Дата публикации: 01.03.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_01_2
УДК 612.66; 612.17; 612.133

Publication date: 01.03.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_01_2
UDC 612.66; 612.17; 612.133

КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВОЗРАСТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ, ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ ГЕМОДИНАМИКИ И МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ У ЛИЦ БЕЗ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

И.В. Андреева[1], А.С. Григорьев[2]
[1]Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского», г. Москва, Россия
[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Рязань, Россия

Аннотация. Цель исследования – изучить возрастные взаимосвязи между показателями центральной, периферической гемодинамики, микроциркуляции и функции эндотелия у здоровых людей до и после физической нагрузки. Исследование проведено на 136 взрослых здоровых людях, разделенных на возрастные группы. Проводили ультразвуковую допплерометрию общих сонных и позвоночных артерий, показатели гемодинамики исследовали с помощью компрессионной осциллометрии, микроциркуляции – методом лазерной допплеровской флоуметрии. У людей, не страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями, факторы сосудистого старения (увеличение толщины комплекса интима-медиа, скорость распространения пульсовой волны, общее сосудистое сопротивление, повышение артериального давления, снижение фракции выброса, сердечного индекса, сердечного объема и другие) не являются значимыми. Статистически значимая взаимосвязь между показателями центральной, периферической гемодинамики и системы микроциркуляции в возрастном аспекте отсутствует.
Ключевые слова: гемодинамика, осциллометрия, ультразвуковая допплерометрия, лазерная допплеровская флоуметрия, возрастные изменения.

COMPLEX STUDY OF AGE FEATURES OF CENTRAL, PERIPHERAL HEMODYNAMICS AND MICROCIRCULATION IN PEOPLE WITHOUT CARDIOVASCULAR DISEASES

I.V. Andreeva[1], A.S. Grigor'ev[2]
[1]Moscow Regional Research Institute named after M.F. Vladimirsky, Moscow, Russia
[2]Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov, Ryazan, Russia

Abstract. The aim of the study was to examine the age-related correlations between the indices of central and peripheral hemodynamics, microcirculation and endothelial function in healthy people before and after physical activity. The study was conducted on 136 adult healthy patients divided into age groups. All the patients underwent ultrasound doppler velocimetry of the common carotid and vertebral arteries, the indices of hemodynamics were examined with compression oscillometry, microcirculation – with laser doppler flowmetry. In people without cardiovascular diseases, vascular aging factors (an increase in the thickness of the intima-media complex, the rate of pulse wave propagation, total vascular resistance, increased blood pressure, decreased ejection fraction, cardiac index, cardiac volume, and others) are not significant. There is no statistically significant connection between the indices of central, peripheral hemodynamics and the microcirculation system in the age aspect.
Keywords: hemodynamics, oscillometry, ultrasound doppler velocimetry, laser doppler flowmetry, age-related changes.

Введение. Одним из актуальных вопросов современной физиологии кровообращения является изучение особенностей яния возраста на параметры центральной, периферической гемодинамики и микроциркуляции. В последние годы активно обсуждается концепция раннего сосудистого старения (Early Vascular Aging – EVA-синдром) [1-3]. Этот термин впервые был введен в практику в 2005-2006 годах в рамках исследования BLSA [4]. Было отмечено, что возрастные изменения стенки артерий у разных людей происходят с разной скоростью, определяя индивидуальный для каждого человека профиль старения [3-4]. При этом возможность развития сердечно-сосудистых событий зависит не только от влияния традиционных факторов риска, но и от программы, заложенной во внутриутробном периоде [2, 3, 5]. Кроме того, недавно обнаружена популяция людей с медленным старением сосудов, группа сверхнормального старения сосудов (SUPERNOVA) [2, 6]. Фенотип SUPERNOVA имеет на 40% более низкий (6 лет) сосудистый возраст и риск сердечно-сосудистых событий, чем у людей с тем же хронологическим возрастом, но нормальным старением сосудов [6-7].

Самыми главным признаками старения сосудов считаются повышение их жесткости, утолщение стенки и развитие эндотелиальной дисфункции (ЭД) [8-9]. Последняя признана универсальным механизмом, через который реализуется действие всех факторов риска развития сердечно-сосудистых заболеваний [9, 10]. Жесткость артерий определяется как способность артериальной стенки к сопротивлению, растяжению под воздействием потока крови [11-12]. Результатом уплотнения крупных артерий эластического типа является увеличение скорости распространения пульсовой волны (СРПВ) и соответственно более раннее возвращение отраженной волны обратно к восходящей аорте [12-13].

«Сосудистый возраст» может быть определен неинвазивно: путем измерения маркеров ЭД, СРПВ, центрального аортального давления, толщины комплекса интима-медиа общей сонной артерии (ТКИМ ОСА). Эти параметры можно рассматривать как «тканевые биомаркеры» изменения сосудов, которые могут быть более чувствительными, чем «циркулирующие биомаркеры» [8, 11]. При этом в настоящее время критерии возрастных изменений стенки артерий не разработаны [10, 13].

