



Лабораторная оценка кислотно-щелочного баланса организма

План лекции

- Формы нарушения кислотно-щелочного баланса.
- Алкалоз и ацидоз: респираторный, метаболический, компенсированный, декомпенсированный.
- Клинико-диагностическое значение изменений показателей КЩС

Актуальность

- Зная четкие границы нормального pH, многие врачи самонадеянно выставляют диагноз ацидоз/алкалоз по pH крови больного, не имея достаточно знаний для правильной интерпретации результатов.
- Некоторые клиницисты напрочь игнорируют отклонения от нормы остальных параметров анализа, таким образом, от внимания врачей зачастую ускользают замаскированные либо компенсированные нарушения кислотно-щелочного гомеостаза

Актуальность проблемы

- При проверке знаний сотрудников до 70% врачей, не имеющих никакого отношения к пульмонологии, брались интерпретировать результаты исследования газов крови, не удосуживаясь ознакомиться с основными принципами анализа.
- Подобная интерпретация была правильной не более чем в 40% случаев

- **Ацидоз** – патологический процесс или состояние, которое могло бы снизить pH, если бы не было вторичных изменений (компенсаторного ответа) на первичный этиологический фактор.
- **Алкалоз** – патологический процесс или состояние, которое могло бы увеличить pH, если бы не было вторичных изменений (компенсаторного ответа) на первичный этиологический фактор.
- **Ацидемия** – состояние, при котором pH артериальной крови $< 7,35$ (т.е. $H^+ > 45$ нмоль).
- **Алкалемия** – состояние, при котором pH артериальной крови $> 7,45$ (т.е. $H^+ < 35$ нмоль).

Буферные системы

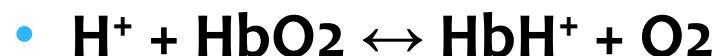
- Буферные системы – биохимические комплексы, обеспечивающие постоянство pH путем отдачи либо присоединения ионов водорода.
- Буферные системы не удаляют H^+ из организма, а «связывают» его своим щелочным компонентом до окончательного восстановления КЩС.
- $\text{Буфер} + H^+ \leftrightarrow H \text{ Буфер}$

БИКАРБОНАТНЫЙ БУФЕР

- Представляет собой пару слабой кислоты H_2CO_3 и слабого основания - бикарбоната, а точнее его соли - NaHCO_3 .
- Угольная кислота образуется в результате взаимодействия углекислого газа и воды: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$
- Угольная кислота в свою очередь диссоциирует на водород и бикарбонат: $\text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$
- Объединив все уравнения вместе, получим следующее:
- $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$
- При попадании в буфер сильной кислоты образуется H_2CO_3
- Угольная кислота диссоциирует на H_2O и CO_2 .
- Избыток CO_2 эффективно выводится легкими, причем снижение уровня HCO_3^- будет отражать количество добавленной кислоты.

ГЕМОГЛОБИНОВЫЙ БУФЕР

- Является вторым по значимости и мощности буфером после бикарбонатного.
- Окисленный гемоглобин ведет себя как кислота, увеличивая концентрацию ионов водорода, а восстановленный – как основание, нейтрализуя H^+ .
- Гемоглобин осуществляет буферирование за счет имидазольных групп гистидиновых остатков
- Гемоглобин является классическим белковым буфером, в шесть раз более эффективен как буфер, чем плазменные протеины за счет большей M_r и большего содержания гистидина.
- При прохождении эритроцитов через ткани происходит высвобождение кислорода, после чего гемоглобин начинает буферировать ионы водорода.



ФОСФАТНЫЙ БУФЕР

Фосфатный буфер играет главную роль в буферировании мочи и внутриклеточной жидкости.



- Механизм действия фосфатного буфера аналогичен работе бикарбонатной буферной системы: поступивший ион водорода от сильной кислоты соединяется с HPO_4^- образуя H_2PO_4 . При добавлении в систему щелочи происходит обратная реакция с образованием HPO_4^- и H_2O из H_2PO_4 и OH^- .
- Роль этого буфера во внеклеточной жидкости невелика, так как общая концентрация фосфатов в крови составляет около 8% от концентрации бикарбоната
- Он более эффективен в почках и внутриклеточно за счет более высокого содержания фосфатов в этих средах

