

УДК 613.292 : 613.6

## **СЫВОРОТОЧНЫЙ ОКСИД АЗОТА И АДАПТАЦИЯ К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ НА ФОНЕ ПРИЕМА ПРОДУКТА СПОРТИВНОГО ПИТАНИЯ**

**Колесов С.А., Рахманов Р.С., Блинова Т.В., Страхова Л.А., Чумаков Н.В.**

Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профпатологии,  
Н. Новгород, Россия

*Обследованы молодые мужчины-спортсмены, в том числе пловцы, находящиеся в интенсивном тренировочном процессе, половина которых дополнительно принимала продукт спортивного питания (ПСП), а также гребцы после месячного отдыха от тренировок.*

*Выявлено, что регулярные физические занятия способствуют существенному повышению уровня общих метаболитов оксида азота (NOx) в крови спортсменов. Прием ПСП приводит к еще большему увеличению концентрации этих метаболитов в крови. При этом максимальный рост показателя являлся отсроченным и наблюдался в течение месяца после окончания приема ПСП.*

*Повышение концентрации NOx в крови спортсменов-пловцов является адаптивной реакцией организма на физическую нагрузку, в основе которой лежит улучшение его энергообмена, за счет чего повышается эффективность деятельности.*

**Ключевые слова:** адаптация, физические нагрузки, спортсмены, оксид азота

## **SERUM NITRIC OXIDE AND ADAPTATION TO PHYSICAL LOADS DURING DIETARY ADMINISTRATION OF SPORT NUTRITION PRODUCT**

**Kolesov S.A., Rakhmanov R.S., Blinova T.V., Strakhova L.A., Chumakov N.V.**

Nizhny Novgorod research institute for hygiene and occupational pathology,  
Nizhny Novgorod, Russia

*The authors studied young male sportsmen including swimmers during intense training process (half of which was administrated sport nutrition product /SNP/) and oarsmen after one month of rest.*

*It was found that regular physical exercises contributed to a significant elevated level of total metabolites of nitric oxide (NOx) in blood of sportsmen. Administration of SNP increased concentration of these metabolites in blood still more. At the same time, a maximal increase of the index was postponed and observed for a month after cessation of SPN administration.*

*An increase of NOx concentration in blood of sportsmen-swimmers is an adaptive response of human body to physical load. Improvement of energy metabolism is the basis of the response and thus effectiveness of activity is increased.*

**Key words:** adaptation, physical loads, sportsmen, nitric oxide

В конце XX века было установлено, что такое простое соединение, как оксид азота, вырабатываемый эндогенно, является универсальным мессенджером и регулирует основополагающие системы функционирования организма. Это открытие коренным образом изменило представления о биохимических механизмах гомеостаза и не случайно, что его авторам была присуждена Нобелевская премия [1].

Интенсивное изучение участия эндогенного оксида азота в биохимических процессах обеспечения жизнедеятельности организма позволило выяснить, что способностью к регуляторным влияниям на организм обладает также экзогенная форма этого соединения, образующаяся из нитратов, получаемых с пищей [2].

Способность оксида азота вызывать вазодилатацию эндотелия сосудов, влиять на микроциркуляцию и регулировать важнейшие этапы энергообмена делает его важнейшим компонентом системы адаптационного ответа организма на физическую нагрузку [3]. Некоторые исследователи полагают, что оксид азота является основным фактором, обеспечивающим физическую работоспособность [4]. Однако данные, опубликованные по этой проблеме, разноречивы, что позволяет авторам последних печатных работ констатировать, что роль оксида азота в адаптивных реакциях к физическим нагрузкам выяснена еще недостаточно [5].

Все вышеизложенное послужило основанием для проведения настоящего исследования.

**Цель исследования:** определить количественные характеристики метаболитов системы оксида азота в сыворотке крови при интенсивных физических нагрузках и оценить особенности влияния алиментарных донаторов оксида азота на процессы адаптации к физической деятельности.

**Материал и методы.** В исследовании приняли участие 45 молодых мужчин-добровольцев, активно занимающихся циклическими видами спорта. Возраст колебался от 21 года до 26 лет и в среднем составлял 23 года.