Недостаточно исследованными являются вопросы возрастных изменений микроциркуляции и их взаимосвязи с параметрами центральной и периферической гемодинамики у лиц разного пола и возраста. При этом нарушения в системе микроциркуляции могут быть одним из факторов развития сердечно-сосудистых заболеваний [14]. В настоящее время одним из ведущих неинвазивных методов исследования микроциркуляции является лазерная допплеровская флоуметрия (ЛДФ). Метод позволяет анализировать капиллярную гемодинамику в реальном масштабе времени [14-15]. Исследование кожной микроциркуляции является маркером системной микрососудистой дисфункции при различных заболеваниях [14]. Переменная составляющая показателя микроциркуляции (ПМ), или так называемый флакс (σ), обусловлена факторами, влияющими на постоянство потока крови в микроциркуляторном русле, который находится под контролем активных и пассивных механизмов регуляции [14-16].

Таким образом, в настоящее время отсутствуют четкие представления о взаимосвязи показателей центральной и периферической гемодинамики с параметрами микроциркуляции и состоянием эндотелия у здоровых людей различного возраста, а также отсутствуют данные о влиянии функциональной нагрузки на изменение комплекса этих показателей в возрастном аспекте.

Цель исследования – изучить возрастные особенности взаимосвязи между показателями центральной, периферической

гемодинамики, микроциркуляции и функции эндотелия у здоровых людей различного возраста до и после физической нагрузки.

Методы и организация исследования. Исследование проведено на 136 людях, не имеющих клинико-лабораторных проявлений сердечно-сосудистых заболеваний. Из исследования исключали лица, имеющие органические заболевания сердца и сосудов. Из них было 56 (47,86%) женщин и 61 (52,14%) мужчина. В исследование включали практически здоровых людей, не имеющих выраженных хронических заболеваний, не принимающих медикаменты в постоянном режиме, преимущественно ведущих здоровый образ жизни, давших письменное информированное согласие на участие в исследовании. Из исследования исключали лица, имеющие органические заболевания сердечно-сосудистой и нервной системы, врожденные краниовертебральные аномалии и аномалии развития сосудов головы и шеи, перенесшие острые сердечно-сосудистые события, а также имеющие инфекционные, эндокринные, гематологические заболевания, выраженные поражения печени, почек, дыхательной, опорно-двигательной системы, беременных и находящихся в процессе лактации женщин по данным обследований в медицинской карте и результатов ежегодных лабораторных обследований. Протокол исследования был одобрен этическим комитетом ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России (протокол № 25 от 12.02.2021 г.).

Изученный материал был распределен в соответствии с возрастной периодизацией онтогенеза человека (Москва, 1965) на пять возрастных групп. В первую группу вошло 27 человек, соответствующих юношескому возрасту, во вторую группу – 31 человек, принадлежащих к I периоду зрелого возраста, в третью – 28 человек II периода зрелого возраста, в четвертую – 24 человека пожилого возраста, в пятую – 25 человек старческого возраста. Мужчины составили 50,73%, женщины – 49,27%. Группы были сопоставимы по количеству, полу и антропометрическим показателям. Выбор возрастной периодизации продиктован изучением вопросов нормальной физиологии системы кровообращения.

У всех обследованных проведено комплексное изучение показателей центральной, периферической гемодинамики и микроциркуляции. Выполняли исследование гемодинамики в ветвях дуги аорты путем ультразвукового дуплексного сканирования (УДС) и допплерометрии на ультразвуковых сканерах Vivid 3 GE и Vivid iq GE (Китай) на экстра- и интракраниальном уровне. Определяли пиковую систолическую скорость кровотока (Vps); максимальную конечную диастолическую скорость кровотока (Ved); усредненную по времени среднюю скорость кровотока (TAMX); индекс периферического сопротивления (RI). Рассчитывали дополнительные параметры: площадь поперечного сечения сосуда (S), $см^2$, $S=\pi\times D^2/4$; объемную скорость кровотока (Qcp), мл/мин, $Qcp=S\times TAV\times 60$; общий объёмный приток (Total Blood Flow, TBF), мл/мин, равен сумме объемной скорости кровотока в обеих общих сонных артериях (ОСА) и позвоночных артериях (ПА); общий объемный каротидный кровоток (Total Carotid Blood Flow, TCarBF), мл/мин, равен сумме объемной скорости кровотока в обеих ОСА; общий объемный вертебральный кровоток (Total Vertebral Blood Flow, TVertBF), мл/мин, равен сумме объемной скорости кровотока в обеих ПА; каротидно-вертебральное соотношение ($Ratio_{Car/Vert}$) – соотношение суммы объемной скорости кровотока в обеих ОСА к сумме объемной скорости кровотока в обеих ПА. Измерение ТКИМ ОСА проводили по стандартной методике, фракцию выброса (ФВ) левого желудочка сердца определяли по методике Симпсона.

Показатели центральной и периферической гемодинамики исследовали с помощью компрессионной осциллометрии высокого разрешения (КОВР) на аппарате ЭДТВ

«Гемодин» ООО «Симт». Тип сердечной (центральной) гемодинамики определяли на основании показателей сердечного индекса (СИ) и общего периферического сосудистого сопротивления (ОПСС), полученных методом КОВР.

Показатели микроциркуляции указательного пальца правой кисти определяли с помощью ЛДФ на аппарате ЛАКК-02 (Россия). С помощью программного обеспечения флоуметра получали базовые показатели микроциркуляции: среднее арифметическое ПМ, среднее квадратичное отклонение (σ), коэффициент вариации (Kv). После определения базовых ПМ проводили анализ показателей амплитудно-частотного спектра микроциркуляции, отражающих вклад осцилляций кровотока (нейрогенный тонус (НТ), миогенный тонус (МТ), показатель шунтирования (ПШ), индекс эффективности микроциркуляции (ИЭМ)) [14-15]. После выполнения испытуемым 30 приседаний со скоростью 1 раз в секунду проводили повторное исследование указанных ПМ.

