

О.Л. Коренівська, к.т.н., доц.  
В.Б. Бенедицький, ст. викладач  
Т.М. Нікітчук, к.т.н., доц.

Державний університет «Житомирська політехніка»

## Технологія екстракорпоральної мембранної оксигенації як основа життєзабезпечення пацієнтів при гострих реанімаційних синдромах

*Штучна вентиляція легень (ШВЛ), без сумніву, впродовж багатьох років залишається провідним життєзберігаючим способом лікування множинної кількості різнохарактерної патології дихальної системи, охоплюючи гострі стани (синдром гострого легеневого пошкодження (СГЛП), гострий респіраторний дистрес-синдром (ГРДС), тяжкі пневмонії тощо) та хронічні стани (загострення тяжкої хронічної обструктивної хвороби легень, тяжка бронхіальна астма, хронічна респіраторна недостатність). Але все більше в критичних станах, коли потужності ШВЛ недостатньо, для рятування життів використовують процедуру екстракорпоральної мембранної оксигенації.*

*У статті проведено ґрунтовний огляд історичних аспектів розвитку технології ЕКМО в Україні та за кордоном. Розглянуто будову приладів для ЕКМО та основні типи підключення їх до пацієнтів, їхні переваги та недоліки. Описано ефективність використання процедури ЕКМО при різних реанімаційних та терапевтичних станах пацієнтів. Розглянуто, та проведено порівняльний аналіз сучасних апаратів для ЕКМО. Визначено ризики під час проведення ЕКМО та побічні ефекти після цієї процедури. Визначено шляхи подальшого використання ЕКМО для підтримки життєдіяльності пацієнтів.*

**Ключові слова:** екстракорпоральна мембранна оксигенація; ЕКМО; оксигенатори; штучні легені; штучний кровообіг.

**Актуальність теми.** Екстракорпоральна мембранна оксигенація (ЕКМО) – метод, що гарантує постійне підтримання функції легень, підтримання параметрів газообміну (достатнє надходження кисню та видалення вуглекислого газу) з можливістю зниження пікового тиску вдиху, дихального об'єму, частоти дихань, фракції кисню в дихальній суміші у пацієнтів на штучній вентиляції легень. ЕКМО буквально заміщує функцію легень, на відміну від штучної вентиляції.

Щороку спостерігається збільшення критичних станів у пацієнтів з дихальними та серцевими захворюваннями. Раніше для підтримки життєдіяльності використовували штучну вентиляцію легень (ШВЛ) у комбінації з апаратом штучного кровообігу (ШК) за необхідності. За останні роки все більше в лікарську практику впроваджується технологія ЕКМО, яка для пацієнтів з тяжкою дихальною недостатністю забезпечує газовий обмін, а для пацієнтів з тяжкими захворюваннями серця – газообмін і підтримання кровообігу. При цьому ефективність застосування ЕКМО впливає на виживання пацієнтів, що становило 67 % проти 44 % – під час застосування ШВЛ та ШК. Тому проведення ґрунтовного огляду цієї методики підтримання життєдіяльності пацієнтів при критичних станах є актуальним. Це дозволить систематизувати знання з технології ЕКМО для спеціалістів з біомедичної інженерії, які можуть бути розробниками або сервісними інженерами систем ЕКМО.

**Метою роботи** є систематизація знань про екстракорпоральну мембранну оксигенацію та її застосування у критичних станах, визначення основних етапів розвитку такої апаратури, технічні особливості реалізації і технологія проведення цієї процедури.

**Аналіз публікацій та досліджень.** Перший апарат для штучного кровообігу був створений у 1925 р. українським вченим фізіологом С.С. Брюхоненко. За допомогою цього апарата вчений Н.Н. Терєбінський у 1930 р. експериментально довів можливість успішної операції на клапанах серця. Першу операцію на серці за допомогою апаратів штучного кровообігу здійснив у 1957 р. О.О. Вишневський [1].

