

В.Б. Русанов, А.Д. Викулов

Особенности и онтогенетическая стратегия формирования системы гемодинамики на заключительных этапах подросткового периода

В исследовании представлен анализ системных взаимоотношений между морфофункциональными компонентами и контурами регуляции кровообращения на заключительных этапах подросткового периода. Выявлены внутрисистемные корреляционные взаимосвязи, отражающие функциональную модель гемодинамики, обеспечивающую сердечно-сосудистый гомеостаз.

Ключевые слова: онтогенез; подростковый период; гемодинамика; системные изменения.

V.B.Rusanov, A.D.Vikulov

Features and Ontogenetic Strategy of Hemodynamics System Formation at the Final Stages of the Pubertal Period

The analysis of the system interrelations between morphofunctional components and frames of blood circulation at the final stage of puberty is demonstrated in the research. We detected intrasystem correlations reflecting a functional model of hemodynamics that ensures cardiovascular homeostasis.

Key words: Ontogeny; pubertal period; hemodynamics; system changes.

Введение. Экзогенное влияние среды на формирующийся организм в большей степени определяется спецификой организации естественной деятельности (учебной или какой-либо другой). В свою очередь, это оказывает направляющее влияние на все его системы, метаболическое обеспечение функций которых осуществляется системой кровообращения. Ее замкнутость обуславливает происходящие в ней специфические морфофункциональные изменения и перестройку механизмов регуляции, что во многом определяется вариабельностью гемодинамической реактивности, которая в значительной степени связана с индивидуальными особенностями. Особо значимым этот факт является в сенситивные периоды формирования организма, одним из которых является подростковый возраст. На заключительных этапах формирования организма в условиях стабильных внешних воздействий эти функциональные взаимоотношения закрепляются и в дальнейшем становятся определяющими стратегию реагирования в меняющихся условиях среды.

Материал и методы исследования. Исследование проводилось в несколько этапов, на каждом из которых изучался комплекс гемодинамических параметров, характеризующих состояние системы кровообращения. Полученные результаты позволили определить тенденции взаимоотношений центральных и периферических компонентов кровообращения в обеспечении метаболических потребностей организма в условиях естественной деятельности и, как следствие, онтогенетическую направленность развития сердечно-сосудистой системы на заключительных этапах формирования организма.

В исследовании принимали участие 392 человека. Из них 76 – подростки 12-13 лет и 216 – подростки 15-16 лет. Среди них 253 – не спортсмены и 129 человек занимающиеся циклическими видами спорта (лыжники, пловцы).

В группе спортсменов 38 человек – начинающие лыжники (возраст 12-13 лет), 36 профессионально тренирующиеся лыжники (возраст 15-16 лет) и 55 человек – пловцы высокой квалификации (возраст 15-16 лет). Общая характеристика исследуемых групп представлена в табл. 1.

Таблица 1

Общая характеристика исследуемого контингента

Группа	Кол-во (чел) n	Возраст (лет) 1-исслед. M±m	Спорт. стаж (лет) M±m	Кол-во тренировок в нед. M±m	Длительность тренировки (час) M±m	Кол-во стартов за сезон M±m
I	38	11,4±0,24	-	-	-	-
II	38	11,2±0,14	2,7±0,39	6	2,25±0,09	6,07±0,2
III	215	15,8±0,60	-	-	-	-
IV	55	15,6±0,90	6,17±1,04	6	2,5±0,50	8,8±2,0
V	36	15,7±0,80	9,5±1,0	7	3,9±0,17	19,9±0,86

В качестве методов исследования были использованы эхокардиография (ЭхоКГ), кардиоинтервалография (КИГ) с анализом variability ритма сердца (ВРС), а также частные методики реографии - реоэнцефалография (РЕГ) и реоэнцефалокардиография (РЕКГ).

Несмотря на различия методических подходов, зарегистрированные каждым из этих методов показатели вполне сопоставимы, поскольку полученные результаты отражают онтогенетические тенденции формирования гемодинамики в определенных, лимитированных условиях

Результаты исследования и их обсуждение

Центральным звеном деятельности сердечно-сосудистой системы является системная гемодинамика, определяющаяся, в первую очередь, работой сердца и механизмами его регуляции. Составной частью морфофункциональных преобразований сердца является его ремоделирование, которое различно в группах подростков, находящихся в разных двигательных режимах. Физиологическое повышение нагрузок приводит к формированию эксцентрической гипертрофии миокарда, что отражает работу сердца в экономичном режиме. Это подтверждается тем, что у лыжников 15-16 лет эксцентрический тип гипертрофии определен у всех участников исследования. В то же время у не тренирующихся на выносливость сверстников этот вариант присутствует только в 18,7% случаев. В 75% для этой группы характерна концентрическая геометрия и небольшой процент концентрической гипертрофии – 6,3%.