Для оценки функции эндотелия выполняли пробу с реактивной гиперемией на плечевой артерии при потокзависимой вазодилатации (реактивной гиперемии) по методу D.S. Celermajer с помощью ультразвукового сканера [17]. Нормальной реакцией плечевой артерии в пробе с реактивной гиперемией считали вазодилататорный ответ более 10%.

Цифровые данные обрабатывали методами вариационной статистики с использованием методов параметрического и непараметрического анализа с помощью пакета статистических программ JASP 0.16.4.0 (Университет Амстердама), матрицу готовили в программе Microsoft Excel for MAC ver. 16.24 (ID 02984-001-000001). Проведен анализ данных на соответствие условиям нормального распределения с расчетом критерия Шапиро-Уилка. При описании количественных показателей в случае их нормального распределения использовали среднее значение показателя (M) и стандартное отклонение (SD), в случае ненормального распределения – медиану (Me) и квартили (25% квартиль; 75% квартиль). При сравнении средних величин в нормально распределенных совокупностях количественных данных рассчитывался t-критерий Стьюдента. Для сравнения независимых совокупностей использовали непараметрический U-критерий Манна-Уитни. Критический уровень значимости всех используемых статистических критериев составил $p<0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Среди всех обследованных выявлено 65,44% лиц с эукинетическим типом гемодинамики, 11,03% с гиперкинетическим и 23,53% с гипокинетическим. Распределение типа центральной гемодинамики по полу было следующим: среди мужчин лица с эукинетическим типом составили 45 (65,22%), с гиперкинетическим – 7 (10,14%), с гипокинетическим – 17 (24,31%); среди женщин – 44 (65,67%), 8 (11,94%) и 15 (22,29%) соответственно.

По данным Ю.Э. Терегулова (2012), в группе здоровых лиц выявлено 21,9% с гиперкинетическим типом кровообращения, 65,6% с эукинетическим и 12,5% с гипокинетическим [18]. Среди обследованных нами людей без сердечно-сосудистых заболеваний количество лиц с эукинетическим типом гемодинамики практически совпадало с данными Ю.Э. Терегулова (2012), однако количество лиц с гипокинетическим типом было больше, чем с гиперкинетическим. Вероятно, это связано с различием выборок. Кроме того, имеет значение методика определения типа сердечной гемодинамики. Нами использован метод КОВР, который наряду с простотой применения имеет выраженные ограничения [19]. Представляется интересным, что с увеличением возраста изменился характер распределения здоровых людей по типам гемодинамики: количество лиц с эукинетическим типом уменьшилось от юношеского до старческого возраста на 14,74%; количество лиц с гиперкинетическим типом уменьшилось в зрелом возрасте и затем увеличилось в старческом на 116%, с гипокинетическим типом – увеличилось в зрелом и

уменьшилось в старческом на 13,61%. Таким образом, можно заключить, что типы гемодинамики зависят от возраста. Статистически значимой зависимости между типом гемодинамики и полом в возрастном аспекте не выявлено.

Обнаружены слабые корреляционные взаимосвязи между типом центральной гемодинамики и исследуемыми показателями центральной и периферической гемодинамики: ФВ R=-0,203, p<0,05; СВ R=-0,176, p<0,05; СИ R=-0,353, p<0,001; УО R=-0,376, p<0,001; УИ R=-0,251, p<0,01; диаметром плечевой артерии R=-0,405, p<0,001; податливостью плечевой артерии R=0,283, p<0,001; СРПВ R=-0,382, p<0,001; ОПСС R=0,508, p<0,001; диаметром плечевой артерии после нагрузки R=-0,386, p<0,001.

При увеличении возраста выявлено статистически значимое снижение показателя ФВ. Во II и III группах он уменьшился на 4,62% по сравнению с I группой, в IV – на 9,23%, в V – на 13,85% (p<0,05). По критерию Манна-Уитни обнаружены статистически значимые различия между показателями ФВ по полу – показатель был больше у мужчин (U=3014, p<0,01).

