

УДК 577.17.04-053.2:796

ББК 28.072.538

Ш 31

Шаханова А.В.

Доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой физиологии факультета естествознания, проректор по научной работе Адыгейского государственного университета, Майкоп, тел. (8772) 593938, e-mail: nisadgu@yandex.ru

Чельшкова Т.В.

Кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии факультета естествознания Адыгейского государственного университета, Майкоп, тел. (8772) 593938, e-mail: chelyshkova_t@mail.ru

Особенности развития соматотропной функции гипофиза и коры надпочечников (по кортизолу) у мальчиков в возрасте 8–17 лет (Рецензирована)

Аннотация. В целях выявления функционального резерва соматотропной функции гипофиза и, в известной степени, ростовых возможностей организма проведена сравнительная оценка динамики соматотропина в крови как в состоянии относительного покоя, так и в условиях тестирующих физических нагрузок. В целях углубления сложившихся представлений о гормональной регуляции роста в процессе полового созревания проведено одновременное исследование реакции гипофиза (по соматотропину) и коры надпочечников (по кортизолу) в условиях физической нагрузки мощностью PWC_{170} и в условиях максимальной нагрузки ступенчато повышающейся мощности (работа на велоэргометре до отказа). Количественное определение соматотропина (СТГ) и кортизола в плазме крови проводилось радиоиммунологическим методом с использованием стандартных наборов фирмы CEA-IRE-SORIN (Франция). Показано, что под влиянием физической нагрузки мощностью PWC_{170} активность соматотропной функции гипофиза увеличивается. При этом реакция гипофиза (по соматотропину) на 45-й минуте более значительна, чем на 15-й минуте после нагрузки. В условиях этой же нагрузки концентрация кортизола на 15-й минуте снижается в среднем в 1,4 раза (в сравнении с исходной величиной), а через 45 минут возвращается к исходному уровню. В каждом конкретном случае направленность реакции (повышение или снижение), величина прироста соматотропина и кортизола, а также скорость реакции зависели от величины исходного уровня активности гипофиза и коры надпочечников. Наблюдалось два физиологически равноправных типа реакции гипофиза (по соматотропину) и коры надпочечников (по кортизолу) – повышение концентрации гормона в крови (при относительно низком исходном ее уровне) и снижение (при относительно высоком исходном уровне). В сравнении с корой надпочечников (по кортизолу) реакция гипофиза (по соматотропину) продолжительнее и устойчивее, однако кора надпочечников реагирует на нагрузку быстрее, что отражает роль кортизола в быстрой мобилизации адаптивных возможностей организма в условиях воздействия физических нагрузок. Под влиянием физической нагрузки большей мощности при работе на велоэргометре концентрация соматотропина достигает максимума сразу после нагрузки и сохраняется на стабильном уровне до 45-й минуты. При этом концентрация кортизола сразу после нагрузки снижается, а через 15 минут достоверно возрастает и сохраняется на стабильном уровне до 45-й минуты.

Ключевые слова: гипофиз, гормоны, соматотропин, кора надпочечников, кортизол, физическая нагрузка, дети и подростки, половое созревание.

Shakhanova A.V.

Doctor of Biology, Professor, Head of Physiology Department of Natural Science Faculty, Vice-Rector for Scientific Work, Adyghe State University, Maikop, ph. (8772) 593938, e-mail: nisadgu@yandex.ru

Chelyshkova T.V.

Candidate of Biology, Associate Professor of Physiology Department of Natural Science Faculty, Adyghe State University, Maikop, ph. (8772) 593938, e-mail: chelyshkova_t@mail.ru

Features of the development of somatotropic function of the pituitary gland and the adrenal cortex (cortisol) in boys aged 8–17 years

Abstract. In order to find the functional reserve of pituitary gland and, to a certain degree, growth capabilities of the body, we made a comparative assessment of somatotropin dynamics in blood both in the state of relative rest and under various testing loads. For deepening the developed ideas of hormonal regulation of growth in the course of puberty, the simultaneous examination was conducted to study the response of pituitary gland (with respect to somatotropin) and adrenal cortex (with respect to cortisol) under physical load with PWC_{170} power and under the maximum load with the capacity increasing on a step by step basis (load was applied down to the limit by means of bicycle ergometer). Quantitative definition of somatotropin (STG) and cortisol in plasma of blood was carried out by a radioimmunoassay technique with use of standard sets of CEA-IRE-SORIN (France). Results of research show that the activity of somatotropic function of the pituitary gland increases under the physical load with PWC_{170} power. Pituitary gland response (with respect to somatotropin) in the 45th minute is more significant than response in the 15th minute after the

load. Under the same load conditions, concentration of cortisol in the 15th minute decreases on average by 1,4 times (in comparison with initial level), and in 45 minutes comes back to initial level. In each specific case, the trend of response (increase or decrease), incremental value of somatotropin and cortisol, as well as the rate of response were subject to the value of the initial level of pituitary gland and adrenal cortex activity. Two physiologically equivalent types of response of pituitary gland (with respect to somatotropin) and adrenal cortex (with respect to cortisol) were observed – increase (with relatively low initial level) and decrease (with relatively high initial level) of the concentration of hormone in blood. In comparison with the adrenal cortex (with respect to cortisol) the response of pituitary gland (with respect to somatotropin) is more long-term and stable, however the adrenal cortex responds quicker to the load. This shows a cortisol role in fast mobilization of adaptive opportunities of a body under the impact of physical activities. Under the influence of physical load of higher power during the work on the bicycle ergometer somatotropin concentration reaches its maximum value immediately after the load and remains at such level until the 45th minute. Cortisol concentration decreases immediately after the load and in 15 minutes significantly increases and remains at stable level until the 45th minute.

