Дата публикации: 01.12.2023
DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_04_2
УДК 612.66; 612.17; 612.133

Publication date: 01.12.2023
DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_04_2
UDC 612.66; 612.17; 612.133

ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ У ЗДОРОВЫХ ЛЮДЕЙ ДО И ПОСЛЕ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

И.В. Андреева[1], А.С. Григорьев[1,2]

[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Рязань, Россия

[2]Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Московской области «Коломенская центральная районная больница», г. Коломна, Россия

Аннотация. Цель исследования – изучить влияние возраста на показатели микроциркуляции кожи здоровых людей до и после физической нагрузки. Исследование проведено на 136 взрослых пациентах, не имеющих клинических проявлений сердечно-сосудистых заболеваний, разделенных на возрастные группы. Методом лазерной допплеровской флоуметрии установлено возрастное уменьшение показателей микроциркуляции. Тест с физической нагрузкой показал, что с возрастом активизируются механизмы активного и пассивного контроля в системе микроциркуляции. Чрезмерное повышение показателей нейрогенного и миогенного тонуса сосудов и показателя шунтирования в пожилом и старческом возрасте, вероятно, свидетельствует о декомпенсации в регуляции сосудистого тонуса в этих возрастных группах.

Ключевые слова: микроциркуляция, лазерная допплеровская флоуметрия, возрастные изменения, физическая нагрузка.

AGE-RELATED CHANGES IN MICROCIRCULATION INDICES IN HEALTHY PEOPLE BEFORE AND AFTER PHYSICAL ACTIVITY

I.V. Andreeva[1], A.S. Grigor'ev[1,2]

[1]Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov, Ryazan, Russia

[2]Kolomna Central District Hospital, Kolomna, Russia

Annotation. The aim is to study the effect of age on the microcirculation of the skin of healthy people before and after physical activity. The study was conducted on 136 adult patients with no clinical signs of cardiovascular diseases, divided into age groups. By the method of Laser Doppler flowmetry, an age-related decrease in microcirculation indicators was identified. The exercise test demonstrated that the mechanisms of active and passive control in the microcirculation system are activated with age. An excessive increase in the indices of neurogenic and myogenic vascular tone and the bypass index in the elderly and senile age probably reflects a decompensation in the vascular tone regulation in these age groups.

Keywords: microcirculation, Laser Doppler flowmetry, age changes, physical activity.

Введение. Одним из актуальных вопросов современной физиологии кровообращения является изучение особенностей старения сосудов, в том числе микрососудов. Нарушения в микроциркуляторном звене системы кровообращения считают одним из факторов развития сердечно-сосудистых заболеваний [1]. Расстройства системы микроциркуляции обнаруживаются на самых ранних этапах формирования патологии [2].

Согласно теории раннего сосудистого старения (Early Vascular Aging – EVA-синдром), с увеличением возраста происходит ремоделирование стенки артерий, что проявляется повышением ее жесткости [3-5]. Несмотря на большое количество параметров и маркеров сосудистого старения, на сегодняшний день не разработаны критерии дифференциальной диагностики возрастных изменений сосудистой стенки и ранних проявлений атеросклероза [6-7].

В отличие от людей с EVA, существует недавно описанная популяция с медленным старением сосудов, группа сверхнормального старения сосудов (SUPERNOVA) [8-9]. 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 [10-11].

Лазерная допплеровская флоуметрия (ЛДФ) позволяет анализировать капиллярную гемодинамику в реальном масштабе времени [1-2]. В основе метода ЛДФ лежит измерение допплеровской компоненты в спектре отраженного лазерного сигнала, рассеянного на движущихся в тканях частицах, что дает уникальную возможность проведения оценки величины тканевой перфузии, т.е. объема протекающей крови (потока эритроцитов) в единицу времени через единицу массы тканей [1, 12]. Исследование кожной микроциркуляции является маркером системной микрососудистой дисфункции при различных заболеваниях [1].

