

**Е.И. НОВИКОВА**  
(Волгоград)

## ВОЗРАСТНОЕ РАЗВИТИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ПОДРОСТКОВ

*Рассматриваются возрастные изменения показателей центральной гемодинамики у подростков 10 – 14 лет в зависимости от степени биологической зрелости.*

*Ключевые слова: функциональное состояние сердечно-сосудистой системы, подростковый возраст, нейро-эндокринная перестройка, ударный объем, частота сердечных сокращений, минутный объем крови.*

Среди систем, обеспечивающих приспособление организма, одно из ведущих мест занимает сердечно-сосудистая система. Еще в 1936 г. Г.Ф. Ланг писал, что функциональная способность всех органов и систем зависит от их кровоснабжения и что функция кровообращения есть функция, обслуживающая все другие функции организма. Поскольку на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы большое влияние оказывают пубертатные процессы, целью нашей работы явилось выяснение изменений гемодинамики школьников в связи с половым созреванием.

В эксперименте приняли участие мальчики 10–14 лет, у которых методом тетраполярной реографии и электропульсометрии в состоянии покоя измеряли ударный объем (УО), частоту сердечных сокращений (ЧСС) и минутный объем крови (МОК). При подборе исследуемых групп у всех школьников определяли основные показатели физического развития, а также уровень полового созревания по степени выраженности вторичных половых признаков. Выделены 4 стадии полового созревания: I – инфантилизма, II – гипофизарная, III – активации гонад, IV – максимального стероидогенеза.

В ряду факторов, определяющих эффективность центрального кровообращения, значительнее место занимает возраст, в процессе которого наблюдается тенденция к более выгодному в энергетическом смысле изменению соотношения массы тела к его поверхности по мере увеличения размеров тела. Это определяет и более экономную в энергетическом отношении деятельность организма в целом и отдельных его систем в состоянии мышечного покоя. Об экономизации с возрастом функций сердечно-сосудистой системы свидетельствует урежение частоты сердечных сокращений. Результаты наших исследований подтверждают факт закономерного и неравномерного уменьшения ритма сердца с возрастом (см. табл. 1). Так, если у 10-летних мальчиков этот показатель в состоянии покоя был равен  $87,1 \pm 1,88$ , то у 14-летних его величина снизилась до  $84,0 \pm 2,91$  уд/мин.

*Таблица 1*

**Показатели (M±m) центральной гемодинамики в состоянии покоя у мальчиков 10–14 лет**

Возраст (лет)	ЧСС (уд/мин)	УО (мл)	МОК (л/мин)
10	$87,1 \pm 1,88$	$33,1 \pm 1,12$	$2,83 \pm 0,10$
11	$86,9 \pm 1,71$	$33,3 \pm 1,43$	$2,87 \pm 0,13$
12	$84,0 \pm 1,63$	$34,5 \pm 1,17$	$2,88 \pm 0,10$
13	$84,4 \pm 2,10$	$36,9 \pm 1,79$	$3,14 \pm 0,14$
14	$84,0 \pm 2,91$	$45,8 \pm 3,23$	$3,82 \pm 0,28$

Ряд авторов указывают на то, что пульс в состоянии мышечного покоя у подростков 14 лет по сравнению с его величинами у 12–13-летних мальчиков даже повышается. У наших испытуемых эта особенность была отмечена при характеристике изменений ЧСС в зависимости от степени выраженности вторичных половых признаков (см. табл. 2). Так, если у школьников III пубертатной стадии ЧСС была равна  $82,8 \pm 2,30$  уд/мин, то на IV стадии она составила  $86,6 \pm 2,42$ . Недостовверное снижение частоты сердечных сокращений в процессе полового созревания связано с тем, что наряду с неуклонным возрастным усилением холинэргических влияний на сердечно-сосудистую систему роль симпатической регуляции, особенно в периоды бурного роста организма, весьма велика. Мощный поток симпа-

тической импульсации в различные органы и системы, в том числе в нервно-мышечные аппараты сердца и сосудов, в периоде так называемого пубертатного скачка, наблюдаемого у мальчиков 14 лет, кажется на первый взгляд возвращением к более примитивным формам регуляции, поскольку включение вагусной регуляции сердечно-сосудистой системы обеспечивает более совершенный характер ее деятельности, способствует наиболее экономному режиму работы сердца. Однако не подлежит сомнению биологическая целесообразность происходящего в подростковом периоде усиления симпатических воздействий, очевидна положительная роль последних в формировании принципиально новых качеств организма.

Известно, что конечным результатом сердечного сокращения является выброс в артериальную систему систолического или ударного объема крови, величина которого имеет важное значение для характеристики состояния кровообращения. В покое объем крови, выбрасываемый из левого желудочка, составляет в норме от трети до половины общего количества крови, содержащегося в этой камере к концу диастолы. Ударный объем у детей и подростков обеспечивается меньшим, чем у взрослых, конечным диастолическим объемом и более высокой фракцией выброса крови, т.е. путем более полного систолического сокращения мышц желудочка. Это увеличение сокращения мышц желудочка закономерно сопровождается у детей и подростков увеличенной по сравнению со взрослыми скоростью сокращения сердечной мышцы.

