Реактивность микрососудов кожи у юношей и девушек с разным тонусом вегетативной нервной системы

Национальный исследовательский университет «Белгородский государственный университет»

e-mail: Fedorova@bsu.edu.ru

Реферат

Методом лазерной доплеровской флоуметрии показано, что повышенная активность одного из отделов вегетативной нервной системы обуславливает различие механизмов регуляции микроциркуляции в условиях локальной гипер- и гипотермии. В группе симпатотоников проявление нейрогенных факторов зарегистрировано после активации миогенных механизмов регуляции кровотока, выраженных у девушек при более высоких и низких температурах. В группе девушек-нормотоников модуляция кровотока обусловлена пульсовой и дыхательной волной, а в группе юношей — «активными» механизмами, проявляющимися с первых минут проведения пробы. В группе ваготоников параметры кровотока относительно стабильны и сходны у лиц обоего пола.

Ключевые слова: микроциркуляция, тонус вегетативной нервной системы, локальная гипер- и гипотермия.

Tveritina E. S., Fedorova M. Z.

The responsiveness of microvessels of young men and girls with different tone of the vegetative nervous system

National Research University «Belgorod State University», Belgorod

e-mail: Fedorova@bsu.edu.ru

Abstract

The differences of the regulation mechanisms in the microcirculation caused by hyperactivity of one of the departments of the vegetative nervous system in the conditions of local hyper- and hypothermia are shown by the method of laser Doppler flowmetry. A display of neurogenetic factors in the simpatotonic group is registered after miogenic regulation mechanisms activation in the blood-groove, in the girls' group it is expressed in the conditions of high and low temperatures. In the girls-normotonic group the blood-groove modulation is caused by a cardiac and respiratory wave, in the young men group the «active» mechanisms are shown at the very beginning of the test. The blood-groove parameters are rather stable and similar in the vagotonic group of persons of both sexes.

Keywords: microcirculation, tone of vegetative nervous system, local hyper- and hypothermia.

Введение

Микроциркуляторное русло как важное функциональное звено сердечно-сосудистой системы находится под контролем центральных [10, 14] и местных [13] факторов регуляции кровотока, однако баланс этих механизмов имеет индивидуальную специфику [3] и до конца не изучен. Автономная нервная система, осуществляющая дистантную регуляцию микрососудов [6] и контролирующая функциональное совершенство ритмогенеза сердца, рассматривается в качестве одной из конституциональных характеристик, формирующих тип реагирования организма на средовые воздействия [1, 2]. Оптимальное функционирование управляющих систем обеспечивает уравнивание организма со средой, его адаптацию.

Анализ реактивности микрососудистого русла у юношей и девушек, отличающихся центральными механизмами регуляции кровотока, является подходом к изучению индивидуальной адаптивной способности организма.

Цель исследования

Оценить реактивность микрососудистого русла в условиях локальной гипер- и гипотермии у лиц юношеского возраста с разным тонусом вегетативной нервной системы.

Материал и методы исследования

Проведено обследование 39 некурящих, практически здоровых девушек и 41 юноши в возрасте 17–21 года.

Комплексное исследование включало регистрацию реакции кожных микрососудов на температурное воздействие и показателей variability сердечного ритма. Показатели микроциркуляции регистрировали с использованием двухканального лазерного анализатора капиллярного кровотока ЛАКК-02 (НПП «Лазма», Россия) в красной области спектра излучения (КР). Обследование проводили в изолированном помещении при температуре 21–22 °С, в положении обследуемого сидя, кисть ниже уровня сердца. В течение всех этапов эксперимента

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

зонд флоуметра фиксировали на коже дистального фаланга II пальца кисти левой руки. При регистрации реакции кожных микрососудов на локальную гипер- и гипотермию использовали блок «ЛАКК-ТЕСТ» (НПП «Лазма», Россия).

Исходные ЛДФ-граммы записывали в течение 5 минут. Запись тепловой пробы проводили со скоростью 4 °С в минуту в течение 10 минут, из которых 210 секунд — в температурных границах от 32 до 45 °С и 390 секунд при постоянной температуре 45 °С. Временной промежуток между пробами составлял 10 минут. Охлаждение поверхности кожи пальцев рук проводили ступенчато до 15 °С по описанной выше схеме в течение 280 и 320 секунд соответственно.

