

Лекція 02.04.2020 р.

Апарати штучного кровообігу (АШК)

Штучний кровообіг (екстракорпоральний кровообіг, штучна перфузія) – спосіб підтримки кровотоку в організмі, окремому органі або окремої області організму штучним шляхом.

Ідеї про можливість втілити в життя «збереження в живому стані будь-якої частини тіла» висловлювали в 1812, але перший примітивний пристрій, який складався з механізму нагнітання крові та оксигенації, з'явився 1885.

Перший апарат штучного кровообігу (автожектор) сконструювали вчені С. Брюхоненко і С. Чечулін у 1926 (Росія). Апарат застосовували лише в експериментах на собаках, а не в клінічній практиці під час операцій на серці людини.

Джон Heysham Гібон, американський хірург, довів ефективність концепції штучного кровообігу в 1935 році, коли він використовував зовнішній насос в якості штучного серця під час операції на кішці. Вісімнадцять років потому, 03.07.1952, разом з кардіохірургом і винахідником Ф. Додрілл, він виконав першу успішну операцію на відкритому серці на людину, використовуючи апарат штучного кровообігу «Dodrill-GMR», який розробив у співпраці з компанією «Дженерал Моторс» («General Motors»). Відтоді апарати штучного кровообігу почали активно застосовувати за кількома методиками: штучний кровообіг повністю всього організму; регіонарний штучний кровообіг, коли біологічною рідиною постачають певний орган або ділянку; різні варіації допоміжного кровообігу.

Штучний кровообіг – метод тимчасового заміщення (підтримки) механічним обладнанням насосної функції серця, газообмінної функції легень на період виконання окремих етапів операцій на серці, аорті, а також при проведенні інтенсивної терапії хворим кардіологічного профілю.

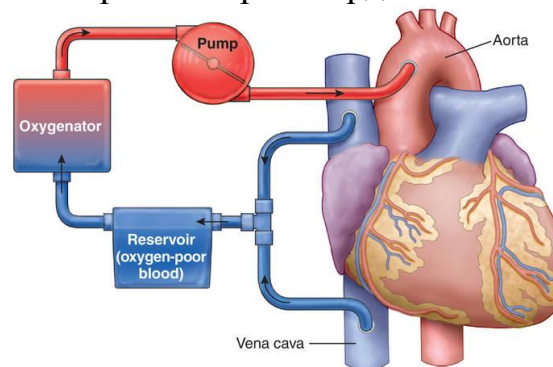


Рисунок 1.1 – Схема штучного кровообігу

До сучасних АШК пред'являють такі основні вимоги:

- підтримка протягом всієї перфузії заданого хвилинного об'єму кровообігу (4-5 л);
- забезпечення адекватного насичення крові киснем і підтримання необхідного парціального тиску вуглекислого газу (35-45мм рт.ст.);

- обсяг початкового заповнення повинен бути мінімальним (не менше 3 л для дорослої людини);
- забезпечення повернення в контур крововтрат, відбуваються при кровотечах, травмах або операції;
- травма елементів крові повинна бути мінімальною;
- кровопровідні магістралі АШК повинні виготовлятися з нетоксичного матеріалу, хімічно інертного по відношенню до крові.

АШК складається з двох блоків – фізіологічного і технічного (механічного). До фізіологічного блоку відносять всі деталі, що контактують з кров'ю (рис. 1.2). До допоміжних вузлів фізіологічного блоку відносять різного виду судини, трубопроводи, елементи фільтрації крові.

До технічного блоку АШК відносять корпус апарату з приводами насосів і контрольно-вимірювальну апаратуру для вимірювання тиску, температури, витрати та інших параметрів крові, а також параметрів рідин і газів.

