

УДК 577.175.5.06/-053.5"465 11/.5"

## РОЛЬ ГОРМОНОВ КОРЫ НАДПОЧЕЧНИКОВ В РЕГУЛЯЦИИ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РАСТУЩЕГО ОРГАНИЗМА

*М.В. Шайхелисламова<sup>1</sup>, Н.Б. Дикопольская<sup>1</sup>, Г.А. Билалова<sup>1</sup>,  
Н.Х. Мансур<sup>2</sup>, Т.Л. Зефирова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия

<sup>2</sup>Университет Дамаска, г. Дамаск, 30621, Сирия

### Аннотация

Исследовалась возрастная динамика экскреции свободного (Ксв), связанного (К) кортизола и метаболитов половых гормонов, ее сдвиг на дозированную физическую нагрузку у мальчиков-спортсменов 11–15 лет. Сравнительная характеристика полученных данных с показателями детей, не занимающихся спортом, позволила установить доминирующее влияние повышенных физических нагрузок на возрастную динамику и резервные возможности коры надпочечников (КН). Так, в 12, 13 и 14 лет экскреция Ксв имеет стабильно высокие значения, а к 15 годам наблюдается ее достоверное снижение при увеличении К. В отличие от мальчиков контрольного класса, у которых содержание Ксв и К существенно ниже, а от 13 к 15 годам отмечается их прогрессирующий рост. Реакция срочной адаптации КН на дозированную физическую нагрузку зависит от возраста юных спортсменов, характеризуется увеличением ее резервных возможностей в 14 и 15 лет, что наблюдается на фоне преобладания анаболических процессов над катаболическими и повышения роли андрогенов в процессе переключения организма от мышечной деятельности к восстановлению.

**Ключевые слова:** кортизол, 17-кетостероиды, дозированная физическая нагрузка, мальчики-спортсмены 11–15 лет

### Введение

Эндокринная регуляция мышечной деятельности организма детей и подростков отличается относительной незрелостью и функциональной неустойчивостью, что проявляется в физиологическом колебании продукции гормонов и медиаторов, изменении чувствительности рецепторного аппарата нервной системы и тканей-мишеней [1, 2]. Даже при систематических мышечных тренировках у детей не наблюдается экономизации функций, которая свойственна взрослым, их физическая работоспособность достигается за счет значительного напряжения эндокринных желез и вегетативных функций [3]. Ключевую роль в регуляции мышечной деятельности организма играет кора надпочечников (КН) [4]. Глюкокортикоиды обеспечивают переход срочных приспособительных реакций в полноценное развитие долговременной адаптации. При этом они не только мобилизуют пластические функции организма, создавая фонд свободных аминокислот в пользу образования жиров и углеводов, но и предупреждают избыточные

тканевые реакции на стресс путем временного регуляторного угнетения синтеза гормонов [5]. Особое значение при оценке глюкокортикоидной функции КН имеет раздельное изучение содержания свободного (Ксв) и связанного кортизола (К). Известно, что 90% выделяемых в кровь глюкокортикоидов связывается со специфическим белком – транскортином, а 10% находится в свободной форме. Комплекс транскортин – глюкокортикоид не обладает гормональной активностью, служит для транспортировки глюкокортикоидов к тканям и является быстро мобилизуемым резервом. Поэтому биологическая активность гормона имеет прямую корреляцию не с общей его концентрацией, а лишь с концентрацией его свободной формы [6].

Важную роль в восстановительном периоде после мышечной нагрузки играют андрогены КН, обладающие белково-анаболическим действием [7]. Кроме того, они могут выступать в качестве защитного механизма, снижающего высокий уровень глюкокортикоидов и опасность катаболического действия на организм [8]. Влияние спортивных тренировок на состояние КН детей и подростков изучалось рядом исследователей [3, 9], которые отмечают неустойчивость ее функциональной активности при мышечной деятельности, когда период усиленной выработки глюкокортикоидов сменяется торможением. При этом чрезмерные мышечные нагрузки и связанное с ними эмоциональное напряжение могут вызывать задержку роста, полового созревания детей, подавлять реакции иммунитета, что обусловлено как прямым катаболическим действием глюкокортикоидов на мышечную соединительную и лимфоидную ткань, так и ингибирующим влиянием на белково-синтетическую функцию соматомедина [1], а также подавляющим действием кортизола на процессы половой дифференцировки и функционирование гонад [10]. Однако в большинстве исследований секреторная активность КН рассматривается лишь как показатель тренированности детей и подростков без учета возрастных особенностей и гормональных перестроек периода полового созревания, когда наблюдается физиологическая гиперфункция гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, сопровождающаяся усиленной выработкой андрогенов и глюкокортикоидов, обладающих определенным биологическим антагонизмом [3]. Мышечные нагрузки на фоне незрелости системы «гипофиз – кора надпочечников» увеличивают риск перехода возрастных эволютивных процессов в эндокринные дисфункции подросткового возраста.

Опираясь на актуальность настоящего исследования, была сформулирована его цель, направленная на изучение возрастной динамики функционального состояния глюкокортикоидной и андрогенной функций КН у юных спортсменов 11–15 лет, степени их участия в процессе срочной адаптации организма к дозированной физической нагрузке.

