

DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-1-217-234

УДК 612.15-611.77

ОСОБЕННОСТИ КОЖНОЙ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРЫС РАЗЛИЧНОГО ПОЛА И ВОЗРАСТА

И.В. Андреева, В.Д. Телия

Цель. Изучить показатели кожной микроциркуляции крыс различного пола и возраста методом лазерной доплеровской флоуметрии.

Материалы и методы. Исследование проведено на 60 беспородных крысах обоего пола массой 120–270 г. В первую группу вошло 20 крыс в возрасте 1 мес, во вторую – 20 крыс в возрасте 6-12 мес и в третью – 20 крыс в возрасте более 18-24 мес. Изучение микроциркуляции выполняли с помощью лазерного доплеровского флоуметра под золетил-ксилазиновым наркозом на коже передней брюшной стенки. Цифровые данные обрабатывали методами вариационной статистики в программе Statistica 13.0 (StatSoft, USA).

Результаты. Показатель микроциркуляции в коже живота животных был несколько выше у самцов, чем у самок. В I возрастной группе это различие составило 8,96% ($R=-0,27$), во II-й – 4,19% ($R=0,09$), в III-й – 0,62% ($R=-0,13$). Показатель миогенного тонуса был стабильно ниже у самцов, чем у самок, – на 59,73% в I ($R=0,12$), на 9,86% во II ($R=-0,20$) и на 8,84% ($R=0,46$) в III возрастной группе. Показатель микроциркуляции в коже живота уменьшался – на 11,15% ($R=0,75$) между I и II возрастными группами, на 39,04% ($R=0,29$) между I и III возрастными группами. При увеличении возраста животных выявлено увеличение показателя σ (переменная составляющая показателя микроциркуляции), что свидетельствует о сохранении механизмов модуляции кожного кровотока у возрастных животных.

Заключение. Статистически значимой зависимости показателя микроциркуляции в коже живота от пола животных не выявлено. С увеличением возраста крыс уменьшались базовые показатели микроциркуляции и показатели амплитудно-частотного спектра.

Ключевые слова: кожа передней брюшной стенки; микроциркуляция; лазерная доплеровская флоуметрия; беспородные крысы; возрастные и половые особенности

Для цитирования. Андреева И.В., Телия В.Д. Особенности кожной микроциркуляции у крыс различного пола и возраста // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14, № 1. С. 217-234. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-1-217-234

FEATURES OF SKIN MICROCIRCULATION IN RATS OF DIFFERENT SEX AND AGE

I.V. Andreeva, V.D. Telia

Purpose. Investigate the parameters of skin microcirculation of rats of different sex and age by laser Doppler flowmetry.

Materials and methods. The study was conducted on 60 mongrel rats of both sexes weighing 120-270 g. The first group included 20 rats aged 1 month, the second – 20 rats aged 6-12 months and the third – 20 rats aged more than 18-24 months. Microcirculation was studied using a laser Doppler flowmeter with zoletil-xylazine anesthesia on the skin of the anterior abdominal wall. Statistical analysis was performed using the application package Statistica 13.0 (StatSoft, USA).

Results. The microcirculation index was slightly higher in males than in females rats in the skin of the animals' abdomen. In the 1st age group, this difference was 8.96% ($R=-0.27$), in the 2nd - 4.19% ($R=0.09$), in the 3rd – 0.62% ($R=-0.13$). The myogenic tone index was consistently lower in males than in females – by 59.73% in 1st ($R=0.12$), by 9.86% in 2nd ($R=0.20$) and by 8.84% ($R=0.46$) in the 3rd age group. The microcirculation index was decreased by 11.15% ($R=0.75$) between 1st and 2nd age groups, by 39.04% ($R=0.29$) between 1st and 3rd age groups. The index σ (variable component of the microcirculation index) was increased in animals of the 2nd and 3rd groups. It indicated the preservation of the mechanisms of modulation of cutaneous blood flow in aged animals.

Conclusion. There was no statistically significant dependence of the microcirculation index in the skin of the abdomen on the sex of the animals. The basic parameters of microcirculation and the amplitude-frequency spectrum were decreased in aged animals.

Keywords: anterior abdominal wall skin; microcirculation; laser Doppler flowmetry; mongrel rats; age and gender features

For citation. Andreeva I.V., Telia V.D. Peculiarities of skin microcirculation in rats of different sex and age. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 1, pp. 217-234. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-1-217-234

К настоящему времени накоплены убедительные свидетельства того, что при увеличении возраста структурно-функциональное состояние сердца и сосудов, а также механизмы регуляции этих структур претерпевают ряд физиологических изменений [1, с. 53; 2, с. 20; 6, с. 18; 14, с. 86-88]. Доказана роль возрастной перестройки сосудов как основного фактора

старения организма, обуславливающего особенности течения и развития заболеваний в пожилом возрасте [12, с. 160-171]. Наряду с изменениями в магистральных артериях, наблюдаются и нарушения микрогемодинамики [19, с. 425; 21, с. 350].

Изменения структуры и функции микрососудистого русла можно увидеть задолго до наступления явной манифестной патологии, а микроангиопатии являются не только следствием поражения крупных сосудов, но и могут быть патогенетической основой различных заболеваний [3, с. 53; 16, с. 125-126].

Показатели кожной микроциркуляции адекватно отражают состояние системной микрососудистой дисфункции при различных заболеваниях [18, с. 88; 20, с. 60-61]. Лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) позволяет исследовать капиллярную гемодинамику в реальном масштабе времени [4, с. 38-47; 7, с. 15-23]. Принцип работы ЛДФ основан на отражении сигнала гелий-неонового лазерного луча с длиной волны 632,8 нм от движущихся эритроцитов с изменением частоты отраженного сигнала согласно эффекту Допплера [8, с. 81].

