

УДК 612.128:577.151

DOI 10.20538/1682-0363-2017-1-20–26

Для цитирования: Дьякова Е.Ю., Капилевич Л.В., Захарова А.Н., Кабачкова А.В., Кироненко Т.А., Орлов С.Н. Содержание эндотелиальной синтазы оксида азота в плазме после физических нагрузок различного характера. *Бюллетень сибирской медицины*. 2017; 16 (1): 20–26

Содержание эндотелиальной синтазы оксида азота в плазме после физических нагрузок различного характера

Дьякова Е.Ю.¹, Капилевич Л.В.^{1,3}, Захарова А.Н.¹,
Кабачкова А.В.¹, Кироненко Т.А.¹, Орлов С.Н.^{1,2,4}

¹ *Национальный исследовательский Томский государственный университет (НИ ТГУ) Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36*

² *Московский государственный университет (МГУ) им. М.В. Ломоносова Россия, 119991, г. Москва, Ленинские Горы, 1*

³ *Национальный исследовательский Томский политехнический университет (НИ ТПУ) Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

⁴ *Исследовательский центр медицинского факультета Монреальского университета Канада, г. Монреаль*

РЕЗЮМЕ

Цель. Оценить влияние динамической и статической нагрузки на содержание eNOS в плазме крови у спортсменов, тренирующихся в циклических и силовых видах спорта, а также у мужчин, не занимающихся спортом.

Материал и методы. Определение концентрации eNOS в плазме крови производилось методом иммуноферментного анализа. Кровь забиралась до и после статической и динамической нагрузки у спортсменов-тяжелоатлетов и спортсменов-легкоатлетов.

Результаты. Показано, что регулярные тренировки способствуют значительному возрастанию фонового уровня эндотелиальной синтазы оксида азота (eNOS) в плазме спортсменов, причем у тяжелоатлетов он почти вдвое выше, чем у легкоатлетов. После нагрузки статического характера у спортсменов концентрация eNOS существенно снижается, а после нагрузки динамического характера – напротив, возрастает. У нетренированных лиц картина иная – возрастание концентрации eNOS происходит после всех видов нагрузки, хотя влияние динамических упражнений выражено гораздо сильнее. Через 30 мин после нагрузки во всех группах наблюдалась тенденция восстановления содержания eNOS к первоначальному уровню.

Заключение. Полученные результаты позволяют предполагать, что основной механизм, регулирующий концентрацию eNOS в плазме крови при физических нагрузках, связан с сосудистыми факторами, прежде всего – с интенсивностью регионарного кровотока и его воздействием на поверхность эндотелия. Представленные данные свидетельствуют в пользу предположения, что данный белок не может являться представителем группы миокинов.

Ключевые слова: eNOS, статическая и динамическая нагрузка, гемодинамика.

ВВЕДЕНИЕ

Эндотелиальная синтаза оксида азота (eNOS) является ферментом, катализирующим образование оксида азота, который является физиологи-

чески значимым вазодилататором, ингибитором агрегации и адгезии тромбоцитов, ингибитором пролиферации и миграции гладкомышечных клеток [1]. Установлено, что eNOS локализована в сарколемме и Т-трубочке скелетных мышечных волокон, ее образование является кальций-зави-

✉ Дьякова Елена Юрьевна, e-mail: adyakova@yandex.ru.

симым процессом [2, 3]. Изоформы eNOS были обнаружены в мышечных волокнах и эндотелиальных клетках капилляров [4]. Ряд авторов отмечают различия в концентрации eNOS у людей при различных режимах мышечного сокращения. У спортсменов после интервальной тренировки наблюдалось увеличение содержания eNOS в плазме на 36%, в то время как после длительной тренировки на выносливость содержание eNOS возрастало лишь на 14% [5]. Физические нагрузки субмаксимальной мощности не приводят к изменению концентрации eNOS, а тренировки на выносливость способствуют ее увеличению [6]. Все изложенное привлекает внимание к данному белку как одному из возможных миокинов – молекул, продуцируемых скелетными мышцами во время сокращения и вызывающих широкий спектр физиологических эффектов [7, 8]. Однако для уточнения данного вопроса необходимо установить зависимость концентрации eNOS в крови от характера, интенсивности и длительности физических нагрузок.