## 1. Материалы и методы

**1.1. Организация исследования.** В исследовании принимали участие мальчики-спортсмены 11–15 лет (60 чел.), обучающиеся в спортивных специализированных классах школы № 1 г. Казани и занимающиеся хоккеем с шайбой на льду с недельным объемом физической нагрузки 12–14 ч. Для достоверного суждения о специфическом влиянии физической нагрузки на состояние КН параллельно обследовались мальчики контрольного класса, занимающиеся физической

культурой в объеме общеобразовательной школы (40 чел.). Для обследования учащихся было получено добровольное согласие родителей на участие ребенка в исследовании.

**1.2. Определение в моче К.** Содержание К определялось методом хемилюминесцентного иммуноанализа на микрочастицах [11] с использованием оптической системы ARCHITECTi System (США). Тест ARCHITECT Cortisol является одноступенчатым иммунным анализом, в ходе которого образец и парамагнитные микрочастицы, сенсibilизированные анти-кортизолом, смешиваются для образования реакционной смеси. После инкубирования меченый акридином конъюгат кортизола занимает свободные центры на микрочастицах, которые затем промываются, а в реакционную смесь добавляются претриггерный и триггерный растворы. Интенсивность люминесценции измеряется в относительных световых единицах (RLU).

**1.3. Определение в моче Ксв.** Количественное определение Ксв осуществлялось на основе иммуноферментативного колориметрического метода [12] с использованием лабораторной установки Urinary Free Cortisol ELISA (EIA-2989) (Германия). Суть метода сводится к тому, что кортизол, содержащийся в образце (антигене), связывается с антикортизолом (антителом), адсорбированным на микроплате. После инкубационного периода происходит выделение доли свободного кортизола путем тщательного промывания дистиллированной водой и затем протекает реакция с ферментативным субстратом (ТМВ Substrate). Далее образец выдерживается при температуре 22–28 °С в течение 15 мин в условиях темноты для максимального развития цвета, после чего ферментативная реакция останавливается. Концентрация кортизола в образце обратно пропорциональна интенсивности цвета и вычисляется на основе серии стандартов (STD0–STD4).

**1.4. Определение в моче 17-кетостероидов (17-КС).** Количественное определение в моче метаболитов андрогенов проводилось колориметрическим методом на основе реакции Циммермана в модификации М.А. Креховой [13]. Мочу собирали без консерванта и хранили в холодном месте при температуре от 0 °С до –12 °С. После гидролиза производили ее экстракцию эфиром. Очищенный экстракт подвергали инкубации для развития окраски в течение 1 ч. Образовавшийся хлороформный слой смешивали с абсолютным этанолом, измеряли оптическую плотность раствора на фотоэлектроколориметре ФЭК-56ПМ при длине волны 500–560 нм в кюветах толщиной 0.5 см.

Для исключения влияния сезонных ритмов адренкортикальной активности суточная моча собиралась в одно и то же время года – в октябре.

**1.5. Функциональный нагрузочный тест.** Использовалась дозированная велоэргометрическая нагрузка умеренной мощности, составляющей 1.5 Вт на 1 кг массы тела, длительностью 3 мин. Проба проводилась путем вращения испытуемыми педалей велоэргометра «Ритм ВЭ-05» (Украина) в положении сидя. Частота педалирования составляла 60 об./мин. Моча собиралась до нагрузки и в течение часа после нее.

Статистическую обработку полученных результатов проводили общепринятыми методами вариационной статистики. Для оценки достоверности различий использовали *T*-тест, основанный на *t*-критерии Стьюдента.

## 2. Результаты и их обсуждение

**2.1. Изменение глюкокортикоидной и андрогенной функций КН у спортсменов 11–15 лет с возрастом.** Анализ возрастной динамики функционального состояния КН у юных спортсменов 11–15 лет показал, что ее глюкокортикоидная и андрогенная функции имеют свои особенности (рис. 1), а также отличия с мальчиками контрольного класса. Так, суточная экскреция К<sub>св</sub> у спортсменов от 11 лет к 14 годам изменяется незначительно и находится в пределах от  $206.01 \pm 10.34$  до  $242.80 \pm 16.10$  нмоль/сут, а в 15 лет наблюдается ее достоверное снижение на  $32.77$  нмоль/сут по сравнению с 14-летними ( $p < 0.05$ ). Такая возрастная динамика экскреции кортизола не согласуется с данными литературы о закономерностях становления КН с возрастом [3, 14] и отличается от показателей мальчиков контрольного класса, у которых, во-первых, экскреция К<sub>св</sub> в 1.6–1.9 раз ниже, чем у хоккеистов (разница в абсолютных цифрах находится в пределах от  $27.50$  до  $112.55$  нмоль/сут и достоверна в 12, 13 и 14 лет ( $p < 0.05$ )). Во-вторых, у мальчиков, не занимающихся спортом, от 13 лет к 14 и 15 годам отмечается достоверное увеличение экскреции К<sub>св</sub> на  $39.05$  нмоль/сут ( $p < 0.05$ ) и  $31.43$  нмоль/сут ( $p < 0.05$ ), что отражает основные тенденции развития КН в подростковом возрасте, согласно которым первый значительный прирост кортизола у мальчиков отмечен в 14 лет. Особый интерес представляет сравнительный анализ экскреции К<sub>св</sub> и К (рис. 2). Было установлено, что у мальчиков-спортсменов с возрастом она изменяется разнонаправлено – на фоне снижения К<sub>св</sub> от 14 лет к 15 годам отмечаются стабильные и относительно высокие показатели К (в пределах от  $56.18 \pm 2.80$  до  $60.32 \pm 4.06$  мкг/сут) и их достоверный прирост в 13 лет ( $p < 0.05$ ), что может свидетельствовать о формировании быстро мобилизуемого и достаточно стабильного резерва глюкокортикоидов в процессе долговременной адаптации детей к повышенным физическим нагрузкам. В контрольном классе экскреция К соответствует динамике К<sub>св</sub>, она характеризуется постоянными значениями в 11–13 лет (от  $32.45 \pm 1.34$  до  $39.84 \pm 1.69$  мкг/сут), увеличением к 14 годам ( $p < 0.05$ ) и максимальным приростом в 15 лет на  $14.56$  мкг/сут ( $p < 0.05$ ). При этом у мальчиков, не занимающихся спортом, уровень К существенно ниже, чем у спортсменов в 11–14 лет ( $p < 0.05$ ) (различия в пределах от  $6.00$  до  $14.02$  мкг/сут). Согласно данным литературы [6], специфические транспортные белки являются неотъемлемой частью «физиологической организации» эндокринной функции, в частности транскортин-глюкокортикоидной функции КН. При этом известно, что транскортин относится к семейству белков, постоянно присутствующих в плазме крови в высоких концентрациях [15] на всех этапах онтогенеза. Поэтому наблюдаемый нами одновременный скачок экскреции К и К<sub>св</sub> в 14 и 15 лет у детей контрольного класса, по всей вероятности, свидетельствует о повышении насыщения кортизол-связывающего глобулина в результате усиления продукции железой гормона.

