

УДК:796.01:612

## КОМПЕНСАТОРНО-АДАПТАЦИОННЫЕ РЕАКЦИИ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ В ОНТОГЕНЕЗЕ ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАГРУЗКАХ

Ю.С. Ванюшин, Р.Р. Хайруллин

ФГБОУ ВПО «Казанский государственной аграрный университет», Казань, Россия

Для связи с авторами: Kaf.fv.kgau@mail.ru

### Аннотация:

Специфика некоторых видов спорта проявляется не только в мышечных напряжениях, но и в поддержании разнообразных положений тела, на фоне которых протекает двигательная деятельность, и они могут существенным образом влиять на вегетативные функции. Изучение кардиореспираторной системы с помощью комплекса неинвазивных методов исследования привело нас к заключению, что данную систему можно рассматривать как эффекторное звено функциональной системы высшего порядка, обеспечивающее адаптацию организма к различным функциональным нагрузкам. Физиологическими детерминантами эффекторной части функциональной системы являются: инотропная, хронотропная, сосудистая и дыхательная реакции, участие которых зависит от функциональных нагрузок. Следовательно, при выполнении функциональных нагрузок повышающейся мощности наблюдаются сложные адаптивные взаимоотношения кардиореспираторных показателей, проявляющиеся в многообразии различных вариантов реагирования и это зависит от возрастно-половых особенностей, вида спорта и мощности нагрузок.

**Ключевые слова:** кардиореспираторная система, физическая работоспособность, адаптация, велоэргометрическая нагрузка.

### COMPENSATORY-ADAPTATION REACTIONS OF THE CARDIORESPIRATORY SYSTEM IN THE ONTOGENESIS UNDER THE FUNCTIONAL LOADINGS

Y. S. Vanyushin, R. R. Khairullin

Kazan state agrarian university, Kazan, Russia

### Abstract:

Some kind of sport's features manifested not only in muscle loadings, but in maintaining a variety body position, on the background of which takes place the motor activity, and they can significantly affect to the autonomic function. The study of cardiorespiratory system by the complex of non-invasive research methods has led us to the next conclusion: this system can be considered as highest order effectorly link of the functional system which providing body's adaptation to the various functional loads. There are next functional system's physiological determinants of effectorly part: inotropic, chronotropic, vascular and reactions, which participation depends on the functional loads. Consequently, during performance with rising power of functional loadings shown the difficult adaptive relationships of the cardiorespiratory indicators, which point to the variety of responses. Also it is depends on age-gender features, sports and power of loadings.

**Key words:** cardiorespiratory system, physical efficiency, adaptation, ergometry loadings.

### ВВЕДЕНИЕ

Физиологией мышечной деятельности, труда и спорта накоплен немалый фактический материал о влиянии различных нагрузок на организм человека. Практически любое воздействие в той или иной степени отражается на деятельности кардиореспираторной системы, вызывая процесс адапционных перестроек различных параметров данной системы. Кровообращение и дыхание организма че-

ловека относятся к числу интенсивно изучаемых физиологических систем. Технические средства современных научных исследований делают доступными анализ внутриклеточных процессов, а также исследование свойств макромолекул в процессе выполнения ими специфических функций. Однако от этого фронт научных исследований в области адаптации кардиореспираторной системы не сужается, а имеет тенденцию к расширению. Этому спо-

