

Научная статья
УДК 612.82

Динамика электрической активности головного мозга и напряжения кислорода при адаптации организма к гипоксии

Анзор Аскербиевич Моллов¹, Муаед Фрундзевич Карашаев²

¹ Кабардино-Балкарский государственный университет

² Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет

Аннотация: На примере кроликов-самцов породы серый великан показаны динамика напряжения кислорода в артериальной крови (pO_2) и электрической активности головного мозга и сердца при адаптации организма к гипоксии посредством интервальной гипоксической тренировки. Исследование электрокортикограммы в процессе барокамерной тренировки показало снижение амплитуды ЭКОГ у адаптированных к гипоксии животных. Полученные данные свидетельствуют о четкой зависимости между уровнем pO_2 на поверхности клеток и их биоэлектрической активностью. Адаптация к гипоксии ведёт к уменьшению овершута (разницы значений (pO_2) до подъёма и после спуска), т.е. падения потребления кислорода. Полученные данные электрокортикографии (ЭКОГ) свидетельствуют, что у неадаптированных кроликов головной мозг уже с высоты 7 км начинает испытывать гипоксию. В результате адаптации к гипоксии частота сердечных сокращений у тренированных животных при подъёме до высоты 3 км не увеличивалась. В работе показано, что гипоксическая тренировка приводит к снижению величины систолического показателя. Проведённые исследования на примере динамики электрической активности сердца и головного мозга, а также pO_2 в коре больших полушарий подтверждают исключительную эффективность интервально-ритмического гипоксического воздействия на организм для ускоренной его адаптации к кислородной недостаточности.

Ключевые слова: гипоксия, адаптация, биоэлектрическая активность, (pO_2), головной мозг.

Для цитирования: Моллов А.А., Карашаев М.Ф. Динамика электрической активности головного мозга и напряжения кислорода при адаптации организма к гипоксии // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 2 (88). С. 203–206.

Original article

Dynamics of the electrical activity of the brain and oxygen tension during the adaptation of the body to hypoxia

Anzor Askerbievich Molov¹, Muaed Frundzevich Karashaev²

¹ Kabardino-Balkarian State University

² Kabardino-Balkarian State Agrarian University

Abstract: Using the example of male rabbits of the gray giant breed, the dynamics of oxygen tension in arterial blood (pO_2) and the electrical activity of the brain and heart during the adaptation of the body to hypoxia through interval hypoxic training are shown. The study of the electrocorticogram during the pressure chamber training showed a decrease in the electrocorticography amplitude in animals adapted to hypoxia. The data obtained indicate a clear relationship between the pO_2 level on the cell surface and their bioelectric activity. Adaptation to hypoxia leads to a decrease in overshoot (the difference in values (pO_2) before ascent and after descent), i.e. drop in oxygen consumption. The obtained ECoG data indicate that in unadapted rabbits, the brain begins to experience hypoxia from a height of 7 km. As a result of adaptation to hypoxia, the heart rate in trained animals did not increase during ascent to an altitude of 3 km. The work shows that hypoxic training leads to a decrease in the value of the systolic indicator. The studies carried out on the example of the dynamics of the electrical activity of the heart and brain, as well as pO_2 in the cerebral cortex, confirm the exceptional effectiveness of interval-rhythmic hypoxic action on the body for its accelerated adaptation to oxygen deficiency.

Keywords: hypoxia; adaptation; bioelectric activity; oxygen tension; brain.

For citation: Molov A.A., Karashaev M.F. Dynamics of the electrical activity of the brain and oxygen tension during the adaptation of the body to hypoxia. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; 88(2): 203–206. (In Russ.).

В медицинской практике и ветеринарии актуальным вопросом является изучение интервально-ритмической тренировки организма или интервальной гипоксической тренировки (ИГТ) [1–8].

Гипоксию можно разделить на несколько типов в зависимости от причин, вызвавших патологическое состояние здорового организма. Нормобарическая гипоксическая гипоксия – это состояние организма наступает вследствие понижения парциального давления кислорода и

снижения насыщения крови кислородом (гипоксемия). Самыми чувствительными органами к недостатку кислорода являются ткань головного мозга и сердечная мышечная ткань. В отличие от других органов тела, головной мозг очень чувствителен к дефициту кислорода, что отражает его высокую метаболическую потребность [4]. Снижение содержания кислорода в тканях головного мозга проявляется целым рядом патологических изменений [4–7]

Ранее было показано, что после гипоксического воздействия происходит изменение биоэлектрической активности коры головного мозга [4]. При воздействии гипоксической гипоксии происходят различные изменения в динамике целого ряда симптомов электрической активности сердечной мышечной ткани [5–7]. Есть данные, которые убедительно показывают наличие корреляции между биоэлектрической активностью нейронов и уровнем напряжения кислорода (pO_2) [4–8]. Полученные данные не дают достаточного основания для того, чтобы достоверно утверждать о существовании прямой связи между содержанием кислорода в коре головного мозга и биоэлектрической активностью, так как они относятся не к фоновой электрической активности коры головного мозга, а к импульсной электрической активности отдельных нейронов, а этот показатель играет важную роль [4–8].