Цель настоящего исследования: оценить влияние динамической и статической нагрузки на содержание eNOS в плазме крови у спортсменов, тренирующихся в циклических и силовых видах спорта, а также у мужчин, не занимающихся спортом.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие здоровые юноши в возрасте 18–23 лет. Основная группа 1 включала в себя 10 спортсменов, профессионально занимающихся тяжелой атлетикой (ТА). В основную группу 2 вошли 10 спортсменов легкоатлетов (ЛА), специализирующихся в беге на средние дистанции. Спортсмены основных групп 1 и 2 занимались избранным видом спорта более 6 лет. Необходимым требованием для включения спортсменов в группы исследования являлось наличие спортивного разряда не ниже кандидата в мастера спорта. Контрольная группа состояла из 20 человек, здоровых нетренированных волонтеров, не занимающихся спортом. Группа контроля была разделена на две подгруппы по 10 человек. Волонтеры первой подгруппы (КГ1) выполняли статическую нагрузку, волонтеры второй подгруппы (КГ2) – динамическую. Все испытуемые на момент исследования не имели острых заболеваний и хронических в анамнезе. Спортсмены тяжелоатлеты (ТА) и волонтеры (КГ1) в качестве статической нагрузки выполняли однократное удержание штанги на уровне ниже колен. Вес отягощения составлял 50% от максимального результата, показанного в упражнении «становая

тяга». Максимальный вес определялся заранее, не позднее, чем за неделю до исследования. Протоколе определения максимального веса предшествовала разминка и инструктаж по работе с отягощениями. Руководство процессом осуществлял профессиональный тренер-инструктор. Перед выполнением статического удержания штанги все испытуемые хорошо разминались. Выполнение упражнения также осуществлялось под руководством инструктора. Удержание штанги производилось до состояния полной усталости и невозможности далее продолжать упражнение. Время удержания засекалось при помощи секундомера. За состоянием испытуемых наблюдал врач.

В качестве динамической нагрузки для спортсменов легкоатлетов (ЛА) и волонтеров (КГ2) была использована методика стандартного теста PWC170. Тест выполнялся без предварительной разминки, включал в себя двухступенчатую нагрузку с различной мощностью. Первый этап – педалирование на велоэргометре в течение 5 мин с мощностью, которая подбиралась по таблицам в соответствии с массой тела испытуемого. За 15 с до окончания нагрузки производилось измерение частоты сердечных сокращений (ЧСС). Второй этап – отдых в течение 3 мин. Третий этап – педалирование на велоэргометре в течение 5 мин с мощностью, которая подбиралась по таблицам в зависимости от ЧСС в конце первой нагрузки. За 15 с до окончания нагрузки производилось измерение ЧСС.

Забор крови осуществлялся при помощи вакуумной системы BD Vacutainer® (Greiner Bio-One, Австрия) трехкратно по 5 мл (до нагрузки – проба А, непосредственно после нагрузки – проба В и через 30 мин после нагрузки – проба С). Указанные временные промежутки для забора крови были определены в связи с тем, что по данным литературных источников выработка миокинов может увеличиваться как непосредственно во время физической нагрузки [9], так и через определенные промежутки времени после окончания физического упражнения [10].

Все волонтеры проходили обследование утром натощак. За 1 сут до исследования спортсменам было рекомендовано прекратить тренировочный процесс. Использовались пробирки Vacuette® Premium (Greiner Bio-One, Австрия) с лития гепарином и разделительным гелем объемом 5 мл. Концентрация гепарина в пробирках составила 20 ед/мл. Центрифугирование образцов крови проводилось при помощи лабораторной центрифуги LMC 3000 (Biosan, Латвия) через 30 мин после забора крови. Центрифугирование

осуществлялось в течение 11 мин при 2000 об/мин. Плазма замораживалась и хранилась в морозильной камере при температуре 20 °С, срок хранения – не более 30 сут.