ЛДФ-сигнал имеет постоянную (М) и переменную (σ) от времени составляющие. Постоянная составляющая М – это средняя перфузия в микроциркуляторном русле за определенный промежуток времени. Переменная составляющая σ обусловлена факторами, влияющими на постоянство потока крови в микроциркуляторном русле, т.е. связана с обстоятельствами, изменяющими величину скорости и концентрации эритроцитов. Характер изменения величины σ определяется вариациями во времени как просветами сосудов, их внутренними диаметрами, которые контролируются активными механизмами, так и пассивными факторами в системе микроциркуляции [1-2]. Активные факторы контроля микроциркуляции – это эндотелиальный, миогенный и нейрогенный механизмы регуляции просвета сосудов и их тонуса. Эти факторы контроля регуляции модулируют поток крови со стороны сосудистой стенки и реализуются через ее мышечный компонент. Пассивные факторы (факторы, вызывающие колебания кровотока вне системы микроциркуляции) – это пульсовая волна со стороны артерий и присасывающее действие «дыхательного насоса» со стороны вен. Влияние активных и пассивных факторов на поток крови приводит к изменению скорости и концентрации потока эритроцитов. Эти изменения вызывают модуляцию перфузии и регистрируются в виде сложного колебательного процесса [1, 12].

Функциональные показатели сердечно-сосудистой системы, которые, предположительно, коррелируют с морфофункциональным состоянием артерий и вен, в возрастном аспекте изучены недостаточно [13-14]. В настоящее время отсутствуют четкие представления о возрастных особенностях микроциркуляции у здоровых людей и ее изменениях при физической нагрузке, а также отсутствуют данные о взаимосвязи показателей микроциркуляции с центральной и периферической гемодинамикой.

Цель исследования – изучить влияние возраста на показатели микроциркуляции кожи здоровых людей до и после физической нагрузки.

Методы и организация исследования. Исследование проведено на 136 взрослых добровольцах (студентах, сотрудниках и пациентах), не имеющих клинических и лабораторных проявлений заболеваний сердечно-сосудистой системы. Протокол исследования был одобрен этическим комитетом ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России (протокол №25 от 12.02.2021 г.). Все участники дали 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, заключений невролога. В первую группу вошло 27 человек, соответствующих юношескому возрасту, во вторую – 31 человек I периода зрелого возраста, в третью – 28 человек, соответствующих II периоду зрелого возраста, в четвертую – 24 человека пожилого возраста, в пятую – 25 человек старческого возраста согласно Возрастной периодизации онтогенеза человека (Москва, 1965). Мужчины составили 50,73%, женщины – 49,27%. Группы были сопоставимы по количеству, полу и антропометрическим показателям.

Всем обследованным проводили измерение показателей микроциркуляции с помощью лазерного допплеровского флоуметра ЛАКК-02 (Россия). Исследование микроциркуляции в коже указательного пальца правой кисти методом ЛДФ проводили в положении сидя через 10 минут после адаптации при температуре окружающей среды 20°С. Показатели снимали в течение 5 минут до достижения устойчивого значения показателей [1]. Записывали ЛДФ-грамму в течение 2 минут. С помощью программного обеспечения флоуметра получали базовые показатели микроциркуляции: среднее арифметическое показателя микроциркуляции (ПМ), среднее квадратичное отклонение (σ), коэффициент вариации (Kv).

После определения базовых показателей микроциркуляции проводили анализ показателей амплитудно-частотного спектра микроциркуляции, отражающих вклад осцилляций кровотока (нейрогенный тонус (НТ), миогенный тонус (МТ), показатель шунтирования (ПШ)). Указанные параметры были рассчитаны программным обеспечением флоуметра. Отмечена более высокая эффективность колебательных показателей по сравнению со стационарными для клинической, особенно ранней, диагностики при многих нозологических формах [2]. После выполнения испытуемым 30 приседаний со скоростью 1 раз в секунду проводили повторное исследование базовых показателей и показателей амплитудно-частотного спектра микроциркуляции.

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).