Буферные системы

- **бикарбонатный буфер $[\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-]$ Является основным буфером крови во внешнем пространстве (до 53% от всех буферных систем);**
- **гемоглобиновый буфер $[\text{HbH}/\text{Hb}^-]$ - 35% от общего количества, является внутриклеточным буфером;**
- **белковый буфер $[\text{HPr}/\text{Pr}^-]$ - 7% от общего количества;**
- **фосфатный буфер $[\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^-]$ – 5% от общего количества. Действует преимущественно в костной ткани, моче и внутриклеточной жидкости;**
- **аммиак/ион аммония $[\text{NH}_3/\text{NH}_4^+]$ – действует преимущественно в моче.**

Показатели КЩС и газового состава крови

- **pH** – показатель кислотности среды, отрицательный десятичный логарифм концентрации ионов водорода, актуальное значение pH артериальной, венозной либо капиллярной крови, определенной без доступа воздуха при температуре 37 °C, измеряется в единицах; **Норма 7,35-7,45**
- **PaCO₂ (partial arterial CO₂ pressure, tension или pCO₂)** – парциальное давление (напряжение) углекислого газа артериальной, венозной либо капиллярной крови, определенное без доступа воздуха при стандартной температуре 37 °C, измеряется в мм рт. ст.; **Норма 35-45 мм.рт.ст.**

Показатели КЩС и газового состава крови

- **ТСО₂ (total CO₂ или HCO₃⁻)** - общая концентрация углекислого газа, представляющая собой все формы CO₂, находящегося в организме – ионизированная и неионизированная фракции (физически растворённый CO₂, ионы бикарбоната, карбоната, карбамата, H₂CO₃, а также связанный с белками CO₂, в основном в виде карбаминовых соединений), измеряется в ммоль/л;
Норма 22-28 ммоль/л

Показатели КЩС и газового состава крови

- **AB** (actual bicarbonate) - истинный (актуальный) бикарбонат плазмы, рассчитывается при реальном (истинном) $P_a\text{-CO}_2$ и истинном насыщении крови кислородом у данного больного, измеряется в ммоль/л. Концентрация актуального бикарбоната изменяется при дыхательных нарушениях КЩС, что позволяет использовать его в качестве показателя компенсации респираторных расстройств;

Показатели КЩС и газового состава крови

- **SB** (standard bicarbonate) – стандартный бикарбонат, отражающий концентрацию HCO_3^- в пробе крови, уравновешенной при 37°C со стандартной газовой смесью при $P_{\text{aO}_2} = 100$ мм. рт. ст. и $P_{\text{aCO}_2} = 40$ мм. рт. ст., измеряется в ммоль/л.
- Так как SB рассчитывается при стандартной газовой смеси, то с его помощью можно оценить тяжесть метаболических расстройств КЩС независимо от дыхательного компонента КЩС у данного конкретного пациента.

Показатели КЩС и газового состава крови

- **BE** (base excess) - рассчитанный дефицит либо избыток оснований, т. е. количество сильного основания либо кислоты, необходимое, чтобы вернуть рН к 7,4 при $P_{aCO_2} = 40$ мм. рт. ст. и температуре 37 °С. Положительная величина BE свидетельствует о дефиците некарбоновых кислот и о потере ионов водорода, отрицательная величина BE говорит об относительном избытке некарбоновых кислот и увеличении количества ионов водорода, измеряется в ммоль/л

Показатели КЩС и газового состава крови

- **SBE** (standard base excess) – рассчитанный дефицит или избыток оснований при гемоглобине 50 г/л, что снижает очевидную буферную емкость крови *in vitro*.
- **BE-ecf** (base excess - extracellular fluid) – рассчитанный дефицит либо избыток оснований для всей внеклеточной жидкости, включая кровь. Более точный показатель нарушений кислотности, так как в коррекции отклонений pH принимают участие буферные системы не только плазмы, но и всей внеклеточной жидкости. Измеряется в ммоль/л;

Показатели КЩС и газового состава крови

- **ВВ** (base buffers) – концентрация буферных оснований, т. е. сумма ионов бикарбоната и анионов белков, измеряется в ммоль/л;
- **P50** – расчетный параметр, характеризующий способность гемоглобина отдавать кислород, представляет собой парциальное напряжение кислорода при сатурации гемоглобина, составляющей 50%. Измеряется в мм рт. ст.

