УДК 612.017.2+616-053.2+796

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ АДАПТИВНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОРГАНИЗМА ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ ДЛЯ ЗАНЯТИЙ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ

© Николай Валентинович Хайцев, Лев Дмитриевич Балашов, Алефтина Алексеевна Кравцова, Мария Александровна Пахомова

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2

Контактная информация: Николай Валентинович Хайцев — профессор, кафедра патологической физиологии с курсом иммунопатологии Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета. E-mail: nvh195725@gmail.com

РЕЗЮМЕ: Предложен экспериментально апробированный метод оценки функционального состояния гипофиз-адреналовой системы у детей разного пола до начала полового созревания (7 лет), в начале пубертатного периода (9 лет) и при завершении пубертата (15 лет) по величине показателя «индекс резистентности». Для лабораторных животных такой показатель определяется как частное от деления среднего уровня потребления кислорода при охлаждении животных на среднее значение его при комнатной температуре. У детей и подростков определяли частоту сердечных сокращений в норме и при стрессе (завязывание глаз). Разрабатываемый показатель (“индекс резистентности”) находится в средней и сильной взаимосвязи (корреляции) с физической работоспособностью и максимальным уровнем потребления кислорода. Метод определения “индекса резистентности” зависит от возраста и пола детей и подростков. Разработана методика индивидуального прогноза потенциальных возможностей организма детей и подростков для освоения школьной программы по физической культуре.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: индекс резистентности; гипофиз-адреналовая система; физическая работоспособность; методические рекомендации.

ASSESSMENT OF POTENTIAL ADAPTIVE CAPABILITY IN CHILDREN’S AND TEENAGERS’ ORGANISM FOR GOING IN FOR SPORT AND PHYSICAL TRAINING

© Nikolay V. Khaitsev, Lev D. Balashov, Aleftina A. Kravtsova, Maria A. Pakhomova

Saint Petersburg State Pediatric Medical University, 2 Litovskaya st., Saint Petersburg, 194100, Russia

Contact information: Nikolay V. Khaitsev — professor, Pathophysiology dept. of the Saint Petersburg State Pediatric Medical University. E-mail: nvh195725@gmail.com

ABSTRACT: An experimentally-tested method is suggested for the assessment of pituitary-adrenal system functional state in immature children of both sexes under 7 years, in children entering puberity (9 years) and in adolescents (15 years) based on the “resistance index” value. Experiments involving laboratory animals help to ascertain this index as a result of mean oxygen consumption in cooled animals divided by the same parameter measured at room temperature. In children and adolescents we measured the heart rate at rest and during stress (blindfold). The resultant parameter (“resistance index”) is medium to strong associated (correlates) with physical efficiency and maximum oxygen consumption level. The method for the assessment of “resistance index” is age- and sex-dependant. A method has been elaborated for individual prognosis of potential capabilities of children and adolescent organisms for coping with school program in physical training.

KEYWORDS: resistance index; pituitary-adrenal system; physical efficiency; methodical recommendations.

Данная публикация — попытка предложить критерий, на основе которого можно было бы оценить уровень потенциальных возможностей организма детей и подростков. Под этими возможностями подразумевается способность детей и подростков без ущерба для своего здоровья осваивать школьную программу по физической культуре. Наличие такого критерия в руках учителя физкультуры позволит дифференцировать детский контингент на подгруппы, для которых будет полезной разработка индивидуального подхода к степени физической нагрузки или, в крайнем случае, профилактика в виде временного полного или частичного освобождения детей от различных видов физических упражнений. Это позволит предотвратить снижение уровня здоровья школьников и вооружит учителя быстрым и информативным методом тестирования состояния организма.

Способность организма к определенному уровню физической работоспособности взаимосвязана с общим адаптивным потенциалом организма. Специфическая адаптация к физической нагрузке в своей основе имеет много общих черт с адаптацией к гипоксии. В условиях интенсивной работы мышц, также как и при кислородной недостаточности, организм ведет активную борьбу за энергетическое обеспечение тканей. При этом включаются механизмы как системного (дыхательная, сердечно-сосудистая, кровь), так и тканевого (гликогенолиз, окислительное фосфорилирование) уровней [1, 5, 8].