Таблица 1

Возрастные изменения показателей гемодинамики в плечевой артерии

Показатель, единицы	Группы	Me	Q25	Q75	Критерий Манна-Уитни	P
Податливость, $м^2 \times Па^{-1}$	I	1,11	0,87	1,37		
	II	1,55	1,03	2,00	$U_{I/II}$=259	<0,05
	III	0,95	0,74	1,19	$U_{I/III}$=487,5	0,117
	IV	1,12	0,86	1,56	$U_{I/IV}$=342	0,304
	V	1,27	0,97	1,75	$U_{I/V}$=276	0,263
Линейная скорость кровотока, см/с	I	55,0	49,5	61,0		
	II	54,0	45,0	65,5	$U_{I/II}$=452,5	0,601
	III	50,0	44,0	56,0	$U_{I/III}$=314	0,409
	IV	54,0	47,5	68,0	$U_{I/IV}$=348	0,473
	V	63,0	56,0	75,0	$U_{I/V}$=239	0,072
СРПВ, см/с	I	651	576	730		
	II	616	470	718	$U_{I/II}$=492,5	0,252
	III	726	627	798	$U_{I/III}$=301	0,140
	IV	730	670	786	$U_{I/IV}$=364	0,207
	V	648	559	730	$U_{I/V}$=345	0,891
ОПСС, $дин \times см^{-5} \times с$	I	1220	1078	1463		
	II	1458	1296	1749	$U_{I/II}$=241,5	<0,01
	III	1366	1248	1529	$U_{I/III}$=290	0,098
	IV	1401	1286,8	1585,2	$U_{I/IV}$=314	0,177
	V	1242	1127	1615	$U_{I/V}$=311	0,634
$УПСС_{факт/расч}$, усл.ед.	I	108	102	115		
	II	102	96	111,5	$U_{I/II}$=557	<0,05
	III	107	100	117	$U_{I/III}$=417	0,681
	IV	103	96,5	110,3	$U_{I/IV}$=328	0,397
	V	95	86	100	$U_{I/V}$=549	<0,001

Примечание: СРПВ – скорость распространения пульсовой волны; ОПСС – общее периферическое сосудистое сопротивление; $УПСС_{факт/расч}$ – отношение фактического и расчетного удельного периферического сопротивления; Me – медиана; Q25 – квартиль 25%; Q75 – квартиль 75%; $U_{I/II}$ – критерий Манна-Уитни при сравнении групп I и II

Исследованы возрастные изменения показателей гемодинамики плечевой артерии. Показатель податливости стенки плечевой артерии имел тенденцию к повышению с увеличением возраста (табл. 1). Во II группе он увеличился на 39,64% по сравнению с I группой, в III он уменьшился на 14,41%, в IV он увеличился на 0,9%, в V был на 14,41% больше юношеского показателя ($p>0,05$). По критерию Манна-Уитни обнаружены статистически значимые различия между показателями податливости по полу – показатель был больше у женщин ($U=1544$, $p<0,001$).

Показатель линейной скорости кровотока в плечевой артерии умеренно изменялся в возрастных группах (табл. 1). Во II группе он уменьшился на 1,82% по сравнению с I группой, в III – на 10%, в IV – на 1,82%, в V он был на 14,55% больше юношеского показателя.

Показатель СРПВ умеренно изменялся в возрастных группах (табл. 1). Во II группе он уменьшился на 5,38% по сравнению с I группой, в III он увеличился на 11,52%, в IV – на 12,14%, в V он был на 0,46% меньше юношеского показателя.

Показатель ОПСС имел тенденцию к повышению с увеличением возраста (табл. 1). Во II группе он увеличился на 19,51% по сравнению с I группой, в III – на 11,96%, в IV – на 14,84%, в V он был на 1,80% больше юношеского показателя.

Показатель $УПСС_{факт/расч}$ имел тенденцию к снижению с увеличением возраста (табл. 1). Во II группе он уменьшился на 5,55% по сравнению с I группой, в III – на 0,93%, в IV – на 4,63%, в V он был на 12,04% меньше юношеского показателя. При этом по критерию Манна-Уитни выявлены статистически значимые различия между показателями $УПСС_{факт/расч}$ в I и II группах ($p<0,05$), в I и V группах ($p<0,001$). По критерию Манна-Уитни не обнаружены статистически значимые различия между показателями линейной скорости кровотока, СРПВ, ОПСС и $УПСС_{факт/расч}$ по полу.

К факторам раннего сосудистого старения относят: артериальную ригидность, повышение пульсового артериального давления в плечевой артерии и аорте, утолщение ТКИМ, ЭД, нарушения периферического кровотока, повышение ОПСС, кальное и периваскулярное воспаление и др. [4, 5, 8, 13]. Полученные результаты показали, что в группах обследованных различного возраста выявлены нормальные значения следующих показателей: ФВ, сердечного выброса, сердечного индекса, ударного объема, СРПВ. Показатель ОПСС также был в пределах нормальных значений во всех возрастных группах.

Показатель диаметра плечевой артерии до нагрузки незначительно увеличивался с увеличением возраста (табл. 2). Во II группе он не изменился по сравнению с I группой, в III и IV он увеличился на 5,13%, в V он был на 2,56% больше юношеского показателя. При этом по критерию Манна-Уитни выявлены статистические различия только между показателями в I и III группах ($p<0,01$), в I и IV группах ($p<0,05$). Диаметр плечевой артерии у мужчин был больше, чем у женщин ($U=2863$, $p<0,05$).

Показатель диаметра плечевой артерии после нагрузки незначительно увеличивался во всех возрастных группах (табл. 2). Во II группе он не изменился по сравнению с I группой, в III он увеличился на 7,5%, в IV и V он был на 5% больше юношеского показателя. При этом по критерию Манна-Уитни выявлены статистически значимые различия только между показателями в I и III группах ($p<0,05$), в I и IV группах ($p<0,05$). Диаметр плечевой артерии после нагрузки у мужчин был больше, чем у женщин ($U=2803$, $p<0,05$).