У начинающих лыжников эксцентрическая гипертрофия миокарда при первоначальном исследовании выявлена только в 11,1% случаев, но большинство (88,9%) подростков этой группы имели вариант концентрической геометрии. При повторном исследовании, через год, в группе

спортсменов выявлена тенденция к увеличению эксцентрической гипертрофии – 14,5%. У 81,5% начинающих лыжников концентрическая геометрия пока еще сохраняется.

В группе младших подростков неспортсменов эксцентрическая гипертрофия ни при первичном, ни при повторном исследованиях не выявлена, так же как и в группе более взрослых, не тренирующихся лиц. При первоначальном исследовании все 12-13 – летние подростки имели концентрическую геометрию миокарда. Через год у 87,5% не тренирующихся детей концентрическая геометрия миокарда сохранилась, а 6,3% и 6,2% приобрели, соответственно, варианты концентрического ремоделирования и концентрической гипертрофии.

Кроме того, в условиях оптимальной двигательной активности рост сердца происходит не пассивно, а активно – путем гармоничного увеличения мышечной массы и объема его полостей вследствие вегетативно управляемого совместного действия высших центров с периферической регуляцией кровообращения [1;6]. Что касается увеличения просвета магистральных сосудов, это также связано с увеличением полости левого желудочка, при этом диаметр левого предсердия остается практически неизменным [11].

Уровень физической работоспособности в этих условиях выражается в достоверном увеличении мощности выполняемой нагрузки, которая, в свою очередь, повышает роль инотропного компонента, что является адекватным адаптационным результатом [2]. Сердце увеличивает массу выбрасываемой крови за счет использования резервного объема, более полного опорожнения желудочков, вследствие увеличения сократительной способности миокарда [7;12]. Морфологической основой для этого является увеличение полостей сердца.

Таблица 2

Корреляционная зависимость структурных параметров развития сердца и антропометрических показателей

Группа	Младшие подростки	Старшие подростки
Показатель	Мощность выполняемой нагрузки	
ММЛЖ, г	0,80	0,94
ИММ, г/м ²	0,60	0,92
КДО, мл.	0,67	0,80
КДО/St, мл/м ²	0,56	0,68

Примечание: достоверность различий между группами $p \leq 0,05$

Положительные сдвиги гемодинамики подтверждаются наличием прямых корреляционных связей между уровнем физического развития, морфологическими особенностями миокарда и мощностью выполняемой нагрузки (табл. 2).

Для объективного анализа особенностей формирования сердца как центральной структуры системы кровообращения необходимо учитывать антропометрические параметры, отражающие уровень физического развития организма. Анализ полученного массива данных в большинстве случаев (табл. 3) выявляет наиболее тесную статистически значимую корреляционную связь между следующими показателями: массоростовым индексом (ИК) и массой миокарда левого желудочка (ММЛЖ). Аналогичным образом коррелируют показатели ИК и конечный диастолический объем (КДО). Значительная корреляционная зависимость существует также между показателями ИК и относительными показателями: индексом массы миокарда (ИММ) и индексом КДО (КДО/St).

Таблица 3

Корреляционная зависимость структурных параметров развития сердца и ИК

Показатель функционального миокарда	структурно-развития	Индекс Кетле
ММЛЖ, г		0,523
ИММ, г/м ²		0,812
КДО, мл.		0,644
КДО/St, мл/м ²		0,763

Примечание: достоверность различий $P < 0,05$.

Положительная корреляционная взаимосвязь на этом этапе формирования организма характерна для большинства показателей центральной гемодинамики – минутного объема крови (МОК), ударного объема крови (УОК), ударного и сердечного индексов (УИ), (СИ). Между всеми перечисленными показателями отмечается положительная взаимосвязь высокого уровня достоверности.