ЛДФ-сигнал имеет постоянную (М) и переменную (б) от времени составляющие. Постоянная составляющая М – это средняя перфузия в микроциркуляторном русле за определенный промежуток времени. Переменная составляющая б обусловлена факторами, влияющими на постоянство потока крови в микроциркуляторном русле, т. е. связана с обстоятельствами, изменяющими величину скорости и концентрации эритроцитов. Характер изменения величины б определяется вариациями во времени как просветов сосудов, их внутренних диаметров, которые контролируются активными и пассивными факторами в системе микроциркуляции [7, с. 22-24]. Активные факторы контроля микроциркуляции – это эндотелиальный, миогенный и нейрогенный механизмы регуляции просвета сосудов, тонуса сосудов. 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 [7, с. 25-28].

Несмотря на большое количество работ, посвященных особенностям микроциркуляции у животных при различных состояниях, остаются недо-

статочны исследованными вопросы изменения кожной микроциркуляции в зависимости от возраста и пола, которые могут выступать в качестве первых маркеров сосудистого старения, эндотелиальной дисфункции и других состояний [9, с. 54; 10, с. 16; 11, с. С. 65-66; 15; 17, с. 1190-1192].

Цель исследования – изучить показатели кожной микроциркуляции крыс различного пола и возраста методом лазерной доплеровской флоуметрии.

Материалы и методы исследования

Исследование проведено на 60 беспородных крысах обоего пола массой 120–270 г, разделенных на три возрастные группы. В первую группу вошло 20 крыс в возрасте 1 мес, во вторую – 20 крыс в возрасте 6-12 мес и в третью – 20 крыс в возрасте более 18-24 мес. Учитывая среднюю продолжительность жизни беспородных крыс в лабораторных условиях, возраст крыс в первой группе соответствовал юношескому возрасту у людей, во второй группе – зрелому возрасту, в третьей группе – пожилому возрасту. В каждой возрастной группе было поровну самцов и самок. Крыс содержали в условиях вивария с соблюдением положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board), «Принципов надлежащей лабораторной практики» (национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ № 33044-2014, введен с 1.08.2015г.), приказа Минздрава России от 01.04.2016 г. № 199н «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики», «Санитарно-эпидемиологических требований к устройству, оборудованию и содержанию экспериментально-биологических клиник (вивариев)» (СП 2.2.1.3218-14) [13]. Эвтаназию животных осуществляли передозировкой золетила. Получено положительное заключение на проведение исследования регионального этического комитета ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России 12.02.2021 г., протокол №25.

Исследование микроциркуляции в коже животных методом ЛДФ выполняли с помощью лазерного доплеровского флоуметра ЛАКК-02 (Россия) в условиях наркоза (золетил 20-40 мг/кг массы, ксилазин 5-10 мг/кг массы) в положении на спине через 10 мин после адаптации животного при температуре 20°C. Показатели кожной микроциркуляции определяли в области передней брюшной стенки животного. Шерсть на коже передней брюшной стенки предварительно сбивали. Показатели снимали в течение 5 мин до достижения устойчивого значения показателей [7]. С помощью программного обеспечения флоуметра получали базовые показатели микроциркуля-

ции: среднее арифметическое показателя микроциркуляции (ПМ), среднее квадратичное отклонение (σ), коэффициент вариации (K_v) [6, 7].

После определения базовых показателей микроциркуляции проводили анализ показателей амплитудно-частотного спектра микроциркуляции, отражающих вклад осцилляций кровотока (нейрогенный тонус (НТ), мио-генный тонус (МТ), показатель шунтирования (ПШ), индекс эффективности микроциркуляции (ИЭМ)) [6]. Указанные параметры были рассчитаны программным обеспечением флоуметра. Для клинической, особенно ранней, диагностики при многих нозологических формах изменения показателей амплитудно-частотного спектра более значимы, чем базовых [5, с. 91].

Цифровые данные обрабатывали методами вариационной статистики с помощью программы «StatSoft Statistica 13.0» (США, номер лицензии АХА003J115213FAACD-X, Statsoft.ru) и Microsoft Excel for MAC ver. 16.24 (ID 02984-001-000001). Определяли: среднюю арифметическую выборки (M); ошибку средней арифметической выборки (m); вероятность ошибки (P); квартиль – отношение медианы к максимальному и минимальному показателям выборки (δ), t -критерий Стьюдента. Характер распределения полученных данных оценивали по критерию Шапиро-Уилка. При распределении данных, отличном от нормального, в независимых выборках статистическую значимость различий оценивали по U -критерию Манна-Уитни. Наличие связи между исследуемыми группами определяли с помощью коэффициента корреляции Пирсона (R).

Результаты исследования и их обсуждение

В I возрастной группе ПМ в коже живота крыс колебался от 2,61 до 13,65 мл/мин/100 г, составляя в среднем $7,88 \pm 3,06$ мл/мин/100 г. Показатель у самцов ($8,26 \pm 3,17$ мл/мин/100 г) был на 8,96% больше, чем у самок ($7,52 \pm 2,87$ мл/мин/100 г) ($R = -0,27$). Показатель σ колебался от 2,31 до 9,53, составляя в среднем $5,58 \pm 2,03$. Показатель σ у самцов ($5,44 \pm 2,14$) был на 4,90% меньше, чем у самок ($5,72 \pm 1,93$) ($R = 0,05$). Показатель K_v колебался от 25,55 до 287,43, составляя в среднем $93,96 \pm 72,30$. Показатель K_v у самцов ($98,23 \pm 68,57$) был на 8,70% больше, чем у самок ($89,68 \pm 76,04$) ($R = -0,43$). Показатель НТ колебался от 0,32 до 1,96, составляя в среднем $0,96 \pm 0,54$. Показатель НТ у самцов ($0,55 \pm 0,065$) был на 60,14% меньше, чем у самок – $1,38 \pm 0,48$ ($R = 0,29$). Показатель МТ колебался от 0,37 до 2,10, составляя в среднем $1,05 \pm 0,57$. Показатель НТ у самцов ($0,60 \pm 0,10$) был на 59,73% меньше, чем у самок – $1,49 \pm 0,45$ ($R = 0,12$). Показатель ПШ колебался от 0,81 до 1,73, составляя в среднем $1,16 \pm 0,18$. Показатель НТ

