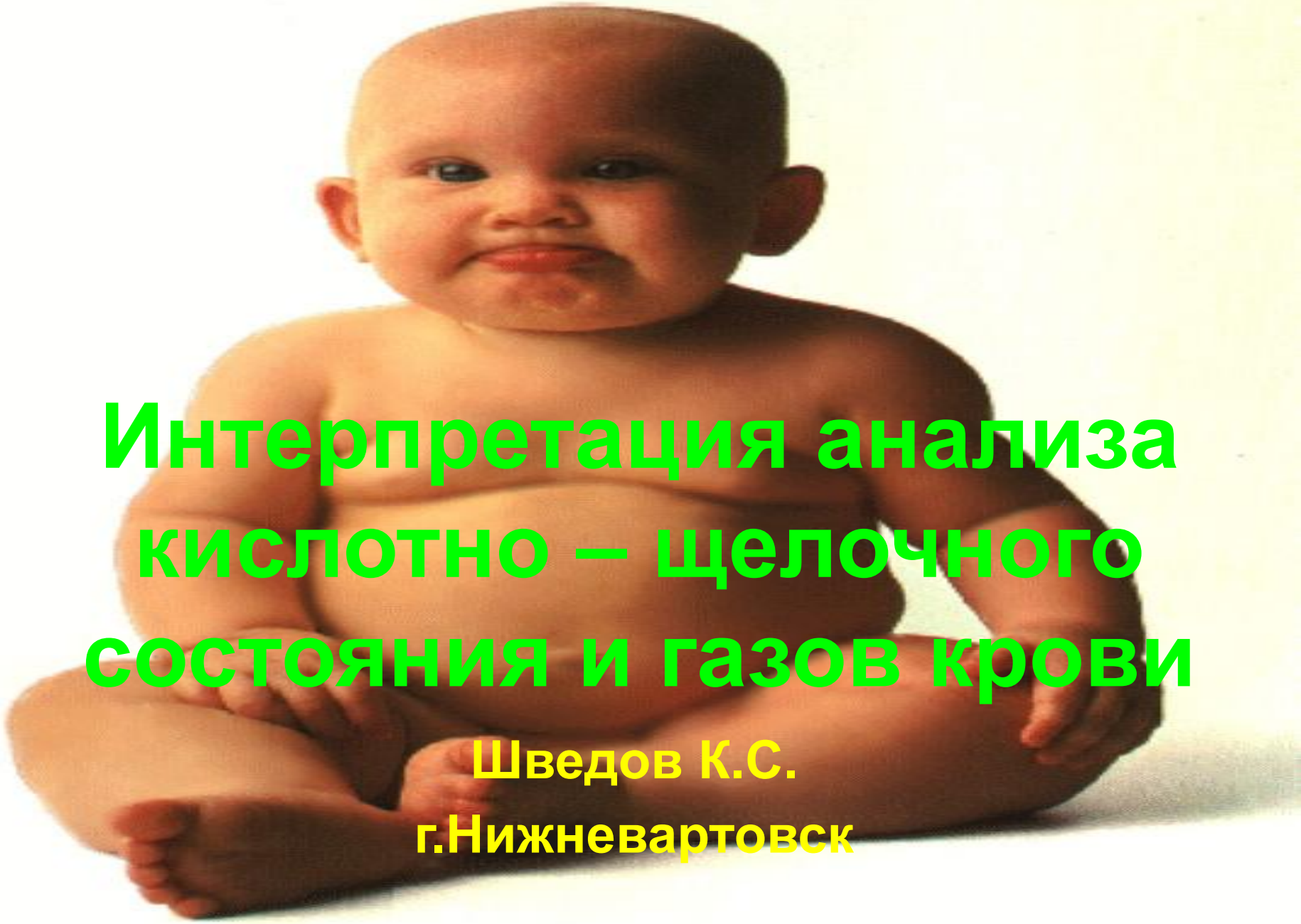


# Интерпретация анализа кислотно – щелочного состояния и газов крови

Шведов К.С.
г.Нижневартовск

# Основы физиологии КОС

Кислотность или щелочность раствора зависит от концентрации в нем свободных ионов Н+

