

Кыргызстандын саламаттык сактоо
илимий-практикалык журналы
2025, № 2, б. 131-135

Здравоохранение Кыргызстана
научно-практический журнал
2025, № 2, с. 131-135

Health care of Kyrgyzstan
scientific and practical journal
2025, No 2, pp. 131-135

УДК: 612. 21 – 092

Кычкылтек жетишсиздигине ыңгайлашуу механизмдери (Адабияттар боюнча маалымат)

М.М. Арстанбеков ¹, Р.Р. Тухватшин ²

¹ Эл аралык жогорку медицина мектеби,

² И. К. Ахунбаев атындагы Кыргыз мамлекеттик медициналык академиясы,
Бишкек, Кыргыз Республикасы

МАКАЛА ЖӨНҮНДӨ МААЛЫМАТ КОРУТУНДУ

Негизги сөздөр:

Гипоксия
Борбордук нерв системасы
Адаптация механизмдери
Патогенез

Киришүү. Гипоксия - кычкылтектин жетишсиздиги менен байланышкан жана организмдин адаптация механизмдерин изилдөөнү талап кылган актуалдуу маселе.

Изилдөөнүн максаты. Түшүнүүнү жакшыртуу жана ага туруктуулукту жогорулатуу үчүн гипоксияга көнүү механизмдери боюнча учурдагы маалыматтарды жалпылоо.

Материалдар жана методдор. Органдардын жана системалардын гипоксияга ыңгайлашуусу боюнча илимий адабияттарга салыштырма анализ жүргүзүлдү.

Натыйжалар жана талкуу. Негизги патофизиологиялык механизмдер аныкталды жана гипоксиялык шарттардын эффективдүү алдын алуу жана терапиясы үчүн мындан аркы изилдөөлөрдүн зарылдыгы белгиленди.

Жыйынтык. Кароо гипоксияга ыңгайлашууну изилдөөдөгү негизги багыттарды жана кемчиликтерди аныктады, бул аны жеңүүгө жаңы ыкмаларды иштеп чыгуу үчүн маанилүү.

Механизмы адаптации к кислородной недостаточности (Обзор литературы)

М.М. Арстанбеков ¹, Р.Р. Тухватшин ²

¹ Международная Высшая школа медицины,

² Кыргызская государственная медицинская академия имени И. К. Ахунбаева,
Бишкек, Кыргызская Республика

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

РЕЗЮМЕ

Ключевые слова:

Гипоксия

Введение. Гипоксия – актуальная проблема, связанная с дефицитом кислорода и требующая изучения механизмов адаптации организма.

Адрес для переписки:

Арстанбеков Медербек Маматжанович, 720001,
Кыргызская Республика, Бишкек, ул. Интергельпо 1 F
Международная высшая школа медицины
Тел.: +996 709110472
E-mail: arstanbekov72@inbox.ru

Contacts:

Arstanbekov Mederbek Mamatjanovich, 720001,
1 F, Intergel'po str, Bishkek, Kyrgyz Republic
International Higher School of Medicine
Phone: +996 709110472
E-mail: arstanbekov72@inbox.ru

Для цитирования:

Арстанбеков М.М., Тухватшин Р.Р. Механизмы адаптации к кислородной недостаточности (Обзор литературы). Научно-практический журнал «Здравоохранение Кыргызстана» 2025, № 2, с. 131-135.
doi.10.51350/zdravkg2025.2.6.15.131.135

Citation:

Arstanbekov M.M., Tukhvatshin R.R. Mechanisms of adaptation to oxygen deficiency (Literature review). Scientific and practical journal "Health care of Kyrgyzstan" 2025, No. 2, p. 131-135. doi.10.51350/zdravkg2025.2.6.15.131.135

Центральная нервная система
Адаптационные механизмы
Патогенез

Цель исследования. Обобщить современные данные о механизмах адаптации к гипоксии с целью углубления понимания и повышения устойчивости к ней.

Материалы и методы. Проведен сравнительный анализ научной литературы по адаптации органов и систем к гипоксии.

Результаты и обсуждение. Выявлены основные патофизиологические механизмы и отмечена необходимость дальнейших исследований для эффективной профилактики и терапии гипоксических состояний.

Заключение. В обзоре выявлены основные направления и недостатки в изучении адаптации к гипоксии, что важно для разработки новых методов ее преодоления.

Mechanisms of adaptation to oxygen deficiency (Literature review)

M.M. Arstanbekov ^a, R.R. Tukhvatshin ^b

^a International Higher School of Medicine,

^b Kyrgyz State Medical Academy named after I. K. Akhunbaev,
Bishkek, Kyrgyz Republic

ARTICLE INFO

Key words:

Hypoxia
Central nervous system
Adaptive mechanisms
Pathogenesis

ABSTRACT

Introduction. Hypoxia is a pressing issue associated with oxygen deficiency and requiring study of the body's adaptation mechanisms.