Определение концентрации eNOS в плазме проводилось методом иммуноферментного анализа. Все образцы разливались в двух экземплярах. Для анализа использовались планшеты с общим числом плоскодонных лунок 96 (размер планшета 12 x 8 лунок). Инкубация проводилась на термощейкере для планшетов PST-60HL (Biosan, Латвия). Процедура промывки осуществлялась при помощи промывочного устройства Anthos Fluido 2 (Biochrom, Великобритания). Измерение оптической плотности образцов проводилось при помощи микропланшетного спектрофотометра Anthos 2010 с фильтрами (400–750 нм) и программой ADAP+ (Biochrom, Великобритания). Для подготовки стандарта применялось серийное разведение высококонцентрированного раствора eNOS (набор Enzyme-linked Immunosorbent Assay Kit For Nitric Oxide Synthase 3 (NOS 3) фирмы Cloud-Clone Corporation, США). Концентрации, используемые для постро-

ения калибровочной кривой: S1 – 1000 пг/мл; S2 – 500 пг/мл; S3 – 250 пг/мл; S4 – 125 пг/мл; S5 – 62,5 пг/мл; S6 – 31,3 пг/мл; S7 – 1,56 пг/мл; B – 0 пг/мл. Расчет оптической плотности образцов проводился при длине волны 450 нм, референсная длина волны 620 нм.

Статистическая обработка данных проводилась при помощи программы Statistica 8.0. Оценка на нормальность распределения признаков в группах проводилась при помощи критерия Шапиро – Уилка. Для сравнительного анализа независимых выборок использовали критерий Манна – Уитни и зависимых – критерий Вилкоксона. За статистически значимое различие принимали $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В состоянии покоя концентрация eNOS в плазме оказалась значительно выше в группе ТА по сравнению с группой ЛА и контролем (таблица). Однако и у легкоатлетов концентрация eNOS в плазме значительно превышает показатель контрольной группы.

Т а б л и ц а

Концентрация eNOS в плазме крови здоровых волонтеров, не занимающихся спортом, спортсменов (тяжелоатлетов и легкоатлетов) до, после и через 30 мин после нагрузки, пг/мл			
Группа	Проба крови А (до нагрузки)	Проба В (после нагрузки)	Проба С (через 30 мин после нагрузки)
КГ1 (контроль, статическая нагрузка) $n = 10$, средний возраст 19 лет	42,9 (25,4; 58,7)	63,9 (41,6; 74,2) $p_4 < 0,05$	54,4 (42,6; 69,2) $p_4 < 0,05$
ТА (тяжелая атлетика, статическая нагрузка) $n = 10$, средний возраст 20 лет	229,9 (177,5; 284,5) $p_1 < 0,001$	18,1 (10,5; 34,8) $p_1 < 0,001$ $p_4 < 0,05$	79,2 (59,6; 88,8) $p_1 < 0,001$ $p_4 < 0,05$
КГ2 (контроль, динамическая нагрузка) $n = 10$, средний возраст 20 лет	43,9 (32,9; 62,6)	133,7 (80,8; 157,7) $p_3 < 0,001$ $p_4 < 0,05$	74,5 (65,5; 84,3) $p_3 < 0,001$ $p_4 < 0,05$
ЛА (легкая атлетика, динамическая нагрузка) $n = 10$, средний возраст 21 год	118,8 (74,3; 133,3) $p_1 < 0,001$ $p_2 < 0,001$	275,8 (131,6; 320,1) $p_1 < 0,001$ $p_2 < 0,001$ $p_4 < 0,05$	178,7 (112,9; 204,5) $p_1 < 0,001$ $p_2 < 0,001$ $p_4 < 0,05$

П р и м е ч а н и е. p_1 – при сравнении с контролем; p_2 – при сравнении группы спортсменов тяжелоатлетов (ТА) и легкоатлетов (ЛА); p_3 – при сравнении контрольной группы 1 (КГ1) и контрольной группы 2 КГ2; p_4 – при сравнении с пробой А.

