

ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР МИОКАРДА В ПРОЦЕССЕ СПЕЦИФИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ К МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В статье представлен анализ динамических изменений в системе центральной гемодинамики, обусловленных морфофункциональными перестройками структур миокарда в двух возрастных группах лиц мужского пола: 12-13 и 18-22 лет. Рассмотрен возрастной аспект формирования сердца в условиях интенсивной мышечной деятельности, связанной с тренировками на выносливость.

Ключевые слова: онтогенез, ремоделирование сердца, адаптация, пубертатный период, лыжный спорт.

Введение

Каждый этап развития организма характеризуется стабильным уровнем функционирования его систем за счет происходящих структурных и функциональных преобразований. Основой изменения гемодинамических параметров системного кровообращения являются морфофункциональные перестройки сердца. Эти изменения могут иметь разнонаправленный характер, обусловленный необходимостью поддержания должного уровня кровообращения в различных условиях.

Адаптация к мышечной деятельности является результатом взаимодействия нескольких функциональных систем, одной из которых является система, обеспечивающая поддержание основных показателей гомеостаза, и сердце как компонент ее исполнительных механизмов. На этом уровне в первую очередь мобилизуется насосная функция за счет гипертрофии миокарда и дилатации его полостей [2; 3; 7; 18], что вызывает изменения в показателях центрального кровообращения как одного из основных лимитирующих метаболические процессы в организме факторов.

Сопоставление структурно-функциональных модификаций миокарда под влиянием тренировок на выносливость в пубертатном периоде с аналогичными на завершающих стадиях формирования организма позволяет выяснить онтогенетическую направленность развития сердца и, как следствие, центральной гемодинамики в плане обеспечения метаболических запросов при выполнении определенным образом организованной деятельности. В связи с этим в представленном исследовании изучены закономерности морфологических преобразо-

ваний, происходящих со структурами сердца в зависимости от уровня тренированности.

Материал и методы

Исследование было проведено в следующих группах мужского пола: юные лыжники 12-13 лет (n=38), подростки, не занимающиеся спортом, 12-13 лет (n=38), спортсмены-лыжники высоких разрядов 19-20 лет (n=36), юноши, не занимающиеся профессиональным спортом, 19-20 лет (n=36).

Приведенные результаты выполнены на основе интерпретации данных, полученных методом эхокардиографии. Регистрация эхосигналов проводилась на эхокардиографе фирмы Sensor Medics – Acuson computed sonography 128 XP/10 с., их интенсивность графически представлялась в М- и В-модальном режимах. Также использовалась доплер-эхокардиография. Параметры развития миокарда исследовались из стандартных позиций: парастенального, апикального, субкостального и супрастенального.

Анализировались следующие показатели: конечный диастолический размер (КДР), конечный систолический размер (КСР), конечный диастолический объем (КДО), конечный систолический объем (КСО), диаметр левого предсердия (ДЛП), диаметр аорты в диастолу (ДАО), толщина миокарда: толщина межжелудочковой перегородки (ТМЖП) и толщина задней стенки левого желудочка (ТЗСЛЖ), масса миокарда левого желудочка (ММЛЖ). Отдельно рассчитывался индекс массы миокарда левого желудочка (ИММ).

Исследование в группах юных лыжников и не тренирующихся подростков проводилось

Таблица 1. Основные антропометрические показатели в группах 12-13-летних подростков

Показатели	1-е исследование		2-е исследование	
	неспортсмены	спортсмены	неспортсмены	спортсмены
Длина тела, см	143,64±2,36	144,70±2,20	155,50±3,03	158,40±2,20
Масса тела, кг	38,41±4,16	39,90±1,66	47,86±4,37	46,10±1,64
St, м ²	1,20±0,07	1,30±0,03	1,45±0,08	1,40±0,03
ИК, кг/м ²	18,30±0,53	17,3±0,17	19,60±0,14**	18,50±0,17**

Примечание: при $p \leq 0,05$ ** между группами

Таблица 2. Основные антропометрические показатели юношей 18-22 лет

Показатели	Юноши-неспортсмены	Юноши-спортсмены
Длина тела, см	176,0±0,78	175,90±1,75
Масса тела, кг	68,80±2,57**	62,60±3,22**
St, м ²	1,80±0,04	1,90±0,04
ИК, кг/м ²	22,30±0,48	20,80±0,18

Примечание: при $p \leq 0,05$ ** между группами

дважды в год (в сентябре и мае), у взрослых лиц – однократно, только в сентябре.