Keywords: *pituitary gland, hormones, somatotropin, adrenal cortex, cortisol, physical load, children and teenagers, puberty.*

Введение

Процессы роста, развития и адаптации находятся под сложным гормональным контролем. В системе гормональной регуляции функций растущего организма соматотропин занимает особое место. Возрастные аспекты соматотропной функции гипофиза стали изучаться сравнительно недавно [1–3]. При этом во многих случаях эти исследования носят фрагментарный характер, недостатком их является малочисленность наблюдений, неоднородность групп по возрастному составу, не всегда результаты получены с помощью адекватных методов. Большинство работ выполнено с помощью однократного определения гормона в крови и в ограниченном диапазоне функциональных состояний, в основном в состоянии относительного покоя [4–6]. Согласно современным представлениям, решающим для характеристики соматотропной функции гипофиза является степень увеличения содержания соматотропина в ответ на стимул. Для изучения соматотропной функции гипофиза обычно используются различные функциональные нагрузки. При этом имеющиеся в литературе исследования позволяют заключить, что наиболее адекватной является физическая нагрузка [6–8]. Во-первых, влияние ее на организм можно строго дозировать; во-вторых, двигательная активность является условием повседневного существования ребенка, и ее положительное влияние на рост и развитие отмечается в многочисленных работах; в-третьих, она вызывает отчетливые сдвиги уровня функционирования гипофиза (по соматотропину). Это и определило актуальность нашей работы – исследование соматотропной функции гипофиза у мальчиков как в состоянии относительного покоя, так и в условиях физической нагрузки, что позволяет адекватно и достаточно полно оценить функциональные возможности гипофиза (по соматотропину) у мальчиков в процессе полового созревания, что необходимо для контроля за соматическим развитием и адаптивными возможностями организма.

Нами представлялось актуальным рассмотреть реакцию гипофиза при качественно различных нагрузках, влияющих на уровень секреторной активности эндокринных органов, вызывающих перестройку в адаптивных системах организма. При этом предполагалось провести сравнительную оценку реакции соматотропной функции гипофиза на физическую нагрузку различной мощности и длительности, сравнить характер и динамику изучаемых показателей при этих нагрузках, выделить специфические особенности изменений, охарактеризовать общие закономерности ответа гипофиза на исследуемые нагрузки у мальчиков в процессе роста и развития, а также сравнить реакции гипофиза (по соматотропину) и коры надпочечников (по кортизолу) в условиях различных нагрузок. Под действием соматотропина и кортизола происходит энергетическое и гомеостатическое обеспечение мышечной деятельности. Кортизол подвержен циркадному ритму – наибольшая его концентрация приходится на утренние часы и первую половину суток. Кортизол оперативно реагирует на физическое воздействие, под действием кортизола нормализуется уровень глюкозы, повышается уровень энергетических запасов организма, активизируется работа сердечной мышцы, улучшается работа головного мозга, мышление и координация. Как следствие – резкое повышение работо-

способности и активности. Однако если кортизола вырабатывается слишком много, с течением времени кортизол вызывает чувство усталости и утомления, ускоряет как катаболический гормон процесс износа организма. Первый и самый действенный способ снизить уровень кортизола – отсутствие стрессов. Полноценный сон, качественное питание, адекватные физические нагрузки – все это делает организм более устойчивым к стрессам. И как следствие – сокращает потребность организма в кортизоле.

В плане изложенного в работе впервые представлены систематизированные данные о возрастных особенностях соматотропной функции гипофиза в сравнении с особенностями функции коры надпочечников (по кортизолу) у практически здоровых мальчиков.

Цель исследования: изучить особенности изменения функциональной активности гипофиза (по соматотропину) и коры надпочечников (по кортизолу) у мальчиков на физическую нагрузку различной мощности, сравнить характер и динамику изучаемых показателей при этих нагрузках.