у самцов составил в среднем $1,15 \pm 0,13$, а у самок – $1,17 \pm 0,24$ ($R = -0,13$). Показатель ИЭМ колебался от 0,81 до 2,12, составляя в среднем $1,42 \pm 0,37$. Показатель НТ у самцов ($1,38 \pm 0,43$) был на 5,48% меньше, чем у самок – $1,46 \pm 0,30$. ($R = -0,36$) (табл. 1).

Таблица 1.

Показатели микроциркуляции в коже живота крыс I возрастной группы

№ п/п	Статистические критерии	Показатели микроциркуляции						
		ПМ	σ	Кв	НТ	МТ	ПШ	ИЭМ
Общий массив								
1	М (n=20)	7,89	5,58	93,96	0,96	1,05	1,16	1,42
2	m	3,06	2,03	72,30	0,54	0,57	0,18	0,37
3	Квартиль 25%	4,81	3,91	34,31	0,51	0,53	1,00	1,03
4	Квартиль 50%	8,80	5,38	47,73	0,59	0,76	1,15	1,36
5	Квартиль 75%	10,61	7,63	153,12	1,65	1,64	1,29	1,74
Самцы								
6	М (n=10)	8,26	5,45	98,23	0,55	0,60	1,15	1,38
7	m	3,17	2,14	68,57	0,07	0,10	0,13	0,43
8	Квартиль 25%	5,32	3,11	42,03	0,49	0,52	1,01	1,00
9	Квартиль 50%	9,15	5,21	61,17	0,55	0,57	1,13	1,22
10	Квартиль 75%	11,20	7,41	128,61	0,57	0,71	1,27	1,82
Самки								
11	М (n=10)	7,52	5,72	89,68	1,38	1,49	1,17	1,46
12	m	2,87	1,93	76,04	0,48	0,45	0,24	0,30
13	Квартиль 25%	5,02	4,24	30,36	1,16	1,44	0,89	1,27
14	Квартиль 50%	7,48	5,49	41,62	1,65	1,67	1,16	1,48
15	Квартиль 75%	9,93	7,87	144,94	1,81	1,90	1,36	1,62
Критерии различий между самцами и самками								
16	t-критерий	0,17	0,23	1,13	1,51	1,67	0,69	0,02
17	P	0,86	0,98	0,19	0,22	0,09	0,53	0,49
18	t кр	2,10						
19	U-критерий	46	44	40	20	20	50	44
20	U кр	19-34						
21	R	-0,27	0,05	-0,43	0,29	0,12	-0,13	-0,36

Во II возрастной группе ПМ в коже живота колебался от 2,88 до 10,87 мл/мин/100 г, составляя в среднем $7,01 \pm 1,95$ мл/мин/100 г. Показатель у самцов ($7,16 \pm 2,21$ мл/мин/100 г) был на 4,19% больше, чем у самок ($6,86 \pm 1,68$ мл/мин/100 г) ($R = 0,09$) (табл. 2).

Таблица 2.

Показатели микроциркуляции в коже живота крыс II возрастной группы

№ п/п	Статистические критерии	Показатели микроциркуляции						
		ПМ	σ	Kv	HT	MT	ПШ	ИЭМ
Общий массив								
1	M (n=20)	7,01	6,88	51,95	0,74	0,67	1,01	1,10
2	m	1,95	1,99	20,88	0,16	0,11	0,19	0,25
3	Квартиль 25%	4,99	5,04	33,29	0,61	0,58	0,87	0,91
4	Квартиль 50%	7,32	7,29	45,58	0,68	0,65	0,98	1,07
5	Квартиль 75%	8,85	8,35	59,34	0,89	0,72	1,25	1,30
Самцы								
6	M (n=10)	7,16	7,49	54,79	0,67	0,64	1,06	1,23
7	m	2,21	2,15	27,19	0,12	0,07	0,19	0,27
8	Квартиль 25%	4,73	5,52	28,74	0,55	0,59	0,97	0,99
9	Квартиль 50%	7,75	8,03	42,76	0,64	0,66	1,05	1,28
10	Квартиль 75%	8,88	9,17	53,84	0,68	0,69	1,26	1,46
Самки								
11	M (n=10)	6,86	6,27	49,12	0,82	0,71	0,97	0,97
12	m	1,68	1,71	15,72	0,16	0,17	0,18	0,19
13	Квартиль 25%	5,20	4,75	37,28	0,69	0,58	0,84	0,88
14	Квартиль 50%	7,21	6,68	48,92	0,84	0,64	0,92	0,96
15	Квартиль 75%	8,26	8,05	64,67	0,92	0,75	1,18	1,12
Критерии различий между самцами и самками								
16	t-критерий	0,38	0,38	0,36	0,64	0,68	0,56	0,57
17	P	0,71	0,70	0,72	0,55	0,59	0,59	0,61
18	t кр	2,02						
19	U-критерий	168	138	157	154	163	134	118
20	U кр	114-138						
21	R	0,09	-0,34	-0,30	0,15	-0,20	-0,13	-0,22

Различия ПМ между I и II возрастными группами по t-критерию Стьюдента и U-критерию Манна-Уитни статистически не значимы. Коэффициент корреляции ($R=0,75$) указал на высокую прямую силу связи показателя с возрастом животных (табл. 3).