На первом этапе работы исследовали показатели описательной статистики. По критерию Шапиро-Уилка большинство показателей микроциркуляции не соответствовало закону нормального распределения. Поэтому при описании данных использованы показатели непараметрической статистики – медиана (Me) и квартили (25% квартиль: 75% квартиль). Для сравнения независимых совокупностей использовали непараметрический U-критерий Манна-Уитни. Для проверки статистических гипотез о наличии линейной связи между группами использован расчет коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Критический уровень значимости всех используемых статистических критериев составил $p<0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. До физической нагрузки показатель ПМ прогрессивно уменьшался при увеличении возраста (табл. 1). Во II группе показатель уменьшился на 3,43% по сравнению с юношеским возрастом, в III – на 24,25%, в IV – на 41,12%, в V – на 49,35%. При этом по критерию Манна-Уитни выявлены статистически значимые различия между показателями ПМ в I и III группах, I и IV группах ($p<0,05$), в I и V группах ($p<0,001$). Выявлена корреляционная взаимосвязь между показателями ПМ и возрастом ($R=-0,401$, $p<0,001$), ПМ и σПМ ($R=0,348$, $p<0,001$), ПМ и Kv ($R=-0,372$, $p<0,001$), ПМ и НТ ($R=0,271$, $p<0,001$), ПМ и МТ ($R=0,272$, $p<0,001$), ПМ и ПШ ($R=0,206$, $p<0,05$).

Таблица 1

Показатели микроциркуляции в возрастных группах

Показатель	Группы	Me	Q25	Q75	Критерий Манна-Уитни	P
ПМ	I	19,09	15,94	21,65		
	II	18,43	10,70	24,98	$U_{I/II}$=412	>0,05
	III	14,46	12,24	17,88	$U_{I/III}$=538	<0,05
	IV	11,24	9,90	14,37	$U_{I/IV}$=406	<0,05
	V	9,67	8,14	12,24	$U_{I/V}$=548	<0,001
σПМ	I	3,26	2,14	4,99		
	II	2,42	1,29	4,28	$U_{I/II}$=536	>0,05
	III	2,36	2,11	3,24	$U_{I/III}$=509,5	0,054
	IV	2,16	1,92	2,59	$U_{I/IV}$=275	<0,05
	V	3,14	1,89	3,67	$U_{I/V}$=401	>0,05
Kv	I	17,48	14,95	33,58		
	II	20,18	9,54	27,34	$U_{I/II}$=493	>0,05
	III	19,80	15,45	23,76	$U_{I/III}$=431,5	>0,05
	IV	17,83	14,41	24,97	$U_{I/IV}$=376	>0,05
	V	23,56	17,45	37,87	$U_{I/V}$=283	>0,05
НТ	I	1,68	1,16	2,13		
	II	1,47	1,24	1,80	$U_{I/II}$=459,5	>0,05
	III	1,13	0,73	1,86	$U_{I/III}$=490,5	>0,05
	IV	0,65	0,54	0,91	$U_{I/IV}$=437	<0,05
	V	0,68	0,57	1,27	$U_{I/V}$=515,5	<0,001
МТ	I	2,09	1,49	2,51		
	II	1,87	1,26	2,73	$U_{I/II}$=453	>0,05
	III	0,98	0,82	2,17	$U_{I/III}$=568,5	<0,01
	IV	0,74	0,62	0,89	$U_{I/IV}$=464	<0,01
	V	0,88	0,73	1,67	$U_{I/V}$=545,5	<0,001
ПШ	I	1,40	1,19	2,14		
	II	1,38	1,21	1,79	$U_{I/II}$=432	>0,05
	III	1,23	1,08	1,63	$U_{I/III}$=459	>0,05
	IV	1,21	1,16	1,35	$U_{I/IV}$=386	<0,05
	V	1,25	1,04	2,13	$U_{I/V}$=382,5	>0,05

Примечание: ПМ – показатель микроциркуляции; σПМ – флакс; Kv – коэффициент вариации; НТ – нейрогенный тонус; МТ – миогенный тонус, ПШ – показатель шунтирования; Me – медиана; Q25 – квартиль 25%; Q75 – квартиль 75%, $U_{I/II}$ – критерий Манна-Уитни при сравнении групп I и II

Показатель σПМ изменялся в возрастных группах (табл. 1). Во II группе показатель уменьшился на 25,77% по сравнению с юношеским возрастом, в III – на 27,61%, в IV – на 33,74%, в V – на 3,68%. При этом по критерию Манна-Уитни выявлены статистически значимые различия между показателями σПМ в I и IV группах [$p<0,05$]. Выявлена корреляционная взаимосвязь между показателями σПМ и ПМ ($R=0,348$, $p<0,001$), σПМ и НТ ($R=0,306$, $p<0,001$), σПМ и МТ ($R=0,305$, $p<0,001$), σПМ и ПШ ($R=0,189$, $p<0,05$).