Материалы и методы

Было обследовано 174 практически здоровых мальчика в возрасте от 8 до 17 лет. Обследованные были условно разделены на 5 возрастных групп: 8–9 лет, 10–11 лет, 12–13 лет, 14–15 лет, 16–17 лет. Исследовались функциональные возможности соматотропной функции гипофиза и коры надпочечников (по кортизолу) с использованием теста PWC₁₇₀ (Physical Working Capacity). Нагрузка дозировалась индивидуально. Мощность физической нагрузки, необходимой для достижения частоты пульса 170 уд/мин, рассчитывали по формуле, предложенной И.А. Корниенко с соавт. (1978). Полученная из расчетов мощность достигалась изменением частоты подъемов на ступеньку. Результаты пробы воспроизводились на следующий день. После окончания нагрузки реальная частота пульса у всех обследуемых практически совпадала с расчетной – 170 уд/мин. У юношей в возрасте 16–17 лет для выявления функциональных возможностей гипофиза и коры надпочечников выполнялась также велоэргометрическая нагрузка до предела при частоте педалирования 60 об/мин в условиях определения VO₂ max. Она дозировалась, исходя из веса испытуемого, и носила характер работы со ступенчато повышающейся мощностью. Велоэргометрическая нагрузка использовалась у возрастного контингента 16–17 лет. Исследование уровня активности гипофиза и коры надпочечников производилось радиоиммунологическим методом до нагрузки, а также через 15 и 45 минут после нее. Забор крови после велоэргометрической пробы производился до, сразу и через 15, 30, 45 минут после нагрузки. Забор крови до нагрузки производился за 15 минут до нагрузки. При анализе полученных результатов мы исходили из известного положения о том, что уровень соматотропина в периферической крови является адекватным показателем функционального состояния гипофиза и его изменения отражают изменения секреции соматотропина. Исследования проводились с письменного согласия испытуемых. Статистическая обработка результатов производилась вариационно-статистическим методом Стьюдента-Фишера, а также методом ранговой корреляции, оценка вариабельности параметров – с помощью коэффициента вариативности.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты исследования показали, что исходный уровень соматотропина варьировал в пределах от 0,5 до 12,0 нг/мл и в среднем базовый уровень составлял $2,5 \pm 0,2$ нг/мл, коэффициент вариации – 88% (табл. 1), то есть вариабельность однократных показателей уровня гормона велика даже вне нагрузки и в дальнейшем сохраняется в условиях стандартных функциональных нагрузок. В ответ на физическую нагрузку мощностью PWC₁₇₀ наблюдается повышение активности гипофиза. Наиболее интенсивный прирост и абсолютные показатели соматотропина отмечены на 45-й минуте после нагрузки как относительно исходного уровня ($P < 0,001$), так и относительно 15-й минуты ($P < 0,001$). На 15-й и 45-й минутах после физической нагрузки высокий уровень вариабельности индивидуальных показателей уровня гормона сохраняется, то есть физическая нагрузка не приводит к унификации физиологиче-

ского состояния организма, так как секреция соматотропного гормона носит волнообразный характер в течение суток. При этом самый амплитудный пик секреции СТГ фиксируется ночью, через час-два после отхода ко сну и продолжается около 2-х часов. Качественный и глубокий ночной сон способен увеличивать продукцию собственного соматотропного гормона. Для проявления анаболического и жиросжигающего свойства соматотропина необходимо его нормальное воспроизводство в ночное время [2].

Таблица 1

Показатели ($M \pm m$) концентрации соматотропина (нг/мл) в плазме крови у 112 мальчиков при физической нагрузке мощностью PWC_{170} (степ-тест)

Исследуемый показатель	Периоды исследования		
	до нагрузки	через 15 минут	через 45 минут
Абсолютная концентрация	2,5±0,2 100%	3,4±0,3 136%	5,0±0,4 200%
Коэффициент вариации	88,0%	94,1%	79,0%
Прирост концентрации	–	28%	92%

Характеристика соматотропной функции гипофиза на основании одного лишь среднего показателя недостаточна. Поэтому нами были использованы дополнительные критерии оценки реакции гипофиза (по соматотропину), в частности учет направленности сдвигов. Нами выделено три типа реакции. Первый тип – снижение уровня соматотропина в ответ на нагрузку (в 24,2% случаев), второй и третий типы – повышение уровня гормона соответственно на 15-й (в 25,8% случаев) или 45-й минутах (в 50,0% случаев) (табл. 2). Исходный уровень соматотропина при первом типе реакции был значительно выше, чем при втором и третьем типах (соответственно $P < 0,001$ и $P < 0,05$).

Таблица 2

Зависимость характера реакции гипофиза на физическую нагрузку от исходного уровня концентрации соматотропина

Типы реакций	Число наблюдений	Концентрация гормона (нг/мл) ($M \pm m$)		
		до нагрузки	через 15 мин	через 45 мин
Первый	27	6,8±0,8 (3,9–12,0)	2,5±0,4 (0,3–7,7)	2,7±0,4 (0,4–7,6)
Второй	29	1,5±0,3 (0,5–5,9)	5,5±0,7 (0,9–15,0)	2,6±0,5 (0,6–7,4)
Третий	56	2,3±0,2 (0,5–5,2)	2,8±0,4 (0,3–7,1)	7,4±0,5 (1,7–18,0)

Согласно принятому в эндокринологии подходу, лишь два последних типа реакции эндокринного органа (в том числе и гипофиза) на стимул расцениваются как физиологические, первый же тип обычно рассматривают как парадоксальную реакцию или признак нарушения функции гипофиза. Наши исследования показали, что это три равноправных типа реакции гипофиза – повышение концентрации гормона в крови (при относительно низком исходном ее уровне) и снижение (при относительно высоком исходном уровне), когда происходит посредством саморегуляции автоматическое компенсаторное или повышение, или понижение гормона в зависимости от его исходного уровня. Данную закономерность необходимо учитывать при стимулирующей и тормозящей гормонотерапии, от исходного уровня зависит реактивность организма к гормональному препарату, поскольку имеется определенная зависимость между исходным уровнем гормона и скоростью реакции: чем исходный уровень ниже, тем реакция наступает быстрее.

