УДК 612.273-053.2

ВОЗМОЖНОСТИ ПРЕРЫВИСТОЙ ГИПОКСИЧЕСКОЙ ТРЕНИРОВКИ В КОРРЕКЦИИ ПСИХОФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ С ОТКЛОНЕНИЯМИ В УМСТВЕННОМ РАЗВИТИИ

Н.А. Махова, М.В. Балыкин

Ульяновский государственный университет

Настоящее исследование посвящено изучению влияния интервальной нормобарической гипоксии на психофункциональное состояние детей и подростков с отклонениями в интеллектуальном развитии. Описаны возможности гипоксической тренировки в повышении резистентности к дефициту кислорода, функциональных резервов внешнего дыхания и сердечно-сосудистой системы, общей физической работоспособности и аэробных возможностей умственно отсталых школьников.

Ключевые слова: гипоксическая тренировка, умственная отсталость, физическая работоспособность, психофункциональное состояние.

Введение. В современном мире возможности адаптации человека в обществе определяются состоянием природно-климатических, антропогенных и социальных факторов среды [1]. В результате ухудшения экологической обстановки, увеличения числа психоэмоциональных стрессов, вынужденной гиподинамии проявляются многочисленные нарушения онтогенетического развития. Установлено, что около 70 % детей школьного возраста имеют отклонения в состоянии здоровья, среди которых особое место занимают врожденные и приобретенные нарушения функции ЦНС и опорно-двигательного аппарата. У детей с легкой степенью умственной отсталости сохраняется возможность коррекции психоэмоционального статуса, функционального состояния и навыков адаптации в обществе.

В последние годы широкое применение получила методика интервальной нормобарической гипоксической тренировки, которая показала свою высокую эффективность в повышении общей физической работоспособности и аэробных резервов организма [2, 3, 11, 12, 14]. В литературе имеются немногочисленные сведения о положительном влиянии интервальной нормобарической гипоксии на состояние газотранспортной системы детей с отклонениями в интеллектуальном развитии [5], однако эти данные носят фрагментарный характер. Исходя из имеющихся в литературе сведений о положительном влиянии гипоксии на церебральную гемодинамику [6] и деятельность центральной нервной системы [15], основываясь на полифункциональном действии прерывистой гипоксии и принимая во внимание безопасность метода и возможности его использования в сочетании с различными методиками профилактики и реабилитации, была сформулирована цель исследования.

Цель исследования. Изучить психофизиологические и функциональные изменения у детей различного возраста с отклонениями в интеллектуальном развитии при интервальной гипоксической тренировке.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 18 мальчиков и 16 девочек среднего и старшего школьного возраста, которые регулярно занимались в баскетбольной секции и дополнительно участвовали в двухнедельном гипоксическом тренинге. Все испытуемые имели легкую степень умственной отсталости и обучались в коррекционной школе VIII вида для детей с отклонениями в интеллектуальном развитии. Исследования проводились при добровольном согласии родителей и администрации школы, при участии медицинского работника. Предвари-

тельно у всех испытуемых определяли устойчивость к гипоксии с использованием проб Штанге и Генчи. Реакции на гипоксию оценивали по изменениям параметров внешнего дыхания, сердечно-сосудистой системы и оксигенации крови при различных уровнях нормобарической гипоксии (18–15–13–10 % O_2). После предварительной оценки индивидуальной реактивности и резистентности к гипоксии был выбран режим двухнедельной гипоксической тренировки, в качестве которого было определено дыхание гипоксической газовой смесью с содержанием 13 % O_2 (ГГС-13). Моделирование ГГС осуществлялось с использованием гипоксикатора «Тибет-4» (Россия). Гипоксические тренировки проводились в циклично-фракционном режиме: 5-минутное дыхание ГГС-13 перемежалось 5-минутным дыханием атмосферным воздухом с нормальным содержанием кислорода (нормоксия), что составляло один цикл. Каждый сеанс состоял из пяти циклов. Тренировки осуществлялись ежедневно 6 раз в неделю во второй половине дня. Курс гипоксической тренировки включал 14 сеансов.

