

УДК 612.13:612.66.063:796.015.576

## ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГЕМОДИНАМИКИ У СПОРТСМЕНОВ В ПРОЦЕССЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕРЫВИСТОЙ НОРМОБАРИЧЕСКОЙ ГИПОКСИИ

О.В. Арбузова, И.В. Антипов, Р.И. Тазетдинов

*Ульяновский государственный университет*

Получены сведения, свидетельствующие о положительном влиянии прерывистой нормобарической гипоксической тренировки на показатели системной гемодинамики спортсменов различного возраста.

**Ключевые слова:** гипоксия, гипоксическая тренировка, сердечно-сосудистая система, возрастные особенности.

**Введение.** Современная спортивная деятельность предъявляет высокие требования к состоянию сердечно-сосудистой системы спортсменов. Во время интенсивной мышечной деятельности возникает недостаток кислорода, приводящий к возникновению тканевой гипоксии [11]. Важным компонентом компенсации тканевой гипоксии является сердечно-сосудистая система, определяющая доставку  $O_2$  в органы и ткани [1, 6, 7, 10].

Чрезмерные объемы и интенсивность нагрузок в процессе тренировочной деятельности, применяемые в современной спортивной практике, часто приводят к нарушению сердечной деятельности и могут сопровождаться снижением резервных возможностей спортсмена. В связи с этим актуальной проблемой спортивной физиологии и медицины является изыскание новых, немедикаментозных методов, позволяющих повысить резервные возможности организма спортсмена.

В последнее время широкое распространение в спортивной практике получил метод интервальной нормобарической тренировки как средства повышения специфической устойчивости к дефициту  $O_2$  и расширения функциональных резервов газотранспортных систем организма спортсмена [5, 8]. При этом используются гипоксические воздействия, различные по своей величине и продолжительности, которые в практической деятельности спортсменов применяются без учета их возрастных особенностей, что часто приво-

дит к ухудшению не только спортивных результатов, но и функционального состояния спортсменов, «истощению» физиологических функций [12–14].

**Цель исследования.** Оценить изменения показателей сердечно-сосудистой системы спортсменов-пловцов различного возраста и квалификации при двухнедельном курсе нормобарической гипоксической тренировки.

**Материалы и методы.** В исследовании принимали участие 76 спортсменов мужского пола в возрасте 10–18 лет, занимающихся плаванием в центре спортивной подготовки и имеющих квалификацию от первого юношеского разряда до мастера спорта, прошедших предварительное медицинское обследование на базе Областного врачебно-физкультурного диспансера. На проведение исследования было получено добровольное согласие родителей и спортсменов.

В ходе обследования испытуемые были разделены на три группы: 10–12 лет – младшая возрастная группа; 13–15 лет – средняя и 17–18 лет – старшая возрастная группа. Исследуемые первой группы имели первый юношеский и третий взрослый разряды; второй группы – второй и первый взрослый разряды; третьей группы – статус кандидатов в мастера спорта и мастеров спорта. Стаж занятий в спортивной секции исследуемых спортсменов младшей возрастной группы составил 2–4 года; средней – от 3 до 6 лет; старшей – от 7 до 10 лет. Средние показатели

массы тела в первой возрастной группе составили  $40,5 \pm 2,7$  кг, во второй возрастной группе –  $53,9 \pm 3,1$  кг, в третьей группе –  $68,2 \pm 3,8$  кг.

Первый блок исследований включал в себя изучение реакции сердечно-сосудистой системы пловцов на ступенчато возрастающую гипоксию и определение оптимальных режимов для проведения прерывистой нормобарической гипоксической тренировки (ПНГТ).

В рамках второго блока исследования проводилась двухнедельная нормобарическая гипоксическая тренировка и изучение влияния ПНГТ на сердечно-сосудистую систему.

Артериальное давление (Ps и Pd) определялось общепринятым методом Рива-Рочи в модификации Н.С. Короткова с использованием тонометра МТ-20 (США). Частота сердечных сокращений (HR) и уровень кислородного насыщения крови ( $SaO_2$ ) измерялись пульсовым оксиметром SO 3 DX (США), модель Mini SpO<sub>2</sub>. Систолический (Qs) и минутный объем сердца (Q) определяли в соответствии с рекомендациями А.З. Колчинской [10], с учетом возрастных особенностей исследуемых.