- ***кислота*** - вещество, способное отдавать ионы водорода (донатор)

- ***основание*** - способное присоединять (акцептор)

Содержание [H+] в плазме крови в основном определяется соотношением между парциальным давлением углекислого газа (PaCO2) и анионами бикарбоната (HCO3–)

$$H^+ \text{ (нмоль/л)} = 24 \frac{PaCO_2}{HCO_3}$$

*pH крови* – отрицательный десятичный логарифм концентрации водородных ионов, определяется уравнением Henderson – Hasselbalch

$$pH = pK_A + \log \frac{[HCO_3^-]}{(PaCO_2 \ x\, 0{,}0308)}$$

# Физиологические механизмы компенсации нарушений КОС

- буферные системы организма (БС)
- легкие
- почки
- кожа
- ЖКТ
- печень

# Буферные системы организма (БС)

Соединяются с кислотами или основаниями и ограничивают возможные изменения концентрации водородных ионов (бикарбонатная, гемоглобиновая, костно-тканевая, фосфатная и др.).

БС реагируют на изменение pH немедленно, но диапазон их компенсаторных возможностей достаточно мал

Бикарбонат реагирует с ионом водорода, образуя угольную кислоту, которая существует в равновесии с $CO_2$:

$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$$

$$CO_2 + OH^- \leftrightarrow HCO_3^-$$

# Дыхательная система, выводящая из организма CO2 является одной из важнейших составляющих механизма, обеспечивающего постоянство КОС

$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$$

карбоангидраза

Компенсаторный ответ со стороны легких в ответ на метаболические нарушения развивается значительно быстрее почечных реакций, достигая максимума уже в первые сутки

# Роль почек в регуляции КОС

- регуляция реабсорбции HCO3- в проксимальных канальцах
- экскреция нелетучих органических кислот, образующихся в результате метаболизма
- экскреция ионов водорода с мочой в виде кислых фосфатов (NaH2PO4) и солей аммония (NH4Cl).

Ацидоз < (pH = 7.35 – 7.44) > Алкалоз

- **метаболический (ацидоз, алкалоз)**
- **респираторный (ацидоз, алкалоз)**
- **смешанный (ацидоз, алкалоз)**

- ***PaO2*** **– парциальное напряжение кислорода в артериальной крови**
- ***PaCO2*** **– парциальное напряжение углекислого газа в артериальной крови**

***парциальное напряжение газа*** *– это та часть общего барометрического давления, которая обеспечивается молекулами данного компонента газовой смеси*

***Стандартный бикарбонат*** (СБ, Standart bicarbonate, SBC) – концентрация всех форм бикарбоната в плазме крови при PaCO2 = 40 мм рт ст, температуре тела 38°С и 100% насыщении крови кислородом.

В норме равен 24 ммоль/л. Характеризует степень влияния метаболических процессов на КОС крови, полностью исключая влияние дыхания на этот показатель

## *Актуальный (истинный) бикарбонат* **(АВС)**

содержание НСО3– в крови данного больного при данных конкретных условиях, рассчетнный показатель

***BD/BE*** (Base deficit/base excess, дефицит/избыток буферных оснований) – показывают, сколько миллимолей кислоты или основания следует прибавить к 1 л крови для приведения pH к 7.4 при PaCO2 = 40 мм рт ст, температуре тела 38° С, содержании протеинов 70 г/л, гемоглобина 150 г/л и 100% насыщении крови кислородом.