Полученные ЛДФ-граммы анализировали на основе вейвлет-преобразования [4] в четырех температурных диапазонах. В условиях локальной гипертермии (дилататорной пробы): от 32 до 39 °С, от 39 до 45 °С, первые две минуты воздействия — 45 °С, последние 5 минут воздействия — 45 °С. В условиях локальной гипотермии (констрикторная проба): от 32 до 23 °С, от 23 до 15 °С, первые две минуты воздействия — 15 °С, последние 4 минуты воздействия — 15 °С. Показатели эндотелиального ритма оценивали в температурном диапазоне 32–45 °С и 7 минут воздействия 45 °С, в констрикторной пробе — 32–15 °С и 6 минут воздействия 15 °С.

Определяли следующие показатели: среднеарифметический показатель микроциркуляции (М, пф. ед.); среднее квадратическое отклонение (флак) амплитуды колебаний кровотока от среднего арифметического значения $M - \sigma$ (пф. ед.), коэффициент вариации $K_v = \text{СКО} / \text{ПМ} \cdot 100\%$; функциональный вклад каждого звена в модуляцию микрокровотока по формуле — $(A_{\text{max}} / 3\sigma) \cdot 100\%$ — эндотелиального ритма — $A_{\text{э}}$ (0,0095–0,02 Гц), нейрогенного ритма — $A_{\text{н}}$ (0,02–0,06 Гц), миогенного ритма — $A_{\text{м}}$ (0,06–0,2 Гц), дыхательного ритма — $A_{\text{д}}$ (0,2–0,6 Гц) и кардиоритма — $A_{\text{с}}$ (0,6–1,6). Нейрогенный тонус прекапиллярных резистивных микрососудов (НТ) и миогенный тонус (МТ) метартериол и прекапиллярных сфинктеров, а также показатель шунтирования (ПШ) определяли по формулам

$$\text{НТ} = (\sigma \text{ АДср}) / (\text{Ан ПМ}),$$

$$\text{МТ} = (\sigma \text{ АДср}) / (\text{Ам ПМ}),$$

$$\text{ПШ} = \text{МТ} / \text{НТ} [4],$$

где АДср — среднее артериальное давление.

Степень прироста тканевого кровотока на уровне максимальной перфузии к исходному уровню в условиях локальной гипертермии и степень снижения кровотока в условиях локальной гипотермии рассчитывали по формулам

$$\Delta \text{ПМ} = [\text{ПМ}_{\text{макс}} - \text{ПМ}_{\text{исх}}] / \text{ПМ}_{\text{макс}} \cdot 100\%,$$

$$\Delta \text{ПМ} = [\text{ПМ}_{\text{исх}} - \text{ПМ}_{\text{мин}}] / \text{ПМ}_{\text{исх}} \cdot 100\%.$$

Для записи электрокардиограммы (I, II, III стандартное отведение) и анализа вариабельности сердечного ритма использовали программный комплекс «Нейрософт» (Иваново, Россия). Применяли короткую запись в течение 2 минут, которая позволяет изучить влияние на сердечный ритм короткодействующих факторов и вмешательств.

Статистическую обработку полученных числовых материалов и все виды анализа результатов проводили с помощью программы Statistica 6,0. Поскольку параметры не всегда соответствовали критерию нормального распределения, достоверность различий оценивали по критерию Вилкоксона. За уровень статистически значимых принимали изменения при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам спектрального анализа обследованные юноши и девушки были разделены на три группы в зависимости от влияния соответствующего отдела вегетативной нервной системы на сердечный ритм.

Анализ показателей микрососудистого русла в группе симпатотоников и нормотоников выявил высокую реакционную способность сосудов на локальное нагревание и охлаждение, наиболее выраженную у юношей. В группе ваготоников как у девушек, так и у юношей, зарегистрирована относительная стабильность показателей и сходство почти по всем параметрам микроциркуляции.