Одним із ключових компонентів ЕКМО є перенесення кисню в кров через напівпроникну мембрану. Цей феномен був вперше описаний Колффом і Берком [1] у 1944 р., коли вони зазначили, що кров, проходячи через целофанові камери штучної нирки, збагачується киснем. Перші пристрої мали прямий контакт крові з киснем, великий обсяг заповнення оксигенатора, великий обсяг штучної поверхні, що контактувала з кров'ю, і недосконалий метод насичення киснем викликав значні зміни складу крові, масивний гемоліз і не міг використовуватися для довгострокової підтримки.

6 травня 1953 р., вперше виконана операція закриття дефекту міжпередсердної перетинки з використанням апарата «серце-легені» [1–3]. Штучний кровообіг тривав 26 хвилин і закінчився повним одужанням пацієнтки.

Перший мембранний оксигенатор невеликих розмірів, який виключав прямий контакт крові пацієнта із газовою фазою, був сконструйований Колфом [1] і успішно випробуваний у 1956 р. Створення мембранного оксигенатора в 1956 р. дозволило адаптувати штучний кровообіг для тривалої респіраторної і кардіальної підтримки поза операційною. У той же період з'явився термін «екстракорпоральна мембранна оксигенація» – ЕКМО [3].

У 1963 р. Т.Колобов [1] успішно застосував мікропористу силіконову мембрану в оксигенаторі для поділу газової і кров'яної фаз.

Перший успішний досвід лікування пацієнта з гострим респіраторним дистрес-синдромом (ГРДС) у 24-річного пацієнта після політравми з розривом грудної аорти відбувся у 1971 р. в США [4]. Перший у світі успішний досвід застосування ЕКМО у дитини з ГРДС відбувся у 1975 р. в США [4].

Протягом 1970–1980-х рр. у США було проведено низку досліджень, результати яких показали ефективність ЕКМО під час лікування новонароджених з критичною респіраторною недостатністю порівняно зі стандартною інтенсивною терапією [2, 3], що призвело до її широкого розповсюдження в неонатальних реанімаціях і використання у дітей старшого віку. Надалі з'явилися роботи із застосуванням ЕКМО для підтримки педіатричних пацієнтів з кардіологічними проблемами [5]. Незважаючи на первинний успіх, такі дослідження показали відсутність зниження летальності під час використання ЕКМО при ГРДС у дорослих, що спричинило зниження інтересу до цієї технології до початку 2000-х рр.

За даними реєстра Організації Екстракорпорального Життєзабезпечення (Extracorporeal Life Support Organization), у період із 1989 р. по 2012 р. ефективність ЕКМО у новонароджених склала 75 % (18846 пацієнтів), у дітей раннього віку – 56 % (2901 пацієнт), у дорослих – 54 % (1572 пацієнта) з 30487 процедур при дихальній недостатності [6, 7].

Значний інтерес до ЕКМО спостерігався в 2009 р. під час пандемії вірусу грипу А/Н1N1, А/Н5N1, коли вказана технологія зіграла важливу роль у терапії гострої дихальної недостатності внаслідок важкого ГРДС. В подальші роки ЕКМО впевнено впроваджується в клінічну практику в основному як метод серцево-легеневої підтримки в кардіохірургічних та багатопрофільних стаціонарах.

Під час пандемії коронавірусу 2020 р., в лікарнях світу знову виникла потреба в апаратах ЕКМО. Під час пандемії коронавірусу така апаратура вже врятувала багато життів і здатна це зробити в подальшому, вивчення досвіду застосування процедури ЕКМО при ГРДС дозволить розробити ефективні методики впливу та можливо спричинить хвилю удосконалення як методик проведення процедури, так і покращення техніко-ефективнісних показників апаратів для ЕКМО.

**Викладення основного матеріалу. Технічні основи методу ЕКМО.** В технічному плані система ЕКМО являє собою замкнутий контур (рис. 1), що складається з насоса крові, який бере на себе роботу серця з перекачування крові (стандартом є використання центрифужного насоса замість роликового, що дозволяє знизити ризик травмування формених елементів крові), оксигенатора (штучна легеня), який виконує роботу легенів по газообміну, магістральних трубок і судинних канюль.