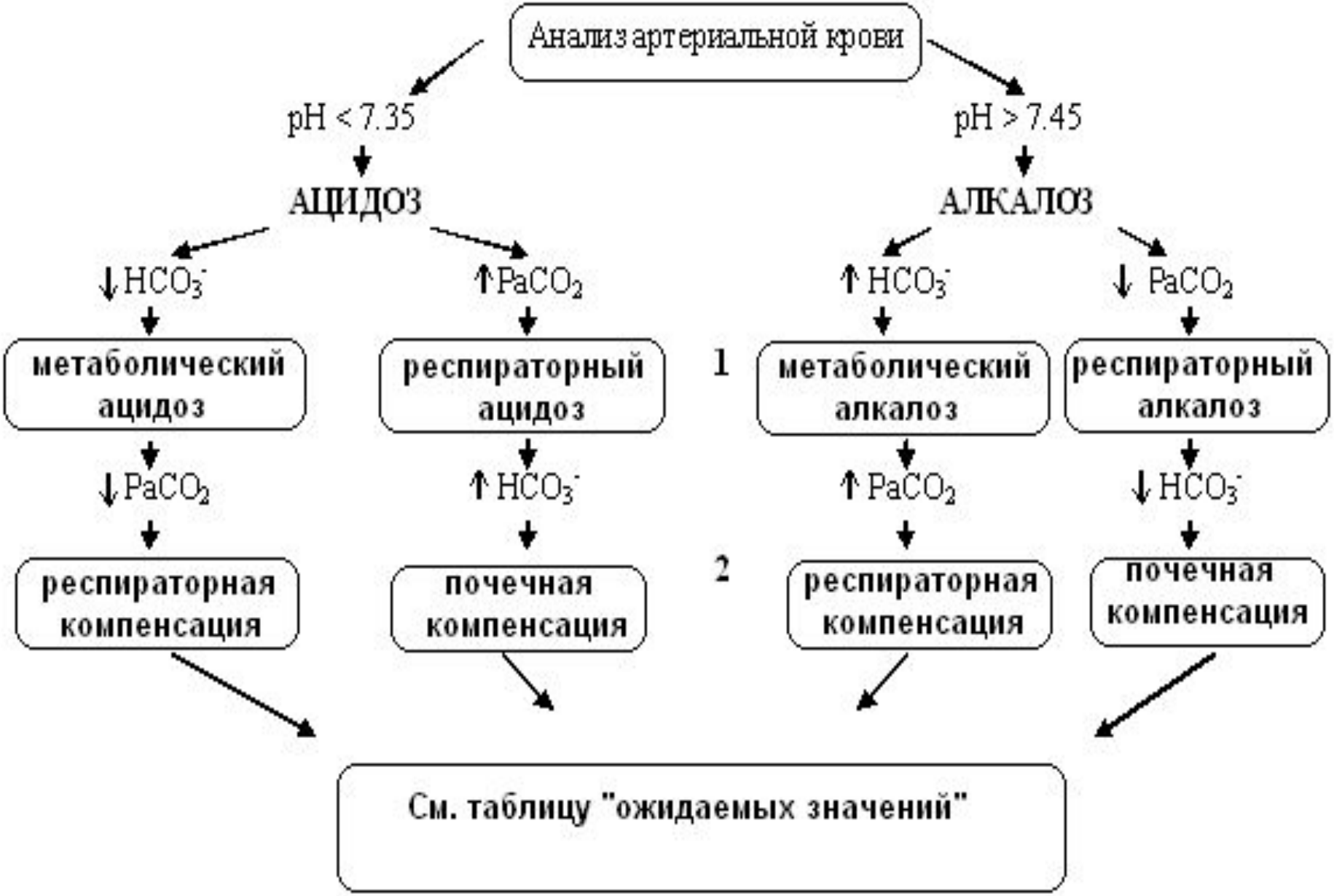
Параметр позволяет оценить степень метаболических нарушений КОС и метаболической компенсации дыхательных нарушений. Нормой считается отклонение параметра в пределах ± 2.