В условиях покоя у юношей-симпатотоников и нормотоников по сравнению со сходными группами девушек (табл. 1) наблюдалось превышение значения показателя микроциркуляции соответственно на 18 и 28 % при более низком значении коэффициента вариации и флакса. Показатели амплитудно-частотного анализа свидетельствовали о том, что у юношей симпато- и нормотоников функциональный вклад нейрогенного и миогенного ритмов в модуляцию кровотока был значительно ниже и, как следствие, показатели нейрогенного и миогенного тонуса сосудов выше, чем в соответствующих группах девушек. Параметры кардио- и дыхательного ритмов были ниже в группе юношей-симпатотоников. В группе юношей-нормотоников со стороны дыхательного ритма различия не выявлены, показатель кардиоритма превышал соответствующий параметр в группе девушек.

Проведенная дилататорная проба выявила наибольший прирост кровотока в группе юношей-симпатотоников, что составило 19 % по сравнению с 18 % у девушек. В группе девушек-нормотоников локальная гипертермия вызывала повышение перфузии ткани кровью на 21 %, у юношей — на 20 %. В группе ваготоников рассматриваемый параметр не отличался и составил в среднем 19 %.

В группе юношей-симпатотоников (табл. 2) с первых минут и до последнего периода нагревания кожи пальца руки зарегистрирован значительный рост показателя функционального вклада миогенного ритма в модуляцию кровотока (в трех температурных диапазонах последовательно на 16, 15 и 12 %) и соответствующее снижение миогенного тонуса сосудов с возвращением значений к исходным показателям в конце дилататорной пробы. Активация нейрогенных факторов регуляции кровотока выявлена в температурном диапазоне 39–45 °С при повышении функционального вклада нейрогенного ритма в кровоток на 9 % и снижении нейрогенного тонуса сосудов на 8 %.

Средние значения показателей микроциркуляции девушек и юношей с разным тоном вегетативной нервной системы в покое

Таблица 1

Показатель КР 22 °С	Симпатотоники		Нормотоники	
	юноши	девушки	юноши	девушки
($A_{H_{max}}/3\sigma$)100 %	23,33±0,8	26,09±0,8*	20,81±0,9	24,83±0,8**
($A_{M_{max}}/3\sigma$)100 %	20,03±0,9	21,12±1,2*	18,66±0,8	21,20±0,7**
($A_{B_{max}}/3\sigma$)100 %	7,6±0,6	7,79±0,6*	7,83±0,7	7,82±0,7
($A_{C_{max}}/3\sigma$)100 %	4,89±0,5	5,29±0,7*	6,06±0,6	4,34±0,3**
($A_{E_{max}}/3\sigma$)100 %	18,78±0,9	14,72±1,3*	17,2±0,8	17,0±1,0
НТ (отн. ед.)	1,46±0,06	1,29±0,04*	1,67±0,09	1,37±0,05**
МТ (отн. ед.)	1,78±0,09	1,62±0,08*	1,95±0,1	1,61±0,06**
ПШ (отн. ед.)	1,24±0,06	1,27±0,08*	1,21±0,1	1,21±0,07
М (пф. ед.)	11,5±0,3	9,48±0,6*	11,76±0,8	8,46±0,8**
σ (пф. ед.)	1,58±0,2	2,07±0,3*	15,2±0,1	1,99±0,2**
Kv, %	14,3±1,6	17,03±3,1*	13,67±1,5	28,22±4,4**

* — достоверность различий юношей и девушек в группе симпатотоников; ** — достоверность различий юношей и девушек в группе нормотоников по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$).

Рост показателей дыхательного ритма наблюдался при нагревании до 45 °С, кардиоритма — в первый период дилататорной пробы. Кроме этого, во время нагревания наблюдалось снижение функционального вклада эндотелиального ритма в кровотоки на 11 %.

Анализ механизмов регуляции микрососудистого русла в группе девушек-симпатотоников выявил относительную стабильность показателей микроциркуляции в период проведения пробы. Только первые минуты поддержания 45 °С сопровождалось ростом функционального вклада миогенного ритма в кровотоки и снижением миогенного тонуса сосудов соответственно на 16 и 17 % по сравнению с исходными значениями, что было на 9 и 10 % выше, чем в группе юношей. Необходимо отметить, что весь период воздействия 45 °С сопровождался снижением показателя шунтирования на 23 %.

