

Культура физическая и здоровье. 2023. № 3 (87). С. 269-273.
Physical Culture and Health. 2023, 3 (87), 269-273.

Научная статья

УДК 796

DOI: 1047438-1999-3455_2023_3_269

ДЕЙСТВИЕ МОЛИБДЕНА И ГИПОКСИИ НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ МЫШЦ



Заур Хамидбиевич Шерхов ¹, Лейла Казымовна Шерхова ²,
Тимур Халифович Гогузоков ³, Азамат Юсуфович Аккизов ⁴

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова ^{1, 2, 3, 4}
Нальчик, Россия

¹ Кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии, геоэкологии
и молекулярно-генетических основ живых систем
тел.: +7(967)415-56-56, e-mail: zsherhov@mail.ru
ORCID 0009-0009-9083-9187

² Кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии, геоэкологии и молекулярно-генетических
основ живых систем
тел.: +7(8662)42-67-86, e-mail: saratoga_l@mail.ru
ORCID 0000-0002-8245-7818

³ Кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии, геоэкологии и молекулярно-генетических основ живых систем
тел.: +7(8662)42-67-86, e-mail: goguzokov@mail.ru
ORCID 0009-0007-2855-1073

⁴ Кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии, геоэкологии и молекулярно-генетических основ живых систем
тел.: +7(8662)40-48-06, e-mail: akkizov@mail.ru
ORCID 0000-0002-8900-7457

Аннотация. В рамках статьи изучены морфологические и функциональные изменения в типично быстрой (m. plantaris) и медленной (m. soleus) мышцах экспериментальных животных под действием молибдена и гипоксии. Получен материал, важный для понимания механизма действия молибденозов в условиях высотной гипоксии на периферический двигательный аппарат животных.

Малые дозы молибдена, стимулируя образование гемоглобина и активность каталазы, также проявляют антиоксидантное действие. Большие (токсические) дозы, чрезмерно активируя ксантиноксидазу, окисляющую пурины до уратов с образованием перекиси водорода, выполняют роль прооксиданта и способствуют морфофункциональным изменениям, снижающим работоспособность мышц.

Ключевые слова: молибден, гипоксия, мышцы, морфологические изменения, функциональные изменения, работоспособность, биохимические процессы.

Для цитирования: Действие молибдена и гипоксии на морфофизиологические параметры различных типов мышц / З. Х. Шерхов, Л. К. Шерхова, Т. Х. Гогузоков [и др.] // Культура физическая и здоровье. 2023. № 3. С. 269-273. DOI: 1047438-1999-3455_2023_3_269.

Введение

Изучены морфологические и функциональные изменения в типично быстрой (m. plantaris) и медленной (m.

soleus) мышцах экспериментальных животных под действием молибдена и гипоксии. Получен материал, важный для понимания механизма действия молибденозов

в условиях высотной гипоксии на периферический двигательный аппарат животных.

Малые дозы молибдена, стимулируя образование гемоглобина и активность каталазы и проявляют антиоксидантное действие [4, с. 336]. Большие (токсические) дозы, чрезмерно активируя ксантиноксидазу, окисляющую пурины до уратов с образованием перекиси водорода выполняют роль прооксиданта и способствуют морфофункциональным изменениям, снижающим работоспособность мышц.

Результаты

Молибден является эссенциальным микроэлементом. Он входит в состав ряда ферментов, участвующих в обмене пуринов, сульфатов и альдегидов. Его избыток или недостаток в организме отрицательно влияет на ход биохимических процессов. Поэтому накопление молибдена в техногенных отходах и его продолжительное действие на флору и фауну проявляется эндемическими заболеваниями [5, с. 18] или создает фон для проявления других заболеваний.