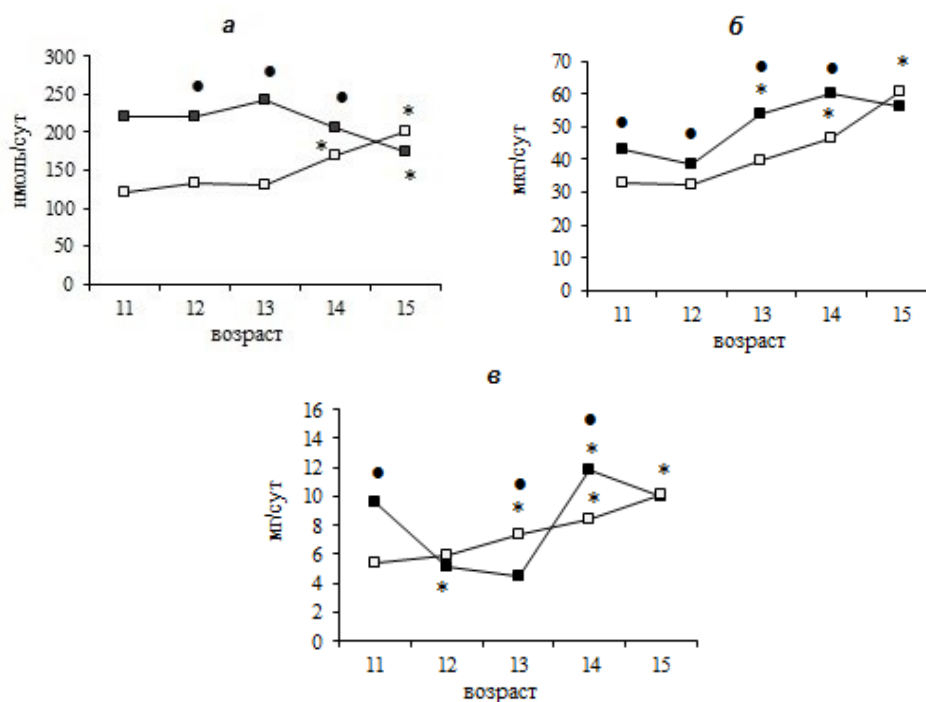


Рис. 1. Показатели экскреции кортизола и 17-кетостероидов у мальчиков 11–15 лет. Примечание: а – К<sub>св</sub>; б – К; в – 17-КС; ■ – спортивный класс, □ – контрольный класс. \* – различия по сравнению с предыдущим возрастом достоверны при  $p < 0.05$ ; ● – различия между спортивным и контрольным классами достоверны при  $p < 0.05$

Анализ суточной экскреции метаболитов половых гормонов выявил иную динамику, в большей степени отражающую роль андрогенов КН и половых желез в регуляции роста и полового развития мальчиков. Так, у юных спортсменов экскреция 17-КС, не превышающая  $5.16 \pm 0.28$  мг/сут в 12 и 13 лет, сменяется резким ее скачком в 14-летнем возрасте на  $7.40$  мг/сут ( $p < 0.05$ ) (рис. 1), в 15 лет она остается также на высоком уровне ( $10.04 \pm 0.70$  мг/сут). Нельзя исключать и роли андрогенов в регуляции мышечной деятельности [7], их биологического антагонизма с глюкокортикоидами, обладающими катаболическим влиянием на организм [8]. В связи с этим обращают на себя внимание спортсмены 11 и 15 лет. Так, в 11-летнем возрасте наблюдается неожиданно высокая экскреция 17-КС, составляющая  $9.62 \pm 0.64$  мг/сут, которая на  $4.24$  мг/сут превышает показатели контрольного класса ( $p < 0.05$ ) и на  $4.46$  мг/сут – показатели 12-летних спортсменов ( $p < 0.05$ ). Скачок экскреции 17-КС на начальном этапе тренировочного процесса (11 лет) в сочетании с относительно высоким уровнем К<sub>св</sub> указывает на стрессорное воздействие физических нагрузок и возможное участие андрогенов в регуляции физической работоспособности спортсменов.