Таким образом, тип и скорость реакции гипофиза у мальчиков на функциональную нагрузку определяется исходным уровнем его активности. Типы выявленных реакций физиологически совершенно равноправны, так как в эксперименте участвовали практически здоровые дети и никаких различий в состоянии испытуемых после тестирующей физической нагрузки не было. Величины, с которых происходило снижение или повышение активности гипофиза при выявленных типах реакции, находились в границах гомеостатического уровня

функционирования гипофиза, то есть в зоне оптимального реагирования гипофиза на предъявляемое воздействие.

Анализ индивидуальных показателей уровня соматотропина у каждого испытуемого в сопоставлении со средним базовым уровнем в пределах популяции позволяет получить ряд дополнительных характеристик функционирования гипофиза, позволяющих более объективно оценить его адаптационные возможности. К ним относятся: функциональный резерв, определяемый по разности между минимальной и максимальной активностью соматотропной функции гипофиза в пределах каждой возрастной группы; индивидуальный диапазон колебаний его активности (различие между большей и меньшей концентрацией у каждого испытуемого); коэффициент вариации.

Максимальная активность гипофиза у мальчиков в условиях физической нагрузки мощностью PWC_{170} составила в среднем $6,1 \pm 0,3$ нг/мл, минимальная – $1,7 \pm 0,1$ нг/мл; амплитуда колебания – $4,5 \pm 0,3$ нг/мл.

Анализ динамики изменения уровня соматотропина в ответ на физическую нагрузку в условиях велоэргометрии при тесте $VO_2 \max$ показал, что непосредственно после нагрузки концентрация соматотропина существенно возросла, составив в среднем $7,7 \pm 2,7$ нг/мл ($P < 0,05$). При этом при физической нагрузке большой мощности уровень повышения активности гипофиза (по соматотропину) был в среднем в 3 раза выше, чем при нагрузке мощностью PWC_{170} . От мощности и длительности нагрузки зависят не только количественные сдвиги, но и скорость перехода гипофиза на новый уровень функционирования и время нахождения в состоянии высокой активности. Коэффициент вариации резко увеличился и был равен 121,6%. В дальнейшем, на 15-й, 30-й, 45-й минутах, активность гипофиза оставалась столь же высокой и принципиально не отличалась от показателей уровня гормона непосредственно сразу после нагрузки, но динамика коэффициента вариации свидетельствует о стабилизации уровня активности гипофиза к 15-й минуте после нагрузки (коэффициент вариации сначала увеличился с 52% до 121%, а затем снизился до 70% и в дальнейшем существенно не менялся) (табл. 3). Вообще независимо от мощности и объема выполняемой физической работы нами установлено повышение коэффициента вариации показателей концентрации соматотропина в первые минуты после физической нагрузки, тогда как уровень гормона достигает своего максимального значения несколько позже. Это означает, что перестройка соматотропной функции гипофиза на новый уровень функционирования имеет четко выраженный индивидуальный характер: у одних обследованных она происходит относительно быстро, а у других – медленнее.

Таблица 3

Показатели ($M \pm m$) концентрации соматотропина (нг/мл) в плазме крови у мальчиков при физической нагрузке (тесте $VO_2 \max$)

Исследуемый показатель	Периоды исследования				
	до нагрузки	сразу после нагрузки	через 15 мин	через 30 мин	через 45 мин
Абсолютная концентрация	$1,0 \pm 0,2$	$7,7 \pm 2,7$	$7,8 \pm 1,6$	$7,3 \pm 2,3$	$7,9 \pm 1,8$
Вариабельность	0,3–1,6	0,6–16,0	2,4–14,3	2,3–13,0	1,4–14,9
Коэффициент вариации	52%	121%	70%	65%	77%

Динамика показателей абсолютного прироста концентрации соматотропина на предельную физическую нагрузку в условиях теста $VO_2 \max$ отражала однонаправленность реакции, когда наблюдалось только повышение активности гипофиза. Это связано с низкой исходной активностью гипофиза в пределах обследованного контингента в возрасте 16–17 лет. При этом максимальная активность гипофиза у юношей за весь период исследования составила $9,6 \pm 1,4$ нг/мл, минимальная – $0,9 \pm 0,1$ нг/мл, амплитуда колебания – $8,7 \pm 1,3$ нг/мл. Тогда как в условиях физической нагрузки мощностью PWC_{170} максимальная активность гипофиза в возрасте 16–17 лет составляла $18,0$ нг/мл, минимальная – $0,5$ нг/мл, амплитуда колебания – $17,5$ нг/мл. Это свидетельствует, что в условиях субмаксимальной физической нагрузки бо-

лее адекватно выявляются резервные возможности соматотропной функции гипофиза.

В целом анализ полученных результатов у мальчиков в условиях физической нагрузки при тесте $\text{VO}_2 \text{ max}$ показал: чем больше по мощности и продолжительности нагрузка, тем быстрее наступает повышение активности гипофиза и тем быстрее уровень соматотропина достигает максимального уровня, имеющий более пролонгированный характер. В наших исследованиях работа на велоэргометре в среднем выполнялась до предела в течение $9,8 \pm 0,2$ минут. В этом плане вполне логично, что реакция гипофиза достигала своего максимального значения непосредственно после нагрузки. Несмотря на то, что наиболее интенсивное увеличение концентрации соматотропина выявлено непосредственно после нагрузки, гипофиз продолжает находиться в состоянии стабильно повышенной активности не менее 45 минут после физической нагрузки.