сопутствует широкое использование научных достижений в практике и необходимость исследования обширных «белых пятен» в спортивной медицине и физиологии, одним из которых является выявление закономерностей процесса адаптации к различным видам мышечной деятельности. По мнению некоторых авторов [8], адаптация – это формирование определенной функциональной доминирующей системы, изучение закономерностей которой при воздействии на организм различных функциональных нагрузок остается одной из актуальнейших проблем современной физиологии и медицины. Характеризуя функциональную систему, П.К.Анохин (1980) придавал важнейшее значение при ее формировании приспособительному эффекту, являющемуся «своего рода категорическим императивом для компоновки частей системы, для темпов реализации отдельных механизмов и, наконец, для остановки дальнейшей мобилизации рабочих компонентов, если только конечный эффект достигнут»[1]. Основным системообразующим фактором любой функциональной системы является ее результат. Для кардиореспираторной системы системообразующим фактором является обеспечение организма кислородом, которое имеет решающее значение для жизнедеятельности организма. Данное исследование посвящено рассмотрению компенсаторно-адаптационных реакций кардиореспираторной системы как эффекторного звена функциональной системы, обеспечивающей адаптацию организма к постуральным воздействиям, моделируемым при помощи изменения положения тела в пространстве, и к физическим нагрузкам повышающейся мощности в лабораторных условиях. Выбор этих функциональных проб был не случаен, так как в спорте имеет место смешанный режим мышечной деятельности, связанный как с изменением положения тела в пространстве, так и с выполнением различных движений [5]. Специфика некоторых видов спорта проявляется не только в мышечных напряжениях, но и в поддержании разнообразных положений тела, на фоне которых протекает двигательная деятельность, и они могут существенным образом влиять на вегетативные функции. Тем более,

что в процессе адаптации организма к нагрузкам не возникает новых физиологических систем и механизмов, а могут только усиливаться функции одних систем к функционированию в необычных условиях мышечной деятельности. С этой точки зрения наши исследования могут представлять определенный научный и практический интерес.

### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Наиболее полное представление об адаптации организма к нагрузкам может быть получено при одномоментном сопоставлении многих функциональных показателей. Поэтому очевидна целесообразность одновременной регистрации показателей кардиореспираторной системы для составления модели вегетативного обеспечения мышечной деятельности, т.к. «...физиологические функции не могут быть охарактеризованы каким-либо одним параметром, а обязательно требуют мультипараметрической характеристики» [9]. С этой целью синхронно регистрировались объемная и дифференциальная реограммы, электрокардиограмма, определялись показатели внешнего дыхания и газообмена.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Одним из важнейших показателей, от которого во многом зависит обеспечение организма кислородом, является МОК. Считается, что потребность тканей в кислороде является главным фактором, контролирующим и регулирующим величину сердечного выброса [2]. В физиологии хорошо известен факт уменьшения МОК при активном переходе испытуемого из положения лежа в положение стоя, несмотря на то что обмен веществ увеличивается. В этом случае рефлекторно повышается частота сердечбиений и периферическое сопротивление сосудов. Однако они не всегда способны компенсировать значительные изменения в ударном выбросе.

Дыхательная система тоже может принимать участие в компенсации МОК при переходе испытуемого из положения лежа в положение сидя и стоя. На это указывает рост МОД и глубина дыхания, которые возрастали в положении сидя и стоя. Кроме того, создаются условия для повышенного использования

кислорода тканями организма. Об этом мы судили по  $AVPO_2$ , которая увеличивалась на достоверную величину в положении сидя и стоя по сравнению с таковой в горизонтальном положении тела. Такой сдвиг в газообмене является компенсаторной реакцией при снижении сердечного выброса.

Комплексность наших исследований способствовала выявлению компенсаторных реакций сердечного выброса при активном изменении положения тела. В результате выделены хронотропная, инотропная, сосудистая и дыхательная компенсаторные реакции сердечного выброса.

Согласно современным представлениям обеспечение организма кислородом, особенно в видах спорта на выносливость, осуществляется степенью развития системы кислородного регулирования и оптимальным взаимодействием различных звеньев данной системы, включающей внешнее дыхание, кровообращение и газообменную функцию. Поэтому одним из путей повышения спортивных результатов в видах спорта, связанных с развитием выносливости, является расширение функциональных возможностей кардиореспираторной системы. Это, как показали результаты наших исследований, во многом зависит от возраста занимающихся спортом.

