

Стрессовая доплер-ангиография в оценке эффективности физиотерапевтической коррекции вазомоторной функции

В.А. Авхименко¹, А.Б. Тривоженко¹, Е.В. Гамеева²

¹ ФГБУ Сибирский федеральный научно-клинический центр ФМБА России, Северск, Томская область, Россия

² ФГБУ Федеральный научно-клинический центр медицинской реабилитации и курортологии ФМБА России, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Ограниченные возможности точного определения итогов физиотерапевтической коррекции вазомоторной функции у пациентов с артериальной гипертензией представляет собой очевидную проблему медицинской реабилитации. **Цель:** разработать ультразвуковой вело-стрессовый метод исследования системного внутриорганного и церебрального кровообращения для оценки эффективности физиотерапевтической коррекции вазомоторной функции. **Материал и методы.** Обследовано 92 пациента с артериальной гипертензией. Вело-стрессовое исследование у пациентов первой группы ($n=48$) дополнялось доплеровским измерением кровотока в почечной артерии с расчетом пиковой скорости и сосудистого сопротивления (Vps-ПА и RI-ПА), а у пациентов второй группы ($n=44$) аналогичные измерения проводились в средней мозговой артерии (Vps-СМА и RI-СМА). **Результаты.** Исходно наблюдалось нагрузочное увеличение Vps-ПА на 68% [62–70], сопровождаемое повышением RI-ПА на 20% [17–21], после лечения нагрузочная скорость почечной перфузии возросла до 72% [70–77], а резистентность снизилась до 16% [10–14]. Полушарное кровообращение характеризовалось ортостатическим снижением Vps-СМА на 22% [16–23] с малым нагрузочным ростом на 28% [26–30], сопровождаемым увеличением RI-СМА на 30% [18–23]. После комплексной физиотерапии ортостатическое снижение Vps-СМА составило 12% [10–15], нагрузочная реакция увеличилась до 34% [30–38], а RI-СМА возросла лишь на 18% [16–24]. Плацебо-терапевтические различия оказались статистически достоверными ($p<0,005$). **Заключение.** Стрессовые доплер-ангиографические исследования аорто-рениального и полушарного кровообращения чувствительно отражают эффективность физиотерапевтической коррекции системной внутриорганной и мозговой вазомоторной функции. Применение компактного оборудования и упрощенных измерений, позволяют интегрировать разработанные технологии в работу учреждений медицинской реабилитации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: восстановительное лечение, вело-стресс, доплер, почечная артерия, средняя мозговая артерия.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Stressful Doppler-angiography in assessment of efficiency of physiotherapeutic correction of vasomotor function

V.A. Avkhimenko¹, A.B. Trivozhenko¹, E.V. Gameeva²

¹ Siberian Federal Scientific and Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Seversk, Tomsk region, Russia

² Federal Scientific and Clinical Center of Medical Rehabilitation and Balneology of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

SUMMARY

A limited opportunity of results definition of physiotherapeutic correction vasomotor function at patients with an arterial hypertension represents an obvious problem of medical rehabilitation. **Material and methods.** The 92 patients with an arterial hypertension were examined. Conducted the bicycle-stressful research at patients of the first group ($n=48$) was complemented with Doppler measurement of renal artery blood-groove in a with calculation of peak speed and vascular resistance (Vps-RA and RI-RA), and at patients of the second group ($n=44$) the similar measurements were taken in an middle cerebral artery (Vps-MCA and RI-MCA). **Results.** The load increase in Vps-RA by 68% [62–70] accompanied with increase in RI-RA for 20% [17–21] was initially observed, after treatment the load speed of kidney perfusion increased up to 72% [70–77], and the resistance decreased to 16% [10–14]. Cerebral blood circulation was characterized by orthostatic decrease in Vps-MCA by 22% [16–23] with the small load growth by 28% [26–30] accompanied with increase in RI-MCA by 30% [18–23]. After complex physical therapy the orthostatic Vps-MCA decrease was 12% [10–15], exercise increased to 34% [30–38], and RI-MCA increased only by 18% [16–24]. Placebo-therapeutic distinctions were statistically significant ($p<0,005$). **Conclusion.** Stressful Doppler-angiographic researches of aortic-renal and hemisphere blood circulation sensitively reflect efficiency of physiotherapeutic correction of system intra organ and brain vasomotor function. Use of the compact equipment and the simplified measurements, allow to integrate technologies into work of institutions of medical rehabilitation.

KEYWORDS: recovery treatment, bicycle-stressful, doppler, renal artery, middle cerebral artery.

CONFLICT OF INTEREST. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Введение

Всероссийская диспансеризация XXI века, характеризующаяся ранним выявлением артериальной гипертензии и системного атеросклероза, сформировала группы риска коронарных и цереброваскулярных событий, а заблаговременное адаптационно-восстановительное лечение малых гемодинамических нарушений наметило тенденцию стабилизации роста заболеваемости [1, 2, 3].

