., Чернов В.И., Ефимова И.Ю., Лишманов Ю.Б. Когнитивная дисфункция при метаболическом синдроме. Томск: STT, 2013. 116 с.
7. Абасова Л.И., Дашдамиров Р.Л., Бахшалиев А.Б. Артериальная гипертензия и метаболический синдром. Особенности антигипертензивной терапии. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2011; 10 (4): 107–109. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2011-4-107-109>
8. Кошкарбаева А.К., Афанасьева С.Н. Инсулинорезистентность как ведущий фактор риска ишемической болезни сердца при сахарном диабете 2 типа. *Архив внутренней медицины*. 2013; 5: 35–39. <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2013-0-5-35-39>
9. Рзаева Р.А., Курбанов Я.З., Гаджиев Д.В. Скоростные показатели кровотока и индекс резистентности в магистральных сосудах больных с наличием и отсутствием сахарного диабета и при сочетании сахарного диабета с метаболическим синдромом. *Биомедицина*. 2017; 2: 78–83.
10. Кадырова Г.Г. Изучение показателей состояния сонных артерий и скорости кровотока у больных артериальной гипертензией и сахарным диабетом. *Молодой ученый*. 2017; 8 (142): 126–129. <https://moluch.ru/archive/142/40031>
11. Park J.S., Cho M.H., Lee K.Y. et al. Cerebral arterial pulsatility and insulin resistance in type 2 diabetic patients. *Diabetes Research and Clinical Practice*. 2008; 79 (2): e237–e242. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2007.08.029>
12. Staub D., Meyerhans A., Bundi B. et al. Prediction of cardiovascular morbidity and mortality: comparison of the internal carotid artery resistive index with the common carotid artery intima-media thickness. *Stroke*. 2006; 37 (3): e800–e805. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000202589.47401>
13. Байкова О.А., Отарова С.М., Соболева В.Н., Тебоева Р.Б. Характер нарушений мозгового кровотока у больных артериальной гипертензией с метаболическим синдромом. *Российский кардиологический журнал*. 2006; 95–101.
14. Лопина Е.А., Душина А.Г., Либис Р.А. Влияние метаболически тучного фенотипа ожирения на состояние сосудистой стенки сонных артерий у пациентов с артериальной гипертензией, перенесших острое нарушение мозгового кровообращения. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2019; 18 (5): 5–9. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2019-5-5-9>
15. Sasaki N., Maeda R., Ozono R. et al. Association of flow parameters and diameter in the common carotid artery with impaired glucose metabolism. *J. Atherosclerosis Thrombosis*. 2022; 29 (5): e654–e666. <https://doi.org/10.5551/jat.62790>
16. Carter K.J., Ward A.T., Kellawan J.M. et al. Reduced basal macrovascular and microvascular cerebral blood flow in young adults with metabolic syndrome: potential mechanisms. *J. Applied Physiol*. 2023; 135 (1): e94–e108. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00688.2022>
17. Ивашкин В.Т., Драпкина О.М., Корнеева О.Н. Клинические варианты метаболического синдрома. М.: Мединформагентство, 2011. 220 с.
18. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Методика ультразвукового исследования сосудистой системы: технология сканирования, нормативные показатели. М.: Реал Тайм, 2019. 48 с.
19. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Ультразвуковая ангиология. Изд. 3-е. М.: Реал Тайм, 2007. 416 с.
20. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Возможности дуплексного сканирования в определении объемных показателей мозгового кровотока. *Ультразвуковая диагностика*. 1996; 1: 24–32.
21. Вахитова А.Р., Бердалин А.Б., Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Комплексная ультразвуковая оценка состояния комплекса интима-медиа брахиоцефальных артерий у пациентов с метаболическим синдромом. *Медицинская визуализация*. 2024; 28: 32–47 <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1369>
22. Rundek T., White H., Boden-Albala B. Increased blood flow in the gland parenchyma. Metabolic syndrome and subclinical carotid atherosclerosis. the Northern Manhattan Study. *J. Cardiometab. Syndr.* 2007; 2: e24–e29.
23. Арутюнян Н.М., Лелюк С.Э. Ультразвуковые критерии диагноза ранних проявлений диабетической макроангиопатии у пациентов с сахарным диабетом второго типа. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2007; 5: 76–83.

24. Башук В.В., Аносова Е.В., Павлова Т.В., Большаков А.А. Комплекс интима-медиа как новый морфофункциональный объект оценки тяжести полиморбидности. *Медицина. Фармация*. 2013; 4: 22–27.