Наиболее эффективным механизмом в обеспечении организма кислородом принято считать увеличение сердечного выброса. Однако результаты, полученные нами, свидетельствуют о снижении прироста МОК при переходе от одной нагрузки к другой, который вследствие недостаточно полной диастолы и недостаточно увеличенной интенсивности сокращений сердечной мышцы достигается неэкономным путем – за счет роста ЧСС при ограниченном увеличении ударного выброса [4]. Совершенство функций сердца в этом случае лимитировано интенсивностью основных процессов, определяющих сократительные возможности сердечной мышцы: процессами возбуждения, сопряжения возбуждения с сокращением и расслаблением, энергообеспечением кардиомиоцита и мощностью структур, обеспечивающих эти процессы [8]. В связи с этим можно предположить существование других механиз-

мов, направленных на удовлетворение кислородного запроса организма при мышечной деятельности. Одним из них является внешнее дыхание, причисленное к факторам, лимитирующим возможность достижения высоких спортивных результатов.

На уровне системы дыхания адаптация характеризуется максимальной мобилизацией внешнего дыхания, которая проявляется ростом легочной вентиляции вследствие увеличения как частоты, так и глубины дыхания. В этом случае можно предположить наличие дискоординации между регионарным кровотоком в легких и вентиляцией соответствующих участков легочной ткани, а также дискоординацией между дыханием и движениями. Лимитирующими факторами в сложившейся ситуации являются анатомо-функциональные возможности аппарата внешнего дыхания (емкость легких, выносливость дыхательных мышц), а также функциональные возможности центрального аппарата регуляции дыхания.

Наибольшие величины легочной вентиляции нами были зафиксированы в группах подростков 15-16 лет и взрослых спортсменов в возрасте 36-60 лет. По-видимому, механизм, связанный с увеличением внешнего дыхания во время выполнения нагрузки повышающейся мощности на велоэргометре в этих группах, является превалирующим и физическая работоспособность обеспечивается значительным напряжением кардиореспираторной системы. При этом наблюдаются различные пути достижения максимальных величин легочной вентиляции: в группе подростков это происходит за счет увеличения частоты дыхания; в группе взрослых спортсменов – в результате увеличения глубины дыхания. Данный факт объясним с точки зрения возрастных особенностей развития организма, так как к 16 годам завершается морфофункциональное формирование системы дыхания, и направленность учебно-тренировочного процесса в этом возрасте должна быть ориентирована на развитие потенциала системы дыхания, что будет способствовать повышению аэробной производительности организма. Необходимо отметить, что полученные результаты легочной вентиляции не являются критерием достаточ-

но высокого уровня тренированности, так как при этом возрастает кислородная и энергетическая стоимость дыхания. В этих условиях адаптация к физическим нагрузкам лучше всего реализуется путем активации и повышения эффективности системы транспорта и утилизации кислорода. Об этом свидетельствуют достоверно большие величины индекса кровообращения и сердечного индекса в группе юношей в возрасте 17-21 лет. Благодаря развитию гипертрофии и увеличению скорости и амплитуды сокращения дыхательной мускулатуры увеличивается ЖЕЛ и возрастают величины КИО<sub>2</sub> в группе взрослых спортсменов в возрасте 22-35 лет при одинаковом потреблении кислорода во время выполнения ими нагрузки повышающейся мощности.

Таким образом, процессы адаптации и изменение функционального состояния организма происходят преимущественно в подсистемах, наиболее активно участвующих в обеспечении выполняемых человеком двигательных действий. Выявленные возрастные особенности обеспечения организма кислородом позволяют целенаправленно использовать физические нагрузки в учебно-тренировочном процессе и более обоснованно решать задачи по воспитанию и развитию двигательных качеств в разные периоды онтогенеза.

На основании литературных и собственных результатов исследований по данному вопросу мы составили обобщенную схему компенсаторных механизмов МОК при активной ортостатической пробе и физической нагрузке повышающейся мощности. На ней отражены кардиореспираторные показатели, имеющие первостепенное значение в приспособительных реакциях организма. Так, при смене положения тела целый комплекс кардиореспираторных показателей принимает участие в компенсаторно-адаптационных реакциях. В то время как при физической нагрузке на велоэргометре имеются превалирующие системы. Изменения, которые происходят при смене положения тела в кардиореспираторной системе, можно условно рассматривать как минимальные нагрузки, и в этом случае проявляются компенсаторно-адаптационные реакции, направленные на устранения пер-

вичных эффектов [3]. Работу на велоэргометре мощностью в 200 Вт можно принять за пороговые нагрузки, в результате которых нами выделены основные системы и функции организма спортсменов, занимающихся видами спорта на выносливость, и их участие в компенсаторно-адаптационных реакциях находится в зависимости от возраста.

