

УДК: 612.135 ГРНТИ: 34.39

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ У ЛИЦ ПОДРОСТКОВОГО И ЮНОШЕСКОГО ВОЗРАСТА

Н. В. Бабошина

Ярославский государственный педагогический университет им. К. Д. Ушинского
Россия, 150000, г. Ярославль, ул. Республиканская, 108

✉ Бабошина Наталья Владимировна – pankrateva@bk.ru

В микроциркуляторном русле осуществляются процессы диффузии газов и транскапиллярный обмен. В связи с этим актуальной задачей является оценка состояния микрокровотока и его регуляторных механизмов на разных возрастных этапах. При помощи метода лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) в исследовании проведена оценка особенностей функционирования системы микроциркуляции и механизмов ее регуляции у детей подросткового возраста 13-16 лет (52 человека) и практически здоровых юношей и девушек в возрасте 17-20 лет (41 человек). Установлено, что у лиц как мужского, так и женского пола параметры микроциркуляторного русла и характеристики регуляторных механизмов микрокровотока изменяются в онтогенезе не только за счет возрастных изменений, но и за счет проявления половых различий по завершении периода полового созревания.

Ключевые слова: подростковый возраст, юношеский возраст, микроциркуляция, регуляторные механизмы, лазерная доплеровская флоуметрия.

THE PECULIARITIES OF MICROCIRCULATION IN ADOLESCENTS AND SUBJECTS OF PREADULT AGE

N. V. Baboshina

Yaroslavl State Pedagogical University named after K. D. Ushinsky
108 Respublikanskaya St., 150000 Yaroslavl, Russia

✉ Baboshina Natalia – pankrateva@bk.ru

Gas diffusion and transcapillary exchange take place in the microvasculature. Therefore, the evaluation of skin blood flow regulation and its regulatory mechanisms at different development periods is of great importance. The research was conducted with the use of laser Doppler flowmetry (LDF). In the groups of adolescents of 13-16 years (52 subjects) and preadult people aged 17-20 years (41 subjects) skin microcirculation and its regulatory mechanisms were evaluated. It was found that in teenage and preadult age (in both sexes) the parameters of microcirculation and characteristics of the regulatory mechanisms of the microcirculation change not only due to age-related processes, but also because of the appearance of sexual differences at the end of the period of puberty.

Keywords: Adolescence, preadult age, microcirculation, regulatory mechanisms, laser Doppler flowmetry.

Состояние сердечно-сосудистой системы, являющейся одной из важных систем жизнеобеспечения, часто рассматривают как индикатор функционального состояния целостного организма [1]. Совершенствование адаптивных реакций на разных возрастных этапах происходит по мере усложнения его контактов с окружающей средой [2]. При изучении возрастных особенностей сердечно-сосудистой системы особое значение приобретает оценка изменений в системе микроциркуляции [3], поскольку именно микроциркуляторное русло является структурно-функциональной единицей системы кровообращения, где осуществляются процессы диффузии газов, транскапиллярный обмен и реализуется основная функция – регуляция нутритивного кровотока [4].

Изучение системы микроциркуляции на разных возрастных этапах является актуальным направлением в возрастной физиологии, позволяющим выявлять закономерности формирования микроциркуляторного русла и особенности его функционирования, определять условия эффективной адаптации микрокровотока. Особое значение приобретает оценка функционирования системы микроциркуляции у лиц обоего пола в пубертатный и постпубертатный период. Это обусловлено тем, что подростковый период определяется важнейшим биологическим фактором – по-

ловым созреванием с его сложной картиной гормональной регуляцией, характеризующейся бурными дифференцированными процессами, обеспечивающими функциональную неустойчивость, сопровождающуюся несбалансированностью формирования различных отделов микроциркуляторного русла. Это важно и в юношеском возрасте, так на данном этапе завершается морфофункциональное созревание организма [5].

Исходя из вышеизложенного, целью данной работы было оценить особенности системы микроциркуляции у лиц подросткового и юношеского возраста.

Материалы и методы. В обследование получения добровольного письменного информированного согласия законных представителей (родителей) были включены 52 подростка обоего пола в возрасте от 13 до 16 лет, и 41 практически здоровые юноши (n=16) и девушки (n=25) в возрасте от 17 до 21 года.