REFERENCES

1. Mychka V.B., Vertkin A.L., Vardaev L.I. et al. Experts's consensus on the interdisciplinary approach towards the management, diagnostics, and treatment of patients with metabolic syndrome. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2013; 12 (6): 41–82. (In Russian)
2. Arkhipova E.V. Metabolic syndrome: pathogenesis, diagnostic criteria and treatment. *Bulletin of the BSU. Medicine and Pharmacy*. 2019; 2: 3–9. <https://doi.org/10.18101/2306-1995-2019-2-3-9> (In Russian)
3. Kleindorfer D.O., Towfighi A., Chaturvedi S. et al. 2021 Guideline for the Prevention of Stroke in Patients With Stroke and Transient Ischemic Attack: A Guideline From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. 2021; 52 (7). <https://doi.org/10.1161/STR.0000000000000375>
4. Bushnell C., Kernan W.N., Chaturvedi S. et al. 2024 Guideline for the Primary Prevention of Stroke: A Guideline From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. 2024; 55 (12). <https://doi.org/10.1161/STR.0000000000000475>
5. Mishchenko T.S., Pertseva T.G. Diabetes mellitus and cerebrovascular diseases. *Medical and pharmacy news. Neurology*. 2010; 6 (312). <http://www.mif-ua.com/archive/article/11876> (In Russian)
6. Efimova N.Y., Chernov V.I., Efimova I.Y., Lishmanov Y.B. Cognitive dysfunction in metabolic syndrome. Tomsk: STT, 2013. 116 p. (In Russian)
7. Abasova L.I., Dashdamirov R.L., Bakhshaliyev A.B. Arterial hypertension and metabolic syndrome. Features of antihypertensive therapy. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2011; 10 (4): 107–109. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2011-4-107-109> (In Russian)
8. Koshkarbayeva A.K., Afanasyeva S.N. Insulin resistance as a leading risk factor for coronary heart disease in diabetes mellitus. *Archive of Internal Medicine*. 2013; 5: 35–39. <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2013-0-5> (In Russian)
9. Rzaeva R.A., Kurbanov Ya.Z., Gadzhiev D.V. Blood flow velocity and resistance index in the main vessels of patients with and without diabetes mellitus and in combination of diabetes mellitus with metabolic syndrome. *Biomedicine*. 2017; 2: 78–83. (In Russian)
10. Kadirova G.G. The study of indicators of the condition of the carotid arteries and blood flow rate in patients with hypertension and diabetes mellitus. *Young Scientist*. 2017; 8 (142): 126–129. <https://moluch.ru/archive/142/40031> (In Russian)
11. Park J.S., Cho M.H., Lee K.Y. et al. Cerebral arterial pulsatility and insulin resistance in type 2 diabetic patients. *Diabetes Research and Clinical Practice*. 2008; 79 (2): e237–e242. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2007.08.029>
12. Staub D., Meyerhans A., Bundi B. et al. Prediction of cardiovascular morbidity and mortality: comparison of the internal carotid artery resistive index with the common carotid artery intima-media thickness. *Stroke*. 2006; 37 (3): e800–e805. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000202589.47401>
13. Baykova O.A., Otarova S.M., Soboleva V.N., Teboeva R.B. The nature of cerebral blood flow disorders in patients with arterial hypertension with metabolic syndrome. *Russian Journal of Cardiology*. 2006; 95–101. (In Russian)
14. Lopina E.A., Dushina A.G., Libis R.A. The effect of the metabolically obese obesity phenotype on the condition of the vascular wall of the carotid arteries in patients with arterial hypertension who suffered acute cerebral circulatory disorders. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2019; 18 (5): 5–9. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2019-5-5-9> (In Russian)
15. Sasaki N., Maeda R., Ozono R. et al. Association of flow parameters and diameter in the common carotid artery with impaired glucose metabolism. *J. Atherosclerosis Thrombosis*. 2022; 29 (5): e654–e666. <https://doi.org/10.5551/jat.62790>
16. Carter K.J., Ward A.T., Kellawan J.M. et al. Reduced basal macrovascular and microvascular cerebral blood flow in young adults with metabolic syndrome: potential mechanisms. *J. Applied Physiol*. 2023; 135 (1): e94–e108. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00688.2022>
17. Ivashkin V.T., Drapkina O.M., Korneeva O.N. Clinical variants of metabolic syndrome. M.: Medinformagenstvo, 2011. 220 p. (In Russian)
18. Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. Methods of ultrasound examination of the vascular system: scanning technology, normative indicators. M.: Real Time. 2019, 48 p. (In Russian)
19. Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. Ultrasound angiology. Ed. 3-E. M.: Real Time, 2007. 416 p. (In Russian)
20. Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. Possibilities of duplex scanning in determining volumetric indicators of cerebral blood flow. *Ultrasound Diagnostics*. 1996; 1: 24–32. (In Russian)
21. Vakhitova A.R., Berdalin A.B., Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. Comprehensive ultrasound assessment of the state complex intima-media brachiocephalic arteries in patients with metabolic syndrome. *Medical Visualization*. 2024; 28 (2): 32–42. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1369> (In Russian)
22. Rundek T., White H., Boden-Albala B. Increased blood flow in the gland parenchyma. Metabolic syndrome and subclinical carotid atherosclerosis. the Northern Manhattan Study. *J. Cardiometab. Syndr.* 2007; 2: e24–e29.
23. Arutyunyan N.M., Lelyuk S.E. Ultrasound criteria for the diagnosis of early manifestations of diabetic macroangiopathy in patients with type 2 diabetes mellitus. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2007; 5: 76–83. (In Russian)
24. Bashuk V.V., Anosova E.V., Pavlova T.V., Bolshakov A.A. The intima-media complex as a new morphofunctional object for assessing the severity of polymorbidity. *Medicine. Pharmacy*. 2013; 4: 22–27. (In Russian)