Ведущие специалисты в области экологии и микроэlementозов считают, что определение границ концентрации химических элементов в среде, в пределах которых обеспечивается возможность нормального развития и жизнедеятельности организма, является одной из важнейших задач современной науки. Следует отметить, что избыточное содержание молибдена в биосфере Республики в местах добычи и переработки молибденовых руд сочетается с высотной гипоксией. Влияние указанных факторов на морфофизиологию и биохимию периферического двигательного аппарата человека и животных пока еще не изучено.

Объектом наших исследований были белые лабораторные крысы линии «Вистар». Животные распределены в 5 групп по 10 в каждой по принципу аналогов. Первая группа контрольная. Эти животные находились на обычном виварном рационе. Вторая группа получала к основному району физиологическую дозу молибдена (0,0125 мг/кг живого веса в сутки). Третья – токсическую дозу (1,25 мг/кг). Животные четвертой и пятой группы подвергались комплексному воздействию гипоксии и молибдена. Они получали сеансы барокамерной гипоксии в течение 10 дней. Из барокамеры откачивали воздух до 450 мм.рт.ст., что соответствует высоте подъема 7 км. Время экспозиции 10 мин., количество подъемов 5 раз в день. Одновременно per os вводили микродобавки молибдена животным четвертой группа физиологическую дозу, а пятой – токсическую. Эксперименты продолжались 30 дней.

Мышцы конечностей: m. plantaris и m. soleus подобраны как типично быстрая и медленная мышцы фазного типа. Они не содержат тонических нейромоторных единиц. m. Plantaris состоит из быстрых и медленных нейромоторных единиц примерно 1:1, а m. soleus содержит около 84% медленных единиц [7, с. 25].

В первую очередь проводили электрофизиологические исследования. Сократительные процессы регистрировали с помощью механотрона. Определяли возбудимость, сократимость, утомляемость, лабильность изучаемых мышц. Затем определяли содержание гликогена в них антропным методом с двумя осаждениями. Для изучения морфологии кусочки мышц подвергали обычной

гистологической обработке, окраску производили гематоксилином и эозином. Цифровой материал обрабатывали статистически.

У животных контрольной группы морфологические и биохимические особенности мышц соответствуют норме. Функциональные параметры (возбудимость, сократимость, лабильность, утомляемость) m. plantaris выше, чем m. soleus.

Молибден является эссенциальным микроэлементом. Он входит в состав ряда ферментов, участвующих в обмене пуринов, сульфатов и альдегидов. Его избыток или недостаток в организме отрицательно влияет на ход биохимических процессов. Поэтому накопление молибдена в техногенных отходах и его продолжительное действие на флору и фауну проявляется эндемическими заболеваниями [5, с. 18] или создает фон для проявления других заболеваний.

Ведущие специалисты в области экологии и микроэlementозов считают, что определение границ концентрации химических элементов в среде, в пределах которых обеспечивается возможность нормального развития и жизнедеятельности организма, является одной из важнейших задач современной науки. Следует отметить, что избыточное содержание молибдена в биосфере Республики в местах добычи и переработки молибденовых руд сочетается с высотной гипоксией. Влияние указанных факторов на морфофизиологию и биохимию периферического двигательного аппарата человека и животных пока еще не изучено.

Объектом наших исследований были белые лабораторные крысы линии «Вистар». Животные распределены в 5 групп по 10 в каждой по принципу аналогов. Первая группа контрольная. Эти животные находились на обычном виварном рационе. Вторая группа получала к основному району физиологическую дозу молибдена (0,0125 мг/кг живого веса в сутки). Третья – токсическую дозу (1,25 мг/кг). Животные четвертой и пятой группы подвергались комплексному воздействию гипоксии и молибдена. Они получали сеансы барокамерной гипоксии в течение 10 дней. Из барокамеры откачивали воздух до 450 мм. рт. ст., что соответствует высоте подъема 7 км. Время экспозиции 10 мин., количество подъемов 5 раз в день. Одновременно per os вводили микродобавки молибдена животным четвертой группа физиологическую дозу, а пятой – токсическую. Эксперименты продолжались 30 дней.