Учреждения курортологии и физиотерапии наращивают терапевтический потенциал благодаря государственной поддержке обозначенного медицинского направления, что требует углубленного исследования эффективности применяемых коррекционных технологий. Необходима разработка методов инструментально-диагностической объективизации результатов физиотерапевтической коррекции кардиоваскулярных болезней с применением чувствитель-

ных способов отслеживания компонентов паталогических процессов. Актуальность инновационного развития диагностического раздела реабилитационной медицины обусловлена очевидными недостатками традиционных способов определения итогов лечения. Многочисленные опросники, индексированные шкалы самонаблюдений, упрощенные методики гематологического анализа сегодня выглядят историческими [4, 5]. Фундаментальная стрессовая диагностика с регистрацией ЭКГ имеет свои ограничения и представляется недостаточно надежной, учитывая тенденцию внедрения визуализирующих технологий [6]. Наиболее доступным средством сердечно-сосудистой визуализации является диагностический ультразвук. Достоверно оценить динамическое состояние системного внутриорганного и церебрального кровообращения до и после физиотерапевтической коррекции вазомоторной функции можно при проведении стрессовых ультразвуковых исследований [7]. Таким образом, разработка недорогих, общедоступных, воспроизводимых, но в тоже время достаточно надежных методов визуально-нагрузочной оценки функционального состояния центрального и периферического кровообращения представляет собой важное направление развития диагностического компонента восстановительной медицины.

Совокупность изложенных аргументов позволила сформулировать цель исследования: разработать ультразвуковой вело-стрессовый метод исследования системного внутриорганного и церебрального кровообращения для оценки эффективности физиотерапевтической коррекции вазомоторной функции.

Материал и методы

В Сибирском федеральном научно-клиническом центре ФМБА России было выполнено исследование с включением двух групп пациентов, общее количество которых составило 92 человека.

Первая группа, сформированная для разработки метода оценки системной внутриорганной вазомоторной функции, состояла из 48 пациентов, 34 мужчин и 14 женщин в возрасте 50–63 лет (56 [52–60]). В данной совокупности у всех обследуемых лиц регистрировалось повышенное АД при офисном измерении, позволяющее устанавливать артериальную гипертензию (АГ) I–II степени по классификации ESC-2024 Guidelines [8]. Данные пациенты предъявляли типичные жалобы на эпизодическую головную боль ($n=32$; 67%), кардиальный дискомфорт и перебои в работе сердца ($n=22$; 46%), утомляемость ($n=18$; 38%), а у 30 (62%) человек регистрировалась избыточная масса тела.

Вторая группа обследуемых лиц, сформированная для нагрузочной оценки цереброваскулярной гемодинамики, состояла из 44 человек, 27 мужчин и 17 женщин в возрасте от 54 до 62 лет (58 [55–60]), и характеризовалась малыми неврологическими нарушениями. Повышенная утомляемость и хроническая усталость регистрировалась у 20 (45%) человек, снижение концентрации внимания и ухудшение памяти – у 14 (32%) пациентов, нарушение сна и эмоциональная неустойчивость – у 8 (18%) добровольцев. Кроме этого, почти у всех обследуемых лиц дан-

ной совокупности имели место хронические головные боли различной интенсивности и продолжительности, а также отмечалось повышенное АД.

С целью немедикаментозной коррекции нарушений гемодинамики и стабилизации неврологического статуса обе группы пациентов были направлены для проведения комплексной физиотерапии в поликлинику медицинской реабилитации [9]. Каждому пациенту было проведено не менее 10 процедур сухих углекислых ванн, аналогичное количество дарсонвализаций области головы и шеи, кислородных ванн и процедур магнитотерапии. У всех добровольцев отмечалась адекватная реакция на обозначенные воздействия, регистрировалось непродолжительное учащение пульса, малое повышение АД, легкое головокружение, проходящее в течение 15–20 минут отдыха.

До и после обозначенного восстановительного лечения проводились вело-стрессовые исследования кровообращения в виде стандартного нагрузочного протокола велоэргометрии (ВЭМ), которое у пациентов первой группы дополнялось этапным измерением кровотока в почечной артерии, а у пациентов второй группы – аналогичным измерением кровотока в средней мозговой артерии. Толерантность к физической нагрузке (ТФН) определялась по уровню достигнутой максимальной ступени ВЭМ (в ваттах) [10]. Регистрировалась ЧСС, измерялось систолическое АД (САД), рассчитывалось двойное произведение (ДП) по формуле $ДП = ЧСС \times САД / 100$.

Стрессовое исследование системной внутриорганной вазомоторной функции в устьевом сегменте почечной артерии (ПА) осуществлялось из транслумбальной позиции, выполнялось исходное измерение, а также этапный нагрузочный мониторинг пиковой скорости кровотока (V_{ps} -ПА) с расчетом индекса периферического сосудистого сопротивления (RI-ПА). Интегральность регистрации аортально-почечной перфузии достигалась за счет применения постоянно волнового доплеровского режима с установкой угла инсонации 200, позволяющего в одной спектрограмме изучать поток крови на всем протяжении почечной магистрали с захватом аорто-ренального соустья, сегментарных и кортикальных разветвлений [11].

