

УДК 577.17: 612.112/.117

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-3-118-128

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ДО ОТКАЗА НА ПОКАЗАТЕЛИ КОНЦЕНТРАЦИИ КАТЕХОЛАМИНОВ В КРОВИ ФУТБОЛИСТОВ

Иванова Е. С.¹, Нигматуллина Р. Р.², Исанаева Е. А.¹

¹*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Казань, Россия*

²*ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения РФ», Казань, Россия*
E-mail: iivanova1995@mail.ru

В исследовании представлены результаты влияния интенсивной физической нагрузки, доведенной до предела (до отказа), на концентрацию катехоламинов и L-диоксифенилаланина в крови у футболистов 16–17 лет. По результатам исследования у спортсменов наблюдалось достоверное увеличение концентрации норадреналина, что говорит о преимущественном использовании норадреналина в процессе адаптации к физической нагрузке. В то же время, у юношей без спортивной подготовки преобладает адреналиновый тип адаптации, характеризующийся быстрой мобилизацией энергетических возможностей и истощением ресурсов организма, что приводит к скорому утомлению. У футболистов выявлен значимый прирост концентрации L-ДОФА в крови после нагрузки, что указывает на его участие в длительном осуществлении двигательных функций и сохранении высокой мощности работы благодаря способности восстанавливать активность симпато-адреналовой системы.

Ключевые слова: адреналин, норадреналин, катехоламины, ДОФА, симпато-адреналовая система, физическая нагрузка, футбол.

ВВЕДЕНИЕ

Физическая активность является неотъемлемой частью жизни профессиональных спортсменов, особенно в таких динамичных видах спорта, как футбол. Спортивные нагрузки вызывают различные физиологические изменения в организме, регулируемые внутренними биохимическими процессами, что является основой адаптации. Мышечная работа активизирует симпато-адреналовую систему (САС), которая участвует в осуществлении адаптационных перестроек организма. Данная система благодаря нейрогуморальной регуляции обеспечивает гомеостатическое равновесие.

Приспособление организма к физической нагрузке реализуется через катехоловые амины, соотношение и уровень которых является важной информационной составляющей для анализа физиологических процессов. Известно, что адреналин и норадреналин играют значимую роль в мобилизации энергетических источников и ресурсов организма человека [1]. В ряде работ ученые установили, что эти гормоны при двигательной деятельности регулируют работу сердца [2–5], респираторной системы [6, 7], а также участвуют в энергетическом

обмене путем активации основных ферментов гликогенолиза и гликолиза [8], повышая концентрацию глюкозы в крови для обеспечения химических реакций в клетках скелетных мышц и миокарда.

Катехоламины, воздействуя на адренорецепторы сердца и сосудов, изменяют их работу [9], чтобы обеспечить оптимальную внутреннюю среду организма при физической нагрузке. Норадреналин в миокарде оказывает положительный инотропный эффект [2], что обеспечивает быструю реакцию сердца на возрастающие потребности организма в кислороде.

Скелетные мышцы, участвующие в метаболических процессах при двигательной нагрузке, являются важной целевой тканью для гормонов надпочечников. Однако в значительной степени неизвестно, влияет ли кратковременное высвобождение адреналина и норадреналина во время физической нагрузки на адаптацию скелетных мышц к долгосрочным тренировкам [10].

Благоприятной реакцией САС на физическую нагрузку является увеличение концентрации адреналина и норадреналина в крови с одновременным повышением их предшественника L-диоксифенилаланина (L-ДОФА), который участвует в активации функциональных возможностей и создает условия для устойчивой и длительной физической работы [11]. И как предполагают зарубежные ученые, скелетные мышцы являются основным источником ДОФА в артериальной плазме, получаемой путем синтеза из симпатических нервных окончаний [12].

Изучение динамики концентраций катехоламинов и их предшественника в крови в ответ на предельную нагрузку у юных спортсменов может стать индикатором для оценки физической работоспособности и состояния здоровья в практике спорта, а также определить, что происходит с организмом на этапе отказа от двигательной работы.

Целью данной статьи является исследование влияния большой физической нагрузки, доведенной до предела (до отказа), на концентрацию катехоламинов и L-ДОФА в крови у юных футболистов. Это позволит лучше понять механизмы адаптации организма к большой физической работе и выявить возможные стратегии для оптимизации тренировочного процесса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения исследования были отобраны профессиональные футболисты и юноши, не занимающиеся спортом, в возрасте от 16 до 17 лет. На момент начала эксперимента все участники не имели травм и отклонений в состоянии здоровья, а также воздерживались от приема медикаментов и продуктов, влияющих на уровень катехоламинов в крови, за сутки до измерений.