The aim of the study is to summarize current data on the mechanisms of adaptation to hypoxia to improve understanding and increase resistance to it.

Materials and methods. A comparative analysis of scientific literature on the adaptation of organs and systems to hypoxia was conducted.

Results and discussion. Key pathophysiological mechanisms were identified and the need for further research for effective prevention and therapy of hypoxic conditions was noted.

Conclusion. The review identified the main directions and gaps in the study of adaptation to hypoxia, which is important for the development of new approaches to overcoming it.

Введение

Обзор посвящен проблеме гипоксии, которая в настоящее время вызывает интерес у многих исследователей, так как при любой патологии может возникнуть гипоксическое состояние организма. Механизмы адаптации организма к гипоксии и некоторым другим неблагоприятным факторам внешней среды помогут человеку и животным в их жизни в связи с постоянно меняющимися природными условиями и техногенными проблемами. Изучением патогенеза, профилактики и терапии гипоксических состояний, различных по своему происхождению, занимались и занимаются многочисленные научно-исследовательские коллективы, тем не менее многие аспекты этой проблемы остаются нерешенными [1].

Цель исследования – обобщить и проанализировать основные механизмы адаптации организма к кислородной недостаточности для улучшения пони-

мания и разработки методов повышения устойчивости к гипоксии.

Материалы и методы исследования

Проведен анализ и обработка всех современных научных и литературных данных о механизмах адаптации органов и систем при гипоксии. Сравнительный анализ обобщения данных литературы с использованием методов системного обзора.

Результаты и обсуждение

Гипоксия – патологическое состояние, возникающее из-за недостаточного снабжения тканей кислородом или нарушения его утилизации клетками, происходит при воздействии различных внешних и внутренних факторов, в том числе при критических состояниях, связанных с болезнью или повреждени-

ем органов и тканей. Кислород необходим для реакций окислительного фосфорилирования в дыхательной цепи и оксигеназных реакций в электронтранспортной системе митохондрий, в генерации свободнорадикального окисления, образовании активных форм кислорода и для других процессов. Независимо от вида гипоксии в ее основе лежит дефицит энергии – недостаточность клеточной энергообразующей системы митохондриального окислительного фосфорилирования, т. е. наблюдается несоответствие продукции энергии в ходе окислительного фосфорилирования энергетическим потребностям клетки. Дефицит кислорода оказывает влияние на все органы и ткани организма, но наиболее чувствительным к гипоксии является головной мозг, который называют «критическим органом», поскольку уже через 8-15 минут острой гипоксии у человека наблюдается потеря сознания. Изученные механизмы воздействия адаптации к недостатку кислорода на головной мозг дают возможность для разработки профилактики и лечения различных гипоксических состояний [2].

Важно отметить, что изменения в кислородной сатурации тканей мозга, особенно снижение кислорода в артериальной крови, оказывают влияние на церебральный кровоток. Однако вопрос, как именно воздействует гипоксия на устойчивость церебральных сосудов к повреждениям, предшествующим «мозговым катастрофам», остается малоизученным и актуальным для детальных исследований [3].

Согласно общепринятым представлениям, причиной гипоксического повреждения клеток является ограничение доставки кислорода в ткани. В результате этого ограничения в клетке снижается pO_2 , что приводит к нарушению непрерывно протекающих окислительно-восстановительных процессов, обеспечивающих энергией жизнедеятельность организма и отдельных его систем [4].

Первые изменения в организме при развитии гипоксии характеризуются включением комплекса компенсаторно-приспособительных реакций различного уровня, направленных на сохранение гомеостаза (фаза компенсации). В этой фазе различают реакции, направленные на приспособление к кратковременной острой гипоксии (срочные) и реакции, обеспечивающие устойчивое приспособление к менее выраженной, но длительно существующей или многократно повторяющейся гипоксии (реакции долговременного приспособления). Если эти реакции оказываются недостаточными, а гипоксические факторы продолжают действовать – в организме развиваются структурно-функциональные нарушения (фаза декомпенсации). Обе фазы проявляются на всех уровнях от организменного до клеточного. В основе срочных компенсаторных реакций организменного уровня на гипоксию лежит кардио-респираторный рефлекс, начинающийся с деполяризации

O_2 -чувствительных клубочковых клеток каротидных телец, которая запускается митохондриальным сигналингом [5, 6]. Комплексный рефлексорный ответ выражается в следующем:

- 1) увеличение альвеолярной вентиляции за счет углубления и учащения дыхания и мобилизации резервных альвеол;
- 2) учащение сердечных сокращений;
- 3) выброс крови из резервных кровяных депо;
- 4) увеличение ударного и минутного объема сердца;
- 5) повышение скорости кровотока (прежде всего, мозгового);
- 6) уменьшение кровоснабжения мышц, кожи и других «не критических» потребителей;
- 7) ограничение активности органов и тканей, не участвующих непосредственно в обеспечении транспорта кислорода [7].

