

На правах рукописи

БОКОВЕЦ ВЛАДИМИР СТЕПАНОВИЧ

**ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СООТНОШЕНИЙ
ФУНКЦИЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ
И ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМ ПРИ МЫШЕЧНОЙ
РАБОТЕ ПОВЫШАЮЩЕЙСЯ МОЩНОСТИ**

(03.00.13 — физиология человека и животных)

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук**

На правах рукописи

БОКОВЕЦ ВЛАДИМИР СТЕПАНОВИЧ

ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СООТНОШЕНИЙ
ФУНКЦИЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ
И ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМ ПРИ МЫШЕЧНОЙ
РАБОТЕ ПОВЫШАЮЩЕЙСЯ МОЩНОСТИ

(03.00.13 — физиология человека и животных)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Работа выполнена в лаборатории возрастной физиологии спорта Челябинского государственного педагогического института (зав.—доцент ФОМИН Н. А., ректор ШУЛЕПОВ С. В.) и в секторе юношеского спорта Всесоюзного научно-исследовательского института физической культуры (зав.—профессор ФИЛИН В. П., директор ХОМЕНКОВ Л. С.).

Научные руководители:

кандидат биологических наук, доцент ФОМИН Н. А.,
доктор педагогических наук, профессор ФИЛИН В. П.

Официальные оппоненты:

доктор медицинских наук, профессор СКРЯБИН В. В.,
кандидат медицинских наук, доцент ШКЛОВСКИЙ И. А.

Ведущее учреждение:

Горьковский государственный педагогический институт.

Автореферат разослан «25» . . . IV . . . 1973 г.

Защита диссертации состоится «5» . . . V . . . 1973 г.
на заседании медико-биологического Ученого Совета Свердловского государственного медицинского института.

Адрес: г. Свердловск, ул. Репина, 3.

Ученый секретарь Совета —
кандидат медицинских наук
КОНСТАНТИНОВ В. Г.

В процессе индивидуального развития человеческого организма изменяются не только функции отдельных органов и систем, но и их соотношения как в условиях относительного мышечного покоя, так и при физической нагрузке (Аршавский И. А., 1968, Мотылянская Р. Е., 1969, Маркосян А. А., 1969 и др.).

Несомненный положительный эффект целенаправленных занятий физической культурой в улучшении функционального состояния сердечно-сосудистой и дыхательной систем детей разного возраста и взрослых людей в условиях мышечной деятельности доказан многочисленными исследованиями (Hockerts, 1952, Мотылянская Р. Е., 1956, Mellerowicz, 1956, Филин В. П., 1967, Васильева В. В., 1970 и др.).

Вместе с тем в условиях применения больших физических нагрузок могут наблюдаться и нарушения в деятельности отдельных органов и систем человеческого организма (Летунов С. П., Мотылянская Р. Е., 1955, 1968, Дембо А. Г., 1959, 1967, Дибнер Р. Д., Лутков В. Ф., 1971 и др.).

Поэтому теоретический и практический интерес к изучению динамики сердечной и дыхательной деятельности у спортсменов, регулярно занимающихся физическими упражнениями и применяющих в своих тренировках большие по объему и интенсивности физические нагрузки, является несомненным. Актуальность подобного рода исследований возрастает в связи с вовлечением в занятия физической культурой детей с самого раннего возраста. Однако до настоящего времени имеется небольшое количество работ, выполненных в сравнительно-возрастном плане (Keuth, 1957, Reindel, Klepzig, Musshoff, 1960, Мотылянская Р. Е., 1955, 1969, Стогоза Л. И., 1964, Дибнер Р. Д., Христич М. К., 1969, Фомин Н. А., Филин В. П., 1972 и др.).

Учитывая вышензложенное, нами была поставлена зада-

ча: изучить возрастные особенности кардиодинамики, дыхательной функции, двигательного аппарата и их соотношений в условиях мышечной деятельности, максимально приближенных к естественным тренировочным и соревновательным нагрузкам.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования были проведены на юных легкоатлетах 10—11 лет (1 группа), подростках 13—14 лет (2 группа), юношах 16—17 лет (3 группа). 4 и 5 группу составили взрослые спортсмены, тренирующиеся в беге на средние дистанции и лыжники-гонщики. До начала исследования испытуемые прошли медицинский осмотр по форме 227 «а» и были признаны здоровыми.

В соответствии с методикой испытуемым предлагалось выполнить три забега на третбане со скоростью 60%, 65%, 70% от максимальной. Продолжительность 1 и 2-го забегов составила 3 минуты, третий забег выполнялся до момента возникновения некомпенсированного утомления (Фарфель В. С., 1970), проявляющегося в падении скорости бега.

В процессе выполнения мышечной работы регистрировались следующие показатели физиологических функций: длительность сердечного и дыхательного циклов, гониограмма (изменение угла в коленном суставе) и скорость бега испытуемого. В интервалах отдыха на 1-ой, 2-ой и 3-ей минутах производился забор проб выдыхаемого воздуха, определялся минутный объем дыхания, регистрировалась электрокардиограмма. После выполнения нагрузки в течение первых пяти минут, а также на 10, 15 и 20 минутах, в положении сидя, производился забор выдыхаемого воздуха, определялся минутный объем дыхания, регистрировалась поликардиограмма и измерялось артериальное давление. Показатели изменения физиологических функций в процессе работы и в восстановительном периоде записывались на 16-канальном электроэнцефалографе марки ЭЭГУ16-02. Исследование проведено на 4-возрастных группах в количестве 75 человек. По исследуемым параметрам сделано около 5000 измерений.