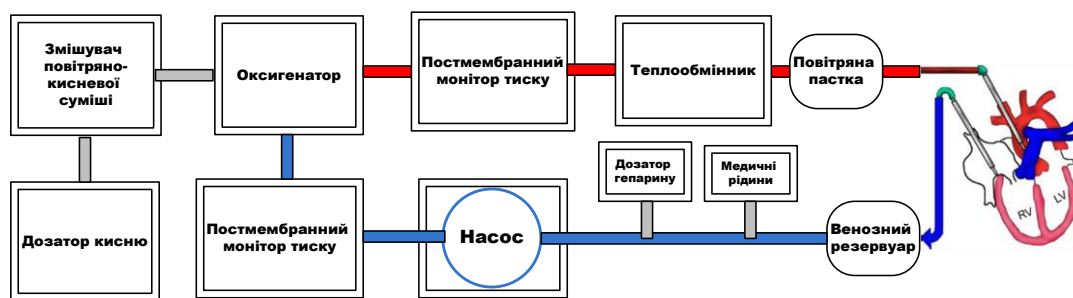


Рис. 1. Схема системи ЕКМО

Крім того, система містить: газовий змішувач, що змішує в певній пропорції повітря, чистий кисень та вуглекислоту; теплообмінник, в якому зоксигенована кров перед подачею до артерії пацієнта підігривається до фізіологічної температури (приблизно до 37,5 °С); модуль управління для злагодженої роботи всіх складових системи; систему безпеки (датчики-детектори повітряних бульбашок, артеріальний фільтр, датчики тиску та безперервний онлайн моніторинг газового складу крові).

Для з'єднання контуру ЕКМО з організмом пацієнта використовують однопросвітні або двопросвітні канюлі – спеціальні великі пластикові пристрої, що поміщаються в артерію або вени.

На підставі даних про хвороби і стан пацієнта визначається, який тип ЕКМО використовувати, кількість необхідних канюль і місце їх установки. Для установки канюль і початку ЕКМО в деяких випадках необхідна хірургічна операція, яка зазвичай проводиться серцево-судинним хірургом. Перед процедурою пацієнт отримує ліки від болю і седативні препарати.

За допомогою ЕКМО можна підтримувати необхідну організму доставку кисню, при цьому власні легені і/або серце пацієнта будуть знаходитися в режимі «відпочинку».

**Типи ЕКМО.** Розрізняють дві типові схеми контуру ЕКМО – вено-венозна (В/В) і вено-артеріальна (В/А) (табл. 1, 2).

Таблиця 1

## Порівняльна характеристика видів ЕКМО

Вид ЕКМО	Вено-венозна (В/В) ЕКМО	Вено-артеріальна (В/А) ЕКМО
<b>Тип канюляції</b>	Кров забирається з вени та повертається у вену. Судинний доступ: яремна вена / стегнова вена, праве передсердя / стегнова вена, стегнова вена / стегнова вена, підшкірна вена / підшкірна вена	Кров забирається з вени та повертається в артерію. Судинний доступ: внутрішня вена / стегнова артерія, стегнова вена / пахвинна артерія, підключична вена / аорта
<b>Контур</b>	Послідовне з'єднання з серцем та легенями	Паралельне з'єднання з серцем та легенями
<b>Підтримка серця</b>	Так	Ні
<b>Вплив на серце</b>	Може бути навантаження на правий шлуночок серця	Зменшує переднавантаження правого шлуночка. Збільшує постнавантаження лівого шлуночка
<b>Парціальний тиск кисню</b>	60–150 мм рт.мт.	45–80 мм рт.мт.
<b>Швидкість кровотоку</b>	60–80 мл/кг/хв	60–70 мл/кг/хв
<b>Показання до застосування</b>	<b>Застосування за респіраторним показанням:</b> Дихальна недостатність зі збереженою серцевою активністю. Важка пневмонія. Респіраторний дистрес-синдром дорослих. Первинна дисфункція трансплантата. Забій легень. Отруєння димом. Астматичний статус. Обструкція повітряних шляхів. Вроджені вади новонароджених	<b>Застосування за серцевим показанням:</b> Кардіогенний шок. Міокардит. Кардіоміопатія в листі очікування трансплантації серця. Тромбоемболія легеневої артерії. Пульмональний сепсис. Прогресуюча гіпоксемія при легеневій гіпертензії. Передопераційна підтримка в кардіохірургії вроджених вад серця. Рефрактерні аритмії і зупинки серця. Синдром низького серцевого викиду. Серцево-легенева реанімація
<b>Переваги</b>	Можливість уникнути артеріальної канюляції. Забезпечує пряму легеневу оксигенацію. Покращує коронарну оксигенацію. Зменшує ризик неврологічних порушень. Підтримує серцевий викид. Можна використовувати вазопресори	Забезпечує серцево-легеневу підтримку. Зменшує переднавантаження правого шлуночка. Немає ризику рециркуляції крові. Краща доставка кисню
<b>Недоліки</b>	Може мати місце неадекватна доставка кисню. Не забезпечує прямої підтримки серця. Високий ризик рециркуляції	Збільшує постнавантаження лівого шлуночка. Знижує пульсовий тиск. Коронарна оксигенація крові з лівого шлуночка. «Приголомшений міокард». Погіршує міогенні реакції артерій і викликає порушення ендотеліальної функції