Для исследования микроциркуляции и ее регуляторных механизмов был использован метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ). Исследование микроциркуляции проводилось при помощи лазерного анализатора ЛАКК-02 (НПП «ЛАЗМА», Москва) в стандартных условиях (23±2°C) после десятиминутного периода адаптации. Метод ЛДФ основывается на оптическом (неинвазивном) зондировании

тканей монохроматическим сигналом (обычно в красной области спектра) и анализе частотного спектра отраженно-го от движущихся эритроцитов сигнала [4].

В качестве тестируемой области была выбрана дистальная фаланга второго пальца правой кисти. Оценивали уровень перфузии (ПМ), среднееквадратичное отклонение (σ), коэффициент вариации (K_v) и амплитудно-частотные характеристики отраженного сигнала. Расчетные параметры М (среднеарифметическое значение ПМ), σ и K_v дают общую оценку состояния микроциркуляции крови. Более детальный анализ функционирования микроциркуляторного русла может быть проведен на втором этапе обработки ЛДФ-грамм базального кровотока при исследовании структуры ритмов колебаний перфузии крови [4, 6]. С помощью вейвлет-анализа из общего спектра ритмов были выделены отдельные частотные диапазоны, отражающие функциональный вклад различных регуляторных влияний в модуляцию микрокровотока. К таковым относят: эндотелиальные, нейрогенные, миогенные, дыхательные ритмы и кардиоритмы.

Для оценки колебательного компонента микрососудистого тонуса определялись величины нейрогенного (НТ) и миогенного (МТ) тонуса, а также показатель шунтирования (ПШ) [4].

Статистическую обработку полученных данных после проверки на соответствие выборки закону нормального распределения проводили с использованием t-критерия Стьюдента, различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Полученные данные представлены в виде средних значений с их стандартным отклонением ($M \pm \sigma$).

Результаты и обсуждение. В ходе проведенного исследования в группе лиц женского пола было отмечено снижение уровня перфузии (М) с возрастом на 20,7% ($p < 0,05$); среднееквадратичное отклонение σ и коэффициент вариации K_v достоверно не изменились. При анализе функционирования механизмов регуляции были выявлены достоверно более низкие значения максимальных амплитуд эндотелиальных, миогенных, дыхательных и пульсовых колебаний (на 24,9, 22,1%, $p < 0,05$, 27,7 и 22,3%, $p < 0,05$, соответственно) у девушек юношеского возраста. Уменьшение вазомоторных амплитуд вызывает повышение периферического сопротивления и, следовательно, снижение нутритивного кровотока (табл. 1).

Показатели тонуса резистивных микрососудов (нейрогенный и миогенный тонусы), а также показатель шунтирования с возрастом достоверно не изменились (табл. 1).

Таблица 1

Показатели микроциркуляции девушек подросткового и юношеского возраста по данным лазерной доплеровской флоуметрии

Показатели		Девочки подростки (n=24)	Девушки (n=25)
Возраст, лет		14,0±1,0	17,0±1,2
М, пф. ед.,		26,5±7,7	21,0±7,0 ^{##}
σ , пф. ед.,		2,49±0,93	2,11±0,78
K_v , %		9,39±2,47	10,0±3,2
Э	A_{max} Ф. ед.	1,31±0,70	0,983±0,417 [#]
	$(A_{max}/3\sigma) \cdot 100\%$, %	14,3±3,0	16,1±4,1 [#]
	$(A_{max}/M) \cdot 100\%$, %	3,72±1,76	4,43±1,99

Н	A_{max} Ф. ед.	1,05±0,39	1,02±1,49
	$(A_{max}/3\sigma) \cdot 100\%$, %	16,4±3,45	17,0±4,6
	$(A_{max}/M) \cdot 100\%$, %	4,83±2,47	4,97±2,12
М	A_{max} Ф. ед.	1,07±0,32	0,834±0,384 [#]
	$(A_{max}/3\sigma) \cdot 100\%$, %	14,7±2,9	13,9±4,3
	$(A_{max}/M) \cdot 100\%$, %	4,38±1,84	4,22±1,89
Д	A_{max} Ф. ед.	0,566±0,172	0,409±0,233 ^{##}
	$(A_{max}/3\sigma) \cdot 100\%$, %	7,98±3,36	6,66±2,79
	$(A_{max}/M) \cdot 100\%$, %	2,39±1,24	1,83±0,72 [#]
С	A_{max} Ф. ед.	0,395±0,125	0,307±0,092 ^{##}
	$(A_{max}/3\sigma) \cdot 100\%$, %	5,78±2,96	5,49±1,89
	$(A_{max}/M) \cdot 100\%$, %	1,47±0,52	1,42±0,47
НТ, отн.ед.		2,09±0,43	1,95±0,46
МТ, отн.ед.		2,26±0,49	2,36±0,75
ПШ, отн.ед.		1,10±0,28	1,21±0,21

