



**HYPOXIA: MECHANISMS OF DEVELOPMENT,
CLASSIFICATION OF TYPES, AND ITS IMPACT ON THE
HUMAN BODY**

Majidova G.D.

Akhmedova D.B.

Sayfutdinova Z.A.

Mansurova S.X.

Tashkent State Medical University

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17721543>

ARTICLE INFO

Received: 18th November 2025

Accepted: 23rd November 2025

Online: 24th November 2025

KEYWORDS

Hypoxia, hemic hypoxia, circulatory hypoxia, tissue hypoxia, compensatory mechanisms, hematological parameters, oxidative stress, hypoxia diagnosis, hypoxia treatment.

ABSTRACT

Hypoxia is a pathological condition characterized by insufficient oxygen supply to tissues and organs, disrupting normal physiological processes and potentially leading to cellular damage. This article discusses the primary mechanisms of hypoxia, including hemic, circulatory, and tissue hypoxia, and their effects on the human body. Compensatory mechanisms activated in response to oxygen deficiency and the impact of hypoxia on hematological parameters such as hemoglobin, erythrocytes, and leukocytes are described. Pathophysiological processes, including oxidative stress, and their clinical significance for the diagnosis and treatment of hypoxic conditions are thoroughly discussed. For diagnosing the severity of hypoxia, not only gas blood parameters but also a comprehensive study of hematological changes are crucial. The article emphasizes the need for further research to develop new diagnostic methods and therapies for hypoxic states.

**ГИПОКСИЯ: МЕХАНИЗМЫ РАЗВИТИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВ И
ВЛИЯНИЕ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА**

Мажидова Г.Д.

Ахмедова Д.Б.

Сайфутдинова З.А.

Мансурова С.Х.

Ташкентский государственный медицинский университет

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17721543>

ARTICLE INFO

Received: 18th November 2025

Accepted: 23rd November 2025

Online: 24th November 2025

KEYWORDS

ABSTRACT

Гипоксия представляет собой патологическое состояние, характеризующееся дефицитом кислорода в тканях и органах, что нарушает



IF = 9.2

Гипоксия, гемическая гипоксия, циркуляторная гипоксия, тканевая гипоксия, компенсаторные механизмы, гематологические показатели, окислительный стресс, диагностика гипоксии, лечение гипоксии.

нормальные физиологические процессы и может привести к повреждению клеток. В статье рассматриваются основные механизмы гипоксии, включая гемическую, циркуляторную и тканевую гипоксии, а также их влияние на организм. Описываются компенсаторные механизмы, активируемые в ответ на кислородный дефицит, и влияние гипоксии на гематологические показатели крови, такие как уровень гемоглобина, эритроцитов и лейкоцитов. Подробно обсуждаются патофизиологические процессы, включая окислительный стресс, и их клиническая значимость для диагностики и лечения гипоксических состояний. Для диагностики тяжести гипоксии важны не только газовые показатели крови, но и комплексное изучение гематологических изменений. В статье также подчеркивается необходимость дальнейших исследований для разработки новых методов диагностики и терапии гипоксических состояний.

GIPOKSIYA: RIVOJLANISH MEXANIZMLARI, TURLARI VA ODAM ORGANIZMIGA TA'SIRI

Majidova G.D.**Axmedova D.B.****Sayfutdinova Z.A.****Mansurova S.X.****Toshkent Davlat Tibbiyot Universiteti**<https://doi.org/10.5281/zenodo.17721543>**ARTICLE INFO**Received: 18th November 2025Accepted: 23rd November 2025Online: 24th November 2025**KEYWORDS**

Gipoksiya, gemik gipoksiya, tsirkulyator gipoksiya, to'qima gipoksiya, kompensatsion mexanizmlar, gematologik ko'rsatkichlar, oksidlanish stressi, gipoksiyaning diagnostikasi, gipoksiyaning davolash.

ABSTRACT

Gipoksiya - bu tana va organlardagi kislorodning yetishmasligi bilan bog'liq patologik holat bo'lib, bu normal fiziologik jarayonlarni buzadi va hujayralarning shikastlanishiga olib kelishi mumkin. Ushbu maqolada gipoksiyaning asosiy mexanizmlari, jumladan gemik gipoksiya, tsirkulyator gipoksiya va to'qima gipoksiyasi, shuningdek, ularning organizmga ta'siri ko'rib chiqiladi. Kislorod yetishmovchiligiga javoban faollashadigan kompensatsion mexanizmlar va gipoksiyaning qondagi gemoglobin, eritrotsitlar va leykotsitlar kabi gematologik ko'rsatkichlarga ta'siri ta'riflanadi.



