

Новий засіб збільшення швидкості насичення крові киснем у перфузійних апаратах

О. П. Морозов

Ця робота висвітлює один з етапів нашого дослідження з питання про застосування штучного кровообігу при асфіксії новонароджених.

На попередніх етапах було встановлено, що при штучному кровообігу у новонароджених щенят, здійснюваному з відносно великою кількістю донорської крові, велику небезпеку становить утворення частинок фібрину в перфузійному апараті в зв'язку з емболією кровоносних судин. При цьому ми прийшли до висновку, що запобігання емболії шляхом відфільтровування частинок фібрину безпосередньо перед надходженням крові в артерію — спосіб, який обрала переважна більшість авторів, — є невдалим. З цим висновком не можна не погодитись, якщо звернути увагу на те, що ідеальне безперервне відфільтровування частинок фібрину в міру їх утворення під час штучного кровообігу по суті зводиться до повної дефібринації циркулюючої крові, яку можна здійснити значно простіше і краще. І дійсно, дефібринувавши донорську кров перед введенням її в апарат і видаливши власну кров щеняти через веннозну канюлю на самому початку штучного кровообігу, ми спостерігали досі небачений нами результат — швидке і повне відновлення всіх життєвих функцій у триденного щеняти після 18,5-хвилинної клінічної смерті.

Один з наших дослідів навів нас на думку, що емболії частинками фібрину можна уникнути, якщо не користуватись донорською кров'ю. Спеціально поставлені досліди підтвердили це припущення. В першому ж з них ми одержали такий же блискучий ефект, як і в наведеному досліді з дефібринованою кров'ю, також у триденного щеняти після 17,5-хвилинної клінічної смерті.

Однак в наших дослідях з штучного кровообігу без донорської крові не все йшло гаразд. Використання «штучних легень» за методикою В. Д. Янковського і С. С. Брюхоненка, будучи взагалі складним, в нових умовах ще більше утруднювалось, особливо в балансуванні рівня крові на дні оксигенатора і піноутворення. Автоматизацію керування оксигенатором Янковського і Брюхоненка ми вважали дуже складною справою. Крім того, ми не бачили можливості регулювати в цьому оксигенаторі видалення вуглекислого газу.

В зв'язку з цим ми відмовились від оксигенатора Янковського—Брюхоненка.

Серед робіт, присвячених проблемі створення оксигенаторів для перфузійних апаратів, особливе місце займає монографія Бйорка «Перфузія головного мозку у собак з штучно оксигенованою кров'ю» (1948). Вона являє собою певне досягнення в розробці проблеми. До Бйорка всі автори домагались тільки збільшення поверхні крові в оксигенаторі. Бйорк же побудував оксигенатор на принципі створення великої хвилинної поверхні шляхом частоті зміни плівок крові на відносно невеликій поверхні оксигенатора.

Спочатку ми мали намір випробувати оксигенатор Бйорка в такому вигляді, яким його описав автор. Але не маючи змоги швидко зібрати його, ми замислились над створенням більш простої конструкції. В результаті з'явився новий апарат, а незабаром і нове уявлення про механізм утворення і значення хвилинної поверхні крові в оксигенаторах.

В нашому оксигенаторі (див. схему) плівка крові утворюється на внутрішній поверхні вертикального скляного циліндра. Плівка утворюється за допомогою лійки, в яку переходить верхня частина циліндра. Венозна кров надходить з боку вузького кінця в лійку. Просуваючись далі, кров рівномірно розпливається по її стінках завдяки їх змочуваності і поступовому збільшенню діаметра. Вкорочення тривалості експозиції плівок крові, почастищення їх зміни на поверхні циліндра здійснюються збільшенням лінійної швидкості кровоструменя через циліндр за рахунок створення додаткового кровоструменя через шунт (5) паралельно кровоструменю через судини щеняти.