Датчиками для снятия электрокардиограммы служили чашечные электроды от телеэлектрокардиографа марки ТЭК-1. Для записи фонокардиограммы использовался микрофон марки МД-4. Артериальное давление определялось по методике Короткова. Запись кривой центрального пульса производи-

лась при помощи электромагнитного датчика типа ТМ-2. Газовый состав выдыхаемого воздуха определялся по методике Дугласа-Холдена на серийном аппарате ГХП-3М, изготовленном в соответствии с требованиями ГОСТ 6329—52. Расчет фазовой структуры сердечного цикла производился по модифицированной методике Карпмана В. Л. (1964).

Результаты исследования обработаны на ЭЦВМ «Минск-22» с определением общепринятых параметрических критериев и коэффициентов корреляции.

ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КАРДИОДИНАМИКИ ПОД ВЛИЯНИЕМ МЫШЕЧНОЙ РАБОТЫ ПОВЫШАЮЩЕЙСЯ МОЩНОСТИ

Анализ фазовой структуры сердечного сокращения показывает, что как в продолжительности, так и в соотношении отдельных фаз сердечного цикла у испытуемых всех возрастных групп наблюдаются существенные изменения, являющиеся результатом систематической тренировки.

Фаза изгнания (Е) при сравнении с должными величинами во всех возрастных группах оказалась значительно укороченной. После выполнения третьей ступени нагрузки Е в группе взрослых спортсменов составила 0,127 сек, что на 0,014 сек. меньше, чем у юношей, и на 0,012 сек. меньше, чем у подростков ($p < 0,01$). Фаза изгнания на протяжении 20 минут восстановительного периода оставалась меньше исходных данных: в 1 группе на 0,01 сек., во 2 группе на 0,029 сек., в 3 группе на 0,023 сек. Наиболее значительное ее отличие от исходных значений было отмечено в 4 группе — 0,045 сек. Различия с исходными данными во всех случаях были статистически достоверными.

Фаза изгнания в состоянии относительного мышечного покоя имеет высокий коэффициент корреляции с продолжительностью сердечного цикла. Наибольшие его величины 0,606 и 0,682 наблюдаются в группе подростков и взрослых спортсменов. У детей и юношей 16—17 лет коэффициенты корреляции составили 0,457 и 0,350 соответственно. Связь между длительностью фазы изгнания и периодом напряжения колеблется от слабой положительной у подростков 13—14 лет и взрослых спортсменов (0,209 и 0,214) до статистически достоверной отрицательной у детей (—0,595).

Период напряжения (Т) увеличился с возрастом и удлинением сердечного цикла. У детей Т составлял 0,086 сек., что

на 0,005 сек. меньше, чем у подростков ($p > 0,05$), на 0,07 ($p < 0,01$) меньше, чем у юношей и на 0,022 сек. меньше, чем у взрослых спортсменов ($p < 0,01$).

Обращает на себя внимание факт увеличения периода напряжения на 0,017 сек. в группе лыжников по сравнению со взрослыми легкоатлетами. Столь значительное увеличение периода напряжения в 5-ой группе произошло за счет увеличения фазы асинхронного сокращения, так как различие в изменении длительности изометрического сокращения статистически недостоверно.

На первой минуте после работы период напряжения уменьшился против исходных данных: в 1 группе на 0,036 сек., во 2 группе на 0,035 сек. В 3 и 4 группах это уменьшение составило 0,053 и 0,052 сек. соответственно. К 10-ой минуте восстановительного периода длительность напряжения миокарда у детей и подростков становится равной исходным данным, а на 20-ой минуте превышает их у детей на 0,010 сек. ($p < 0,05$), у подростков на 0,003 сек. ($p > 0,05$). В группе юношей и взрослых период напряжения на 20-ой минуте после работы практически не отличается от исходных значений.

Фаза изометрического сокращения (IC) с возрастом увеличивается. Однако между детьми 10—11 лет и подростками 13—14 лет различие статистически недостоверно. На 1-ой минуте восстановительного периода возрастные различия в изменении IC между испытуемыми всех возрастных групп исчезают вследствие более выраженного укорочения IC в 3 и 4 группах.

Укорочение IC на первой минуте составляло у детей 0,024 сек., у подростков — 0,022 сек. Более значительным это укорочение было в 3 и 4 группах (0,036 и 0,037 сек. соответственно). К 10-ой минуте восстановительного периода IC у детей приходит к исходным данным, а на 20-ой минуте превышает их на 0,005 сек.

Наши данные показывают, что продолжительность электрической систолы не зависит от ритма сердечных сокращений (PCC). Эта особенность изменения ритма электрической активности не подвергается возрастным изменениям. У детей колебания PCC в состоянии мышечного покоя находятся в пределах от 80,26% до 100%; у подростков — 84,83%—100%; у юношей — 85,56%—100%; у взрослых легкоатлетов — 81,96%—100%; у лыжников — 83,36%—100%.