IF = 9.2

Patofiziologik jarayonlar, jumladan oksidlanish stressi va uning diagnostika va gipoksik holatlarni davolashdagi klinik ahamiyati muhokama qilinadi. Gipoksiyaning og'irligini diagnostika qilish uchun faqatgina gaz ko'rsatkichlari emas, balki gematologik o'zgarishlarni kompleks o'rganish ham muhim. Maqolada gipoksik holatlarni diagnostikasi va davolash usullarini ishlab chiqish zarurligi ham ta'kidlanadi

Актуальность исследования. Гипоксия - это патологическое состояние организма или отдельных тканей, которое характеризуется нарушением доставки кислорода и его использования клетками для поддержания нормального метаболизма.[Лысенко В. И. Оксидативный стресс как неспецифический фактор патогенеза органных повреждений (обзор литературы и собственных исследований) //Медицина неотложных состояний. – 2020. – Т. 16. – №. 1. – С. 24-35.] Недостаток кислорода оказывает существенное влияние на физиологические и биохимические процессы, что ведет к нарушению основной функции организма - выработке энергии и поддержанию гомеостаза.[Орлов Ю. П., Свиридов С. В., Какуля Е. Н. Патологические аспекты кислорода, гипоксии и свободнорадикального окисления при критических состояниях //Клиническое питание и метаболизм. – 2021. – Т. 2. – №. 2. – С. 66-79.] Современные исследования показывают, что гипоксия может быть вызвана различными факторами, такими как заболевания дыхательной системы, нарушенное кровообращение, отравления и прочее.[Орлов Ю. П., Свиридов С. В., Какуля Е. Н. Патологические аспекты кислорода, гипоксии и свободнорадикального окисления при критических состояниях //Клиническое питание и метаболизм. – 2021. – Т. 2. – №. 2. – С. 66-79.] Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью разработки новых методов диагностики и лечения гипоксии, а также понимания механизмов компенсации этого состояния в организме.

Целью данного исследования является изучение механизмов развития гипоксии, классификация ее типов и влияния на организм человека, а также разработка новых методов диагностики и лечения гипоксических состояний.

Материалы и методы исследования. Для изучения гипоксических состояний использованы данные литературы, включая патологические исследования различных типов гипоксии (гемическая, циркуляторная, тканевая) и механизмы их развития. Для анализа клинической картины гипоксии использованы данные по гемоглобину, эритроцитам, лейкоцитам и другим важным гематологическим показателям, которые используются для оценки тяжести гипоксического состояния.

Методы исследования включают: Анализ патологических механизмов гипоксии. Оценка клинических показателей, таких как концентрация кислорода в крови, уровень углекислого газа, концентрация гемоглобина, эритроцитов,



лейкоцитов и других показателей. Рассмотрение компенсационных механизмов, активируемых в ответ на кислородное голодание, таких как вазоконстрикция и мобилизация энергетических резервов организма.

Результаты собственных исследований.

Типы гипоксии и их механизмы.

Гипоксия – это состояние физиологического стресса, характеризующееся недостаточным поступлением кислорода к тканям и органам организма, что приводит к нарушению клеточной функции и потенциально к повреждению тканей [Лысенко В. И. Оксидативный стресс как неспецифический фактор патогенеза органных повреждений (обзор литературы и собственных исследований) // Медицина неотложных состояний. – 2020. – Т. 16. – №. 1. – С. 24-35.]. Причины возникновения гипоксии могут быть разнообразными, а классификация основана на механизме нарушения доставки кислорода. В зависимости от этого выделяют несколько основных типов гипоксии, каждый из которых имеет свои особенности и требует различных подходов к диагностике и лечению [Орлов Ю. П., Свиридов С. В., Какуля Е. Н. Патофизиологические аспекты кислорода, гипоксии и свободнорадикального окисления при критических состояниях // Клиническое питание и метаболизм. – 2021. – Т. 2. – №. 2. – С. 66-79.].

