

## НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 616-005.1-08

**ГАЗОВЫЙ СОСТАВ КРОВИ  
ПРИ РАЗВИТИИ КРОВОТЕЧЕНИЯ**<sup>1,2</sup>Дунаевская С.С., <sup>1</sup>Штоппель Н.С., <sup>2</sup>Штоппель А.Э., <sup>1,2</sup>Бережной А.Г.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого Министерства здравоохранения Российской Федерации, Красноярск, e-mail: Vikto-potapenk@yandex.ru;  
<sup>2</sup>ЧУЗ «Клиническая больница «РЖД-Медицина» г. Красноярск», Красноярск

Цель – провести обзор современных литературных данных об изменении газового состава крови, связанного с развитием метаболического ацидоза и гипоксии при развитии кровотечений. Поиск исследований проводился с использованием электронных баз данных Академия-Gugle, Medline, PubMed. Всего было рассмотрено 50 статей, и 20 статей были признаны релевантными согласно критериям включения. Газовый состав крови является высокочувствительным показателем при развитии патологического состояния. Анализ газов крови и оценка кислотно-щелочного баланса являются важными инструментами для определения состояния пациента и выбора соответствующего лечения. Их результаты позволяют оценить эффективность дыхания, функцию легких и обмен газов в организме. Кровотечения представляют собой серьезные патологические состояния, которые могут привести к значительному снижению уровня гемоглобина и кислородной емкости крови. В результате этого может возникнуть кислородное голодание тканей и органов, что может привести к тяжелым последствиям, вплоть до летального исхода. В связи с этим изучение изменений газового состава крови при кровотечениях актуально и важно для диагностики и лечения данного состояния. Для оценки компенсаторно-приспособительных механизмов организма пациента при кровотечениях одним из лучших лабораторных исследований является оценка газового состава крови. Исследование газового состава крови при развитии кровотечений показало, что данные изменения могут быть использованы в качестве маркеров для ранней диагностики и мониторинга этого состояния. Важными показателями являются снижение  $pO_2$ ,  $sO_2$  и концентрации бикарбонатов, а также сдвиг pH крови в сторону ацидоза.

**Ключевые слова:** кровотечения, газовый состав крови, лечение кровотечений, газовой-электролитный состав крови, тяжесть кровопотери

**BLOOD GAS COMPOSITION DURING  
THE DEVELOPMENT OF BLEEDING**<sup>1,2</sup>Dunaevskaya S.S., <sup>1</sup>Shtoppel N.S., <sup>2</sup>Shtoppel A.E., <sup>1,2</sup>Berezhnoy A.G.

<sup>1</sup>Professor V.F. Voyno-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Krasnoyarsk, e-mail: Vikto-potapenk@yandex.ru;  
<sup>2</sup>Clinical Hospital «Russian Railways-Medicine Krasnoyarsk», Krasnoyarsk

Objective: to review the current literature on changes in blood gas composition associated with the development of metabolic acidosis and hypoxia during the development of bleeding. Research searches were conducted using electronic databases from Academy-Gugle, Medline, PubMed. A total of 50 articles were reviewed and 20 articles were considered relevant according to inclusion criteria. The gas composition of the blood is a highly sensitive indicator in the development of a pathological condition. Blood gas analysis and acid-base balance assessment are important tools for determining a patient's condition and selecting appropriate treatment. Their results allow you to assess the effectiveness of breathing, lung function and gas exchange in the body. Bleeds are serious pathological conditions that can lead to a significant decrease in hemoglobin and oxygen capacity of the blood. As a result, oxygen starvation of tissues and organs can occur, which can lead to serious consequences, up to death. In this regard, the study of changes in the gas composition of blood during bleeding is relevant and important for the diagnosis and treatment of this condition. Blood partial pressure decreased, carboxyhemoglobin increased, oxygen saturation decreased. A significant change in data is observed in patients with severe and massive blood loss. A study of the gas composition of blood during the development of bleeding showed that these changes can be used as markers for early diagnosis and monitoring of this condition. Important indicators are a decrease in the  $pO_2$ ,  $sO_2$  and concentration of bicarbonates, as well as a shift in blood pH towards acidosis.

