



ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МИКРОЦИКУЛЯЦИИ И СИСТЕМНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ У ЛИЦ ЮНОШЕСКОГО ВОЗРАСТА

**Е.С. Тверитина,
М.З. Федорова**

*Белгородский
государственный
университет*

*Россия, 308015, г. Белгород,
ул. Победы, 85*

*E-mail:
Fedorova@bsu.edu.ru*

Показаны особенности реакций системы микроциркуляции в юношеском возрасте на температурное воздействие в их взаимосвязи с некоторыми параметрами variability сердечного ритма и типологическими свойствами нервных процессов. Установлено, что у лиц обоего пола наблюдается сходство гемодинамических и психофизиологических показателей на фоне напряженности регуляторных механизмов сосудистого русла девушек, обусловленного усилением симпатических адренергических влияний. Выявлено, что в условиях покоя, локальной гипер- и гипотермии повышение уровня кровотока, а также снижение амплитуд нейрогенных и миогенных колебаний в сосудах кожи пальцев рук регистрируется у девушек и юношей со слабым типом и инертными нервными процессами, сниженной частотой сердечных сокращений и координацией.

Ключевые слова: микроциркуляция, сердечно-сосудистая система, свойства нервных процессов, возрастные особенности.

Введение

Сердечно-сосудистая система с ее многоуровневой регуляцией – особая функциональная система, связующим звеном в которой является микроциркуляторное русло, обеспечивающее своевременное адекватное кровоснабжение соответствующих структур организма [1]. Перераспределение сердечного выброса достигается через взаимодействие местных и нервных механизмов регуляции микроциркуляции [2]. Центральный генератор, контролирующий надежность и функциональное совершенство ритмогенеза сердца, обеспечивает его адаптивные реакции в естественных условиях [3], поэтому изменение показателей кровообращения является прямым выражением возмущения в состоянии системы под воздействием некоторого внешнего или внутреннего фактора [4].

Анализ показателей микроциркуляции, особенно на фоне стрессового (температурного) эффекта, и их взаимосвязь со свойствами нервных процессов, генетически детерминированными и обусловленными реактивностью нервной системы, является потенциальным подходом к изучению особенностей приспособительной деятельности индивида. Это важно в юношеском возрасте, так как на данном этапе завершается морфофункциональное созревание организма.

Целью исследования было установление взаимосвязи гемодинамических параметров с типологическими особенностями нервной системы у лиц юношеского возраста.

Объекты и методы исследования

В основу работы положены результаты обследований 36 студентов (18 юношей и 18 девушек) Белгородского государственного университета в возрасте 18-21 год.

Комплексное исследование включало регистрацию показателей микроциркуляции, реакцию сосудов на температурное воздействие, показателей variability сердечного ритма и свойств нервных процессов, используя Теппинг-тест Ильина и методику «Контактная координациометрия по профилю».

Для исследования параметров микроциркуляции использовали двухканальный лазерный анализатор капиллярного кровотока ЛАКК-02 (НПП «Лазма», Россия), позволяющий проводить зондирование ткани в красной и инфракрасной области спектра излучения. Исходные ЛДФ-граммы записывались в течение 5 минут в покое при температуре 21-22°C с кожи дистальных фаланг II пальцев кистей обеих рук (в поло-



жении обследуемого сидя, кисти ниже уровня сердца). Реакцию на локальную гипер- и гипотермию кожи и подлежащих тканей регистрировали с фаланг II пальца левой руки в красной области спектра излучения с помощью блока «ЛАКК-ТЕСТ» (НПП «Лазма», Россия). Запись тепловой пробы проводили со скоростью 4°C в минуту в течение 10 минут, из которых 210 секунд в температурных границах от 32°C до 45°C и 390 секунд при постоянной температуре 45°C. Временной промежуток между пробами составлял 10 минут. Охлаждение поверхности кожи пальцев рук проводили ступенчато до 15°C по описанной выше схеме в течение 280 и 320 секунд соответственно.