Обозначения: М – среднеарифметическое значение показателя микроциркуляции; σ – среднее колебание перфузии относительно значения потока крови М; K_v – коэффициент вариации; Э, Н, М, Д, С – регуляторные механизмы микроциркуляции (эндотелиальные, нейрогенные, миогенные, дыхательные и сердечные); НТ – нейрогенный тонус; МТ – миогенный тонус; ПШ – показатель шунтирования; A_{max} – максимальная амплитуда; $(A_{max}/3\sigma) \cdot 100\%$ – нормированная амплитуда; $(A_{max}/M) \cdot 100\%$ – приведенная амплитуда.

Примечание: здесь и далее различия достоверны: # – при $p < 0,05$; ## – при $p < 0,01$ и ### – при $p < 0,001$.

В группе лиц мужского пола была выявлена тенденция к увеличению показателя микроциркуляции с возрастом (на 7,9%, $p > 0,05$). У юношей были отмечены более низкие значения среднееквадратичного отклонения показателя микроциркуляции (на 27,6%, $p < 0,05$) и коэффициента вариации (на 35,9%, $p < 0,001$), в сравнении с аналогичными показателями группы мальчиков-подростков, что свидетельствовало о существенных изменениях в функционировании регуляторных механизмов. Снижение среднееквадратичного отклонения показателя микроциркуляции свидетельствовало об усилении артериального сосудистого тонуса и об ослаблении функционирования механизмов активного контроля микроциркуляции (табл. 2).

Анализ механизмов регуляции микрососудистого русла в группе юношей показал, что значение максимальной, нормированной и приведенной амплитуд в диапазоне миогенного ритма были значительно ниже (на 28,8; 11,9 и 25,5%, $p < 0,05$, соответственно), чем у мальчиков-подростков. Угнетение вазомоций сопутствует состоянию увеличения миогенного тонуса артериол (табл. 2).

В ходе вейвлет-анализа установлено достоверное уменьшение с возрастом значений приведенной амплитуды нейрогенных ритмов и максимальной и приведенной амплитуд дыхательных колебаний на 27,9; 25,9%, $p < 0,05$ и 32,2%, $p < 0,01$, соответственно (табл. 2).

В показателях микрососудистого тонуса и шунтирования достоверных различий зафиксировано не было, однако отмечалась тенденция к их увеличению (табл. 2).

Кровоток на микроциркуляторном уровне не является стабильным, а подвержен временным и пространственным вариациям. Колебания кровотока периодически происходят в тканях, отражая изменчивость и приспособляемость кровотока к постоянно изменяющимся условиям гемодина-

мики и соответственно потребностям тканей в перфузии их кровью [7].

Таблица 2

Показатели микроциркуляции мальчиков подростков и юношей по данным лазерной доплеровской флоуметрии