Таблица 2

Возрастные изменения диаметра плечевой артерии при пробе с реактивной гиперемией

Показатель, единицы	Группы	Me	Q25	Q75	Критерий Манна-Уитни	P
Диаметр до нагрузки, см	I	0,39	0,38	0,41		
	II	0,39	0,36	0,40	$U_{I/II}$=528,5	0,085
	III	0,41	0,40	0,43	$U_{I/III}$=227,5	<0,01
	IV	0,41	0,39	0,42	$U_{I/IV}$=207	<0,05
	V	0,40	0,38	0,44	$U_{I/V}$=264	0,178
Диаметр после нагрузки, см	I	0,44	0,43	0,46		
	II	0,44	0,41	0,45	$U_{I/II}$=503	0,188
	III	0,46	0,45	0,47	$U_{I/III}$=241,5	<0,05
	IV	0,45	0,44	0,47	$U_{I/IV}$=304	<0,05
	V	0,45	0,42	0,49	$U_{I/V}$=251	0,115
Показатель реактивной гиперемии, %	I	12,82	10,16	13,20		
	II	12,82	11,89	13,50	$U_{I/II}$=413	0,163
	III	12,20	10,50	13,90	$U_{I/III}$=276	<0,05
	IV	9,75	9,12	11,90	$U_{I/IV}$=316	<0,05
	V	12,50	10,53	13,36	$U_{I/V}$=298	0,126

Примечание: Me – медиана; Q25 – квартиль 25%; Q75 – квартиль 75%; $U_{I/II}$ – критерий Манна-Уитни при сравнении групп I и II

Показатель реактивной гиперемии во всех группах, за исключением IV, был больше на 10%, что свидетельствует о нормальной сосудодвигательной функции эндотелия. В IV группе показатель составил Me 9,75 (9,12:11,90), что указывает на некоторое снижение сосудодвигательной функции эндотелия в группе пожилых людей (табл. 2). Выявлена корреляционная взаимосвязь между показателями диаметра плечевой артерии до и после нагрузки (R=0,972, p<0,001). Не обнаружено статистически значимой зависимости показателей кровотока в плечевой артерии (податливость, диаметр, линейная скорость кровотока, СРПВ, ОПСС) от возраста за исключением показателя $УПСС_{факт/расч.}$ Последний достоверно снизился на 12,04% в старческом возрасте по сравнению с показателем юношеского возраста. Проба с реактивной гиперемией на плечевой артерии показала незначительные изменения показателя в зависимости от возраста, что свидетельствует о сохраненной функции эндотелия в пожилом и старческом возрасте у здоровых людей.

Показатель объемной скорости кровотока в обеих ОСА прогрессивно снижался с возрастом: в I возрастной группе $ОСА_d$ Q составил Me 1388,41 мл/мин (970,45:1579,22), во II – 956,62 мл/мин (825,77:1123,96), в III – 829,82 мл/мин (721,65:920,85), в IV – 784,96 мл/мин (658,020:959,717), в V – 717,24 мл/мин (641,60:935,85) (p<0,001).

Показатель объемной скорости кровотока в обеих ПА неравномерно снижался с возрастом: в I возрастной группе ПА Q составил Me 182,50 мл/мин (144,65:227,54), во II – 146,26 мл/мин (110,23:202,22), в III – 128,74 мл/мин (106,19:156,77), в IV – 130,51 мл/мин (112,43:160,21), в V – 147,59 мл/мин (109,15:176,55) (p<0,001).

Показатель общего объемного притока прогрессивно снижался с возрастом: в I возрастной группе показатель TBF составил Me 3170,04 мл/мин (2286,21:3481,99), во II – 2222,16 мл/мин (2007,89:2484,36), в III – 1969,31 мл/мин (1768,19:2141,65), в IV – 1926,25 мл/мин (1630,23:2017,68), в V – 17121,38 мл/мин (1514,98:2041,60) (p<0,001).

Показатель общего объемного каротидного кровотока прогрессивно снижался с возрастом: в I возрастной группе показатель TCarBF составил Me 2802,90 мл/мин (2003,71:2983,74), во II – 1974,20 мл/мин (1622,37:2171,26), в III – 1676,82 мл/мин (1471,64:1870,56), в IV – 1566,52 мл/мин (1359,96:1778,42), в V – 1444,60 мл/мин (1294,05:1731,65) ($p<0,001$).

Показатель общего объемного вертебрального кровотока прогрессивно снижался с возрастом: в I возрастной группе показатель TVertBF составил Me 367,14 мл/мин (292,29:478,27), во II – 287,55 мл/мин (246,88:372,47), в III – 280,72 мл/мин (220,63:312,15), в IV – 275,48 мл/мин (227,33:325,86), в V – 297,12 мл/мин (213,30:320,03) ($p<0,001$).

Показатель каротидно-вертебрального соотношения неравномерно снижался с возрастом: в I возрастной группе показатель Ratio Car/Vert составил Me 6,30 (5,97:7,57), во II – 6,06 (5,04:8,14), в III – 5,97 (4,69:7,44), в IV – 6,82 (4,55:7,39), в V – 5,59 мл/мин (4,85:6,10) ($p<0,001$).