Окислительно-восстановительные процессы в организме животных характеризуют собой основу всех протекающих в нём физиологических процессов, которые тесно связаны с газообменом.

Цель работы – провести анализ колебаний электрической активности головного мозга и (pO_2) в коре больших полушарий при адаптации организма к нормобарической гипоксии посредством ИГТ.

Материал и методы. Эксперименты проводились на половозрелых кроликах-самцах породы серый великан живой массой около 3,7–4,5 кг. Животные данной породы имеют оптимальные для долгосрочного эксперимента размеры головы и толщины кости черепа. Для анализа показателей головного мозга и сердца использованы методы электроэнцефалографии, полярографии и электрокардиографии.

Для точной фиксации биопотенциалов, а также анализа (pO_2) с поверхности коры головного мозга подопытных животных в условиях долгосрочного эксперимента потребовалось изготовление и вживление электродных устройств [4]. Полярографическое измерение (pO_2) в мозговой ткани осуществлялось по общепринятой методике [4].

Адаптация подопытных животных к нормобарической гипоксии осуществлялась посредством ритмической гипоксической тренировки в барокамере. Жёсткие условия нормобарической гипоксии воссоздавали в лабораторной барокамере, в которой создавалось необходимое для условий опыта разрежение воздуха. Точкой отсчёта нормы (начальная высота) принята высота 512 м над у.м. (высотная зональность г. Нальчика). Барокамерный подъём подопытных животных проводили со скоростью 12,4–12,6 м/с до высоты 6000 м. На заданной высоте животных выдерживали в течение 5 мин. (время экспонирования), после

гипоксической процедуры производили снижение с такой же скоростью. В процессе гипоксических тренировок осуществляли подъём подопытных животных 5 раз с перерывами между отдельными экспозициями в 20 мин. Время адаптации в режиме барокамерной интервально-ритмической гипоксической тренировки продолжалось 10 дней. После завершения полного курса ИГТ были проанализированы её результаты на протяжении 20 дней.

Для оценки влияния нормобарической гипоксии на биоэлектрическую активность сердечной мышцы и головного мозга, а также pO_2 в коре головного мозга в барокамере производился подъём подопытных животных на высоту 8000 м и адаптированных к гипоксии кроликов до высоты 9000 м.

Результаты исследования. После проведённого сеанса ИГТ были проанализированы полученные результаты. Воздействие гипоксии привело к снижению амплитуды биоэлектрической активности коры головного мозга у подопытных животных при разрежении воздуха в барокамере на всех высотах. В результате адаптации к гипоксии у тренированных животных в условиях нормы наметилось снижение амплитуды ЭЖоГ на 1,7 мкВ по сравнению с контрольными. При подъёме подопытных животных на высоту 3500 м эта разница возрастала, а на 5000 м – фактически утратилась. На новой высоте 6000 м это отличие снова возрастало и после достижения высоты 7000 м опять фактически нивелировалось. На высоте 8000 м амплитуда ЭЖоГ адаптированных тренированных животных оказалась на 51 мкВ ниже, чем у нетренированных.

Такая существенная диспропорция на высоте 8000 м проявляется вследствие того, что у адаптированных подопытных животных в результате адаптации заметное увеличение амплитуды наблюдалось только с высоты 8500 м, тогда как у контрольных – с высоты 7000 м. Амплитуда ЭЖоГ у нетренированных кроликов на высоте 8000 м достигала максимального значения, у адаптированных ещё продолжалось её статистически достоверное уменьшение.

В процессе анализа результатов ЭЖоГ существенно заметен результат адаптации к нормобарической гипоксии. Проведённые ранее исследования продемонстрировали, что электроэнцефалограмма кролика в состоянии спокойного бодрствования содержит в основном частоты дельта- и тета-диапазонов. При подъёме ЭЭГ кролика характеризуется: доминированием тетаритма до высот 7000–8000 м, доминированием дельта-волн – от 8000 м до 11000 м, уплощением биоэлектрической кривой и уменьшением амплитуды потенциалов свыше 11000–12000 м [4–8].