Показатели		Мальчики подростки (n=28)	Юноши (n=16)
Возраст		15,0±1,0	19,0±2,0
M, пф. ед.,		22,7±5,3	24,5±3,3
σ, пф. ед.,		2,21±1,10	1,60±0,60 [†]
K _v , %		10,2±2,6	6,53±2,40 ^{###}
Э	A _{max} , пф. ед.	1,00±0,47	0,857±0,441
	(A _{max} /3σ)•100%, %	16,4±4,6	18,0±3,8
	(A _{max} /M)•100%, %	4,04±2,08	3,74±2,00
Н	A _{max} , пф. ед.	1,00±0,49	0,793±0,482
	(A _{max} /3σ)•100%, %	16,9±5,03	15,6±3,9
	(A _{max} /M)•100%, %	4,22±2,38	3,04±1,55 [†]
М	A _{max} , пф. ед.	0,932±0,485	0,663±0,309 [†]
	(A _{max} /3σ)•100%, %	15,1±3,1	13,3±2,7 [†]
	(A _{max} /M)•100%, %	3,88±1,99	2,89±1,54 [†]
Д	A _{max} , пф. ед.	0,448±0,187	0,332±0,115 [†]
	(A _{max} /3σ)•100%, %	8,17±2,66	7,05±1,78
	(A _{max} /M)•100%, %	2,08±0,87	1,41±0,45 ^{###}
С	A _{max} , пф. ед.	0,326±0,138	0,292±0,147
	(A _{max} /3σ)•100%, %	5,67±2,13	5,85±2,01
	(A _{max} /M)•100%, %	1,51±0,70	1,25±0,66
НТ, отн.ед.		1,97±0,50	2,05±0,40
МТ, отн.ед.		2,22±0,46	2,45±0,47
ПШ, отн.ед.		1,12±0,27	1,19±0,20

Обозначения: M – среднеарифметическое значение показателя микроциркуляции; σ – среднее колебание перфузии относительно значения потока крови M; K_v – коэффициент вариации; Э, Н, М, Д, С – регуляторные механизмы микроциркуляции (эндотелиальные, нейрогенные, миогенные, дыхательные и сердечные); НТ – нейрогенный тонус; МТ – миогенный тонус; ПШ – показатель шунтирования; A_{max} – максимальная амплитуда; (A_{max}/3σ)•100% – нормированная амплитуда; (A_{max}/M)•100% – приведенная амплитуда.

В микрососудистом русле с возрастом меняются емкость всей сети капилляров и скорость кровотока в них, при этом состояние каждого капилляра определяется местными условиями тканевого метаболизма и особенностями гемодинамики в сосудистой системе в целом [8].

К концу периода полового созревания практически завершается дифференциация микрососудистого русла: изменяется соотношение размеров микрососудов, совершенствуется регуляция деятельности системы микроциркуляции, структура сосудов становится такой же, как у взрослых [9]. Некоторые авторы [10] отмечают, что с возрастом происходит увеличение эластичности и снижение тонуса периферических сосудов, улучшение кровоснабжения при нарастании диаметров артериального и венозного отделов капилляров. Следует отметить, что изменения диаметра сосудов у девочек происходят несколько раньше, чем у мальчиков.

С возрастом происходят функциональные и структурные изменения во всех системах организма, в том числе и в микроциркуляторном русле [11]. Ю.В. Костина с соавт. (2011) отмечают, что в период от 8 до 16 лет в организме осуществляются нейроэндокринные перестройки, благодаря которым происходит усиленное образование механизмов, регулирующих гемодинамику, увеличивающих емкость дренирующих кровеносных микрососудов и формирование специализированных структур для обеспечения транскапиллярного обмена.

Выявленные нами более высокие значения K_v и σ у подростков, в сравнении с лицами юношеского возраста, указывают на более глубокую модуляцию микрокровотока, обусловленную преимущественно более интенсивным функционированием регуляторных механизмов активного контроля микроциркуляции [4].

Известно, что общей тенденцией изменений периферического кровотока является его экономизация с возрастом вследствие снижения обменных процессов в организме [10]. Идет дальнейшее совершенствование приспособлений путей микроциркуляции, служащих для регуляции кровотока. Особенностью периферического звена кровообращения лиц юношеского возраста является снижение интенсивности кровоснабжения вследствие повышения тонуса прекапиллярных сосудов и уменьшения диаметра артериального отдела капилляров [4].

Так, в юношеском возрастном периоде В.А. Щуровым с соавт. (2009) было выявлено повышение общего периферического сопротивления артериальных сосудов (из-за разрастания мышечного слоя в артериолах и запаздывания по отношению к интенсивно прирастающим размерам сердца увеличения диаметра артериальных сосудов), уменьшение относительного количества циркулирующей крови.