Возрастные изменения ударного объема проявляются в закономерном увеличении его абсолютных значений. При определении величин данного параметра у мальчиков 10–14 лет мы обнаружили, что УО с  $33,1 \pm 1,12$  у 10-летних школьников возрос до  $45,8 \pm 3,23$  мл ( $P < 0,01$ ) у 14-летних (табл. 1). Изменение УО по мере роста происходит сообразно анатомо-физиологическим особенностям возрастной эволюции сердца, в частности, нарастанию его массы и объема, формированию сократительного миокарда, нарастанию объема сердечных полостей. Анализ наших данных показал, что увеличение УО происходит неравномерно: между возрастными группами 10-, 11-, 12- и 13-летних мальчиков не было обнаружено достоверной разницы, у подростков 14 лет отмечен статистически значимый прирост УО ( $P < 0,05$ ).

Известно, что ударный объем наряду с частотой сердечных сокращений определяет величину интегрального гемодинамического показателя – минутного объема кровообращения. Изменение МОК происходит параллельно изменениям ударного объема. Как показывают данные табл. 1, МОК у 10–12-летних испытуемых хотя и возрастал с  $2,83 \pm 0,10$  до  $2,96 \pm 0,14$  л/мин, но достоверных годовых отличий не наблюдалось. Прогрессирующее увеличение МОК было зарегистрировано только в период с 13 до 14 лет, когда изучаемый параметр сердечно-сосудистой системы увеличился на 0,68 л/мин ( $P < 0,05$ ). Степень прироста этих двух показателей гемодинамики в рассматриваемый период онтогенеза была практически одинаковой: так, ударный объем увеличился на 33,4%, МОК – на 35,0%. Это объясняется хотя и незначительным ( $P > 0,05$ ), но снижением пульса с возрастом у наших испытуемых (табл. 1). На величину МОК оказывают влияние состояние сократительной функции сердца, емкость кровеносных сосудов, депо сосудистой системы, периферическое сопротивление, т.е. факторы, связанные с изменением активности самого сердца и условий периферического кровообращения. Большое значение имеют также рефлекторные влияния, отношение между объемами крови и тканевой жидкости, состояние функций почек. Сочетание и взаимодействие этих факторов и обеспечивают регуляцию МОК.

На состояние гемодинамики детей и подростков существенное влияние оказывают масса и длина тела. Подростковый возраст характеризуется изменением интенсивности роста, максимальным его темпом во всем организме и в отдельных его частях, усилением окислительных процессов, активными ассимиляторными процессами, резко выраженными эндокринными сдвигами, процессами морфологической и функциональной дифференцировки головного мозга и внутренних органов. Происходящие в период полового созревания морфологические и функциональные изменения выражаются прежде всего в общем физиологическом развитии подростка и значительном увеличении размеров отдельных ор-

ганов, а также изменении их структуры. Выраженное увеличение интенсивности роста мальчиков отмечается в 13–14 лет, что является следствием усиленного действия андрогенов. В этот период имеет место и наибольшее преобразование сердечно-сосудистой системы: значительно нарастает масса сердца, особенно левого желудочка, объем которого увеличивается быстрее, чем толщина стенок сердца. Именно на этот возраст приходится существенное увеличение как минутного, так и ударного объема крови. Однако, несмотря на то, что возрастные эволютивные процессы в целом определяют характер основных физиологических показателей деятельности сердца и сосудов, при сопоставлении изменений изучаемых параметров кровообращения у подростков с динамикой массы и длины тела мы обнаружили неодинаковую степень их прироста в одни и те же периоды индивидуального развития. Так, если у мальчиков длина тела с 10 до 12 лет увеличилась на 22%, то УО за это время повысился всего лишь на 4,2%. Полученные данные свидетельствуют о гетерохронном формировании вегетативных и соматических функций на данном отрезке онтогенеза, что, очевидно, связано с началом полового созревания. При определении биологического возраста у этих подростков оказалось, что большинство из них вступило во вторую стадию полового созревания, когда наблюдается активизация гипофиза, включая гонадотропную и соматотропную функции. Стимулы, исходящие из гипоталамической области и гипофиза, по-видимому, вызывают качественные изменения регуляции гемодинамики, которые меняют ее связи с показателями физического развития. На III стадии, в период выраженного «пубертатного скачка», наблюдается однонаправленное изменение параметров сердечно-сосудистой системы и физического развития. Увеличение массы тела и ударного объема у 14-летних школьников составили 23,8 и 24,1% соответственно по сравнению с испытуемыми 13 лет. Отмеченные выше скачки в физическом и функциональном развитии подростков совпадают с разгаром пубертатных процессов. Интенсивная нейро-эндокринная перестройка, происходящая на стадии максимального стероидогенеза, когда заметно увеличение в крови и моче метаболитов андрогенных гормонов и отмечается повышение тонуса артериол, создает условия для повышения изучаемых показателей кровообращения.