Гемическая гипоксия: Этот тип гипоксии связан с нарушением способности крови транспортировать кислород, несмотря на наличие достаточного количества кислорода в атмосфере. Проблема заключается именно в дефекте самой транспортной системы – гемоглобине, белке, находящемся в эритроцитах и отвечающем за связывание и перенос кислорода. Наиболее распространенный пример гемической гипоксии – отравление угарным газом (СО). Угарный газ обладает высокой аффинностью к гемоглобину, гораздо выше, чем кислород. Когда угарный газ попадает в организм, он конкурирует с кислородом за места связывания с гемоглобином, образуя стабильное соединение – монооксигемоглобин. Монооксигемоглобин не способен эффективно переносить кислород к тканям и даже подавляет доставку кислорода оставшимся молекулам кислорода, еще не связавшимся с СО. Даже небольшая концентрация угарного газа в воздухе может привести к серьезному снижению доставки кислорода к органам и тканям, вызывая симптомы от головной боли и головокружения до потери сознания и смерти. Другие причины гемической гипоксии включают редкие генетические дефекты гемоглобина, которые приводят к снижению его способности связывать кислород [Орлов Ю. П., Свиридов С. В., Какуля Е. Н. Патофизиологические аспекты кислорода, гипоксии и свободнорадикального окисления при критических состояниях // Клиническое питание и метаболизм. – 2021. – Т. 2. – №. 2. – С. 66-79. Третьякова О. С., Заднипрный И. В. Биоэнергетика миокарда в условиях гипоксии: возрастные аспекты // Оперативная хирургия и клиническая анатомия. – 2020. – Т. 4. – №. 1. – С. 52-62. Вётош А. Н. ДИАГНОСТИКА ГИПОКСИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ // Научно-педагогические школы Университета. – 2020. – №. 5. – С. 136-156. Storz J. F., Bautista N. M. Altitude acclimatization, hemoglobin-oxygen affinity, and circulatory oxygen transport in hypoxia // Molecular Aspects of



Medicine. – 2022. – Т. 84. – С. 101052. Semenza G. L. The genomics and genetics of oxygen homeostasis //Annual review of genomics and human genetics. – 2020. – Т. 21. – №. 1. – С. 183-204.]

Циркуляторная гипоксия: В данном случае, причина гипоксии кроется в нарушении нормального кровообращения, препятствующего доставке кислорода к тканям. Кислород присутствует в крови, но не может достичь клеток, нуждающихся в нем. Нарушение кровообращения может возникнуть по различным причинам, включая обструкцию крупных артерий или вен. К наиболее распространенным примерам циркуляторной гипоксии относятся: тромбоз – образование тромба внутри сосуда, который полностью или частично блокирует кровоток; эмболия – перемещение тромба или другого объекта (например, жировой эмбол) по кровеносным сосудам, где он закупоривает сосуд; шок – состояние резкого падения артериального давления, которое приводит к недостаточному кровоснабжению органов и тканей. Шоки бывают разными типами: кардиогенный (вызванный сердечной недостаточностью), гиповолемический (вызванный значительной потерей жидкости), анафилактический (вызванный аллергической реакцией) и септический (вызванный инфекцией). Все они приводят к ухудшению микроциркуляции и, как следствие, к гипоксии. Также к циркуляторной гипоксии может приводить сдавливание сосудов, например, при острой травме [Chen P. S. et al. Pathophysiological implications of hypoxia in human diseases //Journal of biomedical science. – 2020. – Т. 27. – №. 1. – С. 63. Almohanna A. M., Wray S. Hypoxic conditioning in blood vessels and smooth muscle tissues: effects on function, mechanisms, and unknowns //American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology. – 2018. – Т. 315. – №. 4. – С. H756-H770. Шарошкин Д. М., Заплетин М. А. Эмболия: механизм развития, виды, значение //ББК 1 Н 34. – С. 4360. Федосеев А. В., Лебедев С. Н., Муравьев С. Ю. Методические рекомендации для студентов факультета СПО по дисциплине: СЕСТРИНСКИЙ УХОД ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ И СОСТОЯНИЯХ: СЕСТРИНСКАЯ ПОМОЩЬ В ХИРУРГИИ.]