Непосредственно после нагрузки в группе ЛА содержание eNOS в плазме оказалось наибольшим и превысило уровень КГ2, а также группы ТА в 15 раз. В группе КГ2 концентрация eNOS в пробе В практически в два раза превышала показатель КГ1 (см. таблицу). Увеличение экспрессии eNOS в мышцах при тренировках на выносливость также подтверждается и другими исследо-

ваниями [6]. Во время физических упражнений повышение концентрации eNOS рассматривается как компонент сосудистой адаптации к сдвигам ламинарного напряжения, тангенциальным воздействиям, оказываемым потоком крови на поверхность эндотелия [11]. В то же время при динамических нагрузках происходит увеличение внутримышечного кровотока [12], что сопрово-

ждается увеличением уровня доставки гормонов к мышцам и активации рецепторной сигнализации. Lima-Cabello et. al. [13] предполагают, что продукция eNOS осуществляется при активации нуклеарного фактора $\kappa\beta$ под воздействием активных форм кислорода, образование которых в процессе митохондриального дыхания усиливается при выполнении упражнений на выносливость [14]. Этот путь можно рассматривать как миогенный механизм усиления образования eNOS непосредственно в мышечных клетках в условиях физической активности динамического характера.

В группе ТА концентрация eNOS сразу после нагрузки оказалась наименьшей, даже ниже уровня в группе КГ1 (см. таблицу). При статической нагрузке на мышцы происходит постепенное ухудшение притока крови, так как кровеносные сосуды пережимаются, возрастает внутрисосудистое давление. Увеличение напряжения в мышце до 70% от максимального вызывает полную окклюзию сосудов в активной мышце [15]. В таких условиях снижается воздействие на поверхность эндотелия сосудов со стороны ламинарного потока, что вполне может привести к снижению концентрации eNOS в плазме при статических нагрузках.

Через 30 мин после нагрузки во всех группах наблюдалась тенденция восстановления содержания eNOS к первоначальному уровню. В группе ЛА через 30 мин после нагрузки сохранялась наибольшая концентрация eNOS в плазме в сравнении с остальными группами. Уровень eNOS в пробе С в группе ЛА в 2,3 раза превышал показатель в группе ТА (79,24 пг/мл) и в 2,4 раза в группе КГ2. В группе ТА также сохранялись статистически значимые различия с группой КГ1. В группе КГ2 уровень eNOS также был достоверно выше в сравнении с группой КГ1.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты позволяют выявить несколько важных закономерностей. Прежде всего – регулярные тренировки способствуют значительному возрастанию фонового уровня eNOS в плазме, причем у тяжелоатлетов он почти вдвое выше, чем у легкоатлетов. Это вполне объяснимо избыточной васкуляризацией мышц в результате регулярных физических нагрузок и, как следствие, усилением мышечного кровотока. После нагрузки статического характера у спортсменов концентрация eNOS существенно снижается, а после нагрузки динамического характера – напротив, возрастает. Эти различия, скорее всего, также связаны с особенностями регионар-

ной гемодинамики, которая усиливается при динамических нагрузках и значительно снижается при статических в результате окклюзии сосудов.

У нетренированных лиц картина иная – возрастание концентрации eNOS происходит после всех видов нагрузки, хотя влияние динамических упражнений выражено гораздо сильнее. Можно предполагать, что нетренированные лица не способны достичь уровня и длительности мышечного напряжения, при котором происходит значительная окклюзия сосудов, и у них даже при статических нагрузках происходит прирост регионарного кровотока, который и потенцирует возрастание содержания eNOS в плазме.