Длительность сердечного цикла (C) и электрической систолы (Se) с возрастом увеличивается. Однако между груп-

пами детей 10—11 лет и подростков 13—14 лет разница в изменении этих показателей была незначительной. Соотношение продолжительности сердечного цикла и электрической систолы в состоянии мышечного покоя удовлетворительно описывается уравнением:

$$C = \frac{270}{1 + 10^{1,95 - 0,042 Se}} + 16, \text{ где}$$

C и Se длительности сердечного цикла и электрической систолы, выраженные в сотых долях секунды. Линейный компонент этой зависимости выражается уравнением $C = 5,049Se - 80$. После выполнения третьей ступени нагрузки соотношения сердечного цикла и электрической систолы принимают вид $C = 1,428Se + 10$.

Нами было установлено, что в процессе бега на тротуаре с повышающейся скоростью процесс относительной стабилизации длительности сердечного цикла заканчивается в конце 1-ой и начале 2-ой минуты после начала бега. У детей и подростков изменение длительности сердечного цикла в процессе вбрасывания на каждой ступени нагрузки удовлетворительно описывается уравнениями: при беге со скоростью 60% от максимальной $C = 50 - 3,01 \log_2 t$; при беге со скоростью 65% от максимальной $C = 48 - 3,01 \log_2 t$; при беге со скоростью 70% от максимальной $C = 46 - 3,01 \log_2 t$. У юношей и взрослых легкоатлетов изменение C в зависимости от скорости бега описывается уравнениями: при беге со скоростью 60% от максимальной $C = 58 - 4,01 \log_2 t$; при беге со скоростью 65% от максимальной $C = 55 - 4,01 \log_2 t$; при беге со скоростью 70% от максимальной $C = 52 - 4,01 \log_2 t$. В приведенных формулах C выражена в сотых долях секунды, t — время в сек. в промежутке одной минуты бега.

В изменении электромеханических соотношений (ЭМР) в условиях мышечного покоя наблюдается возрастная тенденция к уменьшению ЭМР от детского до юношеского возрастов. У детей ЭМР составила 0,044 сек., что на 0,005 сек. больше, чем у подростков, и на 0,013 сек. больше, чем у юношей ($p < 0,05$).

Нами отмечено статистически достоверное различие в величинах ЭМР между группой взрослых лыжников и легкоатлетов, которое можно объяснить спецификой вида спорта. Тренировочные и соревновательные нагрузки, выполняемые лыжниками в большом объеме, но умеренными по интенсивности, оказывают менее выраженное, чем у легкоатлетов, рас-

согласование в электромеханических проявлениях сердечной деятельности. К концу восстановительного периода ЭМР уменьшается. Это уменьшение является результатом увеличения периода напряжения у испытуемых всех возрастных групп.

В восстановлении ЭМР наблюдаются закономерные изменения, не связанные с возрастом испытуемых: на первых минутах после работы ЭМР превышает исходный уровень, затем возвращается к исходным показателям и, наконец, становится статистически достоверно ниже исходного уровня.

В изменении артериального давления у спортсменов рассматриваемых возрастных групп прослеживается односторонняя тенденция к повышению во время мышечной работы и в ближайшем восстановительном периоде. В группе детей систолическое давление на первой минуте восстановительного периода составило 147,3 мм рт. ст., в группе подростков — 155,3 мм рт. ст. Между группами юношей и взрослых спортсменов существенных различий в величинах сдвигов систолического давления после работы не было отмечено. К концу восстановительного периода систолическое артериальное давление уменьшается до уровня ниже исходного в группах детей и подростков. У детей 10—11 лет систолическое давление снизилось против исходных данных на 7,1 мм рт. ст., в группе подростков — на 9,3 мм рт. ст. В группах взрослых спортсменов систолическое артериальное давление практически не отличалось от исходного уровня.

После выполнения работы у испытуемых всех возрастных групп наблюдался феномен «бесконечного тона». Четкие звуковые явления прослушивались в течение 2—7 минут после нагрузки. При этом на анакротическом подъеме кривой центрального пульса отмечено характерное расщепление. Так как в исследовании были заняты здоровые спортсмены, вопрос о функциональных расстройствах сердечно-сосудистой системы отпадал. Изменение формы кривой пульса сонной артерии, по-видимому, является результатом сложения двух колебательных процессов: низкочастотных колебаний стенки артерии и высокочастотных колебаний, возникающих в результате резкого увеличения пульсового давления и скорости крови на данном участке.

Полученное нами расщепление имело форму одной высокой осцилляции, так как регистрирующий прибор имеет полосу пропускания 100 гц, а частотная характеристика тона равна 300—400 гц. Феномен «бесконечного тона» сопровождали

следующие изменения показателей сердечно-сосудистой системы: резкое укорочение фазы изометрического сокращения; уменьшение фазы изгнания против исходных данных на 35—45%; увеличение ЭМР в 1,5—4,5 раза; резкое увеличение внутрисистолического показателя; расщепление кривой центрального пульса; увеличение пульсового давления.