У юношей-нормотоников (табл. 3) процесс вазодилатации сосудов наблюдался от 32 до 45 °С, о чем свидетельствовал рост показателей нейрогенного и миогенного ритмов и снижение значений соответствующего тонуса сосудов на 18 и 25 % уже в первый период проведения пробы. В группе девушек-нормотоников во всех температурных диапазонах зарегистрирован рост функционального вклада кардиоритма в кровотоки с максимумом в первые минуты воздействия 45 °С, что было на 48 % выше исходного параметра. В обеих группах вазодилатация сосудов сопровождалась повышением функционального вклада дыхательного ритма в модуляцию микрокровотока.

В условиях локальной гипертермии в группе девушек ваготоников зарегистрировано снижение миогенного тонуса сосудов на 22 % и показателя эндотелиального ритма в начале нагревания при значительном повышении функционального вклада дыхательного ритма в кровотоки практически в течение всей пробы последовательно на 27, 34 и 21 %.

В группе юношей, как и у девушек, изменения затронули показатель дыхательного ритма в первый температурный диапазон (прирост 33 %), однако достоверных различий в значениях параметров микроциркуляции в этих группах не выявлено.

В условиях локальной гипотермии наибольшая степень снижения показателя микроциркуляции характерна для юношей-симпатотоников (8 %) и нормотоников (7 %) по сравнению с соответствующими группами девушек (5 %). В группах ваготоников, как и в случае с нагреванием, различия не выявлены, и показатель составил в среднем 6 %.

Анализ параметров микроциркуляции в группе юношей симпатотоников в условиях локальной гипотермии показал, что регуляция кровотока, как и в условиях локальной гипертермии, осуществляется за счет нейрогенных факторов, проявляющихся после активации миогенных механизмов. Так, рост показателя функционального вклада миогенного ритма в кровотоки регистрировался от 32 °С с максимумом в первые минуты поддержания 15 °С, что сопровождалось соответствующим снижением миогенного тонуса сосудов на 19 % от исходного значения. Ослабление нейрогенного тонуса сосудов (последовательно на 13 и 17 %) и повышение функционального вклада нейрогенного ритма в микрокровотоки выявлены в температурном диапазоне от 23 °С до конечного периода проведения пробы. Последние 4 минуты охлаждения вызывали снижение показателя эндотелиального ритма и возвращение параметров микроциркуляции к исходному уровню.

В группе девушек-симпатотоников ослабление миогенного тонуса сосудов и повышение функционального вклада миогенного ритма на 14 % наблюдалось только в первом температурном диапазоне, дальнейшее охлаждение не вызывало изменений данного параметра. Однако в начальный период воздействия 15 °С регистрировалась активация нейрогенного фактора регуляции кровотока, со-