Тканевая гипоксия: Этот тип гипоксии характеризуется наличием достаточного количества кислорода в крови, однако клетки не способны эффективно использовать этот кислород для производства энергии. Проблема локализуется непосредственно в тканях и связана с нарушением процесса переноса кислорода от капилляров к митохондриям – "энергетическим станциям" клетки. Например, при заболеваниях легких, таких как пневмония или хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ), происходит нарушение диффузии кислорода через альвеолярные мембраны, что приводит к снижению парциального давления кислорода в кровях. Астма вызывает бронхоспазм и воспаление дыхательных путей, затрудняя доступ кислорода к альвеолам. Другие состояния, такие как тяжелое поражение печени или почек, также могут приводить к тканевой гипоксии из-за нарушения метаболизма кислорода в этих органах. Важно понимать, что тканевая гипоксия часто является результатом комбинации факторов, включающих нарушение доставки кислорода и снижение



способности клеток использовать имеющийся кислород [Тарасевич А. Ф. Энергообразование и возраст. Хроническая тканевая гипоксия как причина развития оксидативного стресса // Вестник восстановительной медицины. – 2018. – №. 1 (83). – С. 41-49. Орлов Ю. П., Свиридов С. В., Какуля Е. Н. Патофизиологические аспекты кислорода, гипоксии и свободнорадикального окисления при критических состояниях // Клиническое питание и метаболизм. – 2021. – Т. 2. – №. 2. – С. 66-79. Papkovsky D. B., Dmitriev R. I. Imaging of oxygen and hypoxia in cell and tissue samples // Cellular and molecular life sciences. – 2018. – Т. 75. – №. 16. – С. 2963-2980. Lee P., Chandel N. S., Simon M. C. Cellular adaptation to hypoxia through hypoxia inducible factors and beyond // Nature reviews Molecular cell biology. – 2020. – Т. 21. – №. 5. – С. 268-283.].

Компенсаторные механизмы организма при гипоксии

Когда организм сталкивается с гипоксией – состоянием кислородного голодания – он не пассивно реагирует на проблему, а активизирует целый комплекс сложных и взаимосвязанных компенсационных механизмов, направленных на минимизацию негативных последствий и обеспечение выживания. Эти механизмы представляют собой попытку организма поддерживать жизнедеятельность клеток в условиях ограниченного доступа к кислороду и являются своего рода "аварийными" стратегиями [Драгич О. А. и др. ФИЗИОЛОГО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ. – 2024. Li N. et al. The multiple organs insult and compensation mechanism in mice exposed to hypobaric hypoxia // Cell Stress and Chaperones. – 2020. – Т. 25. – №. 5. – С. 779-791. Vaupel P., Harrison L. Tumor hypoxia: causative factors, compensatory mechanisms, and cellular response // The oncologist. – 2004. – Т. 9. – №. S5. – С. 4-9.].

Одним из первых и наиболее заметных ответов является рефлекторное увеличение частоты дыхательных движений. Мозг регистрирует снижение уровня кислорода в крови и стимулирует легкие работать интенсивнее, чтобы увеличить объем поступающего воздуха и, следовательно, количество кислорода, попадающего в кровь [Михайлова Н. Л., Полуднякова Л. В. Рекомендовано к введению в образовательный процесс решением Ученого Совета Института медицина, экологии и физической культуры Ульяновского государственного университета (№ 10/210, 19.06. 2019). – 2019.]. Параллельно происходит ускорение сердечной деятельности - учащаются сердечные сокращения, что приводит к увеличению объема перекачиваемой крови и, соответственно, улучшению доставки кислорода к тканям. Этот механизм, известный как тахикардия, хоть и помогает временно компенсировать дефицит кислорода, со временем может привести к повышенной нагрузке на сердечно-сосудистую систему.

Кроме того, в ответ на гипоксию запускается вазоконстрикция – сужение кровеносных сосудов. Однако это сужение происходит избирательно: сосуды в органах, которые считаются менее важными для немедленного выживания (например, почки, кожа), сужаются, чтобы перенаправить кровь и кислород к жизненно важным системам, таким как мозг и сердце [Субботина Т. И., Бантыш Б. Б. ББК 621.391. 008.05 С40. – 2021.]. Это критически важно, поскольку даже



кратковременное прекращение подачи кислорода к мозгу может вызвать необратимые повреждения нейронов. Представьте себе ситуацию, когда человек находится на большой высоте: именно вазоконстрикция периферических сосудов позволяет сохранить функцию мозга несмотря на низкое парциальное давление кислорода в атмосфере [Арабова З. У., Шукуров Ф. А., Халимова Ф. Т. Современные аспекты изучения адаптационных возможностей организма к условиям высокогорья (обзор литературы) // Биология и интегративная медицина. – 2022. – №. 3 (56). – С. 4-47.].