В период восстановления содержание eNOS в плазме во всех группах имеет тенденцию к возвращению к исходному уровню, хотя за 30 мин не успевает его достичь. Это, по всей вероятности, связано с погашением кислородного долга и снижением интенсивности регионарного кровотока.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, полученные результаты позволяют предполагать, что основной механизм, регулирующий концентрацию eNOS в плазме при физических нагрузках, связан с сосудистыми факторами, прежде всего – с интенсивностью регионарного кровотока и его воздействием на поверхность эндотелия [11]. Разумеется, нельзя исключить и влияния миогенных факторов, в частности описанного выше механизма, связанного с усилением продукции eNOS за счет активации нуклеарного фактора $\kappa\beta$ под воздействием активных форм кислорода, которые образуются в процессе митохондриального дыхания [14], но вклад данного механизма незначителен в сравнении с сосудистым фактором. Полученные результаты свидетельствуют в пользу предположения, что данный белок не может являться представителем группы миокинов.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ И ВКЛАД АВТОРОВ

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи, и сообщают о вкладе каждого автора. Дьякова Е.Ю. – разработка концепции и дизайна, анализ и интерпретация данных, проверка критически важного интеллектуального содержания. Капилевич Л.В. – анализ и интерпретация данных, проверка критически важного интеллектуального содержания,

окончательное утверждение рукописи для публикации. Захарова А.Н. – обоснование рукописи, анализ и интерпретация данных. Кабачкова А.В. – анализ и интерпретация данных, проверка критически важного интеллектуального содержания. Кироненко Т.А. – обоснование рукописи, анализ и интерпретация данных. Орлов С.Н. – анализ и интерпретация данных, проверка критически важного интеллектуального содержания, окончательное утверждение для публикации рукописи.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена за счет средств Российского научного фонда, проект 16-15-10026.

СООТВЕТСТВИЕ ПРИНЦИПАМ ЭТИКИ

Всеми участниками было подписано информированное согласие на участие в исследовании и согласие на забор крови. На проведение исследования было получено разрешение этической комиссии НИ ТГУ (регистрационный № 11 от 24 сентября 2015 г.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Метельская В.А., Гуманова Н.Г. Оксид азота: роль в регуляции биологических функций, методы определения в крови человека // *Актуальные проблемы сердечно-сосудистой патологии*. 2005; 7: 19–24.
2. Шенкман Б.С., Ломоносова Ю.Н., Немировская Т.Л. Нейрональная NO-синтаза – молекулярный гарант стабильности мышечного волокна: NO-зависимые сигнальные пути в активной и разгруженной мышце // *Успехи физиологических наук*. 2014; 45 (2): 37–48.
3. Kapilevich L.V., Kovalev I.V., Baskakov M.B., Medvedev M.A. Intracellular signal systems in the epithelium- and endothelium-dependent relaxation of smooth muscles // *Uspekhi fiziologicheskikh nauk*. 2001; 32 (2): 88–98.
4. Kobzik L., Reid M.B., Bredt D.S., Stamler J.S. Nitric oxide in skeletal muscle // *Nature*. 1994; 372(6506): 546–548.
5. Cocks M., Shaw C.S., Shepherd S.O., Fisher J.P., Ranasinghe A.M., Barker T.A., Tipton K.D., Wagenmakers A.J. Sprint interval and endurance training are equally effective in increasing muscle microvascular density and eNOS content in sedentary males // *J. Physiol*. 2013; 591(3): 641–656.
6. Frandsen U., Höffner L., Betak A., Saltin B., Bangsbo J., Hellsten Y. Endurance training does not alter the level of neuronal nitric oxide synthase in human skeletal muscle // *J. Appl. Physiol*. 2000; 89 (3): 1033–1038.
7. Капилевич Л.В., Кабачкова А.В., Захарова А.Н., Лалаева Г.С., Кироненко Т.А., Дьякова Е.Ю., Орлов С.Н. Секреторная функция скелетных мышц: механизмы продукции и физиологические эффекты миокинов // *Успехи физиологических наук*. 2016; 47(2): 7–26.
8. Pedersen B.K., Febbraio M. Muscles, exercise and obesity: skeletal muscle as a secretory organ // *Nat. Rev. Endocrinol*. 2012; 8 (8): 457–465.
9. Broholm C., Laye M.J., Brandt C., Vadlasetty R., Pilegaard H., Pedersen B.K., Scheele C. LIF is a contraction-induced myokine stimulating human myocyte proliferation // *J. Appl. Physiol*. 2011; 111 (1): 251–259.
10. Scheler M., Irmeler M., Lehr S., Hartwig S., Staiger H., Al-Hasani H., Beckers J., de Angelis M.H., Häring H.U., Weigert C. Cytokine response of primary human myotubes in an in vitro exercise model // *Am. J. Physiol. Cell. Physiol*. 2013; 305: C877–C886.
11. Wang M.X., Murrell D.F., Szabo C., Warren R.F., Sarris M., Murrell G. Nitric oxide in skeletal muscle: inhibition of nitric oxide synthase inhibits walking speed in rats // *Nitric Oxide*. 2001; 5 (3): 219–232.
12. Gibala M.J., MacLean D., Graham T.E., Saltin B. Tricarboxylic acid cycle intermediate pool size and estimated cycle flux in human muscle during exercise // *Am. J. Physiol*. 1998; 275 (2 Pt 1): E235–E242.
13. Lima-Cabello E., Cuevas M.J., Garatachea N., Baldini M., Almar M., González-Gallego J. Eccentric exercise induces nitric oxide synthase expression through nuclear factor-kappaB modulation in rat skeletal muscle // *J. Appl. Physiol*. 2010; 108(3): 575–583.
14. Powers S.K., Duarte J., Kavazis A.N., Talbert E.E. Reactive oxygen species are signalling molecules for skeletal muscle adaptation // *Exp. Physiol*. 2010; 95 (1): 1–9.
15. Devereux G.R., Coleman D., Wiles J.D., Swaine I. Lactate accumulation following isometric exercise training and its relationship with reduced resting blood pressure // *J. Sports Sci*. 2012; 30 (11): 1141–1148.