С целью изучения развития соматотропной функции гипофиза мы проследили возрастную динамику уровня соматотропина и особенности реакции гипофиза на физическую нагрузку мощностью PWC_{170} у мальчиков в различные возрастные периоды (табл. 4).

Результаты исследования показали, что фоновый (до нагрузки) уровень активности гипофиза в различные возрастные периоды характеризуется волнообразными сдвигами. Так, у мальчиков 10–11 лет уровень соматотропина был значительно выше, чем в возрасте 7–9 лет ($P < 0,05$). В возрасте 12–13 лет уровень гормона заметно снижается по сравнению с предыдущей возрастной группой ($P < 0,05$). В последующий возрастной период (14–15 лет) уровень гормона вновь возрастает ($P < 0,01$), и лишь в возрасте 16–17 лет он практически не изменяется по сравнению с предшествующим периодом (табл. 4).

Таблица 4

Показатели ($M \pm m$) содержания соматотропина (нг/мл) в плазме крови у мальчиков разного возраста при физической нагрузке мощностью PWC_{170}

Период исследования	Возраст (годы)				
	7–9	10–11	12–13	14–15	16–17
До нагрузки	$1,7 \pm 0,6$	$3,6 \pm 0,7$	$1,8 \pm 0,6$	$3,7 \pm 0,6$	$3,8 \pm 0,7$
	0,5–5,7	0,5–13,0	0,7–5,7	0,6–13,8	0,6–18,0
Через 15 мин	$2,3 \pm 0,4$	$2,7 \pm 0,7$	$4,4 \pm 0,7$	$2,8 \pm 0,6$	$3,5 \pm 0,6$
	0,3–3,4	0,7–6,8	0,4–12,2	0,7–11,5	0,5–15,0
Через 45 мин	$4,0 \pm 1,0$	$3,4 \pm 0,5$	$5,3 \pm 1,0$	$5,3 \pm 0,7$	$6,2 \pm 0,8$
	0,7–9,6	0,7–8,9	0,4–18,0	0,8–14,0	0,5–18,0
Число обследованных	8	23	20	27	34

Обращает на себя внимание незначительная дисперсия индивидуальных показателей уровня гормона в ранние возрастные периоды и ее увеличение с возрастом. Особенно значительная вариативность уровня гормона отмечается в возрасте 16–17 лет.

Анализ реакции гипофиза в условиях физической нагрузки в зависимости от хронологического возраста выявил общую особенность для всех возрастных групп: наибольшего значения концентрация соматотропина достигала на 45-й минуте после физической нагрузки. Наибольший диапазон колебаний активности гипофиза достигал в 12–13 лет, реактивность гипофиза возросла в среднем в 2,9 раза. Именно в этот возрастной период начинается и интенсивно происходит пубертатный «скачок роста». При этом в 13 лет у мальчиков наблюдался наименьший за весь исследуемый период уровень соматотропина в крови вне нагрузки ($1,3 \pm 0,2$ нг/мл), что в среднем ниже в 1,8 раза, чем в возрасте 12 лет ($2,4 \pm 0,9$ нг/мл). Однако именно в возрасте 13 лет отмечался самый значительный прирост ($220,0 \pm 1,1\%$) гормона на физическую нагрузку мощностью PWC_{170} (до $5,3 \pm 0,9$ нг/мл на фоне самых высоких темпов прироста длины и массы тела). Если амплитуда колебаний в возрасте 12 лет составила 2,7 нг/мл, то в 13 лет – 4,0 нг/мл. Это означает, что один лишь исходный показатель концентрации гормона не позволяет в достаточной мере судить об уровне функционирования гипофиза. При оценке возрастной динамики соматотропной функции гипофиза необходимо учитывать не только исходный уровень соматотропина, но и особенности реакции гипофиза (по соматотропину) на нагрузку.

Характер возрастной динамики уровня соматотропина до нагрузки и на 45-й минуте после нее указывает на гетерохронный характер развития соматотропной функции гипофиза. Проведенный анализ внутри каждой возрастной группы показал, что в возрасте 11, 14 и 17 лет отмечаются наименьшие сдвиги концентрации СТГ в крови на нагрузку мощностью PWC_{170} на фоне самых высоких концентраций гормона вне нагрузки.

Уровень изменения концентрации соматотропина в крови под воздействием физической нагрузки в определенной степени отражает не только резервные и адаптивные возможности гипофиза (по соматотропину), но и потенциальные ростовые возможности. Известно, что соматотропин, обладая метаболическим и морфогенетическим действием, оказывает существенное, порой решающее влияние на процессы роста, дифференцировки и формирования. Все это позволяет заключить, что регулярные физические нагрузки, адекватные адаптивным возможностям организма, оказывают наибольшее влияние на ход соматического развития в возрасте 13 лет, который у мальчиков является узловым периодом в реализации соматического развития.