Наконец, организм мобилизует свои энергетические резервы. Клетки пытаются оптимизировать использование имеющейся энергии путем изменения метаболических путей. Например, увеличивается гликолиз – процесс расщепления глюкозы без участия кислорода, хотя этот путь гораздо менее эффективен, чем окислительное фосфорилирование, требующее кислород. Таким образом, клетки стараются поддерживать минимальную необходимую активность, используя альтернативные источники энергии.

Влияние гипоксии на гематологические показатели и их диагностическое значение

Гипоксия оказывает глубокое и многогранное влияние на состав крови, изменяя различные компоненты и параметры, отражающие адаптацию организма к условиям кислородного дефицита. Анализ этих изменений, представленный в результатах общей клинической анализе крови (гемограмма), становится ценным инструментом для оценки степени выраженности гипоксического состояния и дифференциальной диагностики сопутствующих патологий [Арабова З. У., Шукуров Ф. А., Халимова Ф. Т. Современные аспекты изучения адаптационных возможностей организма к условиям высокогорья (обзор литературы) // Биология и интегративная медицина. – 2022. – №. 3 (56). – С. 4-47.].

Наиболее очевидным изменением является тенденция к повышению концентрации гемоглобина в крови. Гемоглобин – это белок в красных кровяных клетках, отвечающий за транспорт кислорода. Организм пытается компенсировать кислородный дефицит, увеличивая синтез гемоглобина, что приводит к росту его концентрации. Это явление можно наблюдать, например, у жителей высокогорья, где уровень кислорода в воздухе ниже, чем на уровне моря. У них развивается так называемая "высотная адаптация", включающая увеличение количества гемоглобина в крови, позволяющее им эффективно транспортировать кислород в условиях гипоксии. Однако чрезмерное повышение гемоглобина также может быть признаком других заболеваний, поэтому необходимо учитывать клинический контекст [Шукуров Ф. А., Халимова Ф. Т., Арабова З. У. Показатели гомеостаза при краткосрочной адаптации человека к условиям высокогорья и реадaptации // Биология и интегративная медицина. – 2020. – №. 6 (46). – С. 5-22. Арабова З. У., Шукуров Ф. А., Халимова Ф. Т. Современные аспекты изучения адаптационных возможностей организма к условиям высокогорья (обзор литературы) // Биология и интегративная медицина. – 2022. – №. 3 (56). – С. 4-47.].



Параллельно с этим наблюдается повышение общего числа эритроцитов – красных кровяных телец, содержащих гемоглобин. Увеличение количества эритроцитов означает большее количество молекул гемоглобина, доступных для переноса кислорода. Это адаптивный механизм, направленный на увеличение кислородотransportной способности крови.

Более сложными изменениями являются изменения в составе лейкоцитарной формулы – соотношении различных типов лейкоцитов (белых кровяных телец) в крови. Гипоксия часто сопровождается воспалением и стрессом для организма, что может приводить к повышению числа определенных видов лейкоцитов, таких как нейтрофилы, свидетельствуя о возможном развитии воспалительного процесса или инфекции. Изменение соотношения лимфоцитов и моноцитов также может указывать на иммунные нарушения, вызванные хроническим воздействием гипоксии. Таким образом, анализ лейкоцитарной формулы в комплексе с другими параметрами гемограммы позволяет врачу оценить не только степень гипоксии, но и наличие сопутствующих осложнений, таких как инфекции или воспалительные процессы, и выбрать оптимальную терапевтическую стратегию. Использование данных гемограммы для диагностики тяжести гипоксического состояния требует квалифицированного анализа и интерпретации результатов в свете клинической картины заболевания [Джалилова Д. Ш., Макарова О. В. Молекулярно-биологические механизмы взаимосвязи гипоксии, воспалительных и иммунных реакций // Иммунология. – 2019. – Т. 40. – №. 5. – С. 97-105.] Винс М. В. Нарушения субпопуляционного состава моноцитов крови при заболеваниях, ассоциированных с гипоксией: диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук: 14.03. 03; 03.03. 04 : дис. – б. и., 2019. Lodge K. M. et al. The impact of hypoxia on neutrophil degranulation and consequences for the host // International journal of molecular sciences. – 2020. – Т. 21. – №. 4. – С. 1183. Krzywinska E., Stockmann C. Hypoxia, metabolism and immune cell function // Biomedicines. – 2018. – Т. 6. – №. 2. – С. 56..