При интерпретации результата необходимо исключить вероятные преаналитические и аналитические ошибки и проводить оценку в ***конкретном клиническом контексте*** с учетом данных анамнеза.

В случае, если результат не соответствует клиническому состоянию пациента или резко отличается от предыдущего анализа, возможно, следует повторить анализ, прежде чем менять тактику лечения.

# Вероятные ошибки

- **преаналитические** – до момента доставки крови в анализатор (наибольшая доля ошибок)
- **аналитические** – связанные непосредственно с процедурой проведения анализа в аппарате, технической неисправностью или погрешностью аппарата, неправильной калибровкой и т.п.
- **ошибки после взятия пробы** – неверная интерпретация, оценка без учета клинического статуса пациента




1. Преобладающее нарушение
2. Ожидаемая компенсация

# 1.Оцениваем pH

**Ацидоз < (pH = 7.35 – 7.44) > Алкалоз**

## 2.Определяем механизм нарушений (респираторные или метаболические)

Изменен ли PaCO2 при измененном pH?

# Если PaCO2 снижено, возможно 2 варианта:

- Первичное расстройство – ***респираторного*** характера (дыхательный алкалоз)
- pH и PaCO2 изменены в противоположных направлениях.

**pH = 7,55 (↑), PaCO2 = 22 мм рт ст (↓)**

# Если PaCO2 снижено, возможно 2 варианта:

- Первичное расстройство – ***метаболический ацидоз***
- pH и PaCO2 изменены в одном направлении
- в данном случае снижение PaCO2 носит компенсаторный характер

**pH = 7.18 (↓), PaCO2 = 30.4 мм рт ст (↓), BE = - 14.5 ммоль/л**

# При повышенном уровне PaCO2 так же возможно два варианта

- Первичное нарушение носит ***респираторный*** *характер* (дыхательный ацидоз, гиповентиляция)
- pH и PaCO2 изменены в противоположных направлениях

**pH = 7.26 (↓), PaCO2 = 48.2 мм рт ст (↑)**

# При повышенном уровне PaCO2 так же возможно два варианта

- Первичное нарушение - *метаболический алкалоз*
- pH и PaCO2 изменены в одном направлении

**pH = 7.48 (↑), PaCO2 = 51 мм рт ст (↑)**
**HCO3- = 30 ммоль/л (↑)**

# 3.Определяем стадию компенсации

а) *острая* стадия, компенсация первичных изменений еще не произошла

изменен pH и один из параметров ($CO_2$ или $HCO_3^-$ )

pH = 7.23, $PaCO_2$ = 60 мм рт ст, $HCO_3^-$ = 24 ммоль/л (острый респираторный ацидоз)

б) *подострая* стадия, стадия частичной компенсации

изменен pH, а параметры ($CO_2$ и $HCO_3^-$) изменяются в одном направлении.

pH = 7.63, $PaCO_2$ = 14.6 мм рт ст, $HCO_3^-$ = 15.3 ммоль/л (частично компенсированный респираторный алкалоз)

в) *хроническая* стадия, стадия полной компенсации

pH становится близок к норме (или N) с измененными значениями CO2 и HCO3–

pH = 7.44, PaCO2 = 21.2 мм рт ст, HCO3- = 14.8 ммоль/л (компенсированный респираторный алкалоз)

*При метаболическом ацидозе концентрация HCO3– всегда снижена, при метаболическом алкалозе – всегда повышена, независимо от того, есть компенсация или нет.*

# 4.Простое или смешанное нарушение

Изолированные нарушения КОС в клинической практике практически не встречаются.

Ответ на метаболические нарушения развивается очень быстро, если не нарушены механизмы компенсации, например, при проведении ИВЛ.

В острых случаях метаболический алкалоз компенсируется хуже, чем ацидоз.

