

A photograph of a baby sitting on a white background. The baby is looking directly at the camera with a neutral expression. The text is overlaid on the baby's torso.

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 H^+

- **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 (P_aCO_2) и анионами бикарбоната (HCO_3^-)

$$H^+ \text{ (нмоль/л)} = 24 \frac{P_aCO_2}{HCO_3}$$

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

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

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 :



Дыхательная система, выводящая из организма CO_2 является одной из важнейших составляющих механизма, обеспечивающего постоянство КОС



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 HCO_3^- в проксимальных канальцах
- экскреция нелетучих органических кислот, образующихся в результате метаболизма
- экскреция ионов водорода с мочой в виде кислых фосфатов (NaH_2PO_4) и солей аммония (NH_4Cl).

Ацидоз < (pH = 7.35 – 7.44) > Алкалоз

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

- **P_{aO_2}** – парциальное напряжение кислорода в артериальной крови
- **P_{aCO_2}** – 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 $P_aCO_2 = 40$ мм рт ст, температуре тела 38°C 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 HCO_3^- в крови данного больного при данных конкретных условиях, расчетный 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 $P_{aCO_2} = 40$ мм рт ст, температуре тела $38^{\circ}C$, содержании протеинов 70 г/л, гемоглобина 150 г/л и 100% насыщении крови кислородом.

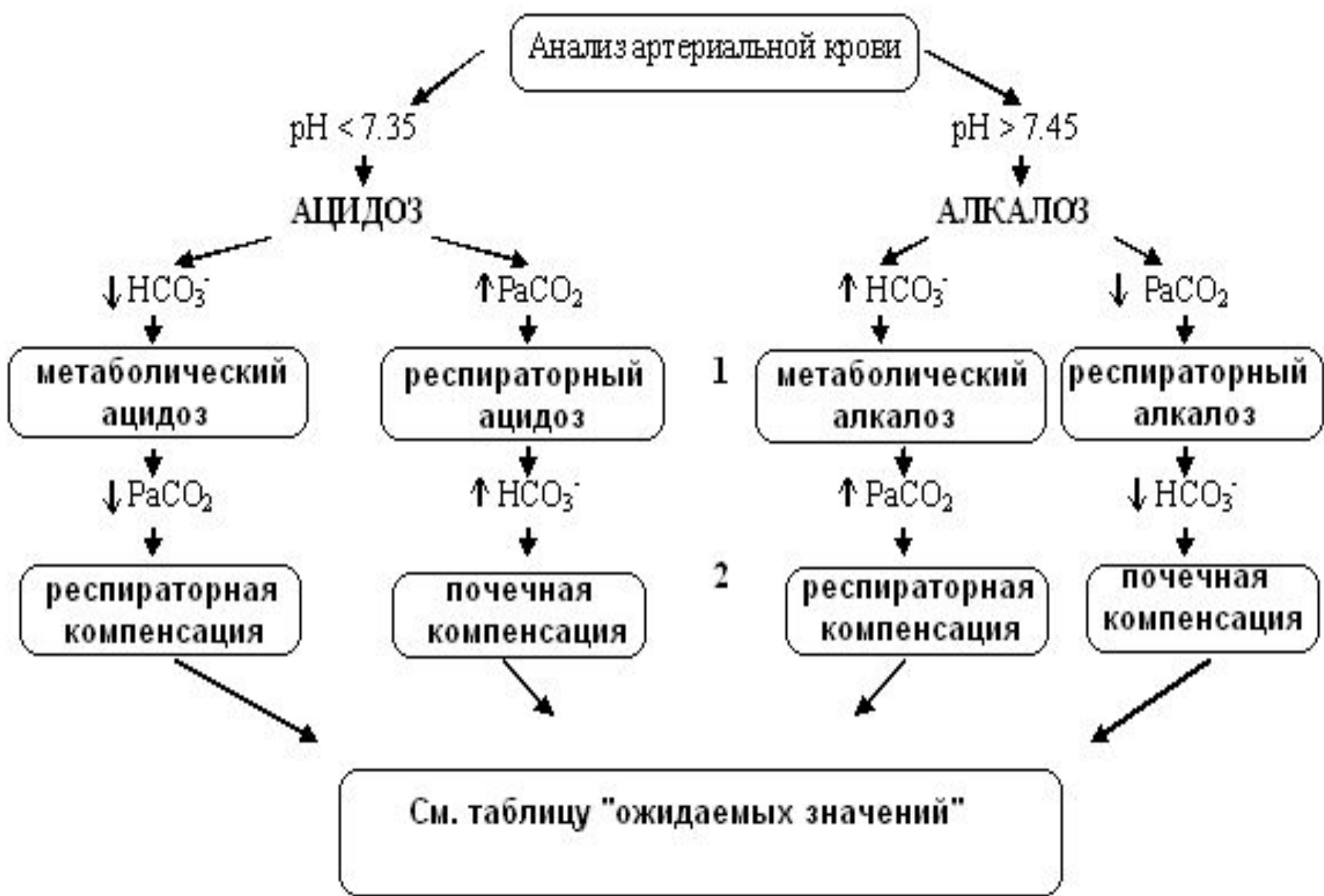
Параметр позволяет оценить степень метаболических нарушений КОС и метаболической компенсации дыхательных нарушений. Нормой считается отклонение параметра в пределах ± 2 .

