

## МОЗГОВОЕ КРОВООБРАЩЕНИЕ ЗДОРОВЫХ ЛЮДЕЙ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ТОНУСА ЦЕРЕБРАЛЬНЫХ АРТЕРИЙ В КЛИНО- И ОРТОСТАЗЕ

*И. Б. Исупов<sup>1</sup>, В. Б. Мандриков<sup>2</sup>, Е. П. Горбанева<sup>3</sup>, В. А. Лиходеева<sup>3</sup>,  
Г. А. Севрюкова<sup>1</sup>, Ю. А. Устькачкинцев<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Волгоградский государственный университет,

<sup>2</sup>Волгоградский государственный медицинский университет,

<sup>3</sup>Волгоградская государственная академия физической культуры,

<sup>4</sup>Южный федеральный университет

Типологический анализ мозгового кровотока практически здоровых лиц выявил негативные изменения тонуса резистивных мозговых артерий и регионарного оттока крови в гипо- и гипертоническом типах церебральной гемодинамики в ортостазе, что может иметь значение для ранней диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы.

*Ключевые слова:* церебральная гемодинамика, системное кровообращение, реоэнцефалография, ортостаз, тонус артерий, венозный отток.

## CEREBRAL CIRCULATION IN HEALTHY INDIVIDUALS WITH DIFFERENT TYPES OF CEREBRAL MICROCIRCULATION IN THE WEDGE AND ORTHOSTASIS

*I. B. Isupov<sup>1</sup>, V. B. Mandrikov<sup>2</sup>, E. P. Gorbaneva<sup>3</sup>, V. A. Likhodeeva<sup>3</sup>,  
G. A. Sevrucova<sup>1</sup>, Yu. A. Ustkachintsev<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Volgograd State University,

<sup>2</sup>Volgograd State Medical University,

<sup>3</sup>Volgograd State Physical Education Academy,

<sup>4</sup>Southern Federal University

The cohort analysis of cerebral circulation in healthy individuals revealed negative changes in the tone of resistance cerebral arteries as well as in regional blood flow in hypo- and hypertonic types of cerebral hemodynamics in orthostasis, which are thought to play a critical role in early diagnostics of cardiovascular diseases.

*Key words:* cerebral hemodynamics, systemic circulation, rheoencephalography, orthostasis, vascular tone, venous outflow.

Обеспечение адекватного метаболическим потребностям головного мозга человека уровня церебрального кровотока является результатом исключительно сложного, пластичного взаимодействия системных и местных механизмов регуляции тонуса регионарных артерий распределения и сопротивления [6]. Важнейшим условием оптимального кровоснабжения головного мозга является соответствие артериального притока крови в регион ее венозному оттоку. Формирование регионарного венозного застоя крови в совокупности с нарушениями регуляции тонуса резистивных церебральных артерий и артериол является центральным патогенетическим звеном развития ряда сердечно-сосудистых заболеваний — симптоматических гипертензий, нейроциркуляторных дистоний, мигреней [1].

Нормы величин кровенаполнения головного мозга, тонуса церебральных артерий у практически здоровых людей неоднородны, индивидуальны в условиях физиологического покоя, что затрудняет интерпретацию диагностической информации [3, 4]. Учитывая это, одним из возможных приемов преодоления проблемы ошибок интерпретации гетерогенности нормативов церебрального кровообращения является анализ особенностей регионарного кровотока в типах системного кровообращения [2]. Однако типология системной гемодинамики не позволяет

углубленно исследовать специфику механизмов ауторегуляции тонуса мелких церебральных сосудов. На наш взгляд, дифференцированный подход к исследованиям мозгового кровообращения более продуктивен на основе определения типов или вариантов собственно органного кровотока [3, 4, 5, 7]. В качестве одного из методически наиболее просто реализуемых функциональных воздействий, позволяющих исследовать реактивность кардиогемодинамики, широко используется ортостатическая проба (ОП), которая, вызывая гравитационное перераспределение крови в организме человека, способствует развитию существенных изменений деятельности сердца и тонуса сосудов большого круга кровообращения [2].