Эффективность гипоксических воздействий оценивалась по изменениям психоэмоционального статуса, подвижности психических процессов, параметров систем внешнего дыхания, кровообращения и физической работоспособности учащихся с легкой степенью умственной отсталости до и после курса (14 сеансов) интервальной гипоксической тренировки (ИГТ).

Для оценки психоэмоционального статуса использовали 8-цветовой тест Люшера, который позволяет определить уровень тревожности, суммарное отклонение от аутогенной нормы и вегетативный коэффициент [16].

Оценка подвижности основных психических процессов осуществлялась при помощи простых математических и орфографических тестов, где фиксировалось время и правильность выполнения заданий.

Функциональное состояние кардиореспираторной системы оценивалось в покое и после стандартной велоэргометрической нагрузки (1 Вт / 1 кг массы тела).

Функциональное состояние дыхательной системы оценивалось с использованием спирографа СМП-21/01 (Россия). Регистрировали минутный объем дыхания (МОД), частоту дыхания (ЧД). Бронхиальную проводимость оценивали по показателям пиковой (ПОС), средней (СОС) и мгновенной ($МОС_{25-75}$) объемных скоростей воздушного потока. При помощи газоанализатора «Спиролит-2» (Германия) устанавливали уровень потребления кислорода (VO_2) и выделения углекислого газа. Артериальное давление, ударный и минутный объемы кровообращения (МОК) определяли общепринятыми методами в соответствии с рекомендациями [4].

Уровень общей физической работоспособности определяли с использованием теста PWC_{170} в модификации В.Л. Карпмана (1988) с учетом возрастных особенностей и с последующим расчетом максимального потребления кислорода (МПК).

Статистическую обработку результатов проводили с использованием компьютерной программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение. На основании реактивных изменений кардиореспираторной системы и чувствительности детей и подростков с нарушением интеллектуального развития к острой, ступенчато возрастающей гипоксии был определен уровень нормобарической гипоксии при дыхании ГГС-13 (прерывистая нормобарическая гипоксия – ПНГ).

Результаты исследования показали, что после 14 сеансов ПНГ уровень тревожности у мальчиков и девочек средней возрастной группы (12–14 лет) достоверно снизился соответственно на 20 и 58 % ($p<0,05$) (табл. 1).

Подобная направленность изменений отмечается и в старшей возрастной группе (15–17 лет), в которой снижение уровня тревожности составило в среднем 44 и 32 % соответственно ($p<0,05$). При этом отмечается положительная динамика суммарного отклонения от аутогенной нормы во всех возрастных группах независимо от пола и возраста, которая устанавливается на среднем уровне [16]. Полученные данные свидетельствуют о повышении психологической устойчивости, снижении эмоциональной напряженности и риска психоэмоционального срыва в обеих возрастных группах.

Таблица 1

Изменение психоэмоционального статуса и пластичности нервных процессов у детей с отклонениями в интеллектуальном развитии после ПНГ (M±m)

Показатели		12–14 лет (n=16)				15–17 лет (n=18)			
		Мальчики		Девочки		Юноши		Девушки	
		До ПНГ	После ПНГ	До ПНГ	После ПНГ	До ПНГ	После ПНГ	До ПНГ	После ПНГ
Уровень тревожности, у.е.		2,0±0,2	1,6±0,0*	1,9±0,1	0,8±0,1*	3,9±0,5	2,2±0,3*	4,1±0,5	2,8±0,3
Суммарное отклонение от аутогенной нормы, у.е.		18,6±1,2	15,4±1,0*	18,4±2,0	11,2±1,2*	18,9±1,2	14,2±1,2*	19,6±1,1	13,4±1,2*
Вегетативный коэффициент, у.е.		1,12±0,10	0,97±0,01*	1,28±0,16	0,87±0,12*	1,23±0,15	1,01±0,10	1,31±0,16	0,94±0,09*
Орфографические тесты	Время выполнения, с	57,3±4,7	44,2±3,7*	49,4±5,7	34,6±4,1*	52,4±6,2	38,6±2,1*	47,9±3,8	40,1±1,4*
	Правильность выполнения, %	79	85	88	98	84	90	83	90
Математические тесты	Время выполнения, с	84,2±5,2	61,2±4,1*	58,4±5,3	44,2±3,7*	74,1±5,3	55,4±4,8*	49,2±4,2	39,2±2,1*
	Правильность выполнения, %	70	80	76	84	78	81	80	84