# Для смешанных нарушений КОС характерны следующие соотношения значений:

при смещении pH в сторону ацидоза и повышенном уровне PaCO2, концентрация бикарбоната не повышена (как следовало бы ожидать при компенсации респираторного ацидоза), а снижена – *смешанный ацидоз*

pH – 7.11, PaCO2 – 53 мм рт ст, HCO3- = 16 ммоль/л

# Для смешанных нарушений КОС характерны следующие соотношения значений:

при повышении pH и сниженном уровне PaCO2 концентрация бикарбоната не снижена (как при компенсации респираторного алкалоза), а повышена – *смешанный алкалоз*

pH = 7.51, PaCO2 = 33 мм рт ст, HCO3- = 29 ммоль/л

Если pH и PaCO2 изменены в одном направлении и pH отличается от нормы – первичное расстройство метаболическое

**pH = 7.32 (↓), PaCO2 = 34 мм рт (↓)**

# При изменении pH и pCO2 в противоположных направлениях первичное расстройство – респираторное

**pH = 7.23 (↓), PaCO2 = 60 мм рт ст (↑)**

Для выявления характера смешанного нарушения и преобладающего процесса следует использовать вычисление «ожидаемых» значений

| Преобладающее нарушение | Вторичная компенсация |
| --- | --- |
| ↑ $PaCO_2$ (острый респираторный ацидоз) | $HCO_3^-$ ↑ на 1 ммоль/л и pH ↓ на 0.08 при повышении $PaCO_2$ на 10 мм рт ст |
| ↑ $PaCO_2$ (хронический респираторный ацидоз) | ↑ $HCO_3^-$ на 3.5 - 4 ммоль/л и ↓ pH на 0.03 на каждые 10 мм рт ст повышения $PaCO_2$ (при значении более 40 мм рт ст) |

| Преобладающее нарушение | Вторичная компенсация |
| --- | --- |
| ↓ $PaCO_2$ (острый респираторный алкалоз) | ↓$HCO_3^-$ на 2 ммоль/л на каждые 10 мм рт ст снижения $PaCO_2$ |
| ↓ $PaCO_2$ (хронический респираторный алкалоз) | ↓$HCO_3^-$ на 5 ммоль/л на каждые 10 мм рт ст снижения $PaCO_2$ |

| Преобладающее нарушение | Вторичная компенсация |
| --- | --- |
| ↓ $HCO_3^-$ (хронический метаболический ацидоз) | ↓$PaCO_2$ 1-1.5 мм рт ст на каждый ммоль/л снижения $HCO_3^-$ |
| ↑ $HCO_3^-$ (хронический метаболический алкалоз) | ↑$PaCO_2$ 0.5-1 мм рт ст на каждый ммоль/л повышения $HCO_3^-$ |

***Пример:* у пациента ацидоз, повышенное PaCO2 указывает на наличие респираторного компонента.**

**pH = 7.23, PaCO2 = 60 мм рт ст**

**(pH ↓ на 0.08 при повышении $PaCO_2$ на 10 мм рт ст)**

***Однако, если pH ниже, чем можно было бы ожидать при остром респираторном ацидозе с данными значениями PaCO2 (см. таблицу соответствия, «ожидаемые» значения), не исключен и нереспираторный компонент ацидоза.***

## pH = 7.23, PaCO2 = 60 мм рт ст

**(pH ↓ на 0.08 при повышении $PaCO_2$ на 10 мм рт ст)**

- Δ PaCO2 = 20 мм рт ст
- 0.08 x 2 = 0.16 - ΔpH
- 7.23 + 0.16 = 7.39

**При данном повышении PaCO2 мы можем ожидать изменения pH в пределах 7.19 – 7.29**

Что бы определить, является ли респираторная компенсация адекватной при метаболическом ацидозе, можно так же применить формулу **Winter**:

**Измеренный бикарбонат x 1.5 + 8 +/- 2.5 = PaCO2**

- Если PaCO2 значительно выше значения, полученного по формуле Winter, это может говорить о том, что пациент неспособен компенсировать метаболический ацидоз увеличением выведения CO2.