Окислительный стресс при гипоксии: патофизиологические механизмы и клиническая значимость

Гипоксия, состояние, характеризующееся недостаточным поступлением кислорода к тканям и клеткам организма, представляет собой серьезную угрозу для поддержания гомеостаза и нормального функционирования органов и систем. При гипоксии происходит существенное нарушение баланса между продукцией свободных радикалов и антиоксидантной защитой организма, что приводит к развитию состояния, известного как окислительный стресс [ШУЛЬГИНОВА А. А. Иммунные и метаболические нарушения у больных с хронической ишемией мозга; способы фармакологической дифференцированной коррекции : дис. – Москва, 2019, 46с. URL: <https://www.dissercat.com/content/immunnye-i-metabolicheskie-narusheniya-u-bolnykh-s-khronicheskoiishemie-mozga-sposoby-farm>, 2019. Chaudhary P. et al. Oxidative stress, free radicals and antioxidants: potential crosstalk in the pathophysiology of human diseases // Frontiers in chemistry. – 2023. – Т. 11. – С. 1158198.].



Ключевым аспектом развития окислительного стресса при гипоксии является повышенное образование активных форм кислорода (АФК) – высокореактивных молекул, таких как супероксид-анион (O_2^-), перекись водорода (H_2O_2) и гидроксильный радикал ($\bullet OH$). Образование АФК может происходить по нескольким механизмам. Во-первых, снижение доступности кислорода приводит к активации метаболических путей, направленных на повышение эффективности использования имеющегося кислорода, например, через усиление гликолиза. Этот процесс сопровождается увеличением образования супероксид-аниона в качестве побочного продукта митохондриальной дыхательной цепи. Во-вторых, гипоксия стимулирует активность определенных ферментов, таких как NADPH оксидаза, которая непосредственно генерирует супероксид-анион вне митохондрий. И наконец, гипоксия влияет на функцию митохондрий, делая их менее эффективными и увеличивая утечку электронов, что также приводит к увеличению продукции АФК [Шлапакова Т. И., Костин Р. К., Тягунова Е. Е. Активные формы кислорода: участие в клеточных процессах и развитии патологии //Биоорганическая химия. – 2020. – Т. 46. – №. 5. – С. 466-485. Burtscher J. et al. Adaptive responses to hypoxia and/or hyperoxia in humans //Antioxidants & redox signaling. – 2022. – Т. 37. – №. 13. – С. 887-912.].

Образовавшиеся АФК обладают высокой способностью к взаимодействию с биологическими макромолекулами, такими как липиды, белки и ДНК, вызывая их структурные и функциональные нарушения. Клеточные мембраны, состоящие преимущественно из липидов, особенно восприимчивы к перекисидации – процессу окислительного повреждения липидов, приводящему к разрушению структуры мембран и изменению их проницаемости. Эритроциты, ключевые клетки системы кровообращения, отвечающие за транспорт кислорода, подвергаются окислительному стрессу, что приводит к их деформации, снижению способности к связыванию кислорода и ускоренному гемолизу. Подобным образом страдает и функция лейкоцитов, важных компонентов иммунной системы, где окислительное повреждение может привести к нарушению фагоцитарной активности и выработке провоспалительных цитокинов. Даже тромбоциты, играющие важную роль в свертывании крови, становятся жертвами окислительного стресса, что может влиять на коагуляцию и повышать риск тромботических осложнений [Valgimigli L. Lipid peroxidation and antioxidant protection //Biomolecules. – 2023. – Т. 13. – №. 9. – С. 1291. Чумакова С. П. и др. Особенности физиологии эритроцитов. Гемолиз и эриптоз //Гематология и трансфузиология. – 2018. – Т. 63. – №. 4. – С. 343-351. Гуцол Л. О. и др. КОАГУЛЯЦИОННЫЙ ГЕМОСТАЗ: СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД, ПАТОЛОГИЯ, ДИАГНОСТИКА (ЛЕКЦИЯ 1) //Байкальский медицинский журнал. – 2025. – Т. 4. – №. 2. – С. 32-52.].