Важную роль в адаптивно-приспособительных реакциях организма играет кортизол, составляющий около 80% всех гормонов коры надпочечников. Одновременное изучение реакции гипофиза и коры надпочечников на различные нагрузки и сравнительная оценка их потенциальных возможностей представляет особый интерес и позволяет шире охарактеризовать эндокринологические аспекты стресс-реакции и адаптации. Несмотря на то, что один гормон (соматотропин) представляет центральную железу (гипофиз), а другой (кортизол) периферическую (надпочечники), соматотропин и кортизол являются продуктами конечных звеньев в цепи регуляции и адаптации, поэтому в условиях стресс-нагрузок вполне правомерно сравнивать уровень соматотропина с кортизолом.

Исходный уровень кортизола у мальчиков варьировал в пределах от 1,3 до 105 нг/мл, составив в среднем $32,5 \pm 2,5$ нг/мл с коэффициентом вариации 74,9%. В ответ на физическую нагрузку мощностью PWC_{170} выявлено достоверное снижение активности коры надпочечников: на 15-й и 45-й минутах концентрация кортизола была ниже исходного уровня ($P < 0,01$). Коэффициент вариации уровня гормона незначительно повышается после нагрузки по сравнению с исходным (табл. 5).

При этом выявлено три типа реакции коры надпочечников на нагрузку. В большинстве случаев (у 55,4%) наблюдался первый тип – снижение уровня кортизола при высокой исходной активности надпочечников ($P < 0,001$). Второй и третий типы – повышение уровня гормона соответственно на 15-й (в 20,7% случаев) и 45-й минутах (в 23,9% случаев) ($P < 0,01$ и $P < 0,001$) – наблюдались реже (табл. 5).

Таблица 5

Зависимость характера реакции коры надпочечников на физическую нагрузку мощностью PWC_{170} от исходной концентрации (нг/мл) кортизола в плазме крови у мальчиков

Тип реакции	Число наблюдений	Периоды исследования		
		до нагрузки	через 15 мин	через 45 мин
Первый	51	$48,6 \pm 2,7$	$16,8 \pm 2,0$	$17,1 \pm 2,5$
		18,1–92,5	1,9–41,2	1,9–65,0
		–	$P < 0,001$	$P < 0,001$
Второй	19	$14,5 \pm 4,3$	$40,7 \pm 7,9$	$18,8 \pm 4,5$
		2,8–77,5	14,4–125,0	3,4–61,3
		–	$P < 0,05$	$P < 0,05$
Третий	22	$16,4 \pm 3,3$	$19,3 \pm 4,3$	$47,2 \pm 7,1$
		1,3–12,5	4,5–32,5	11,5–106,0
		–	$P < 0,05$	$P < 0,01$

Вариативность индивидуальных показателей в условиях физической нагрузки возросла и была наиболее значительной на 30-й минуте после нагрузки (84,2% против 51,3% в исходном); в последующем указанный коэффициент волнообразно изменялся. Максимальная активность коры надпочечников (по кортизолу) за исследуемый период составила

62,4±9,4 нг/мл, минимальная – 26,6±6,4 нг/мл, амплитуда колебания – 35,6±5,6 нг/мл.

Таким образом, видна разная направленность реакции гипофиза и коры надпочечников под влиянием субмаксимальной физической нагрузки. Если наибольшая реактивность гипофиза была отмечена на 45-й минуте после нагрузки, то для коры надпочечников – на 15-й минуте. При этом реактивность гипофиза выше в 3 раза по сравнению с таковой у коры надпочечников под влиянием нагрузки одного типа. Отмечено, что реакция как гипофиза, так и коры надпочечников в каждом конкретном случае зависела от величины исходной их активности.

Выявлен одинаковый характер динамики коэффициентов вариации показателей уровней обоих гормонов в условиях физической нагрузки, когда наибольшего значения он достигает на 15-й минуте после нагрузки (табл. 6).

Таблица 6

Показатели ($M \pm m$) концентрации кортизола (нг/мл) в плазме крови у мальчиков при физической нагрузке мощностью PWC_{170}

Исследуемый показатель	Периоды исследования		
	до нагрузки	через 15 мин	через 45 мин
Абсолютная концентрация	32,3±2,5	22,5±2,3	24,5±2,5
Вариабельность	105,0–1,3	125,0–1,6	106,0–1,3
Коэффициент вариации	74,9%	98,7%	97,7%

При корреляционном анализе не обнаружено зависимости между уровнем активности кортизола и соматотропина как до нагрузки, так и на 15-й и 45-й минутах после нее. Уровень активности кортизола на 15-й и 45-й минутах физической нагрузки не коррелировал с исходным уровнем соматотропина. Не установлено также корреляционной зависимости между уровнем активности соматотропина на 15-й, 45-й минутах после нагрузки и фоновой активностью кортизола.

Под влиянием физической нагрузки большей мощности (работа на велоэргометре до отказа) концентрация соматотропина достигает максимума (7,7±2,7 нг/мл) сразу после нагрузки и сохраняется на этом стабильном уровне до 45-й минуты, превышая исходный примерно в 7 раз ($P < 0,05$). В этих же условиях концентрация кортизола сразу после нагрузки снижается (с 36,5±5,4 до 27,8±10,5 нг/мл, $P > 0,05$), а через 15 минут возрастает до 69,4±6,5 нг/мл ($P < 0,01$) и сохраняется на этом уровне вплоть до 45-й минуты.