Для более полной характеристики исследуемого контингента и в связи с тем, что антропометрические особенности – одни из наиболее информативных показателей физического развития, во всех группах был проведен анализ следующих антропометрических параметров: длины, массы, площади поверхности тела (St) и индекса Кетле (ИК).

Уровень физического развития является комплексным показателем, характеризующим формирование организма и, соответственно, указывающим на степень сбалансированного согласования в работе всех его систем. Кроме того, эта интегральная характеристика является одним из центральных аспектов, обуславливающих структуру большинства функциональных систем, определяя качество приспособительных результатов при осуществлении любого вида деятельности.

В группе 12-13-летних подростков (таблица 1) на момент исходного обследования достоверных отличий в антропометрических параметрах юных спортсменов и не занимающихся спортом отмечено не было, все анализируемые показатели находились на одинаковом уровне.

Поскольку исследования становления морфофункциональной организации сердца выполнены с интервалом в год, то анализ этих же показателей был проведен повторно.

Динамика антропометрических показателей как в группе начинающих лыжников, так и в группе не занимающихся спортом подростков была положительной. Все исследуемые параметры в течение года статистически значимо увеличивались в обеих группах. При этом различия выявлены только по показателю ИК.

К окончанию юношеского периода антропометрические показатели формируются окончательно. Это находит отражение в основных параметрах, статистически значимых различий между которыми в группах спортсменов и студентов, не занимающихся спортом, не наблюдается (таблица 2).

Достоверно различаются только показатели массы тела ($p < 0,01$), которая выше у юношей, занимающихся спортом.

Все вышесказанное может свидетельствовать об однородности исследуемых выборок, что позволяет высказать предположение о том, что при появлении значимых отличий в структурно-функциональной организации сердца они обусловлены в меньшей степени антропометрическими особенностями, а в большей – особенностями функциональной системы гемодинамики в каждой конкретной группе.

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с использованием пакета анализа «Microsoft Excel», Statistica 6.0, NCSS 2004. Определялись средние значения всех полученных в ходе исследования пока-

Таблица 3. Сравнительная оценка структурных показателей развития миокарда подростков в зависимости от участия в тренировочном процессе

Показатели	1-е исследование		2-е исследование	
	неспортсмены	спортсмены	неспортсмены	спортсмены
КДР, мм	46,20±2,69**	61,50±4,94**	46,20±2,70**	75,40±1,21**
КСР, мм	31,80±2,34	34,60±1,75	30,40±1,82**	57,20±1,48**
ТМЖП, мм	6,15±0,20*	6,80±0,22*	6,40±0,48**	7,60±0,23**
ТЗСЛЖ, мм	5,46±0,26	6,15±0,24	5,90±0,30**	7,10±0,23**
ДАО, мм	25,70±0,90	24,50±0,44	29,60±1,13	26,50±0,55
ДЛП, мм	25,80±1,12	27,20±0,60	26,81±0,88	29,80±0,72
ММЛЖ, г	75,40±4,80**	93,90±5,75**	106,60±9,0	107,70±4,74
ИММ, г/м ²	61,20±3,20*	71,40±2,96*	73,14±3,55	75,60±2,24

Примечание: достоверность различий между группами p≤0,01*, p≤0,05**

Таблица 4. Сравнительная оценка структурных показателей развития миокарда юношей в зависимости от участия в тренировочном процессе

Показатели	Неспортсмены	Спортсмены
КДР, мм	58,20±4,23**	97,70±2,54**
КСР, мм	38,60±3,71**	73,10±1,90**
ТПМЖ, мм	9,40±0,33*	11,10±0,37*
ТЗСЛЖ, мм	8,60±0,35**	10,20±0,29**
ДАО, мм	28,80±0,88	31,90±0,46
ДЛП, мм	33,0±1,40	33,0±1,29
ММЛЖ, г	163,0±7,82**	221,30±13,40**
ИММ, г/м ²	85,30±3,37**	119,70±5,54**

Примечание: достоверность различий между группами p≤0,01*, p≤0,05**

зателей (M), ошибка репрезентативности (±m). При сравнении выборок проводилась оценка достоверности различий с использованием параметрического критерия Стьюдента (t). Для установления взаимосвязей между исследуемыми показателями проводился корреляционный анализ.

Результаты

Общая тенденция структурных преобразований, происходящих в сердце под влиянием физических тренировок на выносливость у подростков на стадии формирования его структурно-функциональных особенностей, выглядела следующим образом (таблица 3).