Таблица 2

t, °C	(A _{max} /3σ) 100%	юноши	девушки	t, °C	юноши	девушки
32–39	Н	24,39±0,6&	27,21±2,2	32–23	25,49±1,5	26,03±1,2**
	М	23,8±0,9*&	24,1±2±3,1		23,88±1,1*	24,48±1,1
	Д	11,77±0,8**&	9,98±0,9		10,22±0,9*	9,21±0,7
	С	6,27±0,5*	6,79±0,8		6,16±0,7	6,07±0,8
	НТ (отн. ед.)	1,39±0,04&	1,22±0,1		1,42±0,08&	1,32±0,06
	МТ (отн. ед.)	1,45±0,06**&	1,45±0,1		1,45±0,07**	1,40±0,06**
	ППШ (отн. ед.)	1,06±0,05**&	1,19±0,09		1,11±0,1	1,08±0,07
39–45	Н	25,76±1,04*&	28,43±1,8	23–15	26,85±0,9**	26,94±1,1
	М	23,49±1,2*	23,50±1,6		23,1±1,0*	23,56±1,7
	Д	9,21±0,6*	9,23±0,7		8,47±0,5&	7,64±1,2
	С	5,84±0,6	7,52±1,6		5,25±0,5&	4,0±0,3
	Э	13,98±0,7**&	15,21±1,1		16,01±1,1&	17,26±1,2
	НТ (отн. ед.)	1,34±0,06*&	1,21±0,08		1,27±0,05**	1,27±0,06
	МТ (отн. ед.)	1,49±0,08	1,49±0,1		1,5±0,08*	1,5±0,1
ППШ (отн. ед.)	1,14±0,06&	1,26±0,09		1,20±0,1		
45	Н	24,49±1,2	24,57±0,9	15	28,88±1,7**&	30,57±1,2*
	М	22,89±0,8**&	25,26±1,1*		23,91±1,04**	23,78±1,7
	Д	9,12±0,7	8,97±0,6		8,7±0,7&	6,94±0,9
	С	5,73±0,6&	7,16±0,9		5,74±0,5&	6,94±0,9
	НТ (отн. ед.)	1,44±0,08	1,38±0,05		1,21±0,05**&	1,0±0,07**
	МТ (отн. ед.)	1,49±0,05**&	1,39±0,05*		1,45±0,07**	1,28±0,2
	ППШ (отн. ед.)	1,08±0,05&	0,99±0,02**		1,27±0,1&	1,34±0,1
45	Н	22,75±0,9	22,37±1,4	15	25,52±0,8&	28,12±1,7
	М	21,11±0,8&	23,1±1,2		21,31±1,1&	21,19±2,3
	Д	8,68±0,4&	8,14±0,7		9,23±1,1&	7,76±0,6
	С	5,39±0,6	5,37±0,9		5,42±0,4	5,15±0,5
	Э	16,72±0,8*&	15,28±1,0		16,08±0,8&	21,5±2,3
	НТ (отн. ед.)	1,51±0,06	1,56±0,1		1,33±0,04&	1,23±0,1
	МТ (отн. ед.)	1,63±0,07&	1,48±0,08		1,68±0,1&	1,71±0,1
ППШ (отн. ед.)	1,1±0,05&	0,98±0,07*	1,68±0,1&	1,42±0,1		

* — достоверность различий по параметрическим критериям Вилкоксона (* — p<0,05, ** — p<0,01); & — достоверность различий группы юношей-симпатотоников с группой девушек-симпатотоников (p<0,05).

проводящаяся ростом функционального вклада ритма в микроциркуляторное русло и снижением нейрогенного тонуса на 22 %, что составило 17 % разницы с группой юношей.

В группе нормотоников как у юношей, так и у девушек, в условиях локальной гипо- и гипертермии наблюдалось сходство в динамике параметров микроциркуляции. Так, в группе юношей рост показателей нейрогенного ритма, начавшийся с первых минут охлаждения, продолжался в течение всей пробы и достигал наибольшего значения при 15 °C: прирост функционального вклада ритма в кровоток составил 25 %, а ослабление тонуса сосудов — 26 %. Достоверные изменения значений наблюдались и по показателям миогенного ритма, однако снижение

тонуса зарегистрировано только в диапазоне 23–15 °C на 16 %.

Для девушек-нормотоников в условиях локального охлаждения с первых минут зарегистрирован рост функционального вклада кардиоритма, начало проведения пробы вызывало максимальное повышение данного параметра на 37 % и сопровождалось и ростом дыхательного ритма на 32 %. Вторичное повышение показателя кардиоритма наблюдалось уже при воздействии 15 °C.

В группе ваготоников констрикторная проба, в отличие от дилаторной, отличалась более выраженной стабильностью параметров микроциркуляции.

В группе девушек не зарегистрировано достоверных изменений показателей, а в группе юношей

Средние значения нормированных показателей микроциркуляции юношей и девушек нормотоников в условиях локальной гипер- и гипотермии