Концентрации адреналина (А), норадреналина (НА) и L-ДОФА в плазме крови измерялись биохимическими методами до и после выполнения предельной физической нагрузки.

Для определения концентрации адреналина, норадреналина и L-ДОФА в плазме крови применялся высокочувствительный и селективный метод высокоэффективной жидкостной хроматографии с электрохимическим детектированием (ВЭЖХ-ЭД).

Кардиоэргоспирометрическая нагрузочная проба включала тест на возрастающую по интенсивности ступенчато-дозированную физическую нагрузку «до отказа» на велоэргометре e-Bike basic (США). Тест включал несколько этапов: состояние покоя (2 минуты), разминка с нагрузкой 60 Вт (2 минут), постепенное повышение нагрузки через каждые 2 минуты с шагом 20 Вт до момента невозможности продолжать педалирование при поддерживаемой частоте вращения 60 об/мин, а затем неполное восстановление (2 мин).

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием программного обеспечения Microsoft Excel и SPSS 10.0 (StatSoft, США). Для анализа использовались такие методы, как непараметрические критерии для независимых выборок (U-критерий Вилкоксона-Манна-Уитни), непараметрические тесты для связанных выборок (парный Т-тест Вилкоксона), проверка нормальности распределения (критерий Шапиро-Уилка). Количественные данные при нормальном распределении представлялись в виде среднего значения и стандартного отклонения ($M \pm SD$), а при наличии большого разброса показателей – в форме медианы и квартилей (Me ($Q1$; $Q3$)). Статистически значимыми считались результаты с уровнем значимости $p < 0,05$.

Все процедуры, выполненные в исследованиях с участием людей, соответствуют этическим стандартам национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 года и ее последующим изменениям или сопоставимым нормам этики. От каждого из включенных в исследование участников было получено информированное добровольное согласие. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» (протокол заседания №5 от 24.05.2022 г.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно данным велоэргометрического тестирования выявлено, что максимальная мощность в момент пикового потребления кислорода, достигнутого во время теста, значительно выше у спортсменов по сравнению с контрольной группой (спортсмены: мощность в момент пикового потребления кислорода $309,52 \pm 37,48$ Вт, $n = 22$, $p < 0,05$; контроль: мощность в момент пикового потребления кислорода $158,53 \pm 25,05$ Вт, $n = 17$) (рис. 1). Такие высокие показатели мощности педалирования в момент пикового потребления кислорода могут объясняться возникновением метаболического стресса, который активизирует работу высокопороговых двигательных единиц [13].

Роль L-ДОФЫ определяется его способностью синтезировать в первую очередь нейромедиатор дофамин, способствующий повышению двигательной активности благодаря стимуляции экстрапирамидной системы. Значимый прирост концентрации L-ДОФА в крови у футболистов (до нагрузки $6,71$ (6 ; $7,87$) $\mu\text{моль/мл}$, после нагрузки $7,76$ ($6,54$; $8,54$) $\mu\text{моль/мл}$, $n = 22$, $p < 0,05$) указывает на резервные возможности симпатно-адреналовой системы, что дает полагать об его участии длительно осуществлять двигательные функции и сохранять высокую мощность работы (табл. 1) [11]. При этом показатели L-ДОФА у юных спортсменов значительно ниже как до, так и после нагрузки до отказа, чем у контрольной

группы. Это является показателем мобилизации адаптивных возможностей организма футболистов, заключающихся в выполнении больших физических нагрузок при наименьших значениях L-диоксифенилаланина, вследствие его высокого потребления в момент активной мышечной деятельности. Снижение концентрации L-ДОФА после предельной нагрузки у контрольной группы (до нагрузки 9,28 (6,9; 10,8) пмоль/мл, после нагрузки 8,7 (7,7; 11,9) пмоль/мл, $n = 17$, $p < 0,05$) указывает на торможение симпато-адреналовой системы вместо ее стимуляции, в связи с неэкономным расходом ее функциональных возможностей. Данный механизм объясняется усиленным синтезом катехоламинов для высокой мобилизации САС и истощением функциональных ресурсов.