Показатель Kv неравномерно увеличивался с возрастом (табл. 1). По критерию Манна-Уитни статистически значимых

различий между показателями Kv в возрастных группах не выявлено (p>0,05).

Показатель НТ уменьшался с возрастом (табл. 1). Во II группе показатель уменьшился на 12,50% по сравнению с юношеским возрастом, в III – на 32,74%, в IV – на 61,31%, в V – на 59,52%. При этом по критерию Манна-Уитни выявлены статистически значимые различия между показателями НТ в I и IV группах (p<0,05), I и V группах (p<0,001). Выявлена корреляционная взаимосвязь между показателями НТ и возрастом (R=-0,305, p<0,001), НТ и ПМ (R=0,271, p<0,001), НТ и σПМ (R=0,306, p<0,001), НТ и МТ (R=0,779, p<0,001).

Показатель МТ уменьшался с возрастом (табл. 1). Во II группе показатель уменьшился на 10,53% по сравнению с юношеским возрастом, в III – на 53,11%, в IV – на 64,59%, в V – на 57,89%. При этом по критерию Манна-Уитни выявлены статистически значимые различия между показателями МТ в I и III группах, I и V группах (p<0,01), I и V группах (p<0,001). Выявлена корреляционная взаимосвязь между показателями МТ и возрастом (R=-0,424, p<0,001), МТ и ПМ (R=0,272, p<0,001), МТ и σПМ (R=0,305, p<0,001), МТ и НТ (R=0,779, p<0,001), МТ и ПШ (R=0,189, p<0,05).

Показатель ПШ уменьшался с возрастом (табл. 1). Во II группе показатель уменьшился на 1,43% по сравнению с юношеским возрастом, в III – на 12,14%, в IV – на 13,57%, в V – на 10,71%. При этом по критерию Манна-Уитни статистически значимые различия между показателями ПШ в возрастных группах не выявлены. Выявлена корреляционная взаимосвязь между показателями ПШ и ПМ (R=0,206, p<0,001), ПШ и σПМ (R=0,189, p<0,001), ПШ и МТ (R=0,189, p<0,05).

После физической нагрузки показатель ПМtest несколько уменьшился по сравнению с показателем ПМ во всех возрастных группах за исключением II группы (табл. 2). В I группе показатель ПМtest уменьшился по сравнению с показателем до нагрузки на 5,76%, во II группе показатель увеличился на 5,53%, в III группе показатель уменьшился на 6,36%, в IV – на 11,21%, в V – на 3,31%. При этом по критерию Манна-Уитни выявлены статистически значимые различия между показателями ПМtest в I и III группах, I и IV группах (p<0,05), в I и V группах (p<0,001). Выявлена корреляционная взаимосвязь между показателями ПМtest и возрастом (R=0,427, p<0,001), ПМtest и σПМtest (R=0,279, p<0,01), ПМtest и Kvtest (R=0,349, p<0,001).

Показатель σПМtest увеличился по сравнению с показателем σПМ во всех возрастных группах (табл. 2). В I группе показатель σПМtest увеличился по сравнению с показателем до нагрузки на 52,56%, во II группе показатель увеличился на 49,59%, в III группе показатель уменьшился на 26,27%, в IV – на 47,22%, в V – на 3,50%. При этом по критерию Манна-Уитни выявлены статистически значимые различия между показателями σПМtest в I и III группах (p<0,01), I и IV группах (p<0,05), в I и V группах (p<0,01). Выявлена корреляционная взаимосвязь между показателями σПМtest и возрастом (R=0,297, p<0,001), σПМtest и ПМtest (R=0,279, p<0,01), σПМtest и σПМ (R=0,499, p<0,001), σПМtest и Kv (R=0,381, p<0,001), σПМtest и Kvtest (R=0,276, p<0,001), σПМtest и HTtest (R=0,359, p<0,001), σПМtest и MTtest (R=0,479, p<0,001), σПМtest и ПШtest (R=0,172, p<0,001).