Таким образом, концентрация соматотропина достигает максимального значения в момент непосредственно после нагрузки и остается столь же высокой в последующие сроки наблюдения. Изменения же концентрации кортизола под влиянием той же нагрузки имеют фазовый характер, характеризуясь чередованием снижения и повышения показателей.

Реактивность коры надпочечников под влиянием физической нагрузки у подростков при велоэргометрии примерно в 3,9 раза ниже в сравнении с реактивностью гипофиза в тех же условиях.

Корреляционный анализ показал отсутствие связи между уровнем соматотропина и концентрацией кортизола до нагрузки ($r = -0,10$; $P > 0,05$). Под воздействием физической нагрузки возрастает отрицательная связь между уровнем активности соматотропина и концентрацией кортизола в момент непосредственно после нагрузки и на 45-й минуте, (r соответственно составил $-0,63$; $-0,57$; $P < 0,05$). Надо полагать, что в условиях физической нагрузки большей мощности снижается уровень стрессоустойчивости организма, биохимические и физиологические сдвиги в организме выходят за пределы границ гомеостаза, в результате начинают более четко проявляться межгормональные коррелятивные связи. Вместе с тем не выявлено тесной согласованности между исходным уровнем активности соматотропина и величиной реакции коры надпочечников под влиянием стимула и, наоборот, между фоновым уровнем кортизола и величиной реакции соматотропина в различные сроки после физической нагрузки. Это подтверждается низкой отрицательной корреляцией между ними во все сроки наблюдения.

В литературе есть данные, показывающие, что при 15- и 9-минутной работе на велоэргометре поступление кортизола в кровь происходит с самого начала работы, и к концу

третьей ее минуты уровень гормона достигает наиболее высокого значения; затем содержание кортизола в крови снижается, несмотря на продолжение работы, нередко ниже исходных величин, а в дальнейшем следуют новые волны повышения его концентрации, в основном на уровне выше исходного [9]. Следовательно, волнообразные изменения содержания кортизола в крови имеют место не только после окончания физической нагрузки, но и в процессе самой нагрузки. Так, некоторые авторы отмечают, что за первоначальной фазой активации гипоталамических ядер следует фаза угнетения нейросекреторной функции и в соответствии с этим также коры надпочечников, что обуславливает многофазный характер реакции гипофизарно-надпочечниковой системы [10]. Следует также учесть, что во всех случаях как первоначальное увеличение, так и наступающее затем понижение уровня кортизола в крови начинается со свободной его фракции, которая в условиях физической нагрузки оказалась более изменчивой.

Таким образом, выявленное нами снижение уровня кортизола под влиянием субмаксимальной 5-минутной физической нагрузки является суммарным результатом влияния различных факторов и недостаточно отчетливым показателем уровня функционирования коры надпочечников в условиях данной нагрузки. Вероятно, вызванное снижение уровня кортизола после нагрузки может быть выражением значительного уменьшения концентрации гормона после пикообразного ее увеличения. Во всяком случае, это понижение нельзя считать «парадоксальной» реакцией коры надпочечников на нагрузку. В пользу этого свидетельствуют и данные о том, что активация гипофизарно-адренкортикальной системы происходит уже спустя 1–2 минут после начала действия стрессора, тогда как скрытый период отделения АКТГ и увеличения активности коры надпочечников практически один и тот же и равен всего нескольким минутам [11]. С другой стороны, есть наблюдения, что даже при относительно кратковременных физических нагрузках наблюдается, как правило, повышение содержания кортизола в крови в первые 10 минут от начала нагрузки, с последующими волнообразными изменениями. Так, при выполнении 6-минутной работы на велоэргометре наивысший уровень кортизола отмечается в среднем через 4 минуты после окончания работы, затем концентрация гормона опускается даже ниже исходного уровня [12]. Напротив, другими авторами показано увеличение концентрации кортизола уже через полторы минуты, а к концу третьей минуты работы она часто достигала максимальных величин, снижаясь в дальнейшем [9].

Таким образом, наиболее отчетливая реакция коры надпочечников должна наблюдаться в течение первых 10 минут от начала нагрузки. Этим, по-видимому, и объясняется снижение уровня кортизола, выявленное нами при физической нагрузке мощностью PWC_{170} , так как забор крови производился через 15 минут от конца и 20 минут от начала нагрузки, а сама нагрузка длилась 5 минут. Наряду с этим нельзя также исключить, что в ряде случаев наблюдалась высокая исходная активность, а уровень кортизола, согласно нашим исследованиям, повышается в большей мере тогда, когда исходный уровень концентрации гормона наиболее низкий.

В целом сравнительный анализ показал, что физическая нагрузка при достаточной ее интенсивности и длительности усиливает активность коры надпочечников, тогда как при относительно кратковременной и менее интенсивной нагрузке этого не наблюдается или же реакция не улавливается. Установлено, что степень реактивности коры надпочечников зависит от мощности и объема работы. Так, реактивность коры надпочечников при нагрузке большой мощности возросла в 2,4 раза по сравнению с таковой при нагрузке умеренной мощности. Наряду с этим в условиях предельной нагрузки на велоэргометре отмечена наиболее значительная максимальная активность коры надпочечников и выявлено наибольшее увеличение их функционального резерва.

