

## СВОБОДНЫЕ РАДИКАЛЫ И АНТИОКСИДАНТЫ ПРИ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

д.ф.-м.н., проф. А.М. Гаджиев, д.ф.б.н., доц. А.К. Гасанова

*Азербайджанская Государственная Академия Физической Культуры и Спорта*

Кафедра спортивной медицины и реабилитации

Кафедра медико-биологических наук

[ahmad.haciyev@sport.edu.az](mailto:ahmad.haciyev@sport.edu.az), [arzu.hasanova@sport.edu.az](mailto:arzu.hasanova@sport.edu.az)

### Дата публикации

Принятого к печати: 1 октября 2020

Напечатано: 5 ноября 2020

© 2020 АГАФКС. Все права защищены

**Аннотация.** Обзорная статья посвящена роли свободнорадикальных процессов и антиоксидантной защиты при мышечной деятельности. Рассматриваются вопросы образования свободных радикалов и других реактивных соединений и их конкретные источники в организме, а также условия возникновения окислительного стресса, феномена, который может привести к нежелательным последствиям для нормального функционирования клеток, в том числе и мышечных. Для скелетных мышц свободно радикальная активность рассматривается как составная часть реакции сократительного органа на физическую нагрузку, которую можно считать физиологическим явлением. На основе литературных данных проанализирована эндогенная система антиоксидантной защиты организма, в частности, скелетных мышц, которая ответственна за поддержание уровня свободнорадикальных реакций в пределах не опасных для функционирования клеток. В статье рассмотрены адаптивные свойства антиоксидантных ферментов в ответ на физические нагрузки и на целесообразность применения экзогенных антиоксидантов – антиоксидантных природных добавок. Отмечена важность будущих исследований сдвигов в оксидант-антиоксидантных взаимоотношениях, связанных с физическими нагрузками, результаты которых могут быть полезны, как для спортивной прак-

тики, так и для профилактики социально-значимых заболеваний.

**Ключевые слова:** *свободные радикалы, активные формы кислорода, мышечная деятельность, антиоксиданты, окислительный стресс, скелетные мышцы, потребление кислорода, физические нагрузки*

Свободно радикальные процессы охватывают многие стороны клеточной деятельности. Митохондриальная цепь переноса электронов, микросомальная система окисления, НАДФН – оксидазная система фагоцитирующих клеток, эндотелия стенок кровеносных сосудов – это наиболее важные из тех источников, где формируются свободные радикалы. Высокая реакционная способность свободных радикалов, молекулы которых содержат на внешней оболочке неспаренный электрон, представляет угрозу для жизнедеятельности клеток. Только благодаря тканевой антиоксидантной системе защиты, развитой у человека и животных в течение длительной эволюции, цепные реакции с участием свободных радикалов не выходят из-под контроля. Тем самым, жизненно важные компоненты клетки избегают серьезных повреждений: в мембранах перекисное окисление липидов (ПОЛ) поддерживается в определенных пределах, белки и нуклеиновые кислоты подвергаются окислению в той степени, в которой репарирующие системы способны их преодолеть [1].

Во многих случаях развитие свободнорадикальных реакций сопутствует процессам, нежелательным для нормального

функционирования 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. Когда перегрузка свободными радикалами не может быть постепенно убрана, или в случае слабой естественной антиоксидантной защиты организма, накопление свободных радикалов в организме порождает явление, называемое “окислительным повреждением”, также известное как “окислительный стресс”. Последний термин часто используется для обозначения случайного, неизбежного повреждения широкого спектра биомолекул [1, 2]. Окислительный стресс обычно считается отправной точкой возникновения ряда заболеваний и, безусловно, играет важную роль в развитии старения, хронических и дегенеративных заболеваний, таких как артрит, аутоиммунные расстройства, сердечнососудистые и нейродегенеративные заболевания, воспаление и рак [3]. Перепроизводство свободных радикалов приводит к нестабильности клеточного генома и канцерогенезу, способствуя аберрантной клеточной пролиферации, апоптозу и неконтролируемому росту клеток [4].

