

Лабораторна робота

Вивчення будови та основних принципів роботи апаратів гіпербаричної оксигенації на прикладі апарату „ОКА –МТ”.

Мета роботи: ознайомитися з апаратами для проведення гіпербаричної оксигенації на прикладі апарату ОКА-МТ (екскурсія до відділення гіпербаричної оксигенації Житомирської обласної лікарні).

Обладнання: апарат гіпербаричної оксигенації „ОКА – МТ”.

Теоретичні відомості:

При багатьох захворюваннях може бути порушено транспорт кисню, тоді виникає небезпека розвитку гіпоксії (кисневого голодування). За транспорт кисню відповідає гемоглобін, що знаходиться в еритроцитах. Гіпербарична оксигенація – лікування киснем під підвищеним тиском. Процедура лікування проводиться в спеціальних приладах, які називаються барокамерами, та де в герметичних умовах створюється підвищений тиск кисню. Пацієнт може знаходитися в барокамері в сидячому або лежачому положенні. Для досягнення терапевтичного ефекту необхідно, щоб тиск в камері набагато перевищував тиск навколишнього середовища (в 1,5 - 3 рази). Одночасно пацієнт вдихає очищений кисень, який надходить у кров, розчиняється в плазмі та міжтканевій рідині. За допомогою гіпербаричної оксигенації досягається 7 % насичення крові киснем, що перевищує нормальні показники в 20 разів. Таким чином збагачуються киснем навіть тканини з недостатнім кровообігом, та за рахунок цього значно швидше відроджуються. Часто до основного недугу додаються інфекції, де основну роль відіграють анаеробні бактерії, що розвиваються в безкисневому середовищі. Проникнення до таких ділянок кисню дозволяє боротися з інфекціями навіть без ліків.

Використання:

Сеанси в барокамері знімають втому, відновлюють силу, підвищують м'язовий тонус, досягаються антистресовий, тонізуючий, протизапальний, протинабряковий ефекти, покращується трофіка тканин. Це унікальний метод при отруєннях блідою поганкою та угарним газом.

Тривалість лікування становить 5 – 12 сеансів по 14 - 60 хвилин під наглядом лікаря.

Для проведення барооксигенації використовують два види приладів:

1. БЛ-3 - польовий варіант, всі конструкції виконані з мах запасом міцності. Недолік – відсутність підігрівання.
2. ОКА-МТ – стаціонарного типу.

Барокамера являє собою герметичний посудину котра ізолює газову суміш та пацієнта від навколишнього середовища. Пацієнт розміщується у лежачому положенні, а для зняття утворення статичної електрики в руках тримає металічні пластинки.

Барокамера складається с кришки, дна, замикаючої системи, візка.

В робочому положенні кришка та дно з'єднані між собою та герметично замикаються спеціальним замком з елементом ручного та автоматичного відмикання. Кришка барокамери виконана із біоалюмінія (кришка для голови із пластика (прозорий блістер)) та має два ілюмінатори, що дозволяють спостерігати за пацієнтом. Забезпечена можливість зміни кута нахилу кришки. Герметичність камери забезпечується гумовим ущільнювачем. В барокамері передбачені роз'єми для підключення приладів контролю за станом пацієнта та проведення додаткової діагностики (ЕКГ, ЕЕГ, терматруа). Внутрішній блістер може зніматися.

Днище – коритообразної форми і виконане із сталі. Днище як і кришка посилені силовим поясом. Днище має 2 штуцери для подання кисню в барокамеру та розсіяння його в барокамері. В силовому поясі знаходиться система заземлення пацієнта. Для компенсації ваги кришки барокамера укомплектована пружинним компенсатором, який забезпечує підняття з зусиллям до 60 кг.

Візок барокамери також із сталі та має 4 саморегулюючих колеса для перевезення барокамери.

Запобіжний клапан вмонтований на днищі призначений для автоматичного випускання кисню зовні при його підвищенні в барокамері вище допустимого рівня або при екстрених випадках.

Пневматична система забезпечує подачу газу в барокамери лише при закритій кришці та замку. Це забезпечує спеціальний пневморозподільником, що змінює з'єднання каналів при відкритому та закритому замку.

Барокамера містить корпус, пульт керування замком барокамери та приводом замка барокамери, пневматичну схему (подавання кисню під тиском по трубам), контрольний пристій (дає можливість контролювати власний тиск в барокамері), трубопровід для подачі кисню, вбудований кондиціонер(подає повітря температурою 20-28), переговорний пристій, запобіжний клапан. Барокамера повинна бути заземлена.