Транскраниальное дуплексное сканирование средней мозговой артерии (СМА) осуществлялось через транстемпоральный доступ на каждом этапе ступенчато возрастающей ВЭМ, в проксимальном сегменте (M1) обозначенной магистрали, при использовании импульсно волнового доплеровского режима [12]. При аналогичной корректировке угла инсонации равной 200, подобным образом регистрировалась пиковая скорость кровотока (V_{ps} -СМА), а также вычислялся индекс сосудистой резистентности (RI-СМА).

Размещение оборудования для оценки почечного и полушарного кровообращения различалось, ситуационно оптимизировалось для каждого компонента многозадачного нагрузочного исследования.

Для динамической оценки почечного и мозгового кровотока были выбраны левая ПА и левая СМА. Левосторонний выбор был обусловлен размещением оборудования, разворотом ультразвукового аппарата и нахождением врача-оператора слева от пациента, выполняющего физическую нагрузку.

Аппаратное оснащение включало ультразвуковой сканер GE Healthcare VIVID E9 (США), оснащенный электронно-фазированным секторным датчиком M5S, а также компьютерный электрокардиограф Альтон 06 (Россия). Все приборы были интегрированы в рабочую станцию, которая дополнялась персональным компьютером, адаптированным для регистрации и обработки сигналов от диагностических приборов.

Права пациентов обеспечивались информационным и юридическим сопровождением диагностических процедур, включающим проведение разъяснений сути метода с документальным оформлением формуляра информированного согласия, составленного в соответствии с Хельсинкской декларацией ВМА для медико-биологических исследований.

Обработка статистического материала проводилась с использованием пакета программ MedCalc v. 20.104 (Бельгия). Для преодоления возможного математического искажения результатов, с учетом относительно малого количества переменных в группах, параметрические методы статистики не использовались. Данные указывались в виде медиан выборок с межквартильными диапазонами в формате (Me [QI–QIII]), где Me – медиана, QI и QIII – первая и третья квартиль, соответственно. Межгрупповые различия анализировались непараметрическим методом Манна – Уитни. В каждом случае рассчитывался уровень статистической значимости (p), «нулевые гипотезы» отвергались при $p < 0,05$.

Результаты

Стрессовое исследование было проведено каждому пациенту до и после коррекционного восстановительного лечения, однако у 3 (6%) обследуемых лиц первой группы и у 2 (4%) – второй группы нагрузочная проба не была доведена до субмаксимальной возрастной ЧСС из-за усталости, мышечного истощения или появления нарушений сердечного ритма. Значимых осложнений, требующих медикаментозного лечения не произошло ни в одном эпизоде. Вместе с тем, наблюдались «малые» аритмические побочные эффекты в виде редкой экстрасистолии, которая спонтанно исчезала после завершения ВЭМ.

В процессе исходного и контрольного тестирования у каждого пациента закономерно увеличивались показатели центральной гемодинамики: ЧСС, систолическое АД (САД) и двойное произведение (ДП). До проведения восстановительного лечения в первой группе ЧСС на пике ВЭМ возрастала на 77% [76–82], САД – на 40% [32–45], а ДП – на 150% [133–152]. Во второй группе в ответ на физическую нагрузку ЧСС увеличивалась на 74% [67–75], САД – на 38% [31–43], а ДП – на 140% [122–155]. Резервные возможности сердечно-сосудистой системы в группах пациентов были сопоставимы и достоверно не различались.

Аналогично выглядела и контрольное нагрузочное тестирование: нагрузочная ЧСС в первой группе возрастала на 88% [84–93], САД – на 42% [37–42], ДП – на 168% [142–168], во второй группе ЧСС увеличивалась на 78% [67–79], САД на 44% [38–46], ДП – на 155% [143–160]. Статистически достоверных межгрупповых различий не наблюдалось (см. таблицу 1).

Таблица 1
Динамическое изменение показателей центральной гемодинамики в процессе исходной и контрольной ВЭМ, до и после физиотерапии, в виде Me [QI–QIII]

Группы	Исх. ЧСС в мин.	Макс. ЧСС в мин.	Исх. САД mmHg	Макс. САД mmHg	Исх. ДП ед.	Макс. ДП ед.
ВЭМ до проведения физиотерапии						
I	80 [76–85]	142 [138–152]	125 [110–140]	175 [160–185]	100 [87–120]	250 [220–280]
II	83 [78–90]	144 [136–150]	130 [115–145]	180 [165–190]	108 [90–130]	260 [225–285]
ВЭМ после проведения физиотерапии						
I	77 [72–83]	145 [140–153]	130 [120–145]	185 [165–190]	100 [86–120]	268 [230–290]
II	80 [77–90]	143 [138–150]	135 [125–145]	195 [170–200]	109 [96–130]	278 [234–300]

Вместе с тем, комплексная физиотерапия оказала позитивное влияние на физическую работоспособность обследованных лиц. Толерантность к физической нагрузке (ТФН) в общей совокупности пациентов возросла на 9%, вело-стрессовые исследования переносились лучше. До комплексной физиотерапевтического лечения вазомоторной функции ТФН регистрировалась в диапазоне 78–108 Вт (90 [84–96]), а после – уже в пределах 80–120 Вт (98 [90–108]). Кроме этого были выявлены хронотропные плацебо-терапевтические различия, проявляющиеся в процентном увеличении нагрузочной ЧСС на 14% [10–14] ($p=0,001$).