**Keywords:** bleeding, blood gas composition, bleeding treatment, gas-electrolyte composition of blood, severity of blood loss

**Введение**

Развитие патологического состояния сопровождается изменениями в газовом составе крови, обусловленными нарушением диффузии газов через альвеоларно-капиллярную систему легких. Нарушения в газовом составе крови часто сопровождаются

формированием гипоксии различного генеза. Недостаточное поступление кислорода в ткани и органы сопровождается нарушением метаболического и кислотно-основного равновесия, что, в свою очередь, является важным звеном в патогенезе типового патологического состояния. Генез гипоксии

зачастую связан с дыхательной недостаточностью и контролируется следующими параметрами: уровень кислорода ( $O_2$ ), уровень углекислоты ( $CO_2$ ) и pH (кисотно-основное состояние) крови и межклеточной жидкости в тканях.

Гемический генез развития гипоксии обусловлен нарушением связывания кислорода гемоглобином, влияющим на метаболизм клетки тканей [1–3].

Развитие кровотечений сопровождается падением объема циркулирующей крови, снижением уровня гемоглобина и кислородной емкости крови и приводит к развитию гипоксии. В результате этого может возникнуть кислородное голодание тканей и органов, тканевая и органная ишемия может привести к тяжелым последствиям, вплоть до развития органной недостаточности и летального исхода. В связи с этим изучение изменений газового состава крови при кровотечениях актуально и важно для диагностики и лечения данного состояния. Клиническая картина развившегося патологического состояния позволяет предположить тяжесть кровотечения по следующим основным скрининговым данным: артериальное давление, частота сердечных сокращений, нарушение сознания, частота дыхательных движений. По изменению вышеперечисленных показателей определяются компенсаторные возможности организма и его реакция на кровотечение. Изменения в лабораторных показателях регистрируются, как правило, не в первые часы от начала кровопотери, наиболее чувствительными являются изменения уровня гемоглобина, гематокрита и количества эритроцитов [4, 5].

Однако для полной картины в оценке тяжести кровотечения необходима комплексная диагностика, включающая как клиническую картину заболевания, так и результаты лабораторно-инструментальных исследований. При оценке тяжести гипоксии необходимы результаты кислотно-щелочного, водно-электролитного состояний и показателей газов крови. На основании полученных результатов лабораторных исследований определяется лечебная тактика, в том числе показания к проведению гемотрансфузии [6, 7].

При анализе состава газов артериальной крови оцениваются показатели парциального давления углекислого газа  $pCO_2$ , pH крови и бикарбонатного буфера  $HCO_3^-$ . На основании полученных данных оценивается кислотно-основное состояние организма и диагностируется функция жизненно важных органов. Повышение показателя  $pCO_2$  позволяет судить о развившейся гипо-

вентиляции, что, в свою очередь, усугубляет течение гипоксии. Снижение pH свидетельствует об изменениях в кислотно-щелочном равновесии и развитии метаболического ацидоза или алкалоза. В диагностике гипоксии используется показатель P50, отражающий сродство гемоглобина к кислороду. Повышение показателя свидетельствует о снижении аффинности гемоглобина к кислороду, что, в свою очередь, снижает тканевую оксигенацию. Снижение аффинности гемоглобина к кислороду может быть обусловлено различными факторами, такими как повышение температуры, метаболический ацидоз, гиперкапния. Снижение показателя P50 позволяет судить о повышенной аффинности гемоглобина к кислороду и лучшей способности в доставке кислорода в ткани и обусловлено это гипотермией, острым алкалозом, гипокапнией. Оценка состава газов артериальной крови позволяет судить о нарушениях оксигенации и кислотно-щелочного баланса [8].

Необходимо учитывать изменения в следующих показателях: парциальное давление кислорода ( $pO_2$ ), насыщение кислородом ( $sO_2$ ), парциальное давление углекислого газа ( $pCO_2$ ) и pH. По данным показателям можем определить эффективность насыщения кислородом тканей организма и функциональное состояние легких. В обязательном порядке они используются в мониторинге состояния пациента, находящегося в критическом состоянии. Анализ содержания газов крови у пациента в тяжелом состоянии позволяет оценивать его состояние, динамику и эффективность проводимой терапии [9, 10].