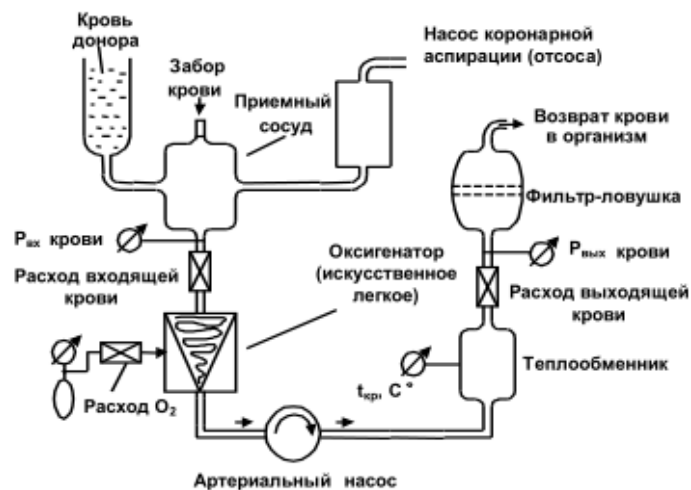


Рис. 1.2. Функціональна схема фізіологічного блоку АШК

Апарат штучного кровообігу (АШК) представляє складну багатофункціональну систему, що складається з насосів, оксигенатора, фільтра, трубопроводів. Сучасні апарати поряд з ручним мають комп'ютерне програмне управління.

Оксигенатор. Оксигенатор – пристрій, що забезпечує функції газообміну шляхом насичення венозної крові киснем і видаленням вуглекислого газу. Кров потрапляє в нього з катетеризованих вен правого передсердя самопливом, де вона насичується киснем і звільняється від вуглекислого газу. У деяких оксигенаторах кров з'єднується з газом (бульбашкові, плівкові), в інших — вона насичується киснем через газопрониклу мембрану (мембранні). В мембранних оксигенаторах кров відділяється від кисню напівпроникною мембраною, через яку і відбувається газообмін.

Об'єм заповнення оксигенатора кров'ю не повинен перевищувати обсягу заповнення природних легенів (0,75...1) л. Встановлено, що

оптимальне функціонування оксигенатора – 5-6 годин, при цьому забезпечується допустима травма формених елементів крові.

Бульбашкові оксигенатори (рис. 1.3) засновані на принципі проходження кисню через кров. Їх конструкція передбачає разове використання (виготовляються з пластика).

Венозна кров і кисень в газообмінній камері контактують, утворюючи велику поверхню пінної структури, в якій здійснюється контактний газообмін. Перетворення пінної структури в крапельно-рідкий стан відбувається в піногасильній камері. Артериалізована кров, що пройшла через фільтр, звільняється від бульбашок газу і надходить у відстійну камеру, звідки повертається в судинне русло організму. На цьому принципі побудовані пластикові одноразові оксигенатори.

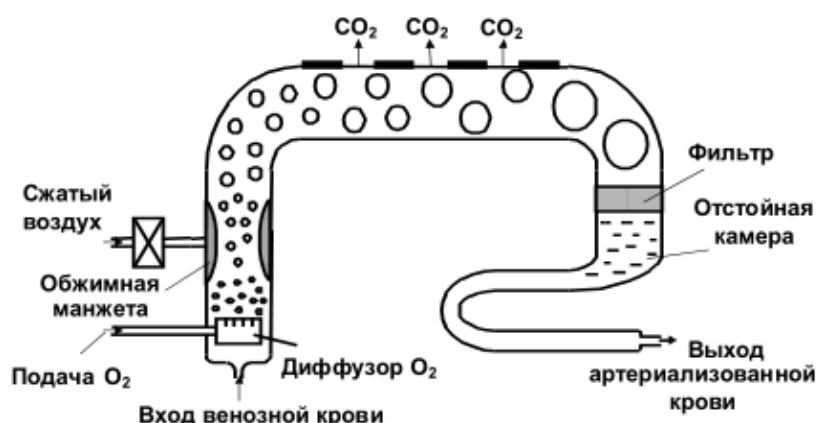


Рис. 1.3. Функціональна схема бульбашкового оксигенатора

У бульбашкових оксигенаторах газообмін відбувається при прямому контакті кисню з кров'ю. Вважають, що такі оксигенатори призводять до більш сильного пошкодження еритроцитів і тромбоцитів, однак вони відносно дешевше.