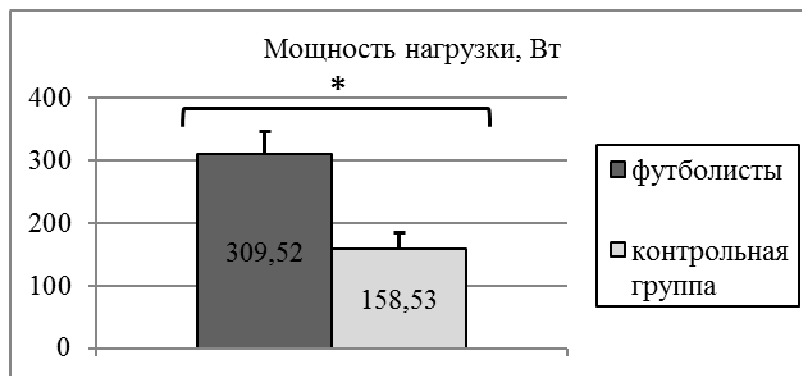


Рис. 1. Показатели мощности нагрузки в момент достижения максимального потребления кислорода.

Примечание: * – наличие статистически значимых различий в показателях контрольной группы и футболистов ($p < 0,05$)

Предельные нагрузки вызвали значительные изменения в концентрации катехоламинов за счет активации симпатической нервной системы, которая отвечает за мобилизацию ресурсов организма в условиях стресса.

Статистически достоверное увеличение у спортсменов после физической нагрузки наблюдается по показателям норадреналина в крови с 1,67 (1,47; 2,04) до 2,97 (2,12; 3,55) пмоль/мл, что отражает нервный механизм регуляции (табл. 1). В контрольной группе после предельной двигательной деятельности установлено статистически значимое повышение концентрации адреналина с 1,68 (1,2; 2,1) до 2,96 (2,2; 3,6) пмоль/мл, что отображает гуморальное эндокринное звено реакции на мышечную нагрузку.

Наблюдаемая реакция организма футболистов показывает процессы долговременной адаптации к двигательной деятельности. Увеличение концентрации норадреналина в крови создает предпосылки в поддержании выносливости и концентрации во время длительных физических нагрузок. Поскольку норадреналин, как основной нейромедиатор симпатической нервной системы, вырабатывается нервными окончаниями, его постепенное высвобождение обеспечивает длительный

эффект, оказывая влияние на различные физиологические процессы (увеличение сердечного выброса, сужение сосудов, расширение бронхов и др.) [14, 15].

Достоверно более низкая концентрация катехоламинов как до, так и после нагрузки у футболистов в отличие от контроля говорит о существенных резервных возможностях организма и экономизации работы симпато-адреналовой системы [16]. Не исключено, что у спортсменов при адаптации к систематическим физическим нагрузкам происходит увеличение чувствительности рецепторов тканей к катехоламинам, в результате чего уменьшается потребность в их количестве [17, 18]. Скелетные мышцы экспрессируют $\beta 1$ – и $\beta 2$ – адренорецепторы ($\beta 2$ является преобладающей изоформой). Поскольку $\beta 2$ – адренергические рецепторы сильнее реагируют на адреналин, тем самым скелетные мышцы более восприимчивы к адреналину, чем к норадреналину. Поэтому низкие концентрации адреналина у юных футболистов связаны с усилением чувствительности $\beta 2$ – адренорецепторов в скелетных мышцах [10].

Для оценки преобладания гормонального или нервного регулирования симпато-адреналовой системы определяли отношение выделения норадреналина и адреналина (по коэффициенту НА/А) до и после физической нагрузки до отказа (табл. 1). Исследование показало, что у футболистов быстрая адаптация к физической нагрузке до отказа сопровождается преимущественно медиаторным звеном, а активность гормональной регуляции снижается, поскольку величина коэффициента НА/А увеличивается с $2,16 \pm 0,91$ до $3,75 \pm 1,73$. Что характеризует переход функционирования организма от адреналина к норадреналину как часть гомеостатического механизма, позволяющего организму эффективно адаптироваться к физическим нагрузкам. Адреналин, воздействуя на $\beta 2$ – адренергические рецепторы, активирует высвобождение норадреналина, что увеличивает его концентрацию в крови [18]. Норадреналин обладает более сильным сосудосуживающим действием, чем адреналин, тем самым обеспечивает перераспределение кровотока к работающим мышцам [18].

Снижение содержания адреналина у юных спортсменов возможно связано с его активным поглощением миокардом из циркулирующей крови коронарных сосудов в самом начале физических нагрузок [2, 14]. Не исключено, что снижение адреналина у спортсменов связано с его участием в активации липолиза в адипоцитах при длительных физических нагрузках, поскольку организм переключается на использование жиров в качестве основного источника энергии. Адреналин, взаимодействуя со своим рецептором, запускает цепь реакций, где в конечном итоге ТАГ-липаза отщепляет от триацилглицеролов жирную кислоту с образованием диацилглицерола [19, 20].