Исследование функционального состояния сердечно-сосудистой системы мальчиков в зависимости от степени выраженности вторичных половых признаков показало, что от I к IV стадии биологической зрелости у подростков существенно меняются показатели кровообращения в сторону их увеличения (см. табл. 2).

Таблица 2

**Показатели ( $M \pm m$ ) сердечно-сосудистой системы подростков  
I – IV стадий полового созревания**

Стадия полового созревания	Количество испытуемых	УО (мл)	МОК (л/мин)
I	86,1 $\pm$ 1,54	32,3 $\pm$ 0,73	2,77 $\pm$ 0,08
II	85,6 $\pm$ 1,41	33,9 $\pm$ 1,00	2,88 $\pm$ 0,08
III	82,8 $\pm$ 2,30	37,9 $\pm$ 1,75	3,12 $\pm$ 0,13
IV	86,6 $\pm$ 2,42	49,8 $\pm$ 3,89	4,31 $\pm$ 0,35

У мальчиков от I ко II стадии полового созревания как УО, так и МОК практически не изменяются ( $P > 0,05$ ). В III стадии отмечено достоверное увеличение только УО, статистически значимого прироста величины МОК у этих школьников не зарегистрировано, что связано с некоторым снижением ЧСС. Важным моментом в изменении гемодинамики является резкое повышение МОК ( $P < 0,05$ ) на IV стадии полового созревания за счет значительного увеличения ударного объема крови ( $P < 0,05$ ) и некоторого учащения ритма сердцебиений. Это связано с особенностями гормонального статуса у школьников исследуемого возрастного диапазона, в течение которого наступает качественно новый период деятельности надпочечников, начинающих интенсивно продуцировать не только андрогены, но и стероидные гормоны: глюкокортикоиды и минералокортикоиды. Последние способствуют повышению уровня артериального давления, а также показателей центральной гемодинамики.

Особенности гемодинамики у детей и подростков тесно связаны со спецификой обмена веществ, который снижается в процессе как роста и развития, так и полового созревания. Интенсивность кровообращения, обеспечивающая обменные процессы, по абсолютным величинам, как было отмечено выше, с возрастом увеличивается, а по относительным – уменьшается. Величины МОК, рассчитанные на единицу массы тела, у младших школьников значительно больше, чем у подростков старшей возрастной группы: у первых МОК/кг равен  $91,1 \pm 4,7$ , а у вторых –  $68,9 \pm 2,9$  мл/кг ( $P < 0,001$ ). Аналогичные значения МОК/кг были получены у наших испытуемых при анализе его изменений в зависимости от степени полового созревания (см. табл. 3).

Таблица 3

**Относительные величины (M+m) гемодинамических показателей у школьников различных стадий биологической зрелости**

Стадия полового созревания	УО/кг (мл/кг)	УИ (мл) (мл/м <sup>2</sup> )	МОК/кг (мл/кг)	СИ (л/мин/м <sup>2</sup> )
I	$1,02 \pm 0,08$	$29,07 \pm 0,79$	$87,60 \pm 3,21$	$2,50 \pm 0,07$
II	$0,91 \pm 0,03$	$27,25 \pm 0,78$	$77,13 \pm 2,58$	$2,33 \pm 0,07$
III	$0,80 \pm 0,04$	$26,24 \pm 1,03$	$66,25 \pm 3,23$	$2,16 \pm 0,09$
IV	$0,82 \pm 0,05$	$29,90 \pm 1,86$	$70,41 \pm 4,16$	$2,58 \pm 0,17$

Изучение ударного индекса (УИ) выявило, что количество крови, приходящееся на единицу поверхности тела на III на стадии полового созревания, достоверно уменьшается ( $P < 0,05$ ), снижаясь до  $26,24$  мл/м<sup>2</sup> по сравнению с  $29,07$  мл/м<sup>2</sup>, зарегистрированными на I стадии. Сходная картина наблюдалась и при характеристике результатов определения сердечного индекса (СИ). Уменьшение «удельной доли» минутного объема кровотока на единицу поверхности тела от I к III стадии развития вторичных половых признаков происходит в результате повышения периферического сопротивления. Однако в период разгара пубертатных процессов отмечается некоторое увеличение изучаемых параметров. По сравнению с подростками III стадии биологической зрелости у испытуемых IV стадии УИ повысился на  $3,66$  мл/м<sup>2</sup>, а МОК/кг – на  $4,16$  мл/кг. Это, очевидно, связано с усилением интенсивности обмена у мальчиков во время бурного роста и развития организма.

Таким образом, возрастное развитие функциональных возможностей сердечно-сосудистой системы у подростков происходит неравномерно, отдельные ее параметры изменяются гетерохронно по отношению к другим. Выявленные периоды резкого повышения ударного и минутного объемов крови совпадают с интенсивной нейро-эндокринной перестройкой, связанной с половым созреванием.



***Age development of functional abilities of cardiovascular system of teenagers***

*There are regarded the age changes of central haemodynamics of teenagers of 10 – 14 years old, depending on the level of biological maturity.*

Key words: *functional condition of cardiovascular system, juvenile age, neuroendocrinal change, percussive volume, cardiac beat rate, minute blood volume.*