Мышечная деятельность, осуществляющие эту деятельность органы, и, в первую очередь, скелетные мышцы занимают особое место в отношении к свободно радикальным процессам, протекающим в этих исполнительных органах двигательной активности. Свободно радикальную активность скелетные мышцы проявляют при реализации нормальной функциональной деятельности, т.е. при осуществлении собственно своей непосредственной функции – сократительной функции. Применение физической нагрузки, которую тоже можно отнести к внешним физическим факторам, приводит к выполнению присущей мышцам сократительной функции. Вопрос, однако, заключается в том, какова интенсив-

ность действующей нагрузки, и какова степень возникающей «свободно радикальной опасности» для нормальной клеточной деятельности. Вопросы выявления всех потенциальных источников свободных радикалов (активных форм кислорода – АФК) в мышцах, индуцируемых физической нагрузкой, сегодня актуальны. Изучение состава и адаптивной возможности антиоксидантной системы мышц (ферментной и неферментной) и оценки баланса между этими двумя сторонами свободнорадикальных процессов при различных интенсивностях физической работы предстают как первоочередные в исследовании данной проблемы [2, 5].

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 взаимно исключают друг друга; следовательно, окислительные повреждения могут развиваться как в ходе, так и после острых интенсивных физических нагрузок.

Исследования роли свободнорадикальных процессов в мышечной деятельности априори предполагают модулирующую роль свободных радикалов, или же редокс-состояния клеточной среды, достигнутого 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 свободно радикальной биохимии мышечной деятельности. Изуче-

ние интенсивности ПОЛ в скелетных и сердечной мышцах под влиянием острых и хронических физических нагрузок выявило возможность модификации течения СР процессов [2]. Показано адаптивное изменение ферментов антиоксидантной системы, регулирующее степень модификации свободнорадикальных процессов [6] и указано на взаимосвязь между антиоксидантными и метаболическими показателями, характер которой, по видимому, зависит от интенсивности нагрузок. Мы полагаем, что эти результаты, представляют значительный интерес для дальнейших работ по изучению составных элементов свободнорадикальных процессов – источников АФК и других СР, антиоксидантов различных уровней в иерархии антиоксидантной защиты клетки – при многообразии условий физиологического, патологического характера.

Антиоксидантная защитная система представляет жизненную необходимость в борьбе против окислительного стресса. Пожалуй, одним из важных аспектов в изучении антиоксидантной системы, который требует пристального внимания, это выяснение различия между индуцируемыми и не индуцируемыми антиоксидантами [5]. 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.

Здесь, по-видимому, особо нужно отметить область мышечной деятельности, связанной со спортом, с высокими спортив-

ными 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 свободно радикальной 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.

Физическая активность улучшает антиоксидантную защиту и снижает уровень перекисного окисления липидов, как у взрослых, так и у пожилых людей [7]. Пожилые физически активные люди демонстрируют антиоксидантную активность и уровень перекисного окисления липидов, сходные с молодыми малоподвижными субъектами, подчеркивая важность регулярной физической активности для замедления процесса старения, связанного с нарушениями.

Доказано, что умеренные физические нагрузки и активный образ жизни полезны не только для профилактики окислительного стресса, но и для первичной и вторичной защиты от сердечнососудистых заболеваний, диабета II типа, метаболического синдрома и нейродегенеративных заболеваний, таких как болезнь Альцгеймера. Благоприятное воздействие физических упражнений также отражается на высвобождении миокинов. Эти молекулы оказывают ауто-, пара- и/или эндокринные эффекты и включают цитокины, интерлейкины, такие как IL-6 и другие пептиды, которые продуцируются, экспрессируются и высвобождаются мышечными волокнами и играют роль в защите от заболеваний, связанных с низкодифференцированным воспалением, таких как атеросклероз [8].

Степень, в которой АФК или другие реактивные соединения являются полезны-

ми или вредными, зависит от продолжительности упражнений, интенсивности, состояния физической формы и пищевого статуса индивидуума.