Анализ проведённых опытов показал, что подъём до высоты 7000 м как у нетренирован-

ных, так и у адаптированных животных проходил одинаково, сопровождаясь уменьшением амплитуды ЭКоГ. Результатом такого ответа может служить увеличивающееся доминирование тета-ритма. Кардинальные отличия отображались при увеличении степени гипоксии: подъём на высоту 8000 м у подопытных животных вызвал существенный рост амплитуды ЭКоГ, тогда как у адаптированных кроликов этой реакции не наблюдалось и продолжалось уменьшение амплитуды биоэлектрической активности коры головного мозга. Снижение амплитуды ЭКоГ у адаптированных к гипоксии животных продолжалось и на высоте 8500 м, после чего при подъёме на высоту 9000 м наблюдалось существенное возрастание амплитуды электрокортикограммы, сходное по крутизне нарастания с тем, что имело место у неадаптированных животных, но на заметно минимальную величину.

При подъёме на высоты 8000–9000 м и более на электроэнцефалограмме кролика наблюдалось возникновение медленных высокоамплитудных волн. С этим и связано существенное увеличение амплитуды ЭКоГ и у контрольных, и у опытных животных. Возрастание амплитуды регистрируемой активности вызывается существенным увеличением площади коры головного мозга, охватываемой повышенной синхронизацией [4–8]. Возникновение гиперсинхронизированных колебаний на широкой площади коры человека [5–8] сопровождается существенным увеличением амплитуды ЭЭГ.

В амплитуде электроэнцефалограммы выделяют несинхронную и синхронизированную составляющие. Синхронная компонента входит в активность каждого нейрона и является одной и той же у всех нейронов [5–8]. Рост или уменьшение амплитуды колебаний электроэнцефалограммы связаны с её синхронизированной составляющей: если её доля возрастает, происходит увеличение амплитуды ЭЭГ, если уменьшается – снижение.

Анализ полученных данных показал, что рост амплитуды ЭКоГ у неадаптированных животных происходит начиная с высоты 7000 м, что показывает увеличение доли его синхронизированной составляющей. У адаптированных животных повышение синхронизации биоэлектрической активности коры головного мозга наблюдается начиная с высоты 8500 м. Отличие в 1500 м служит наглядным клиническим симптомом адаптации к гипоксии. Всесторонний анализ электрокортикограммы в процессе барокамерной тренировки кроликов ясно показал, что адаптация к гипоксии приводит к снижению амплитуды ЭКоГ, т.е. происходит снижение доли её синхронизированной составляющей.

Биоэлектрическая активность головного мозга тесно взаимосвязана с его кровоснаб-

жением. Получены показатели, указывающие на явную зависимость между уровнем pO_2 на поверхности клеток и их биоэлектрической активностью. Изменение pO_2 в коре головного мозга животных в ходе опытов при их подъёме постепенно уменьшалось, а при последующем спуске опять увеличивалось [4–8]. Но при этом у адаптированных животных уровень pO_2 в коре головного мозга в условиях нормы оказался выше, чем у нетренированных кроликов, на 7,3 мм рт. ст., благодаря чему и на высоте 8000 м pO_2 в коре головного мозга у адаптированных животных составляло более высокие значения. Особо следует отметить, что при спуске pO_2 в коре головного мозга адаптированных животных возвращается к исходному, тогда как у контрольных животных после спуска оно оказывается на 12 мм рт. ст. выше, чем до подъёма, что является убедительным показателем адаптации к гипоксии. Обнаружено, что у кроликов при возобновлении мозгового кровотока pO_2 восстанавливается со значительным овершутом, что прямо указывает на падение потребления кислорода мозговой тканью. Данный феномен может являться функциональным исходя из гипотезы о рефлекторном подавлении работы нейронов при гипоксии [4–8]. Т.е. в условиях гипоксии гомеостатические механизмы могут перевести элементы мозга на новый режим работы, требующий минимальных затрат энергетических ресурсов [4–8]. Показатели, полученные нами в ходе тренировки кроликов, говорят о том, что адаптация к гипоксии ведёт к уменьшению овершута, т.е. падению потребления кислорода. Это возможно при увеличении кровоснабжения головного мозга. В процессе адаптации на поверхности нервных клеток может сохраняться достаточно высокий уровень pO_2 даже в условиях глубокой гипоксии.