Плівковий оксигенатор заснований на принципі прямого контакту кисню з плівкою крові, яка формується на нерухомому або обертовому екрані (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Плівкові оксигенатори

Пінно-протivotочні оксигенатори. Знизу подається кисень і зверху стікає венозна кров, протилежний рух утворює стовп піни, на поверхні якої відбувається газообмін; потім в піногасильній камері піна руйнується, кров звільняється від бульбашок і з відстійної камери артеріалізована кров повертається насосом в судинне русло організму (рис. 1.5)

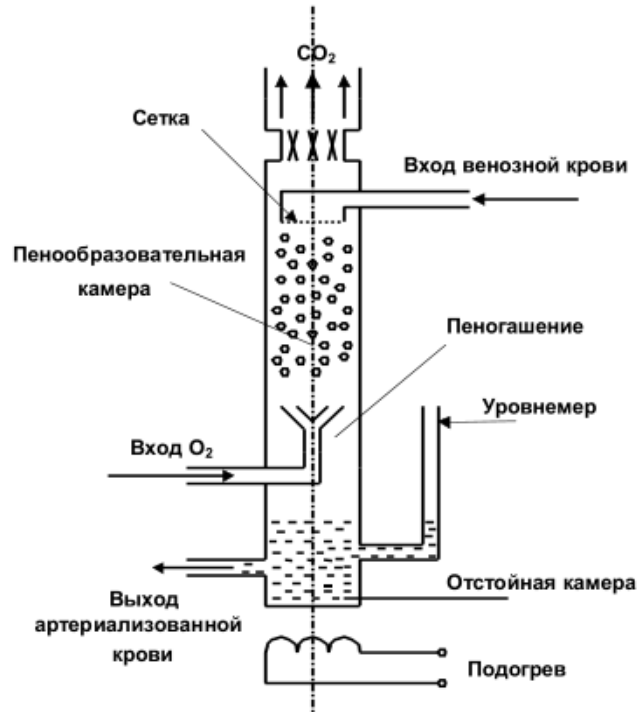


Рис. 1.5. Функціональна схема пінно-протivotочного оксигенатора

Бульбашко-плівковий оксигенатор (рис. 1.6) заснований на контактному газообміні в плівці крові, сформованій у безлічі трубок малого діаметру.

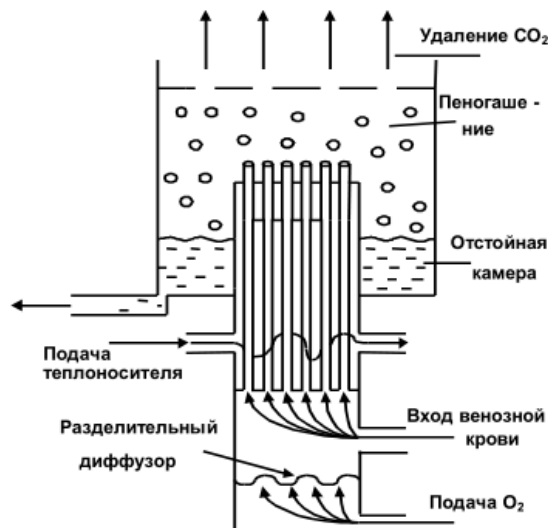
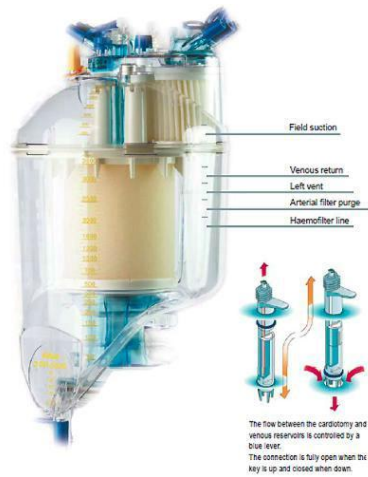