Звуковые явления при отсутствии компрессии в манжете возникали сразу после окончания работы и продолжались, как правило, не более 2—3 минут. Однако мы наблюдали случаи феномена «бесконечного тона» в течение более длительного времени. Работа, предшествовавшая этому явлению, выполнялась с большим напряжением. Следовательно, проявление феномена «бесконечного тона» в ответ на нагрузку повышающейся мощности является нормальным показателем сердечно-сосудистой системы, которым сопровождается напряженная мышечная работа. Регистрация феномена «бесконечного тона» может служить критерием допустимости физической нагрузки.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗООБМЕНА НА ФОНЕ МЫШЕЧНОЙ РАБОТЫ

Результаты исследования функции внешнего дыхания показывают, что возрастные различия, отмеченные в исходных данных, становятся более существенными при выполнении мышечной работы. В состоянии относительного покоя минутный объем дыхания (МОД) с возрастом увеличивается. Это увеличение является результатом более глубокого дыхания у спортсменов старшего возраста.

В группе детей 10—11 лет МОД был равен 6,94 л/мин, что составляет относительно должных величин 104%; в группе подростков — 9,9 л/мин (114,3%); в группе юношей — 10,18 л/мин (95,8%). В группе взрослых легкоатлетов МОД составил 11,18 л/мин (123%); в группе лыжников — 10,37 л/мин (105,2%).

Процент использования кислорода (% ПО_2) оказался наименьшим в группе подростков (3,18%). У детей % ПО_2 на 0,55% больше, чем у подростков. У юношей процент использования кислорода составил 3,75%, у взрослых спортсменов — 3,79—3,99%. При пересчете потребления кислорода на один кг веса (ПО_2 на кг) определились достоверные различия между группой детей, с одной стороны, и подростками, юношами и взрослыми спортсменами, с другой. Дети 10—11 лет по-

требляют кислорода на кг веса на 0,8 мл больше, чем подростки, и на 1,05 мл больше, чем юноши. У взрослых спортсменов ПО_2 на кг составило 5,12 мл, что на 0,96 мл/кг меньше, чем у детей.

Сравнение результатов исследования дыхательной функции в состоянии мышечного покоя показывает, что более экономичная функция дыхательного аппарата наблюдается в группе взрослых спортсменов. В подростковом возрасте функции дыхательной системы характеризуются большей, чем у детей напряженностью: МОД увеличен, % ПО_2 уменьшен, дыхание более частое, чем в группе детей и юношей.

Обращает на себя внимание высокая степень достоверной отрицательной связи у детей между % ПО_2 и МОД ($-0,840$), в то время как в остальных возрастных группах отмечена слабая положительная связь между ними. Возрастные соотношения в изменении рассматриваемых показателей в восстановительном периоде претерпевают существенные изменения. Достоверный характер отрицательной связи ($-0,705$) отмечается у взрослых спортсменов между величинами МОД и % ПО_2 . У детей и подростков эта связь минимальна, а у юношей слабая отрицательная ($-0,305$).

Наиболее экономичная функция дыхательной системы отмечена у взрослых спортсменов-лыжников. Минутный объем и частота дыхания у лыжников были меньше, а процент использования кислорода достоверно увеличен по сравнению с данными взрослых спортсменов-легкоатлетов.

После выполнения первой ступени нагрузки МОД в группе детей и подростков увеличился на 497% и 480%. По сравнению с детьми МОД в группе взрослых спортсменов возрос на 162% ($p < 0,05$). После выполнения второй ступени нагрузки МОД у представителей всех возрастных групп увеличился и статистически достоверно отличался от показателей, полученных после первой ступени нагрузки.

На второй ступени нагрузки увеличение МОД у детей составило 11,53 л/мин., у подростков — 10,06 л/мин. ($p < 0,05$). У юношей МОД увеличился на 9,24 л/мин. Недостоверным было увеличение МОД у взрослых спортсменов (5,17 л/мин.). После выполнения третьей ступени нагрузки МОД у детей уменьшился на 4,48 л/мин., у подростков — на 1,11 л/мин. В группе юношей МОД, напротив, оказался увеличенным на 3,89 л/мин. Наиболее значительное увеличение минутного объема дыхания отмечено в группе взрослых спортсменов (13,9 л/мин.).

Приведенные данные показывают, что с возрастом повышается устойчивость дыхательной функции. Падение производительности дыхательной функции у взрослых спортсменов при рассматриваемых видах мышечной деятельности не наблюдается. У детей и подростков отмечено статистически достоверное понижение дыхательной функции после выполнения третьей ступени нагрузки.

Дыхательный коэффициент (ДК) по мере увеличения мощности работы приближается к единице. У детей 10—11 лет после выполнения первой ступени нагрузки он достоверно увеличился по сравнению с исходными данными на 0,17; у подростков — на 0,19; у юношей — на 0,046. У взрослых спортсменов увеличение ДК составило 0,094. Приведенные величины сдвигов являются статистически достоверными.

После выполнения третьей ступени нагрузки ДК, относительно второй ступени, в группе детей увеличился на 0,027; в группе подростков — на 0,020. У юношей 16—17 лет ДК после выполнения третьей ступени нагрузки превысил данные второй ступени на 0,041 ($p < 0,05$). У детей, по сравнению со взрослыми спортсменами, ДК на всех ступенях нагрузки оставался более высоким: на первой ступени на 0,045; на второй — на 0,035; на третьей — на 0,087. Статистически достоверное увеличение дыхательного коэффициента больше единицы наблюдается в первые пять минут восстановительного периода у представителей всех возрастных групп.