Оптимальний газовий склад крові при ЕКМО

Тип ЕКМО	В/А ЕКМО		В/В ЕКМО	
	Насос	Пацієнт	Насос	Пацієнт
pH	7,35–7,45	7,35–7,45	7,35–7,45	7,35–7,45
pO <sub>2</sub>	150–250	60–150	150–250	70–90
pCO <sub>2</sub>	35–45	35–45	35–45	35–45
SaO <sub>2</sub>	100 %	95 %	80–95 %	80–95 %
SvO <sub>2</sub>	> 70 %	> 70 %	Не відомі	Не відомі

У першому випадку кров дренується з венозного русла і після оксигенації нагнітається насосом назад у венозне русло. Вено-венозна (В/В) ЕКМО здійснює тільки підтримку легень, тому серце пацієнта має працювати досить добре, щоб забезпечувати потреби організму. Такий тип ЕКМО застосовується для пацієнтів з важкою дихальною недостатністю, коли необхідно тільки насичення крові киснем і видалення вуглекислого газу, а підтримки насосної функції серця не потрібно.

При В/В ЕКМО насичення крові киснем відбувається у венозній частині системи кровообігу організму. Дві канюлі поміщаються у вени в місцях поруч з серцем або всередині нього. За допомогою двох катетерів, один з яких імплантовано в нижню порожнисту вену, відбувається забір крові, яка пропускається через оксигенатор, а зоксигенована кров повертається у верхню порожнисту вену через катетер, який встановлюється в праву яремну вену. Через оксигенатор пропускається чистий кисень, потік газу встановлюється відповідно до цільового значення тиску вуглекислого газу в артеріальній крові. При В/В ЕКМО лікар може використовувати спеціальний тип канюлі з двома прорізами. Це дозволяє забирати і повертати кров до організму в одному місці. Кров з контуру В/В ЕКМО повертається перед серцем пацієнта, а вже його власне серце буде перекачувати насичену киснем кров по всьому тілу. При В/В ЕКМО легені будуть знаходитися в режимі «спокою» або «щадному» режимі для забезпечення нормалізації/відновлення їх функції.

Саме цей вид ЕКМО успішно застосовували під час лікування ГРДС під час епідемії грипу АН1N1 у Австралії 2009 р. [8, 9]. В Україні ця методика вперше була успішно застосована співробітниками Київського міського центру серця у 2010 р. для пацієнта з тяжким ГРДС, асоційованим з вірусом грипу АН1N1 [10].

У другому випадку, при В/А ЕКМО кров дренується з венозного русла і після оксигенації нагнітається в артеріальне русло. При цьому, крім газообмінної функції, здійснюється підтримка і насосної функції серця. При В/А ЕКМО використовуються дві канюлі – артеріальна і венозна, які можуть бути встановлені в судини на стегні, шиї, або в грудній клітці.

