

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
Введение.....	7
Очерк о физиологии и патологии дыхания.....	9
Гипоксические состояния.....	14
Классификация гипоксических состояний.....	19
Гипо- и гиперкапнические состояния.....	30
Классификация гипо- и гиперкапнических состояний	44
Список литературы	59

Приложения

Тестовые вопросы по классификации гипоксических состояний	61
Ответы к тестовым вопросам по классификации гипоксических состояний.....	85
Тестовые вопросы по классификации гипо- и гиперкапнических состояний	86
Ответы к тестовым вопросам по классификации гипо- и гиперкапнических состояний.....	93

Гипо- и гиперкапнические состояния

Как уже отмечалось, до настоящего времени отсутствует классификация нарушений обмена углекислого газа в организме млекопитающих. Этот пробел нами восполняется в настоящей работе, где по результатам многолетних исследований и обстоятельного анализа литературных данных нами впервые предложена классификация, учитывающая экзогенные и эндогенные факторы, определяющие гипо- и гиперкапнические состояния.

Углекислый газ — ангидрид угольной кислоты (*acidum carbonicum anhydricum*), двуокись углерода (*carbonem dioxydum*), углекислота (CO_2) — бесцветный газ без запаха, в 1,5 раза тяжелее воздуха. В жидкое состояние переходит при температуре 0°C под давлением 30 атм. На воздухе образует снегообразную массу — углекислый снег. При замораживании жидкого CO_2 получается стеклообразное тело — сухой лед, испаряющийся на воздухе, минуя жидкое состояние. Ангидрид угольной кислоты взаимодействует с водой, образуя слабую неустойчивую двухосновную угольную кислоту (H_2CO_3), распадающуюся на CO_2 и H_2O . В норме в воздухе содержится около 0,03 % углекислого газа. Углекислота постоянно образуется в тканях организма в процессе обмена веществ; она играет важную роль в регуляции дыхания и кровообращения, вместе с гидрокарбонатом натрия (NaHCO_3 — соль Бульриха, нахколит, питьевая сода) составляет важнейшую буферную систему крови.

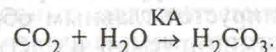
Углекислый газ оказывает прямое и рефлекторное (через каротидные клубочки) возбуждающее действие на дыхательный центр, в небольшой концентрации (5 % CO_2 + 95 % O_2 — карбоген) вызывает учащение и углубление дыхания. Рефлекторно возбуждая сосудодвигательные центры, углекислота сужает кровеносные сосуды и повышает АД; при непосредственном влиянии на сосуды расширяет их.

Транспортировка углекислоты кровью осуществляется в трех основных видах: в растворенном, в виде бикарбоната и в сочетании с белками (главным образом гемоглобином) в форме карбаминовых соединений (табл. 1).

Таблица 1. Содержание и основные виды CO_2 крови [Сайкс М.К. и др., 1974]

Показатель	Артериальная кровь	Смешанная венозная кровь	Артерио-венозная разница
P_{CO_2} , мм рт. ст.	40	46	6
Содержание углекислоты (мл/100 мл крови)	48,5	52,5	4
В том числе в виде:			
— раствора	2,5	2,8	0,3
— бикарбоната	43	46	3
— карбаминовых соединений	3	3,7	0,7

Углекислота диффундирует из тканевых клеток в плазму, а затем в эритроциты, где под влиянием карбоангидразы (КА) образуется угольная кислота:



Угольная кислота диссоциирует на H^+ и HCO_3^- . Буферные свойства гемоглобина позволяют связать большую часть H^+ , а соответствующее количество ионов HCO_3^- диффундирует в плазму. Чтобы произошло восстановление ионного равновесия, ионы Cl^- переходят из плазмы в эритроциты. Так как восстановленный гемоглобин является более сильным основанием (и, следовательно, более сильно связывает ионы H^+), чем оксигемоглобин, то восстановление гемоглобина, происходящее в тканях, увеличивает количество H_2CO_3 , которое может быть транспортировано при той же величине P_{CO_2} . Восстановленный гемоглобин обладает также большей способностью к формированию карбаминовых соединений, чем оксигемоглобин. Поэтому, отдавая кислород, гемоглобин транспортирует в этой форме больше углекислоты. Все эти процессы в легочных капиллярах протекают в обратном порядке.