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение типологических особенностей церебрального кровообращения и параметров системной гемодинамики в них у практически здоровых лиц женского пола в условиях клиностаза и на 1-й минуте активной ортостатической пробы.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Обследовано 30 практически здоровых женщин возраста ( $30,5 \pm 1,7$ ) лет. Обследование проведено натощак, в первой половине дня. Обследование

выполнено в два этапа: а) в условиях клиностаза (физиологический покой); б) в конце 1-й минуты после самостоятельного перехода в ортостатическое положение. Регистрация реоэнцефалограмм (РЕГ) выполнена в битемпоральном отведении синхронно с ТТИРПГ. Определялись: реографический систолический индекс (РСИ, Ом), максимальная скорость быстрого (МСБН Ом/с) и средняя скорость медленного кровенаполнения артерий головного мозга (ССМН, Ом/с), а также — дикротический (ДИ, %) и реографический диастолический (РДИ, %) индексы. Веноартериальное (систолическое) отношение (В/А, %) — параметр, характеризующий тонус церебральных артериол и (ВО, %) — показатель венозного оттока крови из сосудистой системы головного мозга вычислялись по методу И. В. Соколовой с соавт. (1987). На обоих этапах во всех типах мозгового кровообращения определялись систолическое, диастолическое, пульсовое, среднее гемодинамическое давление (АДС, АДД, АДП, СГД; мм рт. ст. соответственно). Исследования системной гемодинамики проводились посредством трансторакальной импедансной реоплетизмографии (ТТИРПГ). Вычислялись систолический объем крови (СОК, мл), частота сердечных сокращений (ЧСС, мин<sup>-1</sup>), минутный объем кровообращения (МОК, мл/мин), сердечный индекс (СИ, л/м<sup>2</sup>/мин), объемная скорость выброса крови левым желудочком сердца (ОСВ, мл/с), общее периферическое сосудистое сопротивление (ОПС, дин\*см<sup>-5</sup>\*с). Статистическая обработка данных выполнена в среде «EXCEL 2013». Рассчитывались средние арифметические величины параметры (М), ошибка средних (m). Осуществлялся парный линейный корреляционный анализ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов исследования мозгового кровообращения в клиностазе показал, что величины В/А обследуемых лиц имели существенный индивидуальный разброс значений — от 13,4 % до 104,5 % . Методом сигмальных отклонений [3] выделены *нормотонический* (НОТ), *гипотонический* (ГОТ), *гипертонический* (ГРТ) типы церебральной гемодинамики.

Нормотонический тип (n = 8) характеризовался величинами В/А в диапазоне 52,2 — 63,2 %; гипотонический тип (n = 12) имел диапазон В/А 13,4 — 47,7 %; гипертонический тип (n = 10) охватывал диапазон В/А 71,8 — 104,5 %. Средние величины В/А в обозначенных типах достоверно различались (табл. 1). Установлено, что величины параметров суммарного пульсового кровенаполнения церебрального бассейна (РСИ), а также тонуса артерий (МСБН, ССМН) у обследованных женщин с гипо- и гипертоническим типами существенно отличались от значений аналогичных показателей с нормотоническим типом гемодинамики. Однако величины церебрального оттока крови в клиностазе (судя по величинам ВО достоверно более низким, чем в НОТ) были более благоприятны в гипертоническом типе, имевшем в покое высокий тонус церебральных резистивных артерий. В НОТ в клиностазе выявлены значимые прямые корреляции В/А — ЧСС (r = 0,80), В/А — АДС (r = 0,84), В/А — АДП (r = 0,89), В/А — СГД (r = 0,74). Следовательно, при учащении ритма сердца, возрастании системного АД механизмы ауторегуляции мозгового кровообращения реализуются

Таблица 1

**Типологические параметры церебрального кровообращения  
и показателей системной гемодинамики женщин в клиностазе (М+m)**