Існує також артеріовенозна (А/В) методика [11], коли кров з артеріального русла під тиском, створюваним серцем хворого, проходить через оксигенатор і повертається у венозне русло. Рух крові по екстракорпоральному контуру здійснюється за рахунок градієнта тиску між артеріальною (стегнова артерія) і венозною (стегнова вена) системою великого кола кровообігу.

Особливості проведення А/В ЕКМО [11]:

- відсутність насоса крові і спеціального обладнання для проведення ЕКМО;
- артеріо-венозний градієнт тиску > 60 мм рт.ст.;
- об'ємна швидкість кровотоку  $\approx$  1 л/хв;
- ефективна корекція гіперкапнії будь-якого ступеня вираженості;
- ефективна корекція помірно вираженої артеріальної гіпоксемії.

Переваги самопоточної А/В ЕКМО порівняно з традиційними методами проведення ЕКМО: менші розміри артеріальної (13–15 F) і венозної (15–17 F) канюль; менший ступінь гіпокоагуляції; відсутність кровотечі; мала довжина і об'єм екстракорпорального контуру (мобільність системи, відсутність втрат тепла і необхідності теплообмінника); менший ризик розвитку сепсису, інфекцій, відсутність гемолізу; можливість уникнути застосування інвазивної ШВЛ; можливість транспортування хворих з вираженою гострою та хронічною дихальною недостатністю.

Гарний ґрунтовний огляд застосування ЕКМО та аналіз ефективності цього застосування проведено у [2, 3].

Перехід на ЕКМО відбувається за таких показників [11]:

- PaO<sub>2</sub>  $\leq$  50 мм рт.ст. більше 2 год при FiO<sub>2</sub> = 100;
- PEEP  $\geq$  5 см вод.ст.;
- PaO<sub>2</sub>  $\leq$  50 мм рт.ст. більше 12 год при FiO<sub>2</sub> = 60;
- PEEP  $\geq$  5 см вод.ст.;

- неефективність максимально інтенсивного лікування протягом 48 год. ( $FiO_2$  – фракція кисню в суміші, яка вдихається,  $PaO_2$  – парціальний тиск кисню в артеріальній крові, РЕЕР – позитивний тиск в кінці видиху).

**Протипоказання для ЕКМО можуть бути двох видів:**

*Абсолютні:*

- протипоказана антикоагуляція;
- термінальний стан;
- внутрішньочерепний крововилив II ст. і більше;
- захворювання системи згортання крові;
- перинатальна асфіксія;
- хромосомні дефекти, вади розвитку;
- вади серця без гострої серцевої недостатності;
- новонароджені менше 34 тижнів, вагою менше 2 кг;
- $PaO_2/FiO_2 < 100$  більш ніж 5 днів;
- реконтрольований метаболічний ацидоз;
- важкі ушкодження ЦНС.

*Відносні:*

- ШВЛ більше 5–7 днів;
- важка легенева гіпертензія
- СрДЛА > 45 мм рт.ст. або > 75 % від системного АТ;
- зупинка серця;
- імуносупресія;
- вік > 80 років;
- поліорганна недостатність (> 2 систем).

**Ризики та ускладнення при ЕКМО.** На жаль, незважаючи на високу ефективність, процедура ЕКМО дійсно несе в собі ризики (табл. 3).