В 15 лет экскреция 17-КС и К<sub>св</sub> имеет разнонаправленную динамику – наблюдается снижение К<sub>св</sub> по сравнению с 14-летними на фоне стабильно высоких значений 17-КС. Это может отражать возможные конкурентные взаимоотношения половых гормонов и кортизола на уровне цитоплазматических рецепторов скелетных мышц [16], когда при больших концентрациях андрогенов

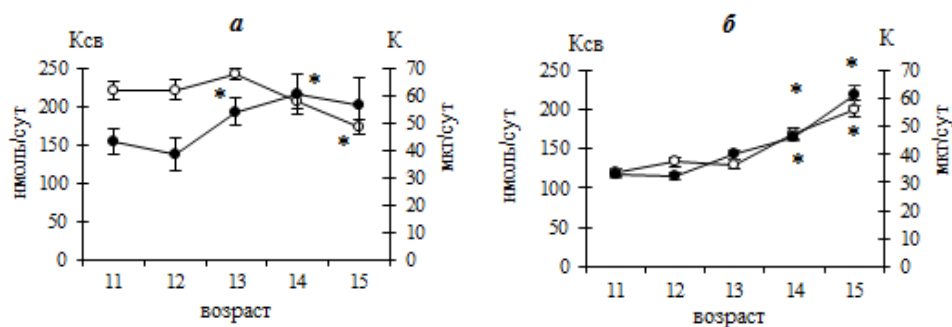


Рис. 2. Показатели экскреции свободного и связанного кортизола у мальчиков 11–15 лет. Примечание: *а* – спортивный класс, *б* – контрольный класс,  $\circ$  – Ксв,  $\bullet$  – К, \* – различия по сравнению с предыдущим возрастом достоверны при  $p < 0.05$

происходит их связывание с глюкокортикоидными рецепторами, приводящее к подавлению биологического действия последних.

**2.2. Реакция срочной адаптации глюкокортикоидной и андрогенной функций КН на дозированную физическую нагрузку у юных спортсменов 11–15 лет.** Проведенный анализ показал, что реакция глюкокортикоидной и андрогенной функций КН на дозированную велоэргометрическую нагрузку имеет свои особенности и зависит от возраста спортсменов (рис. 3). Так, у мальчиков 11, 12 и 13 лет тестирующая функциональная нагрузка вызывает увеличение экскреции Ксв, которое в большей степени проявляется в 11-летнем возрасте – 118.70 нмоль/ч ( $p < 0.05$ ), в 12 лет оно составляет 39.04 нмоль/ч ( $p < 0.05$ ), а в 13 – лишь 22.80 нмоль/ч и недостоверно, что в процентном выражении соответствует – 70.86%, 15.39% и 8.10%. Усиление адренокортикальной активности в ответ на дозированные физические нагрузки – адекватная реакция организма особенно в период адаптации к интенсивному тренировочному режиму [4, 5]. Однако в 14- и 15-летнем возрасте реакция приобретает иной характер, наблюдается существенное снижение экскреции кортизола, составляющее 41.17 нмоль/ч ( $p < 0.05$ ) (22.69%) и 37.54 нмоль/ч ( $p < 0.05$ ) (18.71%) в каждом возрасте соответственно. Вероятно, с возрастом по мере увеличения тренированности юных хоккеистов повышается резистентность их организма к мышечной нагрузке как к стрессору. Согласно литературным данным, в процессе адаптации организма к систематической мышечной деятельности могут наступать изменения, сопровождающиеся уменьшением количества глюкокортикоидных рецепторов в цитоплазме клеток скелетных мышц, а также изменением чувствительности тканей к гормонам [15]. Иная динамика наблюдается в экскреции К: в отличие от Ксв, дозированная физическая нагрузка вызывает у спортсменов 11 и 12 лет его достоверное снижение, составляющее 13.31 мкг/ч ( $p < 0.05$ ) и 16.24 мкг/ч ( $p < 0.05$ ) соответственно.