Также интенсивная физическая нагрузка сопровождается увеличением образования свободных радикалов кислорода, особенно в мышечных клетках. Эти свободные радикалы могут взаимодействовать с адреналином, инициируя его окисление через хиноидный путь [21–23].

Такой тип функционирования является экономным и означает адекватную реакцию и адаптацию САС на нагрузку до предела.

Однако противоположный результат наблюдается у контрольной группы, где произошло достоверное снижение коэффициента НА/А с $4,15 \pm 1,66$ до $1,92 \pm 0,86$, что указывает на гормональную реакцию симпато-адреналовой системы. Это, скорее всего, объясняется высокой активностью фермента фенилэтанолмин N-метилтрансферазы в мозговом слое надпочечников, который быстро преобразует норадреналин в адреналин при остром стрессе [10]. Вероятнее всего мышечное утомление, которое возникло вследствие интенсивной физической нагрузки у юношей контрольной группы, вызвало повышение концентрации адреналина в крови. Поскольку адренергическая стимуляция скелетных мышц увеличивает их функциональную способность [24].

В то же время продолжительное воздействие высоких концентраций адреналина вызывает интенсивный распад белков, что ведет к снижению мышечной массы и истощению организма [25, 26].

Таблица 1

Показатели катехоламинов до и после нагрузки до отказа

Исследуемые показатели	Футболисты		Контрольная группа	
	До нагрузки	После нагрузки	До нагрузки	После нагрузки
L-ДОФА, пмоль/мл	♦		♦	
	6,71 (6; 7,87)*	7,76 (6,54; 8,54)*	9,28 (6,9; 10,8)	8,7 (7,7; 11,9)
НА, пмоль/мл	♦			
	1,67 (1,47; 2,04)*	2,97 (2,12; 3,55)*	6,5 (4,4; 7,9)	5,36 (3,5; 8)
А, пмоль/мл			♦	
	0,87 (0,65; 1,03)*	0,85 (0,74; 0,96)*	1,68 (1,2; 2,1)	2,96 (2,2; 3,6)
НА/А	♦		♦	
	2,16±0,91*	3,75±1,73*	4,15±1,66	1,92±0,86

Примечание: ♦ – наличие достоверных различий в показателях до и после нагрузки ($p < 0,05$);

* – наличие достоверных различий в показателях контрольной группы и футболистов ($p < 0,05$); L-ДОФА – L-диоксифенилаланин, НА – норадреналин, А – адреналин.

Согласно вышесказанному у юношей без спортивной подготовки преобладает адреналиновый тип адаптации на нагрузку до отказа, который характеризуется быстрой мобилизацией энергетических возможностей и истощением ресурсов организма, что приводит к скорому утомлению. В то время как норадреналиновый тип у футболистов обеспечивает длительное поддержание энергетического потенциала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, у спортсменов наблюдается экономная реакция симпато-адреналовой системы на физическую нагрузку до предела, что проявляется увеличением коэффициента НА/А, а также повышением концентрации Л-ДОФА в крови. У юношей, не занимающихся спортом, преобладает гормональный тип адаптации (снижение коэффициента НА/А), характеризующийся быстрой мобилизацией энергетических возможностей и истощением ресурсов организма, что приводит к скорому утомлению. Преобладающая медиаторная активность САС у футболистов на фоне низкой гормональной свидетельствует о более эффективной реакции организма на предельную физическую работу.

Существенные резервные возможности САС у футболистов как проявление долговременной адаптации выражаются в достоверно более низких концентрациях катехоламинов в отличие от контрольной группы.

Вместе с тем, различия между юношами футболистами и юношами без спортивной подготовки наблюдаются и по уровню концентрации предшественника катехоламинов Л-ДОФА.

Полученные данные свидетельствуют о различных типах адаптации к экстремальным физическим нагрузкам у спортсменов и лиц, не занимающихся спортом.