Оценка показателей сердечно-сосудистой системы проводилась в покое, а также при выполнении стандартной физической нагрузки на велоэргометре, составляющей 70 % от должного максимального потребления кислорода ( $70\% \max VO_2$ ) [2, 5]. При этом средние показатели мощности нагрузки составляли: в младшей возрастной группе – 120–130 Вт, в средней – 140–150 Вт, в старшей – 200–210 Вт.

Нормобарическая гипоксия моделировалась с помощью гипоксикатора «Тибет-4» (Сертификат соответствия № РОСС US. ИМО4.АО4336 от 27.11.2003, Россия, г. Новосибирск).

ПНГТ проводилась в течение двух недель по схеме: 5-минутное дыхание гипоксической газовой смесью (ГГС) с 10 % содержанием кислорода с дальнейшим 5-минутным дыханием атмосферным воздухом. Сеанс включал в себя 6 повторений. Гипоксическая тренировка проводилась ежедневно в течение 14 дней без прекращения плановых

плавательных нагрузок, которые соответствовали предсоревновательному периоду подготовки спортсменов.

Статистическая обработка данных для расчета средней величины показателей, ее ошибки и критерия достоверности (t) Стьюдента проводилась с использованием компьютерной программы Statistica 5.5, адаптированной для биологических исследований.

**Результаты и обсуждение.** Исходя из задач первого блока было проведено исследование по определению устойчивости спортсменов к различным режимам гипоксического воздействия (табл. 1).

При воздействии нормобарической гипоксии 18–15–13–10–8 % O<sub>2</sub> отмечались возрастные различия в поддержании необходимого уровня кислородного обеспечения организма со стороны сердечно-сосудистой системы пловцов 10–18 лет (табл. 1). Так, результаты исследования показали, что уровень систолического давления в покое у спортсменов младшей возрастной группы (контроль) достоверно ниже, чем в старшей группе ( $p \leq 0,001$ ), однако находится в пределах возрастной нормы. Уровень диастолического артериального давления во всех возрастных группах практически не различается и находится в пределах возрастных физиологических норм.

Результаты исследования свидетельствуют, что до курса ПНГТ в состоянии относительного мышечного покоя наиболее высокие показатели минутного объема крови отмечаются в младшей возрастной группе, что, возможно, связано с повышенным уровнем метаболических процессов [9]. Относительно низкие показатели минутного объема крови, отмечающиеся у спортсменов старшей возрастной группы, вероятно, связаны с экономизацией деятельности сердечно-сосудистой системы в покое.

Частота сердечных сокращений и систолический объем сердца также имеют свои особенности: при сравнительно низкой частоте сердечных сокращений в старшей возрастной группе систолический объем крови достоверно превышает данные в младшей и средней возрастных группах (табл. 1). Во всех возрастных группах в состоянии мы-

шечного покоя отмечалась низкая частота сердечных сокращений по сравнению с физиологическими нормами, что, по-видимому, является результатом высокой тренированности спортсменов и экономизации деятельности сердца [2, 9].

Оценка реакции основных показателей гемодинамики у пловцов при действии возрастающей гипоксической гипоксии (табл. 1) свидетельствует, что в младшей возрастной группе достоверное увеличение минутного объема крови происходит при дыхании ГГС с 10 % O<sub>2</sub>, а в старшей возрастной группе «порог» изменения гемодинамических показателей отмечается при дыхании ГГС с 13 % O<sub>2</sub>.

При этом достоверное увеличение частоты сердечных сокращений в младшей возрастной группе происходит при дыхании ГГС с 10 % O<sub>2</sub>, тогда как в средней и старшей возрастных группах частота сердечных сокращений увеличивается при дыхании ГГС с 13 % O<sub>2</sub>. Сравнительно небольшой рост систолического объема крови отмечается в младшей возрастной группе. Эти данные свидетельствуют о сравнительно высокой реактивности гемодинамики при возрастающей гипоксии у пловцов старшей возрастной группы и относительно низкой реактивности у пловцов младшего возраста.