При увеличении возраста у здоровых людей происходило прогрессивное снижение показателей гемодинамики в ОСА и ПА, большинство из них не зависели от пола. Выявлено достоверное прогрессивное увеличение показателя ТКИМ ОСА от I периода зрелого до старческого возраста на 71,43%, снижение показателей Vps ОСА – на 40%, TAMX – на 37,87%, RI – на 13,75%, Q – на 48,34%. Изменение показателей D и Ved ОСА с возрастом статистически недостоверно. Возрастное снижение показателей кровотока в ПА было выражено несколько меньше: показатель D уменьшился на 8,57%, Vps – на 14%, TAMX – на 9,42%, Q – на 19,13%. Изменение показателей Ved и RI ПА с возрастом статистически недостоверно. Общий объемный приток по обеим ОСА и ПА снизился на 54,02%, общий объемный каротидный кровоток – на 51,54%, общий объемный вертебральный кровоток – на 19%. Каротидно-вертебральное соотношение уменьшилось на 11,27%. При этом у обследованных не было жалоб и клинико-лабораторных проявлений патологии.

До физической нагрузки показатель ПМ прогрессивно уменьшался при увеличении возраста – на 49,35% в старческом возрасте по сравнению с юношеским возрастом. Показатель флакс (σ) также снижался с возрастом, максимальное уменьшение его отмечено в группе пожилого возраста на 33,74%, что свидетельствовало о возрастном уменьшении механизмов контроля за системой микроциркуляции [14]. Показатель НТ также показал выраженное возрастное уменьшение – на 61,31% в пожилом возрасте и на 59,52% в старческом возрасте, показатель МТ – на 64,59% и 57,89%, показатель ПШ – на 13,57% и 10,71% соответственно.

После физической нагрузки ПМ несколько уменьшился, особенно в группе пожилого возраста (на 11,21%). При этом показатель σПМ показал выраженное достоверное увеличение во всех группах. Максимальное увеличение σПМ отмечено в юношеском возрасте (на 52,56%), с возрастом реакция показателя σПМ на физическую нагрузку уменьшилась. Выявлено увеличение показателей НТ, МТ и ПШ в ответ на нагрузочный тест при увеличении возраста. В старческом возрасте НТ увеличился на 177,91% по сравнению с показателей до нагрузки, МТ – на 163,64%, ПШ – на 72%.

Базовый показатель кожной микроциркуляции (ПМ) в старческом возрасте уменьшился по сравнению с юношеским возрастом на 50%. Остальные ПМ и показатели амплитудно-частотного спектра с возрастом также уменьшались, что отражало возрастное снижение механизмов контроля за системой микроциркуляции [14]. После физической нагрузки отмечено небольшое снижением показателя ПМ, особенно в группе пожилого возраста (на 11,21%). При этом показатель σПМ показал выраженное достоверное увеличение во всех группах. Максимальное увеличение σПМ отмечено в юношеском возрасте (на 52,56%), с возрастом реакция показателя

σПМ на физическую нагрузку уменьшилась. Выявлено увеличение показателей НТ, МТ и ПШ в ответ на нагрузочный тест при увеличении возраста. Тест с физической нагрузкой у здоровых людей показал, что при общем возрастном снижении базового ПМ с возрастом активизируются механизмы активного и пассивного контроля в системе микроциркуляции, возрастают НТ и МТ сосудов и ПШ. На наш взгляд, наибольшее значение имеет показатель σПМ, который показал уменьшение механизмов контроля в системе микроциркуляции с возрастом [14, 16]. Чрезмерное повышение показателей НТ, МТ и ПШ в пожилом и старческом возрасте, вероятно, свидетельствует о декомпенсации в регуляции сосудистого тонуса в этих возрастных группах. При этом не обнаружено статистически значимой взаимосвязи между показателями центральной, периферической гемодинамики и микроциркуляции у людей разного возраста.

Заключение. Таким образом, у здоровых людей не все факторы сосудистого старения являются значимыми. С возрастом выявлено уменьшение показателей ФВ миокарда левого желудочка сердца, показателя пульсового артериального давления, сердечного выброса, сердечного индекса, ударного объема. В пожилом и старческом возрасте достоверно увеличились показатели систолического и диастолического артериального давления. Такие показатели гемодинамики, как ОПСС, УПСС, податливость сосудистой системы, не показали достоверной зависимости от возраста. СРПВ незначительно увеличилась с возрастом, однако показатель находился в пределах нормы во всех возрастных группах. ТКИМ увеличилась с возрастом практически на 100%, что следует расценивать как возрастные изменения, не приводящие к сердечно-сосудистым осложнениям. Признаки дисфункции эндотелия не обнаружены. Система микроциркуляции также подвержена возрастным изменениям, однако в ответ на физическую нагрузку в старших возрастных группах механизмы контроля потока эритроцитов показали признаки декомпенсации.

Благодарности. Авторы выражают благодарность научному отделу ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России за активное содействие исследованию.

Acknowledgements. The authors express their gratitude to the Scientific Department and vivarium of the Ryazan State Medical University for actively contributing to the study.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The effects of social status on biological aging as measured by white-blood-cell telomere length / Cherkas L. F., Aviv A., Valdes A. M. [et al] // Aging Cell. – 2006. – Vol. 5. – P. 61-65. DOI: 10.1111/j.-1474-9726.2006.00222.x.

2. Ротарь, О. П. Сосудистое старение в концепциях EVA и SUPERNOVA: непрерывный поиск повреждающих и протективных факторов / О. П. Ротарь, К. М. Толкунова // Артериальная гипертензия. – 2020. – Т. 26, № 2. – С. 133-145. DOI: 10.18705/1607-419X-2020-26-2-133-145.

3. Nilsson, P. M. Early Vascular Aging in Hypertension / P. M. Nilsson // Frontiers in Cardiovascular Medicine. – 2020. – Vol. 7. – P. 1-5. DOI: 10.3389/fcvm.2020.00006.