В первой группе пациентов показатели аортально-почечного кровотока до и после восстановительного лечения вазомоторной функции оценивались на этапе ВЭМ средней интенсивности (60 Вт – женщины, 90 Вт мужчины), а также в условиях высокой интенсивности (90 Вт – женщины, 120 Вт – мужчины). До проведения комплексной физиотерапии нагрузочные значения аорто-ренальной перфузии на средней ступени ВЭМ характеризовались увеличением Vps-ПА на 32% [28–37], RI-ПА – на 10% [7,8–9,7]. В процессе аналогичных измерений на завершающей ступени ВЭМ, наблюдалось дальнейшее увеличение Vps-ПА на 68% [62–70] от исходной, а RI-ПА 20% [17–21]. Таким образом, у пациентов с АГ в ответ на физическую нагрузку происходило увеличение пиковой скорости почечного кровотока за счет возросшего сердечного выброса, сопровождаемое характерным нагрузочным симпатoadренальным спазмом междолевых и аркуатных артерий. Сосудистая резистентность ренальной перфузии дополнялась вазомоторной дисфункцией, являющейся основным патогенетическим компонентом артериальной гипертензии.

Комплексная физиотерапия позитивным образом отразилась на состоянии вазомоторной функции, адаптировала сосудистую реакцию на стресс. Нагрузка средней и высокой интенсивности уже характеризовалась более существенным ростом скорости кровотока, сопровождаемым менее выраженной резистентностью микрососудов. Так при нагрузке средней интенсивности Vps-ПА возрастала уже на 42% [37–44], а RI-ПА увеличивался лишь на 12% [10–14]. На завершающем этапе вело-стрессового исследования Vps-ПА возрастала уже на 72% [70–77], а RI-ПА увеличивался лишь на 16% [10–14].

Применение ультразвукового аппарата с высокой проникающей способностью и чувствительными доплеровскими режимами позволило успешно визуализировать СМА у пациентов II группы в 100% случаев с высоким качеством отображенных сигналов. В положении лежа Vps-СМА измерялась в пределах от 80 до 95 см/с (92 [85–95]), RI-СМА – от 0,5 до 0,68 (0,6 [0,5–0,64]). В положении сидя на велоэргометре Vps-СМА снижалась, в среднем, на 22% и регистрировалась в диапазоне 70–88 см/с (75 [77–85]), вертикальное положение вызывало закономерное перераспределение системного кровообращения, при этом RI-СМА существенно не изменялся и находился в пределах 0,5–0,68 (0,52 [0,5–0,55]).

В процессе ВЭМ средней интенсивности Vps-СМА возрос на 7% от исходных значения, а RI-СМА – на 20% [17–23], на этапе завершения нагрузочной части вело-стрессового исследования Vps-СМА закономерно увеличивалась на 28% [26–30] от исходных значений. Сосудистая резистентность возросла на 30% [18–23].

Адаптационное восстановительное лечение позитивным образом отразилось на анализируемых параметрах полушарного кровообращения за счет снижения тону

микрососудов головного мозга с тенденцией к нормализации церебральной перфузии. Теперь в ортостатической позиции Vps-СМА снижалась лишь 12% [10–15], а в процессе ВЭМ скорость кровотока возрастала на 34% [30–38]. Кроме этого, на этапе контрольного тестирования в меньшей степени повышалась сосудистая резистентность, так RI-СМА возрос лишь на 18% [16–24]. Плацебо-терапевтические различия, проанализированные с применением непараметрического критерия Манна – Уитни оказались статистически достоверными ($p < 0,005$).

Обозначенная регистрация вазомоторных трансформаций церебральной перфузии оказалась возможной лишь в процессе визуально-нагрузочного исследования.

Динамическое нагрузочное изменение Vps-ПА и RI-ПА, также Vps-СМА и RI-СМА в группах пациентов до и после комплексной физиотерапевтической коррекции вазомоторной функции представлено в таблице 2.

Характерные нагрузочные паттерны ренального (системного внутриорганного) и мозгового кровотока с их очевидными визуальными плацебо-терапевтическими различиями – на рисунках 1 и 2 (клинические примеры).