Вид анализа	Показатель	Тип церебральной гемодинамики		
		НОТ (n = 8)	ГОТ (n = 12)	ГРТ (n = 10)
А	АДС, мм рт. ст.	111,75 ± 4,03	112,33 ± 2,89	112,80 ± 2,35
	АДД, мм рт. ст.	71,00 ± 2,62	74,33 ± 1,49	74,40 ± 1,57
	АДП, мм рт. ст.	40,75 ± 1,96	38,00 ± 2,63	38,40 ± 1,76
	СГД, мм рт. ст.	84,58 ± 3,02	87,00 ± 1,65	87,20 ± 1,67
Б	СОК, мл	80,54 ± 6,78	82,52 ± 7,81	75,28 ± 7,42
	ЧСС, мин <sup>-1</sup>	66,88 ± 3,66	66,44 ± 3,33	66,87 ± 3,02
	МОК, мл/мин	5281,8 ± 332,3	5327,4 ± 439,3	4976,9 ± 482,5
	СИ, л/м <sup>2</sup> /мин	3,16 ± 0,22	3,12 ± 0,25	3,15 ± 0,31
	ОСВ, мл/с	249,7 ± 21,1	257,6 ± 22,5	239,7 ± 22,0
	ОПС, дин*см <sup>-5</sup> *с	1315,5 ± 88,8	1394,5 ± 102,7	1537,2 ± 169,8
В	РСИ, Ом	0,092 ± 0,009	0,081 ± 0,006	0,089 ± 0,004
	МСБН, Ом/с	667,34 ± 66,94	590,57 ± 47,22	630,81 ± 27,94
	ССМН, Ом/с	270,09 ± 33,99	235,90 ± 22,43	246,63 ± 9,88
	ДИ, %	55,86 ± 1,16	36,21 ± 3,22*	73,23 ± 3,32*
	РДИ, %	62,61 ± 1,97	44,37 ± 3,37*	76,96 ± 3,48*
	В/А, %	57,92 ± 1,33	38,96 ± 3,16*	78,71 ± 2,96*
	ВО, %	36,21 ± 5,54	26,76 ± 4,26	25,59 ± 4,41*

*Примечание.* 1. Вид анализа — буквами обозначены: А — системное артериальное давление; Б — системная гемодинамика; В — церебральное кровообращение.

2. Знаком «\*» отмечены показатели, достоверно отличающиеся от своих значений у женщин с нормотоническим типом (p < 0,01 и более).

в форме констрикции резистивных артерий региона. Это способствует ограничению притока крови в церебральное сосудистое русло и, вероятно, противодействует нарушению баланса «регионарный приток — отток крови». В ГОТ выявлены обратные корреляции ВО — СОК ( $r = -0,74$ ), ВО — МОК ( $r = -0,75$ ) и прямая взаимосвязь ВО — ОПС ( $r = 0,79$ ), что является доказательством эффективности регуляции оттока крови из церебрального бассейна. В ГРТ обнаружена прямая взаимосвязь ВО — ЧСС ( $r = 0,76$ ), которая может негативно воздействовать на отток крови из сосудистой системы головного мозга при учащении ритма сердца. В ГРТ параметр В/А не коррелировал ни с одним из показателей системной гемодинамики.

На 1-й минуте после проведения ортопробы (ОП) у всех женщин, вне зависимости от типа церебрального кровообращения обнаружены четко выраженные типологические различия направленности изменений тонуса церебральных артерий распределения, а также сопротивления (табл. 2). Со стороны системной гемодинамики отмечено достоверное снижение АДС, АДП, СОК, МОК (во всех случаях  $p < 0,01$ ). Существенное возрастание ЧСС и ОПС частично компенсировало снижение сердечного выброса. Величины СГД в типах церебрального кровообращения достоверно не отличались от значений в клиностазе (табл. 1 и 2). После проведения ортопробы в *нормотоническом* типе отмечалось уменьшение МСБН и ССМН на 9,2 % ( $p < 0,05$ ) и 19,8 % ( $p < 0,01$ ) соответственно, что свидетельствовало о повышении тонуса крупных артерий головного

мозга и снижении притока крови в регион: РСИ уменьшился на 16,3 % ,  $p < 0,01$ .