Человеческий организм вырабатывает эндогенную ферментативную и не ферментативную антиоксидантную защиту, чтобы справиться с избытком свободных радикалов, образующихся при окислительном стрессе, и помимо защитных механизмов очистки или детоксикации АФК, блокирования производства АФК или секвестрации переходных металлов, организм использует также другие антиоксиданты, которые обычно поставляются в рационе и, которые называются экзогенными антиоксидантами.

Питательные антиоксиданты действуют в различных механизмах и компартментах, но в основном являются поглотителями свободных радикалов: 1) они нейтрализуют свободные радикалы, 2) они восстанавливают окисленные мембраны, 3) они уменьшают выработку активных форм кислорода, 4) через липидный обмен короткоцепочечные свободные жирные кислоты и сложные эфиры холестерина нейтрализуют активные формы кислорода [9].

Экзогенные антиоксиданты вызывают растущий интерес к предотвращению или снижению окислительного стресса, уменьшению болезненности мышц и физического стресса, а также улучшению спортивных результатов. Помимо эндогенных антиоксидантов, имеются экзогенные антиоксиданты, наиболее известными из которых являются токоферолы (витамин Е), аскорбиновая кислота (витамин С), каротиноиды ( $\beta$ -каротин), убихинон и полифенолы.

Экзогенные природные добавки, наряду с регулярной физической активностью, являются реальными и перспективными молекулами, способными защитить организм от окислительного повреждения и облегчить возрастные патофизиологические нарушения. Дальнейшие исследования позволят дать дополнительные рекомендации для поддержания здоровья. Питание и физические упражнения являются эффек-

тивными и доступными средствами поддержания здоровья молодого стареющего организма. Таким образом, другие природные, нетоксичные соединения и инновации исследовательского дизайна могут дать возможность лучше понять роль экзогенных антиоксидантных добавок и дать новые, многообещающие прогнозы для улучшения здоровья человека.

Представляет интерес и вопрос потребления кислорода при высоких мощностях нагрузки 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 «свободно-радикальное 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 [10]. Речь идет, конечно, о максимальных показателях, достижимых в пределах генетической детерминированности органов. Возможно, в этих случаях пересмотра требует и показатель аэробной работоспособности - максимальная скорость потребления кислорода.

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 уязвимым для различных болезней.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Halliwell B.** *Biochemistry of oxidative stress.* Biochem Soc Trans. 2007; 35:1147–1150.
2. **Керимова А.К., Агаев Т.М., Гаджиев А.М.** *Свободнорадикальные окислительные процессы при мышечной деятельности: методические подходы к исследованиям, адаптивные изменения редокс показателей.* Известия НАН Азербайджана. Биологические науки, 2005, №5-6, с.109-121.
3. **Giampietro R., Spinelli F., Contino M., Colabufio N.A.** *The pivotal role of copper in neurodegeneration: a new strategy for the therapy of neurodegenerative disorders.* Mol Pharm. 2018; 15:808–820.
4. **Verbon E.H., Post J.A., Boonstra J.** *The influence of reactive oxygen species on cell cycle progression in mammalian cells.* Gene. 2012; 511:1–6.
5. **Simioni C., Zauli G., Martelli A. et al.** *Oxidative stress: role of physical exercise and antioxidant nutraceuticals in adulthood and aging.* Oncotarget, 2018, Vol. 9, (No.24), pp:17181-17198.
6. **Gadzhiev A.M., Aliyev S.A., Hassanova A.K., Rzayev Z.B.** *Tissue and subcellular activities of superoxide dismutase in skeletal muscles during physical exercises.* Journal of Life Sciences & Biomedicine, 2020, vol. 2(75), No 1, p. 30-37
7. **Bouزيد M.A., Filaire E., Matran R., Robin S., Fabre C.** *Lifelong Voluntary Exercise Modulates Age-Related Changes in Oxidative Stress.* Int J Sport Med. 2018; 39:21–28.
8. **Pedersen B.K.** *Muscles and their myokines.* J Exp Biol. 2011; 214:337–346.
9. **Berger M.M.** *Can oxidative damage be treated nutritionally?* Clin Nutr. 2005; 24:172–183.
10. **Гаджиев А.М., Рзаев З.Б., Абиев Г.Ш.** *О природе медленной компоненты потребления кислорода организмом при интенсивных физических нагрузках.* Теория и практика физической культуры и спорта (Москва), 2012, №1, С.15-2.