Таблица 2

Показатели микроциркуляции в возрастных группах после физической нагрузки

Показатель	Группы	Me	Q25	Q75	Критерий Манна-Уитни	P
ПМtest	I	17,68	14,54	21,93		
	II	19,45	11,61	22,46	$U_{I/II}$=412,5	>0,05
	III	13,54	12,03	18,32	$U_{I/III}$=517	<0,05
	IV	9,98	8,89	15,81	$U_{I/IV}$=396	<0,05
	V	9,35	5,64	11,98	$U_{I/V}$=566	<0,001
σПМtest	I	4,98	3,54	6,65		
	II	3,62	2,12	5,65	$U_{I/II}$=527,5	>0,05
	III	2,98	2,36	4,32	$U_{I/III}$=585	<0,01
	IV	3,18	2,62	3,65	$U_{I/IV}$=337	<0,05
	V	3,25	2,15	4,25	$U_{I/V}$=493,5	<0,01
Kvtest	I	23,38	18,30	34,97		
	II	24,34	16,45	39,95	$U_{I/II}$=436,5	>0,05
	III	24,67	19,89	31,50	$U_{I/III}$=376	>0,05
	IV	24,96	17,49	36,57	$U_{I/IV}$=408	>0,05
	V	22,18	19,56	26,67	$U_{I/V}$=356,5	>0,05
HTtest	I	2,16	1,43	3,20		
	II	2,04	1,34	2,74	$U_{I/II}$=469	>0,05
	III	1,24	0,88	2,14	$U_{I/III}$=564	<0,01
	IV	0,93	0,78	1,44	$U_{I/IV}$=512	<0,05
	V	1,89	1,45	2,54	$U_{I/V}$=407	>0,05
MTtest	I	2,35	2,02	3,22		
	II	2,61	1,35	3,38	$U_{I/II}$=470,5	>0,05
	III	1,67	1,23	3,05	$U_{I/III}$=518	<0,05
	IV	1,25	0,78	1,89	$U_{I/IV}$=391	>0,05
	V	2,32	1,78	2,67	$U_{I/V}$=395,5	>0,05
ПШtest	I	1,92	1,67	3,97		
	II	1,88	1,56	2,29	$U_{I/II}$=492,5	>0,05
	III	2,05	1,76	2,34	$U_{I/III}$=444	>0,05
	IV	2,16	1,41	2,84	$U_{I/IV}$=423	>0,05
	V	2,15	1,74	3,14	$U_{I/V}$=354	>0,05

Примечание: ПМtest – показатель микроциркуляции; σПМtest – флакс; Kvtest – коэффициент вариации; HTtest – нейрогенный тонус; MTtest – миогенный тонус; ПШtest – показатель шунтирования; Me – медиана; Q25 – квартиль 25%; Q75 – квартиль 75%; $U_{I/II}$ – критерий Манна-Уитни при сравнении групп I и II

Показатель Kvtest увеличился по сравнению с показателем σПМ во всех возрастных группах за исключением V группы (табл. 2). По критерию Манна-Уитни статистически значимые различия между показателями Kvtest в возрастных группах не выявлены.

Показатель HTtest увеличился по сравнению с показателем НТ во всех возрастных группах (табл. 2). В I группе показатель HTtest увеличился по сравнению с показателем до нагрузки на 28,57%, во II группе показатель увеличился на 38,78%, в III – на 9,73%, в IV – на 43,08%, в V – на 177,94%. При этом по критерию Манна-Уитни выявлены статистически значимые различия между показателями HTtest в I и III группах ($p<0,01$), I и IV группах ($p<0,05$).

Выявлена корреляционная взаимосвязь между показателями HTtest и возрастом (R=0,219, p<0,01), HTtest и σПМ (R=0,370, p<0,001), HTtest и Kv (R=0,296, p<0,001), HTtest и НТ (R=0,606, p<0,001), HTtest и МТ (R=0,548, p<0,001), HTtest и ПШ (R=0,260, p<0,01), HTtest и σПМtest (R=0,359, p<0,001), HTtest и Kvtest (R=0,257, p<0,001), HTtest и MTtest (R=0,679, p<0,001), HTtest и ПШtest (R=0,248, p<0,001).