Полученные ЛДФ-граммы анализировали на основе вейвлет-преобразования, являющегося наиболее эффективным подходом для изучения структуры колебательных процессов и регуляции микрогемодиализации [5]. Оценивали следующие показатели: средне-арифметический показатель микроциркуляции (М, перфузионные единицы – п.ф.); среднее квадратическое отклонение амплитуды колебаний кровотока от среднего арифметического значения $M - \sigma$ (пф.ед.), усредненные максимальные амплитуды эндотелиального ритма – A_{Σ} (0.0095-0.02 Гц), нейрогенного ритма – A_n (0.02-0.06 Гц), миогенного ритма – A_m (0.06-0.2 Гц), дыхательного ритма – A_d (0.2-0.6 Гц) и кардиоритма – A_c (0.6-1.6); миогенный тонус (МТ) и нейрогенный тонус (НТ). Показатель шунтирования (ПШ) определяли по формуле $ПШ = МТ/НТ$.

Регистрацию электрокардиограммы (I, II, III стандартное отведение) в течение 60 секунд проводили с использованием программы «Нейрософт» (Иваново, Россия). Исследовали временные и спектральные характеристики variability сердечного ритма (BCP): показатель ЧСС (уд./мин); текущее функциональное состояние сердечно-сосудистой системы; баланс отделов вегетативной нервной системы (ВНС); общая мощность спектра нейрогуморальной регуляции (TP, mc^2) в трех частотных диапазонах: высокочастотном – HF (mc^2), низкочастотном – LF (mc^2), сверхнизкочастотном – VLF (mc^2).

Свойства нервных процессов (НП) оценивали на основании результатов, полученных с использованием программы «Психо-тест» (Иваново, Россия). Силу НП определяли по методике Теппинг-теста Ильина, степень точности движений – по способности к координации и сенсорного контроля над движениями при прохождении лабиринта с использованием алюминиевого стержня, удерживаемого в руке.

Полученные данные обрабатывали по программе Statistica 6.0. Достоверность различий оценивали по критерию Вилкоксона.

Результаты и их обсуждение

Проведенное исследование показало, что у студентов обоего пола наблюдается сходство по гемодинамическим и психофизиологическим параметрам, но напряженность регуляторных механизмов реакций системы микроциркуляции наблюдается в группе девушек.

Сравнительный анализ variability сердечного ритма (BCP) (табл. 1) выявил удовлетворительное текущее функциональное состояние сердечно-сосудистой системы в двух группах на фоне достоверно более низкой (в два раза) общей мощности спектра нейрогуморальной регуляции (TP) в группе юношей, предположительно указывающей на повышенную реактивность вегетативной нервной системы [6]. Считается установленным, что HF -компонент спектра обусловлен парасимпатической активностью, LF -компонент спектра – симпатической, VLF -составляющая является хорошим индикатором управления энергометаболическими процессами [1, 7]. Полученные данные свидетельствуют о симпатонормотонии у юношей и вагонормотонии у девушек при незначительном 5% и 10% преобладании соответствующего отдела вегетативной нервной системы, характеризующей оптимальную адаптационную реакцию [1].

Результаты определения типологических свойств нервных процессов и точности двигательных реакций представлены в табл. 1. Тип нервной системы в обеих группах средний. Среди юношей лиц со средней силой нервных процессов – 50%, со слабой –



28%, средне-слабой – 11%. Количество человек со средне-сильной силой НП – 6%. В группе девушек преобладают нервные процессы средней силы – 44%. Немного меньше – 22% – девушек со слабой силой НП, со средне-сильной и средне-слабой по 11%. Проведенное исследование выявило 6% лиц с сильными свойствами нервных процессов в группе девушек.