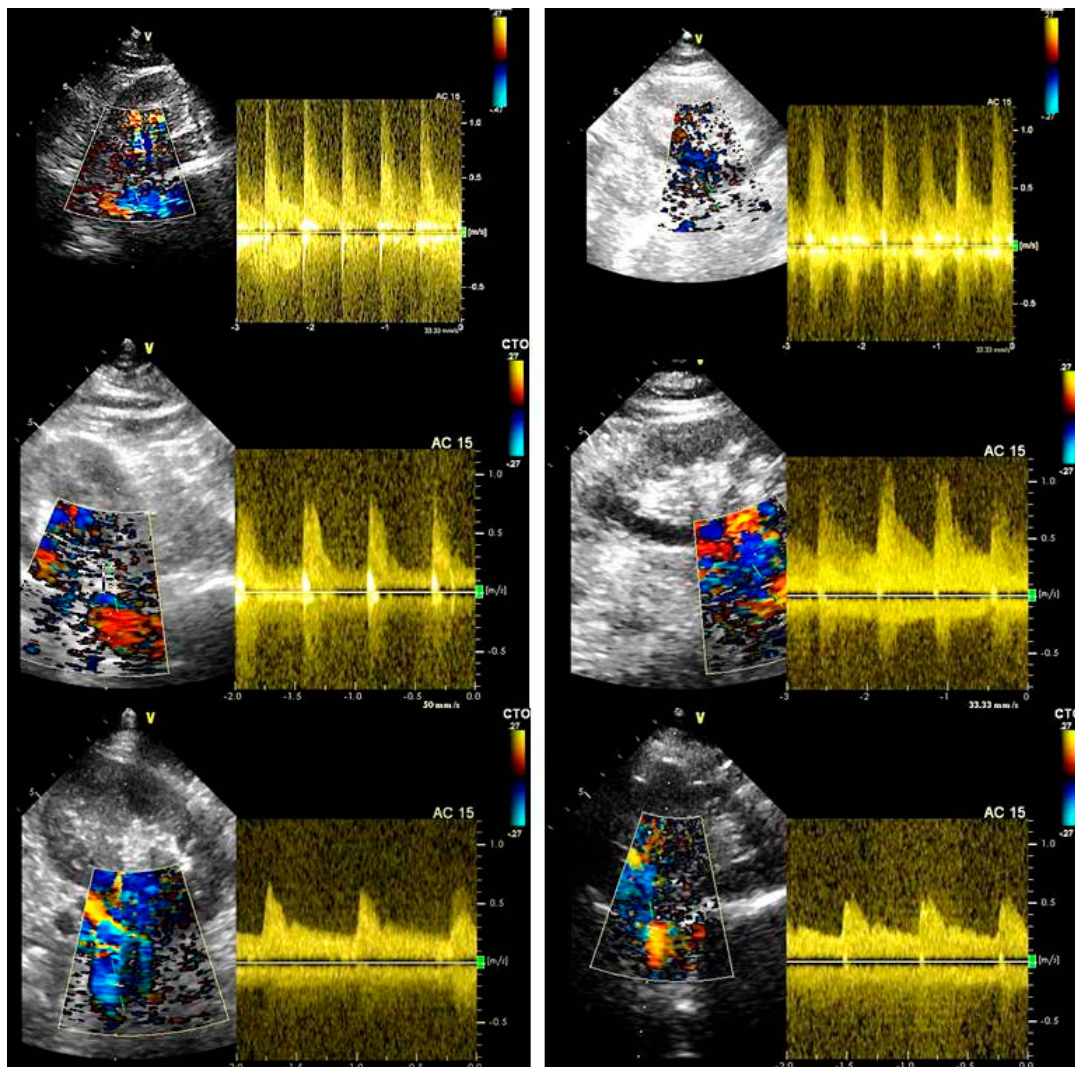


Рисунок 1. Нагрузочные паттерны почечного кровотока пациента К. 57 лет до (слева) и после (справа) проведения комплексной физиотерапевтической коррекции вазомоторной функции, где снизу вверх (покой – ВЭМ 60 Вт – ВЭМ 120 Вт)