Во II возрастной группе показатель σ колебался от 3,26 до 12,23, составляя в среднем $6,88 \pm 1,99$. Показатель σ у самцов ($7,49 \pm 2,15$) был на 16,29% больше, чем у самок ($6,27 \pm 1,71$) ($R=-0,34$) (табл. 2). Коэффициент корреляции ($R=0,36$) указал на умеренную прямую силу связи показателя

с возрастом животных (различия показателя σ между I и II возрастными группами) (табл. 3).

Таблица 3.

Статистические критерии различий показателей микроциркуляции в коже живота крыс различных возрастных групп

№ п/п	Статистические критерии	Показатели микроциркуляции						
		ПМ	σ	Kv	HT	MT	ПШ	ИЭМ
1	t-критерий (группы I и II)	0,38	0,38	0,36	0,64	0,68	0,56	0,57
2	P (группы I и II)	0,71	0,70	0,72	0,55	0,60	0,59	0,61
3	t кр	2,02						
4	U-критерий (группы I и II)	168	138	157	154	163	134	118
5	U кр	114-138						
6	R (группы I и III)	0,75	0,36	0,52	0,58	0,20	0,07	0,29
7	t-критерий (группы I и II)	0,94	0,59	0,64	1,18	1,13	1,38	0,97
8	P (группы I и II)	0,35	0,55	0,49	0,23	0,26	0,17	0,33
9	t кр	2,02						
10	U-критерий (группы I и II)	102	170	127	130,5	138	33,5	38
11	U кр	114-138						
12	R (группы I и III)	0,29	0,43	0,61	0,07	0,35	0,20	0,12

Показатель Kv во II возрастной группе колебался от 18,89 до 167,26, составляя в среднем $51,95 \pm 20,88$. Показатель Kv у самцов ($54,79 \pm 27,19$) был на 10,35% больше, чем у самок ($49,12 \pm 15,72$) ($R = -0,30$) (табл. 2). Коэффициент корреляции ($R = 0,52$) указал на заметную прямую силу связи показателя с возрастом животных (различия показателя σ между I и II возрастными группами) (табл. 3).

Показатель HT во II возрастной группе колебался от 0,49 до 0,54, составляя в среднем $0,74 \pm 0,16$. Показатель HT у самцов ($0,67 \pm 0,12$) был на 18,29% меньше, чем у самок ($0,82 \pm 0,16$) ($R = 0,15$) (табл. 2). Коэффициент корреляции ($R = 0,58$) указал на заметную прямую силу связи показателя с возрастом животных (различия показателя σ между I и II возрастными группами) (табл. 3).

Показатель MT во II возрастной группе колебался от 0,45 до 1,33, составляя в среднем $0,67 \pm 0,11$. Показатель MT у самцов ($0,64 \pm 0,07$) был на 9,86% меньше, чем у самок ($0,71 \pm 0,17$) ($R = -0,20$) (табл. 2). Коэффициент

корреляции ($R=0,26$) указал на слабую прямую силу связи показателя с возрастом животных (различия показателя σ между I и II возрастными группами) (табл. 3).

Показатель ПШ во II возрастной группе колебался от 0,58 до 1,27, составляя в среднем $1,01\pm 0,19$. Показатель НТ у самцов ($1,06\pm 0,19$) был на 8,49% больше, чем у самок ($0,97\pm 0,18$) ($R=-0,13$) (табл. 2). Коэффициент корреляции ($R=0,07$) указал на отсутствие связи показателя с возрастом животных (различия показателя σ между I и II возрастными группами) (табл. 3).

Показатель ИЭМ во II возрастной группе колебался от 0,36 до 1,72, составляя в среднем $1,09\pm 0,25$. Показатель ИЭМ у самцов ($1,23\pm 0,27$) был на 21,14% больше, чем у самок ($0,97\pm 0,19$) ($R=-0,22$) (табл. 2). Коэффициент корреляции ($R=0,29$) указал на наличие слабой прямой связи показателя с возрастом животных (различия показателя σ между I и II возрастными группами) (табл. 3).

В III возрастной группе ПМ в коже живота колебался от 3,24 до 7,15 мл/мин/100 г, составляя в среднем $4,81\pm 1,19$ мл/мин/100 г. Показатель у самцов ($4,80\pm 0,99$ мл/мин/100 г) и самок ($4,83\pm 1,39$ мл/мин/100 г) практически не различались ($R=-0,13$) (табл. 4).

Таблица 4.

Показатели микроциркуляции в коже живота крыс III возрастной группы

№ п/п	Статистические критерии	Показатели микроциркуляции						
		ПМ	σ	K_v	НТ	МТ	ПШ	ИЭМ
Общий массив								
1	М (n=20)	4,81	6,25	39,48	0,56	0,58	0,77	0,85
2	m	1,19	1,49	14,16	0,12	0,06	0,13	0,06
3	Квартиль 25%	3,64	4,48	26,74	0,43	0,54	0,69	0,82
4	Квартиль 50%	4,36	6,57	37,16	0,54	0,57	0,77	0,87
5	Квартиль 75%	6,04	7,51	50,01	0,62	0,61	0,86	0,89
Самцы								
6	М (n=10)	4,80	6,10	39,54	0,57	0,55	0,82	0,80
7	m	0,99	2,04	16,20	0,13	0,04	0,13	0,07
8	Квартиль 25%	4,26	4,39	23,07	0,44	0,54	0,72	0,76
9	Квартиль 50%	4,36	6,57	33,83	0,54	0,55	0,76	0,81
10	Квартиль 75%	5,47	7,67	43,26	0,61	0,58	0,85	0,88
Самки								
11	М (n=10)	4,83	6,40	39,43	0,55	0,61	0,73	0,90

Окончание табл. 4.