Список литературы

1. Тамбовцева Р. В. Особенности гормональной регуляции энергетического обмена у спортсменов различных специализаций при выполнении предельной работы / Р. В. Тамбовцева, И. А. Никулина // Журнал «Теория и практика физической культуры». – 2016. – №1. – С. 28–30.
2. Герасименко Д. К. Роль катехоловых аминов в приспособительных реакциях сердечно-сосудистой системы к физическим нагрузкам / Д. К. Герасименко // Вопросы науки и образования. – 2018. – №7 (19). – С. 23–25.
3. Нигматуллина Р. Р. Состояние симпато-адреналовой системы у больных хронической сердечной недостаточностью / Р. Р. Нигматуллина, В. В. Кириллова, Р. К. Джорджия // Клиническая медицина. – 2009. – Т. 87, №4. – С. 32–36.
4. Ситдикова А. А. Функциональное состояние симпато-адреналовой системы и особенности регуляции сердечного ритма у детей младшего школьного возраста / А. А. Ситдикова // Вестник ТГГПУ. – 2005. – №4. – С. 192–198.
5. Чинкин А. С. Соотношения адреналин : норадреналин и альфа- : бета-адренорецепторы в миокарде и адренергические хроно- и инотропные реакции при экстремальных состояниях и адаптации / А. С. Чинкин // Наука и спорт: современные тенденции. – 2014. – №3 (4). – С. 10–18.
6. Мохорт Т. В. Стрессовая гипергликемия, или гипергликемия критических состояний / Т. В. Мохорт, И. К. Билодид, Е. И. Шишко, Е. Г. Мохорт // Лечебное дело: научно-практический терапевтический журнал. – 2017. – № 4(56). – С. 49–55.
7. Новоселова О. А. Динамика экскреции катехоламинов у учащихся разного возраста в покое и после физической нагрузки / О. А. Новоселова // Теория и практика физической культуры. – 2010. – № 2. – С. 29–33.
8. Athanasiou N. Endocrine responses of the stress system to different types of exercise / N. Athanasiou, G. C. Bogdanis, G. Mastorakos // Rev Endocr Metab Disord. – 2023. – 24(2). – P. 251–266.
9. Тапбергенов С. О. Катехоламины и их метаболиты в регуляции активности митохондриальных и цитоплазматических ферментов сердца. Обзор литературы / С. О. Тапбергенов, Б. С. Советов, Ж. К. Смаилова, Ы. О. Кайрханова, А. С. Крыкпаева // Наука и здравоохранение. – 2022. – №1. – С. 193–206.

10. Steiner J. L. Adrenal stress hormone action in skeletal muscle during exercise training: An old dog with new tricks? / J. L. Steiner, B. R. Johnson, R. C. Hickner, M. J. Ormsbee, D. L. Williamson, B. S. Gordon // *Acta Physiol (Oxf)*. – 2021. – 231 (1). – P. e13522.
11. Крылова А. В. Реакция симпато-адреналовой системы мальчиков на дозированную физическую нагрузку / А. В. Крылова, Ф. Г. Ситдилов, Т. А. Аникина, А. А. Зверев // *Наука и спорт: современные тенденции*. – 2019. – №1. – С. 60–66.
12. Grossman E. Sympathoadrenal contribution to plasma dopa (3,4-dihydroxyphenylalanine) in rats / E. Grossman, A. Hoffman, I. Armando, Z. Abassi, I. J. Kopin, D. S. Goldstein // *Clin Sci (Lond)*. – 1992. – 83(1). – P. 65–74.
13. Бугаец Я. Е. Контроль динамики аэробной производительности велосипедистов-шоссейников с учетом уровня мочевой кислоты / Я. Е. Бугаец, И. В. Феоктистов, А. С. Гронская [и др.] // *Актуальные вопросы физической культуры и спорта*. – 2021. – Т. 23. – С. 155–160.
14. Кассиль Г. Н. Внутренняя среда организма / Г. Н. Кассиль – М.: Наука, 1983. – 224 с.
15. Mennitti C. How Does Physical Activity Modulate Hormone Responses? / Mennitti C., Farina G., Imperatore A., De Fonzo G., Gentile A., La Civita E., Carbone G., De Simone R.R., Di Iorio M.R., Tinto N., Frisso G., D'Argenio V., Lombardo B., Terracciano D., Crescioli C., Scudiero O. // *Biomolecules*. – 2024. – 14 (11). – P. 1418.
16. Шайхелисламова М. В. Нервные и гормональные механизмы срочной адаптации школьников к дозированной физической нагрузке / М. В. Шайхелисламова, А. А. Ситдикова, Ф. Г. Ситдилов, Г. Г. Каюмова // *Вестник ТГГПУ*. – 2011. – №26. – С. 86–91.
17. Виру А. А. Гормоны и спортивная работоспособность / А. А. Виру, П. К. Кырге – М.: Физкультура и спорт, 1983. – 159 с.
18. Намозова С. Ш. Динамика адаптивных гормонов в период отборочного тура игр у баскетболистов / С. Ш. Намозова, Т. И. Баранова // *Biological Communications*. – 2013. – №1. – С. 76–87.
19. Koh H. J. Adrenaline is a critical mediator of acute exercise-induced AMP-activated protein kinase activation in adipocytes / H. J. Koh, M. F. Hirshman, H. He, Y. Li, Y. Manabe, J. A. Balschi, L. J. Goodyear // *Biochem J*. – 2007. – 403 (3). – P. 473–481.
20. Qi Z. Obesity-associated sympathetic overactivity in children and adolescents: the role of catecholamine resistance in lipid metabolism / Z. Qi, S. Ding // *J Pediatr Endocrinol Metab*. – 2016. – 29 (2). – P. 113–25.
21. Куликов В. Ю. Дистантное и контактное влияние окисляющегося адреналина на гемоглобин крови человека in vitro / В. Ю. Куликов, Е. А. Арчибасова // *Journal of Siberian Medical Sciences*. – 2016. – №1. – С. 7.
22. Майорова Е. А. Развитие окислительного стресса при физических нагрузках у спортсменов / Е. А. Майорова, В. В. Корнякова // *Научный вестник Омского государственного медицинского университета*. – 2022. – Т. 2, №2. – С. 17–22.
23. Сирота Т. В. Цепная реакция автоокисления адреналина - модель хиноидного окисления катехоламинов / Т. В. Сирота // *Биофизика*. – 2020. – Т. 65, № 4. – С. 646–655.
24. Труш В. В. Сравнительная оценка влияния длительно вводимого адреналина и селективного β_2 -адреноагониста формотерола на функциональное состояние скелетной мышцы белых крыс / В. В. Труш, В. И. Соболев // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия*. – 2018. – №1. – С. 118–136.
25. Горячева А. А. Системные эффекты экзогенного адреналина / А. А. Горячева, В. Н. Морозов, Е. М. Пальцева, А. А. Хадарцев, А. К. Хетагурова // *ВНМТ*. – 2007. – №3. – С. 32–35.
26. Каладзе Н. Н. Влияние электросонотерапии на динамику показателей гормональной биоритмологической активности детей с экстрасистолической аритмией в процессе санаторно-курортного лечения / Н. Н. Каладзе, А. В. Швец, Н. А. Ревенко // *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. – 2014. – 91(3). – С. 28–34.

