

АДАПТАЦИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА И СЕРДЦА К НЕДОСТАТКУ КИСЛОРОДА

Молов А.А.¹, Шхагумов К.Ю.¹, Борукаева И.Х.¹, Абазова З.Х.¹

¹*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Нальчик, e-mail: anzor-m@yandex.ru*

В статье представлены результаты исследований по выявлению динамики электрической активности головного мозга, а также напряжения кислорода в коре больших полушарий в связи с адаптацией организма кроликов к нехватке кислорода путем гипобарической интервально-ритмической гипоксической тренировки. Гипоксическую адаптацию кроликов определяли в барокамере в лабораторных условиях путем тренировки интервально-ритмическим методом. С этой целью в лабораторной барокамере создавали разрежение воздуха. В отличие от группы контрольных кроликов у тренированных животных (опытная группа) в условиях нормы при адаптации к гипоксии наблюдалось снижение амплитуды электрокортикограммы на 1,7 мкВ. В результате искусственного «подъема» подопытного поголовья на высоту 3500 м указанные различия увеличились, на 5000 м практически исчезли. На 6 км эта разница вновь увеличивалась и опять фактически нивелировалась на 7 км. На «высоте» 8 км амплитуда электрокортикограммы адаптированных кроликов была на 51 мкВ меньше, чем у нетренированных. Заметное увеличение амплитуды электрокортикограммы у контрольной группы кроликов наблюдается с «расстояния», равного 7000 м, что свидетельствует об увеличении доли его синхронизированной составляющей. У тренированной группы кроликов увеличение синхронизированной биоэлектрической активности коры выявляли начиная с «высоты» 8500 м. Именно эти различия в 1500 м являются демонстративным показателем приспособления к гипоксическим условиям. Анализ электрокортикографических исследований при барокамерном лабораторном воздействии на подопытных кроликов отчетливо свидетельствует, что адаптация к гипоксическим испытаниям направлена на уменьшение амплитуды электрокортикограммы, т.е. снижение доли ее синхронизированной составляющей. Установлено, что у тренированных к гипоксии кроликов в результате их «подъема» до высоты 7000 м практически не снижаются процессы реполяризации и не выявляются повреждения миокарда, связанного с гипоксией. Следовательно, мониторинг влияния барокамерной интервально-ритмической гипоксической тренировки кроликов во время адаптации к гипоксии выявил рост зубца Т.

Ключевые слова: головной мозг, напряжение кислорода, адаптация, гипоксия, электрокортикограмма.

ADAPTATION OF THE BRAIN AND HEART TO OXYGEN LACK

Molov A.A.¹, Shkhagumov K.Y.¹, Borukayeva I.K.¹, Abazova Z.K.¹

¹*Kabardino-Balkarian State University. H.M. Berbekova, Nalchik, e-mail: anzor-m@yandex.ru*

The article presents the results of studies to identify the dynamics of electrical activity of the brain, as well as the oxygen tension in the cerebral cortex in connection with the adaptation of the body of rabbits to the lack of oxygen by hypobaric interval-rhythmic hypoxic training. Hypoxic adaptation of rabbits was determined in the pressure chamber in the laboratory by training interval-rhythmic method. For this purpose, in a laboratory pressure chamber created a vacuum of air. In contrast to the group of control rabbits in trained animals (experimental group) under normal conditions, when adapting to hypoxia, there was a decrease in the amplitude of electrocorticogram by 1.7 mV. As a result of artificial "lifting" of the experimental livestock to a height of 3500 m, these differences increased by 5000 m, practically disappeared. At 6 km this difference is again increased and again, in fact, was neutralized at 7 km To the "height" of 8 km the amplitude of the electrocorticogram adapted rabbits was 51 mV less than that of the untrained. A noticeable increase in the electrocorticogram amplitude in the control group of rabbits is observed from a "distance" equal to 7000 m, which indicates an increase in the proportion of its synchronized component. Have a trained group of rabbits increase of synchronized bioelectric activity of the cortex was identified, starting with the "height" of 8,500 m. It is these differences in 1500 m are demonstrative indicator of adaptation to hypoxic conditions. The analysis of electrocorticographic studies at the pressure chamber laboratory exposure of experimental rabbits clearly shows that adaptation to hypoxic tests is aimed at reducing the amplitude of electrocorticogram, i.e. reducing the proportion of its synchronized component. It was found that trained to hypoxia rabbits as a result of their "rise" to a height of 7000 m, almost no decrease in repolarization processes and no myocardial damage associated with hypoxia. Therefore, monitoring of the influence of hyperbaric interval-rhythmic hypoxic training of rabbits during adaptation to hypoxia revealed the growth of the t wave.