Таким образом, при анализе газового состава крови, кислотно-щелочного баланса, оценивается общее состояние пациента и осуществляется выбор лечебно-диагностической тактики. На основе данных лабораторных показателей производится комплексная оценка органной дисфункции, в частности эффективность дыхательной деятельности. Оценка развития дыхательного ацидоза или алкалоза позволяет произвести коррекцию водно-электролитного баланса и кислотно-щелочного равновесия [11, 12].

Кислотно-щелочной баланс оценивается по следующим показателям: бикарбонат, стандартный бикарбонат и буферные основания. Отклонение щелочного баланса и дефицита оснований позволяет диагностировать изменения буферной системы крови и оценить компенсаторные механизмы организма при развитии кровотечения и геморрагического шока. Согласно Европейским рекомендациям мониторинг пациента с тяжелым состоянием включает в себя динамику по-

казателя буферного состояния и коррекции кислотно-щелочного баланса у пациентов с гипоксией на фоне кровопотери [13, 14].

Кровопотеря различной степени тяжести сопровождается развитием гипоксии, диагностировать которую возможно согласно анализу результатов показателей газового состава крови. Нарушение диффузии газов через легочную мембрану приводит к снижению показателя концентрации кислорода в артериальной крови, что, в свою очередь, усугубляет гипоксию. На основании изменений показателей щелочного состояния артериальной крови диагностируется формирование тканевого ацидоза, который развивается из-за нарушений в перфузии тканей [15–17].

Диагностика типового патологического процесса включает в себя оценку кислотно-щелочного баланса, одним из критериев которого является показатель парциального давления углекислого газа ( $p\text{CO}_2$ ). Развитие респираторного ацидоза сопровождается увеличением показателя, в то время как при респираторном алкалозе происходит снижение парциального давления углекислого газа. Характер и компенсацию кислотно-щелочного равновесия определяют комплексно по изменениям следующих показателей:  $p\text{CO}_2$ , pH и бикарбонат, а также общедоступные лабораторные анализы. Также на основании вышеперечисленных показателей возможно диагностировать тканевую ацидоз и провести необходимую коррекцию в проводимой терапии [18–20].

Изменения в водно-электролитном балансе при кровотечении наиболее выраженные при развитии ацидоза на фоне гипоксии. Потеря объема циркулирующей крови приводит к развитию централизации кровообращения, основной целью которой является защита функции жизненно важных органов от гипоксии. К компенсаторным механизмам относят возрастание сердечного выброса, увеличение сократимости сердца, периферическую вазоконстрикцию, секрецию антидиуретического гормона. Данные механизмы приводят к перераспределению ОЦК в организме, развитию изменений водно-электролитного и кислотно-основного равновесия. Поэтому тяжесть кровопотери необходимо оценивать не только по показателю гемоглобина, эритроцитов и гематокрита, но и по выраженности изменений газового состава крови.

**Цель исследования** – провести обзор современных литературных данных об изменении газового состава крови, связанного с развитием метаболического ацидоза и гипоксии при желудочно-кишечных кровотечениях.

## Материалы и методы исследования

Поиск исследований проводился с использованием электронных баз данных Академия-Gugle, Medline, PubMed, поиск проводился по следующим ключевым словам: кровотечения, газовый состав крови, лечение кровотечений, газово-электролитный состав крови, тяжесть кровопотери. Всего было рассмотрено 50 статей, и 20 статей были признаны релевантными согласно критериям включения.

