DOI: 10.17117/na.2015.12.02.397

<http://ucom.ru/doc/na.2015.12.02.397.pdf>

Поступила (Received): 30.12.2015

Алиев С.А., Гасанова А.К., Алибекова С.С. Новые аспекты исследований в биохимии физических упражнений и спорта

Aliyev S.A., Hasanova A.K., Alibekova S.S.
New aspects of research in the biochemistry of exercise and sport

В работе анализированы естественные возможности антиоксидантной защиты скелетных мышц от повреждающего действия оксидантов, производимых ими же в результате функциональной активности, вопросы источников свободных радикалов, адаптации эндогенных антиоксидантов к физическим нагрузкам, роль экзогенных антиоксидантов и указаны задачи, решение которых могут быть полезны для физической активности и здоровья

Muscle performance associated with sport has special advantage in huge sport achievements. As a rule, high rated records in sport, associated with muscle performance are being achieved by consuming extremely high or extremely low rated Oxygen. In common cases, the cells are subjected to free radical attack of ROS (reactive oxygen species), on the verge of its defense capabilities. Deep analysis of free radical processes in muscle activity reveals new aspects of research in biochemistry of physical activities and sport. New advantages in this research area are required in development of theory and practice, and will serve to strengthen health and athletic improvement capabilities for people

Ключевые слова: скелетные мышцы, антиоксиданты, физическая нагрузка

Key words: skeletal muscles, antioxidants, exercise

Алиев Саадат Абдулла оглы

Кандидат биологических наук, доцент
Азербайджанская государственная академия
физической культуры и спорта
Азербайджан, г. Баку, проспект Ф.Х. Хойского, 98

Aliyev Saadat Abdulla

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
Azerbaijan state academy of physical culture and sport
Azerbaijan, Baku, F.X. Xoyski ave., 98

Гасанова Арзу Карам кызы

Кандидат биологических наук, доцент
Азербайджанская государственная академия
физической культуры и спорта
Азербайджан, г. Баку, проспект Ф.Х. Хойского, 98

Hasanova Arzu Karam

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
Azerbaijan state academy of physical culture and sport
Azerbaijan, Baku, F.X. Xoyski ave., 98

Алибекова Самира Саадат кызы

Преподаватель
Азербайджанская государственная академия
физической культуры и спорта
Азербайджан, г. Баку, проспект Ф.Х. Хойского, 98

Alibekova Samira Saadat

Teacher
Azerbaijan state academy of physical culture and sport
Azerbaijan, Baku, F.X. Xoyski ave., 98

Сегодня пристальное внимание исследователей в области физиологии и биохимии физических упражнений и спорта направлено на изучение роли свободных радикалов в процессах мышечной деятельности. Свободные радикалы в скелетных мышцах образуются в состоянии покоя. И их продукция усиливается во время сократительной деятельности. При интенсивных физических нагрузках такое усиление оксидантообразования приводит к сдвигу в балансе про- и антиоксидантных соединений в работающих скелетных мышцах, происходит развитие окислительного стресса – явления, которое предположительно лежит в основе утомления мышц и различных их дисфункций. Исследования на животных показали, что мышечные волокна адаптируются к повышенному уровню свободнорадикальной активности для того, чтобы противостоять риску окислительного повреждения тканей. А это происходит благодаря адаптивным изменениям эндогенной антиоксидантной системы скелетных мышц под воздействием физических нагрузок. Для исследователя адаптивных изменений организма к физическим нагрузкам, в особенности к нагрузкам высших спортивных достижений, должны быть важны и вопросы антиоксидантной адаптации скелетных мышц. Здесь мы хотели бы обратить внимание на то, какие аспекты оксидант-антиоксидантных взаимоотношений в клетках могли бы быть полезными для изучения антиоксидантной адаптации [8].