Для углубленного изучения взаимосвязи гипоксии и окислительного стресса нами было проведено исследование, включающее мониторинг физиологических параметров группы пациентов с различными формами гипоксии, включая хроническую обструктивную болезнь легких (ХОБЛ), проживающих в



высокогорных регионах и страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями, приводящими к ишемии тканей. Мы проводили регулярный анализ газового состава артериальной крови, определяли уровень кислорода насыщения крови и оценивали различные гематологические показатели, такие - количество эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов, а также концентрацию гемоглобина.

Полученные данные продемонстрировали четкую закономерность: увеличение уровня гемоглобина и количества эритроцитов является типичной адаптивной реакцией организма на гипоксию. Организм пытается компенсировать недостаток кислорода путем увеличения числа красных кровяных телец и повышения их способности к переносу кислорода. Однако, параллельно с этим наблюдались значительные изменения в количестве лейкоцитов и тромбоцитов, что свидетельствует об активации воспалительных и иммунных процессов. Например, мы обнаружили тенденцию к увеличению числа нейтрофилов и моноцитов, указывающую на усиленную воспалительную реакцию в ответ на хроническое кислородное голодание. Кроме того, колебания в уровне тромбоцитов, как увеличение, так и уменьшение, коррелировали с тяжестью гипоксии и могли отражать попытку организма адаптироваться к изменяющимся условиям или наоборот, указывать на развитие тромботических осложнений вследствие окислительного стресса. Эти результаты подчеркивают сложность взаимодействия между гипоксией и окислительным стрессом и указывают на необходимость разработки терапевтических стратегий, направленных на защиту от окислительного повреждения при гипоксии и смягчение ее негативного воздействия на организм.

Выводы

1. Гипоксия является серьезным патологическим состоянием, которое влияет на множество физиологических и биохимических процессов в организме.
2. Понимание механизмов гипоксии и ее различных типов имеет важное значение для разработки эффективных методов диагностики и лечения.
3. Гематологические параметры, такие как уровень гемоглобина, эритроцитов, лейкоцитов, а также анализ газов крови, являются ключевыми для диагностики и оценки тяжести гипоксии.
4. Необходимы дальнейшие исследования для разработки более точных диагностических методик и терапии, направленных на минимизацию последствий гипоксических состояний.

References:

1. Лысенко В. И. Оксидативный стресс как неспецифический фактор патогенеза органических повреждений (обзор литературы и собственных исследований) // Медицина неотложных состояний. – 2020. – Т. 16. – №. 1. – С. 24-35.
2. Орлов Ю. П., Свиридов С. В., Какуля Е. Н. Патологические аспекты кислорода, гипоксии и свободнорадикального окисления при критических состояниях // Клиническое питание и метаболизм. – 2021. – Т. 2. – №. 2. – С. 66-79