Електричний струм подається від кондиціонера через автомати захисту на мікрореле, що замкнуті лише при закритій кришці. Система керування двигуном захищена запобіжником та живиться лише при замкнутому положенні тоді вмикається двигун. Між електродвигуном та штуцерами розміщено теплове реле, яке в випадках перевантаження мережі спрацьовує та коло розривається. Система блокування виконана в двох варіантах – механічному та електричному. Електрична система працює при закритій кришці. Механічна перешкоджає руху кришки при відкритому замку.

Можливі небезпеки: пожежа, вибух, розгерметизація (необхідно образи припинити подачу кисню в систему). При знаходженні в кімнаті з барокамерою заборонено палити та зберігати легко запалювальні речовини.

Процеси транспорту дихальних газів при баротерапії

Під зовнішнім диханням розуміють обмін газів у легенях між зовнішнім середовищем і кров'ю. Одним з основних механізмів здійснення зовнішнього дихання є вентиляція.

При середній частоті дихальних рухів 14 за 1 хв та дихальному об'ємі 0,5 л хвилиний об'єм дихання становить 7 л/хв. У процесі газообміну бере участь лише та частина повітря, яка міститься в альвеолярному просторі. При середньому значенні альвеолярного об'єму 70% від дихального об'єму альвеолярна вентиляція дорівнює 5 л/хв. Під час розрахунків треба пам'ятати про значну індивідуальну варіабельність частоти дихання: 10–18/хв у дорослих, 40–50/хв — у новонароджених і меншу частку альвеолярного об'єму у дітей. Значне зменшення частки альвеолярного об'єму відбувається при деяких хронічних захворюваннях легенів.

Не менш важливим елементом зовнішнього дихання є дифузія газів через альвеолярно-капілярну мембрану, що ґрунтується на таких умовах і законах:

— вміст O_2 і CO_2 у повітрі, що вдихається, становить 20,9 і 0,03% відповідно. При розрахунках вмістом CO_2 нехтують;

— парціальний тиск (напруга) кожного газу в суміші пропорційний його частці (закон Дальтона);

— об'єм газу обернено пропорційний атмосферному тиску і прямо пропорційний температурі. При розрахунках зважають на такі стандартні умови: $T=0\text{ }^\circ\text{C}$ (273 K), $P_{\text{атм}}=760$ мм.рт.ст. при абсолютно сухому повітрі;

— вміст газів у організмі обчислюють при $T=273\text{ K}+37\text{ K}=310\text{ K}$, а тиск дорівнює реально вимірюваному атмосферному тиску мінус тиск насиченої водяної пари (при температурі $37\text{ }^\circ\text{C}$ він дорівнює 47 мм рт. ст.);

— для перерахування об'єму газу з одних умов на інші користуються універсальним газовим рівнянням:

$$V_1 - V_2 = (T_1/T_2) \cdot (P_2/P_1),$$

де V , T , P — об'єм, температура і тиск відповідно.

Отже, в стандартних умовах реальна альвеолярна вентиляція становить:

$$V_a = 5 / [(273/310) \cdot (760 - 47)/760] = 4,1 \text{ л/хв}$$

Беручи до уваги те, що поглинання кисню у стані спокою в дорослого дорівнює 0,28 л/хв, а виділення вуглекислоти — 0,23 л/хв, вміст кисню й вуглекислого газу (F_aCO_2) в альвеолярній газовій суміші становитиме:

$$F_aO_2 = 0,209 - (0,28/4,1) = 0,1407 \text{ об. \%}$$

$$F_aCO_2 = 0,0003 + (0,23/4,1) = 0,0564 \text{ об. \%},$$

а при диханні 100%-м нормобаричним киснем

$$F_aO_2_{100\%} = 1,0 - (0,28/4,1) = 0,93 \text{ об. \%}$$

Газообмін у легенях перебігає в напрямку градієнтів парціального тиску. З цієї причини для розуміння законів дифузії газів важливим є розрахунок парціальних напруг кисню і вуглекислоти в альвеолярній газовій суміші.

Відповідно до закону Дальтона, формула розрахунку парціального тиску кожного газу залежно від його вмісту набирає такого вигляду:

$$P_g = F_g (P_{\text{атм}} - P_{H_2O}),$$

де $P_{г}$ — парціальний тиск газу;

$F_{г}$ — вміст газу.

Виходячи зі вмісту кисню і вуглекислоти в атмосферному повітрі, парціальні тиски цих газів у повітрі, що вдихається, відповідно дорівнюють $P_{O_2} = 150$ мм.рт.ст. (20 кПа), $P_{CO_2} = 0,2$ мм.рт.ст. (0,03 кПа).