Мышцы конечностей: m. plantaris и m. soleus подобраны как типично быстрая и медленная мышцы фазного типа. Они не содержат тонических нейромоторных единиц. m. Plantaris состоит из быстрых и медленных нейромоторных единиц примерно 1:1, а m. soleus содержит около 84 % медленных единиц [7, с. 25].

В первую очередь проводили электрофизиологические исследования. Сократительные процессы регистрировали с помощью механотрона. Определяли возбудимость, сократимость, утомляемость, лабильность изучаемых мышц. Затем определяли содержание гликогена в них антропным методом с двумя осаждениями. Для изучения морфологии кусочки мышц подвергали обычной гистологической обработке, окраску производили гематоксилином и эозином. Цифровой материал обрабатывали статистически.

У животных контрольной группы морфологические и биохимические особенности мышц соответствуют

норме. Функциональные параметры (возбудимость, сократимость, лабильность, утомляемость) *m. plantaris* выше, чем *m. soleus*.

Мышцы второй группы животных, которые получали физиологическую дозу молибдена ($0,0125 \text{ мг/кг}$ живого веса в стуки), обнаружили однотипные изменения по сравнению с контрольными. Поперечная исчерченность мышц и интенсивность окраски волокон заметно усиливаются. По-видимому, это результат усиления синтеза сократительных и энергообразующих структур. Содержание гликогена увеличивается по сравнению с контролем в *m. plantaris* в большей степени ($3,5 \pm 0,03\%$), чем в *m. soleus* ($1,2 \pm 0,02\%$).

Оптимизация изучаемых параметров мышц, возможно, связана с доведением концентрации молибдена в организме животных этой группы до нормы. По Хеннигу [12, с. 78] потребность крыс в этом элементе – $0,02 \text{ мг/кг}$ в сутки. В их рационе из продуктов местного происхождения содержится молибден значительно меньше нормы.

Аналогичные нашим данным результаты приводятся и в литературе. По материалам Пейве [11, с. 18] молибден активирует аминокислоты, синтез нуклеиновых кислот, стимулирует биосинтез белков. Власюк [3, с. 158] и Венчиков [2, с. 347] указывают на повышение синтеза АТФ почти в два раза под действием малых доз молибдена.

В следующей серии опытов мы изучали влияние токсических доз молибдена на нервно-мышечную систему животных. Опыты показали, что у изучаемых мышц все функциональные параметры резко подавляются. Действие молибдена на *m. plantaris* проявляется ярче, чем на *m. soleus*. Частота ритмических раздражений, при которой наступает гладкий тетанус *m. Plantaris* с 50 имп/с у контрольных падает до 20 имп/с ; *m. soleus* – с 15 имп/с до 10 имп/с . Подавление физиологических параметров и работоспособности мышц, возможно, связано с дегенеративными изменениями структуры нервно-мышечных систем. Наблюдается, например частичная демиелинизация нервных волокон. Поперечная исчерченность в отдельных мышечных волокнах исчезает, в саркоплазме наблюдается крупная зернистость, волокна набухшие, разрастаются прослойки соединительной ткани. Нарушено кровоснабжение мышц. Стенки сосудов разрыхляются и расширяются. Это, по-видимому, приводит к тканевой гипоксии. Очевидно, в генезе наблюдаемых нарушений в мышцах тканевая гипоксия занимает значительное место. Гипоксия может быть вызвана также подавлением синтеза гемоглобина под влияние больших концентраций молибдена [8, с. 15].

По литературным данным [2, с. 348] молибден в больших концентрациях прерывает окислительное фосфорилирование в митохондриях и снижает синтез АТФ. Этим и объясняется значительное повышение утомляемости мышц в этой серии опытов. Содержание гликогена в мышцах этой группы животных ниже контрольных в *m. Plantaris* на $12,4 \pm 0,03\%$, а в *m. Soleus* – на $10,7 \pm 0,05\%$.