На первой минуте восстановительного периода после бега со скоростью 60% от максимальной у детей 10—11 лет общее потребление кислорода по сравнению с исходными данными увеличилось в 5 раз, у подростков — в 5,2 раза. У юношей и взрослых спортсменов потребление кислорода увеличилось в 7,1 и 8,7 раза соответственно. Потребление кислорода на кг веса у взрослых спортсменов составило 40,09 мл/кг, что на 9,32 мл/кг больше, чем в группе детей, и на 3,98 мл/кг больше, чем в группе подростков. Различия статистически достоверны.

После выполнения второй ступени нагрузки потребление кислорода у испытуемых всех возрастных групп увеличилось. Если после выполнения первой нагрузки ПО_2 на кг в первой группе составило 30,77 мл/кг, то после выполнения второй нагрузки оно увеличилось на 7,13 мл/кг ($p < 0,05$). Во второй группе это увеличение составило 5,65 мл/кг, в третьей — 1,82 мл/кг, в четвертой — 2,37 мл/кг ($p < 0,05$).

После выполнения третьей ступени нагрузки PO_2 на кг в группе детей и подростков снижается и становится меньше, чем после второй ступени нагрузки. В группе детей потребление кислорода после выполнения второй работы составило 1329,2 мл/мин., в конце третьей ступени работы оно уменьшилось на 232,3 мл/мин. ($p < 0,05$). В группе подростков потребление кислорода уменьшилось на 128,6 мл/мин. В группе юношей снижение PO_2 было незначительным. В группе взрослых спортсменов потребление кислорода, относительно второй ступени нагрузки, увеличилось на 490,4 мл/мин. ($p < 0,01$).

Потребление кислорода в пересчете на кг веса после выполнения третьей ступени нагрузки у детей уменьшилось по сравнению со второй ступенью на 6,54 мл/кг ($p < 0,05$). У подростков и юношей уменьшение было незначительным: 1,21 и 0,61 мл/кг соответственно. В группе взрослых спортсменов PO_2 на кг увеличилось после выполнения третьей ступени нагрузки на 7,15 мл/кг ($p < 0,05$).

Ликвидация излишка потребления кислорода (КИ) в восстановительном периоде у юношей и взрослых происходит с большей скоростью, чем у детей и подростков. Если у детей и подростков разница между 1-ой и 2-ой минутами составила 10,7 мл/кг и 12,56 мл/кг, то у юношей и взрослых она была значительно большей: 20,08 мл/кг у юношей и 20,29 мл/кг у взрослых. После выполнения второй ступени работы излишек потребления кислорода во всех возрастных группах увеличился. Несколько меньшая величина КИ отмечена у подростков. У детей и юношей разница незначительна. У взрослых спортсменов КИ увеличился более значительно (7,34 мл/кг).

После выполнения третьей ступени работы, несмотря на большую по отношению ко второй ступени скорость бега, КИ в группе детей значительно уменьшился (6,56 мл/кг). В группе подростков и юношей уменьшение КИ было незначительным. В группе взрослых спортсменов отмечено достоверное увеличение кислородного излишка (5,24 мл/кг).

Третья ступень нагрузки выполнялась детьми при значительно меньшем обеспечении организма кислородом. При относительно равных мощностях работы у детей по сравнению со взрослыми спортсменами потребление кислорода на один кг веса оказалась значительно меньшим, а скорость восстановительных процессов замедленной.

ИЗМЕНЕНИЕ СООТНОШЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ, ДЫХАТЕЛЬНОЙ И ДВИГАТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИЙ В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ ПОВЫШАЮЩЕЙСЯ МОЩНОСТИ

Кислородный пульс (КП) и скорость транспорта кислорода (СТК) отражают соотношения функций дыхательной и сердечно-сосудистой систем. КП и СТК с возрастом увеличиваются. Зависимость КП и СТК от возраста описывается линейными уравнениями:

$$\text{КП} = 0,306 \text{ В} - 0,4;$$

$$\text{СТК} = 1,253 \text{ В} - 1,2, \text{ где}$$

В — возраст в годах.

Изменение КП и СТК в восстановительном периоде происходит по различным возрастным зависимостям. Так, если у детей 10—11 лет после выполнения первой ступени нагрузки КП составил 8,31 мл, то у взрослых спортсменов он равнялся 27,4 мл. В состоянии мышечного покоя КП у детей был в 2,1 раза меньше, чем у взрослых спортсменов.

Скорость транспорта кислорода на 1-ой минуте восстановительного периода составила 55,1 мл/сек. У подростков, по сравнению с детьми, СТК была больше на 21,1 мл/сек. ($p < 0,01$). У юношей 16—17 лет она была в 2,5, а у взрослых в 3,9 раза больше, чем у детей 10—11 лет. Полученные нами данные свидетельствуют о том, что восстановительные процессы у взрослых спортсменов протекают более интенсивно, чем у детей.

При оценке работоспособности по объему выполненной работы было установлено, что при беге со скоростью 60% от максимальной, суммарный объем работы увеличивался с возрастом. При выполнении второй ступени работы у детей объем работы по отношению к первой нагрузке увеличивался незначительно. В группе подростков отмечено достоверное снижение объема выполненной работы. В группе юношей и взрослых спортсменов объем работы относительно второй ступени нагрузки увеличился.

Третья ступень работы сопровождалась значительным снижением объема работы во всех возрастных группах. На третьей ступени нагрузки возрастных различий в объеме выполненной работы не было обнаружено.