Keywords: brain, oxygen tension, adaptation, hypoxia, electrocorticogram.

В настоящее время много внимания уделяется изучению интервально-ритмической тренировки организма. Из всех органов наиболее чувствительными к нехватке в организме кислорода являются головной мозг и сердце. В то же время под влиянием гипоксии имеют место вариации биоэлектрической активности коры головного мозга, а при подъеме на высоту происходят изменения многих показателей электрокардиограммы. Есть сведения, однозначно свидетельствующие о существовании взаимосвязи между такими показателями, как биоэлектрическая активность нейронов и значение напряжения кислорода [1; 2]. Однако этих данных недостаточно для достоверного утверждения о существовании прямой положительной корреляции между концентрацией кислорода в коре головного мозга и динамикой электрокортикограммы, вследствие того что они относятся к импульсной электрической активности отдельных нейронов, и этот факт имеет большое значение.

Цель работы заключалась в мониторинге изменений динамики электрокортикограммы и наличия напряжения кислорода в коре мозга при адаптации сердца к недостатку кислорода посредством гипобарической гипоксической тренировки.

Материалы и методы исследования. Исследования были проведены на подопытных животных (n=13): использовались взрослые кролики-самцы породы серый великан весом в среднем 4 кг. Кролики этой породы имеют предпочтительные для хронического эксперимента размеры головы и толщины кости черепа. Для оценки работы головного мозга и сердца использованы методы электроэнцефалографии, полярографии и электрокардиографии.

Для отведения биопотенциалов, а также регистрации содержания кислорода с поверхности коры мозга кролика в условиях хронического эксперимента потребовалось изготовление и вживление электродных устройств [3; 4]. Полярографическое измерение напряжения кислорода (pO₂) в мозговой ткани осуществлялось по общепринятой методике [5].

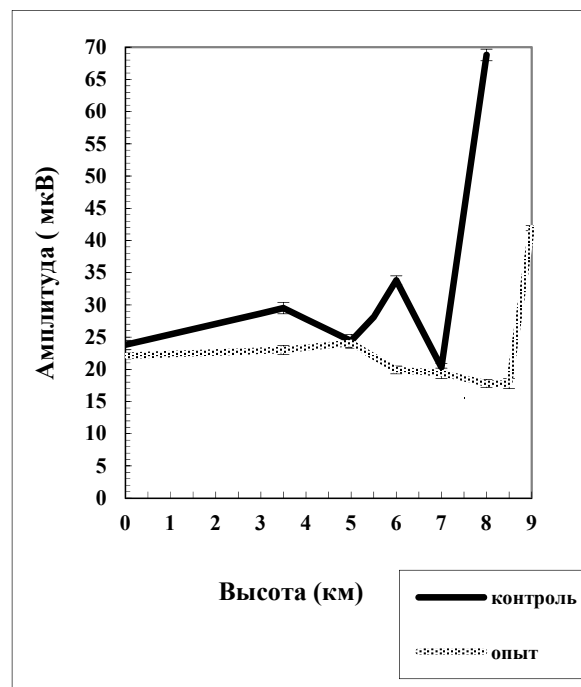
Адаптация кроликов к гипоксии осуществлялась посредством интервальной ритмической гипоксической тренировки в барокамере. В опытах использовалась лабораторная барокамера, в которой создавалось разрежение воздуха. За условия нормы (исходная высота) принята высота 500 м над уровнем моря (высота г. Нальчика). Барометрический «подъем» кроликов проводили со скоростью 12,5 м/с до «высоты» 6000 м, где животных выдерживали (продолжительность 5 минут, время экспонирования), по завершении чего производили «спуск» с той же скоростью. В дни гипоксических тренировок кроликов «поднимали» 5 раз, интервалы между отдельными «подъемами» составляли 20 мин. Продолжительность адаптации животных в барокамерной

установке составляла 10 дней. По окончании гипоксических тренировок провели анализ последствий этих манипуляций в течение 20 дней.

С целью оценки влияния гипоксии на биоэлектрическую активность сердца и мозга, а также pO_2 производился «подъем» контрольных кроликов до «высоты» 8 км (контрольная группа) и адаптированных к гипоксии до «высоты» 9 км (опытная группа).