Таблица 1

**Возрастные особенности системной гемодинамики у пловцов при различных уровнях нормобарической гипоксии (M±m)**

Показатели	Содержание O <sub>2</sub> в газовой смеси, %											
	20,8 (контроль)			13			10			8		
	10–12 лет	13–15 лет	17–18 лет	10–12 лет	13–15 лет	17–18 лет	10–12 лет	13–15 лет	17–18 лет	10–12 лет	13–15 лет	17–18 лет
HR, уд./мин	70,3±3,1	62,6±2,0	58,4±2,4	81,0±4,5	79,6±1,8*	78,4±3,6*	87,4±3,2*	83,9±2,3**	80,8±4,1*	93,3±5,8*	85,4±4,5*	82,1±3,7**
Qs, мл	39,8±2,2	43,4±1,8	60,1±1,5	45,2±3,5	52,0±2,1**	61,5±2,7	43,1±2,2	50,4±1,5**	54,9±2,3	44,5±2,9	50,1±1,3*	58,1±3,6
Q, мл/(мин·кг)	69,8±3,6	62,9±3,6	60,4±2,7	80,2±6,5	77,4±4,3*	73,6±4,2**	84,2±4,1*	80,2±5,2*	76,4±5,2**	86,8±7,2*	80,8±3,8**	80,5±7,1*

**Примечание.** Различия достоверны по сравнению с данными в контроле (дыхание атмосферным воздухом) при: \* – p≤0,05; \*\* – p≤0,01.

Результаты исследования показали, что при дыхании гипоксическими газовыми смесями насыщение крови O<sub>2</sub> у спортсменов-пловцов снижается в зависимости от содержания O<sub>2</sub> в гипоксической газовой смеси (рис. 1). Установлено, что выраженное снижение SaO<sub>2</sub> в средней и старшей возрастных группах происходит при дыхании ГГС с 15–13 % O<sub>2</sub> (p≤0,01), при этом уровень насыщения артериальной крови O<sub>2</sub> в младшей

возрастной группе остается на достаточно высоком уровне.

Дыхание ГГС с 10 % O<sub>2</sub> способствует существенному снижению SaO<sub>2</sub> во всех возрастных группах, причем в младшей возрастной группе SaO<sub>2</sub> сохраняется на более высоком уровне, а при дыхании ГГС 8 % O<sub>2</sub> SaO<sub>2</sub> во всех возрастных группах выравнивается, снижаясь примерно до одного уровня (рис. 1).

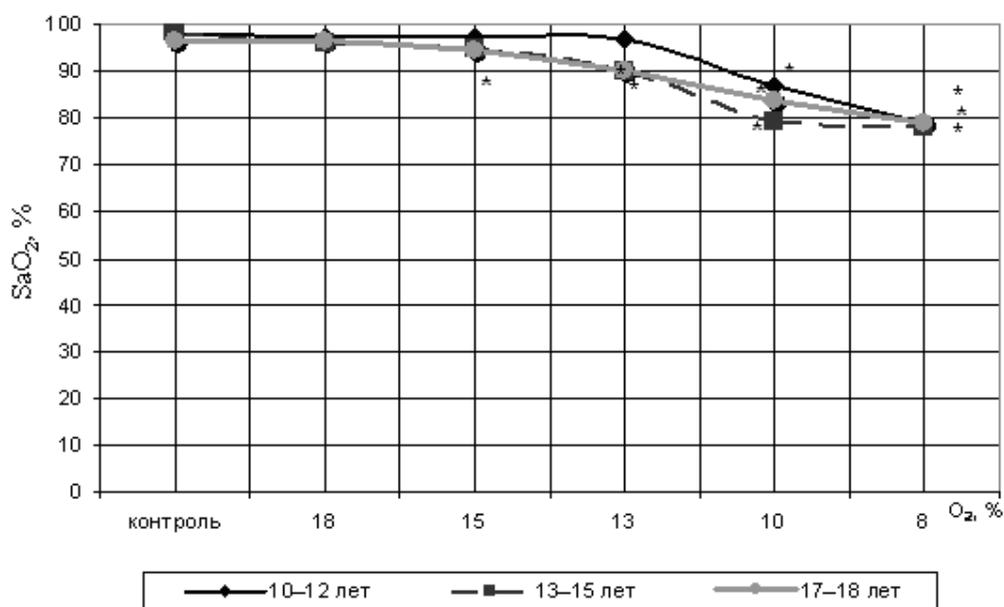


Рис. 1. Динамика насыщения артериальной крови кислородом у пловцов при различных режимах нормобарической гипоксии.