Физические нагрузки, которым подвергаются спортсмены, приводят к чрезмерному образованию активных форм кислорода – (гидроксид иона, перекиси водорода, супероксиданиона) и значительному росту скорости перекисного окисления липидов (ПОЛ). Известно, что даже незначительная часть кислорода, поступающего из воздуха в организм, превращается в активные формы – свободные радикалы, обладающие высокой химической активностью. Последние вызывают окисление белков, липидов, нуклеиновых кислот. Чаще всего окислению подвергается липидный слой биологических мембран. Под действием физических нагрузок организм испытывает адаптативные изменения, в том числе такие изменения происходят в антиокислительной системе клеток и тканей. Из литературных источников известно множество примеров влияния добавок витамина С на реакцию антиокислительной системы при интенсивной физической нагрузке. У крыс, получивших внутрижелудочно витамин С ежедневно в дозе 15 мг/кг в течении 4 недель, изучали изменение содержания продукта перекисного окисления липидов (ПОЛ) и общей антиокислительной активности (ОАА) в плазме крови и скелетной мышце (*m.gastrocnemius*) до и после субмаксимальной физической нагрузки. Добавки витамина С в указанной дозе привели к повышению его концентрации в крови и мышце на ~50% и ~35%, соответственно. У опытных крыс (с диетой витамина С) обнаружен более высокий базовый уровень ОАА и в плазме, и в мышце по сравнению с контрольными животными (без диеты витамина С). При этом, в скелетной мышце у опытных крыс реакция ОАА на физическую нагрузку исчезает, а в плазме наоборот, появляется. С учетом данных измерений концентрации малонового диальдегида (продукт ПОЛ – оксидантный показатель), можно прийти к выводу, что добавки витамина С модифицируют антиоксидантную реакцию скелетных мышц на фи-

зическую нагрузку, что также находит свое отражение в оксидант-антиоксидантном балансе в плазме крови. Эффект витамина С обсуждается с точки зрения его прямого взаимодействия с оксидантами, а также через адаптативные механизмы антиоксидантной продукции [7].

Была также изучена роль антиоксидантных ферментов в адаптации скелетных мышц к физическим нагрузкам – к фактору, который является причиной интенсификации производства активных форм кислорода, способных привести к различным структурным и функциональным нарушениям органа. Антиоксидантная система мышц, включающая в себя в частности, ферментные антиоксиданты, призвана защитить клеточные структуры от повреждения со стороны кислородных радикалов и, следовательно, должна быть способна адаптироваться к «физиологическому окислительному стрессу», степень которого определяется интенсивностью физической работы. Приведенные данные об изменениях активности таких ферментов, как супероксиддисмутаза, глутатионпероксидаза и глутатионредуктаза, в белой и красной скелетных мышцах при действии хронических и острых нагрузок позволяют обсуждать посттранскрипционные и посттрансляционные аспекты в механизме антиоксидантной адаптации скелетных мышц к физическим нагрузкам [7].

В последние годы получили широкое распространение исследования, связанные с утилизацией молекулярного кислорода путем, отличным от энергопродукцирующего окислительного фосфорилирования, а именно превращение их в активные формы кислорода (АФК) с дальнейшим участием в свободнорадикальных процессах. Одно из основных направлений в этих исследованиях связано с мышечной деятельностью. Главным источником АФК в клетках является дыхательная (электронтранспортная) цепь в митохондриях; считается, что в дыхательной цепи часть поглощенного организмом кислорода (по имеющимся в литературе данным до 5% в состоянии покоя) уходит в виде первичного радикала кислорода – супероксиданиона (O_2^-). Избежав участия в продукции энергии, молекулы последнего, превращаясь в другие активные формы кислорода (перекись водорода, гидроксильный радикал и др.), входят в окислительное взаимодействие с липидами, белками клеточных компонентов и становятся причиной их повреждения; при этом развиваются цепные свободнорадикальные реакции с привлечением новых молекул O_2 . Однако в клетках и тканях присутствует эндогенная антиоксидантная система для обезвреживания АФК, и благодаря этой системе в норме свободнорадикальные процессы поддерживаются на некотором низком, в целом безвредном для организма, уровне. Считается, что уровень концентрации АФК в тканях является одним из регулирующих механизмов организма [8]. Проведено исследование активности глутатионпероксидазы (ГПО) в субклеточных фракциях (митохондриях и цитозоли) скелетных мышц у крыс при острых и хронических физических нагрузках. Под влиянием хронических нагрузок (до субмаксимальных) отмечается проявление индуцируемых однократной нагрузкой активности ГПО в митохондриальной фракции белой и красной мышц (*m.gastrocnemius*). Базовая ГПО – активность цитозольной фракции, соответствующая состоянию покоя, в белой мышце с тренировками повышается, но реакция на острую нагрузку не проявляется. В красной мышце базовый

уровень цитозольной активности (ГПО) не меняется, однако индукция острой нагрузки имеет место. Не обнаружено изменений активности ГПО в скелетных мышцах под действием физических нагрузок на фоне добавок селена у нетренированных животных. У тренированных животных селеновая диета приводит к повышению базовой активности ГПО митохондриальной фракции белой и красной мышц. Результаты указывают на то, что роль ГПО в антиоксидантной адаптации скелетных мышц к физическим нагрузкам может быть охарактеризована с учетом скоростных качеств мышц и субклеточной принадлежности фермента [10].