Весь перфузійний апарат зібрано за схемою однонасосного автожектора Янковського, в якому насос використовується тільки для відсмоктування крові, а нагнітання здійснюється під тиском кисню, створюваним в оксигенаторі.

Випробування нового апарата дало чудові результати.

1. Апарат забезпечував таку велику швидкість оксигенації, яка давала можливість здійснювати повноцінний штучний кровообіг без донорської крові і без виникнення явищ крововтрати.

2. Керування апаратом було настільки простим, зводячись тільки до слідкування за рівнем крові на дні оксигенатора, що автор мав цілковиту можливість без будь-яких помічників підтримувати штучний кровообіг на протязі 1,5 год.

Якби апарат був ще оснащений пристроєм з фотоелементом чи якимсь іншим, щоб можна було стежити за рівнем крові, досліднику під час проведення штучного кровообігу взагалі нічого було б робити.

3. Циліндр оксигенатора висотою всього тільки 16 см (разом з лійкою) і діаметром 3 см забезпечував достатню оксигенацію крові при повному штучному кровообігу у щеняти вагою 850 г. Це значить, що для новонародженої дитини було б досить чотирьох таких циліндрів.

4. За допомогою нового апарата було відновлено дихання і нормальний рівень кров'яного тиску в одного щеняти тритижневого віку після 23-хвилинної клінічної смерті, в одного двотижневого — після 33-хвилинної клінічної смерті.

Наводимо порядок роботи при здійсненні штучного кровообігу за допомогою нового апарата.

1. Встановлюємо запобіжний клапан, з'єднаний з трубою 8, на 100—120 мм рт. ст.

2. Відкриваємо кисневий балон і редуктор — тиск кисню в оксигенаторі підвищується до 100—120 мм рт. ст. В цей час «артерія» апарата повністю закрита гвинтовим затискачем, а шунт 5 повністю відкритий.

3. Включаємо насос 1. Поки шунт повністю відкритий, насос не може створити від'ємного тиску, бо вся циркуляція майже без опору (з невеликою кількістю фізіологічного розчину) здійснюється через шунт.

4. Поступово стискаємо шунт — манометр показує таке ж поступове підвищення від'ємного тиску, і в апарат починає надходити кров.

Схема нового перфузійного апарата «автожектор оксигенатор» (новий варіант «однонасосного автожектора» В. Д. Янковського).

1 — насос, 2 — скляний циліндр, 3 — «вена» автожектора, 4 — «артерія» автожектора, 5 — шунт, 6 — затискачі, 7 — трубка для введення газу в циліндр, 8 — трубка для введення газу з циліндра.

5. Поступово відкриваємо «артерію» апарата, поки артеріальний тиск не досягне наміченої величини.

На цьому налагодження штучного кровообігу закінчується, і залишається тільки стежити за рівнем крові.

Колір крові в різних частинах апарата під час штучного кровообігу був таким: «вена» апарата нижче з'єднання з шунтом — темносиній, «артерія», шунт — яскраво-червоний, «вена» апарата вище з'єднання з шунтом, насос — червоний внаслідок змішування венозної і артеризованої крові).

Дальший аналіз роботи апарата поступово привів нас до висновку, що в нашому оксигенаторі, а також у всіх інших, відомих нам, хвилинна поверхня крові утворюється не тільки за рахунок зміни однієї плівки крові іншою, а й за рахунок зміни на поверхні самих плівок одних еритроцитів іншими, одних частин поверхні того самого еритроцита іншими частинами, одних частин плазми іншими, інакше кажучи, хвилинна поверхня крові в оксигенаторах утворюється в результаті її перемішування.

В такому разі тривалість експозиції плівки крові, необхідна для достатнього насичення даної кількості крові киснем, являє собою не що інше, як швидкість оксигенації.