Участники исследования были разделены на три равные группы по 15 человек в каждой. В первую (контроль) и вторую (опыт) группы были включены спортсмены-пловцы, участвовавшие в регулярных интенсивных тренировках. В течение двух недель перед первым и третьим исследованиями проводились три тренировки в неделю в течение 1 часа в бассейне и 1 занятие в тренажерном зале, перед вторым исследованием интенсивность тренировок была увеличена на 46% (четыре тренировки в бассейне и две тренировки в тренажерном зале). Всего перед первым и третьим исследованиями спортсмены проплыли по 15000 м, а перед вторым – 22000 м. При этом спортсмены-пловцы из опытной группы дополнительно в течение 15 суток ежедневно принимали «Продукт спортивного питания» (ПСП). Характеристики ПСП описаны в литературе [6], а состав приведен в таблице 1.

ПСП принимался под наблюдением медицинского работника из расчета 20,0 на 70 кг веса тела спортсмена.

Дополнительно однократно было исследовано количество общих метаболитов оксида (NOx) азота в крови в группе спортсменов-гребцов (третья группа) после их месячного отдыха от тренировок и соревнований.

Таблица 1

#### Состав продукта спортивного питания

№	Наименование компонента	Доля в готовом продукте (%)
1.	Арбузные семечки	16
2.	Шиповник	13
3.	Овес	10
4.	Шпинат	17
5.	Морская капуста	34
6.	Яичный белок	10
<b>Итого:</b>		100

Критерием включения участников в исследуемые группы явилось отсутствие респираторных инфекций, успешное прохождение стандартного комплекса лабораторных исследований и наличие информированного добровольного согласия.

Исследования в опытной и контрольной группах проводились три раза: исходное состояние оценивалось до начала приема ПСП (первое исследование), сразу после окончания приема ПСП (второе исследование) и через месяц после окончания приема ПСП (третье исследование).

Кровь для исследований отбирали утром натощак, путем венепункции локтевой вены. Сыворотку крови получали стандартным методом. Непосредственно перед взятием биоматериала – утром, после ночного отдыха в контрольной и опытной группах производилось изучение частоты сердечных сокращений (ЧСС) в покое и через 30 с после нагрузки. Накануне взятия крови и исследований сердечно-сосудистой системы (ССС) проводили оценку эффективности спортивной деятельности, в качестве которой использовали время (с) заплывов на дистанцию 100 м кролем на груди.

Уровень NOx определяли по методике В.А. Метельской [7].

Полученные данные подверглись проверке нормальности распределения по методу Колмогорова-Смирнова. В связи с отсутствием нормальности в распределении анализируемых признаков были использованы методы непараметрической статистики. Для описательной статистики рассчитывали среднюю арифметическую, медиану, минимальное и максимальное значения, 25% и 75% квартили. Достоверность различий полученных данных определяли по критерию Манна-Уитни (для несвязанных выборок) и по критерию Вилкоксона (для связанных выборок).

**Результаты и обсуждение.** Перед исследованием оксида азота в его динамике был проведен сравнительный анализ исходного уровня концентрации NOx в сыворотке

крови спортсменов разных групп в начале исследования, его результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Количество общих NOx (мкМ) в сыворотке крови спортсменов исследованных групп в исходном состоянии**

Статистические показатели	Спортсмены-гребцы после месяца отдыха	Контрольная группа (спортсмены-пловцы, первое исследование)	Опытная группа (спортсмены-пловцы, первое исследование)
Количество исследований	15	15	15
Средняя величина	46,80	110,40	133,00
Медиана	45,00	108,30	124,90
Минимум	22,80	22,40	83,30
Максимум	76,50	246,10	315,30
25% квартиль	36,00	87,40	103,10
75% квартиль	46,80	129,10	137,80
p (относительно спортсменов-гребцов до тренировок)		0,00	0,00