Как видно из таблицы, уже при первоначальном исследовании структурных модификаций сердца морфофункциональные показатели развития миокарда статистически отличаются между группами лыжников и неспортсменов. При этом показатели спортсменов выше.

При повторном рассмотрении ЭхоКГ-параметров через год интенсивных тренировок в одной группе и год учебных занятий в другой наблюдается положительная динамика в развитии структур миокарда. Однако рост сердца и его структурное формирование происходит разными темпами. В группе начинающих лыжников отмечена общая положительная тенденция к достоверному увеличению показателей, характеризующих структурное развитие миокарда, а в группе их не тренирующихся сверстников аналогичная динамика менее выражена. При этом физиологическая гипертрофия миокарда у спортсменов наблюдается в сторону увеличения размеров и толщины сердечной стенки. Юные лыжники имеют более толстую сердечную стенку и изначально большую массу миокарда. Соответственно в течение годового цикла тренировок эти показатели также значительно увеличиваются.

Так же интенсивно изменяются размеры и объемы полостей сердца: КДР и КСР – на 18,5%

и 39,5% по сравнению с 1,7% и 4,4% спортсменов. Это связано не только с ростом организма, но и с адаптацией сердца к мышечной деятельности. Интенсивные тренировки способствуют скорейшему увеличению его полостей. Следовательно, увеличивается величина объема в систолу и диастолу, что отражается на характере кровоснабжения сердечной мышцы, а также величине порции крови, выбрасываемой в аорту.

Большой процент прироста наблюдается у лыжников в толщине миокарда (ТМЖП – на 10,6%, ТЗСЛЖ – на 14,1%) по сравнению с не занимающимися спортом (ТМЖП на 4%, ТЗСЛЖ – на 4,6%).

Значения ИММ, напротив, в большей степени изменились у не тренирующихся подростков – на 16,3%, у спортсменов – на 5,6%.

Чем выше требования к аппарату кровообращения, тем быстрее наступает увеличение размеров сердца. После продолжительных спортивных тренировок увеличение сердца становится выраженным. Оно не только удлиняется, но и расширяется.

При сравнении параметров морфофункционального развития сердца у лыжников с высоким уровнем спортивного мастерства и у студентов того же возраста, но не занимающихся профессиональным спортом, была выявлена аналогичная тенденция. Значения основных параметров представлены в таблице 4.

Морфофункциональные показатели развития миокарда достоверно выше у лыжников высоких разрядов по сравнению со сверстниками, не занимающимися спортом, что вполне объяснимо модулирующим влиянием тренировок на структурную организацию сердца. Адаптация к нагрузкам на выносливость выражается в умеренной гипертрофии и дилатации полостей сердца. При этом показатели развития миокарда профессиональных лыжников находятся на верхней границе нормы.

Для объективного анализа особенностей формирования морфофункциональной системы сердца в различных двигательных режимах необходимо учитывать антропометрические параметры организма. В связи с этим оценивалась степень зависимости развития его структур в группе подростков и популяции взрослых (спортсменов и неспортсменов) от уровня физического развития. Рассматривались корреляционные взаимосвязи между показателями ИК

(антропометрический параметр) и ММЛЖ, КДО, а также относительными показателями (ИММ, КДО/St).

Наиболее тесную корреляционную связь имеют ИК и ММЛЖ, как у подростков, так и у взрослых ($r=0,523$ и $r=0,774$ соответственно). Аналогичным образом взаимосвязаны показатели ИК и КДО, у подростков $r=0,644$, у взрослых $r=0,627$.

Значительная корреляционная зависимость выявлена между показателями ИК и ИММ ($r=0,812$) и ИК и КДО/St ($r=0,763$) в группе школьников. Корреляция между ИК и КДО/St выше у взрослых лиц ($r=0,814$).

Связь между ИК и ИММ студентов составила $r=0,768$ по сравнению с $r=0,774$ – между показателями ИК и ММЛЖ, а также меньше, чем во второй сравниваемой группе ($r=0,812$ – у подростков).

Корреляционные связи по всем рассматриваемым показателям статистически достоверны при $p < 0,05$.

Росто-весовой индекс увеличивался однонаправленно с изменением массы миокарда во всех сравниваемых группах. Однако в большей степени ИК, ММЛЖ и ИММ менялись у не тренирующихся подростков. Несмотря на меньшее изменение ИК у спортсменов, их показатели КДО и КДО/St увеличивались более значительно.