## Результаты исследования и их обсуждение

Кровотечение, будь то внешнее или внутреннее, является серьезным состоянием, которое может привести к значительному снижению объема циркулирующей крови и нарушению гомеостаза организма. Одним из ключевых параметров, который требует постоянного контроля при кровотечениях, является pH крови. Он является мерой кислотности или щелочности жидкостей организма и в норме колеблется в узком диапазоне от 7,35 до 7,45. При кровотечениях, особенно при их значительной продолжительности или объеме, может развиваться метаболический ацидоз, что означает снижение pH крови ниже нормальных значений. Метаболический ацидоз может быть результатом нескольких факторов, связанных с кровотечением: снижение объема циркулирующей крови (гиповолемия) приводит к замедлению кровотока и ухудшению доставки кислорода к тканям. В ответ на гипоксию ткани начинают использовать анаэробный гликолиз для получения энергии, что приводит к накоплению молочной кислоты и других кислых продуктов метаболизма; нарушение функции почек, которое может возникнуть в результате шока или острой почечной недостаточности, приводит к снижению способности организма выводить кислые метаболиты и поддерживать кислотно-щелочное равновесие [3].

Как было ранее сказано, гипоксия является важным фактором в патогенезе развития и прогрессирования типового патологического процесса. Происходит нарушение энергетического метаболизма клеток, приводящего к усилению анаэробного гликолиза и угнетению окислительного фосфорилирования. Субстратом для гликолиза является глюкоза, происходит увеличение расхода глюкозы с образованием лактата. Нарушение окислительного фосфорилирования обуславливает энергетический дефицит в клетке, тканевую гипоксию и развитие органной недостаточности. В процессе тканевой гипоксии развиваются альтернатив-

ные механизмы получения энергии клеткой, включающие в себя усиление гликолиза и другие источники энергии [4].

Физиологический механизм, регулирующий доставку кислорода к тканям организма, называют эффектом Бора. Данный эффект обусловлен сродством гемоглобина к кислороду, на который влияет изменение рН в эритроцитах. При снижении рН в эритроцитах за счет увеличения концентрации углекислого газа происходит снижение сродства гемоглобина к кислороду. Компенсаторным механизмом является отдача кислорода тканям для компенсации снижения рН, что является важным для обеспечения необходимого уровня кислорода в тканях в условиях повышенного потребления кислорода или снижения его доступности [14].

P50 указывает на парциальное давление кислорода, при котором гемоглобин насыщается на 50%. Увеличение парциального давления углекислого газа до 40 мм рт. ст. в условиях смеси растворенного газа (5%), бикарбоната (90%), карбоната гемоглобина (5–13%) приводит к увеличению P50. А это говорит о том, что гемоглобин отдает кислород на более низких значениях парциального давления кислорода. Так называемая буферная реакция реализуется за счет диффузии CO<sub>2</sub> через мембрану эритроцита и преобразования карбоангидразы в HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> и H<sup>+</sup>. Это, в свою очередь, стабилизирует внутриклеточное рН и оказывает влияние на сродство гемоглобина к кислороду. Таким образом, эффект Бора и связанные с ним механизмы приводят к адаптации организма к изменениям кислорода и углекислого газа и обеспечивают оптимальную доставку кислорода и выведение углекислого газа [16].

Также известно, что при кровотечениях происходит снижение парциального давления кислорода артериальной крови, зависящего от интенсивности кровопотери. Однако парциальное давление углекислого газа также снижается при данной патологии. Снижение данных показателей характеризует развитие ишемии и может служить маркером в оценке состояния тяжести пациента. Парциальное давление кислорода и парциальное давление углекислого газа являются интегральными показателями оценки дыхательной недостаточности при развитии гипоксии [4, 8].

Необходимо оценивать показатель оксигемоглобина, который представлен в виде связи гемоглобина и кислорода, основной функцией является транспортировка кислорода в крови. Снижение концентрации оксигемоглобина в крови при развитии кровотечения объясняется следующими при-

чинами: снижение количества эритроцитов и, как следствие, показателя гемоглобина, как следствие, снижение общего количества переносимого кислорода и перфузии тканей. При развитии кровотечения происходит снижение насыщения кислородом гемоглобина, увеличивается потребность тканей в кислороде, что, в свою очередь, приводит к распаду оксигемоглобина в тканях организма. Таким образом, по снижению показателя оксигемоглобина можно судить о выраженности гипоксии и тяжести кровотечения [7].