4. Adams, J. M. Biological ageing. A fundamental, biological link between socio-economic status and health? / J. M. Adams, M. White // Eur. J. Pub. Health. – 2004. – Vol. 14. – P. 331-334.

5. Синдром раннего старения сосудов: научная гипотеза, или новая стратегия органопротекции / Черняк С. В., Нечесова Т. А., Ливенцева М. М. [и др.] // Лечебное дело. – 2014. – № 4. – С. 45-48.

6. Concept of Extremes in Vascular Aging: From Early Vascular Aging to Supernormal Vascular Aging / Laurent S., Boutouyrie P., Cunha P.G. [et al] // Hypertension. – 2019. – Vol. 74. – P. 218-228. DOI: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.119.12655.

7. Early and supernormal vascular aging: Clinical characteristics and association with incident

cardiovascular events / Bruno R. M., Nilsson P. M., Engström G. [et al] // Hypertension. – 2020. – Vol. 76. – P. 1616-1624. DOI: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.120.14971.

8. Троицкая, Е. А. Концепция сосудистого возраста: новый инструмент оценки сердечно-сосудистого риска / Е. А. Троицкая, С. В. Вельмакин, Ж. Д. Кобалава // Артериальная гипертензия. – 2017. – Т. 23. – № 2. – С. 160-171. DOI: 10.18705/1607-419X-2017-23-2-160-171.

9. Вьюницкая, Л. В. Маркеры дисфункции эндотелия / Л. В. Вьюницкая // Лабораторная диагностика. Восточная Европа. – 2015. – № 3-4 (15-16). – С. 37-51.

10. Васина, Л.В. Эндотелиальная дисфункция и ее основные маркеры / Л. В. Васина, Н. Н. Петрищев, Т. Д. Власов // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2017. – Т. 16. – № 1(61). – С. 4-15.

11. Синкевич, Д. А. Концепция «сосудистого возраста» как новый подход к оценке сердечно-сосудистого риска / Д. А. Синкевич, К. В. Протасов, А. А. Дзизинский // Сибирский медицинский журнал. – 2011. – № 6. – С. 9-13.

12. Ежов, М. В. Последние достижения в ведении атеросклероза и гиперлипидемии / М. В Ежов // Медицинский совет. – 2017. – № 7. – С. 5-10.

13. Старение сосудов: основные признаки и механизмы / И. Д. Стражеско, Д. У. Акашева, Е. Н. Дудинская, О. Н. Ткачева // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2012. – Т. 11, № 4. – С. 93-100.

14. Лазерная допплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / Под ред. А. И. Крупаткина, В. В. Сидорова: Руководство для врачей. – М.: ОАО «Издательство «Медицина», 2005. – 256 с.

15. Козлов, В. И. Анализ флюктуаций капиллярного кровотока у человека методом лазерной допплеровской флоуметрии / В. И. Козлов, Л. В. Корси, В. Г. Соколов // Материалы I Всероссийского симпозиума «Применение лазерной допплеровской флоуметрии в медицинской практике». – Москва. – 1996. – С. 38-47.

16. Тихонова, И. В. Возрастные изменения в системе колебательных процессов в микрососудистом русле кожи человека в норме и при сосудистых патологиях / И. В. Тихонова // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2018. – Т. 17, № 3. – С. 42-57. DOI: 10.24884/-1682-6655-2018-17-3-42-57.

17. Celermajer, D. S. Non-invasive detection of endothelial dysfunction in children and adults at risk of atherosclerosis / D. S. Celermajer, K. E. Sorensen, V. M. Gooch // Lancet. – 1992. – Vol. 340. – P. 1111-1115.

18. Терегулов, Ю. Э. Интегральные показатели центральной гемодинамики у здоровых лиц и пациентов с гипертонической болезнью в зависимости от типа гемодинамики / Ю. Э. Терегулов // Практическая медицина. – 2012. – № 8-2 (64). – С. 164-168.

19. Мазурок, В. А. Объемно-компрессионная осциллометрия для оценки производительности сердца / В. А. Мазурок // Вестник интенсивной терапии. – 2017. – № 2. – С. 55-60. DOI: 10.21320/1818-474X-2017-2-55-60.

REFERENCES

1. Cherkas L.F., Aviv A., Valdes A.M., Hunkin J.L., Gardner J.P., Surdulescu G.L., Kimura M., Spector T.D. The effects of social status on biological aging as measured by white-blood-cell telomere length. *Aging Cell*, 2006, vol. 5, pp. 61-65. DOI: 10.1111/j.1474-9726.2006.00222.x.

2. Rotar O.P., Tolkunova K.M. EVA and SUPERNOVA concepts of vascular aging: ongoing research on damaging and protective risk factors. *Arterial Hypertension*, 2020, vol. 26, no. 2, pp.133-145. DOI: 10.18705/1607-419X-2020-26-2-133-145. (In Russ.)

3. Nilsson P.M. Early Vascular Aging in Hypertension. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 2020, vol. 7, pp. 1-5. DOI: 10.3389/fcvm.2020.00006.

4. Adams J.M., White M. Biological ageing. A fundamental, biological link between socio-economic status and health? *Eur. J. Pub. Health*, 2004, vol. 14, pp. 331-334.