При относительно одинаковой мощности выполненной работы кислородный пульс с возрастом увеличивался. Так, после бега со скоростью 60% от максимальной, КП у детей со-

ставил 8,12 мл, у подростков — 9,61 мл, у юношей — 17,59 мл, у взрослых спортсменов — 22,02 мл. При выполнении второй ступени нагрузки отмечено увеличение КП по отношению к первой работе у детей на 2,02 мл, у подростков — на 2,61 мл. У юношей и взрослых спортсменов КП увеличился на 1,02 и 2,79 мл соответственно. При последующем увеличении скорости бега КП у испытуемых 1 и 2 групп уменьшился на 1,83 мл у детей и на 1,41 мл у подростков. У взрослых спортсменов КП по сравнению со второй нагрузкой увеличился на 4,6 мл ($p < 0,05$).

Анализ полученных результатов показывает, что имеются отчетливые возрастные особенности изменения соотношений показателей кардио-респираторной и двигательной функций при выполнении работы повышающейся мощности. Повышение нагрузки сопровождается более значительным увеличением кислородного пульса и скорости транспорта кислорода. Напряженная деятельность сердечно-сосудистой и двигательной систем в группах спортсменов младшего возраста сопровождается снижением кислородной емкости сердечного сокращения.

Соотношение показателей кардио-респираторных функций характеризуется коэффициентами, указывающими на слабую положительную или отрицательную корреляцию. В состоянии мышечного покоя в соотношении показателей кардио-респираторной системы не отмечено четких возрастных различий. Достоверная отрицательная связь между фазой изгнания и периодом напряжения, а также между МОД и % ПО₂ у детей 10—11 лет свидетельствует о более напряженной функции дыхания и сократительной способности миокарда у детей по сравнению со взрослыми спортсменами.

Результаты корреляционного анализа показателей сердечно-сосудистой и дыхательной систем на 20-й минуте восстановительного периода позволяют говорить о гетерохронности восстановления отдельных показателей. При этом у детей 10—11 лет между фазой изгнания и периодом напряжения отмечена отрицательная связь ($-0,500$). У юношей 16—17 лет она становится положительной ($0,505$).

В изменении фазы изгнания и МОД у детей и юношей наблюдаются следующие соотношения: у детей 10—11 лет коэффициент корреляции положительный ($0,467$), у юношей отрицательный ($-0,456$). Аналогичная корреляционная связь наблюдается в соотношении периода напряжения и % ПО₂ у подростков: коэффициент корреляции положительный

(0,614), у взрослых спортсменов отрицательный ($-0,627$). Нами было установлено, что $\% \text{ PO}_2$ к концу восстановительного периода уменьшается и становится ниже исходным данных. В группе взрослых спортсменов выявлена достоверная отрицательная связь между МОД и $\% \text{ PO}_2$ ($-0,705$).

Одним из способов оценки функционального состояния системы дыхания и кровообращения является показатель отношения числа дыханий к числу сердечных сокращений (Куколевский Г. М., Граевская Н. Д., 1971). Отношение суммарных величин дыхательных к сердечным и двигательным циклам, условно названное нами биологическим ритмом бега (БРБ), у испытуемых всех возрастных групп на каждой ступени нагрузки остается величиной постоянной.

БРБ у детей, юношей и взрослых на первой ступени нагрузки варьировал в отношении, близком к $1:4:4$, т. е. одному дыхательному циклу соответствовало четыре сердечных сокращения и четыре беговых шага. Несколько иное соотношение указанных параметров было получено в группе подростков ($1:3,7:3,7$).

На второй ступени нагрузки БРБ у детей, юношей и взрослых выразился отношением $1:3,7:3,7$, а у подростков — $1:3,5:3,5$. На третьей ступени нагрузки у испытуемых всех возрастных групп биологический ритм бега выравнивается и находится в отношении $1:3,3:3,3$.

Длительность дыхательного и сердечного циклов на каждой ступени нагрузки по мере увеличения времени бега достоверно укорачивается до момента возникновения относительной стабилизации во всех возрастных группах. Как отношение дыхательного цикла к сердечному, так и продолжительность двигательного цикла в пределах одной ступени нагрузки у испытуемых всех возрастных групп изменяется статистически недостоверно. Отношение дыхательного (Д) цикла к двигательному (Ш) к концу выполнения нагрузки на каждой ступени изменяется статистически достоверно.

Так, через 30 сек. бега отношение Д/Ш у детей составило 3,9, к концу нагрузки оно уменьшилось до 3,64 ($p < 0,01$). Исключение составляют взрослые легкоатлеты, у которых длительность дыхательного цикла при беге со скоростью 60% от максимальной остается величиной постоянной. Существенное изменение отношения Д/Ш при беге на тротуаре является следствием наступления компенсированного утомления. Таким моментом у детей, подростков и юношей при беге со скоростью 60% от максимальной является конец второй минуты

бега. При беге со скоростью 65% от максимальной подобное состояние наступает в конце первой минуты бега, а при беге со скоростью равной 70% от максимальной уже к 30-ой сек. бега.

При анализе соотношений суммарных величин дыхания, частоты сердечных сокращений и беговых шагов при нагрузке повышающейся мощности у легкоатлетов разного возраста было установлено, что соотношение указанных параметров в большей мере зависит от скорости бега. В зоне работы, выполняемой с мощностью равной 70% от максимальной и выше, длина шага относительно стабилизируется и приращение скорости бега идет в основном за счет увеличения частоты движений.