Таблица 3

t, °C	(A _{max} /3σ) 100%	юноши	девушки	t, °C	юноши	девушки
32–39	Н	25,03±1,08*	26,41±1,8	32–23	24,91±1,3*	24,48±1,2
	М	23,1±0,8**	24,58±1,9		22,48±1,5*	22,6±1,2
	Д	10,32±0,8*&	12,20±1,2**		9,56±0,7&	11,42±1,0**
	С	6,8±0,5&	6,1±0,5**		5,34±0,5&	6,90±0,8**
	НТ (отн. ед.)	1,37±0,07**	1,35±0,08		1,4±0,09*	1,43±0,09
	МТ (отн. ед.)	1,47±0,05**	1,45±0,08		1,61±0,1	1,54±0,08
	ППШ (отн. ед.)	1,09±0,05	1,09±0,05		1,21±0,1	1,12±0,07
39–45	Н	22,85±1,04&	25,32±1,3	23–15	26,14±0,7**	25,91±1,2
	М	23,02±0,8**&	24,58±1,2*		21,33±1,2&	23,40±1,3
	Д	10,01±0,8*&	11,42±1,0*		8,94±0,8	9,79±1,2
	С	7,81±0,9&	7,02±0,6**		5,06±0,5	4,97±0,5
	Э	17,25±0,8	16,02±0,9		17,79±0,9	17,97±1,1
	НТ (отн. ед.)	1,5±0,07&	1,38±0,08		1,29±0,04**	1,34±0,07
	МТ (отн. ед.)	1,48±0,06**&	1,36±0,09*		1,64±0,1*&	1,51±0,1
ППШ (отн. ед.)	1,0±0,04&	1,04±0,04*	1,3±0,1&	1,16±0,09		
45	Н	24,33±1,4	24,0±1,1	15	27,72±1,2**	27,1±1,5
	М	20,92±1,1&	22,07±0,9		22,5±1,6*	20,58±1,0
	Д	9,28±0,6&	11,20±0,7*		9,03±1,2	10,27±1,3
	С	9,0±1,0&	8,37±1,0**		5,73±0,5&	6,37±0,6**
	НТ (отн. ед.)	1,45±0,1	1,44±0,07		1,23±0,05**	1,23±0,09
	МТ (отн. ед.)	1,67±0,1&	1,56±0,07		1,6±0,1	1,71±0,1
	ППШ (отн. ед.)	1,02±0,08&	1,11±0,06		1,32±0,1&	1,38±0,1
45	Н	19,83±1,3&	22,40±0,9	15	27,17±1,3**&	22,9±1,1
	М	18,54±1,0&	20,84±0,6		20,34±1,2&	19,53±0,7
	Д	10,22±1,2**	10,1±0,8		7,25±0,6&	9,84±1,1
	С	7,48±0,9	7,05±0,6**		5,3±0,3&	6,26±0,6**
	Э	17,46±1,0&	16,05±0,6		19,99±1,0&	18,3±0,7
	НТ (отн. ед.)	1,79±0,1&	1,53±0,07		1,26±0,06**&	1,52±0,08
	МТ (отн. ед.)	1,88±0,1&	1,63±0,05		1,72±0,1	1,73±0,08
ППШ (отн. ед.)	1,11±0,08	1,08±0,04	1,4±0,1&	1,19±0,07		

* — достоверность различий по параметрическим критериям Вилкоксона (* — p<0,05, ** — p<0,01); & — достоверность различий группы юношей-нормотоников с группой девушек-нормотоников (p<0,05).

— только рост дыхательного ритма в первом температурном диапазоне на 34 %.

В процессах вазодилатации и вазоконстрикции сосудов кожи центральные механизмы регуляции кровотока играют значительную роль [5, 6, 18], поэтому преобладание соответствующего отдела вегетативной нервной системы выявило ряд особенностей в изменении микроциркуляции юношей и девушек.

Проведенное исследование показало, что в группах симпатотоников, нормотоников и ваготоников, независимо от пола, выявленные в условиях локального нагревания механизмы регуляции кровотока сохраняются и во время охлаждения. Однако половая принадлежность обуславливает наличие определенных особенностей в процессах микроциркуляции.