В ответ на гипоксию:

- 1) повышается кислородная емкость крови за счет усиленного вымывания эритроцитов из костного мозга и активации эритропоэза;
- 2) увеличивается кислородная емкость гемоглобина и облегчается его диссоциация в периферическом русле кровотока;
- 3) повышается сопряженность процессов биологического окисления и фосфорилирования;
- 4) усиливается анаэробный синтез АТФ за счет активации гликолиза;
- 5) в различных тканях увеличивается продукция оксида азота, что ведет к расширению прекапиллярных сосудов и снижению адгезии и агрегации тромбоцитов [8].

Важной приспособительной реакцией при гипоксии является активация гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы (стресс-синдром), гормоны которой (в частности, глюкокортикоиды) стимулируют различные внутриклеточные сигнальные системы, приводящие к экспрессии генов и их белковых продуктов, чья активность направлена на компенсацию энергодифицита, стимуляцию нейропластичности и сопротивление нейродегенеративным процессам [9].

Если организменные и тканевые компенсаторные реакции не в состоянии противостоять продолжающейся и/или углубляющейся гипоксии/ишемии, в нервных клетках развивается дезэнергизация, нарушающая гомеостатический баланс важнейших электрогенных и регуляторных катионов (K, Na, Ca), что приводит к деполяризации плазмолеммы и внутренних мембран; нарушается оборот глутамата в системе нейронглии и механизмы, контролирующие его рецепцию нейромембранами. Это приводит к гипервозбуждению глутаматных рецепторов и развитию так называемого эксайтотоксикоза нейронов, сопровождающегося их перегрузкой внеклеточным Ca^{2+} . Рост концентрации внутриклеточного Ca^{2+} усугубляется его высвобождением из эндоплазматиче-

ческого ретикулума и митохондрий, а также дополнительным входом через неспецифические катионные каналы плазмолеммы. Активируются патогенные Ca^{2+} – зависимые фосфатазы и киназы, запускающие механизмы нейродегенерации. Патогенная ситуация усугубляется накоплением токсичных «неструктурированных» белков, гиперактивацией свободно-радикальных процессов, дезорганизацией митохондрий и другими молекулярными процессами, ведущим к гибели нейронов [10, 11].

У человека острая гипоксия, вызванная, например, снижением содержания кислорода во вдыхаемом воздухе до уровня 15–10 % или высотной гипобарией (преимущественно у альпинистов или пилотов), сопровождается отчетливыми нейропсихическими расстройствами. Проведено множество исследований таких расстройств, возникающих на умеренных, больших и экстремальных высотах. В условиях среднегорья обнаружено снижение точности и скорости двигательных реакций и психомоторной работоспособности, возникает изменение почерка и пропуск букв, снижаются пороги восприятия вкуса, запаха, боли. Нередко возникали эстетические иллюзии, эйфория и зрительные галлюцинации. На высотах от 6000 м происходят явные нарушения когнитивных функций. Снижаются показатели обучаемости, кратковременной памяти, речи, когнитивной гибкости, возникают признаки депрессии [12]. Между тем отмечено, что выраженность указанных расстройств зависит от личностного психо-типа, рабочей мотивации, опыта и других индивидуальных психофизиологических характеристик. В условиях гипоксии эта специфика поддерживается паттерном регуляции локального мозгового крово-

тока, в которой важную роль играет сигналинг внутри системы «нейроны – астроциты – микрососуды» [13]. Психофизиологические нарушения начинают сопровождаться соматическими. В частности, компенсаторный механизм гипоксической легочной вазоконстрикции при углублении и продлении гипоксического состояния выступает причиной отека легких [14]. Гипоксическая тахикардия продолжает усиливаться, хотя амплитуда пульса снижается вплоть до нитевидного; возникает фибрилляция предсердий и желудочков. Систolicеское давление после фазы компенсаторного подъема начинает падать [15].

Заключение

Таким образом, анализ данных литературы с большой долей убедительности свидетельствует о том, что при гипоксических состояниях включаются адаптационно-приспособительные механизмы организма. Наряду с этим авторы публикаций констатируют о том, что гипоксия может негативно влиять на все органы и системы, в особенности на центральную нервную систему. Однако недостаточно изучена гипоксия при сочетании с другими патологическими состояниями, такими как употребление энергетических напитков, табака или алкоголя. Исходя из этого дальнейшее исследование механизмов адаптации при гипоксии остается одной из самых актуальных задач.