У взрослых лыжников высокие морфофункциональные показатели развития миокарда соответствуют большим значениям ИК по сравнению с неспортсменами.

При повышении нагрузок на сердце, в том числе при физических тренировках высокой эффективности, у спортсменов наблюдаются структурные изменения в сердце, выраженные в разной степени гипертрофии миокарда левого желудочка. Геометрические изменения, иначе называемые ремоделированием сердца, определяются степенью увеличения его массы, относительной толщиной стенки и размером полости левого желудочка.

Анализ полученных в ходе динамического сравнения вариантов геометрии сердца у спортсменов и неспортсменов показывает, что наиболее оптимальным типом ремоделирования является вариант эксцентрической гипертрофии. Такой тип отражает работу сердца в оптимально экономичном режиме начиная с подросткового возраста.

Это подтверждается тем, что у лыжников высокой квалификации эксцентрический тип гипертрофии определен у всех участников исследования. В то же время у не тренирующихся на выносливость студентов 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 детей с эксцентрической гипертрофией – 14,5%. У 81,5% начинающих лыжников концентрическая геометрия пока еще сохраняется.

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

Обсуждение

Любая деятельность оказывает определенное воздействие на все звенья сердечно-сосудистой системы. В результате формируется функциональная система, оптимально управляющая деятельностью аппарата кровообращения. Поэтому наиболее значимы в этом плане адаптивные сдвиги в сердце как наиболее подвергающемуся нагрузке органе этой системы.

Основным показателем структурно-функциональных преобразований миокарда у спортсменов является его умеренная гипертрофия. Сердечная мышца находится в таком состоянии, при котором не возникает никаких субъективных и объективных патологических симптомов. Это и есть «физиологически спортивное» сердце [10]. Увеличение сердца происходит активно – путем гармоничного роста мышечной массы и увеличения его полостей вследствие вегета-

тивно управляемого совместного действия высших центров с периферической регуляцией кровообращения [11; 14]. Гипертрофии и дилатации подвергаются оба желудочка [9; 17]. Увеличение преимущественно вертикальных размеров сердца является результатом гипертрофии и тоногенной дилатации не желудочков в целом, а только или преимущественно следствием повышения оттока крови, как из левого, так и правого желудочка [8; 19]. При этом дилатация его полостей является преобладающей тенденцией в изменении структуры миокарда. Происходящее по типу эксцентрической геометрии ремоделирование сердца отражает приспособление работы сердца в оптимально экономичном режиме. Спортсмены имеют более увеличенную полость левого желудочка, миокард же по толщине отличается от такового у не тренирующихся сверстников в пределах физиологических границ.

Особенности структурно-функциональной организации сердца спортсменов-юношей свидетельствуют о специфической адаптации центральной гемодинамики к потребностям организма, обусловленным тренировками на выносливость. Поскольку аналогичная тенденция была установлена у начинающих лыжников, полученные результаты могут быть интерпретированы как физиологически детерминированные изменения в плане экономизации функции кровообращения.

Поскольку онтогенетические изменения функционирования сердечно-сосудистой системы во многом определяются условиями и особенностями естественной деятельности, физическая тренировка является одним из факторов, определяющих формирование соответствующей функциональной системы кровообращения, способной удовлетворить метаболизм организма. При успешном формировании гемодинамических механизмов высокая экономичность функционирования является характерной чертой ответственных за эти механизмы систем [5; 6]. Как результат, затронутыми в этом процессе вследствие замкнутости сердечно-сосудистой системы оказываются все ее звенья, начиная с морфологии сердца, заканчивая системным кровообращением [1; 4; 12; 13; 15; 16].

Как показывают изложенные результаты, у тренирующихся на выносливость спортсменов структурный «след» адаптации выражает-

ся в существенной морфофункциональной перестройке сердца. Благодаря этому комплексу изменений оно приобретает большую максимальную силу сокращения и расслабления, что в условиях максимальных нагрузок обеспечи-

вает адекватное снабжение кислородом и метаболитами органы и ткани, и в первую очередь работающие скелетные мышцы, повышая эффективность функционирования двигательного аппарата.