Длительность двигательного цикла на каждой ступени нагрузки изменяется незначительно. При увеличении скорости бега происходит достоверное уменьшение длительности двигательного цикла у представителей всех возрастных групп. Например, в начале бега со скоростью 60% от максимальной длительность двигательного цикла у детей равнялась 0,329 сек, при увеличении скорости бега на 5% длительность цикла уменьшилась на 0,019 сек. ($p < 0,01$). Подобное изменение длительности двигательного цикла в зависимости от скорости бега происходит у представителей всех возрастных групп.

Анализ полученных данных позволил вывести аналитическую зависимость частоты шагов (ЧШ) от скорости бега и возраста спортсменов:

$$\text{ЧШ} = (14 + 2n)V + 92, \text{ где}$$

$n=4$ для группы детей 10—11 лет;

$n=3$ для группы подростков 13—14 лет;

$n=2$ для группы юношей 16—17 лет;

$n=1$ для группы взрослых спортсменов;

V —скорость бега в м/сек.

Полученная зависимость частоты беговых шагов от скорости бега и возраста спортсменов позволит вести целенаправленное управление двигательных навыков в соответствии с показателями кардио-респираторной системы.

В соотношении двигательного и вегетативного компонентов бега установлена высокая степень корреляции. С возрастом степень корреляционной связи усиливается. Так, если у детей и подростков связь между отношением частоты дыха-

тельных циклов к сердечным, с одной стороны, и дыхательным к двигательным, с другой, выразилась коэффициентами корреляции 0,775 и 0,814, то у юношей и взрослых спортсменов 0,824 и 0,935 соответственно. Статистически закономерная степень связи между этими показателями дает основание рассматривать их как сложившиеся соотношения вегетативных и двигательных компонентов бега, его своеобразный биологический ритм.

Полученные нами результаты исследования позволяют в определенной мере судить о возрастных изменениях соотношений функций сердечно-сосудистой, дыхательной систем и частоты беговых шагов под влиянием нагрузки повышающейся мощности и о динамике восстановительных процессов у легкоатлетов разного возраста.

Примененная лабораторная нагрузка позволила создать условия, в которых дети, подростки, юноши и взрослые спортсмены выполняли работу в условиях, близких по специфике и мощности к тренировочным и соревновательным нагрузкам.

Комплексная методика исследования сердечно-сосудистой и дыхательной систем позволила выявить возрастные особенности реакции кардио-респираторной системы и двигательного аппарата на предложенную нагрузку, а также изучить их соотношения в процессе работы. Отдельные соотношения показателей кардио-респираторной системы и двигательного аппарата описаны математически, что позволяет моделировать эти соотношения применительно к спортивной практике.

ВЫВОДЫ

1. В состоянии функций сердечно-сосудистой и дыхательной систем обнаружены возрастные изменения количественных показателей и их соотношений как в условиях относительного покоя, так и при мышечной деятельности.

Степень достоверности возрастных различий в изменениях показателей кардио-респираторной системы под влиянием мышечной работы увеличивается.

2. С увеличением возраста и тренированности отмечаются закономерные изменения в длительности и соотношении отдельных фаз сердечного цикла, выражающиеся в нарастающей продолжительности фаз асинхронного и изометрического сокращений и укорочения фазы изгнания.

В периоде релаксации после работы повышающейся мощности продолжительность отдельных фаз систолы оказывает

ся меньше расчетных («должных») значений. В связи с этим предложены формулы, удовлетворительно описывающие возрастные изменения фазовой структуры сердечного сокращения.

3. Наблюдаемое при мышечной работе укорочение сердечного цикла, а также соотношение отдельных его фаз, свойственное синдрому гипердинамии, наиболее выражены у детей и подростков. Вместе с тем у взрослых спортсменов сердечный цикл укорачивается в большей степени, чем у юношей 16—17 лет. Величины суммарного пульса при равных величинах относительной мощности и продолжительности работы у детей и подростков существенно превышают данные юношей и взрослых спортсменов.

4. Во всех возрастных группах продолжительность электрической систолы оказывается относительно независимой от ритма сердечных сокращений. Колебания сердечного ритма находятся в пределах 75—100%. Существенных возрастных различий в колебаниях сердечного ритма не отмечено.

5. Возрастные различия в степени электромеханической диссоциации носят существенный характер. Существенные изменения в электромеханические отношения фазовой структуры систолы вносит физическая нагрузка. У лыжников, применяющих в своих тренировках умеренные по интенсивности нагрузки, электромеханическая разность была значительно меньше по сравнению с легкоатлетами.

6. Возрастные особенности изменения максимального артериального давления характеризуются существенным его понижением в конце восстановительного периода у детей и подростков и незначительным — у юношей 16—17 лет и взрослых спортсменов. У испытуемых всех возрастных групп обнаружен дистонический тип реакции на мышечную нагрузку повышающейся мощности. Дистоническая реакция во всех случаях сопряжена с комплексом изменений в фазовой структуре сердечного цикла, свойственным гипердинамическому синдрому.

7. Обнаружено отчетливое, поддающееся математическому описанию возрастное увеличение кислородного пульса, а также скорости транспорта кислорода в условиях относительного мышечного покоя.