#### ƏZƏLƏ FƏALİYYƏTİNDƏ SƏRBƏST RADİKALLAR VƏ ANTIOKSİDANTLAR

prof. Ə.M. Hacıyev, dos. A.K. Həsənova

*Azərbaycan Dövlət Bədən Tərbiyəsi və İdman Akademiyası*

“İdman tibbi və reabilitasiya” kafedrası

“Tibbi – bioloji elmlər” kafedrası

**Annotasiya.** Əzələ fəaliyyəti zamanı orqanizmdə baş verən sərbəst radikal proseslərin və antioksidant müdafiənin rolu haqqında təklif olunan icmal məqalədə öz əksini tapıb. Məqalədə sərbəst radikalın və digər reaktiv birləşmələrin əmələ gəlməsi və onların orqanizmdəki konkret mənbələri, həmçinin oksidativ stresin - əzələ lifləri də daxil olmaqla hüceyrələrin normal fəaliyyəti üçün arzuolunmaz nəticələrə gətirib çıxara biləcək fenomenin - yaranma şərtləri müzakirə edilir. Skelet əzələləri üçün sərbəst radikal aktivlik təqəllüs orqanının fiziki yüklənməyə reaksiyasının tərkib hissəsi kimi qəbul edilir və fizioloji hal kimi

hesab oluna bilər. Ədəbiyyat məlumatları və müəlliflərin şəxsi nəticələri əsasında orqanizmdə, xüsusilə də skelet əzələlərində, hüceyrələrin funksiyası üçün sərbəst radikal reaksiyaların təhlükəli olmayan səviyyəsinin saxlanılmasına xidmət edən endogen antioksidant müdafiə sistemi analiz edilmiş, fiziki yüklənməyə cavab olaraq antioksidant fermentlərin adaptiv xassələrinə və ekzogen antioksidantların, təbii antioksidant əlavələrin, istifadəsinin məqsəd uyğunluğuna diqqət yetirilmişdir. Fiziki yüklənmələrlə bağlı oksidant-antioksidant qarşılıqlı münasibətlərində baş verən sürüşmələrin gələcək tədqiqatlarının həm idman təcürü-

bəsi üçün, həm də sosial-əhəmiyyətli xəstəliklərin profilaktikası üçün faydalı nəticərə gətirəcəyi irəli sürülür.

**Açar sözlər:** *sərbəst radikallar, oksigenin aktiv formaları, əzələ fəaliyyəti, antioksidantlar, skelet əzələləri, fiziki yük, oksidativ stres, oksigen sərfi.*

## ABOUT FREE RADICALS AND ANTIOXIDANTS IN MUSCLE ACTIVITY

**prof. A.M. Hacıyev, doc. A.K. Hasanova**

*Azerbaijan State Academy of Physical Education and Sport  
Department of "Sport Medicine and Rehabilitation"  
Department of "Medical - Biological Sciences"*

**Annotation.** The review article is devoted to the role of free radical processes and antioxidant protection in muscle activity. The article deals with the formation of free radicals and other reactive compounds and their specific sources in the body, as well as the conditions for the occurrence of oxidative stress, a phenomenon that can lead to undesirable consequences for the normal functioning of cells, including muscle cells. For skeletal muscles, free radical activity is considered as an integral part of the response of the contractile organ to physical activity, which can be considered a physiological phenomenon. On the basis of literary and own data, the authors analyzed the endogenous system of antioxidant defense, in

particular skeletal muscle, which is responsible for maintaining the levels of free radical reactions within not dangerous for the cells are indicated on the adaptive properties of antioxidant enzymes in response to physical activity and advisability of applying exogenous antioxidants – antioxidant natural supplements. It is noted that future studies of exercise-induced shifts in the oxidant-antioxidant relationship may bring results that will be useful both for sports practice and for the prevention of socially significant diseases.

**Keywords:** *free radicals, reactive oxygen species, muscle activity, antioxidants, skeletal muscles, physical loads, oxidative stress, oxygen consumption*