В четвертой серии экспериментов, где сочеталось действие малых доз молибдена и гипоксии на животных, все изученные морфофизиологические показатели мышц в пределах нормы или несколько выше. Исследо-

ваниями Меерсон [9, с. 25] и ряда других авторов установлено, что основные факторы адаптации организма к гипоксии реализуются путем активации синтеза нуклеиновых кислот и белков. Как изложено выше молибден в малых дозах стимулирует эти процессы.

При сочетании высоких доз молибдена и гипоксии в пятой серии опытов повреждающее действие молибдена выражено гораздо слабее, чем при его действии в отдельности (без гипоксии). Полагаем, что здесь происходит ряд скоординированных между собой приспособительных процессов. Во-первых, при гипоксических воздействиях происходит перераспределение микроэлементов и частичное отложение их в депо. Во-вторых, усиление синтеза нуклеиновых кислот и белков с участием молибдена через различные ферментные системы, в том числе через АТФ-азу, может способствовать более быстрому формированию структурного следа адаптации. В третьих, по данным литературы при гипоксии способность митохондрий накапливать ионы Ca^{2+} снижена. Увеличение содержания Ca^{2+} в плазме крови (как в наших опытах до $7,0 \pm 0,05 \text{ мЭкв/л}$) и в клетках при избытке Mo в рационе может привести к повышению проницаемости мембраны для Ca^{2+} и в некоторой степени компенсировать недостаток Ca^{2+} в митохондриях. Известно, что активность каталазы, которая участвует в инактивации активных форм кислорода, образующегося при гипоксических состояниях, зависит от молибденсодержащего фермента ксантиноксидазы [4, с. 336]. Активируя, таким образом, каталазу, молибден оказывает антиоксидантное действие. Антигипоксическое действие молибдена зависит от его концентрации. Большие дозы молибдена снижают гемоглобин, нарушают кровоснабжение, запускают перекисное окисление липидов, создают тканевую гипоксию.

В процессе адаптации к гипоксии одно из важных мест занимает снижение уровня основного обмена и экономное использование кислорода тканями. В обеспечении этого процесса существенную роль играет эндокринная система. При действии больших доз молибдена происходит торможение гипоталамо-гипофизарной системы и многих других эндокринных органов.

Выводы

Исходя из анализа результатов мы пришли к заключению, что от высоких концентраций молибдена в первую очередь и в большей степени страдают быстрые, высоколабильные нейромоторные единицы по сравнению с медленными. В экспериментах нами обнаружено существенное повышение содержания ионов кальция в плазме крови ($7,1 \pm 0,03 \text{ м-кв/л}$). Известно, что избыток Mo в рационе усиливает активность ксантиноксидазы, генерирующей супероксидные радикалы. Гидроксильные радикалы очень реакционноспособны и могут вызвать повреждение белков, нуклеиновых кислот и липидов биологических мембран [1, с. 65]. Они инициируют перекисное окисление липидов (ПОЛ). Большое значение для патологии имеет инактивация ионпереносящих ферментов, содержащих – тиоловую группу, в первую очередь кальцийтранспортной АТФ-азы. Инактивация этого фермента приводит к замедлению откачивания ионов кальция из клетки и, наоборот, к входу Ca^{2+} в клетку, увеличению внутриклеточной концентрации ионов Ca и повреждению клетки. Окисление тиоловых групп приводит к появлению пор в мембранах клеток и

митохондрий. Нарушает обмен Na^+ и K^+ , в результате – увеличение осмотического давления в клетке и набухание митохондрий. С другой стороны, продукты перекисного окисления обладают способностью увеличить ионную проницаемость липидного бислоя мембраны, в частности для ионов Ca [6, с. 80]. Указанные изменения приводят к тому, что в митохондриях окисление и фосфорилирование разобщаются, а клетка оказывается в условиях энергетического голода.

Ионные каналы электромеханического сопряжения (ЭМС) мышц, в том числе потенциалзависимые, а также Ca -зависимые, активируются или ингибируются в результате фосфорилирования их субъединиц протеинкиназами [10, с. 108].