8. Выполнение работы повышающейся мощности сопровождается статистически достоверным усилением легочного газообмена в восстановительном периоде после 1—2 ступеней нагрузки у испытуемых всех возрастных групп. На тре-

твей ступени нагрузки у детей и подростков отмечается падение легочной вентиляции, потребления кислорода и выделения CO_2 . У юношей и взрослых спортсменов подобного снижения показателей дыхательной функции не наблюдается.

9. С возрастом наблюдается ускорение восстановительных процессов по нормализации показателей дыхательной функции.

В восстановительном периоде у юношей 16—17 лет и взрослых спортсменов наблюдается отчетливое ускорение ликвидации «излишка» кислородного потребления по сравнению с детьми и подростками.

10. В возрастных изменениях корреляции показателей сердечно-сосудистой и дыхательной систем в условиях относительного мышечного покоя, а также в их связи с двигательной функцией при мышечной деятельности отражаются закономерные процессы совершенствования и улучшения соотношений вегетативного и двигательного компонентов рассматриваемого вида мышечной работы.

11. Нормализация соотношений отдельных фаз напряжения и изгнания в сердечном цикле у детей и подростков происходит медленнее, чем у юношей и взрослых спортсменов. В конце рассматриваемого времени восстановления у детей 10—11 лет и подростков 13—14 лет отмечена отрицательная корреляция между продолжительностью сердечного цикла и периодом напряжения. У юношей и взрослых спортсменов подобной дисфункции в соотношении фаз сердечного цикла не наблюдается.

12. Установлены закономерные возрастные соотношения между продолжительностью дыхательного и сердечного циклов, а также частотой шагов в зависимости от скорости бега.

Коэффициенты корреляции этих соотношений с возрастом увеличиваются, отражая возрастное совершенствование координации вегетативных и двигательных функций.

13. Результаты исследования возрастных закономерностей изменений функций сердечно-сосудистой и дыхательной систем дают основание для заключения о целесообразности и физиологичности включения работы повышающейся мощности в тренировки юных спортсменов. Вместе с тем в связи с более низкими возможностями адаптации к работе повышающейся мощности у детей и подростков применение подобных беговых нагрузок в тренировке должно проводиться при повышенном врачебно-педагогическом контроле.

Учет возрастных изменений соотношений вегетативного и двигательного компонентов бега дает основание для целенаправленного воздействия на формирование двигательного навыка.

РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

1. О зависимости энергетического обмена в восстановительном периоде от характера предшествующей работы.— В кн.: Проблемы физического воспитания. Вып. 3. Челябинск, 1968, с. 20—23.

2. Врачебно-педагогические наблюдения за спортсменами в условиях естественной тренировки (совместно с В. Н. Волковым, Н. А. Фоминым, С. В. Шулятьевой, И. В. Горшковой, Л. Н. Михайловой).— В кн.: Проблемы физического воспитания. Вып. 3, Челябинск, 1968, с. 122—125.

3. К вопросу об устойчивости сердечно-сосудистой системы к повторной нагрузке у юных спортсменов-легкоатлетов.— В кн.: Проблемы физического воспитания. Вып. 4, Челябинск, 1970, с. 79—85.

4. Об изменении некоторых показателей устойчивости физиологических функций у 14—15-летних подростков и взрослых спортсменов при мышечной и умственной работе (совместно с Н. А. Фоминым и В. Н. Волковым).— В кн.: Проблемы физического воспитания. Вып. 4, Челябинск, 1970, с. 26—31.

5. О диагностическом значении изменения фазовой структуры сердечного цикла у юных спортсменов в восстановительном периоде (совместно с Н. А. Фоминым и В. И. Кузнецовым).— В кн.: Препатологические и патологические состояния в спорте. М., 1971, с. 225—226.

6. Возрастные изменения некоторых показателей дыхания при мышечной работе (совместно с Н. А. Фоминым, В. И. Кузнецовым, В. Н. Кузнецовой).— В кн.: Проблемы физического воспитания и физиологии спорта. Челябинск, 1972, с. 25—30.

7. Экспресс-анализ выдыхаемого воздуха на аппарате ГХП-3М (совместно с В. П. Горшковым).— В кн.: Проблемы физического воспитания и физиологии спорта. Челябинск, 1972, с. 71—73.

8. Математическая модель изменения фазы изометрического сокращения в условиях работы с повышающейся мощностью.— В кн.: Проблемы физического воспитания и физиологии спорта, Челябинск, 1972, с. 74—75.

9. О соотношении электрической систолы и продолжительности сердечного цикла у юных спортсменов.— В кн.: Проблемы физического воспитания и физиологии спорта. Челябинск, 1972, с. 76—77.

10. К обоснованию велоэргометрических и беговых лабораторных нагрузок в практике физиологических исследований (совместно с Н. А. Фоминым, В. И. Кузнецовым, В. Н. Кузнецовой).— В кн.: Проблемы физического воспитания и физиологии спорта. Челябинск, 1972, с. 148—147.

Подписано в печать 2/II-1973 г. Формат бумаги 60×84¹/₁₆.
Объем 1,25 печ. л. Тираж 180. Заказ 6077.

Типография издательства «Челябинский рабочий»,
г. Челябинск, 454000, Свердловский проспект, 60.