Поступила в редакцию 26.10.2016

Утверждена к печати 19.12.2016

Дьякова Елена Юрьевна, д-р мед. наук, доцент, профессор кафедры спортивно-оздоровительного туризма, спортивной физиологии и медицины факультета физической культуры, НИ ТГУ, г. Томск.

Капилевич Леонид Владимирович, д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой спортивно-оздоровительного туризма, спортивной физиологии и медицины факультета физической культуры, НИ ТГУ; профессор кафедры спортивных дисциплин НИ ТПУ, г. Томск.

Захарова Анна Николаевна, аспирант кафедры спортивно-оздоровительного туризма, спортивной физиологии и медицины факультета физической культуры, НИ ТГУ, г. Томск.

Кабачкова Анастасия Владимировна, канд. мед наук, доцент кафедры спортивно-оздоровительного туризма, спортивной физиологии и медицины факультета физической культуры, НИ ТГУ, г. Томск.

Кироненко Татьяна Александровна, аспирант кафедры спортивно-оздоровительного туризма, спортивной физиологии и медицины факультета физической культуры, НИ ТГУ, г. Томск.

Орлов Сергей Николаевич, д-р мед наук, профессор, зав. лабораторией физико-химии биологических мембран биологического факультета, МГУ им. М.Ю. Ломоносова, г. Москва; профессор кафедры спортивно-оздоровительного туризма, спортивной физиологии и медицины факультета физической культуры, НИ ТГУ, г. Томск; профессор лечебного факультета, Медицинский университет Монреаля, г. Монреаль, Канада.