5. Chernyak S.V., Nechesova T.A., Liventseva M.M., Korobko I.Yu., Yakush N.A. Early vascular aging syndrome: a scientific hypothesis, or a new strategy of organoprotection. *Medical business*, 2014, vol. 4, pp. 45-48. (in Russ.)

6. Laurent S., Boutouyrie P., Cunha P.G., Lacolley P., Nilsson P.M. Concept of Extremes in Vascular Aging: From Early Vascular Aging to Supernormal Vascular Aging. *Hypertension*, 2019, vol. 74, pp. 218-228. DOI: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.119.12655.

7. Bruno R.M., Nilsson P.M., Engström G., Wadström B.N., Empana J.P., Boutouyrie P., Laurent S. Early and supernormal vascular aging: Clinical characteristics and association with incident cardiovascular events. *Hypertension*, 2020, vol. 76, pp. 1616-1624. DOI: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.120.14971.

8. Troitskaya E.A., Velmakin S.V., Kobalava Z.D. Concept of vascular age: new tool in cardiovascular risk assessment. *Arterial Hypertension*, 2017, vol. 23, no. 2, pp. 160-171. DOI: 10.18705/1607-419X-2017-23-2-160-171. (In Russ.)
9. Vyunitskaya L.V. Markers of endothelial dysfunction. *Laboratory diagnostics*. *Eastern Europe*, 2015, vol. 3-4 (15-16), pp. 37-51. (In Russ.).
10. Vasina L.V., Petrishchev N.N., Vlasov T.D. Markers of endothelial dysfunction. *Regional blood circulation and microcirculation*, 2017, vol. 16, 1(61), pp. 4-15. (In Russ.)
11. Sinkevich D.A., Protasov K.V., Dzizinsky A.A. The concept of "vascular age" as a new approach to the assessment of cardiovascular risk. *Siberian Medical Journal*, 2011, vol. 6, pp. 9-13. (In Russ.)
12. Ezhov M.V. Recent advances in the management of atherosclerosis and hyperlipidemia. *Medical advice,* 2017, vol. 7, pp. 5-10 (In Russ)
13. Strazhesko I.D., Akasheva D.U., Dudinskaya E.N., Tkacheva O.N. Vascular aging: the main signs and mechanisms. *Cardiovascular therapy and prevention*, 2012, vol. 11(4), pp. 93-100. (In Russ.)
14. Krupatkin A.I., Sidorov V.V. Laser Doppler flowmetry of blood microcirculation. Moscow, Medicine, 2005, 256 p. (in Russ.)
15. Kozlov V.I., Korsi L.V., Sokolov V.G. Analysis of fluctuations of capillary blood flow in humans by laser Doppler flowmetry. Materials of the I All-Russian Symposium: Application of laser Doppler flowmetry in medical practice. Moscow, 1996, pp. 38-47. (in Russ.)
16. Tikhonova I.V. Age-dependent changes of oscillation processes of human skin microcirculation in normal and vascular pathologies. *Regional blood circulation and microcirculation*, 2018, vol. 17 (3), pp. 42-57. DOI: 10.24884/1682-6655-2018-17-3-42-57 (In Russ.)
17. Celermajer D.S, Sorensen K.E., Gooch V.M. Non-invasive detection of endothelial dysfunction in children and adults at risk of atherosclerosis. *Lancet*, 1992, vol. 340, pp. 1111-1115.
18. Teregulov Yu. E. Integral parameters of central hemodynamics in healthy persons and patients with arterial hypertension depend on the hemodynamics type. *Practical medicine*, 2012, vol. 8-2(64), pp. 164-168. (In Russ.).
19. Mazurok V.A. Volumetric Compressive Oscillometry for Cardiac Output Evaluation. *Intensive Care Herald*, 2017, vol. 2, pp. 55-60. (In Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Ирина Владимировна Андреева – доктор медицинских наук, профессор кафедры клинической ультразвуковой и функциональной диагностики ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский институт им. М.Ф. Владимирского», Москва, e-mail: prof.andreeva.irina.2012@yandex.ru.
Алексей Сергеевич Григорьев – соискатель кафедры нормальной физиологии с курсом психофизиологии ФГБОУ ВО «Рязанский государственный университет имени академика И.П. Павлова»; врач-уролог, врач ультразвуковой диагностики ГБУЗ Московской области «Коломенская ЦРБ», Коломна Московской области, e-mail: aleksey130379@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Irina V. Andreeva – Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Clinical Ultrasound and Functional Diagnostics, Moscow Regional Research Institute named after M.F. Vladimirsky, Moscow, e-mail: prof.andreeva.irina.2012@yandex.ru.
Aleksej S. Grigor'ev – Post-Graduate Student, Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov, Ryazan; Urologist, Ultrasound Specialist of the Kolomna Central District Hospital, Moscow Region, e-mail: aleksey130379@yandex.ru.

Для цитирования: Андреева, И. В. Комплексное изучение возрастных особенностей центральной, периферической гемодинамики и микроциркуляции у лиц без сердечно-сосудистых заболеваний / И. В. Андреева, А. С. Григорьев // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8. – № 1. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_01_2

For citation: Andreeva I.V., Grigor'ev A.S. Complex study of age features of central, peripheral hemodynamics and microcirculation in people without cardiovascular diseases. *Modern Issues of Biomedicine*, 2024, vol. 8, no. 1. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_01_2