В группе симпатотоников преобладание в регуляции тонических симпатических влияний наиболее выражено в группе юношей. Это подтверждается низким значением среднеквадратического отклонения, свидетельствующего об угнетении активных вазомоторных механизмов модуляции тканевого кровотока [4], и показателями амплитудно-частотного анализа. В условиях покоя в рассматриваемой группе зарегистрирован более высокий нейрогенный тонус сосудов и низкое значение кардиоритма, указывающего на спазм приносящих сосудов [4]. Как в условиях локального нагревания, так и охлаждения у юношей вазодилатация сосудов первоначально была обусловлена активацией местных миогенных факторов регуляции кровотока и нарастающей модуляцией сердечного ритма, сопровождающейся снижением

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

тонуса приносящих сосудов. Активация нейрогенных механизмов зарегистрирована при более высоких и низких температурах. Необходимо также отметить, что только в данной группе гипертермия и гипотермия сопровождалась снижением показателя эндотелиального ритма, который отражает функцию эндотелия микрососудов и выделяемого им оксида азота. Предполагается, что расширение сосудов в процессе нагревания обусловлено и повышением уровня оксида азота, ответственного за сокращение миоцитов [17], причем он необходим для полного эффекта вазодилатации [11] и способен ингибировать симпатическое сужение сосудов кожи [7]. В условиях охлаждения уровень оксида азота снижается, что вызывает сужение сосудов [12]. Однако последние данные [16] указывают на то, что оксид азота, возможно, имеет нейрогенную, а не эндотелиальную природу, и, помимо него, существуют другие сосудорасширяющие механизмы, которые дополняют его или действуют совместно [15].

В группе девушек-симпатотоников, несмотря на то, что действие соответствующего отдела вегетативной нервной системы выражено слабее, чем в группе юношей, как в условиях нагревания, так и охлаждения, параметры регуляции кровотока более стабильны, а проявление миогенных и нейрогенных факторов наблюдается преимущественно в конечные периоды проведения проб. Можно предположить, что в данных условиях в группе юношей действуют компенсаторные местные механизмы регуляции, снижающие симпатическое влияние на сосудистую систему и обуславливающие рост всех параметров микроциркуляции.

В группе нормотоников половые различия в механизмах регуляции микроциркуляции выражены значительнее. Так, у юношей параметры нейрогенного и миогенного ритма регистрировались с первых минут проведения проб, причем в условиях нагревания выявленный диапазон нейрогенной регуляции согласуется с ранее установленными данными [4].

У девушек регуляция сосудов осуществлялась преимущественно за счет изменения дыхательного ритма и кардиоритма, сопровождающегося снижением тонуса резистивных сосудов и увеличением притока крови в микроциркуляторное русло, что вызывало наибольшую степень повышения и наименьшую степень снижения перфузии ткани кровью соответственно в условиях локальной гипер- и гипотермии. Необходимо отметить, что параметры нейрогенной регуляции в этой группе были относительно

стабильны, а кратковременное действие миогенных факторов наблюдалось только при нагревании. Полученные данные показывают, что в условиях нормотонии в группе девушек «пассивные» факторы регуляции кровотока — пульсовые и дыхательные волны — превалируют над «активными» механизмами (нейрогенная и миогенная регуляция), которые играют значительную роль в группе юношей.

Результаты, полученные при анализе показателей микроциркуляции в группе ваготоников, значительно отличаются от таковых в группах симпато- и нормотоников. Установлено, что параметры кровотока этой группы относительно стабильны, а механизмы регуляции имеют сходную динамику в обеих группах. Исследования ряда авторов [8] показали, что при нагревании сосудов кожи для полного сосудорасширяющего эффекта и проявления аксон-рефлекса необходимо действие сосудосуживающих нейротрансмиттеров, поэтому можно предположить, что у ваготоников при сниженной симпатической активности этот эффект, возможно, был менее выражен. Так, в группе девушек локальное нагревание сопровождалось кратковременным изменением миогенного тонуса и показателя эндотелиального ритма, а в группе юношей — ростом только дыхательного ритма, свидетельствующим о снижении венозного сопротивления периферических сосудов [9], без достоверных изменений других параметров микроциркуляции.

Выводы

1. У лиц юношеского возраста, отличающихся тонусом вегетативной нервной системы, зарегистрированы различия механизмов регуляции микроциркуляции в условиях локальной гипер- и гипотермии.

2. В группе нормотоников регуляция тонуса сосудов кожи регистрируется с первых минут проведения температурных проб, у девушек — преимущественно за счет изменения дыхательного и кардиоритма, у юношей — миогенного и нейрогенного ритмов.

3. В группе симпатотоников влияние нейрогенных факторов модуляции кровотока проявляется только после активации миогенных механизмов. У девушек, по сравнению с юношами, изменения становятся выраженными при более высоких и низких температурах.