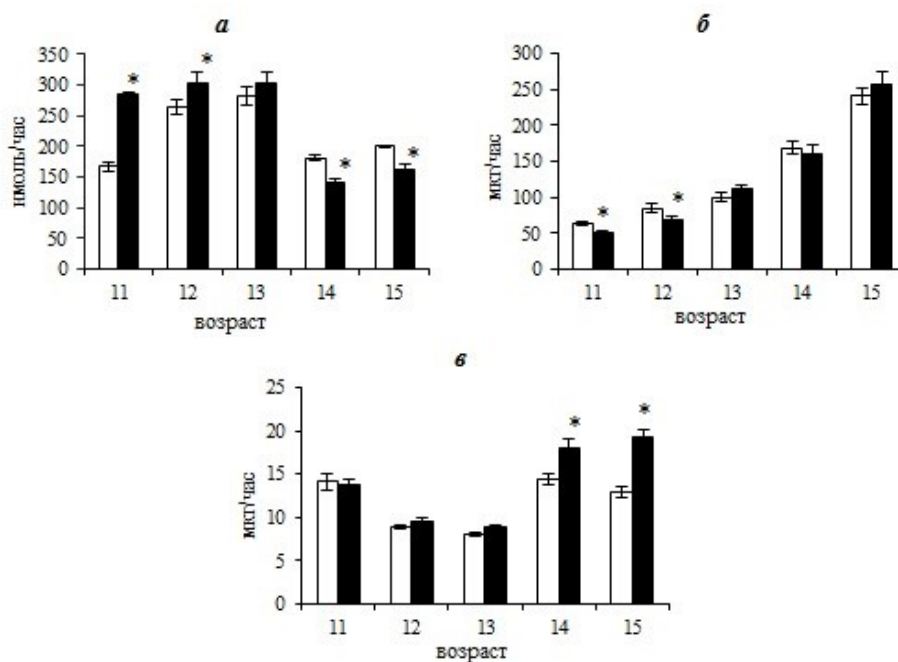


Рис. 3. Изменение экскреции кортизола и 17-кетостероидов у юных спортсменов в ответ на дозированную физическую нагрузку ( $M \pm m$ ). Примечание: а – Ксв; б – К; в – 17-КС; □ – до нагрузки, ■ – после нагрузки. \* – различия по сравнению с состоянием покоя достоверны при  $p < 0.05$

Снижение К в сочетании с резким увеличением Ксв может свидетельствовать о функциональном напряжении КН у юных хоккеистов и снижении резерва глюкокортикоидов на этапе адаптации к интенсивной мышечной деятельности. С возрастом наблюдается стабилизация экскреции К: в 14 и 15 лет она практически не отличается от нагрузочных значений, а в 13 лет имеет явно выраженную тенденцию к увеличению на  $11.29$  мкг/ч. Стабильные и относительно высокие показатели К на фоне снижения Ксв у спортсменов 14 и 15 лет, выявляемые после физической нагрузки, могут указывать на совершенствование глюкокортикоидной функции КН и формирование ее резерва в процессе долговременной адаптации мальчиков к повышенной физической нагрузке. Далее было показано, что реакция андрогенной функции КН в ответ на функциональный тест у юных спортсменов имеет особенности и изменяется с возрастом. Так, в 11–13 лет отсутствуют какие-либо сдвиги в экскреции 17-КС, если в покое она находится в пределах от  $8.10 \pm 0.18$  до  $14.10 \pm 0.92$  мкг/ч, то после нагрузки в среднем она составляет не более  $13.75 \pm 0.72$  мкг/ч. Однако у спортсменов 14 и 15 лет наблюдается существенное увеличение экскреции метаболитов половых гормонов – на  $3.69$  и  $6.23$  мкг/ч ( $p < 0.05$ ). Это может указывать на возможное участие андрогенов в регуляции мышечной деятельности юных хоккеистов, о чем свидетельствуют и данные литературы о влиянии андрогенов на метаболизм скелетных мышц через андрогенные рецепторы [7, 16].

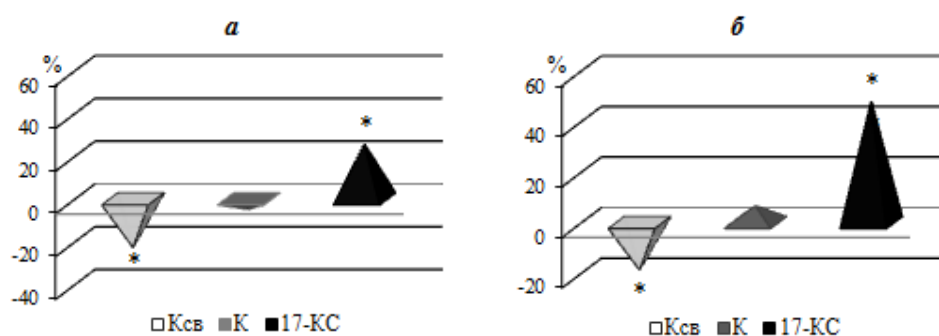


Рис. 4. Сдвиг экскреции кортизола и 17-кетостероидов в ответ на дозированную физическую нагрузку у спортсменов 14 и 15 лет (%). Примечание: *a* – 14 лет, *б* – 15 лет, \* – различия по сравнению с состоянием покоя достоверны при  $p < 0.05$

Обращает на себя внимание тот факт, что у юных хоккеистов 14 и 15 лет сдвиг в экскреции Ксв и метаболитов половых гормонов носит разнонаправленный характер – достоверное снижение Ксв сочетается со столь же существенным увеличением 17-КС (рис. 4). Это может свидетельствовать о преобладании анаболических процессов над катаболическими и высокой эффективности переключения организма от мышечной деятельности к восстановлению. Таким образом, дозированная физическая нагрузка позволила выявить функциональные возможности КН, характер ее возрастных изменений у юных спортсменов 11–15 лет. Установлено существенное увеличение экскреции Ксв в 11–13 лет и ее снижение к 15-летнему возрасту, которое наблюдается на фоне стабилизации уровня К. При этом имеет место достоверное увеличение экскреции метаболитов половых гормонов в восстановительном периоде, что в целом может свидетельствовать о совершенствовании функций КН у спортсменов с возрастом и повышении роли андрогенов в переключении организма от мышечной деятельности к восстановлению.