Известно, что адаптация к гипоксии приводит к повышению сопротивляемости организма к инфекциям, и в то же время тренированные спортсмены на соревнованиях, т. е. в условиях стресса, подвержены простудным заболеваниям Физические нагрузки умеренной мощности приводят к повышению функциональной активности иммунной системы [5, 11].

Следовательно, критерий, оценивающий потенциальные возможности организма школьников к физической нагрузке, должен затрагивать наиболее общие механизмы, характерные для любого вида адаптации. Таким критерием может быть уровень общей неспецифической резистентности организма [9, 10].

Обследованию подвергались 60 человек разного возраста: школьники мальчики и девочки в возрасте 7-ми, 9-ти и 15-ти лет. Определялись масса тела, частота сердечных сокращений (ЧСС), “индекс резистентности” (ИНД) [2], вегетативный индекс (ВИ) [8], физическая работоспособность и максимальное потребление кислорода (МПК) [5,8].

Материал, полученный в процессе исследования, подвергался статистической обработке по методу Стьюдента. Вычислялись средние и ошибки средних, определялись вероятность ошибки “p” и доверительные границы средних при уровне значимости 0,05. Кроме того, проводился корреляционный анализ. Основной объем вычислений выполнен на IBM с использованием программы статистической обработки материала “Statgraf”.

Известно, что уровень неспецифической резистентности находится в тесной взаимосвязи с функциональным состоянием гипофиз-адреналовой системы (ГАС) [2, 3]. Количественным показателем функционального состояния ГАС является ИНД. В настоящее время в экспериментах для определения ИНД используется разработанная методика, позволяющая оценить функциональное состояние ГАС по степени повышения потребления кислорода при охлаждении [2]. В опытах на белых крысах, мышах и морских свинках авторами метода было установлено, что этот показатель коррелирует с устойчивостью животных к рентгеновскому облучению, гипоксии, а также к острому и хроническому действию разнообразных химических соединений (эпихлоргидрин, стирол, толуол, бензол и др.) [2, 9, 10]. У адреналэктомированных животных повышения потребления кислорода при действии вредных факторов, в том числе и при охлаждении, не происходит [2].

ИНД успешно использован многими исследователями как показатель для определения активности ГАС и для оценки уровня общей неспецифической резистентности организма [2, 7, 9, 10, 12].

Методически величина ИНД определяется как отношение уровня потребления кислорода животными при температуре 0 °С к таковому при температуре +20 °С. Регистрирование показателей при охлаждении начинается через 2 минуты после помещения животного в холодильник [2].

Естественно, что перенесение такого метода обследования на людей не представляется возможным по ряду причин. Во-первых, охлаждение не может быть выбрано в качестве тестирующей стрессорной нагрузки, для детей в частности. При действии стрессора любой природы в первый момент наблюдается повышение уровня потребления кислорода. Поэтому в качестве стрессирующей процедуры был использован следующий прием — сидящим детям завязывали глаза и через 2 минуты после этого заставляли стоять в течение 5 минут. Во-вторых, в арсенале учителя вряд ли найдется газоанализатор для измерения уровня потребления кислорода. Однако известно, что потребление кислорода находится в тесной взаимосвязи с частотой сердечных сокращений (ЧСС) [1, 13], поэтому при вычислении ИНД мы решили получать частное от деления ЧСС при стрессорной нагрузке на ЧСС в покое (до стресса, вызываемого завязыванием глаз). Величина ИНД определялась каждые 30 секунд в течение 5 минут.