THE EFFECT OF PHYSICAL EXERTION TO FAILURE ON THE CONCENTRATION OF CATECHOLAMINES IN THE BLOOD OF FOOTBALL PLAYERS

Ivanova E. S.¹, Nigmatullina R. R.², Isanaeva E. A.¹

¹*Volga State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan, Russian Federation*

²*Kazan State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Kazan, Russian Federation*

E-mail: iivanova1995@mail.ru

The body's adaptation to physical activity is realized through catechol amines, the ratio and level of which is an important information component for the analysis of physiological processes.

A favorable reaction of the SAS to physical activity is an increase in the concentration of adrenaline and noradrenaline in the blood with a simultaneous increase in their precursor L-dioxyphenylalanine (L-DOPA), which is involved in the activation of functional capabilities and creates conditions for sustainable and long-term physical work.

The purpose of this article is to study the effect of high physical activity, brought to the limit (to failure), on the concentration of catecholamines and L-DOPA in the blood of young football players. This will allow us to better understand the mechanisms of adaptation of the body to high physical work and identify possible strategies for optimizing the training process.

Methods. Professional football players and young men not involved in sports, aged 16 to 17 years, were selected for the study. To determine the concentration of adrenaline, noradrenaline and L-DOPA in blood plasma, a highly sensitive and selective method of high-performance liquid chromatography with electrochemical detection (HPLC-ED) was used.

The cardioergospirometric exercise test included a test of increasing in intensity step-dosed physical activity "to failure" on an e-Bike basic bicycle ergometer (USA).

Statistical processing of the results was carried out using Microsoft Excel and SPSS 10.0 software (StatSoft, USA).

All procedures performed in studies involving people comply with the ethical standards of the National Research Ethics Committee and the 1964 Helsinki Declaration and its subsequent amendments or comparable ethical standards. The study was approved by the local ethics committee of the Kazan State Medical University (minutes of meeting No. 5 dated 05.24.2022).

Results. According to the data of bicycle ergometric testing, it was revealed that the maximum power at the moment of peak oxygen consumption achieved during the test was significantly higher in athletes compared to the control group (athletes: power at the moment of peak oxygen consumption 309.52 ± 37.48 W, $n = 22$, $p < 0.05$; control: power at the moment of peak oxygen consumption 158.53 ± 25.05 W, $n = 17$). A significant increase in the concentration of L-DOPA in the blood of football players (before the load 6.71 (6 ; 7.87) pmol/ml, after the load 7.76 (6.54 ; 8.54) pmol/ml, $n = 22$, $p < 0.05$) indicates the reserve capacity of the sympathetic-adrenal system, which suggests its participation in long-term motor function performance and maintaining high work power. A decrease in