12	m	1,39	0,92	12,12	0,11	0,08	0,15	0,04
13	Квартиль 25%	3,27	5,89	31,07	0,44	0,54	0,68	0,86
14	Квартиль 50%	4,71	6,57	41,12	0,54	0,59	0,79	0,89
15	Квартиль 75%	6,32	7,25	50,06	0,62	0,65	0,85	0,92
Критерии различий между самцами и самками								
16	t-критерий	0,01	0,21	0,18	0,21	0,19	0,24	0,30
17	P	0,92	0,83	0,84	0,76	0,80	0,67	0,74
18	t кр	2,10						
19	U-критерий	37	55	43	32	31	48	51
20	U кр	19-27						
21	R	-0,13	-0,13	-0,21	-0,07	0,46	0,01	-0,36

Коэффициент корреляции ($R=0,29$) указал на слабую положительную силу связи показателя с возрастом животных (табл. 3).

Показатель σ в III возрастной группе колебался от 2,12 до 9,37, составляя в среднем $6,25 \pm 1,49$. Показатель σ у самцов ($6,10 \pm 2,04$) был на 4,69% меньше, чем у самок ($6,40 \pm 0,92$) ($R=-0,13$) (табл. 4). Коэффициент корреляции ($R=0,43$) указал на умеренную прямую силу связи показателя с возрастом животных (различия показателя σ между I и III возрастными группами) (табл. 3).

Показатель K_v в III возрастной группе колебался от 16,67 до 78,28, составляя в среднем $39,48 \pm 14,16$. Показатель K_v у самцов ($39,54 \pm 16,20$) и самок ($39,43 \pm 12,12$) практически не различались ($R=-0,21$) (табл. 4). Коэффициент корреляции ($R=0,61$) указал на заметную прямую силу связи показателя с возрастом животных (различия показателя σ между I и III возрастными группами) (табл. 3).

Показатель HT в III возрастной группе колебался от 0,36 до 1,12, составляя в среднем $0,56 \pm 0,12$. Показатель HT у самцов ($0,57 \pm 0,13$) был на 3,51% больше, чем у самок ($0,55 \pm 0,11$) ($R=-0,07$) (табл. 4). Коэффициент корреляции ($R=0,07$) указал на отсутствие связи показателя с возрастом животных (различия показателя σ между I и III возрастными группами) (табл. 3).

Показатель MT в III возрастной группе колебался от 0,44 до 0,87, составляя в среднем $0,58 \pm 0,06$. Показатель MT у самцов ($0,55 \pm 0,04$) был на 9,84% меньше, чем у самок ($0,61 \pm 0,08$) ($R=0,46$) (табл. 4). Коэффициент корреляции ($R=0,35$) указал на умеренную прямую силу связи показателя с возрастом животных (различия показателя σ между I и III возрастными группами) (табл. 3).

Показатель ПШ в III возрастной группе колебался от 0,23 до 1,2734, составляя в среднем $0,77 \pm 0,13$. Показатель ПШ у самцов ($0,82 \pm 0,13$) был на 10,98% больше, чем у самок ($0,73 \pm 0,15$) ($R=0,01$) (табл. 4). Коэффициент корреляции ($R=0,20$) указал на слабую прямую силу связи показателя с возрастом животных (различия показателя σ между I и III возрастными группами) (табл. 3).

Показатель ИЭМ в III возрастной группе колебался от 0,60 до 1,05, составляя в среднем $0,85 \pm 0,06$. Показатель ИЭМ у самцов ($0,80 \pm 0,07$) был на 11,11% меньше, чем у самок ($0,90 \pm 0,04$) ($R=-0,36$) (табл. 4). Коэффициент корреляции ($R=0,12$) указал на отсутствие связи показателя с возрастом животных (различия показателя σ между I и III возрастными группами) (табл. 3).

В целом, ПМ в коже живота животных был несколько выше у самцов, чем у самок. В I возрастной группе это различие составило 8,96% ($R=-0,27$), во II-й – 4,19% ($R=0,09$), в III-й – 0,62% ($R=-0,13$). Другие показатели микроциркуляции (σ , Kv, НТ, ПШ и ИЭМ) не выявили четкой зависимости от пола, за исключением показателя МТ, который был стабильно меньше у самцов, чем у самок, – на 59,73% в I ($R=0,12$), на 9,86% во II ($R=-0,20$) и на 8,84% ($R=0,46$) в III возрастной группе. По данным А.И. Крупаткина, В.В. Сидорова (2005), возрастание миогенных колебаний свидетельствует о вазодилатации [7]. Поэтому, можно полагать, что у самок всех возрастных групп наблюдались признаки относительной вазодилатации.

При увеличении возраста крыс ПМ в коже живота уменьшался – на 11,15% ($R=0,75$) между I и II возрастными группами, на 39,04% ($R=0,29$) между I и III возрастными группами. Остальные показатели микроциркуляции с возрастом также уменьшались: Kv – на 44,71% ($R=0,52$) между I и II возрастными группами, на 57,98% ($R=0,61$) между I и III возрастными группами; НТ – на 22,92% ($R=0,58$) между I и II возрастными группами, на 41,67% ($R=0,07$) между I и III возрастными группами; МТ – на 36,19% ($R=0,20$) между I и II возрастными группами, на 44,76% ($R=0,35$) между I и III возрастными группами; ПШ – на 12,93% ($R=0,07$) между I и II возрастными группами, на 33,62% ($R=0,20$) между I и III возрастными группами; ИЭМ – на 22,54% ($R=0,29$) между I и II возрастными группами, на 40,14% ($R=0,12$) между I и III возрастными группами. При функциональной оценке микрогемодинамики необходимо учитывать тройственный (нейрогенный, миогенный и эндотелиальный) характер регуляции тонуса микрососудов. Уменьшение ПМ, отражающее уменьшение объема притока артериальной крови в микроциркуляторное русло, модулированного

пульсовой волной, можно объяснить снижением сосудистого тонуса, в том числе резистивных сосудов [7].