Как видно из представленных данных, в исходном состоянии (первое исследование) наименьшее содержание NOx в сыворотке крови отмечено у спортсменов-гребцов после месячного отдыха. Оно соответствовало уровню в 25,0–58,3 мкМ, выявленному в крови здоровых взрослых людей-неспортсменов авторами метода [7]. Более высокие показатели отмечены у спортсменов-пловцов в ходе регулярных физических нагрузок (тренировок). Разница в количестве NOx между опытной и контрольной группами статистически недостоверна, но обе группы имеют достоверную разницу в сравнении со спортсменами-гребцами. Такая разница в полученных данных связана с влиянием интенсивности физических нагрузок на уровень показателя [8]. Следует отметить, что в ходе тренировок Cubrilo D et al. (2011) именно у гребцов установлен самый высокий уровень NOx, по сравнению со спортсменами, занимающимися иными видами спорта [9].

На втором этапе анализа полученных данных осуществлялась оценка содержания NOx в образцах сыворотки крови, отобранных у спортсменов контрольной и опытной групп, на протяжении всего исследования. Выяснено, что уровень NOx в крови оказался более высоким у спортсменов опытной группы и составил 126,40 мкМ, по сравнению с

104,90 мкМ в контрольной группе. Выявленная разница в величине показателя является достоверной ( $p=0,00$ ).

На третьем этапе анализа полученных данных были изучены особенности динамических сдвигов величин NOx в крови у спортсменов опытной и контрольной групп в ходе исследования. Они представлены в таблице 3.

Таблица 3

**Динамика количества общих NOx (в мкМ) в сыворотке крови спортсменов-пловцов опытной и контрольной групп в ходе исследования**

Статистические показатели	Контрольная группа (спортсмены-пловцы в ходе тренировок)			Опытная группа (спортсмены-пловцы в ходе тренировок с использованием ПСП)		
	Первое исследование	Второе исследование	Третье исследование	Первое исследование	Второе исследование	Третье исследование
Количество исследований	15	15	15	15	15	15
Средняя величина	121,70	95,00	114,50	118,80	135,70	144,50
Медиана	108,30	89,50	116,90	114,50	127,10	137,80
Минимум	87,40	64,50	70,80	85,40	83,30	83,30
Максимум	246,10	157,40	177,40	185,00	228,40	315,30
25% квартиль	102,10	66,60	81,00	97,90	95,80	116,60
75% квартиль	112,40	97,90	129,10	120,80	145,08	137,80
Достоверность различий (p) в опытной группе, относительно первого исследования				-	0,16	0,03

Полученные данные свидетельствовали о том, что у спортсменов опытной группы после приема ПСП уровень NOx в крови существенно увеличивался. Наибольшей величины этот показатель достигал через месяц после приема ПСП, превышая исходный уровень на 20%.

В контрольной группе спортсменов концентрация NOx, несмотря на увеличение интенсивности нагрузок, перед вторым исследованием не претерпевала существенных изменений, оставаясь на исходном уровне.

Полученные данные позволяют предположить различия в степени проявления адаптивных механизмов у спортсменов этих групп под влиянием приема ПСП.

Результаты эффективности спортивной деятельности у спортсменов исследуемых групп представлены в таблице 4.

Таблица 4

#### Улучшение результата времени заплыва (в секундах)

№ п/п	Время исследования	Группа	
		Контроль	Опыт
1	Начало исследования	0,00	0,000
2	Конец приема ПСП (второе исследование)	0,16	0,44
3	Конец наблюдения (третье исследование)	0,49	0,95

Из данных таблицы видно, что спортивные показатели выше в опытной группе спортсменов, по сравнению с контрольной. Такое повышение эффективности деятельности является следствием улучшения процессов адаптации к физическим нагрузкам, о чем свидетельствуют результаты исследования ССС у спортсменов (табл. 5).

У принимавших и не принимавших ПСП спортсменов установлена разнонаправленная реакция ССС на нагрузку. В опытной группе было определено урежение ЧСС, в контрольной – отмечена тенденция к учащению. Так, через 30 с после выполнения упражнений в опытной группе было отмечено достоверное урежение ЧСС (среднее значение – 167,60 уд. мин), она была также достоверно ниже, чем у лиц контрольной группы (среднее значение – 170,80 уд. мин).