Таблица 1

Средние значения показателей variability сердечного ритма и методик Теппинг-теста и Координациометрии по профилю у лиц юношеского возраста

Показатели variability сердечного ритма		
ЧСС (уд./мин.)	Девушки	Юноши
		76.1±2.6
Текущее функциональное состояние деятельности сердца (отн. ед.)	2.1±0.2	2.2±0.2
Тонус вегетативной нервной системы (отн. ед.)	0.06±0.2	0.2±0.2
TP (мс ²)	6474.3±1161.4	3806.1±595.1*
LF (мс ²)	1705.6±288.8	1550.6±301.6*
HF (мс ²)	3223.1±866.8	1427.2±291.0*
VLF (мс ²)	1545.8±362.5	826.6±211.0*
Показатели Теппинг-теста и Координациометрии по профилю		
Число нажатий (отн.ед.)	175.2±11.0	178.5±6.6
Тип нервной системы (отн. ед.)	2.7±0.3	2.3±0.2*
Кол-во касаний в секунду	1.2±0.2	2.1±0.4*
Тремор (отн.ед.)	2.9±0.08	2.9±0.08
Время касаний в секунду	0.03±0.04	0.05±0.01*
Качество (отн.ед.)	3±0	2.9±0.08*
Продолжительность тестирования (с)	20.2±1.9	15.8±1.6*

* – достоверность различий с группой девушек по критерию Вилкоксона ($p < 0.05$).

Точность двигательных реакций высока у лиц обоего пола и регистрируется на фоне незначительного снижения координации и степени сенсорного контроля над движениями в группе юношей и небольшой инертности нервных процессов в группе девушек.

Средние значения показателей микроциркуляции в покое и в результате проведения тепловых проб представлены по группе девушек в табл. 2, по группе юношей – в табл. 3. Сравнительный анализ полученных данных производили в красном спектре излучения. Установлено, что средний уровень перфузии микрососудистого русла у юношей и девушек при 22°C выходит за пределы нормы [8] и в два раза снижен в группе последних. При ступенчатом нагревании кожи пальца левой кисти в течение 210 секунд, условно названный первым периодом пробы, показатель микроциркуляции достоверно ($p < 0,05$) вырос на 66% у девушек и 12% у юношей, поддержание постоянной температуры 45°C в течение 390 секунд (второй период пробы) вызвало его дальнейший рост соответственно на 99% и 19%. Охлаждение сопровождалось падением уровня перфузии кровотока при сходно созданных условиях сначала на 5%, потом на 23% в группе девушек, 27% и 38% соответственно в группе юношей.

Таблица 2

Средние значения показателей микроциркуляции в группе девушек в условиях покоя, локальной гипер- и гипотермии кожи указательного пальца левой руки

Показатели КР канал	22°C	33.2-45°C	45°C	33.2-15°C	15°C
	2	3	4	5	6
М (пф. ед.)	9.2±0.8	15.3±0.7	18.3±0.8	8.7±1.0	7.1±1.1
σ (пф. ед.)	1.6±0.2	3.6±0.5	2.3±0.3	3.2±0.4	2.2±0.2
Аз (пф. ед.)	1.1±0.2	1.1±0.08	0.8±0.008	1.4±0.2	1.1±0.1



Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6
Ан (пф. ед.)	1.3±0.2	1.1±0.1	0.8±0.1	1.3±0.1	0.9±0.1
Ам (пф. ед.)	0.8±0.09	0.9±0.1	0.8±0.1	0.9±0.1	0.6±0.07
Ад (пф. ед.)	0.3±0.06	0.4±0.03	0.5±0.08	0.4±0.05	0.3±0.05
Ак (пф. ед.)	0.2±0.02	0.2±0.02	0.3±0.04	0.2±0.02	0.3±0.03
НТ (отн. ед.)	1.5±0.1	3.6±0.5	3.2±0.4	3.0±0.5	3.1±0.5
МТ (отн. ед.)	2.2±0.2	4.4±0.7	3.2±0.4	4.1±0.6	4.1±0.5
ПШ (отн. ед.)	1.5±0.1	1.2±0.08	1.1±0.07	1.4±0.08	1.5±0.2

Таблица 3

Средние значения показателей микроциркуляции в группе юношей в условиях покоя, локальной гипер- и гипотермии кожи указательного пальца левой руки