Таблиця 3

Види ускладнень при застосуванні ЕКМО

Механічні	Геморагічні	Серцево-судинні	З боку ШКТ
Пошкодження судин при канюляції. Тромбоутворення в контурі ЕКМО. Повітряна і матеріальна емболія. Розрив контуру ЕКМО. Відмова системи безпеки і моніторингу. Зниження функції оксигенатора. Відмова роботи насоса. Відмова роботи теплообмінника	Гемоліз. Коагулопатія споживання. Тромбози (великі тромби можуть блокувати або різко погіршити роботу контуру ЕКМО, а дрібні згустки можуть потрапляти в кровотік пацієнта і викликати закупорку судин, пошкоджуючи органи). Кровотеча в порожнині, в місці канюляції. Часто може знадобитися переливання компонентів крові для заповнення дефіциту факторів згортання і еритроцитів	Оглушений міокард (зниження викиду більш ніж на 25 % від вихідного, повернення до норми через 48 годин). Гіпертензія – ризик кровотечі. Аритмії. Тампонада серця	Шлунково-кишкова кровотеча (в результаті стресу, ішемії). Пряма гіпербілірубінемія. Жовчні камені (при гемолізі, тривалому голодуванні, повному парентеральному харчуванні, прийомі діуретиків
		<b>Неврологічні</b>	<b>Легеневі</b>
<b>Інші ускладнення</b>	<p align="center"><b>Септичні ускладнення</b>  <b>Водно-електролітні розлади:</b> при ЕКМО змінюється концентрація ліків у крові у зв'язку зі збільшенням об'єму розподілу (необхідна корекція дозування).  <b>Інфекція в місцях приєднання апарата.</b>  <b>Підвищується ймовірність інсульту</b></p>		

Найбільш поширений ризик при ЕКМО – кровотеча. Щоб запобігти її виникненню, у кров'яне русло додають антикоагулянти (гепарин). Найбільш небезпечний вид кровотечі – крововилив у мозок, тому фахівці постійно і ретельно контролюють систему згортання крові для оцінки ознак кровотечі. Також під час екстракорпоральної оксигенації пацієнтам дають інші ліки: антибіотики для запобігання інфекції; седативні засоби для мінімізації руху і поліпшення сну та ін.

Аналіз, що був проведений R.Cheng, R.Nachamovitch та ін., встановив, що сумарна частота ускладнень ЕКМО при КШ така: ішемія нижніх кінцівок – 16,9 % (від 12,5 до 22,6 %); ампутація нижньої кінцівки – 4,7 % (від 2,3 до 9,3 %); неврологічні ускладнення – 13,3 % (від 9,9 до 17,7 %); гостре пошкодження нирок – 55,6 % (від 35,5 до 74,0 %); замісна ниркова терапія – 46,0 % (від 36,7 до 55,5 %); значна кровотеча з місця канюляції – 40,8 % (від 26,8 до 56,6 %); а також важка інфекція – 30,4 % (від 19,5 до 44,0 %) [3]. Деякі дослідження показують довготривалі нейрокогнітивні аномалії у більш ніж 50 % випадків, а також погіршення якості життя пацієнтів.

Щоб відключити пацієнта від апарата і видалити трубки, потрібна хірургічна процедура. Перед припиненням ЕКМО-терапії зазвичай проводиться кілька тестів (табл. 4), щоб підтвердити, що серце і легені готові до самостійної роботи. Однак навіть якщо пацієнта відключили від ЕКМО, йому все одно може знадобитися ШВЛ. Відлучення від ЕКМО в клініці проводиться поступово (табл. 4) і залежить від способу і цілей, які вирішувалися з її допомогою.

Таблиця 4

Показники гемодинаміки та газового складу крові, які дозволяють відключити ЕКМО

Гемодинамічні показники		Показники артеріальної крові	
ОСП	< 30 %	pH	7,35–7,45
АТ	80 мм рт.ст.	pO <sub>2</sub>	100–130
ЦВТ	8–12	pCO <sub>2</sub>	35–45
Диск середній	8–12	SaO <sub>2</sub>	98–100
ЧСС	120	Темп діурезу	10–15 мл/год

Терміни проведення ЕКМО різні: за спостереженнями вони склали від 3 до 23 діб.

**Апаратура для ЕКМО.** Аналіз ринку медичної техніки показав, що найбільш поширеними апаратами для ЕКМО є апарати компанії Maquet. Вказана компанія у своїх розробках має 2 системи для проведення ЕКМО: Maquet Rotaflow та Maquet Cardiohelp-i. Обидві системи мають у своєму складі центрифужний насос Rotaflow зі своїми характеристиками (табл. 5) та системи підтримки штучного кровообігу (табл. 6), що містять оксигенатор, головку для насоса та комплект магістралей.