the concentration of L-DOPA after maximum exercise in the control group (before exercise 9.28 (6.9; 10.8) pmol/ml, after exercise 8.7 (7.7; 11.9) pmol/ml, $n = 17$, $p < 0.05$) indicates inhibition of the sympathoadrenal system instead of its stimulation, due to the wasteful use of its functional capabilities. A statistically significant increase in athletes after exercise is observed in blood norepinephrine levels from 1.67 (1.47; 2.04) to 2.97 (2.12; 3.55) pmol/ml, which reflects the nervous mechanism of regulation. In the control group, after extreme physical activity, a statistically significant increase in the concentration of adrenaline was found from 1.68 (1.2; 2.1) to 2.96 (2.2; 3.6) pmol/ml, which reflects the humoral endocrine link in the reaction to muscle load.

The study showed that in football players, rapid adaptation to physical activity to failure is accompanied mainly by the mediator link, and the activity of hormonal regulation decreases, since the value of the HA/A coefficient increases from 2.16 ± 0.91 to 3.75 ± 1.73 . This characterizes the transition of the body's functioning from adrenaline to norepinephrine as part of the homeostatic mechanism that allows the body to effectively adapt to physical activity. Norepinephrine has a stronger vasoconstrictor effect than adrenaline, thereby ensuring the redistribution of blood flow to the working muscles.

However, the opposite result is observed in the control group, where there was a reliable decrease in the HA/A coefficient from 4.15 ± 1.66 to 1.92 ± 0.86 , which indicates a hormonal response of the sympathoadrenal system.

Conclusion. Thus, athletes have an economical response of the sympathoadrenal system to physical exertion to the limit, which is manifested by an increase in the HA/A coefficient, as well as an increase in the concentration of L-DOPA in the blood. In young men who do not play sports, the hormonal type of adaptation predominates (a decrease in the HA/A coefficient), characterized by a rapid mobilization of energy capabilities and depletion of the body's resources, which leads to rapid fatigue.

Keywords: adrenaline, noradrenaline, catecholamines, DOPA, sympathoadrenal system, physical activity, football.

References

1. Tambovtseva R. V., Nikulina I. A. Osobennosti gormonalnoy regulyatsii energeticheskogo obmena u sportsmenov razlichnykh spetsializatsiy pri vypolnenii predelnoy raboty. *Zhurnal «Teoriya i praktika fizicheskoy kultury»*, **1**, 28 (2016).
2. Gerasimenko D. K. Rol katekholovykh aminov v prispособitelnykh reaktsiyakh serdechno-sosudistoy sistemy k fizicheskim nagruzkam. *Voprosy nauki i obrazovaniya*, **7** (19), 23 (2018).
3. Nigmatullina R. R., Kirillova V. V., Dzhordzhikiya R. K. Sostoyanie simpato-adrenalovoy sistemy u bolnykh khronicheskoy serdechnoy nedostatochnostyu. *Klinicheskaya meditsina*, **87** (4), 32 (2009).
4. Sitdikova A. A. Funktsionalnoe sostoyanie simpato-adrenalovoy sistemy i osobennosti regulyatsii serdechnogo ritma u detey mladshego shkolnogo vozrasta. *Vestnik TGGPU*, **4**, 192 (2005).
5. Chinkin A. S. Sootnosheniya adrenalin : noradrenalin i alfa- : beta-adrenoretseptory v miokarde i adrenergicheskie khrono- i inotropnye reaktsii pri ekstremalnykh sostoyaniyakh i adaptatsii. *Nauka i sport: sovremennye tendentsii*, **3** (4), 10 (2014).
6. Mokhort T. V., Bilodid I. K., Shishko E. I., Mokhort E. G. Stressovaya giperglikemiya, ili giperglikemiya kriticheskikh sostoyaniy. *Lechebnoe delo: nauchno-prakticheskiy terapevticheskiy zhurnal*, **4** (56), 49 (2017).
7. Novoselova O. A. Dinamika ekskretsii katekholaminov u uchashchikhsya raznogo vozrasta v pokoe i posle fizicheskoy nagruzki. *Teoriya i praktika fizicheskoy kultury*, **2**, 29 (2010).