При увеличении возраста животных лишь один показатель микроциркуляции увеличился – σ , он вырос на 18,89% ($R=0,36$) между I и II возрастными группами, на 10,72% ($R=0,43$) между I и III возрастными группами. По мнению А.И. Крупаткина, В.В. Сидорова (2005), в переменной составляющей σ ПМ содержится ценная информация о модуляции кровотока. Если постоянная составляющая ЛДФ-сигнала ПМ характеризует величину перфузии, то σ – механизмы контроля за перфузией [7]. Увеличение показателя σ у крыс свидетельствует о сохранных механизмах модуляции кожного кровотока.

Заключение

В результате проведенного исследования не выявлено статистически значимой зависимости показателя микроциркуляции в коже живота от пола животных. С увеличением возраста крыс уменьшались базовые показатели микроциркуляции и показатели амплитудно-частотного спектра, за исключением переменной составляющей показателя микроциркуляции, увеличение которой отражало сохранение механизмов модуляции кожного кровотока.

Финансирование. Исследование проведено при поддержке ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России. В работе гранты не использовались.

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

Конфликт интересов. Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Баллюзек М.Ф., Нестеров В.П., Ташилкина Е.Е. Возрастные особенности структурно-функционального состояния и вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы и методы их оценки // Успехи геронтологии. 2005. №17. С. 50-54.
2. Возраст-зависимые характеристики сердечного выброса в основных позных состояниях / Диленя Л.Р., Зарипова А.В., Бочарин И.В., Мартусевич А.К. // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, No 4. С. 11-23. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-11-23>

3. Динамика показателей регионарной гемодинамики и микрососудистой реактивности на фоне использования модифицированных методов экстракорпоральной гемокоррекции у больных подагрой / Бельских А.Н., Пятченков М.О., Тыренко В.В., Бологов С.Г., Тишко В.В. // Методы исследования микроциркуляции в клинике: сборник научных трудов научно-практической конференции / Под ред. Проф. Н.Н. Петрищева. СПб.: СП Минимакс, 2014. С. 41-54.
4. Козлов В.И., Корси Л.В., Соколов В.Г. Анализ флюктуаций капиллярного кровотока у человека методом лазерной доплеровской флоуметрии // Материалы I Всероссийского симпозиума «Применение лазерной доплеровской флоуметрии в медицинской практике». Москва. 1996. С. 38-47.
5. Крупаткин А.И. Лазерная доплеровская флоуметрия: международный опыт и распространенные ошибки // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2007. Т.6. №1. С. 90-92.
6. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке состояния и расстройств микроциркуляции крови / Козлов В.И., Азизов Г.А., Гурова О.А., Литвин Ф.Б. М.: РУДН, 2012. 32 с.
7. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / Под ред. А.И. Крупаткина, В.В. Сидорова: Руководство для врачей. М.: ОАО Медицина, 2005. 256 с.
8. Рогаткин Д.А. Физические основы современных оптических методов исследования микрогемодинамики *in vivo* // Медицинская физика. 2017. №4. С. 75-93.
9. Современные возможности изучения гемодинамики в экспериментальных исследованиях / Андреева И.В., Виноградов А.А., Жесткова Т.М., Калина Н.В., Симаков Р.Ю., Симакова Е.С., Григорьев А.С., Святивода Р.В. // Дальневосточный медицинский журнал. 2019. №2. С. 54-58. <https://doi.org/10.35177/1994-5191-2019-1-54-58>
10. Сопоставительный анализ экспериментальных показателей внутрикожного напряжения кислорода с параметрами микроциркуляции / Андреева И.В., Виноградов А.А., Жесткова Т.М., Калина Н.В., Симаков Р.Ю., Симакова Е.С., Григорьев А.С., Святивода Р.В. // Якутский медицинский журнал. 2019. Т. 65, №1. С. 14-16. <https://doi.org/10.25789/УМЖ.2019.65.04>
11. Суковатых Б.С., Фейзиев Э.Э., Суковатых М.Б. Влияние аутологичной фракции костного мозга и симвастатина на микроциркуляцию мышц голени при экспериментальной критической ишемии нижних конечностей // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2021. Т.20. №2. С. 65-69. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2021-20-2-65-69>