Примечание. * – различия с данными до курса ПНГ достоверны ($p<0,05$).

Между тем установлено, что время выполнения предложенных орфографических тестов, соответствующих возрасту и уровню умственных возможностей испытуемых, после курса ПНГ достоверно снижается (табл. 1). При этом правильность выполнения этих тестов увеличивается в среднем на 6–10 % в обеих возрастных группах независимо от пола.

Подобная динамика отмечается и при выполнении соответствующих математических тестов, длительность выполнения которых сократилась в средней возрастной группе на 14–23 с ($p<0,05$) и в старшей – на 10,0–18,7 с ($p<0,05$). Правильность ответов увеличилась в группе детей 12–14 лет на 8–10 %, а в старшей группе – на 3–4 %.

Полученные данные свидетельствуют, что курс гипоксической тренировки приводит к снижению уровня тревожности, повышению подвижности и пластичности нервных процессов, сопряженных с улучшением возможностей восприятия и переработки информации.

Адаптация к хронической и экспериментальной (гипо- и нормобарической) гипоксии сопровождается совокупностью морфофункциональных изменений в ЦНС, связанных с повышением специфической резистентности нервных структур к дефициту O_2 [12, 15, 18]. Установлено увеличение числа и размеров митохондрий в нервных клетках, повышение активности митохондриальных дыхательных ферментов [13], ферментов антиоксидантной защиты [9], индуцированного гипоксией ангиогенеза и повышение количества капилляров в различных отделах головного мозга [6], в совокупности обеспечивающих улучшение кислородного обеспечения и оптимизацию окислительных процессов в структурах ЦНС.

Можно предположить, что совокупность морфофункциональных изменений в различ-

ных отделах головного мозга, инициированных действием гипоксии, лежит в основе психофункциональных изменений, описанных для разных этапов адаптации к дефициту O_2 [1, 18], и изменений, выявленных в проведенном исследовании у детей с отклонениями в интеллектуальном развитии.

Наряду с психоэмоциональными изменениями в исследовании оценивали вегетативные сдвиги, возникающие после курса ПНГ. Результаты исследования показали, что курс ПНГ приводит к снижению вегетативного коэффициента (табл. 1), указывая на снижение активности симпатической нервной системы.

Установлено, что в состоянии относительного мышечного покоя после курса гипоксической тренировки потребление O_2 у детей всех возрастных групп достоверно уменьшается (табл. 2), что указывает на снижение метаболических процессов и является критерием специфической тканевой адаптации к дефициту O_2. Поскольку метаболические потребности организма определяют деятельность газотранспортных систем, в исследовании оценивались изменения внешнего дыхания и сердечно-сосудистой системы, возникающие у детей с отклонениями в интеллектуальном развитии после курса ПНГ (табл. 2).