8. Athanasiou N., Bogdanis G. C., Mastorakos G. Endocrine responses of the stress system to different types of exercise. *Rev Endocr Metab Disord*, **24** (2), 251 (2023).
9. Tapbergenov S. O., Sovetov B. S., Smailova Zh. K., Kayrkhanova Y. O., Krykpaeva A. S. Katekholaminy i ikh metabolismy v regulyatsii aktivnosti mitokhondrialnykh i tsitoplazmaticheskikh fermentov serdtsa. Obzor literatury. *Nauka i zdavookhranenie*, **1**, 193 (2022).
10. Steiner J. L., Johnson B. R., Hickner R. C., Ormsbee M. J., Williamson D. L., Gordon B. S. Adrenal stress hormone action in skeletal muscle during exercise training: An old dog with new tricks? *Acta Physiol (Oxf)*, **231** (1), e13522 (2021).
11. Krylova A. V., Sitdikov F. G., Anikina T. A., Zverev A. A. Reaktsiya simpato-adrenalovoy sistemy malchikov na dozirovannuyu fizicheskuyu nagruzku. *Nauka i sport: sovremennye tendentsii*, **1**, 60 (2019).
12. Grossman E., Hoffman A., Armando I., Abassi Z., Kopin I. J., Goldstein D. S. Sympathoadrenal contribution to plasma dopa (3,4-dihydroxyphenylalanine) in rats. *Clin Sci (Lond)*, **83** (1), 65 (1992).
13. Bugaets Ya. E., Feoktistov I. V., Gronskaya A. S. Kontrol dinamiki aerobnoy proizvoditelnosti velosipedistov-shosseynikov s uchetom urovnya mochevoy kisloty. *Aktualnye voprosy fizicheskoy kultury i sporta*, **23**, 155 (2021).
14. Kassil G. N. *Vnutrennyaya sreda organizma*, 224 (M.: Nauka, 1983).
15. Mennitti C., Farina G., Imperatore A., De Fonzo G., Gentile A., La Civita E., Carbone G., De Simone R.R., Di Iorio M.R., Tinto N., Frisso G., D'Argenio V., Lombardo B., Terracciano D., Crescioli C., Scudiero O. How Does Physical Activity Modulate Hormone Responses? *Biomolecules*, **14** (11), 1418 (2024).
16. Shaykhelislamova M. V., Sitdikova A. A., Sitdikov F. G., Kayumova G. G. Nervnye i gormonalnye mekhanizmy srochnoy adaptatsii shkolnikov k dozirovannoy fizicheskoy nagruzke. *Vestnik TGGPU*, **26**, 86 (2011).
17. Viru A. A., Kyrgi P. K. *Gormony i sportivnaya rabotosposobnost*, 159 (M.: Fizkultura i sport, 1983).
18. Namozova S. Sh., Baranova T. I. Dinamika adaptivnykh gormonov v period otbrochnogo tura igr u basketbolistov. *Biological Communications*, **1**, 76 (2013).
19. Koh H. J., Hirshman M. F., He H., Li Y., Manabe Y., Balschi J. A., Goodyear L. J. Adrenaline is a critical mediator of acute exercise-induced AMP-activated protein kinase activation in adipocytes. *Biochem J.*, **403** (3), 473 (2007).
20. Qi Z., Ding S. Obesity-associated sympathetic overactivity in children and adolescents: the role of catecholamine resistance in lipid metabolism. *J Pediatr Endocrinol Metab*, **29** (2), 113 (2016).
21. Kulikov V. Yu., Archibasova E. A. Distantnoe i kontaktnoe vliyanie okislyayushchegosya adrenalina na gemoglobin krovi cheloveka in vitro. *Journal of Siberian Medical Sciences*, **1**, 7 (2016).
22. Mayorova E. A., Korniyakova V. V. Razvitie oksidativnogo stressa pri fizicheskikh nagruzkakh u sportsmenov. *Nauchnyy vestnik Omskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*, **2** (2), 17 (2022).
23. Sirota T. V. Tsepnaya reaktsiya avtookisleniya adrenalina – model khinoidnogo okisleniya katekholaminov. *Biofizika*, **4** (65), 646 (2020).
24. Trush V. V., Sobolev V. I. Sravnitel'naya otsenka vliyaniya dlitelno vvodimogo adrenalina i selektivnogo β 2-adrenoagonista formoterola na funktsionalnoe sostoyanie skeletnoy myshtsy belykh kryss. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya*, **1**, 118 (2018).
25. Goryacheva A. A., Morozov V. N., Paltseva E. M., Khadartsev A. A., Khetagurova A. K. Sistemnye efekty ekzogenno adrenalina. *VNMT*, **3**, 32 (2007).
26. Kaladze N. N., Shvets A. V., Revenko N. A. Vliyanie elektrosontterapii na dinamiku pokazateley gormonalnoy bioritmologicheskoy aktivnosti detey s ekstrasistolicheskoy aritmiei v protsesse sanatorno-kurortnogo lecheniya. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoy fizicheskoy kultury*, **91**(3), 28 (2014).