Показатели КР канал	22°C	33.2-45°C	45°C	33.2-15°C	15°C
М (пф. ед.)	11.3±0.6*	12.6±1.0*	13.5±1.3*	9.1±1.0*	8.2±1.1*
σ (пф. ед.)	1.0±0.1*	1.9±0.2*	1.8±0.2*	2.3±0.4*	1.6±0.2*
Аз (пф. ед.)	0.6±0.08*	0.9±0.1*	1.0±0.1*	1.0±0.1*	1.1±0.1
Ан (пф. ед.)	0.7±0.1*	0.9±0.1*	1.0±0.2*	0.9±0.1*	0.9±0.1
Ам (пф. ед.)	0.5±0.06*	0.8±0.1*	0.7±0.07*	0.7±0.1*	0.6±0.07*
Ад (пф. ед.)	0.2±0.01*	0.3±0.03*	0.3±0.03*	0.3±0.06*	0.2±0.02*
Ак (пф. ед.)	0.2±0.01*	0.2±0.01*	0.2±0.02*	0.2±0.02*	0.2±0.01*
НТ (отн. ед.)	1.6±0.09*	3.02±0.7*	2.3±0.2*	2.6±0.3	2.0±0.2*
МТ (отн. ед.)	2.2±0.2	3.4±0.5*	2.9±0.2	3.6±0.4*	3.3±0.3*
ПШ (отн. ед.)	1.4±0.08*	1.2±0.08	1.4±0.1*	1.4±0.1*	1.7±0.2*

* - достоверность различий с группой девушек по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$)

Функциональное состояние отдельных звеньев микрососудистого русла анализировали на основании амплитудных характеристик колебаний периферического кровотока. Выявлено, что они выходят за пределы нормы. Амплитуды колебаний в диапазонах нейрогенного и миогенного ритмов в группе юношей в условиях покоя несущественно ниже, чем в группе девушек, в результате повышения активности НТ и МТ. Достоверное увеличение амплитуд указанных ритмов наблюдалось за первый и второй периоды проведения тепловой пробы у юношей и за первый – в миогенном диапазоне – у девушек, второй период в группе последних сопровождался дальнейшим падением амплитуд нейрогенного ритма и возвращением амплитуды Ам в исходное состояние. Локальная гипертермия вызвала повышение тонуса сосудов в среднем в два раза в обеих группах, но уже к концу второго периода проведения пробы наблюдалось его снижение: у юношей – НТ на 27%, МТ на 15%, у девушек – на 11% и 24% соответственно. Данный процесс объясняется осцилляторным ростом в группе юношей, но противоречит снижению амплитудных колебаний ритмов в группе девушек.

Амплитуды колебаний в диапазонах кардио- и респираторного ритмов несут информацию о состоянии соответственно артериолярного и веноулярного звеньев микроциркуляторной системы. Увеличение их показателей при нагревании на фоне значительного роста показателя М, наблюдаемое в группе девушек, возможно, свидетельствует о притоке артериальной крови в микроциркуляторное русло и об ухудшении оттока крови в веноулярном звене [8].

Предполагаем, что рост кровотока в микрососудистом русле в группе юношей при проведении тепловой пробы вызван вазодилатацией прекапилляров и артериол на фоне снижения тонуса сосудов, наблюдаемого в конце нагревания и обусловленного увеличением миогенных колебаний, действием сенсорных нейропептидов-вазодилататоров и участием метаболических факторов, в частности оксида азота (рост Аз на 67%) [8]; в группе девушек - увеличением притока артериальной крови и проявлением застойных явлений в микрососудах при незначительном спазме шунтов, яв-



ляющегося следствием усиления НТ артериол и сохраняющего кровотоки даже в условиях распространения стаза [9].

Разная гемодинамика у юношей и девушек зарегистрирована и в результатах холодовой пробы. В группе юношей вазоконстрикция сосудов, вызванная повышением их тонуса в среднем в 1.5 раза в первый период охлаждения кожных покровов, незначительно снизилась во второй период на фоне повышения амплитуды A_n на 29%, A_m – первоначально на 40%, потом на 20%, способствуя росту шунтового кровотока (20%) при отсутствии изменений в динамике артериолярного и веноулярного звеньев микрососудистого русла. Вазодилатации сосудов к концу пробы способствовал и рост амплитуды A_z на 83%, что не замечено в группе девушек. Первые 280 секунд пробы увеличили у девушек амплитуду A_m на 13% и не изменили показатели амплитуды A_n при усилении НТ и МТ в два раза по сравнению с исходными данными, следующие 320 секунд вызвали уже падение показателя A_n на 31%, A_m – 25% при незначительном притоке артериальной крови и дальнейшем росте НТ.