Результаты нашего исследования продемонстрировали, что по мере полового созревания формируются существенные различия функциональных параметров системы микроциркуляции у юношей и девушек, что обусловлено не только с возрастными особенностями, но и половым диморфизмом. Сравнение базальных показателей микроциркуляции, а также вклада различных регуляторных влияний в группе юноши-подростки показало, что в интервале от подросткового периода до юношеского возраста у лиц мужского пола отмечался рост уровня перфузии и снижение амплитуд регуляторных влияний как активных, так и пассивных. У девушек в представленный возрастной период показатель микроциркуляции заметно уменьшился, при этом значительно снизилось влияние механизмов регуляции миогенных, дыхательных и пульсовых ритмов.

Выводы. Таким образом, проведенное нами исследование позволило выявить различия у лиц обоего пола в подростковом и юношеском периоде в механизмах регуляции микроциркуляторного русла. Наблюдаемое с возрастом снижение уровня перфузии у девушек и выраженный его рост у юношей свидетельствуют о сформировавшихся за этот период половых различиях в функционировании регуляторных механизмов, становлении системы микроциркуляции и формировании дефинитивного типа микрокровотока. Выявленные адаптационно-компенсаторные изменения в состоянии периферического сосудистого русла и его регуляторных механизмах направлены на обеспечение адекватного кровоснабжения органов и тканей, в соответствии с постоянно меняющимися метаболическими потребностями организма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Литвин Ф.Б., Аносов И.П., Асямолов П.О., Васильева Г.В., Мартынов С.В., Жигало В.Я *Сердечный ритм и система микроциркуляции у лыжников в предсоревновательном периоде спортивной подготовки* // Вестник Удмуртского университета. **2012**. № 1. С. 67-74.
2. Фарбер Д.А. *Принципы системной структурно-функциональной организации мозга и основные этапы ее формирования* // Структурно-функциональная организация развивающегося мозга. Л.: Наука, **1990**. 168 с.
3. Литвин Ф.Б. *Возрастные и индивидуально-типологические особенности микроциркуляции у мальчиков, подростков и юношей* // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. **2006**. Т. 5. С. 44-50.
4. Крупаткин А.И., Сидоров В.В. *Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: Колебания, ин-формация, нелинейность*. Руководство для врачей. Изд. стерео-тип. М.: ЛИБРОКОМ, **2014**. 498 с.
5. Тверитина Е.С., Федорова М.З. *Взаимосвязь показателей микроциркуляции и системной гемодинамики у лиц юношеского воз-раста* // Научные ведомости. Серия естественные науки. **2010**. №3 (74). С. 70-76.
6. Терехин С.С., Станкевич А.В., Тихомирова И.А. и др. *Возможно-сти метода лазерной доплеровской флоуметрии в оценке по-ловых отличий и возрастных изменений гемомикроциркуляции* // Ярославский педагогический вестник. **2013**. Т. 3. № 1. С. 100-106.
7. Бархатов И.В. *Оценка системы микроциркуляции крови методом лазерной доплеровской флоуметрии* // Клиническая медицина. **2013**. № 11. С. 21-27.
8. Михайлов П.В., Осетров И.А., Афанасьев В.В. и др. *Возрастные особенности изменений микроциркуляторных характеристик в ответ на дозированную физическую нагрузку* // Ярославский педагогический вестник. **2012**. Т. 3. № 2. С. 119-123.
9. Гуцол Л.О., Непомнящих С.Ф. *Особенности течения патогене-тических процессов в ранний период онтогенеза*. Иркутск: ИГМУ, **2014**. 122 с.
10. Грибанов А.В., Гудков А.Б., Попова О.Н., Крайнова И.Н. *Кровоо-бращение и дыхание у школьников в циркумполярных условиях: монография*. Сев. (Арктич.) федер. Ун-т им. М.В. Ломоносова. Ар-хангельск: САФУ, **2016**. 270 с.
11. Тверитина Е.С. *Механизмы регуляции кровотока кожи у лиц раз-ных возрастных групп* // Вестник САФУ. **2014**. № 3. С. 73-78.
12. Костина Ю.В., Вагапова В.Ш. *Кровеносное микроциркуляторное русло стенок синовиальных сумок коленного сустава в детском, подростковом и юношеском возрасте* // Медицинский вестник Башкортостана. **2011**. Т. 6. № 1. С. 79-82.
13. Щуров В.А., Сазонова Н.В. *Возрастные изменения показателей периферического кровотока нижних конечностей* // Гений орто-педии. **2009**. № 1. С.62-64.

Поступила в редакцию 20.07.2017