12. Троицкая Е.А., Вельмакин С.В., Кобалава Ж.Д. Концепция сосудистого возраста: новый инструмент оценки сердечно-сосудистого риска // Артериальная гипертензия. 2017. Т. 23. №2. С.160-171. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2017-23-2-160-171>
13. Этические и правовые аспекты проведения экспериментальных биомедицинских исследований *in vivo*. Часть 2 / Липатов В.А., Крюков А.А., Северинов Д.А., Саакян А.Р.// Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2019. Т. 27, № 1. С. 80-92. <https://doi.org/10.23888/PAVLOVJ201927180-92>
14. Яскевич Р.А., Повshedная О.Н., Москаленко О.Л. Структурно-функциональное состояние миокарда и типы гемодинамики у мужчин с артериальной гипертензией различных конституциональных типов // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2020. Vol. 12, No 4. С. 84-103. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-4-84-103>
15. Bernatova I. Endothelial dysfunction in experimental models of arterial hypertension: cause or consequence? // Biomed Res Int. 2014. Vol. 2014, 598271. <https://doi.org/10.1155/2014/598271>
16. Chen L., Wu J. Systems biology for complex diseases // Journal of Molecular Cell Biology. 2012. No. 4. P. 125-126. <https://doi.org/10.1093/jmcb/mjs022>
17. Eleftheriadis E., Kotzampassi K., Iliadis S. Hepatic tissue microcirculation, oxygenation and energy charge in ischemia-reperfusion subjected cirrhotic rat liver // Hepatogastroenterology. 1997. Vol. 44, No. 16. P. 1187-1192. <https://doi.org/10.1016/j.hepres.1997.04.002>
18. Hodges G.J., Del Pozzi A.T. Noninvasive examination of endothelial, sympathetic, and myogenic contributions to regional differences in the human cutaneous microcirculation // Microvasc Res. 2014. Vol. 93. P. 87-91. <https://doi.org/10.1016/j.mvr.2014.04.002>
19. Meng Q., Wang S., Wang Y., Wan S., Liu K., Zhou X., Zhong G., Zhang X., Chen X. Arterial stiffness is a potential mechanism and promising indicator of orthostatic hypotension in the general population // Vasa. 2014. Vol. 43, No. 6. P. 423-432. <https://doi.org/10.1024/0301-1526/a000389>
20. Roustit M. Non-invasive assessment of skin microvascular function in humans: an insight into methods // Microcirculation. 2012. Vol. 19, No. 1. P. 47-64.
21. Yuan X., Wu Q., Shang F., Li B., Liu M., Wang B., Sheng Y., Zhang H., Xiu R. A comparison of the cutaneous microvascular properties of the Spontaneously Hypertensive and the Wistar-Kyoto rats by Spectral analysis of Laser Doppler // Clin Exp Hypertens. 2019. Vol. 41, No. 4. P. 342-352. <https://doi.org/10.1080/10641963.2018.1481424>

References

1. Ballyuzek M.F., Nesterov V.P., Tashchilkina E.E. Vozrastnye osobennosti strukturno-funktsional'nogo sostoyaniya i vegetativnoy regulyatsii serdechno-sosudistoy sistemy i metody ikh otsenki [Age-related features of the structural and functional state and autonomic regulation of the cardiovascular system and methods of their assessment]. *Uspekhi gerontologii* [Successes of gerontology], 2005, vol. 17, pp. 50-54.
2. Dilenyan L.R., Zaripova A.V., Bocharin I.V., Martusevich A.K. Vozrast-zavisimye kharakteristiki serdechnogo vybrosa v osnovnykh poznykh sostoyaniyakh [Age-dependent characteristics of cardiac output in basic postural states]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 4, pp. 11-23. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-11-23>
3. Bel'skikh A.N., Pyatchenkov M.O., Tyrenko V.V., Bologov S.G., Tishko V.V. Dinamika pokazateley regionarnoy gemodinamiki i mikrososudistoy reaktivnosti na fone ispol'zovaniya modifitsirovannykh metodov ekstrakorporal'noy gemokorreksii u bol'nykh podagroy [Dynamics of indicators of regional hemodynamics and microvascular reactivity against the background of the use of modified methods of extracorporeal hemocorrection in patients with gout]. *Metody issledovaniya mikrotsirkulyatsii v klinike* [Methods of microcirculation research in the clinic]. SPb.: SP Minimaks, 2014, pp. 41-54.
4. Kozlov V.I., Korsi L.V., Sokolov V.G. Analiz fluktuatsiy kapillyarnogo krovotoka u cheloveka metodom lazernoy dopplerovskoy floumetrii [Analysis of fluctuations of capillary blood flow in humans by laser Doppler flowmetry]. *Primenenie lazernoy dopplerovskoy floumetrii v meditsinskoj praktike* [Application of laser Doppler flowmetry in medical practice]. Moscow, 1996, pp. 38-47.
5. Krupatkin A.I. Lazernaya dopplerovskaya floumetriya: mezhdunarodnyy opyt i rasprostrannennye oshibki [Laser Doppler flowmetry: international experience and common mistakes]. *Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrotsirkulyatsiya* [Regional blood circulation and microcirculation], 2007, vol. 6, no. 1, pp. 90-92.
6. Kozlov V.I., Azizov G.A., Gurova O.A., Litvin F.B. *Lazernaya dopplerovskaya floumetriya v otsenke sostoyaniya i rasstroystv mikrotsirkulyatsii krovi* [Laser Doppler flowmetry in the assessment of the state and disorders of blood microcirculation]. Moscow: RUDN Publ., 2012, 32 p.
7. Krupatkin A.I., Sidorov V.V. *Lazernaya dopplerovskaya floumetriya mikrotsirkulyatsii krovi* [Laser Doppler flowmetry of blood microcirculation]. Moscow: Medicine, 2005, 256 p.