Метгемоглобин (MetHb) – форма гемоглобина, в которой ионы железа находятся в окисленном трехвалентном состоянии, в такой форме невозможно связывание кислорода. Формируется при различных патологических состояниях, в том числе при кровопотере, и приводит к нарушению нормальной оксигенации тканей. При нормальном состоянии увеличения концентрации метгемоглобина не происходит, так как процесс восстановления окисленного гема в гемоглобин происходит быстрее, чем его окисление. За восстановление отвечает несколько систем, вносящих разный вклад: так, цитохром восстанавливает до 70% гемоглобина, аскорбиновая кислота до 16% и глутатион – до 12%. Около 6% восстановленного гемоглобина образуется с помощью НАДФН-метгемоглобинредуктазой. Данный процесс восстановления происходит с помощью активаторов электронов, таких как рибофлавин и метиленовый синий.

Метгемоглобинемия диагностируется при генетических и приобретенных заболеваниях, патогенез которых основан на изменении способности эритроцитов восстанавливать метгемоглобин. При повышении уровня метгемоглобина в крови снижается способность крови переносить кислород, что, в свою очередь, приводит к развитию тканевой гипоксии. Это особенно опасно при тяжелой гипоксии, когда организму требуется больше кислорода для нормального функционирования. Также в ряде исследований было доказано, что гипоксия приводит к увеличению пролиферативного потенциала клеток и увеличивает концентрацию активных форм кислорода в тканях организма. На сегодняшний день данный механизм не вполне объясним, одной из теорий является происходящая активация генов, в том числе гена каталитического компонента [7, 11].

BEecf (стандартный избыток оснований) является показателем кислотно-щелочного равновесия в организме и отражает разницу между количеством кислот и оснований в крови. Нормальные значения BEecf обычно находятся в диапазоне

от -2 до +2 ммоль/л. При кровотечениях, особенно при их значительной степени, может развиваться метаболический ацидоз, что приводит к накоплению кислых продуктов метаболизма и снижению буферных свойств крови. В результате показатель  $BE_{\text{есf}}$  становится отрицательным, что указывает на избыток кислот в организме. Отрицательное значение  $BE_{\text{есf}}$  требует коррекции с помощью инфузионной терапии, которая может включать введение буферных растворов, таких как бикарбонат натрия, для нейтрализации избытка кислот и восстановления кислотно-щелочного равновесия. В целом мониторинг показателя  $BE_{\text{есf}}$  при кровотечениях важен для оценки метаболического статуса пациента и определения необходимости в терапии, направленной на коррекцию кислотно-щелочного баланса [6, 10].

### Заключение

Исследование газового состава крови при кровотечениях важно для оценки метаболических изменений и принятия адекватных лечебных мер. Кровотечение может привести к снижению парциального давления кислорода ( $PaO_2$ ) и уровня насыщения кислородом гемоглобина ( $SaO_2$ ) из-за нарушения перфузии тканей и снижения общего содержания гемоглобина. Кроме того, может наблюдаться сдвиг в сторону ацидоза, особенно при тяжелых кровотечениях, что отражается на показателе pH крови. Увеличение парциального давления углекислого газа ( $PaCO_2$ ) может свидетельствовать о нарушении легочной вентиляции, а также о развитии шока. Важно отметить, что при кровотечениях могут возникать компенсаторные механизмы, такие как увеличение гематокрита и повышение уровня лактата, что требует тщательного мониторинга и коррекции.

### Список литературы

1. Biecker E. Diagnosis and therapy of non-variceal upper gastrointestinal bleeding // *World J Gastrointest Pharmacol Ther*. 2015. Vol. 6, Is. 4. P. 172–82.
2. Малышева Л.А., Стрекаловская А.А. Исследование газового состава крови и КЩР у жителей крайнего Севера в зимнее время года // *Современные тенденции развития науки и технологий*. 2015. № 9–2. С. 36–37.
3. Подсеваткин В.Г., Говш Е.В., Кирихина С.В., Подсеваткина С.В. Применение мексидола в условиях гипербарической оксигенации для коррекции постстрессорных изменений газового и электролитного составов крови // *Психиатрия: вчера, сегодня, завтра*. 2014. С. 298–300.
4. Наумов А.Б., Полушин Ю.С., Хубулава Г.Г., Александрович Ю.С., Марченко С.П., Пшениснов К.В., Пиллюгов Н.Г. Оценка нарушений системной перфузии у пациентов

с единым желудочком сердца на основании параметров газового состава крови // *Вестник анестезиологии и реаниматологии*. 2020. Т. 17, № 3. С. 6–16.