4. Группа ваготоников характеризуется слабо выраженными сосудистыми реакциями на температурные пробы и сходством параметров микроциркуляции у лиц обоего пола.

Литература

1. Захаров, В. Н. Основные механизмы адаптации человека / В. Н. Захаров. — М.: Наука, 1993. — 189 с.
2. Казначеев, В. П. Современные аспекты адаптации / В. П. Казначеев. — Новосибирск: Наука, 1980. — 191 с.
3. Кирилина, Т. В. Синхронизация колебаний кровотока как индикатор баланса центральных и локальных механизмов регуляции в системе микроциркуляции кожи человека / Т. В. Кирилина [и др.] // Вестник новых мед.

технологий. — 2009. — Т. XVI. — № 2. — С. 13–14.

4. Крупаткин, А. И. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / А. И. Крупаткин; под ред. А. И. Крупаткина, В. В. Сидорова. — М.: Медицина, 2005. — 256 с.

5. Bernardi, L. Autonomic control of skin microvessels: assessment by power spectrum of photoplethysmographic waves / L. Bernardi [et al] // Clin. Sci. — 1996. — Vol. 90 (5). — P. 345–355.

6. Bernardi, L. *Synchronous and baroreceptor-sensitive oscillations in skin microcirculation: evidence for central autonomic control* / L. Bernardi [et al] // *Am. J. Physiol.* — 1997. — Vol. 273 (4). — P. H1867–H1878.
7. Durand, S. *Exogenous nitric oxide inhibits sympathetically mediated vasoconstriction in human skin* / S. Durand [et al] // *J. Physiol.* — 2005. — Vol. 562 (Pt 2). — P. 629–634.
8. Gary, J. *The involvement of heating rate and vasoconstrictor nerves in the cutaneous vasodilator response to skin warming* / J. Gary [et al] // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* — 2009. — Vol. 296 (1). — P. H51–H56.
9. Ichioka, S. *High-intensity static magnetic fields modulate skin microcirculation and temperature in vivo* / S. Ichioka [et al] // *Bioelectromagnetics.* — 2000. — № 21 (3). — P. 183–188.
10. Johnson, J. M. *Nonthermoregulatory control of human skin blood flow* / J. M. Johnson // *J. Appl. Physiol.* — 1986. — Vol. 61 (5). — P. 1613–1622.
11. Kellogg, DL. Jr. *Nitric oxide and cutaneous active vasodilation during heat stress in humans* / DL. Jr. Kellogg [et al] // *J. Appl. Physiol.* — 1998. — Vol. 85 (3). — P. 824–829.
12. Manabu, S. *Endogenous nitric oxide attenuates neutrally mediated cutaneous vasoconstriction* / S. Manabu [et al] // *J. Physiol.* — 2007. — Vol. 585 (Pt 2). — P. 627–634.
13. Salerud, E. G. *Rhythmical variations in human skin blood flow* / E. G. Salerud [et al] // *Int. J. Microcirc. Clin. Exp.* — 1983. — Vol. 2 (2). — P. 91–102.
14. Schechner, J. S. *Synchronous vasomotion in the human cutaneous microvasculature provides evidence for central modulation* / J. S. Schechner, I. M. Braverman // *Microvasc. Res.* — 1992. — Vol. 44 (1). — P. 27–32.
15. Shastry, S. *Effects of nitric oxide synthase inhibition on cutaneous vasodilation during body heating in humans* / S. Shastry [et al] // *J. Appl. Physiol.* — 1998. — Vol. 85 (3). — P. 830–834.
16. Stewart, J. M. *Cutaneous neuronal nitric oxide is specifically decreased in postural tachycardia syndrome* / J. M. Stewart [et al] // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* — 2007. — Vol. 293 (4). — P. H2161–H2167.
17. Vallance, P. *Direct measurement of nitric oxide in human beings* / P. Vallance [et al] // *Lancet.* — 1995. — Vol. 345. — P. 153–154.
18. Wallin, B. G. *Neural control of human skin blood flow* / B. G. Wallin // *J. Auton. Nerv. System.* — 1990. — Vol. 30 (suppl). — S. 185–190.