### Заключение

Согласно результатам нашего исследования физическая нагрузка в виде систематических спортивных тренировок является доминирующим фактором в развитии функциональных и адаптационных возможностей КН у мальчиков 11–15 лет, при этом доказана ее ключевая роль в регуляции мышечной деятельности растущего организма. Высокие показатели экскреции Ксв, К и 17-КС у спортсменов в 11 лет, существенно превосходящие значения мальчиков контрольного класса, указывают на стрессорное воздействие повышенных физических нагрузок на начальном этапе тренировочного процесса, а также определенное участие кортизола и андрогенов КН в регуляции физической работоспособности детей. Снижение Ксв в 15 лет на фоне стабильно высоких значений К может свидетельствовать о формировании резерва глюкокортикоидов и повышении резистентности организма спортсменов к повышенным физическим нагрузкам. О совершенствовании гормонального механизма регуляции мышечной деятельности у спортсменов с возрастом свидетельствует реакция срочной адаптации на дозированную физическую нагрузку, которая в 14 и 15 лет сопровождается существенным повышением экскреции 17-КС при снижении Ксв и стабилизации



уровня К в восстановительном периоде. Это может указывать на преобладание анаболических процессов над катаболическими, возрастание роли андрогенов в переключении организма от мышечной деятельности к восстановлению.

### Литература

1. *Lebenthal Y., Gat-Yablonski G., Shtatif B., Padoa A., Phillip M., Lazar L.* Effect of sex hormone administration on circulating ghrelin levels in peripubertal children // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* – 2006. – V. 91, No 1. – P. 328–331. – doi: 10.1210/jc.2005-0204.
2. *Zuckerman-Levin N.A., Hochberg Z., Latzer Y.* Bone health in eating disorders // *Obes. Rev.* – 2014. – V 15, No 3. – P. 215–223. – doi: 10.1111/obr.12117.
3. *Сельверова Н.Б.* Бинарность гормональных влияний в обеспечении физического и психического развития // *Материалы Междунар. конф. «Физиология развития человека».* – М.: Вердана, 2009. – С. 165–166.
4. *Osayande O.E., Ogbonmwan E.E., Adebayo O.K.* Adrenocortical response to competitive athletics in students from a Nigerian tertiary institution // *Afr. J. Biomed. Res.* – 2017. – V. 20, No 3. – P. 257–259.
5. *Monasterio E., Mei-Dan O., Hackney A.C., Lane A.R., Zwir I., Rozsa S., Cloninger C.R.* Stress reactivity and personality in extreme sport athletes: The psychobiology of BASE jumpers // *Physiol. Behav.* – 2016. – V. 167. – P. 289–297. – doi: 10.1016/j.physbeh.2016.09.025.
6. *Сапронов Н.С., Байрамов А.А.* Холинергические механизмы регуляции мужской половой функции. – СПб.: Арт-экспресс. – 2013. – 272 с.
7. *Al-Khelaiifi F., Diboun I., Donati F., Botrè F., Alsayrafi M., Georgakopoulos C., Suhre K., Yousri N.A., Elrayess M.A.* A pilot study comparing the metabolic profiles of elite-level athletes from different sporting disciplines // *Sports Med. – Open.* – 2018. – V. 4, No 1. – Art. 2, P. 3–15. – doi: 10.1186/s40798-017-0114-z.
8. *Drain J.R., Groeller H., Burley S.D., Nindl B.C.* Hormonal response patterns are differentially influenced by physical conditioning programs during basic military training // *J. Sci. Med. Sport.* – 2017. – V. 20, Suppl. 4. – P. 98–103. – doi: 10.1016/j.jsams.2017.08.020.
9. *Lozano-Berges G., Matute-Llorente Á., González-Agüero A., Vicente-Rodríguez G., Casajús J.A.* Soccer helps build strong bones during growth: A systematic review and meta-analysis // *Eur. J. Pediatr.* – 2018. – V. 177, No 3. – P. 295–310. – doi: 10.1007/s00431-017-3060-3.
10. *Кузнецова Е.А., Адамчик А.С., Гончаров Н.П., Каця Г.В.* Диагностическое значение суточных колебаний свободных форм тестостерона и кортизола при ожирении и метаболическом синдроме у мужчин до 50 лет // *Андрология и генитальная хирургия.* – 2016. – № 1. – С. 28–33. – doi: 10.17650/2070-9781-2016-17-1-28-33.
11. *Collins W.P., Barnard G.J., Kim J.B., Kohen F.* Chemiluminescence immunoassays for plasma steroids and urinary steroid metabolites // *Hunter W.M., Corrie J.E.T. (Eds.) Chemistry Immunoassays for Clinical Chemistry.* – Edinburgh; N. Y.: Churchill Livingstone, 1983. – P. 373–397.
12. *Henry J.B.* *Clinical Diagnosis and Management by Laboratory Methods.* – W.B. Saunders Comp., 1991. – 1472 p.
13. *Колб В.Г., Камышников В.С.* *Клиническая биохимия.* – Минск: Беларусь, 1976. – 311 с.
14. *Држевецкая И.А.* *Эндокринная система растущего организма.* – М.: Высш. шк., 1987. – 208 с.
15. *Главы из спортивной физиологии: лекции для слушателей фак. повышения квалификации (преподавателей физиологии, биохимии, анатомии, гигиены, спортивной медицины) / Сост. А.А. Виру, Н.Н. Яковлев.* – Тарту: Тарт. гос. ун-т, 1988. – 134 с.

16. *Ostrander M.M., Ulrich-Lai Y.M., Choi D.C., Richtand N.M., Herman J.P.* Hypoactivity of the hypothalamo-pituitary-adrenocortical axis during recovery from chronic variable stress // *Endocrinology*. – 2006. – V. 147, No 4. – P. 2008–2017. – doi: 10.1210/en.2005-1041.