*Гипотонический* тип характеризовался значительным возрастанием ДИ на 69,1 % ( $p < 0,001$ ) и В/А на 58,7 % ( $p < 0,001$ ), что являлось доказательством сильной *констрикции* резистивных мозговых артерий. Несмотря на некоторое ограничение притока крови в церебральный бассейн (РСИ снизился на 9,9 % ( $p < 0,05$ ), в ГОТ обнаружены признаки функционального ухудшения оттока крови из головного мозга: ВО возрос на 25,4 % ( $p < 0,05$ ). В *гипертоническом* типе выявлена тенденция *дилатации* резистивных артерий головного мозга: ДИ и В/А снизились соответственно на 9,0 % ( $p < 0,07$ ) и 13,5 % ( $p < 0,06$ ). Расширение сосудов микроциркуляторного звена в сочетании с тахикардией, по-видимому, являлось причиной ухудшения оттока крови из церебрального бассейна — параметр ВО в ГРТ возрос на 39,1 % ( $p < 0,01$ ). В НОТ на 1-й минуте ОП сформированы обратные корреляции ВО-СОК ( $r = -0,78$ ), ВО-МОК ( $r = -0,87$ ), прямая взаимосвязь ВО-ОПС ( $r = 0,77$ ). В ГОТ взаимосвязи показателей системной и церебральной циркуляции крови выражены весьма незначительно — в форме слабой прямой корреляции ВО — ЧСС ( $r = 0,67$ ). Следовательно, при ортостатическом увеличении ЧСС в ГОТ повышалась вероятность ухудшения оттока крови из церебрального бассейна. В ГРТ выявлена прямая корреляция между ВО и ЧСС ( $r = 0,79$ ) и обратная взаимосвязь между ВА и ЧСС ( $r = -0,83$ ), свидетельствующая о функциональной дисрегуляции в регионарной гемодинамике. Изучение

Таблица 2

**Типологические параметры церебрального кровообращения и показателей системной гемодинамики женщин на 1-й минуте ОП ( $M \pm m$ )**

Вид анализа	Показатель	Тип церебральной гемодинамики		
		НОТ	ГОТ	ГРТ
А	АДС, мм рт. ст.	104,50 ± 3,98 *	105,67 ± 2,48 *	107,00 ± 3,39 *
	АДД, мм рт. ст.	75,00 ± 2,75	75,33 ± 1,54	77,40 ± 1,43 *
	АДП, мм рт. ст.	29,50 ± 3,25 *	30,33 ± 1,63 *	29,60 ± 2,84 *
	СГД, мм рт. ст.	84,83 ± 2,82	85,44 ± 1,75	87,27 ± 1,84
Б	СОК, мл	46,39 ± 3,69 *	47,35 ± 4,71 *	45,81 ± 3,71 *
	ЧСС, мин <sup>-1</sup>	82,60 ± 2,56 *	78,02 ± 2,72 *	81,08 ± 3,86 *
	МОК, мл/мин	3797,4 ± 264,9 *	3589,5 ± 284,3 *	3674,9 ± 298,6 *
	СИ, л/м <sup>2</sup> /мин	2,27 ± 0,17 *	2,12 ± 0,17 *	2,31 ± 0,18 *
	ОСВ, мл/с	190,0 ± 15,3 *	187,5 ± 15,7 *	190,6 ± 14,6 *
	ОПС, дин*см <sup>-5</sup> *с	1843,7 ± 131,6 *	2054,5 ± 181,3 *	1989,0 ± 130,5 *
В	РСИ, Ом	0,077 ± 0,007 *	0,073 ± 0,007 *	0,080 ± 0,008
	МСБН, Ом/с	606,16 ± 51,96 *	592,92 ± 47,39	620,85 ± 62,37
	ССМН, Ом/с	216,65 ± 26,24 *	217,51 ± 25,50	221,41 ± 27,13
	ДИ, %	57,29 ± 6,00	61,17 ± 5,32 *	66,56 ± 8,40
	РДИ, %	71,09 ± 2,46 *	73,45 ± 4,39 *	77,44 ± 6,35
	В/А, %	58,32 ± 6,31	61,86 ± 5,80 *	68,13 ± 8,30
	ВО, %	32,67 ± 3,62	33,62 ± 2,06 *	35,64 ± 3,62 *

*Примечание.* 1. Вид анализа — буквами обозначены: А — системное артериальное давление; Б — системная гемодинамика; В — церебральное кровообращение.