Рис. 1.6. Бульбашко-плівкові оксигенатори



Compactflo EVO



Dideco D 903 AVANT (для TERUMO (Японія, Бельгія, США) дорослих)



QUADROX-1 (MAQUET)



GISH для дорослих

Рис. 1.7 Зовнішній вигляд оксигенаторів

Насоси. Насоси створюють в замкнутій системі перепад тиску, за рахунок чого відбувається перекачування крові по трубопроводах. Її основна функція полягає в нагнітанні оксигенованої крові в артерію. За своєю конструкцією він може бути мембранний, камерний, роликівий, пальчиковий.

У роликівому насосі рух крові створюється за рахунок перетискання трубки обертовим роликом в насосній камері. Швидкість обертання ролика регулюється, в залежності від цього можливе створення як не пульсуючого, так і пульсуючого потоку крові. Пульсуючий потік вважається більш фізіологічним, при ньому в меншій мірі збільшується периферичний опір судин, тим самим створюється більш повноцінна мікроциркуляція. Однак при не пульсуючому потоці менш ушкоджуються еритроцити, зменшується гемоліз. Ще менше пошкодження крові відбувається в центрифужних насосах, в яких не створюється оклюзійний тиск.

Продуктивність цих насосів повинна відповідати хвилинному об'єму серця в спокої (5 л/хв), а конструкція – враховувати медичну специфіку роботи. Практичне застосування у АШК знайшли два основних класи насосів: клапанні і безклапанні. У більшості сучасних апаратів використовують безклапанні насоси, які працюють за принципом видалення крові з еластичної трубки шляхом прокатування по ній роликів або змінного пережиму механічними пальцями (рис. 1.9, 1.8).



Рис. 1.8. Безклапанний пальчиковий насос

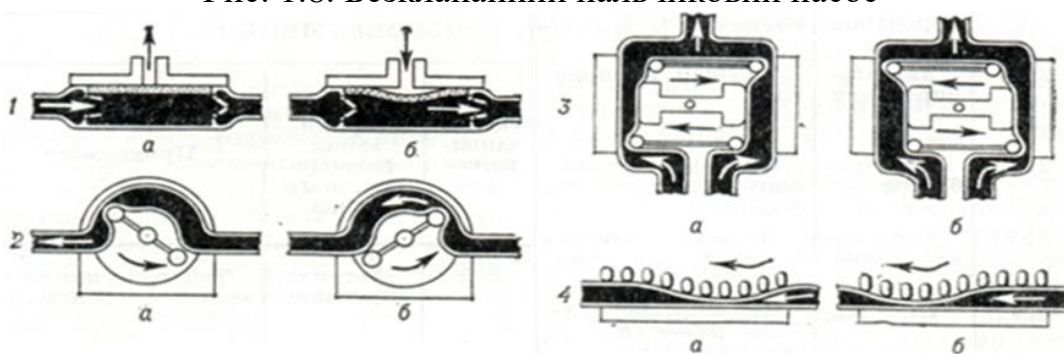


Рис. 1.9 – Схеми клапанних (1 і 2) та безклапанних (3 і 4) насосів:

1 — мембранний насос; 2 — камерний насос; 3 — роликівий насос; 4 — пальчиковий насос; а і б – послідовні положення рухомих частин насоса (напрямок пересування вказано чорними стрілками) у різні моменти його робочого циклу; напрямок руху крові вказано білими стрілками.