Важная роль, которую играют эритроциты в транспортировке углекислоты, объясняется разницей накло-

на буферной линии $\log P_{CO_2}$ к pH плазмы крови. Кривая диссоциации CO_2 значительно круче кривой диссоциации O_2 . Это означает, что при определенном изменении парциального давления количественные сдвиги CO_2 более выражены. Последнее обусловлено повышенной способностью восстановленного гемоглобина связывать CO_2 , также тем, что кривая диссоциации уголекислоты в области, соответствующей нормальному составу артериальной крови, имеет равномерный наклон, что определяет возможность компенсировать гипервентиляцию одних отделов легких гиповентиляцией других. Аналогичная компенсация оксигенации практически невозможна, поскольку кривая диссоциации O_2 в этой точке имеет форму плато.

Таким образом, концентрация растворенной уголекислоты в тканях регулируется соотношением CO_2 , образующейся в результате обменных процессов, и величиной кровотока, вымывающего ее. В организме она определяется общей продукцией уголекислоты и ее элиминацией легкими. С другой стороны, концентрация бикарбоната регулируется главным образом почками.

Количество элиминируемой из легких уголекислоты зависит от ее концентрации в альвеолярном газе и от объема альвеолярной вентиляции. В устойчивом (спокойном) состоянии количество выделяемой легкими уголекислоты должно соответствовать ее продукции в тканях. Так как газообмен регулируется парциальным давлением, а не концентрацией уголекислоты, то при нормальном барометрическом давлении (760 мм рт.ст.) P_{CO_2} будет рассчитываться по формуле

$$P_{CO_2} = \frac{P_{CO_2} \times 0,863}{AB},$$

где P_{CO_2} — продукция CO_2 в мл/мин при стандартных условиях: температура $0^\circ C$, давление 760 мм рт.ст., сухой газ (0 мм рт.ст. водяного пара); АВ — альвеолярная вентиляция в л/мин при температуре тела, окружающем барометрическом давлении, насыщении газа водяным паром; 0,863 — коэффициент, который одновременно переводит концентрацию в парциальное давление и вносит поправку на единицы выражения объемов газов в принятых системах измерения.

Если в эту формулу подставить средние величины, характерные для состояния покоя, получится следующее:

$$P_{CO_2} = \frac{200}{4,3} \times 0,863 = 40 \text{ (мм рт. ст.)}.$$

Таким образом, между P_{CO_2} и продукцией уголекислоты существует прямая зависимость, а между P_{CO_2} и альвеолярной вентиляцией — обратная.

Уголекислый газ — естественный стимулятор защитных систем. Его концентрация в крови, а значит и в тканях, колеблется, увеличиваясь при физической нагрузке и уменьшаясь в покое. Периодические повышения концентрации уголекислого газа в организме — важное условие достаточной активности защитных систем. У большинства ныне живущих людей это условие не соблюдается. Более того, концентрация уголекислого газа в организме большинства людей почти всегда ниже нормы. Это отрицательно сказывается не только на защитных системах, но и на всем организме.

Назовем основные положительные свойства уголекислого газа и отрицательные последствия уменьшения его концентрации ниже физиологической нормы в организме человека и животных.

1. Основной переносчик кислорода и уголекислого газа — гемоглобин, содержащийся в эритроцитах крови. В легких он, соединясь с кислородом, током крови переносится в ткани, где отдает кислород и забирает уголекислый газ. Вновь попадая в легкие, гемоглобин отдает уголекислый газ, который элиминирует в атмосферу и вновь соединяется с кислородом и т.д. Гемоглобин отдает кислород тканям только в обмен на уголекислый газ — отдает кислорода тканям столько, сколько получает от них взамен уголекислого газа. Если же уголекислого газа в тканях мало, что бывает при глубоком и частом дыхании, часть гемоглобина не отдает кислород тканям и возвращается с ним в легкие. Развивается кислородное голодание тканей.