Поступила в редакцию  
26.06.18

**Шайхелисламова Мария Владимировна**, доктор биологических наук, профессор кафедры охраны здоровья человека

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия

**Дикопольская Наталья Борисовна**, кандидат биологических наук, доцент кафедры охраны здоровья человека

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия  
E-mail: *bettydn@mail.ru*

**Билалова Гульфия Альбертовна**, кандидат биологических наук, доцент кафедры охраны здоровья человека

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия  
E-mail: *g.bilalova@mail.ru*

**Мансур Нур Хуссейн**, выпускник

Университет Дамаска  
г. Дамаск, 30621, Сирия  
E-mail: *kafanatomk@mail.ru*

**Зефиров Тимур Львович**, доктор медицинских наук, профессор кафедры охраны здоровья человека

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия  
E-mail: *zefirovtl@mail.ru*

ISSN 2542-064X (Print)  
ISSN 2500-218X (Online)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI  
(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2018, vol. 160, no. 4, pp. 579–590

**The Role of Hormones of the Adrenal Cortex  
in Regulation of the Muscular Activity of a Growing Organism**

*M.V. Shaykhelislamova<sup>a</sup>, N.B. Dikopolskaya<sup>a\*</sup>, G.A. Bilalova<sup>a\*\*</sup>,  
N.H. Mansour<sup>b\*\*\*</sup>, T.L. Zefirov<sup>a\*\*\*\*</sup>*

<sup>a</sup>*Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia*

<sup>b</sup>*Damascus University, Damascus, 30621 Syria*

E-mail: <sup>\*</sup>*bettydn@mail.ru*, <sup>\*\*</sup>*g.bilalova@mail.ru*,

<sup>\*\*\*</sup>*kafanatomk@mail.ru*, <sup>\*\*\*\*</sup>*zefirovtl@mail.ru*

Received June 26, 2018

**Abstract**

We studied the endocrine mechanisms of urgent and long-term adaptation of children to increased physical stresses and, in particular, the role of hormones of the adrenal cortex in the regulation of

the muscular activity of male athletes aged 11–15 years old. The relevance of the study is determined by the immaturity and functional instability of the hypothalamic-pituitary-adrenal system in children, its physiological hyperfunction during the adolescent period, which, when exposed to high muscular loadings, increases the risk of evolutionary processes transition to the endocrine dysfunction of adolescence. However, in most studies, the secretory activity of adrenal cortex is considered only as an indicator of fitness.

The age-related dynamics of glucocorticoid and androgenic function of adrenal cortex in 11–15-year-old boys engaged in hockey, the degree of their participation in the process of urgent adaptation of the organism to the measured physical load were investigated. The level of urinary excretion of free, bound cortisol, and 17-ketosteroids was analyzed by means of chemiluminescence immunoassay on micro particles using the ARCHITECT i optical system (USA), as well as by the immunoenzymatic colorimetric method using the Urinary Free Cortisol ELISA laboratory unit (EIA-2989). As a functional test, the bicycle ergometric load of moderate power at the rate of 1.5 W per 1 kg of body weight was applied. Having compared the obtained results with the indicators of children that are not involved in sports, it was concluded that the age of 14 and 15 years refers to the period when the reserve of glucocorticoids is formed, thereby increasing the resistance of the bodies of male athletes to physical activity. This is observed with an increase in anabolic processes during the recovery period and with an increase in the role of androgens in switching the body from muscle activity to recovery. The data obtained can serve as a scientific basis for the normalization of the intensity of muscular loads and, taking into account the hormonal status of children, prevention of endocrine dysfunctions in athletes at a young age.

**Keywords:** cortisol, 17-ketosteroids, dosed physical activity, boy athletes aged 11–15 years

#### Figure Captions

Fig. 1. The excretion rates of cortisol and 17-ketosteroids in boys aged 11–15 years. Note:  $a - C_{free}$ ;  $b - C$ ;  $c - 17-KS$ ; ■ – sports class, □ – control class. \* – differences from the previous age group are significant at  $p < 0.05$ ; ● – differences between the class of athletes and the control class are significant at  $p < 0.05$ .

Fig. 2. Free and bound cortisol excretion rates of in boys aged 11–15 years. Note:  $a -$  class of athletes,  $b -$  control class, ○ –  $C_{free}$ , ● –  $C$ , \* – differences from the previous age group are significant at  $p < 0.05$ .

Fig. 3. Changes in the excretion of cortisol and 17-ketosteroids in young athletes as a response to dosed physical load ( $M \pm m$ ). Note:  $a - C_{free}$ ;  $b - C$ ;  $c - 17-KS$ ; □ – before load, ■ – after load. \* – differences from the state of rest are significant at  $p < 0.05$ .

Fig. 4. Shift in the excretion of cortisol and 17-ketosteroids as a response to dosed physical load in athletes aged 14 and 15 years (%). Note:  $a - 14$  years old,  $b - 15$  years old, \* – differences from the state of rest are significant at  $p < 0.05$ .