Крім основного насоса є ще кілька допоміжних:

1. насос для видалення крові з операційного поля (кардіотомічне відсмоктування),
2. для введення кардіоплегічного розчину в коронарні судини (кардіоплегічний),
- 3.- для дренажування крові з лівого шлуночка.

Трубопроводи. Кров у АШК рухається по трубопроводах. Трубопроводи виготовляють стерильними, для разового застосування. У артеріальному контурі трубопроводу встановлюють фільтр для уловлювання газових бульбашок.

Коронарний відсмоктувач. Його завдання — відсмоктувати кров, яка виливається з рани, і повертати її в циркуляторний контур апарату штучного кровообігу. В залежності від конструкції АШК, цей процес здійснюється за допомогою або вакуумного відсмоктувача, або допоміжних артеріальних насосів.

Теплообмінник. Зігріває або охолоджує кров до певної потрібної температури. Теплообмінник призначений для охолодження і зігрівання

крові в межах від 4 до 42 °С. При підвищенні температури крові розчинність газів знижується, в ній можуть з'являтися бульбашки повітря. Так, щоб уникнути травмування клітин крові під час перфузії (а це можливо в разі тривалих оперативних втручань, коли вона проходить через циркуляторний контур багаторазово), використовують гіпотермію (штучно знижену температуру). Теплообмінник може бути трубчастим або щілинним.

Фільтр-пастка. Кров, потрапляючи в апарат штучного кровообігу, може утворити згустки, містити бульбашки газу, тому перед зворотним надходженням у кровоносне русло пацієнта її фільтрують. Фільтри в апараті виконують різну роль, тому їх встановлюють у декількох місцях: на лініях артеріальної магістралі і рециркуляції, у системі коронарного відсмоктування. Одні з них вловлюють з крові газові бульбашки, інші - мікрочастинки (тромби, частинки жиру, фрагменти тканин).

Основні напрямки застосування АШК в клінічній практиці:

Загальний штучний кровообіг для повної заміни насосної функції серця, газообміном функції легень і функції теплового балансу в організмі. Основне застосування – кардіохірургія.

Регіональний штучний кровообіг – перфузія окремого органу або області організму, тимчасово ізольованих від решти судинної системи. Застосовується в онкології і гнійної хірургії для підведення великих концентрацій лікарських речовин.

Створення штучної гіпотермії (зниження температури організму).

Характеристики деяких типів АШК наведені в табл. 1.1.

Модель	Артеріальний насос	Оксигенатор	Коронарна аспірація	Максимальна продуктивність, л/хв.	Початковий об'єм заповнення, л
АИК-5М	Два мембранних з ЕПД	Протиточний бульбашковий	Два роликівих насоси	6.0	2.5
ИСЛ-4	Роликівий з ЕПД	Дисковий плівковий	Два роликівих насоси	8.0	2.5
РЕМСО (США)	Роликівий з ЕПД	Дисковий плівковий	Два роликівих насоси	8.5	3.5
Poly Stan (Данія)	Роликівий з ЕПД	Прямоточний бульбашковий (разовий)	Вакуумний відсмоктувач	7.0	2.0
Bentley (США)	Камерний з ППД	Прямоточний бульбашковий	Два роликівих насоси з ЕПД	6.0	2.0
AGA (Швеція)	Роликівий з ЕПД	Дисковий плівковий	Два роликівих насоси з ЕПД	9.0	4.0
Topokura DS-5 (Японія)	Роликівий з ЕПД	Центробіжний екранний плівковий	Три роликівих насоси	6.0	1.5

Принцип ШК полягає в наступному. Кров хворого забирають з венозного русла, як правило, з порожнистих вен в венозний резервуар апарату, а потім у оксигенатор. В оксигенаторі відбувається насичення крові киснем і видалення вуглекислого газу. Оксигеновану кров перекачують насосом в артеріальний русло, зазвичай в спадний відділ аорти. Окремим відсмоктувачем забирають вилитву в плевральну порожнину кров і повертають її у венозний резервуар. АШК оснащений теплообмінником, який призначений для швидкого охолодження і зігрівання крові.