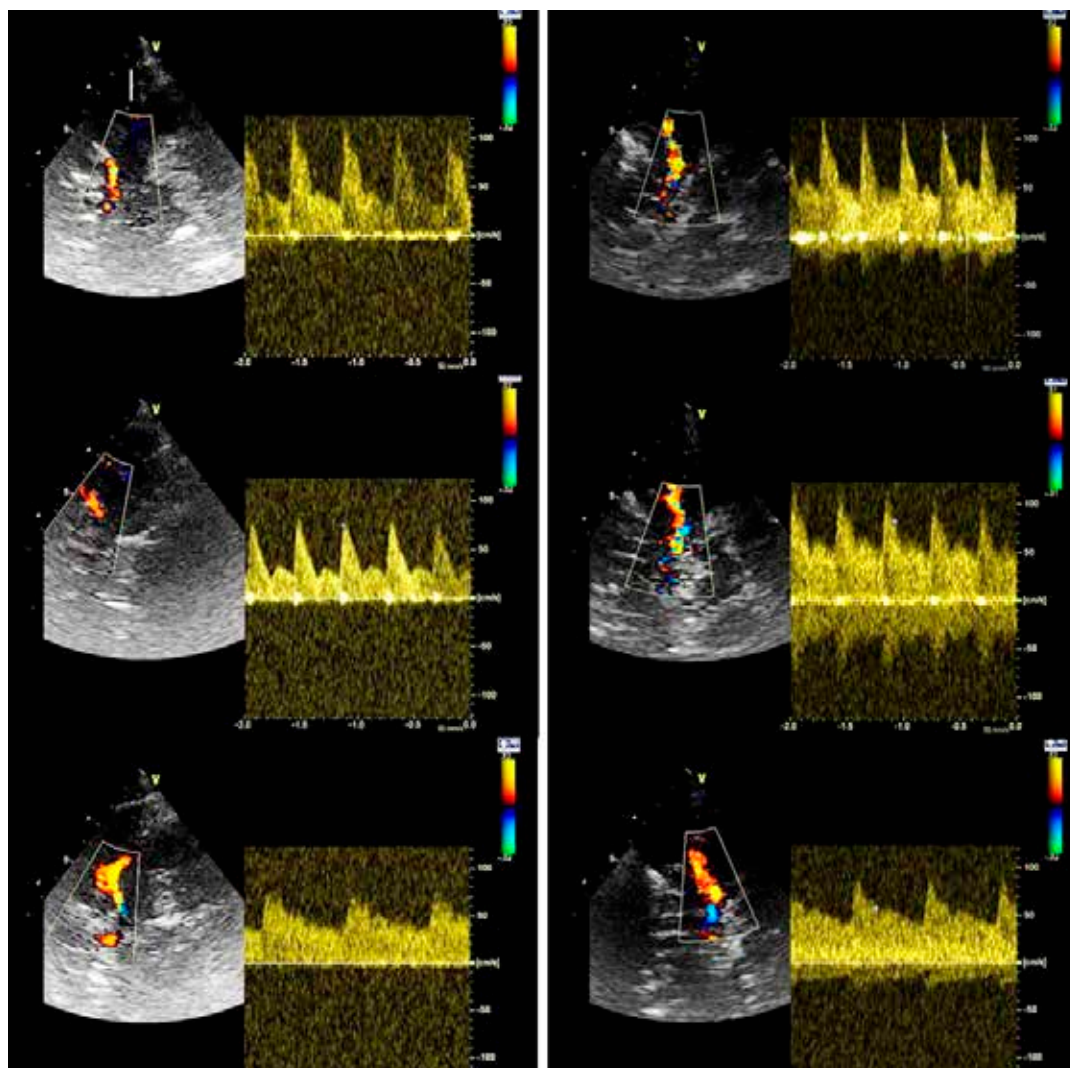


Рисунок 2. Нагрузочные паттерны кровотока в средней мозговой артерии пациента Р. 55 лет до (слева) и после (справа) проведения комплексной физиотерапевтической коррекции вазомоторной функции, где снизу вверх (покой – ВЭМ 60 Вт – ВЭМ 120 Вт)

Таблица 2
Нагрузочное изменение ренальной и мозговой перфузии в процессе ВЭМ до и после комплексной физиотерапии; где ПА – почечная артерия, СМА – средняя мозговая артерия, данные представлены в формате (Ме [QI–QIII])

Нагрузка Группы	Покой		ВЭМ 60–90 Вт		ВЭМ 90–120 Вт	
	Vps, см/с	RI	Vps, см/с	RI	Vps, см/с	RI
Кровоток в левой ПА до проведения комплексной физиотерапии						
I (стресс-ПА)	62 [55–65]	0,68 [0,62–0,72]	82 [72–80]	0,75 [0,7–0,78]	104 [92–103]	0,82 [0,78–0,84]
Кровоток в левой ПА после проведения комплексной физиотерапии						
I (стресс-ПА)	67 [65–71]	0,65 [0,66–0,7]	95* [86–100]	0,67* [0,65–0,7]	115* [102–112]	0,75* [0,68–0,74]
Кровоток в левой СМА до проведения комплексной физиотерапии						
II (стресс-СМА)	75 [67–72]	0,52 [0,5–0,55]	80 [72–83]	0,63 [0,6–0,67]	96 [69–102]	0,68 [0,65–0,72]
Кровоток в левой СМА после проведения комплексной физиотерапии						
II (стресс-СМА)	82* [65–70]	0,5 [0,48–0,53]	95* [92–100]	0,55* [0,52–0,6]	110* [102–112]	0,6* [0,54–0,62]

* – $p < 0,005$.

Обсуждение

Имманентной апорией процесса разработки и внедрения инновационных технологий физиотерапевтической коррекции вазомоторных дисфункций представляется недостаточно репрезентативная объективизация итогов

реабилитационных мероприятий. Отсутствие современных визуально-нагрузочных ультразвуковых методов оценки эффективности восстановительного лечения обусловлено недостаточными разработками в данном направлении.

В настоящее время наблюдается тенденция повсеместного внедрения в диагностический процесс средств ультразвуковой визуализации. Технические возможности диагностического ультразвука непрерывно совершенствуются, применяется стереометрическое моделирование видеоизображений в реальном времени, эндоскопический ультразвук, ткань-визуализирующие технологии, а также различные доплеровские методы оценки системного и регионального кровообращения. Кроме этого, аппараты нового поколения преодолевают костные ограничения и позволяют осуществлять визуально контролируемые исследования кровотока в сосудах малого диаметра с регистрацией критически важных скоростно-резистентных параметров органной перфузии.

При очевидной простоте, высокой мобильности аппаратуры, возможности многократных исследований без лучевой нагрузки на пациентов и медицинский персонал, обозначенные технологии позволяют регистрировать параметры кровообращения. Так проведенное исследование показало очевидную диагностическую надежность нагрузочных вело-стрессовых исследований аорто-рентального и церебрального кровообращения.