\* – достоверность различий по сравнению с контролем при  $p \leq 0,05$

Эти данные свидетельствуют, что при равных условиях в младшей возрастной группе имеет место более высокое сродство гемоглобина к кислороду, поскольку при снижении содержания  $O_2$  во вдыхаемом воздухе до 15–10 % в группе пловцов 10–12 лет уровень оксигенации падает в меньшей степени, что является эффективной реакцией компенсации гипоксической гипоксии [1, 7].

Использование ступенчато возрастающей гипоксической нагрузки с различным содержанием кислорода в гипоксической газовой смеси привело к заключению о том, что воздействие ГГС с 13 %  $O_2$ , являясь «пороговой» величиной, приводит к незначительным изменениям со стороны газотранспортных систем организма, а воздействие ГГС с 8 %  $O_2$  является раздражителем, близким к критическому уровню напряжения всех кислородотранспортных систем организма, и поэтому было исключено как возможный режим для проведения прерывистой нормобарической гипоксической тренировки.

Таким образом, по результатам исследования был выбран оптимальный режим гипоксической тренировки, который предполагал использование ГГС с 10 % содержанием кислорода.

Известно, что по мере увеличения продолжительности гипоксических воздействий в органах и тканях происходят структурные изменения микроциркуляторного русла, характеризующиеся пролиферацией капилляров, увеличением площади их поверхности, снижением диффузионных расстояний для  $O_2$ , существенно изменяются показатели системной гемодинамики [1, 7].

Данные проведенного исследования свидетельствуют, что показатели артериального давления и частоты сердечных сокращений в покое у спортсменов всех возрастных групп до курса ПНГТ соответствуют возрастным нормам. Показатели артериального давления, полученные во время стандартных физических нагрузок, говорят о нормотоническом типе реакции у спортсменов всех возрастных групп. При этом у спортсменов различных возрастных групп отмечаются особенности в реакции сердечно-сосудистой системы на стандартную нагрузку. Отмечается преимущественное увеличение систолического объема крови в старшей группе ( $p \leq 0,05$ ) и увеличение показателей ЧСС в младшей возрастной группе (табл. 2). Результаты исследования свидетельствуют, что до курса прерывистой нормобарической гипоксической тренировки относительный минутный объем кро-

воображения при стандартных нагрузках закономерно увеличивается: в младшей возрастной группе – в 2,5 раза ( $p \leq 0,05$ ), в средней – в 3,5 раза ( $p \leq 0,05$ ) и у старших спортсменов – в 3,8 раза ( $p \leq 0,05$ ). При этом высокий уровень показателей относительного минутного объема крови в старшей возрастной группе сопровождается существенным увеличением

систолического объема и частоты сердечных сокращений по сравнению с другими группами. При физических нагрузках динамика изменений систолического и диастолического давления практически не отличается от данных, отмеченных в группах до проведения курса прерывистой нормобарической гипоксической тренировки.

Таблица 2

**Изменения системной гемодинамики у пловцов  
в покое и после стандартной физической нагрузки до и после двухнедельного курса ПНГТ  
с 10 % содержанием  $O_2$  в ГГС ( $M \pm m$ )**