Похожий методический прием используется при проведении ортостатической пробы, когда вычисляется вегетативный индекс (частное от деления ЧСС при вставании на ЧСС в положении сидя или лежа). Для того чтобы развести ВИ и ИНД как показатели, оценивающие несколько разные явления (вегетативный индекс — для оценки активности симпатико-адреналовой системы, ИНД — для оценки ГАС), мы сравнили у обследуемого контингента детей и подростков ВИ с ИНД, определяемыми сразу после вставания. То есть в первом случае дети и сидели 2 минуты и затем вставали с открытыми глазами, а во втором — с закрытыми.

Так, среди мальчиков 7, 9 и 15 лет обнаружилась явная тенденция в большей величине ИНД, по сравнению с величиной ВИ: 1,1±10,02 и 1,07±0,02; 1,06±0,03 и 1,01±0,04; 1,10±0,03 и 1,09±0,02, соответственно. Среди девочек 7-, 9- и 15-летнего возраста отмечалась аналогичная закономерность, усиленная достоверностью различий ($p < 0,05$) в 7- и 15-летнем возрасте: 1,11±0,04 и 1,02±0,01; 1,12±0,04 и 1,07±0,05; 1,16±0,05 и 1,04±0,02.

На следующем этапе исследования было необходимо уточнить методику определения ИНД. Речь идет о выборе временного интервала — от момента завязывания глаз ребенку до точки определения ЧСС. Именно поэтому величины ЧСС определялись каждые 30 секунд в течение 5 минут после вставания и соотносились с исходной величиной ЧСС в покое. Соответственно для каждой точки вычислялся свой ИНД (например, ИНД-0 — это «индекс резистентности», определенный сразу после вставания, а ИНД-2,5 — это «индекс резистентности», определенный через 2,5 минуты после вставания). Было интересно проследить динамику изменения величины ИНД во времени для выбора наиболее информативной точки.

Анализ полученных результатов не позволил выделить одно, общее для всех возрастов и полов, время фиксации ЧСС и, как следствие, «индекса резистентности». Динамика величин ИНД в течение 5 минут была разнонаправленна: среди мальчиков 7 лет и девочек 9 лет наблюдалось незначительное колебание величин относительно исходного значения; у девочек 7 и 15 лет отмечалась тенденция к снижению, а у мальчиков 9 и 15 лет — к повышению ИНД. Причем волнообразность процесса отмечена во всех обследованных группах детей.

В связи с этим возникла необходимость «привязать» величину «индекса резистентности» к какому-либо свойству организма. Для достижения цели нашей работы таким свойством, как нам представляется, является физическая работоспособность. Это, по нашему мнению, повысит информативность показателя, получаемого при тестировании детей.

Для определения работоспособности существуют различные подходы. Мы, руководствуясь принципами доступности и щадящим уровнем нагрузок, использовали приседания (20 приседаний за 30 секунд) [6]. К сожалению, в доступной нам литературе мы не нашли способа вычисления работоспособности при данном виде нагрузки. Поэтому нам пришлось разработать свой, условный способ обсчета работоспособности, принцип которого состоит в следующем. Работоспособность находится в прямой взаимосвязи с массой тела (через мощность) и в определенной взаимосвязи с изменением ЧСС в результате нагрузки. В каком-то смысле наша формула обсчета работоспособности перекликается с методом определения PWC_{170} по Корниенко [5]. Однако в нашем случае в качестве эталонной ЧСС для нагрузки была использована величина, равная средней арифметической для каждого возраста и пола отдельно:

$$\text{Работоспособность} = m \times (ЧСС_{эт.} - ЧСС_{п.})/(ЧСС_{н.} - ЧСС_{п.}),$$

где m — масса тела; $ЧСС_{эт.}$ — частота сердечных сокращений эталонная (табл. 1); $ЧСС_{п.}$ — частота сердечных сокращений в покое; $ЧСС_{н.}$ — частота сердечных сокращений после нагрузки (индивидуальные данные для каждого ребенка).

Кроме того, используя номограмму Астранда-Риминга, для каждого ребенка по массе тела и ЧСС после нагрузки определяли уровень МПК, который является показателем аэробных возможностей организма при физических нагрузках [5, 6].