Таблица 2

Изменение показателей внешнего дыхания, газообмена и кровообращения детей различного возраста с отклонениями в интеллектуальном развитии после курса ПНГ (M±m)

Показатели	12–14 лет (n=16)				15–17 лет (n=18)			
	Мальчики		Девочки		Юноши		Девушки	
	До ПНГ	После ПНГ	До ПНГ	После ПНГ	До ПНГ	После ПНГ	До ПНГ	После ПНГ
МОД, л/мин	12,5±1,5	10,6±1,0	12,6±1,0	9,9±0,85*	11,7±1,4	9,3±1,2	12,0±1,0	9,2±0,8*
ЧД, /мин	19,5±2,4	17,2±2,1	22,5±2,1	16,4±2,1*	16,5±2,0	15,1±1,9	19,4±2,4	15,8±1,9
ПОС, л	3,4±0,1	3,6±0,2	3,1±0,4	3,5±0,2	5,1±0,1	5,3±0,2	4,5±0,5	4,8±0,1
$МОС_{25}$, л	3,4±0,2	3,7±0,1	2,8±0,3	3,1±0,1	4,5±0,1	4,9±0,1*	4,2±0,2	4,8±0,2*
$МОС_{50}$, л	2,9±0,3	2,9±0,1	2,3±0,2	2,8±0,1*	4,3±0,1	5,2±0,2*	3,2±0,2	3,9±0,2*
$МОС_{75}$, л	1,7±0,2	1,9±0,1	1,5±0,2	1,9±0,0*	2,9±0,3	3,7±0,1*	2,4±0,3	3,1±0,1*
СОС, л	2,6±0,1	2,8±0,2	1,6±0,1	1,8±0,2	4,0±0,1	4,9±0,2*	3,3±0,2	4,6±0,2*
МОК, мл/(мин·кг)	110,0±12,4	95,2±8,1	106,3±10,8	92,4±6,2	90,0±11,6	76,3±4,7	112,6±7,2	93,1±5,8*
ЧСС, /мин	76,4±3,5	69,4±1,4*	81,2±4,2	73,7±3,4	66,2±4,2	59,2±3,2	76,4±4,5	62,4±3,2*
САД, мм рт. ст.	110,5±3,8	112,4±2,9	105,0±3,1	107,3±3,3	115,3±3,4	114,1±3,1	110,0±3,7	112,2±3,4
ДАД, мм рт. ст.	70,0±3,7	65,3±3,1	60,2±3,3	58,2±3,2	72,4±3,0	60,1±2,7*	67,8±4,1	61,2±2,9
VO_2, мл/(мин·кг)	13,4±1,6	10,9±0,2*	15,4±1,1	12,4±1,0*	15,3±1,2	11,9±1,1*	16,1±2,1	11,6±0,6*

Примечание. * – различия с данными до курса ПНГ достоверны ($p<0,05$).

Результаты исследования показали, что в состоянии относительного мышечного покоя МОД во всех возрастных группах снижается. Известно, что адаптация к гипоксии сопровождается снижением чувствительности дыхательного центра к гипоксемии [2, 7, 17, 18], которое изменяет паттерн дыхания и подстраивает систему внешнего дыхания под удовлетворение кислородного запроса организма. При этом во всех возрастных группах

имеют место тенденции к увеличению объемно-скоростных характеристик внешнего дыхания, существенно выраженные в старшей возрастной группе. Эти данные указывают на формирование адаптивных изменений после курса ПНГ, характеризующих повышение резервов внешнего дыхания.

Подобные тенденции «минимизации» функций отмечаются со стороны сердечно-сосудистой системы. Установлено, что после курса ПНГ во всех группах детей с отклонениями в интеллектуальном развитии отмечается снижение минутного объема кровообращения и тенденция к брадикардии покоя. Можно предположить, что это является следствием снижения тропных влияний симпатической нервной системы на сердце, регулирующих его насосную функцию в соответствии с низким уровнем метаболизма. Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что курс ПНГ приводит к экономизации физиологических функций у детей с отклонениями в интеллектуальном развитии независимо от возраста и пола при снижении тонуса симпатической нервной системы, окислительного метаболизма и деятельности кардиореспираторной системы.

Для оценки функциональных резервов организма и кардиореспираторной системы у детей с отклонениями интеллектуального развития оценивали изменения общей физической работоспособности и аэробных возможностей организма, возникающие после курса ПНГ.