Показатели			10–12 лет	13–15 лет	17–18 лет
Ps, мм рт. ст.	до ПНГТ	в покое	106,6±2,8	116,5±1,3	121,4±2,6
		после нагрузки	140,2±5,5***	132,6±3,4***	168,3±7,0***
	после ПНГТ	в покое	106,3±1,2	111,5±1,4	121,6±3,1
		после нагрузки	140,2±5,3***	130,3±2,8***	156,6±2,1***
Pd, мм рт. ст.	до ПНГТ	в покое	61,4±2,9	65,3±1,1	60,3±1,4
		после нагрузки	59,8±2,0	60,6±1,9*	55,3±1,8*
	после ПНГТ	в покое	60,2±1,9	62,3±2,3	61,3±3,0
		после нагрузки	60,2±2,3	60,3±2,5	53,3±3,0
HR, уд./мин	до ПНГТ	в покое	72,7±3,5	60,1±2,3	56,3±2,1
		после нагрузки	168,8±4,0***	161,7±3,4***	172,5±3,5***
	после ПНГТ	в покое	69,3±0,6	62,8±1,3	52,0±3,2
		после нагрузки	160,2±3,6***	154,3±3,0***	160,4±4,3***#
Qs, мл	до ПНГТ	в покое	39,8±3,1	43,5±2,7	58,1±1,5
		после нагрузки	50,9±3,4*	55,1±1,9**	97,5±6,9***
	после ПНГТ	в покое	40,6±2,3	45,9±3,2	60,8±2,1
		после нагрузки	52,1±4,3*	52,4±2,3*	80,4±3,6***#
Q, мл/(мин·кг)	до ПНГТ	в покое	77,5±14,0	56,1±5,3	60,4±2,7
		после нагрузки	194,2±17,1***	196,0±10,2***	230,7±15,8***
	после ПНГТ	в покое	78,7±4,9	58,7±3,2	61,5±3,3
		после нагрузки	189,5±27,1**	168,7±7,1***#	175,4±16,9***##

**Примечание.** \* –  $p \leq 0,05$ ; \*\* –  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* –  $p \leq 0,001$  – достоверность различий по сравнению с покоем; # –  $p \leq 0,05$ ; ## –  $p \leq 0,01$  – достоверность различий по сравнению с данными до ПНГТ.

После курса ПНГТ существенных изменений системной гемодинамики в состоянии относительного мышечного покоя не отмечается во всех исследуемых группах. Однако полученные данные свидетельствуют, что после курса ПНГТ наиболее выраженные изменения системной гемодинамики при стандартных физических нагрузках отмечаются в старшей возрастной группе. Так, при стандартной физической нагрузке уровень минутного объема кровообращения закономерно увеличивается во всех возрастных группах (табл. 2), однако количественно его уровень оказался сниженным по сравнению с контролем (до курса ПНГТ) на 7,6 % в младшей возрастной группе, на 13,9 и 23,9 % ( $p \leq 0,05$ ) соответственно у спортсменов средней и старшей возрастных групп, что указывает на положительное влияние курса прерывистой нормобарической гипоксической тренировки на показатели сердечно-сосудистой системы.

Во всех возрастных группах отмечена тенденция к снижению частоты сердечных сокращений при стандартной нагрузке, наиболее выраженная в старшей возрастной группе (на 12 уд./мин,  $p \leq 0,05$ ), при этом известно, что снижение уровня компенсаторно-приспособительных реакций при стандартных физических нагрузках свидетельствует об «экономизации» функций сердечно-сосудистой системы [9, 12].

**Заключение.** Полученные в исследовании данные свидетельствуют о том, что показатели сердечно-сосудистой системы спортсменов-пловцов в состоянии относительного мышечного покоя соответствуют физиологической норме, при этом отмечается «экономизация» показателей гемодинамики, наиболее выраженная в старшей возрастной группе. Однократное гипоксическое воздействие с постепенным снижением концентрации кислорода во вдыхаемой смеси сопровождается более выраженными изменениями центральной гемодинамики у пловцов старшей возрастной группы по сравнению с группой пловцов младшего возраста. Двухнедельный курс ПНГТ не приводит к значительным изменениям показателей гемодинамики в состоянии относительного мышечного покоя. Сравнительно низкий уровень минутного

объема кровообращения и частоты сердечных сокращений при стандартных физических нагрузках (70 %  $\max \text{VO}_2$ ) после курса прерывистой нормобарической гипоксической тренировки приводит к заключению о снижении реактивности и повышении экономичности системной гемодинамики у спортсменов, более выраженных в старшей возрастной группе. Основываясь на полученных данных, можно рекомендовать к использованию ПНГТ как средства для повышения функциональных возможностей сердечно-сосудистой системы спортсменов-пловцов.