Парціальний тиск газів у альвеолярній газовій суміші з урахуванням поправки на температуру в організмі обчислюється за допомогою рівняння альвеолярних газів:

для кисню

$$P_{aг} = P_{вг} - (dV_{г}/V_a) \cdot (273/(310 \times 760))$$

для вуглекислого газу

$$P_{aг} = P_{вг} - (dV_{г}/V_a) \cdot (273/(310 \times 760)),$$

де $P_{aг}$ — напруга газу в альвеолярній газовій суміші;

$P_{вг}$ — вихідна напруга газу в повітрі, що вдихається;

$dV_{г}$ — поглинання (для CO_2 — виділення), л/хв;

V_a — альвеолярна вентиляція, л/хв.

Підставляючи відповідні значення, отримаємо:

$$P_{aO_2} = 150 - (0,28/5) \cdot (273/(310 \times 760)) = 101,672 \text{ мм.рт.ст.}$$

Отримані результати округляємо до 100 мм.рт.ст.

$$P_{aCO_2} = 0,2 + (0,23/5) \cdot (273/(310 \times 760)) = 39,898 \text{ мм рт. ст.}$$

Результати округляємо до 40 мм.рт.ст.

Дані проведених розрахунків подано в табл. 1.

Таблиця 1. Концентрація й парціальний тиск газів

	FO_2	FCO_2	PO_2 , мм рт. ст.	PCO_2 , мм рт. ст.
Повітря, що вдихається	0,209	0,0003	150	0,2
Альвеолярне повітря	0,14	0,056	100	40

Вміст гемоглобіну в крові людини в середньому становить 158 г/л (15,8 г/дл) у чоловіків і 140 г/л (14 г/дл) — у жінок. Як і практично будь-які біологічні показники, ця величина зазнає певних коливань навіть у здорових людей. З віком вміст гемоглобіну в крові помітно змінюється. В крові новонародженого він дорівнює 200 г/л, причому можливі значні індивідуальні коливання. Протягом першого року життя вміст гемоглобіну знижується приблизно до 115 г/л, а потім поступово зростає до рівня, притаманного дорослим.

У процесі поглинання кисню в легенях за істотно зниженої напруги кисню від 100 до 60 мм рт. ст.

Насичення гемоглобіну киснем перебуває в межах 97–90 %.

Кількість хімічно зв'язаного кисню в крові залежить від насичення ним гемоглобіну. Знаючи величину SO_2 , можна, виходячи із числа Хюфнера, обчислити об'ємний вміст O_2 в крові (у літрах O_2 на 1 л крові):

$$[O_2] = 1,34 \cdot [Hb] \cdot (SO_2 / 100),$$

де SO_2 — кисневе насичення (старурація), %; $[Hb]$ — гемоглобін, г/л.

Підставляючи в це рівняння кількісні значення кисневого насичення, можна підрахувати, що в артеріальній крові ($SO_2 = 97\%$) вміст кисню становить близько 0,20, а у венозній ($SO_2 = 73\%$) він дорівнює 0,15.

Таким чином, артеріовенозна різниця вмісту кисню ($a-v PO_2$) становить 0,05 л/л, або 50 мл/л (табл. 2). Це значить, що в нормі при проходженні крові через тканинні капіляри використовується лише 25% загальної кисневої ємкості.

Таблиця 2. Основні показники кисневого балансу організму

	PO_2 , мм рт. ст.	SO_2 , %	$[O_2]$, мл/л крові	PCO_2 , мм рт. ст.	$[CO_2]$, мл/л крові
Артеріальна кров	95	97	200	40	480
Венозна кров	40	73	150	46	520
Артеріовенозна різниця			50		40

Газообмін у тканинах і легневих капілярах відбувається за рахунок фізично розчинених форм газів. Вміст розчиненого газу в рідині залежить від його парціального тиску P_r і коефіцієнта розчинності Бунзена (K), що відповідає об'єму газу (в мілілітрах), який фізично розчиняється в 1 мл рідини при напрузі газу 1 атм:

$$1 \text{ атм} = 760 \text{ мм рт. ст.} = 101 \text{ кПа.}$$

Залежність вмісту фізично розчиненого газу в рідині від його напруги й коефіцієнта розчинності відображає закон Генрі -Дальтона:

$$[\text{газ}] = (K/760) P_r.$$

В артеріальній крові ($PO_2 = 95$ мм.рт.ст. і $PCO_2 = 40$ мм.рт.ст.) вміст фізично розчиненого O_2 становить 0,003 мл O_2 на 1 мл крові, а CO_2 — 0,026 мл CO_2 на 1 мл крові.