Для оценки системной внутриорганной вазомоторной функции, в качестве эталонных сосудов, были выбраны почечные артерии, относящиеся к числу первых ответвлений аорты, равноудаленных от ее устья и русла нижних конечностей. Транслюмбальная ультразвуковая визуализация с постоянно-волновой регистрацией спектра кровотока в вертикальном положении пациента, представляется простой, безопасной и общедоступной процедурой визуально-нагрузочной диагностики аорто-рентального кровообращения.

Более того, состояние почечного кровотока является критически важным компонентом патогенеза АГ, учитывая исключительную значимость ренин-ангиотензин-альдостероновой системы в формировании повышенного сосудистого тонуса и вазомоторных дисфункций. При этом в состоянии физического покоя почечная гемодинамика может выглядеть вполне нормальной, а патологические особенности проявляют себя лишь в условиях нагрузочного стресса.

Сегодня доказано, что при физических нагрузках высокой интенсивности происходит децентрализация системного кровообращения в пользу увеличения перфузии работающей скелетной мускулатуры [13, 14]. Вполне очевидно, что при всевозможных артериальных заболеваниях, нагрузочное снижение внутриорганной микроциркуляции проявляется значительно. Проведенное исследование подтвердило данную гипотезу, продемонстрировав высокий уровень роста сосудистой резистентности в ответ на физическую нагрузку у пациентов с артериальной гипертензией. Кроме этого бала зафиксирована эффективность комплексной физиотерапии АГ, продемонстрировав позитивные изменения гипертонических паттернов сосудодвигательных нагрузочных реакций.

Функциональная ригидность сосудов головного мозга при артериальной гипертензии вполне очевидна, оптимальным средством его анализа представляется динами-

ческая регистрация параметров кровотока в СМА. Выбор эталонного сосуда базируется на его протяженности и разветвленности, а также на кровоснабжении внушительного объема функционально активной коры и подкорковых структур головного мозга, контролирующих движения человека.

Исследование продемонстрировало малую вазомоторную реакцию полушарного кровообращения у пациентов с АГ, так в процессе физической нагрузки наблюдалось существенное повышение тонуса микрососудов, что объясняется функциональной ригидностью сосудистых стенок. Вместе с тем, анализ показал, что коррекционная физиотерапия трансформирует обозначенное состояние и увеличивает церебральную перфузию. При этом регистрация минимальных трансформаций вазомоторного статуса оказалась возможной лишь в процессе разработанных методов визуально-нагрузочной диагностики.

Заключение

Стрессовые доплер-ангиографические исследования аорто-рентального и полушарного кровообращения чувствительно отражают эффективность физиотерапевтической коррекции системной внутриорганной и мозговой вазомоторной функции. Применение компактного оборудования и упрощенных измерений, позволяют интегрировать разработанные технологии в работу кабинетов функциональной диагностики учреждений медицинской реабилитации.

Список литературы / References

1. Захарченко О.О., Шикина И.Б., Терентьева Д.С. Итоги диспансеризации населения старше 60 лет в Российской Федерации в 2016–2022 гг. // Профилактическая и клиническая медицина. 2023;3(88):103–114. Zakharchenko O.O., Shikina I.B., Terenteva D.S. Results of the medical examination of the adult population over 60 years in the Russian Federation (2016–2021) // Preventive and clinical medicine. 2023;3(88):103–114. [In Russ]
2. Сененко А.Ш., Савченко Е.Д. Динамика распределения взрослого населения по группам здоровья за период 2013–2021 гг. // Социальные аспекты здоровья населения. 2022;68(6):2–7. Senenko A.Sh., Savchenko E.D. Dynamics in distribution of adult population by health group in 2013–2021 // Social aspects of health of the population. 2022. 68(6):2–7. [In Russ]
3. Драпкина О.М., Дроздова Л.Ю., Ипатов П.В., и др. Диспансерное наблюдение лиц второй группы здоровья с высоким и очень высоким сердечно-сосудистым риском. Методические рекомендации // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2024;23(6):4076. Drapkina O.M., Drozdova L.Yu., Ipatov P.V., et al. Follow-up monitoring of second health status group persons with high and very high cardiovascular risk. Guidelines // Cardiovascular Therapy and Prevention. 2024;23(6):4076 [In Russ.]
4. Жайбергенова Ж.Б., Абдирашитова Г.С. Реабилитация больных с артериальной гипертензией // Экономика и социум. 2020;10(77):464–473. Zhaibergenova Zh.B., Abdirashitova G.S. Rehabilitation of patients with arterial hypertension // Economy and society. 2020;10(77) 464–473. [In Russ.]
5. Долгих В.Т., Иванов К.П. Индексы функционирования сердечно-сосудистой системы и адаптационный потенциал у пациентов после ишемического инсульта и реабилитации // Вестник СурГУ. Медицина. 2025;18(1):81–92. Dolgikh V.T., Ivanov K.P. Indexes of cardiovascular system functioning and adaptation potential in patients after cerebral infarction and rehabilitation. Vestnik SurGU. Meditsina. 2025;18(1):81–92. [In Russ.]
6. Михайлов В.М. Нагрузочное тестирование под контролем ЭКГ. М.: 2023. 456 с. Mikhaylov V.M. Stress testing under control of the ECG. M.: 2023. 456 p. [In Russ.]
7. Авхименко В.А., Тривоженко А.Б. Диагностические возможности велоэргометрической стресс-эхокардиографии, дополненной оценкой нагрузочной вазомоторной функции // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2023;4:22–27. Avkhimenko V.A., Trivozhenko A.B. Diagnostic opportunities of bicycle-exercise stress-echocardiography, the complemented assessment of exercises-induced vasa motion function // Kremlin medicine. Clinical messenger. 2023;4:22–27. [In Russ.]
8. McEvoy J.W., cCarthy, C.P., Bruno R.M., Brouwers S., Canavan M. D. et al. 2024 ESC Guidelines for the management of elevated blood pressure and hypertension: Developed by the task force on the management of elevated