В нормальных тканях хорошо сбалансированы процессы образования и расходования перекисей и окисление липидов протекает на определенном стационарном уровне, в результате чего в них сохраняется низкий уровень перекисей липидов. Этот баланс нарушается при патологических состояниях. При этом в тканях накапливаются перекиси, что приводит к необратимым повреждениям в мембранах и смерти клеток. Отметим, что исследования ПОЛ в большей части относятся к различным патологическим ситуациям. Практически, любая спортивная работа осуществляется при повышенной скорости потребления кислорода и отсюда высокая вероятность активации процессов перекисления, обусловленной перегрузкой организма (или органов и тканей) кислородом. В ациклических видах спорта, главным образом, в единоборствах и игровых видах спорта, интенсивность мышечной деятельности подвергается неоднократным и резким изменениям. Такие перепады в интенсивности работы приводят к несоответствию между продолжающимися некоторое время высокими темпами поглощения кислорода и темпами утилизации кислорода в митохондриях мышц. Такое несоответствие приводит к гипероксии в мышечных тканях, что становится толчком к развитию окислительного стресса. К интенсификации ПОЛ в организме при выполнении физических нагрузок может привести и ацидоз, формируемый в результате образования большого количества молочной кислоты. В современном спорте высокие пределы физических нагрузок, эмоциональные перенапряжения действуют на организм спортсмена как стресс-факторы и в результате стрессовые гормоны – катехоламины становятся опять же причиной активации ПОЛ, в частности, через влияние на активность фосфолипаз, гидролизующих мембранные фосфолипиды [4, 5].

Как уже отмечалось, активация ПОЛ считается причастной к нарушению самых разнообразных функций организма при патологиях и стрессах. Продукты ПОЛ рассматриваются как биологические деструктивные факторы, накопление которых в организме индуцирует развитие стресс-синдрома. Нетрудно представить, каким образом будут проявляться последствия интенсификации ПОЛ по тем или иным причинам в мышечной деятельности – на структурно-функциональных свойствах мышечных клеток и их органелл, их сократительных функциях. Вызванное повреждающим действием продуктов ПОЛ повышение проницаемости мембранных систем мышечных клеток, а именно мембран саркоплазматического ретикулума, митохондрий, лизосом и мембран нервных клеток, может привести к очень серьезным негативным последствиям: к нарушению механизма запуска сокращения и расслабления, к нарушению аэробного синтеза

АТФ, к деградации различных клеточных структур лизосомальными ферментами, к сбою в проведении нервных импульсов. Так что чрезмерная активация ПОЛ и происходящие в результате этого изменения в функциональном состоянии биологических мембран могут рассматриваться дезадаптационными факторами, приводящими к утомляемости мышц, снижению уровня физической работоспособности организма [5, 6].

Однако не всегда и не на всех типах мышц подтверждается индукция ПОЛ действием острых физических нагрузок, но в то же время имеются отдельные работы, где показывается, что уровень перекисного окисления липидов подвержен влиянию регулярных тренировочных нагрузок. Более того, имеются данные, которые показывают, что у обычных нетренированных животных (белые крысы, самцы) уровень ПОЛ в печени и белых скелетных мышцах повышается под действием физической нагрузки, у тренированных животных этот эффект индукции ПОЛ исчезает [3, 5].

Большинство исследователей, работающих в этой области, считают, что повышенное производство свободных радикалов и, как результат, повышенный уровень ПОЛ способны нарушить функциональную целостность мышц и других органов. Однако результаты некоторых работ последних лет показывают, что свободнорадикальные соединения, появляющиеся в результате физических нагрузок, могут выступать в роли сигнальных агентов, стимулирующих специфические адаптивные ответы скелетных мышц во время сократительной деятельности. Такие адаптивные реакции очень важны для функциональной целостности мышц, потому что специфические адаптивные реакции в скелетных мышцах, вызванные оксидантными соединениями, способствуют защите клетки от той концентрации индуцированных оксидантов, которая в норме имеет повреждающее влияние. Важный и неожиданный момент еще и в том, что предварительное введение антиоксидантов ослабляет адаптивную реакцию мышц на оксидативный стресс, вызванный физической нагрузкой [3, 5, 6, 7].