Результаты этого исследования представлены в таблице 1. Данные таблицы свидетельствуют о том, что с возрастом величины работоспособности и МПК возрастают. Причем отмечаются тенденции общепринятых различий в связи с половыми особенностями: девочки отставали по этим показателям от мальчиков. Хочется отметить, что эти закономерности выявлены несмотря на небольшое число наблюдений (в каждой группе по 10 человек), и, следовательно, использованный нами способ расчета работоспособности оказался достаточно корректным.

Однако главной целью исследования являлась разработка методики определения ИНД и наполнения этого по-

Таблица 1

Функциональные возможности организма детей разного возраста для физической нагрузки

Пол	Возраст, годы	Масса тела, кг	ЧСС после нагрузки, эталонная	Работоспособность, усл.ед.	МПК, л/мин
Мальчики	7	26.0±0.9	134.4±3.0	27.2±2.3	2.03±0.09
Девочки	7	23.9±1.1	133.8±2.4	24.4±1.1	1.33±0.07
Мальчики	9	31.9±1.4	141.6±3.5	32.7±2.3	2.11±0.10
Девочки	9	32.3±1.8	145.8±3.1	32.4±1.9	1.62±0.10
Мальчики	15	61.3±1.4	162.0±3.7	62.8±3.0	2.75±0.09
Девочки	15	58.4±2.8	150.0±3.9	60.3±4.3	2.73±0.17

казателя адекватным смыслом. Поэтому необходимо было сопоставить значимость динамики изменения ИНД в течение 5 минутного его определения с индивидуальными уровнями работоспособности и МПК. Для этого был проведен корреляционный анализ: учитывались индивидуальные корреляции между величинами ИНД, определяемыми сразу после вставания, а также через 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5 и 5 минут после вставания, с исходными значениями работоспособности и МПК.

Так, среди мальчиков 7 лет наиболее тесная взаимосвязь между ИНД и работоспособностью, а также уровнем МПК, отмечена для точки «3.5 минуты»: r = –0,40 и –0,40, соответственно (средняя отрицательная взаимосвязь, $p < 0,05$).

Среди девочек 7-летнего возраста наиболее тесная взаимосвязь между ИНД и работоспособностью, а также уровнем МПК, отмечена для точки «4 минуты»: r = –0,81 и –0,58, соответственно (сильная и средняя отрицательные взаимосвязи, $p < 0,05$).

У мальчиков 9 лет наиболее тесная взаимосвязь между ИНД и работоспособностью, а также уровнем МПК, отмечена для точки «3,5 минуты»: r = –0,56 и –0,57, соответственно (средняя отрицательная взаимосвязь, $p < 0,05$).

Девочки 9-летнего возраста характеризовались наиболее тесной взаимосвязью между ИНД и работоспособностью, а также уровнем МПК, в точке «4 минуты»: r = –0,30 и –0,38, соответственно (средняя отрицательная взаимосвязь, $p<0,05$).

Среди мальчиков 15 лет наиболее тесная взаимосвязь между ИНД и работоспособностью, а также уровнем МПК, отмечена для точки «0,5 минуты»: r = –0,64 и –0,61, соответственно (сильная отрицательная взаимосвязь, $p < 0,05$).

Для девочек 15 лет наиболее тесная взаимосвязь между ИНД и работоспособностью, а также уровнем МПК, отмечена для точки «4,5 минуты»: r = –0,61 и –0,62, соответственно (сильная отрицательная взаимосвязь, $p < 0,05$).