(✉) Дьякова Елена Юрьевна, e-mail: adyakova@yandex.ru

УДК 612.128:577.151

DOI 10.20538/1682-0363-2017-1-20-26

For citation: Dyakova E.Yu., Kapilevich L.V., Zaharova A.N., Kabachkova A.V., Kironenko T.A., Orlov S.N. Plasma concentrations of endothelial nitric oxide synthase (enos) after different physical exercises. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2017; 16 (1): 20–26

Plasma concentrations of endothelial nitric oxide synthase (enos) after different physical exercises

Dyakova E.Yu.¹, Kapilevich L.V.^{1,3}, Zaharova A.N.¹, Kabachkova A.V.¹, Kironenko T.A.¹, Orlov S.N.^{1,2,4}

¹National Research Tomsk State University (NR TSU)
36, Lenina Str., Tomsk, 634050, Russian Federation

²Lomonosov Moscow State University
1, Leninskiye Goru, Moscow, 119991, Russian Federation

³National Research Tomsk Polytechnic University (NR TPU)
30, Lenina Str., Tomsk, 634050, Russian Federation

⁴Research Centre, Centre Hospitalier de l'Université de Montréal
Montreal, Canada

ABSTRACT

The **purpose** of the study is to evaluate the effect of dynamic and static exercises on eNOS concentrations in the blood plasma of athletes who do cyclic and strength kind of sports, as well as in men, who are not involved in any sports.

Materials and methods. Determination of plasma concentrations of eNOS was performed by using enzyme immunoassay. Blood samples were collected from weightlifters and track and field athletes before and after static and dynamic exercises.

Results. It has been shown that regular exercises contribute to a significant increase in the background level of endothelial nitric oxide synthase (eNOS) in the plasma of athletes. It is necessary to note that eNOS is almost twice higher in the weightlifters than in the track and field athletes. eNOS concentrations significantly decrease in athletes after static exercises, but on the contrary, increase after dynamic exercises. eNOS level rise in untrained individuals occurs after all kinds of exercises, although the influence of dynamic exercises is much more pronounced. Plasma concentrations of eNOS in all groups returned to baseline during the recovery period.

These results suggest that the underlying mechanism that regulates the amount of eNOS in the plasma during exercises is associated with vascular factors, first and foremost, with the intensity of regional blood flow and its impact on the endothelium surface. Therefore, this protein cannot be positioned as a representative of a myokine group.

Key words: exercise, nitric oxide, hemodynamics.