Можно предположить, что динамическое равновесие между вазоконстрикторными и вазодилатирующими механизмами в группе юношей обеспечивает нутритивный кровоток, препятствующий холодовым воздействиям. В группе девушек данный процесс нарушен в результате усиления нейрогенного влияния на артериолы, являющихся главными регуляторами локального кровотока и общего сосудистого сопротивления [2]. Участие адренергических механизмов, которое должно быть повышено в начальный период приспособления к холоду [10], у девушек, в силу не выявленных причин, сохраняется до конца пробы.

С целью оценки связи между изученными гемодинамическими показателями и психофизиологическими особенностями был проведен корреляционный анализ. Установлено, что корреляционные связи в основном средней силы ($0.4 < r < 0.7$). В группе юношей ЧСС отрицательно связано с уровнем перфузии в красном спектре излучения при t^- и МТ t^- ($r = -0.6$) (буквой t^- или t^+ обозначены соответственно холодовая и тепловая пробы); *VLF*-волны – положительно с показателем A_z t^+ ($r = 0.8$) и A_c t^- ($r = 0.9$); ТР – с амплитудой A_c t^- и t^+ ($r = 0.7$). Наиболее информативными связями психофизиологических особенностей с показателями микроциркуляции являются: тип нервной системы – М в покое ($r = -0.5$); число нажатий в Теппинг-тесте, отражающих подвижность нервных процессов, – МТ t^+ ($r = -0.6$) и A_m t^- ($r = 0.5$); координация движений – A_z t^+ ($r = 0.6$). В группе девушек показатель ЧСС положительно связан с A_m , A_n при t^- ($r = 0.6$); амплитуда A_c в красном спектре излучения – с *HF*-волнами и ТР положительно при $r = 0.7$, с *VLF*-волнами – отрицательно при $r = -0.6$; тип нервной системы – с A_m t^- ($r = 0.6$) и A_n t^+ ($r = 0.5$); координация движений – с МТ в условиях покоя и t^- ($r = -0.6$), ПШ t^- и t^+ ($r = -0.5$). Подвижность нервных процессов, проверяемая в длительности прохождения теста на координацию, положительно связана с НТ и МТ в исходных условиях ($r = 0.5$).

Таким образом, в одинаковых условиях в обеих группах наблюдается сходная динамика физиологических процессов. В покое повышенный уровень перфузии кровотока регистрируется у обследуемых лиц с низкими величинами силы нервных процессов и ЧСС, снижение амплитуды миогенных колебаний при комнатной и повышенной температуре – с подвижной нервной системой и сниженной координацией, при пониженной температуре – со слабой силой нервных процессов. Падение амплитуды нейрогенных колебаний при 22°C наблюдается на фоне экономизации работы сердца, при 45°C и 15°C – слабости и инертности НП соответственно. Дополнительно необходимо отметить, что возможным подтверждением управления энергOMETаблическими процессами *VLF*-волн и их активацией в стрессовых для организма ситуациях является сильная положительная корреляционная связь с амплитудой эндотелиального ритма при гипертермии и показателем A_c при гипотермии.

Проведенное исследование выявило в группе юношей, при удовлетворительном состоянии деятельности сердца, более оптимальную адаптационную реакцию на температурное воздействие. В группе девушек данный процесс нарушен в силу незна-



чительного усиления симпатического влияния на артериолы и миогенного - на прекапилляры, но возможным фактором устойчивости их организма к возникновению поражений сердечно-сосудистой системы является умеренное преобладание парасимпатического отдела ВНС и усиление притока артериальной крови в микрососудистое русло в условиях температурного стресса.