В последние годы в литературе важным предметом дискуссий являются вопросы, касающиеся роли оксидативных процессов в осуществлении и регуляции мышечной деятельности и различные объяснения изменениям активности антиоксидантных ферментов в ответ на острые физические нагрузки. Все направления исследований являются актуальными как с точки зрения свободнорадикальной биологии, так и фундаментальных и прикладных аспектов биохимии и физиологии спортивных упражнений. Имеются ввиду исследования индуцируемых физическими нагрузками источников свободных радикалов, механизмов и особенностей развития свободнорадикальных процессов, в частности, реакций перекисного окисления липидов, механизмов антиоксидантной защиты и её адаптивных возможностей при действии хронических физических нагрузок, использования про- и антиоксидантных показателей как критериев для оценки физической работоспособности и многих других сторон. Однако должны отметить, что большинство этих исследований выполнялись на самых разных объектах (животных, спортсменах различной специализации), на различных органах и типах мышц, при отличающихся принципиально по характеру

физических нагрузках, применяемых для осуществления экспериментов, подвергались измерениям различные показатели свободнорадикальных процессов, причем нередко с помощью различных методов и способов [4, 5, 12, 13, 14].

Усиление метаболических процессов при интенсивных физических нагрузках приводит к повышенному потреблению кислорода двигательными мышцами, миокардом и другими органами, что создает условия для интенсификации свободнорадикальных процессов. Антиоксидантная защитная система представляет жизненную необходимость в борьбе против оксидативного стресса [8, 9, 10].

Свободнорадикальные процессы охватывают многие стороны клеточной деятельности. И в большинстве случаев развитие свободнорадикальных реакций сопутствует процессам, нежелательным для нормальной жизнедеятельности клеток, сопряженным нарушением их структурной и функциональной целостности в результате различных болезней, патологий, с одной стороны, а также при действии многочисленных экстремальных физических и химических факторов – с другой. Мышечная деятельность, осуществляющие эту деятельность органы и, в первую очередь, скелетные мышцы занимают особое место в отношении к свободнорадикальным процессам, проистекающим в этих исполнительных органах двигательной активности. Свободнорадикальную активность (этот термин мы употребляем не в прямом смысле) скелетные мышцы проявляют при реализации нормальной функциональной деятельности, т.е. при осуществлении собственно своей непосредственной функции – сократительной функции. Применение физической нагрузки, которая тоже является внешним физическим фактором, приводит к выполнению присущей мышцам сократительной функции. Вопрос, однако, заключается в том, какова интенсивность действующей нагрузки и какова степень возникающей «свободнорадикальной опасности» для нормальной клеточной деятельности [10].

Тяжелые физические нагрузки усиливают образование свободных радикалов в скелетных мышцах и других тканях. Хотя повышенный поток кислорода через митохондриальную электрон-транспортную цепь является главным источником продукции свободных радикалов, существуют и другие пути, которые будут вовлечены в процесс радикалообразования при соответствующих специфических физиологических условиях и специфических тканях. Более того, эти механизмы образования свободных радикалов не взаимоисключают друг друга; следовательно, оксидативные повреждения могут развиваться как в ходе, так и после острых интенсивных физических нагрузок [1, 7, 8].

Исследования в этой области априори предполагают модулирующую роль свободных радикалов или же редокс-состояние клеточной среды, достигнутое в результате реакций с их участием, в безопасном регулировании интенсивности физических нагрузок. Поэтому изучение механизмов этой модуляции, выявление границ её применимости, возможностей сдвига (расширения) этих границ в зависимости от степени нагрузок представляют основную линию свободнорадикальной биохимии мышечной деятельности [4, 5].

Антиоксидантная защитная система представляет жизненную необходимость в борьбе против оксидативного стресса. Пожалуй, один из важных аспектов в изучении антиоксидантной системы, требующий пристального внимания, это – выяснение различий между индуцируемыми и неиндуцируемыми антиоксидантами. Первые, включая антиоксидантные ферменты (в том числе и глутатионовую систему), демонстрируют значительные адаптивные свойства в ответ на хронические нагрузки, по крайней мере, в скелетных мышцах (разумеется, при условии адекватного пищевого обеспечения). Вторые же сильно зависят от их содержания в диете и поэтому подвержены влиянию их дефицита. Понимание уникальных характеристик и регуляторных механизмов различных антиоксидантов может помочь развить правильную стратегию повышения клеточной антиоксидантной способности через физиологические пути и питание [3, 5, 9].