2. Гладкая мускулатура (не управляемая непосредственно сознанием человека) имеется в стенках сосудов, желудочно-кишечного тракта, бронхов, мочевыводящих путей. Уголекислый газ в естественных концентрациях нормализует тонус гладкой мускулатуры и

тем самым расширяет мелкие артерии и капилляры там, где они сужены. Уменьшение содержания углекислого газа в крови ведет к спазму капилляров и открытию артериовенозных шунтов, что ухудшает кровообращение в тканях. Углекислый газ нормализует тонус вен — при недостаточном тонусе вен развивается венозный застой крови, т.е. нарушается отток крови от тканей, а значит, усиливается их отечность, ухудшается питание и снабжение кислородом, в тканях накапливаются ядовитые продукты жизнедеятельности. CO_2 расширяет суженные бронхи, расслабляет спазмированные и тонизирует атоничные гладкие мышцы полых внутренних органов (желудка, кишечника, желчного пузыря и желчевыводящих путей, мочевыводящих путей).

3. Достаточная концентрация углекислого газа необходима для поддержания правильного обмена веществ и нормальной работы эндокринной системы. Углекислый газ влияет на обмен веществ. Клетки организма наполнены коллоидным раствором, похожим на кисель или студень. Для нормального протекания биохимических процессов в клетке необходимо поддержание определенной степени вязкости этого раствора, т.е. он не должен быть слишком густым. Повышение вязкости коллоидных растворов организма (из-за неправильного питания, хронической гипервентилиции и гиподинамии) ведет к снижению скорости протекания биохимических процессов, накоплению в клетке ядовитых продуктов обмена, солей, канцерогенов (веществ, провоцирующих развитие опухолей).

4. Наряду с другими естественными факторами жизнедеятельности организма углекислый газ способствует восстановлению адекватной восприимчивости нервной системы. Защитные реакции организма формируются в нервной системе. От правильности постройки последней зависит, как ответит организм на повреждающий фактор. Если возбудимость нервной системы высокая (порог ее возбудимости низкий), то даже небольшой по силе повреждающий фактор воспринимается ею как сильный и формируется ответ в виде реакции стресса. Повышение концентрации углекислого газа в пределах физиологического коридора снижает возбудимость нервной системы и способствует

формированию ответа в виде реакции активации. Кроме того, периодические повышения концентрации углекислого газа способствуют стиранию застойных очагов в коре головного мозга ("память о неприятностях"), отрицательно влияющих на восприимчивость нервной системы.

Подведем итог сказанному. Недостаток углекислого газа снижает активность защитных систем организма, нарушает кровообращение в тканях, уменьшает их снабжение кислородом, а также способствует скоплению в клетках токсических продуктов обмена, дистонии гладкой мускулатуры и неадекватной восприимчивости нервной системы. Естественно, для лечения и предупреждения хронических заболеваний необходимо поддержание нормальной концентрации углекислого газа в крови. Относительно здоровый человек может этого достигнуть с помощью регулярной физической нагрузки. Однако состояние большинства хронических больных не позволяет дать физическую нагрузку, достаточную для поддержания необходимой концентрации углекислого газа. Таким больным нужна дыхательная гимнастика.

При гиперкапнии (увеличение напряжения и содержания углекислоты в организме) происходит сдвиг физико-химического состава внутренней среды, обмена веществ и нарушения многих физиологических процессов. В начале развития умеренной гиперкапнии потребление организмом кислорода повышается, что связано с химической терморегуляцией, направленной на компенсацию увеличенной под влиянием углекислоты тепловой потери организма. При продолжительном действии даже небольшого повышения содержания CO_2 потребление организмом кислорода падает. При выраженной гиперкапнии оно понижается с самого начала ее развития, что обусловлено нейроэндокринными регуляторными механизмами и непосредственным влиянием повышенного содержания углекислоты на метаболические процессы. При гиперкапнии обычно наблюдается снижение температуры тела, возникающее за счет увеличения теплоотдачи. В то же время известно, что выраженная гиперкапния приводит к расстройству всей системы терморегуляции, так как углекислота значительно угнетает обмен веществ. Ги-

Тестовые вопросы по классификации гипоксических состояний

Вопрос 1

Что такое парциальное давление газа?