Выброс кальция из саркоплазматического ретикула в ответ на деполяризацию поверхностной мем-

браны обеспечивается открытием селективного кальциевого канала. В результате действия ионов кальция и АТФ канал может находиться в открытом состоянии длительное время. Есть еще предположение, что растворимые кальций связывающие белки, например парвальбумины, концентрация которых особенно высока в быстрых мышцах, могут увеличивать скорость расслабления мышц, обеспечивая быстрое связывание кальция и его удаление. По-видимому, на эти процессы в первую очередь влияют большие концентрации молибдена, разрывая окислительное фосфорилирование и мобилизуя чрезмерное количество кальция из депо в мышцы.

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Библиографический список

1. Адо, А. Д., Новицкий, В. В. Патологическая физиология. Томск, 1994. – С. 62-73.
2. Венчиков, А. М. Дозировка микроэлементов и уровень энергетических процессов животного организма. Микроэлементы в биологии и их применение в сельском хозяйстве и медицине. – Самарканд, 1990. – С. 347-349.
3. Власюк, П. А. [и др.] Значение молибдена в жизнедеятельности и продуктивности растений в условиях УССР и биологическая роль молибдена. – М., 1972. – С. 236.
4. Гойнацкий, М. Н. Об отношении стабильных изотопов молибдена к некоторым каталитическим реакциям в организме // Микроэлементы в биологии, в сельском хозяйстве и медицине. – Самарканд, 1990. – С. 335-337.
5. Ковальский, В. В. Биохимические пути приспособляемости организмов к условиям геохимической среды // Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине. – М., Наука, 1974. – С. 16-27.
6. Левицкий, Д. О. Кальций и биологические мембраны. М. : Высшая школа, 1991. – С. 74-92.
7. Магазаник, Л. Г., Наследов, Г. А. Развитие сократительной функции мышц двигательного аппарата. Л. : Наука, 1974. – С. 7-34.
8. Малеванная, Е. М. Содержание микроэлемента молибдена в пищевых продуктах, в воде и его влияние на некоторые функции организма : автореф. дис. ... канд. мед. наук. Киев, 1963. – С. 20.
9. Меерсон, Ф. З. Основные закономерности индивидуальной адаптации. Физиология адаптационных процессов. М. : Наука, 1986. – С. 10-69.
10. Орлов, Р. С., Ноздрачев, А. Д. Нормальная физиология. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2005. – С. 94-117.
11. Пейве, Я. В. Биохимия молибдена // Биологическая роль молибдена. – М., 1972. – С. 7-24.
12. Хенниг, А. Минеральные вещества, витамины, биостимуляторы в кормлении сельскохозяйственных животных. М., 1976. – С. 176.
13. Шерхов, З. Х. Действие солей молибдена на систему крови экспериментальных животных // Тез. докл. республ. научно-практической конференции, посв. 40-летию КБГУ. – Нальчик, 1997. – С. 78.