- blood pressure and hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) // *European Heart Journal*. 2024; 45(38): 3912–4018.
9. Абусева Г.Р., Антипенко П.В., Арьков В.В. Физическая и реабилитационная медицина: Национальное руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2020; 688 с. Abuseva G.R., Antipenko P.V., Arkov V.V. Physical and rehabilitation medicine: National leaders. M.: GEOTAR-media. 2020; 688 p. [In Russ.]
 10. Лупанов В.П. Выбор неинвазивной нагрузочной пробы в диагностике ишемической болезни сердца (научный обзор) // *Медицинский совет*. 2018;16: 62–70. Lupanov V.P. The choice of noninvasive load test in diagnosis of coronary heart disease (scientific review) // *Medical council*. 2018;16:62–70. [In Russ.]
 11. Патент № 2823687 Российская Федерация, МПК А61В 5/02, А61В 5/021, А61В 5/026. Способ диагностики гипертонической болезни: опубл. 29.07.2024 / Авхименко В.А., Тривоженко А.Б.
 - Patent No. 2823687 Russian Federation, MPK A61B 5/02, A61B 5/021, A61B 5/026. Way of diagnosis of a hypertension: publ. 29.07.2024 / V.A. Avkhimenko, A.B. Trivozhenko. [In Russ.]
 12. Weston M.E., Barker A.R., Tomlinson O.W. et al. The effect of exercise intensity and cardiorespiratory fitness on the kinetic response of middle cerebral artery blood velocity during exercise in healthy adults // *Appl Physiol*. 2022;133(1):214–222.
 13. Rocha M.P., Gliemann L. Exercise and the kidneys: How does renal blood flow behave when measured during exercise? // *Physiol Rep*. 2022;10(19): e15485.
 14. Kawakami S., Yasuno T., Kawakami S. et al. The moderate-intensity continuous exercise maintains renal blood flow and does not impair the renal function // *Physiological Reports*. 2022;10(15):e15420.

Статья поступила / Received 23.07.2025
Получена после рецензирования / Revised 29.07.2025
Принята в печать / Accepted 29.07.2025

Информация об авторах

Виктор Александрович Авхименко¹ – к.м.н., генеральный директор
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2178-601X>
Тривоженко Александр Борисович¹ – д.м.н., заведующий отделением функциональной диагностики, профессор кафедры клинической физиологии и функциональной диагностики
E-mail: borisah@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6449-9523>
Гамеева Елена Владимировна² – д.м.н., и. о. генерального директора
E-mail: info@mik-fmba.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8509-4338>

¹ ФГБУ Сибирский федеральный научно-клинический центр ФМБА России, Северск, Томская область, Россия

² ФГБУ Федеральный научно-клинический центр медицинской реабилитации и курортологии ФМБА России, Москва, Россия

Контактная информация:

Тривоженко Александр Борисович. E-mail: borisah@yandex.ru

Author information

Viktor. A. Avkhimenko¹ – PhDs in Medicine., Director General
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2178-601X>
Alexandr B. Trivozhenko¹ – Manager of functional diagnostics department; Professor of Academy of postdegree formation
E-mail: borisah@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6449-9523>
Elena V. Gameeva² – Dr. Sci. Med, Acting director general
E-mail: info@mik-fmba.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8509-4338>

¹ Siberian Federal Scientific and Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Seversk, Tomsk region, Russia

² Federal Scientific and Clinical Center of Medical Rehabilitation and Balneology of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

Contact information

Alexandr B. Trivozhenko. E-mail: borisah@yandex.ru

Для цитирования: Авхименко В.А., Тривоженко А.Б., Гамеева Е.В. Стрессовая доплер-ангиография в оценке эффективности физиотерапевтической коррекции вазомоторной функции. *Медицинский алфавит*. 2025;(24):28–34. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-24-28-34>

For citation: Avkhimenko V.A., Trivozhenko A.B., Gameeva E.V. Stressful Doppler-angiography in assessment of efficiency of physiotherapeutic correction of vasomotor function. *Medical alphabet*. 2025;(24):28–34. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-24-28-34>