Hemodynamic state in the extra- and intracranial segments of the brachiocephalic arteries in patients with metabolic syndrome

A.R. Vakhitova^{1*}, A.B. Berdalin², V.G. Lelyuk³, S.E. Lelyuk^{3, 4}

¹ City Polyclinic № 64, branch № 2 of Moscow Healthcare Department; 4-6, Ladozhskaya str., Moscow 107023, Russian Federation

² N.A. Alekseev Psychiatric Clinical Hospital No. 1; 2, Zagorodnoye shosse str., Moscow 117152, Russian Federation

³ Vascular Clinic on the Patriarchs; 22-1, Bolshoy Kozikhinsky lane, Moscow 123001, Russian Federation

⁴ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 2/1-1, Barrikadnaya str., Moscow 125993, Russian Federation

Aliya R. Vakhitova – MD, ultrasound specialist, City Polyclinic № 64, branch № 2 of Moscow Healthcare Department, Moscow. <https://orcid.org/0009-0005-3986-6586>

Alexander B. Berdalin – Cand. of Sci. (Med.), senior research assistant, N.A. Alekseev Psychiatric Clinical Hospital No. 1, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5387-4367>

Vladimir G. Lelyuk – MD, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Vascular Clinic on the Patriarchs, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9690-8325>

Svetlana E. Lelyuk – MD, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Vascular Clinic on the Patriarchs; Professor of the Department of Ultrasound Diagnostics, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8428-8037>

Correspondence* to Aliya R. Vakhitova – e-mail: aliafat@yandex.ru

Objective. To assess hemodynamic parameters in the extra- and intracranial segments of the brachiocephalic arteries (BCA) in patients with metabolic syndrome (MS) using duplex ultrasonography.

Materials and Methods. The study included 82 patients, of whom 62 had MS and 20 were practically healthy controls. All patients underwent duplex ultrasonography of the extra- and intracranial segments of the BCA with evaluation of qualitative and quantitative parameters: intima-media complex (CIM) in the bifurcation of the brachiocephalic trunk, in the common carotid arteries (CCA), and in the vertebral arteries (VA), as well as quantitative blood-flow parameters in the CCA, internal carotid arteries (ICA), VA, and middle cerebral arteries (MCA). All patients also underwent biochemical blood testing.

Results. Patients with MS demonstrated a statistically significant increase in peripheral resistance indices in the ICA (left ICA pulsatility index (PI), $p = 0.05$) and in the MCA/ICA resistance index ratio on the left side compared with controls ($p = 0.026$). No statistically significant differences in linear or volumetric blood-flow velocities were found in the studied arteries. Significant correlations were found between quantitative blood-flow parameters and MS components based on Pearson's linear correlation coefficients: the end-diastolic velocity in the left ICA correlated with low-density lipoproteins (LDL), total cholesterol (TC), atherogenic index, and both absolute and relative glucose dynamics in the oral glucose tolerance test; PI of the left ICA correlated with the CARO index; PI of the right VA correlated with LDL and TC; the MCA/ICA PI ratio on the left side correlated with LDL, high-density lipoproteins, TC, triglycerides, and the triglyceride-glucose index; as well as with fasting insulin, HOMA-IR index, and CARO index. Pearson correlation coefficients ranged from -0.41 to 0.24 at $p < 0.05$.

Conclusion. Comprehensive ultrasound evaluation of hemodynamics in the extra- and intracranial segments of the BCA in patients with MS allows detection of blood-flow alterations associated with structural remodeling of the vascular wall induced by the negative impact of multiple metabolic factors.

Keywords: metabolic syndrome; the complex intima-media; blood flow rate; peripheral resistance index

Conflict of interests. The authors have no conflicts of interest to declare.

Financing. This study had no sponsorship.

Citation: Vakhitova A.R., Berdalin A.B., Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. Hemodynamic state in the extra- and intracranial segments of the brachiocephalic arteries in patients with metabolic syndrome. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2025; 31 (4): 67–80. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-313> (In Russian)

Received: 21.11.2024.

Accepted for publication: 23.09.2025.

Published online: 28.11.2025.