Обращает на себя внимание тот факт, что взаимосвязь между ИНД и работоспособностью, а также МПК, носит отрицательный характер. Другими словами можно сказать, что повышенная функциональная активность ГАС сопровождается меньшим уровнем аэробных возможностей и низкой работоспособностью. Это мнимое противоречие может быть разрешено следующим образом. Можно предположить, что в условиях кислородной недостаточности, вызванной мышечными усилиями, дополнительное стимулирование организма к кислородным тратам (ГАС активизирует обменные процессы, стимулирует деятельность сердечно-сосудистой и дыхательной систем) может оказаться менее эффективной стратегией. Таким образом, чем ближе величина ИНД к единице (т. е. к оптимуму), тем выше работоспособность. При этом следует особо подчеркнуть, что данное заключение можно сделать только в связи с прогнозом по отношению к физической нагрузке определенной интенсивности, а именно — соответствующей уровню школьной нагрузки на уроках физкультуры. В отношении нагрузок максимальной и субмаксимальной мощности необходимо проводить специальные исследования.

Однако это заключение не является абсолютно однозначным. В исследованной нами выборке значения ИНД меньше единицы встречались крайне редко, поэтому мы не имеем возможности достоверно сделать прогноз в отношении таких детей. Весьма вероятно, что организм с недостаточно активной или угнетенной гипофиз-адреналовой системой не сможет проявить высокую работоспособность так же как и организм с высокоактивированной гипофиз-адреналовой системой, хотя и по другим причинам (недостаточно активная регуляция процессов получения АТФ). Поэтому представляется, что наиболее оптимальные прогностические значения ИНД для работы умеренной мощности лежат в районе единицы или, если быть особенно точным, в пределах, близких к единице. На аналогичную оптимальность в своих работах указывают и некоторые авторы [3, 4].

Таблица 2

Методические рекомендации как практический результат проведенной работы

Пол	Возраст, годы	Методическое «время», определения «индекса резистентности»	Диапазон ориентировочных значений «индекса резистентности», средняя±сигма (диапазон: ± две сигмы от средней)*
Мальчики	7	3,5 минуты	1,09±0,06 (0,97–1,21)
Девочки	7	4 минуты	1,07±0,13 (0,81–1,33)
Мальчики	9	3,5 минуты	1,14±0,10 (0,84–1,34)
Девочки	9	4 минуты	1,12±0,10 (0,82–1,32)
Мальчики	15	0,5 минуты	1,09±0,08 (0,93–1,25)
Девочки	15	4,5 минуты	1,05±0,10 (0,85–1,25)

Примечание: * — значения ИНД, выходящие за указанные пределы, предполагают применение индивидуального подхода к учащимся на уроках физической культуры.

Таким образом, методические рекомендации, вытекающие из результатов работы, сводятся к следующему. Для определения величины ИНД требуется дифференцированный подход в зависимости от возраста и пола (табл. 2). Диапазоны ориентировочных значений ИНД получены путем вычитания-прибавления двойной величины стандартного отклонения (две сигмы) к средней арифметической величине, установленной для указанного времени обследования. Такой математический подход использует большинство гигиенических рекомендаций [8].