Результаты исследований обрабатывались методом вариационной статистики на персональном компьютере с помощью пакета программ анализа данных Statistica 6.0 с нахождением t -критерия Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение. Барокамерные гипоксические тренировки привели к снижению амплитуды электрокортикограммы при разрежении воздуха в барокамере на всех «высотах» (рисунок). В результате адаптации к гипоксии у тренированных кроликов в условиях нормы отмечали уменьшение амплитуды электрокортикограммы в среднем на 1,7 мкВ относительно значений контрольной группы. При «подъеме» подопытных животных на «высоту» 3500 м эти различия возрастали, на 5000 м – практически исчезали. Следует отметить увеличение различий амплитуды электрокортикограммы при «подъеме» на 6000 м, но на «высоте» 7000 м – вновь практически не наблюдались, что наглядно отражено на рисунке.



Динамика амплитуды электрокортикограммы у адаптированных и неадаптированных к гипоксии кроликов

Выявлена менее высокая амплитуда электрокортикограммы тренированных кроликов (на 51 мкВ меньше) на «высоте» 8 км, чем у – неадаптированных. Такая значительная разница на «высоте» 8000 м появилась вследствие того, что у адаптированных животных в результате тренировок резкое возрастание амплитуды наблюдалось только с «высоты» 8500 м, тогда как у контрольных с «высоты» 7000 м, и в то время как амплитуда электрокортикограммы у нетренированных животных на «высоте» 8 км достигала максимального значения – у адаптированных еще продолжалось ее статистически достоверное снижение.

При анализе электрокортикограммы отчетливо прослеживается процесс адаптации к гипоксии. Считается, что в состоянии спокойного бодрствования электроэнцефалограмма кролика характеризуется, как правило, частотами дельта- и тета-диапазонов. В результате «подъема» кроликов на высоту до 7000-8000 м электроэнцефалограмма отличается преобладанием тета-ритма, с «высот» от 8000 до 11000 м – дельта-волн, уплощением биоэлектрической кривой и уменьшением амплитуды потенциалов свыше 11000-12000 м.

В проведенных исследованиях барометрический «подъем» животных на «высоту» 7000 м как у неадаптированных, так и у тренированных кроликов в целом протекал одинаково, сопровождаясь снижением амплитуды электрокортикограммы. Указанное снижение объясняется нарастающим доминированием тета-ритма. Существенные различия между группами имели место в результате создания больших гипоксических высот. Так, «подъем» контрольной группы кроликов на «высоту» 8000 м обусловил значительное повышение амплитуды электрокортикограммы, в то время как среди адаптированных особей подобных реакций не наблюдалось и продолжилось снижение амплитуды биоэлектрической активности коры. Снижение амплитуды электрической активности головного мозга у адаптированных к недостатку кислорода животных выявили и при дальнейшем подъеме на «высоту» 8500 м. Последующее увеличение на 500 м до «высоты» 9000 м обусловило достоверное увеличение амплитуды электрокортикограммы, похожее по крутизне увеличения с тем, что имело место у контрольной группы животных, но на значительно меньшую величину.

Появление медленных высокоамплитудных волн на электрокортикограмме подопытных животных имело место на «высотах» 8000-9000 м, с чем связано выявленное у обеих групп кроликов резкое возрастание амплитуды электрокортикограммы. Важно указать на то, что в результате снижения кислорода во вдыхаемом воздухе проявляется негативное влияние кислородной недостаточности при заболеваниях, течении болезней и в период реабилитации на людей различного возраста [6].

Наблюдаемое с повышением «высоты» барометрического давления увеличение амплитуды регистрируемой активности обусловило расширение площади коры, охватываемой повышенной синхронизацией. Регистрируемые гиперсинхронизированные колебания на широкой площади коры сопровождаются достоверным повышением амплитуды электроэнцефалограммы.

В амплитуде электроэнцефалограммы (ЭЭГ) отмечают следующие составляющие: несинхронная и синхронизированная. Синхронизированная составляющая входит в активность каждого нейрона и является одной и той же у всех нейронов. Рост или уменьшение амплитуды колебаний электроэнцефалограммы связаны с ее синхронизированной составляющей. Так, если доля синхронизированной компоненты увеличивается, то имеет место повышение амплитуды электроэнцефалограммы, если снижается – то уменьшение.