Выводы

1. В реализации влияния соматотропина на процессы роста у мальчиков ведущее значение имеет не величина концентрации гормона вне нагрузки, а степень ее прироста в ответ на физическую нагрузку, что наиболее отчетливо выявляется в возрасте 13 лет.

2. В сравнении с корой надпочечников (по кортизолу) чувствительность передней доли гипофиза (по соматотропину) к физической нагрузке выше, а реакция ее на нагрузку продолжительнее и устойчивее; напротив, кора надпочечников реагирует на нагрузку быстрее, что отражает роль соматотропина преимущественно в регуляции длительно и относительно медленно протекающих метаболических процессов и кортизола – в быстрой мобилизации адаптивных возможностей организма в условиях воздействия.

3. Повышение или снижение активности гипофиза и надпочечников под влиянием физической нагрузки осуществляется при возможности у каждого из обследованных одного из двух физиологически равноправных типов реакции – повышения концентрации гормона в крови (при относительно низком исходном ее уровне) и снижения (при относительно высоком исходном уровне). Характер суммарного результата определяется преобладанием частоты одного из типов реакции, а также выраженности изменений концентрации гормона при каждом из них.

Примечания:

1. Касаткина Э.П. Современные аспекты роста и развития детей (эндокринная регуляция) // Педиатрия. 1995. № 4. С. 33–36.
2. Гормон роста человека: структура, функции и биологический потенциал / И.И. Воробьев [и др.] // Российский химический журнал. 2005. № 1. С. 46–54.
3. Alon Eliakim, Nemet Dan. The Endocrine Response to Exercise and Training in Young Athletes // Pediatric Exercise Science. 2013. November 25 (4). P. 605.
4. Никулин Б.А., Родионова И.И. Биохимический контроль в спорте. М.: Сов. спорт, 2011. 232 с.
5. Диденко С.Н., Алексанянц Г.Д. Особенности гормонального статуса юных гандболистов // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. 2004. № 4 (33). С. 42–46.
6. Жуков Ю.Ю. Уровень кортизола как маркер хронического стресса и его влияние на организм спортсмена // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2009. № 9. С. 33–37.
7. Эндокринная система, спорт и двигательная активность / под ред. У.Дж. Кремера и А.Д. Рогола. М.: Олимп. лит., 2008. С. 55–75.
8. Grechishkina S.S., Silantyev M.N., Ivantsov E.A. Integral analysis of functional status of cardiovascular system of students playing football in sports section // Theory and Practice of Physical Culture. 2013. No. 8. P. 54–60.
9. Lehnert G., Leiber H., Scheller K.H. Plasma Cortisol and plasma corticosterone in the stage of adaptation to graduated physical labor // Endocrinology. 1968. Vol. 52. P. 402–405.
10. Сааков А.В., Еремина О.А., Гульянц Э.С. О секреторной деятельности системы гипоталамус-гипофиз-надпочечники при гипертонии // Бюлл. экспер. биол. и мед. 1969. Т. 67. С. 25–29.
11. Эскин И.А. Основы физиологии эндокринных желез. М.: Высш. шк., 1975. 304 с.
12. Виру А.А., Кырге П.К. Гормоны и спортивная работоспособность. М.: ФиС, 1983. 159 с.

References:

1. Kasatkina E.P. Modern aspects of growth and development of children (endocrine regulation) // Pediatrics. 1995. No. 4. P. 33–36.
2. Human growth hormone: structure, functions and biological potential / I.I. Vorobiev [at al.] // Russian Chemical Journal. 2005. No. 1. P. 46–54.
3. Alon Eliakim, Nemet Dan. The Endocrine Response to Exercise and Training in Young Athletes // Pediatric Exercise Science. 2013. November 25 (4). P. 605.
4. Nikulin B.A., Rodionova I.I. Biochemical control in sports. M.: Soviet Sport, 2011. 232 pp.
5. Didenko S.N., Aleksanyants G.D. Features of the hormonal status of young handball players // Pedagogical-psychological and Medico-biological Problems of Physical Culture and Sports. 2004. No. 4 (33). P. 42–46.
6. Zhukov Yu.Yu. Cortisol level as a marker of chronic stress and its effect on the athlete's organism // Scientific Notes of the University of P.F. Lesgaft. 2009. No. 9. P. 33–37.
7. Endocrine system, sports and motor activity / ed. W.J. Kremer and A.D. Rogola. M.: The Olympic Literature, 2008. P. 55–75.
8. Grechishkina S.S., Silantyev M.N., Ivantsov E.A. Integral analysis of functional status of cardiovascular system of students playing football in sports section // Theory and Practice of Physical Culture. 2013. No. 8. P. 54–60.
9. Lehnert G., Leiber H., Scheller K.H. Plasma Cortisol and plasma corticosterone in the stage of adaptation to graduated physical labor // Endocrinology. 1968. Vol. 52. P. 402–405.
10. Saakov A.B., Eremina O.A., Gulyants E.S. O secretory activity of the hypothalamic-pituitary-adrenal system in hypertension // Bull. Expert. Biol. and Med. 1969. Vol. 67. P. 25–29.
11. Eskin I.A. Fundamentals of the physiology of endocrine glands. M.: Vysshaya shkola, 1975. 304 pp.
12. Viru A.A., Kyrge P.K. Hormones and athletic efficiency. M.: Physical Training and Sports, 1983. 159 pp.