Работа системы сердца исследуется как единый системный процесс сердечного ритма. К старшему подростковому возрасту вегетативная регуляция хронотропной функции сердца стабилизируется. Количественные соотношения симпатических и парасимпатических влияний соответствуют предлагаемым внешним условиям. При этом модуляция тонической активности характеризуется снижением напряжения регуляторных систем за счет усиления парасимпатического влияния и снижения мощности медленных волн в структуре ритма, переходе регуляции сердечного ритма с гуморально-метаболического на рефлекторный вегетативный уровень, который, в большей степени, способен обеспечить адекватный гомеостаз [4]. Нормотонический тип регуляции свидетельствует о сбалансированности отделов вегетативной нервной системы, участвующих в этом процессе.

Следует заметить, что у спортсменов, по сравнению с их сверстниками, отмечены более низкие значения параметров спектрального анализа, что свидетельствует о раннем формировании амплитуды сегментарных симпатических влияний. По-видимому, это связано с особенностями их полового созревания как по антропометрическим показателям, так и в отношении отделов вегетативной нервной системы. Снижение величины сверхнизкочастотных волн свидетельствует о достаточной активности симпатических и парасимпатических отделов с меньшим привлечением центрального контура для регуляции сердечного ритма [3; 5].

Каждый этап работы функциональной системы гемодинамики сопровождается специфическими изменениями мозговой гемодинамики, поскольку повышение активности соответствующих нервных центров во время выполнения физической и интеллектуальной работы (или реализации психических функций) влечет за собой повышение метаболических запросов в соответствующем сосудистом регионе [10;13]. Что касается корреляционных взаимосвязей между

такими показателями церебрального кровообращения, как объемная скорость периферического кровотока (ОСПК), мозговая фракция сердечного выброса (МФ), скорость быстрого кровенаполнения (V_{max}) и скорость медленного кровенаполнения (V_{cp}), то все они положительные и высокого уровня достоверности (до 0,982).

Обращает на себя внимание тенденция появления в динамике учебного года четкой отрицательной зависимости мозговой фракции сердечного выброса от всех показателей центрального кровообращения. Условия двигательной активности формируют определенную систему перераспределения крови между центральным и периферическими звеньями, что, в частности, отражается на мозговой фракции сердечного выброса [9]. Этот показатель имеет тенденцию к увеличению в условиях интенсивного учебного процесса и стабилизации при снижении умственных нагрузок на фоне активной физической деятельности [8].

Деление анатомически единой системы кровообращения на два функциональных компонента, центральный и периферический, позволяет анализировать значение каждого из них в процессах метаболического обеспечения функций организма. Однако в силу все того же единства и замкнутости системы гемодинамические изменения в каждый момент времени в заданных условиях функционирования организма происходят на всех ее уровнях и с участием обоих компо-

нентов при этом деятельность сердца и все составные составляющие гемодинамики находятся под непосредственным контролем автономной нервной системы.

В связи с этим выявляются зависимости и корреляционные взаимосвязи между показателями центрального, мозгового кровообращения и особенностями variability сердечного ритма, но большинство из них оказываются непостоянными. Исходными являются статистические взаимосвязи между показателем вагосимпатического взаимодействия и всеми параметрами центральной гемодинамики. Наблюдается также отрицательная корреляция между показателем общей мощности спектра, МОК и СИ. При увеличении каждого из параметров центральной гемодинамики увеличивается индекс вагосимпатического взаимодействия, в результате уменьшения высокочастотной и роста низкочастотной частей спектра. Одновременно с этим при возрастании МОК и СИ общая мощность спектра снижается. При динамическом исследовании эти зависимости не регистрируются и анализируемые показатели не проявляют наличия корреляционных взаимосвязей между собой. Одновременно увеличивается число корреляционных связей между системой мозговой гемоциркуляции и центральной гемодинамикой, а также внутрисистемных связей мозгового кровообращения (табл. 4).

Таблица 4

Число достоверных корреляционных связей между системами центральной гемодинамики (ЦГ), мозгового кровообращения (МК), variability сердечного ритма (ВСР) в динамике исследования

Этап исследования	Исследуемая система	ЦГ	МК	ВСР
Исходное исследование	ЦГ	6	0	4
	МК		4	6
	ВСР			6
Повторное исследование	ЦГ	6	5**	2*
	МК		6**	4*
	ВСР			7

Примечание: * - снижение числа корреляционных связей;
** - увеличение числа корреляционных связей.

Число достоверных корреляционных связей внутри системы, между отдельными составляющими, можно считать показателем ее активности в обеспечении определенной специфической функции. В данном случае речь идет об обеспечении сердечно-сосудистого гомеостаза.