Нашими исследованиями выявлен рост амплитуды электроэнцефалограммы у неадаптированных к гипоксии кроликов, который обнаруживается с «высоты» 7000 м, что указывает на увеличение доли его синхронизированной компоненты. У тренированных к гипоксии кроликов увеличение синхронизации на электрокортикограмме наблюдается, начиная с «высоты» 8500 м. Разница в 1500 м считается объективным показателем устойчивости к гипоксии. Исследование электрокортикограммы в процессе барокамерных испытаний животных достоверно свидетельствует, что тренированность к недостатку кислорода направлена на снижение амплитуды электрокортикограммы, другими словами – на снижение доли ее синхронизированной составляющей.

С кровоснабжением тесно коррелирует биоэлектрическая активность головного мозга, что подтверждается полученными нами результатами, свидетельствующими о положительной связи между содержанием кислорода на поверхности клеток и их биоэлектрической активностью. Концентрация кислорода в коре мозга кроликов, независимо от их тренированности к недостатку кислорода воздуха, при их «подъеме» постепенно снижалось, а при последующем спуске наблюдали обратную тенденцию. В то же время при отсутствии стресса – в условиях нормы у тренированных кроликов уровень напряжения кислорода в коре был выше по сравнению с контрольными животными. Указанные различия составили в среднем 7 мм рт. ст., вследствие чего и на «высоте» 8000 м уровень напряжения кислорода в коре у адаптированных животных был выше. При прочих равных условиях считаем необходимым указать на следующее обстоятельство, что в результате спуска адаптированных кроликов анализируемый уровень (pO₂) в коре мозга у них возвращался в исходное состояние, тогда как у контрольных сверстников спуска оно было на 12 мм рт. ст. выше, чем до «подъема», что

является наглядным показателем устойчивости к гипоксическим условиям. Выяснено, что при возобновлении мозгового кровотока pO_2 у кроликов восстанавливается со значительным овершутом, что достоверно свидетельствует о падении потребления кислорода мозговой тканью. Полученный результат можно считать функциональным вследствие существующего мнения о рефлекторном подавлении работы нейронов при недостатке кислорода. Другими словами, в условиях гипоксии гомеостатические механизмы могут перевести элементы мозга на иной режим работы, при котором затраты энергетических ресурсов требуют небольших затрат. Полученные нами в ходе барокамерной тренировки результаты свидетельствуют о том, что приспособление к недостатку кислорода кроликов обуславливает тенденцию к снижению овершута, что возможно при увеличении кровоснабжения мозга. Между тем при адаптации к гипоксии на поверхности нервных клеток может сохраняться более высокий уровень pO_2 даже в условиях глубокой гипоксии.

Количество резервных капилляров в тканях мозга относительно мало. В этой связи в результате кратковременного приспособления к недостатку кислорода, в нашем опыте при «подъеме» нетренированных кроликов на «высоту», усиление транспорта кислорода в мозг может происходить, главным образом, за счет ускорения капиллярного кровотока. На такую нагрузку первым реагирует сердце путем изменения зубца Т, которое вскоре начинает испытывать недостаток кислорода и, как ожидалось, не в состоянии удовлетворять в необходимом количестве возрастающую потребность организма в кислороде. Считается, что максимальное увеличение скорости объемного кровотока через мозг может достигать в среднем 50% от исходной величины. Нами, по данным электрокортикограммы, выяснено, что начиная с «высоты» 7000 м мозг нетренированных животных испытывал нехватку кислорода (рис. 1).

На начальных этапах кратковременной адаптации к гипоксии многими авторами отмечается учащение сердечных сокращений в организме [7; 8]. При разрежении воздуха уже на малых высотах наблюдаются первоначальные изменения частоты сердечных сокращений у людей [9; 10].

Вышеуказанные характеристики согласуются с полученными нами данными. У неадаптированных к недостатку кислорода животных при их «подъеме» до 3000 м наблюдалось увеличение частоты сердечных сокращений. Действие гипоксии приводит к повышению потребления кислорода миокардом, обусловленное увеличением его работы. Увеличение частоты сердечных сокращений, наблюдаемое у неадаптированных к гипоксии особей, вызывает значительное укорочение диастолы, что приводит к нарушению соответствия между снабжением сердца кислородом и потребностью в нем. Адаптация восстанавливает данное

соответствие, о чем ясно свидетельствует показатель частоты сердечных сокращений у тренированных животных. «Подъем» до 3 км у них не вызывал увеличения частоты сердечных сокращений.

Более корректно эффективность работы сердца показывает систолический показатель (СП), так как он отражает период, во время которого желудочки сокращаются. Известно, что до 85% крови сердечная мышца получает во время диастолы. Следовательно, чем меньше величина СП, тем лучше кровоснабжение сердечной мышцы.