2. Знаком «\*» отмечены показатели, достоверно отличающиеся от своих значений, определенных в клиностазе ( $p < 0,05$  и более).

индивидуальной динамики В/А и ВО в типах подтвердило результаты анализа средних величин данных параметров (рис.).

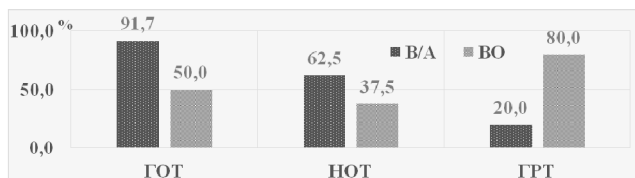


Рис. Индивидуальная встречаемость повышения тонуса мелких церебральных артерий (возрастание В/А) и ухудшения условий регионарного оттока крови (возрастание ВО) у женщин с различными типами церебральной гемодинамики в ортостазе (в % к общему числу лиц в каждом типе)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

*Нормотонический* тип характеризуется наиболее благоприятной динамикой параметров церебрального кровообращения в ортостазе: соотношение «приток крови в регион — отток крови из региона» у большинства обследуемых при перемене положения тела в пространстве не нарушаются. Для *гипертонического* типа характерно снижение тонуса церебральных артерий сопротивления и артериол, функциональные нарушения оттока крови из региона головного мозга. В *гипотоническом* типе при выполнении ортопробы чаще всего распространен противоположный вариант реакций церебральных артериальных микрососудов — констрикция резистивных артерий региона, сочетающийся со снижением церебрального кровенаполнения и ухудшением условий регионарного оттока крови. Для углубленных исследований индивидуальной *направленности и выраженности* изменений церебрального кровотока при выполнении гравитационных функциональных проб необходимо определять тип микроциркуляции головного мозга обследуемых. Типологические характе-

ристики тонуса резистивных артерий головного мозга следует учитывать при функциональной диагностике сердечнососудистой патологии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гогин, Е. Е. Гипертоническая болезнь: монография / Е. Е. Гогин. — М., 1997. — 400 с.
2. Давыдов, В. Ю. Морфофункциональный статус и церебральная гемодинамика женщин, занимающихся оздоровительной аэробикой, различных конституциональных типов в клино- и ортостазе / В. Ю. Давыдов, И. Б. Исупов, Е. П. Горбанева // Теория и практика физической культуры. — 2005. — № 1. — С. 47.
3. Занкович, А. А. Особенности мозгового кровообращения студентов с различными типами церебральной микроциркуляции / А. А. Занкович, И. Б. Исупов // Морфология. — 2008. — Т. 133, № 2. — С. 50.
4. Исупов, И. Б. Системный анализ церебрального кровообращения человека: монография / И. Б. Исупов. — Волгоград: Перемена, 2001. — 139 с.
5. Лиходеева, В. А. Диагностика функционального состояния спортсменов в лабораторных и естественных условиях: монография / В. А. Лиходеева, В. Б. Мандриков, А. А. Спасов, И. Б. Исупов. — Волгоград: Изд-во ВолгГМУ, 2012. — 132 с.
6. Мчедlishvili, Г. И. Функция сосудистых механизмов головного мозга. / Г. И. Мчедlishvili. — Л.: Наука, 1968. — 203 с.
7. Панина, Н. Г. Церебральное кровообращение как индикатор физической работоспособности спортсмена / Н. Г. Панина, И. Б. Исупов, Г. А. Ушанов // Актуальные вопросы науки. — 2015. — № XVIII. — С. 176—178.

## Контактная информация

**Исупов Игорь Борисович** — д. м. н., доцент кафедры биологии института естественных наук, Волгоградский государственный университет, e-mail: igor.isupov.66@outlook.com