# 5.Поправка на лабораторную ошибку

**Если полученные результаты не соответствуют клиническому состоянию ребенка, возможно следует:**

- ***исключить ошибки, связанные со взятием анализа;***
- ***исключить возможные ошибки, связанные с хранением, транспортировкой или разведением пробы;***
- ***провести калибровку аппарата;***
- ***повторить анализ.***

# В каких пределах могут изменяться

pH

PaCO2

PaO2

HCO3-

# pH

- **традиционные значения 7.35 – 7.45**

Допустимые значения:

- **ПЛГ - ≥ 7.5**
- **«допустимая гиперкапния» - 7.2 и более**
- **первые часы жизни (доношенные дети) – 7.2 – 7.35**
- **Недоношенные новорожденные с гестационным сроком ≤** 28 нед- **≥ 7.2**

# PaCO2

- **традиционные значения - 35 – 45 мм рт ст**

Допустимые значения:

- **«допустимая гиперкапния» - 50 – 60 мм рт ст и более при pH до 7.2**
- **ХЛЗ – до 60 мм рт ст и более**

# PaO2

- **традиционные значения - 50 – 80** мм рт ст – норма в неонатальном периоде

Допустимые значения:

- **80 – 100** мм рт ст (и более) – доношенные новорожденные с ПЛГ, диафрагмальной грыжей
- «допустимая гипоксемия» - **50 – 59** мм рт ст (*при условии отсутствия нарастания метаболического ацидоза и стабильной гемодинамике*)
- недоношенные новорожденные в первые сутки жизни – **45 – 65** мм рт ст

# $HCO_3^-$

- **22 – 24 ммоль/л – физиологическая норма**

# Как трактовать следующие параметры

Все представленные анализы из артериальной крови

- pH – 7.36
- PaCO2 – 41.9 мм рт ст
- HCO3- = 24 ммоль/л
- BE = -1

- pH – 7.23 (↓)
- PaCO2 – 60 мм рт ст (↑)
- HCO3- = 24 ммоль/л (N)

- pH = 7.32 (↓)
- PaCO2 – 32 мм рт ст (↓)
- HCO3- = 17 ммоль/л (↓)
- BE = - 8

- pH – 7.35 (N)
- PaCO2 – 48.7 мм рт ст (↑)
- HCO3- = 28 ммоль/л (↑)
- BE = +0.5

- pH – 7.19 (↓)
- PaCO2 – 54 мм рт ст (↑)
- HCO3- = 20 ммоль/л (↓)
- BE = -9

- pH – 7.24 (↓)
- PaCO2 – 34 мм рт ст (↓)
- HCO3- = 9 ммоль/л (↓)

- pH – 7.448 (N)
- PaCO2 – 22 мм рт ст (↓)
- HCO3- = 15 ммоль/л (↓)
- BE = - 5.9 (↓)

- pH = 7.57 (↑)
- PaCO2 = 40 мм рт ст (N)
- HCO3- = 36 ммоль/л (↑)
- BE = +13 (↑)

Компенсация со стороны системы газообмена при метаболическом алкалозе может быть самой разнообразной или вообще отсутствовать