Наблюдаемое в опытной группе статистически достоверное урежение ЧСС свидетельствует о повышении гипоксической устойчивости.

Таким образом, полученные результаты позволяют расценивать повышение концентрации NOx в сыворотке крови спортсменов как положительную реакцию, направленную на улучшение адаптивных реакций к физическим нагрузкам.

Анализируя данные литературы, следует отметить, что мнения о возможности пищевой коррекции концентраций NOx, соответственно, физической выносливости и улучшения адаптации к физическим нагрузкам разнятся. Часть авторов не находят положительного влияния приема пищевых донаторов оксида азота на процессы адаптации [10], другие приводят доказательства об обратном [11]. Полученные в наших исследованиях данные подтверждают мнение о возможности с помощью ПСП вызвать прирост концентрации NOx в крови и улучшение адаптивных процессов к физической деятельности. По данным литературы, в основе этого действия лежит способность оксида азота улучшать функционирование эндотелия, расширять сосуды,

оптимизировать окислительные процессы в митохондриях и уменьшать потребление тканями кислорода [11].

Таблица 5

**Показатели ЧСС (уд. мин) через тридцать секунд после выполнения нагрузки в динамике наблюдения**

№	Показатели	ЧСС через 30 с после нагрузки					
		1 исследование (исходное состояние)		2 исследование		3 исследование	
		Контроль- ная группа	Опытн ая группа	Контроль- ная группа	Опытная группа	Контроль- ная группа	Опытн ая группа
1.	n	15	15	15	15	15	15
2.	Средняя величина	170,80	170,80	171,20	168,40	170,80	167,60
3.	Медиана	174,00	17,004	174,00	168,00	168,00	168,00
4.	Минимум	162,00	162,00	168,00	162,00	168,00	162,00
5.	Максимум	174,00	180,00	174,00	174,00	174,00	174,00
6.	25% квартиль	168,00	168,00	168,00	168,00	168,00	168,00
7.	75% квартиль	174,00	174,00	174,00	168,00	174,00	168,00
8.	p относительно исходного	-	-	0,03	0,00	0,50	0,00
9.	p относительно контрольной группы	-	-	-	0,46	0,03	0,01

К настоящему времени известно, что эндогенный оксид азота синтезируется в организме ферментами NO-синтазами из L-аргинина (предшественником которого является L-цитруллин). Кроме того, известно, что и пищевые нитраты могут быть источником для производства эндогенного оксида азота; при помощи тканевых нитрат – и нитритредуктаз: нитраты пищи быстро абсорбируются в верхних отделах

желудочно-кишечного тракта и транспортируются кровотоком в слюнные железы, где преобразуются в нитриты при помощи бактерий, затем попадают в большой круг кровообращения, где могут быть дополнительно окислены в кровеносных сосудах, сердце, скелете и других тканях, образуя биоактивный оксид азота [12]. Поскольку в ПСП достаточно велика доля шпината, который содержит большое количество нитратов, а также арбузных семечек (арбузы известны как богатый источник L-цитруллина) – этот продукт может служить донатором оксида азота [13].

Обращает на себя внимание тот факт, что максимальное увеличение содержания NOx в крови спортсменов выявилось отсроченно, через месяц после окончания приема ПСП. По всей вероятности, это связано с тем, что часть оксида азота, синтезируемого из внешних источников, быстро поступает в кровь и увеличивает в ней общий пул NOx. В печатных работах имеются данные о пролонгированном (до полумесяца) действии пищевых нитратов [14]. Поскольку ПСП в своем составе содержит большое количество микроэлементов, витаминов, аминокислот, которые не только улучшают метаболизм организма в целом, но также являются предшественниками оксида азота [13], то вполне закономерно предположить, что пролонгированный и увеличенный синтез оксида азота обеспечивается за счет этих компонентов ПСП.

**Заключение.** В результате проведенных исследований выявлено, что регулярные физические тренировки способствуют существенному повышению уровня NOx в крови спортсменов-пловцов. Дополнительный прием ими ПСП приводит к существенному увеличению концентрации этих метаболитов в крови. При этом максимальный рост показателя являлся отсроченным и наблюдался в течение месяца после окончания приема ПСП.