Показатели КЩС и газового состава крови

- **CaO₂** (capacitance arterial oxygen) – общее, максимально возможное содержание кислорода в крови (кислородная емкость крови), равное сумме физически растворенного и связанного с гемоглобином кислорода, представляет собой теоретическое количество кислорода, способное находится в крови у данного больного, измеряется в мл. O₂ на 100 мл. крови (в мг %);

Компенсаторные механизмы

- непосредственно буферные системы организма;
- дыхательная система (респираторный центр);
- мочевыделительная система (почки).

Показатели КЩС и газового состава крови

- P_{aO_2} (partial arterial oxygen pressure, tension) - парциальное давление (напряжение) кислорода в газовой среде, уравновешенной с кровью; отражает содержание растворенного в крови кислорода, определяется в мм рт. ст.; **норма более 80 мм рт ст**
- P_AO_2 – (partial alveolar oxygen pressure, tension) – парциальное давление (напряжение) кислорода в альвеолярном воздухе; прямо пропорционально концентрации кислорода во вдыхаемой смеси и обратно пропорционально парциальному давлению углекислого газа в артериальной крови; измеряется в мм рт. ст.

Показатели КЩС и газового состава крови

- **DA-aO₂ (difference of alveolar-arterial oxygen),**
градиент A-a - альвеолярно-артериальная разница по кислороду, отражает объем шунтового кровотока и диффузионную способность лёгких. Альвеолярно-артериальный градиент по кислороду прямо пропорционален объему шунтового кровотока и обратно пропорционален напряжению кислорода в смешанной венозной крови; измеряется в мм. рт. ст.;

Анионная разница

- **Анионная разница (anion gap)** оценивает относительный избыток неизмеряемых анионов в случае накопления нелетучих кислот (напр. лактат, ацетат) или потерю бикарбоната (ренальный ацидоз, диарея).
- АГ отражает разницу между основными катионами и анионами плазмы
- Так как измерить все ионы не всегда предоставляется возможным, в значение анионной разницы включены только измеряемые ионы:
- В нормальных условиях анионная разница равна:
 - $\text{Na}^+ + \text{K}^+ - (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ или
 - $\approx 140 + 4 - (100 + 24) = 12 \text{ мэкв/л.}$
 - Нормальные значения показателя АГ колеблются в пределах от 8 до 16 мэкв/л.

Диагностическая ценность определения газов крови и КЩС

- **Необходим для постановки диагноза дыхательной недостаточности и первичной гипервентиляции**
- **Позволяет выявить метаболический ацидоз и алкалоз**
- **Позволяет правильно оценить тяжесть заболевания**

Выявление пациентов в критическом состоянии, требующие незамедлительного вмешательства

- P_{aO_2} ниже 8кПа – приводит к снижению SaO_2 и содержанию гемоглобина в крови
- Рост P_{aCO_2} – поскольку метаболическая компенсация развивается в течение нескольких дней, быстрое увеличение P_{aCO_2} приводит к соответствующему падению pH. При дыхательных нарушениях падение роста P_{aCO_2} часто указывает на усталость дыхательных мышц, что является угрожающим признаком. Необходимо срочно остановить процесс ДН, например путем ИВЛ
- $BE < -10$ ммоль/л, $HCO_3^- < 15$. Эти параметры отражают тяжесть состояния, и если связаны с лактацидозом, то имеется выраженная гипоксия тканей
- $pH < 7,25$. Неотложное состояние, так как компенсаторные механизмы не справляются с ацидозом

Оценка эффективности лечения путем определения газов крови и КЩС производится:

- Пациентам на ИВЛ
- Получающие неинвазивную вспомогательную вентиляцию
- С дыхательной недостаточностью
- С хронической гиперкапнией, получающие O_2
- В критическом состоянии во время хирургических операций
- Кандидаты для длительной кислородотерапии

Определение газов крови и КЩС в постановке диагноза и оценка тяжести заболевания:

- Подозрение на гиперкапнию
- Подозрение на гипоксемию
- Тяжелое длительное или ухудшающееся дыхательное нарушение
- Отравление дымом
- Гипервентиляция (подтверждение метаболического ацидоза и снижения P_aCO_2)
- Острое нарушение сознания
- Любой пациент в критическом состоянии
- Ненадежный или сомнительный результат пульс-оксиметрии

Основные причины метаболического алкалоза

- Рвота
- Недостаток калия (прием диуретиков)
- Синдром Кушинга
- Синдром Конна (первичный гиперальдостеронизм)

Основные причины дыхательного алкалоза

- Альвеолярная гипервентиляция
- Часто характерна гипоксемия



Вопросы?