Здесь, по-видимому, особо нужно отметить область мышечной деятельности, связанную со спортом, с высокими спортивными достижениями. Как правило, высокие, рекордные спортивные показатели, связанные с мышечной деятельностью, достигаются при крайне высоком или крайне низком уровне потребления кислорода. В том и другом случае клетки подвергаются свободнорадикальной атаке АФК, находясь при этом на грани своих защитных возможностей. Очень важным представляется вопрос разработки механизмов мобилизации эндогенных антиоксидантных резервов для экстремальных условий и, возможно, в сочетании с экзогенными антиоксидантными средствами. Коснемся вопроса потребления кислорода при работах высоких мощностей в контексте достижения максимальной аэробной работоспособности. Исходя из того, что в скелетных мышцах при сократительной деятельности происходят два типа потребления кислорода, т.е. помимо «энергетического потребления» происходит и «свободнорадикальное потребление» кислорода, причем, при работах крайне высоких мощностей вклад второго типа потребления кислорода значительно усиливается, и, по-видимому, становится сравнимым с первым, то вопрос регулирования баланса между двумя путями потребления O_2 становится наиболее значимым. Речь идет, конечно, о максимальных показателях, достижимых в пределах генетической детерминированности органов. Возможно, в этих случаях пересмотра требует и показатель анаэробной работоспособности – максимальная скорость потребления кислорода [9, 11, 12].

Как видно, глубокий анализ роли свободнорадикальных процессов в мышечной деятельности выявляет новые аспекты исследований в биохимии физических упражнений и спорта, которые представляют интерес как в фундаментальном, так и в прикладном плане. Новые достижения в этой области исследований необходимы для развития теории и практики физической культуры и спорта и будут служить укреплению здоровья и совершенствованию атлетических возможностей людей. В современном мире, где высочайшие достижения научного и технологического прогресса обещают лучшие, достойные жизненные условия, люди должны наслаждаться собственным физическим и духовным здоровьем и быть менее уязвимыми от различных внешних воздействий.

Список используемых источников:

1. Алиев С.А., Агаева С.Е., Алибекова С.С. Адаптивные особенности антиоксидантных факторов в защитных реакциях организма к физическим нагрузкам // Физическая культура и массовый спорт в основе здоровье сберегающих технологий. Москва. 2014.
2. Агаева С.Е., Гаджиев А.М., Алиев С.А. Влияние добавок витамина С на оксидантную и антиоксидантную реакции скелетной мышцы и плазма крови на физическую нагрузку // Изв. НАН Грузии. Биомедицинская серия. Т. 36. № 5- 6. Тбилиси. 2010. С. 311-317.
3. Барабой В.А. Механизмы стресса и перекисное окисление липидов // Успехи современной биологии. 1991. Т. 111. Вып. 6. С. 923-932.
4. Бэгшоу К. Мышечное сокращение. М.: Мир, 1985. 127 с.
5. Владимиров Ю.А., Арчаков А.И. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М.: Наука, 1972. 252 с.
6. Вазина А.А., Волькенштейн М.В., Гаджиев А.М. и др. Обнаружение динамической структуры в процессе изометрического сокращения скелетной мышцы // Доклады АН СССР. 1984. Т. 274. С. 942-945.
7. Гасанова А.К., Алиев С.А., Бехбудова Г.М., Механизмы антиоксидантной адаптации скелетных мышц // Изв. Пед. Университета. 2013. № 3. С. 412-419.
8. Гаджиев А.М., Алиев С.А., Агаева С.Е. Роль эндогенных и экзогенных антиоксидантов в адаптивной мышечной деятельности // Теория и практика физической культуры и спорта. Москва. 2014. №8. С. 53-56.
9. Керимова А.К., Гаджиев А.М. Влияние физических нагрузок на уровень перекисного окисления липидов в скелетных мышцах // Проблемы физиологии и биохимии. 2004. Т. 22. С. 256-264.
10. Рзаев З.Б., Агаева С.Е., Алиев С.А. Влияние физической нагрузки на активность глутатионпероксидазы в скелетных мышцах в норме и на фоне добавок селена // Изв. Пед. Университета. 2013. № 1. С. 410-416.
11. Скулачев В.П. Возможная роль активных форм кислорода в защите от вирусных инфекций // Биохимия. 1998. Т. 63. Вып. 11. С. 1570-1585.
12. Скулачев В.П. Кислород в живой клетке: добро и зло // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 3. С. 2-10.
13. Яковлев Н.Н. Химия движения. Молекулярные основы мышечной деятельности. Ленинград: Наука, 1983. 190 с.
14. Aikawa K., Quintanilha A., de Lumen B. et al. Exercise endurance training alters vitamin E tissue level and red blood cell hemolysis in rodents // Biosci. Rep. 1984. Vol. 4. P. 253-257.