# Классификация нарушений газового состава крови

*[Boyda E, Kee J, Monaghan F. 1994]*

| Классификация | pH | PaCO2 | $HCO_3^-$ |
|---|---|---|---|
| **Респираторные нарушения** | | | |
| *Некомпенсированный ацидоз* | ↓ | ↑ | N |
| *Частично компенсированный ацидоз* | ↓ | ↑ | ↑ |
| *Компенсированный ацидоз* | N | ↑ | ↑ |
| *Некомпенсированный алкалоз* | ↑ | ↓ | N |
| *Частично компенсированный алкалоз* | ↑ | ↓ | ↓ |
| *Компенсированный алкалоз* | N | ↓ | ↓ |
| **Метаболические нарушения** | | | |
| *Некомпенсированный ацидоз* | ↓ | N | ↓ |
| *Частично компенсированный ацидоз* | ↓ | ↓ | ↓ |
| *Компенсированный ацидоз* | N | ↓ | ↓ |
| Некомпенсированный алкалоз | ↑ | N | ↑ |
| *Частично компенсированный алкалоз* | ↑ | ↑ | ↑ |
| Компенсированный алкалоз | N | ↑ | ↑ |
| **Смешанные нарушения** | | | |
| *Смешанный ацидоз* | ↓ | ↑ | ↓ |
| *Смешанный алкалоз* | ↑ | ↓ | ↑ |

# Клинические ситуации

**Условия для всех задач:**

- нет препаратов сурфактанта
- нет ВЧ вентилятора
- нет возможности применять оксид азота
- анализ КОС – из артериальной крови
- Возможно, некоторые задачи имеют несколько решений

- 1400 гр, СДР, недоношенность 26 нед, Apgar 3-6
- Клинически – цианоз, тахипное, западение грудины
- Переведен на ИВЛ IMV +20/+3, FiO2 – 60%, SpO2 = 89-92%, ДО – 8 мл, ЧД – 30 в мин
- В динамике ухудшение состояния, снижение дыхательного объема, на обзорной рентгенограмме – нарастание ателектазов и снижение воздушности легочной ткани
- КОС

pH – 7.18, PaCO2 – 58 мм рт ст, PaO2 – 35 мм рт ст, BE = -8, HCO3- = 21 ммоль/л

- 3100 гр,, 2-е сут жизни
- Асфиксия новорожденного
- Проводится ИВЛ As/C, +21/+3, ДО – 23 мл, ЧД – 65 в мин (спонт), FiO2 – 21%, SpO2 – 96%
- Гемодинамика стабильная, диурез 2.5 мл/кг/час

КОС

- pH – 7.63
- PaCO2 – 15 мм рт ст
- BE = -0.2
- HCO3- = 15.3 ммоль/л

- 4200 гр, 3 сут жизни
- Асфиксия новорожденного, Синдром аспирации мекония, правосторонний пневмоторакс
- Проводится ИВЛ IMV +22/+3, ДО – 15 – 16 мл, ЧД – 85 в мин, FiO2 = 100%, SpO2 – 80 -82%, по плевральному дренажу периодический сброс воздуха
- АД в пределах возрастной нормы

КОС

- pH - 7.23
- PaCO2 – 68 мм рт ст
- PaO2 – 44 мм рт ст
- HCO3- = 26 ммоль/л

- 1950 гр, 1-е сутки жизни
- СДР I типа, недоношенность 32 нед
- ИВЛ IMV +26/+5, FiO2 – 100%, ДО – 7 - 8 мл, ЧД – 60 в мин, SpO2 - 85-90%
- Кожные покровы бледно – розовые, АД среднее 34 – 36 мм рт ст, ЧСС – 155 в мин, инфузия 80 мл/кг/сут

КОС

- pH – 7.22
- PaCO2 – 48 мм рт ст
- PaO2 – 30 мм рт ст
- HCO3- = 18 ммоль/л
- BE = -8

- 1900 гр, 2-е сут жизни
- Менингоэнцефалит, недоношенность 32 нед
- Проводится ИВЛ IMV, PIP/PEEP +25/+4, ДО – 12 мл, ЧД – 50 в мин, FiO2 – 35%
- АД средн. 29 мм рт ст, ЧСС – 168 в мин, SpO2 – 90%, диурез – 0.7 мл/кг/час, натрий - 151

КОС

- pH = 7.106
- PaCO2 = 58 мм рт ст
- PaO2 = 106 мм рт ст
- HCO3- = 18
- BE = -8.5

# СПАСИБО
# ЗА
# ВНИМАНИЕ !

shvedov76@mail.ru