В процессе адаптации организма к мышечной деятельности наблюдаются сложные взаимоотношения органов даже в одной и той же функциональной системе. Это можно видеть на примере взаимодействия сердечно-сосудистой и дыхательной систем по обеспечению организма кислородом при нагрузке повышающейся мощности в группах спортсменов разных по возрасту, но занимающихся видами спорта на выносливость. Для суждения о компенсаторных и адаптивных реакциях организма спортсменов при выполнении ими физической нагрузки рекомендуется использовать коэффициент комплексной оценки по обеспечению организма кислородом, состоящий из показателей кардиореспираторной системы. Данный коэффициент показал наличие больших функциональных резервов в группах юношей и взрослых спортсменов в возрасте 22-35 лет, а также замещение функций в организме подростков и взрослых спортсменов в возрасте 36-60 лет при выполнении ими нагрузок мощностью от 100 до 200 Вт. Значительное снижение коэффициента комплексной оценки обеспечения организма кислородом в группах подростков и взрослых спортсменов в возрасте 36-60 лет при выполнении ими велоэргометрической нагрузки мощностью в 200 Вт отражает большую «физиологическую цену» по обеспечению доставки кислорода к работающим скелетным мышцам.

В своих исследованиях мы обратили внимание на значительный разброс показателей сердечного выброса, что, по-видимому, связано с неоднородностью обследованного контингента. Причиной такой неоднородности могут быть как различные антропометрические особенности, так и тренируемые спортсменами двигательные качества. Поэтому нами, для того чтобы уменьшить разброс изучаемых параметров, был предложен способ распреде-

ления спортсменов по типам адаптации кардиореспираторной системы. За основу была предложена реакция сердечно-сосудистой и дыхательной систем на велоэргометрическую нагрузку мощностью в 200 Вт, в результате которой лица мужского пола были распределены на 5 групп, а женщины – на 4. При этом наиболее совершенными являются типы, связанные с увеличением инотропной функции сердца, так как увеличение сердечного выброса происходит за счет показателей ударного объема крови.

А.А.Маркосяном было введено понятие «биологическая надежность», которая является одним из общих принципов индивидуального развития [7]. Под биологической надежностью понимается такой уровень регулирования и такое соотношение элементов физиологического процесса, когда обеспечивается ход самого процесса с резервными возможностями, с взаимозаменяемостью звеньев, с быстрым возвратом к исходному состоянию, с достаточной лабильностью или пластичностью, гарантирующей быстрое приспособление и перестройку. Биологическая надежность означает безотказность, т.е. осуществление нормального функционирования в определенных условиях. В основе биологической надежности по А.А.Маркосяну лежат три свойства живой системы: избыточность элементов и блоков, совершенствование регуляции и компенсации. Исходя из этого определения, можно считать, что двигательная деятельность является одним из условий для изучения биологической надежности функциональных систем организма. А системой, лимитирующей развитие приспособительных реакций организма при разнообразных воздействиях, выступает, как правило, сердечно-сосудистая система, и в первую очередь сердце, деятельность которого является определяющей, и все указанные свойства проявляются в онтогенезе функционирования данного органа.

Возрастное развитие «биологической надежности» – это целенаправленный процесс, проявляющийся на уровне организма, одним из показателей которого является минутный объем крови, характеризующий адекватное снабжение тканей организма кислородом. Для того

чтобы судить о расширении функциональных возможностей сердца школьников в возрасте 8-16 лет, нами определялся прирост сердечного выброса при нагрузке 1.5 Вт/кг, соотношенный с исходным состоянием. Как показали результаты исследований, данный показатель с возрастом увеличивался независимо от половых различий, что указывает на возрастное увеличение биологической надежности сердечно-сосудистой системы. Нагрузки меньшей мощности – 0.5 и 1.0 Вт/кг – не выявили аналогичную закономерность. По-видимому, для того чтобы сделать заключение о биологической надежности физиологических систем организма, необходима нагрузка достаточно интенсивная, вызывающая определенные сдвиги в гомеостазе. Следовательно, механизм биологической надежности проявляется в экстремальных ситуациях.