Коефіцієнт розчинності для CO_2 в 20 разів більший, ніж для O_2 (табл. 3).

Виходячи з цих даних, відповідно до закону Генрі — Дальтона, за нормальних умов вміст фізично розчиненого газу в 1 л артеріальної (а) і венозної (v) крові згідно з його напругою дорівнюватиме:

для кисню:

$$SaO_2 = (0,024/760) \cdot 95 \cdot 1000 = 3 \text{ мл/л};$$

$$SvO_2 = (0,024/760) \cdot 40 \cdot 1000 = 1,263 \text{ мл/л};$$

для вуглекислого газу:

$$SaCO_2 = (0,49/760) \cdot 40 \cdot 1000 = 25,79 \text{ мл/л};$$

$$SvCO_2 = (0,49/760) \cdot 46 \cdot 1000 = 29,66 \text{ мл/л}.$$

Беручи до уваги хвилинний об'єм циркулюючої крові (5,8 л/хв), обчислимо транспорт фізично розчинених дихальних газів:

$$\text{для } O_2 \quad (3 - 1,263) \cdot 5,8 = 10,0796 \text{ мл/л},$$

$$\text{для } CO_2 \quad (29,66 - 25,79) \cdot 5,8 = 22,446 \text{ мл/хв}.$$

При порівнянні транспорту фізично розчинених дихальних газів з реальним їх вживанням (для O_2 — 10,08–280 мл/хв; для CO_2 — 22,5–230 мл/хв)

стає очевидним, що в звичайних умовах дихальні гази транспортуються за рахунок інших механізмів.

Таблиця 3. Коефіцієнт розчинності Бунзена, мл газу/мл розчинника (атм)

	O ₂	CO ₂	N ₂
Вода, 20 °С	0,031	0,88	0,016
Вода, 37 °С	0,024	0,57	0,012
Кров, 37 °С	0,024	0,49	0,012

Особливості транспорту дихальних газів в умовах гіпероксії

Гіпероксія істотно змінює транспорт дихальних газів. Знання особливостей цих змін необхідне для розуміння механізмів лікувальної і токсичної дії ГБО. При гіпероксії PO₂ > 300 мм.рт.ст. відбувається повна оксигенація гемоглобіну, що теоретично може збільшити транспорт кисню. Реально за рахунок зміни співвідношення вентиляція/кровоплин легенів у артеріальній крові процент оксигенованого гемоглобіну нижчий, ніж розрахований. Збільшення парціальної напруги кисню в газі, що вдихається, лінійно збільшує вміст фізично розчиненого кисню. При вдиханні 100%-го кисню транспорт фізично розчиненого кисню становить:

$$\text{при 1 атм } SaO_2 = (0,024/760) \cdot (760-47) \cdot 1000 = 9,38 \text{ мл/л;}$$

$$\text{при 2 атм } SaO_2 = (0,024/760) \cdot (1520-47) \cdot 1000 = 46,4 \text{ мл/л;}$$

$$\text{при 3 атм } SaO_2 = (0,024/760) \cdot (2280-47) \cdot 1000 = 70,3 \text{ мл/л.}$$

При фізіологічній нормі вживання кисню, згідно з розрахунками, гіпероксія 2 атм практично забезпечує його транспорт до тканин за рахунок розчиненого кисню. В реальних умовах компенсаторні механізми організму у відповідь на гіпероксію знижують розрахункові величини фракції фізично розчиненого кисню.

Збільшення кількості кисню в розчиненому стані при гіпероксії відповідно збільшує концентрацію оксигемоглобіну в венозній крові. Це призводить до зменшення транспорту вуглекислого газу у вигляді карбогемоглобіну й бікарбонату еритроцитів. При зрушенні кислотно-лужного стану це може призвести до затримки вуглекислого газу в тканинах.

Таким чином, при гіпероксії збільшується оксигенація гемоглобіну та підвищується транспорт кисню кров'ю, здебільшого за рахунок фізично розчиненого кисню. Найбільш істотним наслідком збільшення кількості фізично розчиненого кисню в крові є значне підвищення парціальної напруги кисню в артеріальній крові, завдяки чому в артеріальній ланці капіляра значно збільшується відстань дифузії кисню в перикапілярний простір.

Проведення лікувальних сеансів

Точна послідовність дій персоналу з урахуванням конкретних умов даного відділення та його обладнання повинна бути викладена в інструкції до експлуатації апарата і його безпечного обслуговування.