5. Григорьев Е.В., Лебединский К.М., Щеголев А.В., Бобовник С.В., Буланов А.Ю., Заболотских И.Б., Синьков С.В., Шень Н.П., Корнелюк Р.А. Реанимация и интенсивная терапия при острой массивной кровопотере у взрослых пациентов // *Анестезиология и реаниматология*. 2020. № 1. С. 5–24.
6. Исмоилов К.И., Шарипова М.М. Кислотно-основное состояние, газовый состав крови и эхокардиографические изменения миокарда при бронхиальной астме у детей // *Вестник Авиценны*. 2020. Т. 22, № 4. С. 565–571.
7. Ершов Н.Г., Александрова Л.Н. Оценка газового состава артериальной крови в зависимости от степени морбидного ожирения у пациентов в бариатрической хирургии // *Медико-фармацевтический журнал «Пульс»*. 2022. Т. 24, № 4. С. 116–120.
8. Торкунов П.А., Земляной А.В., Торкунова О.В., Шабанов П.Д. Влияние экспериментальной терапии на газовый и кислотно-основной состав крови в динамике токсического отека легких // *Психофармакология и биологическая наркология*. 2023. Т. 14, № 4. С. 245–250.
9. Пересторонина М.В., Корпачева О.В., Пальянов С.В. Показатели газового состава крови как маркеры гемодинамической значимости открытого артериального протока // *Вестник СурГУ. Медицина*. 2021. № 2 (48). С. 85–90.
10. Калашников С.А. Показатели кислотно-основного состояния и газовый состав крови новорожденных при многоплодной беременности // *Акушерство, гинекология и репродукция*. 2020. Т. 14, № 6. С. 612–621.
11. Царев А.В. Динамика газового состава и коагуляционных свойств крови у пациентов с тяжелой черепно-мозговой травмой при проведении терапевтической гипотермии // *Вестник проблем биологии и медицины*. 2018. Т. 2, № 1 (143). С. 215–218.
12. Минин А.С., Шень Н.П., Панов И.Д., Бем С.А. Влияние газового состава крови и параметров искусственной вентиляции легких на прогноз медицинской эвакуации пациентов в критическом состоянии // *Клиническая лабораторная диагностика*. 2020. Т. 65, № 2. С. 84–89.
13. Грищенко Е.Г., Гилюк А.В., Петрова М.М., Николаева Н.Н. Растущая резистентность *Helicobacter pylori* к антибактериальным препаратам в эрадикационных схемах // *Сибирское медицинское обозрение*. 2020. № 1. С. 14–19.
14. Feinman M., Haut E.R. Upper gastrointestinal bleeding // *Surg Clin North Am*. 2014. Vol. 94, № 1. P. 43–53.
15. Мельник И.В. Лечебная тактика при язвенных гастродуоденальных кровотечениях // *Авиценна*. 2019. № 39. С. 4–10.
16. Casaletto J.J. Differential diagnosis of metabolic acidosis // *Emerg. Med. Clin. North Am*. 2005. Vol. 23. P. 771–787.
17. Князева Н.А., Фоменко К.А., Стяжкина С.Н. Желудочно-кишечные кровотечения при синдроме Мелори – Вейсса в клинической практике // *Modern Science*. 2020. № 5–1. С. 228–232.
18. Klastrup E., Trydal T., Pederson J. Reference intervals and age and gender dependency for arterial blood gases and electrolytes in adults // *Clin Chem Lab Med*. 2011. Vol. 49. P. 1495–1500.
19. Мельник И.В. Лечебная тактика при язвенных гастродуоденальных кровотечениях // *Авиценна*. 2019. № 39. С. 4–10.
20. Тимербулатов Ш.В., Валеев М.В. Язвенные гастродуоденальные кровотечения. Стратификация риска развития неблагоприятных исходов // *Эндоскопическая хирургия*. 2019. № 25 (6). С. 5–11.