Другим показателем центральной гемодинамики, при помощи которого, на наш взгляд, можно сделать заключение о надежности сердечно-сосудистой системы, является ударный выброс. Результаты предыдущих исследований показали, что ударный выброс увеличивается до определенной частоты сердцебиений, т.е. в этом случае, чтобы сделать предположение о надежности биологической системы, не обязательно нагрузку доводить до индивидуального предела [6]. Исходя из этого, мы проводили ступенчато возрастающую нагрузку до мощности в 200 Вт в группах спортсменов, распределенных по типам адаптации кардиореспираторной системы. Нами вычислялся диапазон эффективного увеличения ударного выброса, который определялся разностью между ударным выбросом при нагрузке в 200 Вт и насосной функцией в исходном состоянии. В этом случае наибольшие величины мы наблюдали в инотропной группе, что свидетельствует, по нашему убеждению, о высокой сократительной способности миокарда за счет ударного объема крови и тем самым повышается производительность сердца и расширяется диапазон его функциональных возможностей. Следовательно, величина ударного выброса может быть использована как критерий биологической надежности сердечно-сосудистой системы при нагрузках

повышающейся мощности. При этом предельные значения УОК могут быть получены при нагрузках, когда хронотропная реакция сердца не превышает 150 уд/мин.

В некоторых случаях нами наблюдалось увеличение нескольких показателей кардиореспираторной системы. Особенно это проявилось в группе спортсменов, имеющих высокие тотальные размеры тела при индивидуально подобранной велоэргометрической нагрузке, мощность которой иногда доходила до 300 Вт. Это максимальная физическая нагрузка. При увеличении нагрузки до величины, близкой к предельной, нарастает напряжение органов, в частности, двигательной мускулатуры и миокарда. По-видимому, сигналы с этих органов являются причиной адаптационных перестроек при данной нагрузке. Выяснения резервных возможностей в условиях повышенных нагрузок привело нас к выводу, что для обеспечения возросших потребностей работающих скелетных мышц в кислороде организму необходимо наличие двух, а в некоторых случаях и трех факторов кардиореспираторной системы. К ним мы относим частоту сердечбиений, ударный выброс и минутный объем дыхания.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, изучение кардиореспираторной системы с помощью комплекса неинвазивных методов исследования привело нас к заключению, что данную систему можно рассматривать как эффекторное звено функциональной системы высшего порядка, обеспечивающее адаптацию организма к различным функциональным нагрузкам. При этом эффекторная