Заключение

Выявлены особенности вариабельности сердечного ритма и типологических свойств нервных процессов в их взаимосвязи с реакцией микроциркуляторного русла кожи пальцев рук в ответ на локальную гипер- и гипотермию в юношеском возрасте. Установлено, что у лиц обоего пола в условиях покоя наблюдается удовлетворительное состояние деятельности сердца, нормотония, средний тип нервной системы и достаточно высокая точность движений на фоне усиления миогенного и нейрогенного влияния на микрососуды при более сниженном уровне перфузии кровотока в группе девушек. Тепловая и холодовая пробы сопровождались в группе юношей оптимальным вазодилатирующим механизмом и ростом шунтового показателя, результатом которого явилось снижение тонуса сосудов, в группе девушек данный процесс нарушен усилением симпатических адренергических влияний на артериолы и компенсируется притоком артериальной крови к капиллярам.

Выявленные взаимосвязи между изученными параметрами указывают на повышение уровня кровотока, снижение амплитуд миогенных и нейрогенных колебаний в микрососудистом русле в покое и условиях повышенных и пониженных температур у обследуемых лиц с низкими величинами силы нервных процессов и точности двигательных реакций.

Список литературы

1. Баевский Р.М. Проблема оценки и прогнозирования функционального состояния организма и ее развитие в космической медицине // Успехи физиологических наук. – 2006. – Т. 37, № 3. – С. 42-57.
2. Поленов С.А. Основы микроциркуляции // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2008. – Т. 7. Вып. 25, № 1. – С. 5-19.
3. Покровский В.М. Формирование ритма сердца в организме человека и животных. - Краснодар: Кубань-книга, 2007. – 144 с.
4. Физиология кровообращения: физиология сосудистой системы / Под ред. Б.И. Ткаченко: Руководство по физиологии. – Л.: Наука, 1984. – 652 с.
5. Крупаткин А.И. Лазерная доплеровская флоуметрия: международный опыт и распространенные ошибки // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2007. – Т. 6. – Вып. 21, № 1 (I). – С. 90-92.
6. Факторный анализ в оценке вариабельности сердечного ритма при ювенильной артериальной гипертонии / Уткин И.В., Воробьева Е.В., Жданова Л.А. и др. // Российский педиатрический журнал. – 2004. – № 2. – С. 6-11.
7. Сравнительные особенности вариабельности сердечного ритма у студентов, проживающих в различных природно-климатических регионах / Агаджанян Н.А., Батоцыренова Т.Е., Северин А.Е. и др. // Физиология человека. – Т. 33. – № 6. – С. 66-70.
8. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / Под ред. А.И. Крупаткина, В.В. Сидорова: Руководство для врачей. – М.: Медицина, 2005. – 256 с.
9. Расстройства тканевого кровотока, их патогенез и классификация / Козлов В.И., Гурова О.А., Литвин Ф.Б. и др. // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2007. – Т. 6. – Вып. 21, № 1 (I). – С. 75-76.
10. Герасимова Л.И. Усиленная холод-индуцированная вазоконстрикция (феномен Рейно) как признак аварийного регулирования функций организма при адаптации к холоду // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2007. – Т. 6. – Вып. 21, № 1 (I). – С. 40-42.



THE CORRELATIONS OF THE MICROCIRCULATION INDICATORS AND THE HEMODYNAMICS SYSTEM OF YOUTHS WITH DIFFERENT PSYCHOPHYSIOLOGICAL TYPES

**E.S. Tveritina,
M.Z. Fedorova**

*Belgorod State University
Pobedy Str, 85, Belgorod,
308015, Russia*

*E-mail:
Fedorova@bsu.edu.ru*

The peculiarities of the reactions of the microcirculation system to temperature influence and their correlations with some parameters of heart rhythm variability and typological features of nervous processes during adolescence are shown. It is determined that persons of both sexes have similar hemodynamic and psychophysiological indicators. However, girls have intensive regulation of vascular system mechanisms that is caused by strengthening of sympathetic influence. It is revealed, that in the conditions of rest, local hypo- and hyperthermia the blood circulation level increases and the myogenic and neurogenic amplitudes fluctuations decrease in fingers skin vessels of the girls' and young men' hands with weak types and the inert nervous processes, with low coordination and low heart constrictions.

Key words: the microcirculation, the cardiovascular system, properties of nervous processes, age features.