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. Оцениваем pH

Ацидоз < (pH = 7.35 – 7.44) > Алкалоз

2. Определяем механизм нарушений (респираторные или метаболические)

Изменен ли P_aCO_2 при
измененном pH?

Если P_aCO_2 снижено,
возможно 2 варианта:

- Первичное расстройство – *респираторного* характера (дыхательный алкалоз)
- pH и P_aCO_2 изменены в противоположных направлениях.

$pH = 7,55$ (\uparrow), $P_aCO_2 = 22$ мм рт ст (\downarrow)

Если P_aCO_2 снижено,
возможно 2 варианта:

- Первичное расстройство – **метаболический ацидоз**
- pH и P_aCO_2 изменены в одном направлении
- в данном случае снижение P_aCO_2 носит компенсаторный характер

$pH = 7.18$ (↓), $P_aCO_2 = 30.4$ мм рт ст (↓),
 $BE = -14.5$ ммоль/л

При повышенном уровне P_aCO_2 так же возможно два варианта

- Первичное нарушение носит **респираторный характер** (дыхательный ацидоз, гиповентиляция)
- pH и P_aCO_2 изменены в противоположных направлениях

$pH = 7.26$ (↓), $P_aCO_2 = 48.2$ мм рт ст (↑)

При повышенном уровне P_aCO_2 так же возможно два варианта

- Первичное нарушение - **метаболический алкалоз**
- pH и P_aCO_2 изменены в одном направлении

$pH = 7.48$ (↑), $P_aCO_2 = 51$ мм рт ст (↑)
 $HCO_3^- = 30$ ммоль/л (↑)

3. Определяем стадию компенсации

а) *острая* стадия, компенсация
первичных изменений еще не произошла
изменен рН и один из параметров (CO_2
или HCO_3^-)

$\text{pH} = 7.23$, $\text{PaCO}_2 = 60$ мм рт ст, $\text{HCO}_3^- = 24$
ммоль/л (острый респираторный ацидоз)

б) *подострая* стадия, стадия частичной компенсации

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

$\text{pH} = 7.63$, $\text{PaCO}_2 = 14.6$ мм рт ст, $\text{HCO}_3^- = 15.3$ ммоль/л (частично компенсированный респираторный алкалоз)

в) *хроническая* стадия, стадия полной компенсации

рН становится близок к норме (или N) с измененными значениями CO_2 и HCO_3^-

$\text{pH} = 7.44$, $\text{PaCO}_2 = 21.2$ мм рт ст, $\text{HCO}_3^- = 14.8$ ммоль/л (компенсированный респираторный алкалоз)

При метаболическом ацидозе концентрация HCO_3^- 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 P_aCO_2 ,
концентрация бикарбоната не
повышена (как следовало бы ожидать
при компенсации респираторного
ацидоза), а снижена – **смешанный
ацидоз**

pH – 7.11, P_aCO_2 – 53 мм рт ст, HCO_3^- = 16
ммоль/л

Для смешанных нарушений КОС
характерны следующие
соотношения значений:

при повышении рН и сниженном
уровне P_aCO_2 концентрация
бикарбоната не снижена (как при
компенсации респираторного
алкалоза), а повышена – **смешанный
алкалоз**

$pH = 7.51$, $P_aCO_2 = 33$ мм рт ст, $HCO_3^- = 29$
ммоль/л

Если pH и $PaCO_2$ изменены в
одном направлении и pH
отличается от нормы -
первичное расстройство
метаболическое

$pH = 7.32$ (↓), $PaCO_2 = 34$ 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

Преобладающ
ее 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)

Преобладающ
ее 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

Преобладающе
е 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 P_aCO_2 указывает на наличие респираторного компонента.

$pH = 7.23$, $P_aCO_2 = 60$ мм рт ст

($pH \downarrow$ на **0.08 при повышении P_aCO_2 на **10** мм рт ст)**

Однако, если pH ниже, чем можно было бы ожидать при остром респираторном ацидозе с данными значениями P_aCO_2 (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 PaCO₂ на 10 мм рт ст)

- $\Delta \text{PaCO}_2 = 20 \text{ мм рт ст}$
- $0.08 \times 2 = 0.16 - \Delta \text{pH}$
- $7.23 + 0.16 = 7.39$

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**:

$$\text{Измеренный бикарбонат} \times 1.5 + 8 \pm 2.5 = \text{PaCO}_2$$

- Если PaCO_2 значительно выше значения, полученного по формуле **Winter**, это может говорить о том, что пациент неспособен компенсировать метаболический ацидоз увеличением выведения CO_2 .

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

P_{aCO_2}

P_{aO_2}

HCO_3^-

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

P_{aCO_2}

■ 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	P_aCO_2	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, Аргар 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

A medical stethoscope is positioned diagonally across the frame, with its chest piece in the lower foreground and its earpieces extending towards the upper right. Scattered around the stethoscope are several pills: a yellow one near the top center, a white one to the right of the chest piece, and a red one in the lower right corner. The entire scene is set against a solid blue background.

**СПАСИБО
ЗА
ВНИМАНИЕ !**

shvedov76@mail.ru