Жазуучулар ар кандай кызыкчылыктардын чыр жоктугун жарыялайт.

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов. The authors declare no conflicts of interest.

Литература/References

1. Абаева Т. С., Жанганаева М. Т., Абдыкеримова А. С. Морфологические особенности тимуса у новорожденных крыс в условиях горной гипоксии Кыргызстана // Re-health Journal. — 2020. — № 2-2 (6). — С. 143–148.
2. Бриль Г. Е., Чеснокова Н. П., Понукалина Е. В., ПолUTOва Н. В., Бизенкова М. Н. Лекция 11 механизмы компенсации и адаптации к гипоксии // Научное обозрение. Медицинские науки. — 2017. — № 2. — С. 55–57.
3. Дергунов А. В., Дергунов А. А. Гипоксия. Горная патология. — СПб., 2002.
4. Джолдошева Г. Т., Саттаров А. Э., Тулекеев Т. М. Особенности физического развития у детей высокогорья Кыргызстана // Клинико-морфологические аспекты фундаментальных и прикладных медицинских исследований: материалы международной научной конференции. — Воронеж, 2021. — С. 60–65.
5. Джунусова Г. С., Садыкова Г. С., Курманбаев Ю. М. Взаимосвязи основных типов механизмов регуляции мозга с особенностями эндокринного метаболизма горцев // Вестник Киргизско-Российского Славянского университета. — 2017. — Т. 17, № 10. — С. 184–187.
6. Зильбернагель С., Ланг Ф. Клиническая патофизиология. Пер. с англ. — М.: Практическая медицина, 2015. — С. 34–45, 70–93, 208–219.
7. Исмаилова С. А. Морфометрические показатели сердца равнинных крыс при краткосрочной их адаптации к высокогорью Алая // International Scientific Periodical Journal. — 2017. — № 4. — С. 73–75.
8. Карашаев М. Ф. Изменение гемодинамики и кислородного режима организма телят после гипоксического воздействия // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. — 2017. — № 1 (63). — С. 107–110.
9. Лукьянова Л. Д. Новое о патофизиологических и патохимических механизмах гипоксии // Тезисы докладов II Все-российского конгресса по патофизиологии. — М., 2000. — С. 123.
10. Саатова Г. М., Фуртикова А. Б., Бурабаев Б. Д., Абжапарова Д., Мусуркулова Б. А. Уровень артериального давления у детей в условиях высокогорья и факторы риска формирования артериальной гипертензии // Известия ВУЗов Кыргызстана. — 2017. — № 8. — С. 21–23.

11. Семина В. И., Степанова Ю. А. Перинатальная гипоксия: патогенетические аспекты и подходы к диагностике (обзор литературы). Часть I // Медицинская визуализация. — 2015. — № 2. — С. 95–105.
12. Тухватшин Р. Р. Влияние энергетических напитков на экспериментальных животных в условиях барокамерной гипоксии // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. — 2019. — № 6. — С. 98–100.
13. Фролов Б. А. Гипоксия (учебное пособие) // Международный журнал экспериментального образования. — 2015. — № 2-2. — С. 198–200.
14. McKenna H. T., Murray A. J., Martin D. S. Human adaptation to hypoxia in critical illness // Journal of Applied Physiology. — 2020. — Vol. 129, No. 4. — P. 656–663.
15. Munir M. A., Muratov Zh., Tukhvatshin R. Intermittent normobaric hypoxia therapy for COVID-19 survivors: a promising approach to recovery // InterConf. — 2024. — № 42 (189). — P. 376–380. — DOI 10.51582/interconf.19-20.02.2024.038.

Авторы:

Арстанбеков Медербек Маматжанович, старший преподаватель кафедры патологии, Международной высшей школы медицины, Бишкек, Кыргызская Республика
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0529-9964>

Тухватшин Рустам Романович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедры патофизиологии Кыргызской государственной медицинской академии им. И.К. Ахунбаева, Бишкек, Кыргызская Республика

Authors:

Arstanbekov Mederbek Mamatjanovich, Senior Lecturer of the Department of Pathology International Higher School of Medicine, Bishkek, Kyrgyz Republic
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0529-9964>

Tuhvatshin Rustam Romanovich, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Pathological Physiology, Kyrgyz State Medical Academy, Bishkek, Kyrgyz Republic

Поступила в редакцию 10.07.2025
Принята к печати 20.08.2025

Received 10.07.2025
Accepted 20.08.2025