Варианты ответов:

1. Пропорциональная часть давления газа в общем объеме газов.
2. Давление, которое имел бы отдельно каждый газ в газовой смеси, если бы он один находился в объеме, занимаемом всей смесью.
3. Содержание газа в газовой смеси, выраженное в процентах.
4. Содержание газа в газовой смеси, выраженное в кПа или гПа.

Вопрос 2

Что такое кислородная емкость крови (КЕК)?

Варианты ответов:

1. Максимальное количество кислорода, которое может быть связано с гемоглобином крови после полного насыщения ее кислородом.
2. Сумма количества кислорода, связанного с гемоглобином крови, физически растворенного в жидкой части крови и связанного с миоглобином.
3. Насыщение гемоглобина кислородом, выраженное в процентах от максимально возможного насыщения, принятого за 100%.

Вопрос 3

Каковы нормативные значения кислородной емкости крови для человека и высокоорганизованных животных?

Варианты ответов:

1. По объему 94—96%.
2. По объему 70—100%.
3. По объему 18—22%.
4. По объему 70—96%.

Вопрос 4

Каковы нормативные значения насыщения крови кислородом для взрослого человека и высокоорганизованных животных?

Варианты ответов:

- | | |
|--------------|-------------|
| 1. 70—100 %. | 3. 65—95 %. |
| 2. 95—97 %. | 4. 75—99 %. |

Вопрос 5

Каково соотношение парциального давления азота, кислорода, углекислого и инертных газов в атмосферном воздухе при нормальном барометрическом давлении?

Варианты ответов:

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 1. 78,1; 20,95; 0,03; 0,92. | 3. 77,8; 20,00; 1,35; 0,85. |
| 2. 78,0; 21,05; 0,30; 0,65. | 4. 75,0; 21,00; 3,00; 1,00. |

Вопрос 6

Кем и когда было экспериментально доказано участие кислорода в биологическом окислении?

Варианты ответов:

1. Антуан Лоран Лавуазье (1777).
2. Поль Бэр (1878).
3. Джозеф Баркрофт (1911).
4. Жозеф Луи Гей-Люссак (1811).

Вопрос 7

Кем и когда был открыт кислород?

Варианты ответов:

1. Антуан Лоран Лавуазье (1777).
2. Джозеф Пристли (1774).
3. Жозеф Луи Гей-Люссак (1811).
4. Роберт Бойль (1661).
5. Эдм Мариотт (1676).

Вопрос 8

Какое количество воздуха должно провентилироваться через легкие, чтобы обеспечить суточную потребность организма человека в кислороде?

Варианты ответов:

- | | |
|-----------------|---------------------|
| 1. 1200—1500 л. | 3. 8000—12 000 л. |
| 2. 4000—7000 л. | 4. 13 000—15 000 л. |

Вопрос 9

Сколько времени в среднем может прожить человек без пищи, воды, кислорода?

Варианты ответов:

1. 70 дней, 7 дней, 7 мин.
2. 30 дней, 3 дня, 3 мин.
3. 50 дней, 5 дней, 5 мин.
4. 20 дней, 10 дней, 10 мин.

Вопрос 10

Какое количество кислорода потребляет организм человека в состоянии относительного покоя (в условиях основного обмена) за 1 мин?

Варианты ответов:

- | | |
|------------|------------|
| 1. 500 мл. | 4. 350 мл. |
| 2. 150 мл. | 5. 800 мл. |
| 3. 200 мл. | |

Вопрос 11

Какое количество кислорода депонируется у человека и наземных млекопитающих в легких, крови, межтканевых пространствах и миоглобине?

Варианты ответов:

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| 1. 900, 1200, 250, 350. | 3. 1200, 1000, 400, 550. |
| 2. 1500, 1500, 500, 250. | 4. 1300, 1000, 500, 250. |

Вопрос 12

Что такое гипоксия?

Варианты ответов:

1. Снижение концентрации кислорода во вдыхаемом воздухе.
2. Неадекватное снабжение тканей и органов кислородом.