Заключение. Таким образом, для интерпретации особенностей онтогенетического становления сердечно-сосудистой системы остается

крайне важным понимание того, при каких условиях показатели гемодинамики продолжают расширять, а не ограничивать адаптационные возможности организма. Степень вовлеченности различных отделов этой системы в реализацию ответных реакций может служить основой для изучения модулирующего влияния различных факторов на структурно-функциональные изменения метаболического обеспечения любого вида деятельности. Благодаря пластичности кровообращения и механизмов его регуляции в подро-

стковом возрасте онтогенетическое формирование функциональной системы гемодинамики может служить моделью для изучения изменений внутри нее в различных условиях и под влиянием различных экзогенных факторов, по-

скольку в процессе преобладающей деятельности формируются адаптационные механизмы кровообращения, направленные на поддержание гомеостаза.

Библиографический список

1. Абзалов, Р.А. Показатели ударного объема сердца у юношей, занимающихся физическими упражнениями динамического и статического характера [Текст] / Р.А. Абзалов, И.Х. Хаитов, Р.А. Сафин, Е.Г. Кабыш // Теория и практика физической культуры. – 2002. - № 2. – С. 24-27.
2. Ванюшин, Ю.С. Физическая работоспособность спортсменов с различными типами адаптации кардиореспираторной системы [Текст] / Ю.С. Ванюшин, Р.Р. Хайрулин // Физиология человека. – 2008. - Т.34. - №6. – С.131-133.
3. Баевский, Р.М. К проблеме физиологической нормы: Математическая модель функциональных состояний на основе анализа вариабельности сердечного ритма [Текст] / Р.М. Баевский, А.Г. Черникова // Авиационная и космическая медицина. – 2002. - №6. – С.11-17
4. Баевский, Р.М. Проблема оценки и прогнозирования функционального состояния организма и ее развитие в космической медицине [Текст] / Р.М. Баевский // Успехи физиологических наук. – 2006. - №2. – С. 17-26.
5. Берсенев, Е.Ю. Анализ вариабельности сердечного ритма и возможности его использования в практике подготовки спортсменов высшей квалификации [Текст] / Е.Ю. Берсенев, А.Б. Вдовина // Медико-биологические технологии повышения работоспособности в условиях напряженных физических нагрузок. – М., 2004. – С. 30-41.
6. Белоцерковский, В.Б. Кардиогемодинамика у спортсменов с различной степенью увеличения массы миокарда [Текст] / В.Б. Белоцерковский, Б.Г. Любина // Физиология человека. – 1997. – Т. 23. – № 5.- С. 77-81.
7. Горбаченков, А.А., Поздняков, Ю.М. Гипертрофические болезни сердца [Текст] / А.А. Горбаченков, Ю.М. Позднякова – М.: Медицина, 2000. – 240 с.
8. Исупов, И.Б. Типологические особенности кровообращения головного мозга молодых людей [Текст] / И.Б. Исупов // Вестник ВолГУ. – Сер. № 7. - 2008. - № 1 (7). – С. 124-129.
9. Лучицкая, Е.С. Функциональные особенности гемодинамики подростков в условиях различной двигательной активности [Текст] / Е.С. Лучицкая, В.Б. Русанов // Физиология человека. – 2009. – Т.35. - №4. – С. 43-50.
10. Bodo M . [Changes in the intracranial rheoencephalogram at lower limit of cerebral blood flow autoregulation](#) [Text] / M. Bodo , F.J. Pearce, L. Barany, R.A. Armonda // *Physiol. Meas.* – 2005. – Vol. 26 (2). – P. 1-17.
11. Hale J.E. Integration and regulation of cardiovascular function [Text] / J.E. Hale // *Am. J. Physiol.* – 1999. – V. 6. - № 2. – P. 234-243.
12. Mantini G.B. Hipertension, hypertrophy and the coronary circulation [Text] / G.B. Mantini // *Circulation.* – 1991. – V. 83. - № 1. – P. 1101-1103.
13. Razumovsky A.Y., Gillard J.H., Bryan R.N., Hanley D.F., Oppenheimer S.M. TCD, MRA and MRI in acute cerebral ischemia [Text] /A.Y. Razumovsky, J.H. Gillard, R.N. Bryan, D.F. Hanley // *Acta. Neurol. Sc.* - 1999. - Vol. 99. - P. 65-76.