Повышение концентрации NOx в крови спортсменов-пловцов является адаптивной реакцией организма на физическую нагрузку, в основе которой лежит улучшение его энергообмена (выявляемое по показателям ССС), за счет которого, в свою очередь, повышается эффективность деятельности.

#### **Список литературы:**

1. Сосунов А.А. Оксид азота как межклеточный посредник / А.А. Сосунов // Соревский образовательный журнал. – 2000. – № 6. – С. 27–34.
2. Lundberg J.O. Biology of nitrogen oxides in the gastrointestinal tract / J.O. Lundberg, E.Weitzberg // Gut. – 2013. – V. 62. – № 4. – P. 616–629.
3. Rimer E.G. Acute Dietary Nitrate Supplementation Increases Maximal Cycling Power in Athletes / E.G. Rimer, L.R. Peterson, A.R. Coggan, J.C.Martin // Int J Sports Physiol Perform. – 2015. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26641379> (дата обращения 28.04.2016).
4. Gilchrist M. Dietary nitrate – good or bad? / M. Gilchrist, P.G. Winyard, N. Benjamin // Nitric Oxide. – 2010. – V. 22. – № 2. – P.104–109.

5. Mason S.A. Muscle redox signalling pathways in exercise. Role of antioxidants / S.A. Mason, D. Morrison, G.K. McConell, G.D. Wadley. // *Free Radic Biol Med.* -2016. UR.L: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26912034> (дата обращения 26.04.2016).
6. Белоусько Н.И. Состав продукта спортивного питания / Н.И. Белоусько, А.Е. Груздева, Р.С. Рахманов // URL: <http://www.findpatent.ru/patent/253/2533002.html> (дата обращения 26.04.2016).
7. Метельская В.А. Скрининг-метод определения уровня метаболитов оксида азота в сыворотке крови / В.А. Метельская, Н.Г. Гуманова // *Клин. лаб. диагн.* – 2005. – № 6. – С. 15–18.
8. Djordjevic D.Z. Comparison of blood pro/antioxidant levels before and after acute exercise in athletes and non-athletes / D.Z. Djordjevic, D.G. Cubrilo, N.S. Barudzic, M.S. Vuletic, V.I. Zivkovic, M. Nestic, D. Radovanovic, D.M. Djuric, V.L. Jakovljevic // *Gen Physiol Biophys.* – 2012. – V. 31. – № 2. – P. 211–219.
9. Cubrilo D. Oxidative stress and nitrite dynamics under maximal load in elite athletes: relation to sport type / D. Cubrilo, D. Djordjevic, V. Zivkovic, D. Djuric, D. Blagojevic, M. Spasic, V. Jakovljevic // *Mol Cell Biochem.* – 2011. –V.355. – № 1–2. – P.273–279.
10. Sandbakk S.B. Effects of acute supplementation of L-arginine and nitrate on endurance and sprint performance in elite athletes / S.B. Sandbakk, O. Sandbakk, O. Peacock, P. James, B. Welde, K. Stokes, N. Böhlke, A.E.Tjonna // *Nitric Oxide.* – 2015. – № 48. – P. 10–15.
11. Poortmans J.R. Nitrate supplementation and human exercise performance: too much of a good thing? / J.R. Poortmans, B. Gualano, A. Carpentier // *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* – 2015. – V.18. – № 6. – P.599-604.
12. Larsen F.J. Regulation of mitochondrial function and energetics by reactive nitrogen oxides / F.J. Larsen, T.A. Schiffer, E. Weitzberg, J.O. Lundberg // *Free Radic Biol Med.* – 2012. – V. 53. – № 10. – P.1919–1928.
13. Осипенко А.А. Роль системы оксида азота в процессах адаптации организма к физическим нагрузкам / А.А Осипенко. // *Наука в олимпийском спорте.* – 2014. – № 1. – С. 23–30.
14. Jones A.M. Dietary nitrate and O<sub>2</sub> consumption during exercise / A.M. Jones, S.J. Bailey, A. Vanhatalo // *Med Sport Sci.* – 2012. – № 59. – P. 29–35.