При наявності перемішування ми не можемо уявити собі можливості обчислення справжньої хвилинної поверхні крові, яка утворюється в оксигенаторах без проведення дослідів для одержання спеціальних даних, необхідних для такого обчислення. Ми не маємо також даних про те, яка хвилинна поверхня забезпечує певну швид-

кість оксигенації. Використання верхніх альвеол легень — 90 м^2 в стані спокою — $0,75 \pm 0,25 \text{ сек.}$ (Рефтон, 1945), як це зробив Бйорк, невідомо, наскільки площа внутрішньої поверхні оксигенації крові в оксигенаторі приймається від справжніх її розмірів для достатнього насичення крові швидкість оксигенації і сама за кисень, та інтенсивності перемішування.

Отже, ми не маємо даних, щоб шені йти емпіричним шляхом, та хвилинну поверхню доти, поки не до цього часу зусилля майже всіх оксигенаторів, придатних для застосування великої поверхні з кожної задовільних шляхів для створення перемішування крові для збільшення.

Однак і без спеціального впливу в усіх відомих нам оксигенаторах верхні диски, що обертаються, я крові в оксигенаторі Бйорка слугують протікає кров.

Відбувається перемішування.

Значення перемішування криві дослідів Стокса і Фізіолог. журн. СССР, т. XXVI, 1956, 1025. Bert P., Barometric pressure, Björk V. O., Acta physiologica Scandinavica, De Wall R. A., Wiegler N. R., Varco J. L., American Heart Association, 1956, 1025. Karlson K. E., De Pump-oxygenator to supplant the 1951, p. 678.

Необхідність перемішування крові в оксигенаторі. Ми пояснюємо сумнів, відбувається значне перемішування крові в оксигенаторі. Ми пояснюємо сумнів, відбувається значне перемішування крові в оксигенаторі. Ми пояснюємо сумнів, відбувається значне перемішування крові в оксигенаторі.

Наскільки мала швидкість перемішування крові в оксигенаторі. Ми пояснюємо сумнів, відбувається значне перемішування крові в оксигенаторі. Ми пояснюємо сумнів, відбувається значне перемішування крові в оксигенаторі.

Викладені нами дані і мірності використання перемішування крові киснем. При цьому, як на крові можна досягти значно менше ніж шляхом створення великої

Янковський В. Д.
Янковский В. Д.,
Физиол. журн. СССР, т. XXVI, 1956, 1025.
Bert P., Barometric pressure, Björk V. O., Acta physiologica Scandinavica, De Wall R. A., Wiegler N. R., Varco J. L., American Heart Association, 1956, 1025.
Karlson K. E., De Pump-oxygenator to supplant the 1951, p. 678.
Stokes F. L. and Fetal Biology and Medicine, v. 73
Інститут фізіології ім. Академії наук УРСР, л порівняльної і вікової с

кість оксигенації. Використання ж з цією метою даних про площу внутрішньої поверхні альвеол легень — 90 м^2 і час проходження крові через капіляри легень — в стані спокою — $0,75 \pm 0,25$ сек. і під час важкої фізичної роботи — $0,34 \pm 0,1$ сек. (Рефтон, 1945), як це зробив Бйорк (1948), зовсім не обґрунтоване. Адже, по-перше, невідомо, наскільки площа внутрішньої поверхні альвеол легень наближається до площі поверхні оксигенації крові в капілярах легень. Крім того, це не є хвилинна поверхня. По-друге, обчислена Бйорком хвилинна поверхня крові (77 м^2), що утворюється в його оксигенаторі при наявності перемішування крові, може дуже відрізнятися від справжніх її розмірів. По-третє, тривалість експозиції плівки, необхідна для достатнього насичення крові киснем, як ми вже відзначали вище, являє собою швидкість оксигенації і сама залежить від розміру поверхні, що розділяє кров і кисень, та інтенсивності перемішування, тобто від хвилинної поверхні крові.

Отже, ми не маємо даних для обчислення хвилинної поверхні крові і тому змушені йти емпіричним шляхом, тобто в кожному конкретному випадку збільшувати хвилинну поверхню доти, поки не буде досягнута достатня швидкість оксигенації.