References

1. Ado, A. D., Novitsky, V. V. Pathological physiology. Tomsk, 1994. P. 62-73.
2. Venchikov, A. M. Dosage of microelements and the level of energy processes in the animal body. And microelements in biology and their use in agriculture and medicine. Samarkand, 1990. P. 347-349.
3. Vlasjuk, P. A. [and others]. The importance of molybdenum in the life and productivity of plants in the conditions of the Ukrainian SSR and the biological role of molybdenum. Moscow, 1972. P. 236.
4. Goinatsky, M. N. On the relationship of stable isotopes of molybdenum to some catalytic reactions in the body. Trace elements in biology, agriculture and medicine. Samarkand, 1990. P. 335-337.
5. Kovalsky, V. V. Biochemical ways of adaptability of organisms to the conditions of the geochemical environment. Biological role of microelements and their application in agriculture and medicine. Moscow, Nauka publ., 1974. P. 16-27.
6. Levitsky, D. O. Calcium and biological membranes. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1991. P. 74-92.
7. Magazanik, L. G., Nasledov G. A. Development of contractile function of the muscles of the locomotor system. St. Petersburg, Nauka publ., 1974. P. 7-34.
8. Malevannaya, E. M. The content of the microelement molybdenum in food products, in water and its effect on some body functions. PhD med. sci. diss. abstr. Kyiv, 1963. P. 20.
9. Meerson, F. Z. Basic patterns of individual adaptation. Physiology of adaptation processes. Moscow, Nauka publ., 1986. P. 10-69.
10. Orlov, R. S., Nozdrachev, A. D. Normal physiology. Moscow, GEOTAR-Media publ., 2005. P. 94-117.
11. Peive, Ya. V. Biochemistry of molybdenum. Biological role of molybdenum. Moscow, 1972. P. 7-24.
12. Hennig, A. Minerals, vitamins, biostimulants in feeding farm animals. Moscow, 1976. P. 176.

13. Sherkhov, Z. Kh. The effect of molybdenum salts on the blood system of experimental animals. Proc. report republic scientific-practical conference dedicated to 40th anniversary of KBSU. Nalchik, 1997. P. 78.

Поступила в редакцию 31.07.2023

Подписана в печать 28.09.2023

UDC 796

DOI: 1047438-1999-3455_2023_3_269

THE EFFECT OF MOLYBDENUM AND HYPOXIA ON THE MORPHOPHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF VARIOUS TYPES OF MUSCLES

Zaur Kh. Sherkhov ¹, Leila K. Sherkhova ²,
Timur Kh. Goguzokov ³, Azamat Yu. Akkizov ⁴

*Kabardino-Balkarian State University named after Kh. M. Berbekov ^{1, 2, 3, 4}
Nalchik, Russia*

¹ PhD of Biology, Associate Professor of the Department of Biology, Geoecology and Molecular and Genetic Basis of Living Systems
ph.: +7(967)415-56-56, e-mail: zsherkhov@mail.ru

ORCID 0009-0009-9083-9187

² PhD of Biology, Associate Professor of the Department of Biology, Geoecology and Molecular Genetic Bases of Living Systems
ph.: +7(8662)42-67-86, e-mail: saratoga_1@mail.ru

ORCID 0000-0002-8245-7818

³ PhD of Biology, Associate Professor of the Department of Biology, Geoecology and Molecular-Genetic Bases of Living Systems
ph.: +7(8662)42-67-86, e-mail: goguzokov@mail.ru

ORCID 0009-0007-2855-1073

⁴ PhD of Biology, Associate Professor of the Department of Biology, Geoecology and Molecular-Genetic Bases of Living Systems
ph.: +7(8662)40-48-06, e-mail: akkizov@mail.ru

ORCID 0000-0002-8900-7457

Abstract. Within the framework of the article, morphological and functional changes in typically fast (m. plantaris) and slow (m. soleus) muscles of experimental animals under the influence of molybdenum and hypoxia were studied. Material was obtained that is important for understanding the mechanism of action of molybdenoses under conditions of high-altitude hypoxia on the peripheral motor system of animals. Small doses of molybdenum stimulate the formation of hemoglobin and catalase activity and exhibit an antioxidant effect. Large (toxic) doses, excessively activating xanthine oxidase, which oxidizes purines to urates with the formation of hydrogen peroxide, act as a pro-oxidant and contribute to morphofunctional changes that reduce muscle performance.

Keywords: molybdenum, hypoxia, muscles, morphological changes, functional changes, performance, biochemical processes

Cite as: Sherkhov, Z. Kh., Sherkhova, L. K., Goguzokov, T. K., Akkizov, A. Yu. (2023) The effect of molybdenum and hypoxia on the morphophysiological parameters of various types of muscles. *Physical Culture and Health*. (3), 269-273. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.47438/1999-3455_2023_3_269.

Received 31.07.2023

Accepted 28.09.2023