Методика штучного кровообігу. Апарат заповнюють перфузатом, видаляють повітря з артеріальною магістралі. Хворому вводять гепарин (орієнтовно 300 ОД / кг), після чого канюлюють висхідну аорту і порожнисті вени. Перехід на штучне кровообіг здійснюють у два етапи. Спочатку проводять паралельний кровообіг. При працюючому серці запускають в роботу АШК, домагаючись чіткого балансу між припливом крові в апарат і її відтоком. Протягом 2-3 хвилин збільшують продуктивність апарата до 2,2-2,4 л/м²/хв, потім переходять тільки на штучний кровообіг. ШК призводить до активації багатьох гормональних систем. У крові збільшується концентрація інших стресових гормонів. Загальна анестезія лише частково здатна блокувати стресову реакцію. Поліпшення мікроциркуляції досягають введенням вазодилататорів.

Після початку ШК відзначається виражене зниження артеріального тиску, яке через 10-15 хв підвищується, але зазвичай не досягає вихідного рівня. Під час перфузії середній АТ підтримують на рівні 50-60 мм.рт.ст., підвищення середнього тиск вище 100 мм.рт.ст. служить підставою для застосування вазодилататорів.

У ранніх моделях АІК екстракорпоральний контур заповнювали цілісною кров'ю з гепарином (антикоагулянт – перешкоджає згортанню крові). Нерідко виникали проблеми із сумісністю донорської крові. Однак це було вимушеним заходом, оскільки обсяг заповнення резервуара досягав 4-х літрів і більше. У сучасних АШК заповнюють резервуар значно в меншому обсязі (1,5-2 л). Це дозволило відмовитися від використання цільної крові для заповнення зовнішнього контуру апарату, і використовувати для цієї мети плазмозамінний розчин. При змішуванні крові хворого з розчином, що заповнює систему АШК, гематокрит знижується до 20-25%. При гарній оксигенації і достатньому органному кровотоці не відбувається значущої тканинної гіпоксії. У хворих з низьким передопераційним показником гемоглобіну і прогнозованим зниженням гемоглобіну під час ШК нижче 20%, до рідини додають кров. Основу рідині кровозамінної становить розчин лактату натрію. До нього додають реополіглюкін, манітол, гідрокарбонат натрію, калій. У всіх випадках остаточна заповнююча рідина повинна бути ізоосмоляльною і з фізіологічним значенням рН.

фібриляція шлуночків подвоює потребу міокарда в кисні. Пошкодженню міокарда сприяють інотропні препарати і великі дози хлористого кальцію.

Стандартним методом припинення електричної активності серця є перфузія коронарних судин кристалоїдними розчинами або кров'ю з вмістом калію та новокаїну. Охолоджений кардіоплегічний розчин в об'ємі 500-1000 мл вводять в коронарні артерії. Висока концентрація позаклітинного калію призводить до зниження трансмембранного потенціалу та інактивації натрієвих каналів. Серце зупиняється в фазу діастолі. Поступове вимивання кардіоплегічного розчину і підвищення температури серця призводить до відновлення серцевої діяльності, тому холодову кардіоплегію повторюють кожні 30 хв.

Після закінчення етапу операції на серці видаляють затискач з аорти, відновлюючи коронарний кровотік. Кардіоплегічний розчин вимивається, одночасно відбувається зігрівання серця. Часто серцева діяльність відновлюється самостійно. Іноді це відновлення відбувається через фібриляцію шлуночків. У таких ситуаціях виробляють пряму електричну дефібриляцію. При задовільною роботу міокарда потік крові через АШК поступово скорочують до повного припинення. Про повноцінну серцеву діяльності свідчить нормалізація артеріального тиску, задовільні показники серцевого викиду і загального периферичного опору судин.