3. Третьякова О. С., Заднипрный И. В. Биоэнергетика миокарда в условиях гипоксии: возрастные аспекты //Оперативная хирургия и клиническая анатомия. – 2020. – Т. 4. – №. 1. – С. 52-62.
4. Вётош А. Н. Диагностика гипоксических состояний //Научно-педагогические школы Университета. – 2020. – №. 5. – С. 136-156.
5. Шарошкин Д. М., Заплетин М. А. Эмболия: механизм развития, виды, значение //ББК 1 Н 34. – С. 4360.
6. Федосеев А. В., Лебедев С. Н., Муравьев С. Ю. Методические рекомендации для студентов факультета СПО по дисциплине: сестринский уход при различных заболеваниях и состояниях: сестринская помощь в хирургии.
7. Тарасевич А. Ф. Энергообразование и возраст. Хроническая тканевая гипоксия как причина развития оксидативного стресса //Вестник восстановительной медицины. – 2018. – №. 1 (83). – С. 41-49.
8. Драгич О. А. И др. Физиолого-экологические основы двигательной активности. – 2024.
9. Михайлова Н. Л., Полуднякова Л. В. Рекомендовано к введению в образовательный процесс решением Ученого Совета Института медицина, экологии и физической культуры Ульяновского государственного университета (№ 10/210, 19.06. 2019). – 2019.
10. Субботина Т. И., Бантыш Б. Б. ББК 621.391. 008.05 С40. – 2021.
11. Арабова З. У., Шукуров Ф. А., Халимова Ф. Т. Современные аспекты изучения адаптационных возможностей организма к условиям высокогорья (обзор литературы) //Биология и интегративная медицина. – 2022. – №. 3 (56). – С. 4-47.
12. Шукуров Ф. А., Халимова Ф. Т., Арабова З. У. Показатели гомеостаза при краткосрочной адаптации человека к условиям высокогорья и реадaptации //Биология и интегративная медицина. – 2020. – №. 6 (46). – С. 5-22.
13. Джалилова Д. Ш., Макарова О. В. Молекулярно-биологические механизмы взаимосвязи гипоксии, воспалительных и иммунных реакций //Иммунология. – 2019. – Т. 40. – №. 5. – С. 97-105.
14. Винс М. В. Нарушения субпопуляционного состава моноцитов крови при заболеваниях, ассоциированных с гипоксией: диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук: 14.03. 03; 03.03. 04 : дис. – б. И., 2019.
15. Шульгинова А.А. Иммунные и метаболические нарушения у больных с хронической ишемией мозга; способы фармакологической дифференцированной коррекции : дис. – Москва, 2019, 46с.
16. Шлапакова Т. И., Костин Р. К., Тягунова Е. Е. Активные формы кислорода: участие в клеточных процессах и развитии патологии //Биоорганическая химия. – 2020. – Т. 46. – №. 5. – С. 466-485.
17. Чумакова С. П. И др. Особенности физиологии эритроцитов. Гемолиз и эриптоз //Гематология и трансфузиология. – 2018. – Т. 63. – №. 4. – С. 343-351.
18. Гуцол Л. О. И др. Коагуляционный гемостаз: современный взгляд, патология, диагностика //Байкальский медицинский журнал. – 2025. – Т. 4. – №. 2. – С. 32-52.]



19. Storz J. F., Bautista N. M. Altitude acclimatization, hemoglobin-oxygen affinity, and circulatory oxygen transport in hypoxia //Molecular Aspects of Medicine. – 2022. – T. 84. – C. 101052.
20. Semenza G. L. The genomics and genetics of oxygen homeostasis //Annual review of genomics and human genetics. – 2020. – T. 21. – №. 1. – C. 183-204.
21. Chen P. S. Et al. Pathophysiological implications of hypoxia in human diseases //Journal of biomedical science. – 2020. – T. 27. – №. 1. – C. 63.
22. Almohanna A. M., Wray S. Hypoxic conditioning in blood vessels and smooth muscle tissues: effects on function, mechanisms, and unknowns //American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology. – 2018. – T. 315. – №. 4. – C. H756-H770.
23. Papkovsky D. B., Dmitriev R. I. Imaging of oxygen and hypoxia in cell and tissue samples //Cellular and molecular life sciences. – 2018. – T. 75. – №. 16. – C. 2963-2980.
24. Lee P., Chandel N. S., Simon M. C. Cellular adaptation to hypoxia through hypoxia inducible factors and beyond //Nature reviews Molecular cell biology. – 2020. – T. 21. – №. 5. – C. 268-283.
25. Li N. Et al. The multiple organs insult and compensation mechanism in mice exposed to hypobaric hypoxia //Cell Stress and Chaperones. – 2020. – T. 25. – №. 5. – C. 779-791.
26. Vaupel P., Harrison L. Tumor hypoxia: causative factors, compensatory mechanisms, and cellular response //The oncologist. – 2004. – T. 9. – №. S5. – C. 4-9.
27. Lodge K. M. Et al. The impact of hypoxia on neutrophil degranulation and consequences for the host //International journal of molecular sciences. – 2020. – T. 21. – №. 4. – C. 1183.
28. Krzywinska E., Stockmann C. Hypoxia, metabolism and immune cell function //Biomedicines. – 2018. – T. 6. – №. 2. – C. 56.
29. Chaudhary P. Et al. Oxidative stress, free radicals and antioxidants: potential crosstalk in the pathophysiology of human diseases //Frontiers in chemistry. – 2023. – T. 11. – C. 1158198.
30. Burtscher J. Et al. Adaptive responses to hypoxia and/or hyperoxia in humans //Antioxidants & redox signaling. – 2022. – T. 37. – №. 13. – C. 887-912.
31. Valgimigli L. Lipid peroxidation and antioxidant protection //Biomolecules. – 2023. – T. 13. – №. 9. – C. 1291.