Результаты исследования показали, что уровень общей физической работоспособности в средней возрастной группе увеличился у мальчиков на 14 % и у девочек – на 26 % ($p<0,05$). В старшей возрастной группе эти изменения составили 14 и 22 % ($p<0,05$) соответственно (рис. 1, 2), что, возможно, связано с повышением функциональных резервов систем дыхания и кровообращения, обеспечивающих доставку O_2 в органы и ткани [13]. Подтверждением этого может служить уровень МПК, который после курса ПНГ увеличивается в группах девочек и мальчиков в среднем на 5,7 % ($p\leq0,05$).

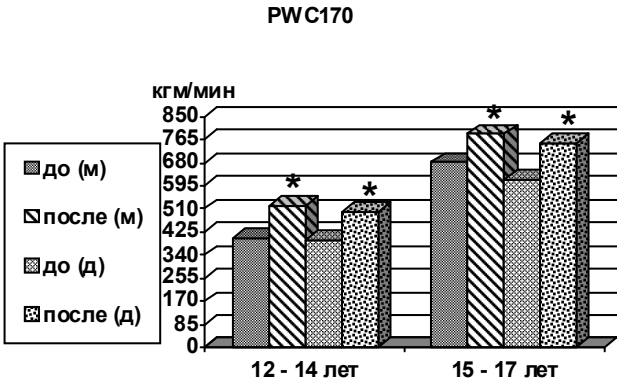

Рис. 1. Показатели физической работоспособности до и после курса ПНГ

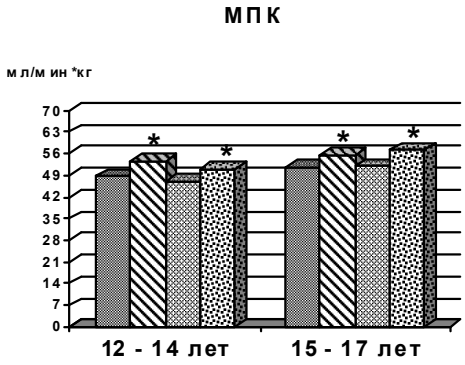

Рис. 2. Показатели аэробной производительности до и после курса ПНГ

Примечание. * – различия с данными до курса ПНГ достоверны ($p<0,05$).

Заключение. Таким образом, интервальная гипоксическая тренировка может служить эффективным средством оптимизации психоэмоционального состояния, расширения функциональных резервов кардиореспираторной системы и повышения физической работоспособности детей и подростков с умственной отсталостью.

1. *Агаджанян Н. А.* Прерывистая нормобарическая гипоксия (исторические предпосылки, теоретическое обоснование, результаты применения) / Н. А. Агаджанян, Р. Б. Стрелков, А. Я. Чижов // Доклады Академии проблем гипоксии РФ. – М. : ПАИМС, 1997. – Т. 1. – С. 18–57.

2. *Антипов И. В.* Исследование работоспособности и реактивности газотранспортных сис-

тем при действии нормобарической гипоксии / И. В. Антипов, В. П. Голомолзина // Материалы IV Всероссийской конференции с международным участием «Медико-физиологические проблемы экологии человека». – Ульяновск : УлГУ, 2011. – С. 49–52.

3. *Волков Н. И.* Прерывистая гипоксия – новый метод тренировки, реабилитации и терапии / Н. И. Волков // Теория и практика физической культуры. – 2000. – № 7. – С. 20–23.

4. *Дембо А. Г.* Врачебный контроль в спорте / А. Г. Дембо. – М. : Медицина, 1988. – 283 с.

5. *Дьякова Э. В.* Нормобарическая гипокситерапия в реабилитации различных форм детского церебрального паралича у детей / Э. В. Дьякова // Доклады Международной академии проблем гипоксии. – М. : Бумажная Галерея, 2005. – Т. IV. – С. 211–215.