Показатель MTtest увеличился по сравнению с показателем МТ во всех возрастных группах (табл. 2). В I группе показатель HTtest увеличился по сравнению с показателем до нагрузки на 12,44%, во II группе показатель увеличился на 53,48%, в III – на 70,41%, в IV – на 68,92%, в V – на 163,64%. При этом по критерию Манна-Уитни выявлены статистически значимые различия между показателями MTtest в I и III группах [p<0,05]. Выявлена корреляционная взаимосвязь между показателями MTtest и возрастом (R=0,192, p<0,001), MTtest и σПМ (R=0,519, p<0,001), MTtest и Kv (R=0,199, p<0,001), MTtest и НТ (R=0,629, p<0,001), MTtest и МТ (R=0,592, p<0,001), MTtest и ПШ (R=0,253, p<0,01), MTtest и σПМtest (R=0,479, p<0,001), MTtest и HTtest (R=0,679, p<0,001), MTtest и ПШtest (R=0,204, p<0,001).

Показатель ПШtest увеличился по сравнению с показателем ПШ во всех возрастных группах (табл. 2). В I группе показатель ПШtest увеличился по сравнению с показателем до нагрузки на 37,14%, во II группе показатель увеличился на 36,23%, в III – на 66,67%, в IV – на 78,51%, в V – на 72,00%. При этом по критерию Манна-Уитни статистически значимые различия между показателями ПШtest в возрастных группах не выявлены (p>0,05). Выявлена корреляционная взаимосвязь между показателями ПШtest и ПШ (R=0,525, p<0,001), ПШtest и σПМ (R=0,232, p<0,01), ПШtest и σПМtest (R=0,172, p<0,05), ПШtest и HTtest (R=0,248, p<0,05), ПШtest и MTtest (R=0,204, p<0,001).

По критерию Манна-Уитни статистически значимые различия между всеми исследованными показателями микроциркуляции по полу не обнаружены.

Заключение. Нами установлено возрастное уменьшение базовых показателей микроциркуляции и амплитудно-частотного спектра на 49,35% в старческом возрасте по сравнению с юношеским возрастом. Показатель флакс (σПМ) также снижался с возрастом, максимальное уменьшение его отмечено в группе пожилого возраста на 33,74%, что выражает возрастное уменьшение механизмов контроля за системой микроциркуляции [1]. 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. Обнаружено возрастное увеличение показателей НТ, МТ и ПШ в ответ на нагрузочный тест. При этом в старческом возрасте НТ увеличился на 177,91% по сравнению с показателями до нагрузки, МТ – на 163,64%, ПШ – на 72%. 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 [1, 2, 12]. Чрезмерное повышение показателей НТ, МТ и ПШ в пожилом и старческом возрасте, вероятно, свидетельствует о декомпенсации в регуляции сосудистого тонуса в этих возрастных группах.

В перспективе дальнейших исследований целесообразно проводить наблюдение

за показателями центральной и периферической гемодинамики и микроциркуляции на протяжении жизни индивида, осуществлять поиск более надежных ранних маркеров сердечно-сосудистой патологии.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазерная допплеровская флоуметрия микроциркуляции крови: руководство для врачей / под ред. А. И. Крупаткина, В. В. Сидорова. – М.: ОАО «Издательство «Медицина», 2005. – 256 с.
2. Козлов, В. И. Анализ флюктуаций капиллярного кровотока у человека методом лазерной допплеровской флоуметрии / В. И. Козлов, Л. В. Корси, В. Г. Соколов // Применение лазерной допплеровской флоуметрии в медицинской практике: Материалы I Всероссийского симпозиума. – Москва, 1996. – С. 38-47.
3. 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.
4. Андреева, И. В. Тканевые биомаркеры раннего сосудистого старения / И. В. Андреева, А. С. Григорьев, Н. В. Калина // Digital Diagnostics. – 2021. – Т. 2. – № 2. – С. 8-9.
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. Андреева, И. В. Возрастные изменения показателей центральной гемодинамики / И. В. Андреева, А. С. Григорьев, Н. В. Калина // Радиология-2022: Материалы XVI Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов, 24-26 мая 2022 г. – Московская область, г. Красногорск, 2022. – С. 124.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Laurent, S. Arterial Stiffness and Hypertension in the Elderly / S. Laurent, P. Boutouyrie // Front. Cardiovasc. Med. – 2020. – Vol. 7. – P. 544302. DOI: 10.3389/fcvm.2020.544302.
11. 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.
12. Крупаткин, А. И. Лазерная допплеровская флоуметрия: международный опыт и распространенные ошибки / А. И. Крупаткин // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2007. – Т. 6. – № 1. – С. 90-92.
13. Laurent, S. The Noninvasive assessment of vascular aging / S. Laurent, L. Marais, P. Boutouyrie // Can J Cardiol. – 2016. – Vol. 32(5). – P. 669-679. DOI: 10.1016/j.cjca.2016.01.039.
14. Inflammation as a Precursor of Atherothrombosis, Diabetes and Early Vascular Aging / E. Barbu, M.-R. Popescu, A.-C. Popescu, S.-M. Balanescu // Int. J. Mol. Sci. – 2022. – Vol. 23. – P. 963. DOI: 10.3390/ijms23020963.