REFERENCES

1. Vasil'ev A. G., Khaitsev N. V., eds, Trashkov A. P. Praktikum po patofiziologii: uchebnoe posobie. SPb: FOLIANT; 2014. (in Russian).
2. Vasil'ev G.A., Beljaev V.A., Tiunov L.A. K vopposu ob ocenke padiochuvstvitel'nosti belyh kpys. Radiobiologija. 1966; 4 (5): 687–689. (in Russian).
3. Vasil'ev G.A., Medvedev Ju.A., Hmel'nickij O.K. Jendokpinnaja sistema pri kislopodnom golodanii. L.: Nauka; 1974. (in Russian).
4. Grigor'ev A. Ju. Individual'naja radiochuvstvitel'nost'. M.: Jenepgoatomizdat; 1991. (in Russian).
5. Egorov V. Ja., Mel'nikova I. E. Metodicheskie rekomendacii k provedeniju prakticheskih rabot po fiziologii sporta. SPb.: LGOU; 1997. (in Russian).
6. Egorov V. Ja., Mel'nikova I. E. Anatomija i fiziologija detej i podrostkov: Metodicheskie rekomendacii k laboratornym rabotam. SPb.: LGOU; 1999. (in Russian).
7. Kustov V. V., Litau V. G., Kukushkin Ju. A., Razinkin S. M. Ocenka adaptacii zhivotnyh k gipoksicheskoj gipoksii s pomoshh'ju metoda mnozhestvennoj pegpessii. Kosmich. biol. aviakosmich. med. 1984; 18 (6): 67–69. (in Russian).
8. Popov S. V., Egorov V. Ja., Gunn G. E. Kul'tura zdorov'ja: uchebno-metodicheskoe posobie. SPb.: LOIRO; 2003. (in Russian).
9. Khaitsev N. V. Rol' vozrastnyh, polovyh i individual'nyh osobennostej organizma v ustojchivosti k gipoksii. Zhurn. jevoljuc. biohim. i fiziol. 1998; 34 (6): 734–736. (in Russian).
10. Khaitsev N. V., Vasil'ev A. G., Trashkov A. P., Kravcova A. A., Balashov L. D. Vlijanie vozrasta i pola na harakter otvetnyh reakcij belyh krys pri dejstvii hronicheskoj gipoksicheskoj gipoksii. Pediatr. 2015; 6 (2): 71–77. (in Russian).
11. Churilov L. P., Vasil'ev A. G. Patofiziologija immunnoj sistemy: uchebnoe posobie. SPb: FOLIANT; 2014. (in Russian).
12. Astrand P. Degree of strain during building work as related to individual aerobic work capacity. Ergonomics. 1967; 10 (3): 295–300.
13. Astrand P., Rodahl K. Textebook of work physiology: Physiological bases of exercise. New York – St. Louis: McGraw-Hill; 1977.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев А. Г., Хайцев Н. В., Трашков А. П. Практикум по патофизиологии: учебное пособие. СПб: ФОЛИАНТ; 2014.
2. Васильев Г. А., Беляев В. А., Тиунов Л. А. К вопросу об оценке радиочувствительности белых крыс. Радиобиология. 1966; 4 (5): 687–689.
3. Васильев Г. А., Медведев Ю. А., Хмельницкий О. К. Эндокринная система при кислородном голодании. Л.: Наука; 1974.
4. Григорьев А. Ю. Индивидуальная радиочувствительность. М.: Энергоатомиздат; 1991.
5. Егоров В. Я., Мельникова И. Е. Методические рекомендации к проведению практических работ по физиологии спорта. СПб.: ЛГОУ; 1997.
6. Егоров В. Я., Мельникова И. Е. Анатомия и физиология детей и подростков: Методические рекомендации к лабораторным работам. СПб.: ЛГОУ; 1999.
7. Кустов В. В., Литау В. Г., Кукушкин Ю. А., Разинкин С. М. Оценка адаптации животных к гипоксической гипоксии с помощью метода множественной регрессии. Космич. биол. авиакосмич. мед. 1984; 18 (6): 67–69.
8. Попов С. В., Егоров В. Я., Гунн Г. Е. Культура здоровья: учебно-методическое пособие. СПб.: ЛОИРО; 2003.
9. Хайцев Н. В. Роль возрастных, половых и индивидуальных особенностей организма в устойчивости к гипоксии. Журн. эволюц. биохим. и физиол. 1998; 34 (6): 734–736.
10. Хайцев Н. В., Васильев А. Г., Трашков А. П., Кравцова А. А., Балашов Л. Д. Влияние возраста и пола на характер ответных реакций белых крыс при действии хронической гипоксической гипоксии. Педиатр. 2015; 6 (2): 71–77.
11. Чурилов Л.П., Васильев А.Г. Патофизиология иммунной системы. СПб.: Фолиант, 2014.
12. Astrand P. Degree of strain during building work as related to individual aerobic work capacity. Ergonomics. 1967; 10 (3): 295–300.
13. Astrand P., Rodahl K. Textebook of work physiology: Physiological bases of exercise. New York – St. Louis: McGraw-Hill; 1977.