6. Изменения реактивности сосудов микрогемоциркуляторного русла в различных отделах головного мозга при гипобарической гипоксии / М. В. Воротникова [и др.] // Ученые записки Ульяновского гос. ун-та. Сер. «Биология». – Ульяновск : УлГУ, 2005. – С. 34–39.

7. Индивидуальные особенности системных реакций организма человека на острую гипоксию / С. И. Сороко [и др.] // Российский физиологический журн. им. Сеченова. – 2012. – Т. 98, № 11. – С. 1396–1415.

8. *Карпман В. Л.* Тестирование в спортивной медицине / В. Л. Карпман, З. Б. Белоцерковский, И. А. Гудков. – М. : Физкультура и спорт, 1988. – 206 с.

9. *Кислин М. С.* Динамика перекисного окисления липидов после тяжелой гипобарической гипоксии в структурах головного мозга крыс. Эффект прекондиционирования / М. С. Кислин, Е. И. Тюлькова // Патогенез. – 2008. – Т. 6, № 3. – С. 65–66.

10. *Колчинская А. З.* Адаптация к гипоксии как эффективное средство повышения работоспособности, профилактики, лечения и реабилитации / А. З. Колчинская // Доклады Академии проблем гипоксии РФ. – М. : ПАИМС, 1997. – Т. 1. – С. 126–145.

11. *Кривощеков С. Г.* Влияние кратковременной прерывистой нормобарической гипоксии на регуляцию внешнего дыхания у человека / С. Г. Кривощеков // Физиология человека. – 2002. – Т. 28, № 6. – С. 45–52.

12. *Куликов В. П.* Тренировки с гиперкапнической гипоксической гипоксией в реабилитации ишемического повреждения головного мозга / В. П. Куликов, А. Г. Беспалов, Н. Н. Якушев // Патогенез. – 2008. – Т. 6, № 3. – С. 70.

13. *Лукьянова Л. Д.* Сигнальная Функция митохондрий при гипоксии и адаптации / Л. Д. Лукьянова // Патогенез. – 2008. – Т. 6, № 3. – С. 4–12.

14. Морфофункциональная гетерогенность и гетерохронность адаптации внутренних органов при прерывистой гипобарической гипоксии / М. В. Балыкин [и др.] // Тезисы докладов IV съезда физиологов Сибири. – Новосибирск, 2002. – С. 26–27.

15. Нейропротекторный эффект гипоксического прекондиционирования при фокальной ишемии мозга / С. А. Гаврилова [и др.] // Патогенез. – 2008. – Т. 6, № 3. – С. 13–17.

16. *Филимоненко Ю. И.* Цветовой тест Люшера : методическое руководство / Ю. И. Филимоненко. – СПб., 1993. – 49 с.

17. Effect of acute hypoxia on cardiopulmonary response to head down tilt / J. Loeppky [et al.] // Aviat Space Env. Med. – 1991. – № 62 (12). – P. 1137–1146.

18. *Obrenovitch T. P.* Molecular physiology of preconditioning – induced brain tolerance to ischemia / T. P. Obrenovitch // Physiol. Rev. – 2008. – Vol. 88, № 1. – P. 211–247.

POSSIBILITIES OF INTERMITTENT HYPOXIC TRAINING IN CORRECTION OF THE PSYCHO-FUNCTIONAL CONDITION OF CHILDREN AND TEENAGERS WITH INTELLECTUAL DISABILITY

N.A. Makhova, M.V. Balykin

Ulyanovsk State University

The real research is devoted to studying of influence of an interval normobaric hypoxia on a psychofunctional condition of children and teenagers with intellectual disability. Possibilities of hypoxic training in increase of resistance to deficiency of oxygen, functional reserves of external breath and cardiovascular system, the general physical working capacity and aerobic opportunities of pupils with mental diseases.

Keywords: hypoxic training, intellectual disability, physical working capacity, psychofunctional condition.