В мозговой ткани число резервных капилляров невелико. Поэтому при кратковременной адаптации к гипоксии (подъёме контрольных животных на высоту) в мозговой ткани усиление транспорта кислорода может происходить большей частью за счёт улучшения капиллярного кровотока. Основная нагрузка при этом ложится на сердечную мышечную ткань, которая, по нашим данным, очень скоро начинает испытывать гипоксию (изменение зубца Т) и, следовательно, не может удовлетворять в полной мере возрастающую потребность организма в кислороде. Обнаружено, что максимальное увеличение скорости объёмного кровотока через мозг может достигать в среднем 50 % от исходной величины. И по полученным нами данным по ЭКоГ, мозговая ткань неадаптированных кроликов уже с высоты 7000 м начинает испытывать гипоксию [4].

У неадаптированных к гипоксии кроликов при их подъёме до высоты 3000 м наблюдалось уве-

личение частоты сердечных сокращений (ЧСС). Гипоксия вызывает рост потребления кислорода сердечной мышечной тканью, связанный с увеличением её работы. В то же время увеличение ЧСС, которое имеет место у неадаптированных кроликов, приводит к значительному укорочению диастолы, и в результате нарушается соответствие между снабжением сердца кислородом и потребностью в нём. Адаптация восстанавливает данное соответствие, о чём ясно свидетельствует показатель ЧСС у тренированных животных. Подъём до высоты 3000 м у них не вызывал увеличения ЧСС.

В полученных нами данных отчётливо прослеживается взаимосвязь pO_2 в коре головного мозга и её биоэлектрической активности.

Вывод. Применение многократного и непродолжительного гипоксического воздействия показало его исключительную эффективность для ускоренной адаптации организма к кислородной недостаточности, что нашло отражение в динамике электрической активности сердечной мышечной ткани и головного мозга, а также pO_2 в коре больших полушарий.

Литература

1. Карашаев М.Ф. Изменение гемодинамики и кислородного режима организма телят после гипоксического воздействия // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (63). С. 107–110.
2. Карашаев М.Ф. Особенности развития звеньев газотранспортной системы телят в период раннего постнатального онтогенеза // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 6 (86). С. 171–174.
3. Карашаев М.Ф. Функциональное состояние газотранспортного звена дыхательной системы телят // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 3 (71). С. 180–183.
4. Молов А.А. Динамика электрической активности сердца и головного мозга у кроликов при адаптации к барокамерной гипоксии: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тверь, 2001. 24 с.
5. Адаптация головного мозга и сердца к недостатку кислорода [Электронный ресурс] / А.А. Молов, К.Ю. Шхагумов, И.Х. Борукаева [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2019. № 2. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=28682>.
6. Исследование фонового омега-потенциала у здоровых и больных неспецифическими хроническими заболеваниями дыхательных путей и лёгких и механизмы приспособления животных к недостатку кислорода [Электронный ресурс] / А.А. Молов, К.Ю. Шхагумов, И.Х. Борукаева [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2019. № 3. URL: <http://www.science-education.ru/article/view?id=28855>
7. Исследование динамики показателей фонового омега-потенциала и электрокардиограммы при комплексном санаторно-курортном лечении и адаптации организма к интервально-ритмической гипоксии [Электронный ресурс] / А.А. Молов, К.Ю. Шхагумов, И.Х. Борукаева [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2019. № 4. URL: <http://www.science-education.ru/article/view?id=28953>
8. The effect of different doses of molybdenum on the functional state of the digestive system/ Z.Kh. Sherkhov, V.B. Voynov, L.K. Sherkhova, T.Kh. Khandokhov, A.A. Molov, F.V. Shavaeva, K.Yu. Shkhagumov / (SCOPUS) Atlantis Highlights in Materials Science and Technology. ISSN (Online): 2590-3217 ISSN (Print): N/A Proceedings of the International Symposium «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019) Volume 1, August 2019.

Анзор Аскербиевич Молов, кандидат биологических наук. ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова». Россия, 360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, anzor-m@yandex.ru

Муаед Фрундзевич Карашаев, доктор биологических наук, доцент. ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова». Россия, 360004, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в, Karashaev59@mail.ru

Anzor A. Molov, Candidate of Biology. Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekova. 173, Chernyshevsky St., Nalchik, 360004, Russia, anzor-m@yandex.ru

Muaed F. Karashaev, Doctor of Biology, Associate Professor. Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokova. 1v, Lenin Ave., Nalchik, 360004, Russia, Karashaev59@mail.ru