REFERENCES

1. Krupatkin A.I., Sidorov V.V. Laser Doppler flowmetry of blood microcirculation: guidelines for physicians. Moscow: Meditsina, 2005. 256 p. (in Russ.)
2. Kozlov V.I., Korsi L.V., Sokolov V.G. Analysis of fluctuations of capillary blood flow in humans with Laser Doppler flowmetry. Materials of the 1st All-Russian Symposium: Application of Laser Doppler Flowmetry in Medical Practice. Moscow, 1996, pp. 38-47. (in Russ.).
3. 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.).
4. Andreeva I.V., Grigoriev A.S., Kalina N.V. Tissue biomarkers of early vascular aging. *Digital Diagnostics*, 2021, vol. 2, no. 2, pp. 8-9. (in Russ.)
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 organ protection. *Lechebnoe delo*, 2014, vol. 4, pp. 45-48. (in Russ.)
6. Andreeva I.V. Grigoriev A.S., Kalina N.V. Age changes in central hemodynamics. Radiology-2022: Materials of the XVI All-Russian National Congress of Radiation Diagnosticians and Therapists, May 24-26, 2022. Moscow region, Krasnogorsk, 2022. p. 124. (in Russ.).
7. Nilsson P.M. Early Vascular Aging in Hypertension. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 2020, vol. 7, pp. 1-5. DOI: 10.3389/fcvm. 2020.00006.
8. 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.)
9. 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.
10.Laurent S., Boutouyrie P. Arterial Stiffness and Hypertension in the Elderly. *Front. Cardiovasc. Med.*, 2020, vol. 7, pp. 544302. DOI: 10.3389/ fcvm.2020.544302.
11.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/HYPERTEN SIONAHA.120.14971.
12.Krupatkin A.I. Laser Doppler flowmetry: international experience and common mistakes. *Regional Blood Circulation and Microcirculation*, 2007, vol. 6, no. 1, pp. 90-92. (in Russ.).
13.Laurent S., Marais L., Boutouyrie P. The Noninvasive assessment of vascular aging. *Can J Cardiol*, 2016, vol. 32(5), pp. 669-679. DOI: 10.1016/ j.cjca.2016.01.039.
14.Barbu E., Popescu M.-R., Popescu A.-C., Balanescu S.-M. Inflammation as a Precursor of Atherothrombosis, Diabetes and Early Vascular Aging. *Int. J. Mol. Sci*., 2022, vol. 23, p. 963. DOI: 10.3390/ijms23020963.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Ирина Владимировна Андреева – доктор медицинских наук, профессор кафедры общей хирургии ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова Минздрава России» Рязань, e-mail: prof.andreeva.irina.2012@yandex.ru.
Алексей Сергеевич Григорьев – соискатель, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова Минздрава России» Рязань; врач-уролог, врач ультразвуковой диагностики ГБУЗ Московской области «Коломенская ЦРБ», Коломна, e-mail: aleksey130379@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Irina Vladimirovna Andreeva – Doctor of Medical Sciences, Professor of the General Surgery Department, Ryazan State Medical University named after academician I.P. Pavlov, Ryazan, e-mail: prof.andreeva.irina.2012@yandex.ru.
Aleksej Sergeevich Grigor'ev – External Doctorate Student, Ryazan State Medical University named after academician I.P. Pavlov, Ryazan; Urologist, Ultrasound Specialist, Kolomna Central District Hospital, Kolomna, e-mail: aleksey130379@yandex.ru.

Для цитирования: Андреева, И. В. Возрастные изменения показателей микроциркуляции у здоровых людей до и после физической нагрузки / И. В. Андреева, А. С. Григорьев // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 4. DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_04_2

For citation: Andreeva I.V., Grigor'ev A.S. Age-related changes in microcirculation indices in healthy people before and after physical activity. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 4. DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_04_2