1. *Балыкин М. В.* Механизм кислородного обеспечения организма спортсменов в покое и при физических нагрузках максимальной мощности / М. В. Балыкин, Е. Д. Пупырева // Ульяновский медико-биологический журн. – 2013. – № 1. – С. 124–130.

2. *Белоцерковский Р. Б.* Эргометрические и кардиологические критерии физической работоспособности у спортсменов / Р. Б. Белоцерковский. – М.: Советский спорт, 2005. – 312 с.

3. *Бочаров М. И.* Реакция гемодинамики человека на разные по величине гипоксические воздействия / М. И. Бочаров // Ульяновский медико-биологический журн. – 2012. – № 3. – С. 138–145.

4. *Ванюшин Ю. С.* Адаптация сердечной деятельности и состояние газообмена у спортсменов к физической нагрузке / Ю. С. Ванюшин, Ф. Г. Ситдииков // Физиология человека. – 1997. – Т. 23, № 4. – С. 69–73.

5. *Волков Н. И.* Кислородный запрос и вентиляционная стоимость мышечной работы / Н. И. Волков, Н. Д. Алтухов, С. В. Козырь // Вопр. экспериментальной и клинической физиологии дыхания: сб. науч. тр. – Тверь: Тверской гос. ун-т, 2007. – С. 64–73.

6. *Воротникова М. В.* Реакции сосудов микроциркуляции в головном мозге при физических нагрузках / М. В. Воротникова, Ю. Ф. Зеркалова, М. В. Балыкин // Ульяновский медико-биологический журн. – 2012. – № 1. – С. 89–94.

7. Изменения кислотно-основного состояния крови при гипоксии различного генеза / М. В. Балыкин [и др.] // В мире научных открытий. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2012. – № 2. – С. 23–26.

8. Интервальная гипоксическая тренировка в подготовке пловцов высокой квалификации / Н. Ж. Булгакова [и др.] // Международная конф. по физиологии мышечной деятельности. – М., 2000. – С. 33.

9. *Карпман В. Л.* Сердечно-сосудистая система и транспорт кислорода при мышечной рабо-

те / В. Л. Карпман. – М. : ЦОЛИФК, 1985. – 32 с.

10. Колчинская А. З. Интервальная гипоксическая тренировка в спорте высших достижений / А. З. Колчинская // Спортивная медицина. – 2008. – № 1. – С. 9–24.

11. Колчинская А. З. Недостаток кислорода и возраст / А. З. Колчинская. – Киев : Наукова думка, 1964. – 336 с.

12. Меерсон Ф. З. Адаптация к стрессовым ситуациям и физическим нагрузкам / Ф. З. Меерсон, М. Г. Пшенникова. – М. : Медицина, 1988. – 256 с.

13. Меерсон Ф. З. Адаптация к периодической гипоксии в терапии и профилактике / Ф. З. Меерсон, В. П. Твердохлиб, Б. А. Фролов. – М. : Наука, 1989. – 70 с.

14. Пшенникова М. Г. Роль генетических особенностей организма в адаптации к гипоксии / М. Г. Пшенникова // Патогенез. – 2008. – Т. 6, № 3. – С. 82–83.

15. Сагидова С. А. Влияние гипоксической нагрузки на изменения микроциркуляторного русла в различных отделах сердца крыс / С. А. Сагидова, М. В. Балыкин // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2012. – № 1. – С. 82–88.

## AGE-RELATED CHANGES OF CIRCULATORY DYNAMICS INDICATORS OF SPORTSMEN IN THE COURSE OF HYPOXIC TRAINING

O.V. Arbuzova, I.V. Antipov, R.I. Tazetdinov

*Ulyanovsk State University*

Data resulting from the study indicate positive influence of hypoxic training on systematic circulatory dynamics of sportsmen of different age.

**Keywords:** hypoxia, hypoxic training, cardiovascular system, age peculiarities.