По нашим данным, адаптация к гипоксии приводит к тому, что величина СП при «подъеме» уменьшается, при этом наибольшее снижение величины СП наблюдается на максимальных «высотах». Это свидетельствует о том, что сердечная мышца у адаптированных животных сокращается более сильно в период систолы, так как она больше наполняется кровью во время диастолы. Большее заполнение сердца, растяжение его мышечных волокон вызывает рост УО.

Известно, что зубец Т электрокардиограммы отражает процесс быстрой конечной реполяризации миокарда желудочков. Адаптация кроликов к гипоксии привела к росту зубца Т в нормальных условиях. Поэтому при «подъеме» тренированных животных, после снижения, амплитуда зубца Т стабилизируется в значении, близком нормальному, у нетренированных. Это говорит о том, что у адаптированных к гипоксии животных при их «подъеме» до 7 км не снижаются процессы реполяризации и не происходит повреждения миокарда, связанного с гипоксией. Полученные нами в ходе барокамерной гипоксической тренировки данные свидетельствуют о том, что во время адаптации к гипоксии происходил рост зубца Т.

Выводы. Барокамерная гипоксическая тренировка кроликов привела к снижению систолического показателя и увеличению амплитуды зубца Т электрокардиограммы. В полученных нами данных отчетливо прослеживается тесная взаимосвязь содержания кислорода в мозге и его электрической активности.

Использование многократного и кратковременного гипоксического воздействия показало его исключительную эффективность для ускоренного приспособления организма к гипоксии, что нашло отражение в динамике электроэнцефалограммы и электрокортикограммы, а также содержания кислорода в мозге.

Список литературы

1. Борукаева И.Х., Абазова З.Х., Кумыков В.К. Влияние кратковременной гипоксии на

биоэлектрическую активность головного мозга детей, подростков и юношей // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 4-3. С. 466-471.

2. Грачев В.И., Севрюков И.Т., Маринкин И.О., Батырев В.В. Влияние гипоксии на основные органы жизнеобеспечения человека, возрастные особенности // *Экология промышленного производства*. 2018. № 3 (103). С. 49-63.

3. Коган А.Б. Методика хронического вживления электродов для отведения потенциалов и раздражения мозга. М.: АМН СССР, 1952. С.29-34.

4. Коган А.Б., Щитов С.И. Техника физиологического эксперимента. М.: Высшая школа, 1967. 795 с.

5. Коваленко Е.А. Методика непрерывной регистрации напряжения кислорода в мозге собак при низком барометрическом давлении // *Патологическая физиология*. 1961. № 2. С. 66-77.

6. Грачёв В.И., Севрюков И.Т. Гипоксия и гипоксемия, их причины и последствия для человека // *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2018. № 4-2 (17). С. 12-30.

7. Грачёв В.И., Севрюков И.Т., Маринкин И.О. Гипоксия животного организма, причины и следствия // *Экология промышленного производства*. 2018. № 2 (102). С. 42-57.

8. Шевхужев А.Ф., Дубровин А.И., Улимбашев М.Б., Улимбашева Р.А. Гематологический статус и воспроизводительная способность яков и крупного рогатого скота в высокогорьях Северного Кавказа // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2016. № 1 (57). С. 64-66.

9. Букова К.А., Исупов И.Б., Затрудина Е.Б. Функциональные характеристики сердечно - сосудистой системы нетренированных молодых людей в условиях среднегорья // *Новая наука: Современное состояние и пути развития*. 2017. Т. 3. № 3. С. 3-5.

10. Сапьян Е.С. Особенности акклиматизации людей в горных районах (на примере Центрального Алтая) // *Географический вестник = Geographical bulletin*. 2018. № 3(46). С. 64-74. DOI:10.17072/2079-7877- 2018-3-64-74.

11. Баранов А.В., Бочаров М.И., Рощевская И.М. Компенсаторная реакция сердечно-сосудистой системы человека на кратковременную нормобарическую гипоксию // *Вестник Уральской медицинской академической науки*. 2011. № 3 (36). С. 39-41.

12. Нагоева М.А., Шаов М.Т., Пшикова О.В., Тохтамышев З.И., Бляшева З.А., Жагупова А.А. Действие управляющих сигналов импринтинг-технологии «Сфигмотон» на электрофизиологические показатели сердца // *Вестник Адыгейского государственного университета*. 2018. № 3 (226). С. 62-66.