Список использованной литературы:

1. Абзалов Р.А., Вахитов И.Х., Сафин Р.А., Кабыш Е.Г. Показатели ударного объема сердца у юношей, занимающихся физическими упражнениями динамического и статического характера // Теория и практика физической культуры. – 2002. – №2. – С. 24-27.
2. Автандилов Г.Г. Медицинская морфометрия. – М.: Медицина, 1990. – 384 с.
3. Белоцерковский В.Б., Лыкмас А.А. Гипертрофия миокарда, дилатация полости левого желудочка и физическая работоспособность спортсменов // Теория и практика физической культуры. – 1987. – №7. – С. 41-43.
4. Белоцерковский В.Б., Любина Б.Г. Кардиогемодинамика у спортсменов с различной степенью увеличения массы миокарда // Физиология человека. – 1997. – Т. 23. – №5. – С. 77-81.
5. Ванюшин Ю.С., Ситдинов Ф.Г. Адаптация сердечной деятельности и состояние газообмена у спортсменов к физическим нагрузкам // Физиология человека. – 1997. – Т. 23. – №4. – С. 69-83.
6. Ванюшин Ю.С., Ситдинов Ф.Г., Хаматова Р.М. Взаимосвязь показателей гемодинамики и физического развития детей и подростков с различными типами кровообращения // Физиология человека. – 2003. – Т. 29. – №3. – С. 139-142.
7. Гнатюк М.С. Адаптационные изменения объемных параметров желудочков сердца при физической нагрузке // Теория и практика физической культуры. – 2002. – №2. – С. 24-27.
8. Горбаченков А.А., Поздняков Ю.М. Гипертрофические болезни сердца. – М.: Медицина, 2000. – 240 с.
9. Дибнер Р.Д., Степанов В.М. Адаптация сердца юных лыжников с дистрофией миокарда и функциональными систолическими шумами (фоно- и эхокардиографическое исследование) // Сборник научных трудов: Методы оценки и механизмы долговременной и срочной адаптации спортсменов к физической нагрузке. – Л.: ЛНИИФК. – 1989. – С. 62-67.
10. Земцовский Э.В. Спортивная кардиология. – С.-Пб.: Гиппократ. – 1995. – 312 с.
11. Меркулова Р.А., Хрущев С.В., Хельбин В.Н. Возрастная кардиогемодинамика у спортсменов. – М.: Медицина, 1989. – 105 с.
12. Меерсон Ф.З., Пшенникова М.Г. Адаптация к стрессовым ситуациям и физическим нагрузкам. М.: Медицина, 1998. – 210 с.
13. Меерсон Ф.З., Мальшев И.Ю. Феномен адаптационной стабилизации структур и защита сердца. – М.: Наука, 1993. – 258 с.
14. Павлов С.Е. Основы теории адаптации и спортивная тренировка // Теория и практика физической культуры. – 1999. – №1. – С. 12-17.
15. Флейшман А.Н. Медленные колебания гемодинамики. Теория, практическое применение в клинической медицине и профилактике. – Новосибирск: Наука, 1998. – 264 с.
16. Харитонов Л.Г. Комплексное исследование процессов адаптации организма детей и подростков к физическим нагрузкам // Теория и практика физической культуры. – 1996. – №12. – С. 18-22.
17. Hale J.E. Integration and regulation of cardiovascular function // Am. J. Physiol. – 1999. – V. 6. – №2. – P. 234-243.
18. Lusiani L., Ronisvalle G., Bonanome A. Echocardiographic evaluation of the dimensions and systolic properties of the left ventricular in freshman athletes during physical training // Eur. Heart J. – 1986. – V. 7. – №1. – P. 196-202.
19. Mantini G.B. Hypertension, hypertrophy and the coronary circulation // Circulation. – 1991. – V. 83. – №1. – P. 1101-1103.

Rusanov V.B.

ONTOGENETIC ASPECTS OF CARDIAC STRUCTURE FORMING IN THE PROCESS OF SPECIFIC ADAPTATION TO MUSCULAR WORK

The article presents an analysis of dynamic changes in the system of central hemodynamics caused with morphofunctional restructurings of the myocardium structures in two age groups of males 12-13 and 18-22 years. The author considers the age aspect of the heart formation in conditions of intense muscular activity connected with endurance trainings.

Key words: ontogeny, cardiac remodeling, adaptation, pubertal period, skiing.

Сведения об авторе: Русанов Василий Борисович доцент кафедры биологии

Владимирского государственного гуманитарного университета, кандидат биологических наук, доцент
600024 г. Владимир, пр-т Строителей, д. 11, ауд. 310, тел.: (4922) 424739, 89206281685,
e-mail: anders-3@mail.u; fisiology@vladggy.ru