До цього часу зусилля майже всіх авторів, що працюють над створенням оксигенаторів, придатних для застосування на людях, по суті були спрямовані на одержання великої поверхні з кожної одиниці об'єму крові. При цьому ще не знайдено задовільних шляхів для створення такої поверхні, тому ми пропонуємо вводити перемішування крові для збільшення хвилинної поверхні.

Однак і без спеціального впровадження перемішування крові відбувається майже в усіх відомих нам оксигенаторах. В оксигенаторі Бйорка зміна плівок крові на поверхні дисків, що обертаються, являє собою перемішування крові. Для перемішування крові в оксигенаторі Бйорка служать і перегородки, встановлені в жолобі, по якому протікає кров.

Відбувається перемішування крові і в циліндричному оксигенаторі Гіббона (1941).

Значення перемішування крові в оксигенаторах особливо переконливо демонструється дослідом Стокса і Фліка (1950), які спостерігали збільшення ефективності циліндричного оксигенатора Гіббона на $700\text{—}1000\%$ після створення турбулентної течії крові на внутрішній поверхні циліндра. Про великий вплив перемішування на швидкість насичення крові киснем свідчить також робота Де Уолла і співавторів (1956), які знайшли, що в їх оксигенаторі відносно великі пухирі кров'яної піни утворюють достатню поверхню газообміну. Те саме вже давно встановив Янковський у своєму оксигенаторі. Ми пояснюємо цей факт тим, що в обох оксигенаторах, без сумніву, відбувається значне перемішування крові.

Необхідність перемішування крові або утворення дуже великої поверхні з кожної одиниці її об'єму можна легко пояснити тим, що швидкість проникання кисню в товщу крові дуже мала і тому для швидкого насичення крові киснем усі частини крові треба привести в безпосередній контакт з киснем.

Наскільки мала швидкість проникання кисню через кров, дуже наочно показує один з дослідів Поля Бера, в якому автор залишив кров у пробірці під тиском 20 атмосфер. Висота стовпа крові дорівнювала 10 см. На п'ятий день Поль Бер побачив таку картину: верхню частину крові висотою 3 см займала сироватка, нижче на висоті 3 см кров була яскравочервоного кольору, а ще нижче вона була зовсім темною. Подібне явище спостерігали і ми, залишаючи кров у пробірці на добу.

Викладені нами дані і міркування не залишають жодних сумнівів щодо доцільності використання перемішування для збільшення швидкості штучного насичення крові киснем. При цьому, як нам здається, тієї чи іншої швидкості штучної оксигенації крові можна досягти значно легше шляхом збільшення інтенсивності перемішування, ніж шляхом створення великої поверхні.

ЛІТЕРАТУРА

- Янковський В. Д., Мед. журн. АН УРСР, т. 24, в. I, 1954, с. 46.
 Янковский В. Д., Ломовицкая А. Д. и Рекашева А. Ф., Физиол. журн. СССР, т. XXVII, № 4, 1939, с. 499.
 Bert P., Barometric pressure, Translated from the French, 1943.
 Björk V. O., Acta chirurgica Scandinavica, v. XCVI (96), suppl., 137.
 De Wall R. A., Warden H. E., Read R. C., Gott V. L., Ziegler N. R., Varco R. L., Lillehei C. W., Surgical Clinics of North America, 1956, 1025.
 Karlson K. E., Dennis C., Westover D. and Sanderson D., Pump-oxygenator to supplant the heart and lungs for brief periods, Surgery, v. 29, № 5, 1951, p. 678.
 Stokes F. L. and Flick J. B., Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine, v. 73, 1950, p. 528.
 Інститут фізіології ім. О. О. Богомольця
 Академії наук УРСР, лабораторія
 порівняльної і вікової фізіології

Надійшла до редакції
4. VII 1958 р.