#### References

1. Lebenthal Y., Gat-Yablonski G., Shtaf B., Padoa A., Phillip M., Lazar L. Effect of sex hormone administration on circulating ghrelin levels in peripubertal children. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 2006, vol. 91, no. 1, pp. 328–331. doi: 10.1210/jc.2005-0204.
2. Zuckerman-Levin N.A., Hochberg Z., Latzer Y. Bone health in eating disorders. *Obes. Rev.*, 2014, vol. 15, no. 3, pp. 215–223. doi: 10.1111/obr.12117.
3. Sel'verova N.B. Binary hormone influences in ensuring physical and mental development. *Materialy Mezhdunar. konf. "Fiziologiya razvitiya cheloveka"* [Proc. Int. Conf. "Physiology of Human Development"]. Moscow, Verdana, 2009, pp. 165–166. (In Russian)
4. Osayande O.E., Ogbonmwan E.E., Adebayo O.K. Adrenocortical response to competitive athletics in students from a Nigerian tertiary institution. *Afr. J. Biomed. Res.*, 2017, vol. 20, no. 3, pp. 257–259.
5. Monasterio E., Mei-Dan O., Hackney A.C., Lane A.R., Zwir I., Rozsa S., Cloninger C.R. Stress reactivity and personality in extreme sport athletes: The psychobiology of BASE jumpers. *Physiol. Behav.*, 2016, vol. 167, pp. 289–297. doi: 10.1016/j.physbeh.2016.09.025.
6. Sapronov N.S., Bairamov A.A. *Kholinergicheskie mekhanizmy regulyatsii muzhskoi polovoi funktsii* [Cholinergic Mechanisms of Male Sexual Function Regulation]. St. Petersburg, Art-ekspress, 2013. 272 p. (In Russian)

7. Al-Khelaifi F., Diboun I., Donati F., Botrè F., Alsayrafi M., Georgakopoulos C., Suhre K., Yousri N.A., Elrayess M.A. A pilot study comparing the metabolic profiles of elite-level athletes from different sporting disciplines. *Sports Med. – Open*, 2018, vol. 4, no. 1, art. 2, pp. 3–15. doi: 10.1186/s40798-017-0114-z.
8. Drain J.R., Groeller H., Burley S.D., Nindl B.C. Hormonal response patterns are differentially influenced by physical conditioning programs during basic military training. *J. Sci. Med. Sport.*, 2017, vol. 20, suppl. 4, pp. 98–103. doi: 10.1016/j.jsams.2017.08.020.
9. Lozano-Berges G., Matute-Llorente Á., González-Agüero A., Vicente-Rodríguez G., Casajús J.A. Soccer helps build strong bones during growth: A systematic review and meta-analysis. *Eur. J. Pediatr.*, 2018, vol. 177, no. 3, pp. 295–310. doi: 10.1007/s00431-017-3060-3.
10. Kuznetsova E.A., Adamchik A.S., Goncharov N.P., Katsiya G.V. Diagnostic value of daily fluctuations in the free form of testosterone and cortisol in men with obesity and metabolic syndrome under the age of 50 years. *Androl. Genital'naya Khir.*, 2016, no. 1, pp. 28–33. doi: 10.17650/2070-9781-2016-17-1-28-33. (In Russian)
11. Collins W.P., Barnard G.J., Kim J.B., Kohen F. Chemiluminescence immunoassays for plasma steroids and urinary steroid metabolites. In: Hunter W.M., Corrie J.E.T. (Eds.) *Chemistry Immunoassays for Clinical Chemistry*. Edinburgh, N.Y., Churchill Livingstone, 1983, pp. 373–397.
12. Henry J.B. *Clinical Diagnosis and Management by Laboratory Methods*. W.B. Saunders Comp., 1991. 1472 p.
13. Kolb V.G., Kamyshnikov V.S. *Klinicheskaya biokhimiya* [Clinical Biochemistry]. Minsk, Belarus', 1976. 311 p. (In Russian)
14. Drzhevitskaya I.A. *Endokrinnaya sistema rastushchego organizma* [The Endocrine System of a Growing Organism]. Moscow, Vyssh. Shk., 1987. 208 p. (In Russian)
15. *Glavy iz sportivnoi fiziologii: leksii dlya slushatelei fak. povysheniya kvalifikatsii (prepodavatelei fiziologii, biokhimii, anatomii, gigeny, sportivnoi meditsiny)* [Chapters from Sports Physiology: Lectures for Students from the Faculty of Advanced Training (Lecturers of Physiology, Biochemistry, Anatomy, Hygiene, and Sports Medicine)]. Tartu, Tart. Gos. Univ., 1988. 134 p. (In Russian)
16. Ostrander M.M., Ulrich-Lai Y.M., Choi D.C., Richtand N.M., Herman J.P. Hypoactivity of the hypothalamo-pituitary-adrenocortical axis during recovery from chronic variable stress. *Endocrinology*, 2006, vol. 147, no. 4, pp. 2008–2017. doi: 10.1210/en.2005-1041.

**Для цитирования:** Шайхелисламова М.В., Дикопольская Н.Б., Билалова Г.А., Мансур Н.Х., Зефирова Т.Л. Роль гормонов коры надпочечников в регуляции мышечной деятельности растущего организма // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2018. – Т. 160, кн. 4. – С. 579–590.

**For citation:** Shaykhelislamova M.V., Dikopolskaya N.B., Bilalova G.A., Mansour N.H., Zefirov T.L. The role of hormones of the adrenal cortex in regulation of the muscular activity of a growing organism. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki*, 2018, vol. 160, no. 4, pp. 579–590. (In Russian)