структура функциональной системы характеризуется постоянными изменениями степени участия составных функциональных элементов и особенностями их сочетания. Физиологическими детерминантами эффекторной части функциональной системы являются: инотропная, хронотропная, сосудистая и дыхательная реакции, участие которых зависит от функциональных нагрузок. При активном ортостазе в компенсаторно-адаптационных реакциях принимает участие целый комплекс кардиореспираторных функциональных элементов, среди которых нельзя выделить ведущий фактор в адаптации. При нагрузках мощностью от 50 до 200 Вт наблюдается снижение прироста сердечного выброса, который компенсируется в зависимости от возраста спортсменов одной из реакций кардиореспираторной системы: внешним дыханием, кровообращением или газообменной функцией. По преобладающему характеру отдельных реакций со стороны органов кровообращения и дыхания выделены типы адаптации кардиореспираторной системы. При максимальной нагрузке (3 Вт/кг) наблюдается смешанный тип, характеризующийся увеличением до индивидуального предела параметров хронотропной функции сердца, внешнего дыхания и в некоторых случаях – ударного выброса. Следовательно, при выполнении функциональных нагрузок повышающейся мощности наблюдаются сложные адаптивные взаимоотношения кардиореспираторных показателей, проявляющиеся в многообразии различных вариантов реагирования, и это зависит от возрастного-половых особенностей, вида спорта и мощности нагрузок.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анохин, П. К. Узловые вопросы теории функциональной системы / П. К. Анохин. – М.: Наука, 1980. – 197 с.
2. Бреслав, И. С. Регуляция дыхания: висцеральная и поведенческая составляющие / И. С. Бреслав, А. Д. Ноздрачев // Успехи физиологических наук. – М., 2007. – Т. 38. – № 2. – С. 26-45.
3. Ванюшин, Ю. С. Особенности насосной функции сердца юношей и девушек при физических нагрузках малой мощности / Ю. С. Ванюшин, Н. Н. Шаяхметов, Р. Г. Ардеев // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 1. – С. 312-314.
4. Ванюшин, Ю. С. Взаимосвязь показателей гемодинамики и физического развития детей и подростков с различными типами кровообращения / Ю. С. Ванюшин, Ф. Г. Ситдииков, Р. М. Хаматова // Физиология человека. – 2003. – Т. 29, № 3. – С. 139-142.
5. Земцовский, Э. В. Функциональная диагностика состояния вегетативной нервной системы / Э. В. Земцовский // СПб.: Инкарт, 2004. – 80 с.
6. Карпман, В. Л. Динамика кровообращения у спортсменов / В. Л. Карпман, Б. Г. Любина. – М.: Физкультура и спорт, 1982. – 135 с.
7. Маркосян, А. А. Вопросы возрастной физиологии / А. А. Маркосян. – М.: Просвещение, 1974. – 223 с.
8. Меерсон, Ф. З. Адаптация к стрессовым ситуациям и физическим нагрузкам / Ф. З. Меерсон, М. Г. Пшенникова. – М.: Медицина, 1988. – 253 с.
9. Шидловский, В. А. Современные теоретические представления о гомеостазе / В. А. Шидловский // Итоги науки и техники. Серия «Физиология чел. и животных». – М., 1982. – Т. 25. – С. 3-18.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Anohin, P.K. Key issue of the functional system theory / P.K.Anohin // Moscow: Nauka, 1980. - 197 p.
2. Vanyshin, Y.S. Features of the heart's pumping ability in girls and boys under the low-power physical loads / Y.S. Vanyshin, N.N. Shayakhmetov, R.G. Ardeev // Fundamental researches. - 2013. - №1. - P. 312-314.
3. Breslav, I.S. Visceral and habital compound of respiratory regulation / I.S. Breslav, A.D. Nozdrachev // Success of the physiological science. Moscow, 2007. - Part 38. № 2. - P26-45.
4. Vanyshin, Y.S. Korrelation of the teens and kids physical development and hemodynamics indicators with different types of the blood circulation / Y.S. Vanyshin, F.G. Sytdikov, R.M. Khamatova // Human physiology. - 2003. - Part 29, №3. - P.139-142.
5. Zemtsovsky, E.V. Functional diagnostics of the autonomic neural system / E.V. Zemtsovsky // Saint-Petersburg: Incart, 2004. - 80 p.
6. Karpman, V.L. Athlete's blood pressure dynamics / V.L. Karpman, B.G. Lubina // - Moscow: Physical culture and Sport, 1982. - 135 p.
7. Markosyan, A.A. Issues of the age physiology / A.A. Markosyan. - Moscow: Prosvyashenie, 1974. - 223 p.
8. Meerson, F.Z. Adaptation to the stress situations and physical loads / F.Z. Meerson, M.G. Pshennikova // Moscow: Medicine, 1988. - 253 p.
9. Shidlovsky, V.A. Modern theoretical introdactions about homeostasis // Submits of science and technics. Human's and animal's physiology. - Moscow. - 1982. - Part 25. - P. 3-18.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

Ванюшин Юрий Сергеевич - доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физического воспитания ФГБОУ ВПО «Казанский государственный аграрный университет».

Хайруллин Ранис Рафакатович – кандидат биологических наук, доцент кафедры физического воспитания ФГБОУ ВПО «Казанский государственный аграрный университет».