Під час проведення лікувальних сеансів слід вірно вибрати режим і визначити дозу гіпербаричного кисню, який, як усякий лікувальний засіб, не є безпечним для організму хворого. Для чіткого дозування доцільно користуватися такою одиницею вимірювання, як атмосферо-година (атм/год, або бар), розраховуючи її за формулою:

$$\text{Доза ГБО} = T1 + T2 \times P,$$

де $T1$ — час ізопресії, год; $T2$ — середній час компресії і декомпресії, год; P — робочий тиск у барокамері в режимі ізопресії, атм.

При цьому $T2 = (T \text{ компресії} + T \text{ декомпресії})/2$

Наприклад, доза сеансу ГБО при 2 атм, тривалості ізопресії 60 хв (1 год) й тривалості компресії й декомпресії по 15 хв (0,25 год) дорівнює $1 + ((0,25 + 0,25)/2) \times 2 = 1,25 \times 2 = 2,5$ атм/год (бар)

Щоб спростити визначення дози ГБО, запропоновано таблицю (П. М. Чуєв, 1987). Порівнявши значення робочого тиску в барокамері на режимі ізопресії (ата) за віссю абсцис і час ізопресії в хвилинах за віссю ординат, легко можна визначити дозу ГБО, одержану під час сеансу. Помноживши її на кількість сеансів, дістаємо курсову дозу ГБО. Якщо сеанси відрізнялися за характеристиками часу і тиску, курсова доза визначається сумою доз гіпербаричного кисню, одержаних під час кожного сеансу (див. дод. 1).

Визначення точного дозування дозволить призначати ГБО певною дозою індивідуально для кожного хворого, а також допоможе уникнути токсичних впливів кисню, які частіше трапляються під час прийняття курсової дози ГБО понад 20 атм/год.

Тому терапевтичний діапазон дози гіпербаричного кисню коливається в межах від 8 до 20 атм/год.

Конкретні режими й методики проведення сеансів ГБО, що рекомендуються для різних категорій хворих, подано далі у відповідних розділах. Однак такий схематичний підхід, який враховує, в основному, характер патології, недостатній для індивідуального добору доз ГБО.

Реакція організму на гіпероксію визначається рівнем клітинного метаболізму й залежить не тільки від характеру патології, а й від генетичних і фенотипічних особливостей індивіда, ступеня впливу патогенних факторів, супровідної медикаментозної терапії тощо. Не маючи можливості заздалегідь врахувати індивідуальну варіабельність реакції на гіпероксію, клініцист змушений користуватись м'якими режимами ГБО, знаючи наперед, що вони не спричинятимуть токсичної дії, але й не завжди забезпечать максимальний терапевтичний ефект.

Хід роботи.

1. Ознайомитися зі структурною схемою та основними частинами апарату. Визначити їх призначення.
2. Ознайомитися з порядком проведення процедури гіпербаричної оксигенації.
3. Описати перевірку технічного стану барокамери перед вмиканням:
 - 3.4 Перевірити блістер - на ньому не повинно бути мікротріщин, подряпин, а на системі замку та барокамері не повинно бути жирних плям.;
 - 3.4 Перевірка заземлення;
 - 3.4 Перевірка надійності стикування візка з барокамерою та роботу переговорного пристрою;
 - 3.4 Обов'язково перевірка відсутності всередині металевих виробів та синтетики.
4. Розрахуйте всі показники дихання за вказаною методикою для виміряного значення сатурації крові (з минулих лабораторних робіт).
5. Розрахуйте дози ГБО для часів баротерапії від 10 хв до 60 хв з кроком 5 хв та тиску в барокамері від 1 до 3 атм з кроком 0,1 атм. Дані представте у вигляді таблиці.
6. Оформіть звіт з лабораторної роботи.

Контрольні питання:

1. В яких випадках використовуються апарати для гіпербаричної оксигенації.
2. З яких основних блоків складається барокамера. Яке призначення має кожен блок?
3. Для чого та які параметри дозволяє контролювати барокамера додатково?
4. Які заходи необхідно провести перед вмиканням барокамери?
5. Яка система надходження кисню використовується?
6. Яким чином проводиться лікування за допомогою ГБО?
7. Які альтернативні методи ви можете назвати?
8. Яким чином в організмі відбувається транспорт кисню? Як досягається насичення киснем організму за допомогою барокамер?
9. Під яким тиском проводять сеанси в барокамерах? У скільки разів перевищує рівень насичення крові киснем під час оксигенації?