8. Rogatkin D.A. Fizicheskie osnovy sovremennykh opticheskikh metodov issledovaniya mikrogemodinamiki in vivo [Physical foundations of modern optical methods for studying microhemodynamics in vivo]. *Meditinskaya fizika* [Medical physics], 2017, vol. 4, pp. 75-93.
9. Andreeva I.V., Vinogradov A.A., Zhestkova T.M., Kalina N.V., Simakov R.Yu., Simakova E.S., Grigorev A.S., Svyativoda R.V. Sovremennye vozmozhnosti izucheniya gemodinamiki v eksperimental'nykh issledovaniyakh [Modern options of hemodynamics studies in experimental researches]. *Dal'nevostochnyy meditsinskiy zhurnal* [Far Eastern Medical Journal], 2019, vol. 2. pp. 54-58. <https://doi.org/10.35177/1994-5191-2019-1-54-58>
10. Andreeva I.V., Vinogradov A.A., Zhestkova T.M., Kalina N.V., Simakov R.Yu., Simakova E.S., Grigorev A.S., Svyativoda R.V. Sopostavitel'nyy analiz eksperimental'nykh pokazateley vnutrikozhnogo napryazheniya kisloroda s parametrami mikrotsirkulyatsii [A comparative analysis of the experimental parameters of transcutaneous oxygen tension with the microcirculation parameters]. *Yakutskiy meditsinskiy zhurnal* [Yakut medical journal], 2019, vol. 65, no. 1, pp.14-16. <https://doi.org/10.25789/YMJ.2019.65.04>
11. Sukovatykh B.S., Fezyiev E.E., Sukovatykh M.B. Vliyanie autologichnoy fraktsii kostnogo mozga i simvastatina na mikrotsirkulyatsiyu myshts goleni pri eksperimental'noy kriticheskoy ishemii nizhnikh konechnostey [Influence of autologous bone marrow fraction and simvastatin on microcirculation of leg muscles in experimental critical ischemia of the lower limbs]. *Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrotsirkulyatsiya* [Regional blood circulation and microcirculation], 2021, vol. 20, no. 2, pp. 65-67. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2021-20-2-65-69>
12. Troitskaya E.A., Velmakin S.V., Kobalava Z.D. Kontseptsiya sosudistogo vozrasta: novyy instrument otsenki serdechno-sosudistogo riska [Concept of vascular age: new tool in cardiovascular risk assessment]. *Arterial'naya Gipertenziya* [Arterial Hypertension], 2017, vol. 23, no. 2, pp. 160–171. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2017-23-2-160-171>
13. Lipatov V.A., Kryukov A.A., Severinov D.A., Saakyan A.R. Eticheskie i pravovye aspekty provedeniya eksperimental'nykh biomeditsinskikh issledovaniy in vivo. Chast' 2 [Ethical and legal aspects of in vivo experimental biomedical research of the conduct]. *Rossiyskiy mediko-biologicheskii vestnik imeni akademika I.P. Pavlova* [I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald], 2019, vol. 27, no. 2, pp. 245-257. <https://doi.org/10.23888/PAVLOVJ201927180-92>
14. Yaskevich R.A., Povshednaya O.N., Moskalenko O.L. Strukturno-funktsional'noe sostoyanie miokarda i tipy gemodinamiki u muzhchin s arterial'noy gipertoniey razlichnykh konstitutsional'nykh tipov [Structural and functional

- state of the myocardial and types of hemodynamics in men with arterial hypertension of different constitutional types]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2020, vol. 12, no. 4, pp. 84-103. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-4-84-103>
15. Bernatova I. Endothelial dysfunction in experimental models of arterial hypertension: cause or consequence? *Biomed Res Int.*, 2014, vol. 2014, 598271. <https://doi.org/10.1155/2014/598271>
 16. Chen L., Wu J. Systems biology for complex diseases. *Journal of Molecular Cell Biology*, 2012, no. 4, pp. 125-126. <https://doi.org/10.1093/jmcb/mjs022>
 17. Eleftheriadis E., Kotzampassi K., Iliadis S. Hepatic tissue microcirculation, oxygenation and energy charge in ischemia-reperfusion subjected cirrhotic rat liver. *Hepatogastroenterology*, 1997, vol. 44, no. 16, pp. 1187-1192. <https://doi.org/10.1016/j.hepres.1997.04.002>
 18. Hodges G.J., Del Pozzi A.T. Noninvasive examination of endothelial, sympathetic, and myogenic contributions to regional differences in the human cutaneous microcirculation. *Microvasc Res.*, 2014, vol. 93, pp. 87-91. <https://doi.org/10.1016/j.mvr.2014.04.002>
 19. Meng Q., Wang S., Wang Y., Wan S., Liu K., Zhou X., Zhong G., Zhang X., Chen X. Arterial stiffness is a potential mechanism and promising indicator of orthostatic hypotension in the general population. *Vasa*, 2014, vol. 43, no. 6, pp. 423-432. <https://doi.org/10.1024/0301-1526/a000389>
 20. Roustit M. Non-invasive assessment of skin microvascular function in humans: an insight into methods. *Microcirculation*, 2012, vol. 19, no. 1, pp. 47-64.
 21. Yuan X., Wu Q., Shang F., Li B., Liu M., Wang B., Sheng Y., Zhang H., Xiu R. A comparison of the cutaneous microvascular properties of the Spontaneously Hypertensive and the Wistar-Kyoto rats by Spectral analysis of Laser Doppler. *Clin Exp Hypertens.*, 2019, vol. 41, no. 4, pp. 342-352. <https://doi.org/10.1080/10641963.2018.1481424>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Андреева Ирина Владимировна, д.м.н., профессор кафедры урологии с курсом хирургических болезней
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. Высоковольтная, 7, г. Рязань, 390026, Российская Федерация
prof.andreeva.irina.2012@yandex.ru

Телия Владимир Демуринович, соискатель кафедры нормальной физиологии с курсом психофизиологии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. Высоковольтная, 7, г. Рязань, 390026, Российская Федерация
stroncy_872@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTORS

Irina V. Andreeva, MD, Professor, Professor of Urology with course of Surgical Diseases Department
Ryazan State Medical University
7, Vysokovoltnaya Str., Ryazan, 390026, Russian Federation
prof.andreeva.irina.2012@yandex.ru
SPIN-code: 7929-0043
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6946-3036>

Vladimir D. Telia, postgraduate student of Normal Physiology with course of Psychophysiology Department
Ryazan State Medical University
7, Vysokovoltnaya Str., Ryazan, 390026, Russian Federation
stroncy_872@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7449-8583>

Поступила 03.12.2021

После рецензирования 25.12.2021

Принята 12.01.2022

Received 03.12.2021

Revised 25.12.2021

Accepted 12.01.2022