REFERENCES

1. Metelskaya V.A., Gumanova N.G. Oxid azota: rol v regulyatsii biologicheskikh funktsiy, metody opredeleniya v krovi cheloveka // *Aktualnye problemy serdechno-sosudistoy patologii*. 2005; 7: 19–24 (in Russian).
2. Shenkman B.S., Lomonosova Yu.N., Nemirovskaya T.L. Neyronalnaya NO-sintaza – molekulyarnyi garant stabilnosti myshechnogo volokna: NO-zavisimye signalnye puti v aktivnoy i razgrushennoy myshce // *Uspehi fiziologicheskikh nauk*. 2014; 45(2): 37–48 (in Russian).
3. Kapilevich L.V., Kovalev I.V., Baskakov M.B., Medvedev M.A. Intracellular signal systems in the epithelium- and endothelium-dependent relaxation of smooth muscles // *Uspekhi fiziologicheskikh nauk*. 2001; 32(2): 88–98.
4. Kobzik L., Reid M.B., Bredt D.S., Stamler J.S. Nitric oxide in skeletal muscle // *Nature*. 1994; 372(6506): 546–548.
5. Cocks M., Shaw C.S., Shepherd S.O., Fisher J.P., Ranasinghe A.M., Barker T.A., Tipton K.D., Wagenmakers A.J. Sprint interval and endurance training are equally effective in increasing muscle microvascular density and eNOS content in sedentary males // *J. Physiol*. 2013; 591(3): 641–656.
6. Frandsen U., Höffner L., Betak A., Saltin B., Bangsbo J., Hellsten Y. Endurance training does not alter the level of neuronal nitric oxide synthase in human skeletal muscle // *J. Appl. Physiol*. 2000; 89(3): 1033–1038.
7. Kapilevich L.V., Kabachkova A.V., Zaharova A.N., Lalaeva G.S., Kironenko T.A., Dyakova E.Yu., Orlov S.N. Sekretornaya funktsiya skeletnykh myshch: mehanizmy produktsii i fiziologicheskie efekty miokinov // *Uspehi fiziologicheskikh nauk*. 2016; 47(2): 7–26 (in Russian).
8. Pedersen B.K., Febbraio M. Muscles, exercise and obesity: skeletal muscle as a secretory organ // *Nat. Rev. Endocrinol*. 2012; 8(8): 457–465.
9. Broholm C., Laye M.J., Brandt C., Vadalasetty R., Pilegaard H., Pedersen B.K., Scheele C. LIF is a contraction-induced myokine stimulating human myocyte proliferation // *J. Appl. Physiol*. 2011; 111(1): 251–259.
10. Scheler M., Irmeler M., Lehr S., Hartwig S., Staiger H., Al-Hasani H., Beckers J., de Angelis M.H., Häring H.U., Weigert C. Cytokine response of primary human myotubes in an in vitro exercise model // *Am J Physiol Cell Physiol*. 2013; (305): C877–C886.
11. Wang M.X., Murrell D.F., Szabo C., Warren R.F., Sarris M., Murrell G. Nitric oxide in skeletal muscle: inhibition of nitric oxide synthase inhibits walking speed in rats // *Nitric Oxide*. 2001; 5(3): 219–232.
12. Gibala M.J., MacLean D., Graham T.E., Saltin B. Tri-carboxylic acid cycle intermediate pool size and estimated cycle flux in human muscle during exercise // *Am. J. Physiol*. 1998; 275(2 Pt 1): E235–E242.
13. Lima-Cabello E., Cuevas M.J., Garatachea N., Baldini M., Almar M., González-Gallego J. Eccentric exercise induces nitric oxide synthase expression through nuclear factor-kappaB modulation in rat skeletal muscle // *J. Appl. Physiol*. 2010; 108(3): 575–583.
14. Powers S.K., Duarte J., Kavazis A.N., Talbert E.E. Reactive oxygen species are signalling molecules for skeletal muscle adaptation // *Exp. Physiol*. 2010; 95(1): 1–9.
15. Devereux G.R., Coleman D., Wiles J.D., Swaine I. Lactate accumulation following isometric exercise training and its relationship with reduced resting blood pressure // *J. Sports Sci*. 2012; 30(11): 1141–1148.

Received October 26.2016

Accepted December 19.2016

Dyakova Elena Yu., DM, Associate Professor of the Department of Sport and Wellness Outdoor Tourism, and Sports Physiology and Medicine, NR TSU, Tomsk, Russian Federation.

Kapilevich Leonid V., DM, Head of the Department of Sport and Wellness Outdoor Tourism, and Sports Physiology and Medicine, NR TSU; Professor, Department of Sports Disciplines, NR TPU, Tomsk, Russian Federation.

Zaharova Anna N., Graduate Student, Department of Sport and Wellness Outdoor Tourism, and Sports Physiology and Medicine, NR TSU, Tomsk, Russian Federation.

Kabachkova Anastasiia V., PhD, Associate Professor of the Department of Sport and Wellness Outdoor Tourism, and Sports Physiology and Medicine, NR TSU, Tomsk, Russian Federation.

Kironenko Tatiana A., Graduate Student, Department of Sport and Wellness Outdoor Tourism, and Sports Physiology and Medicine, NR TSU, Tomsk, Russian Federation.

Orlov Sergey N., DM, Head of the Laboratory of Physical Chemistry of Biological Membranes, Faculty of Biology, Moscow State University, Moscow, Russian Federation; Professor of the Department of Sport and Wellness Outdoor Tourism, and Sports Physiology and Medicine National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation; Professor of the Emeritus Faculty of Medicine University of Montreal, Montreal, Canada.

(✉) **Dyakova Elena Yu.**, e-mail: adyakova@yandex.ru