Таблиця 5

Технічні характеристики системи Rotaflow компанії Maquet

Консолі Rotaflow		Насос Rotaflow	
Швидкість обертання	0–5000 об/хв	Початковий об'єм заповнення	32 мл
Точність індикації потоку	0,1 об/хв	Поверхня	190 см <sup>2</sup>
Швидкість прокачки розчину	0–9,9 л/хв	Діаметр ротора	50 мм
Габарити	180x380x240 мм	Ефективність	0,30
Вага	15 кг	Швидкість прокачки розчину	0–10 л/хв

Таблиця 6

Технічні характеристики систем підтримки штучного кровообігу компанії Maquet

Технічні характеристики	Система HLS Set Advanced 5.0	Система HLS Set Advanced 7.0	Система ELS	Система PLS
Максимальна швидкість кровотоку	0,5–5 л/хв	0,5–7 л/хв	0,5–7 л/хв	0,5–7 л/хв
Площа поверхні газообміну	1,3 м <sup>2</sup>	1,8 м <sup>2</sup>	1,8 м <sup>2</sup>	1,8 м <sup>2</sup>
Площа поверхні теплообміну	0,3 м <sup>2</sup>	0,4 м <sup>2</sup>	0,6 м <sup>2</sup>	0,6 м <sup>2</sup>
Первинний об'єм заповнення	240 мл	273 мл	250 мл	250 мл
Об'єм заповнення магістралей	570 мл	600 мл	600 мл	600 мл
Матеріал мембрани	Поліметилпентен	Поліметилпентен	Поліметилпентен	Поліметилпентен
Гепаринові покриття	Bioline	Bioline	Bioline	Bioline
Тривалість використання	30 днів	30 днів	14 днів	14 днів

Всі системи також комплектуються датчиками вимірювання: 3 датчики тиску (венозний, артеріальний, внутрішній), насичення крові киснем, гемоглобіну, гематокриту, веннозної та артеріальної температури.

Другим апаратом екстракорпоральної мембранної оксигенації є прилад Medos Deltastream MDC фірми Medos, який містить центрифужний насос Deltastream III (об'єм заповнення головки – 16 мл, швидкість прокачування 80–90 мл/кг/хв) та оксигенатори HILITE LT (табл. 7).

Таблиця 7

## Технічні характеристики оксигенаторів компанії Maquet

Технічні характеристики	Система HILITE 7000 LT	Система HILITE 2400 LT	Система HILITE 800 LT
Максимальна швидкість кровотоку	7 л/хв	2,4 л/хв	0,8 л/хв
Площа поверхні газообміну	1,9 м <sup>2</sup>	0,65 м <sup>2</sup>	0,32 м <sup>2</sup>
Первинний об'єм заповнення	275 мл	95 мл	55 мл
Об'єм заповнення контуру	1150 мл	300 мл	260 мл
Матеріал мембрани	Поліметилпентен	Поліметилпентен	Поліметилпентен
Гепаринові покриття	Rheoparin	Rheoparin	Rheoparin
Тривалість використання	14 днів	14 днів	14 днів

Проводяться розробки нових систем ЕКМО, але всі вони поки на рівні тестування або експерименту.

**Висновок.** На сьогоднішній день можна прогнозувати великі перспективи використання ЕКМО в терапії критичних станів і припускати подальший розвиток цієї технології з розширенням її використання за межі кардіохірургічних клінік. Сьогодні ЕКМО є методом порятунку з хорошим довгостроковим клінічним результатом у багатьох критичних реанімаційних випадках. Однак ця процедура залишається складною, високоризикованою і дорогою, придатною до застосування тільки в лікувальних установах. Цей огляд ознайомив спеціалістів біомедичної інженерії з технічними рішеннями та особливостями систем екстракорпоральної мембранної оксигенації, що може знадобитися при удосконаленні існуючих та проектуванні принципово нових систем ЕКМО, адже розвиток біотехнологій та інженерних новинок є бурхливим. На сьогодні ЕКМО є єдиним методом для поліпшення прогнозу виживання у пацієнта з важкими серцевими і/або легеневими ускладненнями, тому розвиток такої технології є актуальним завданням (особливо у час нових вірусологічних викликів).

## Список використаної літератури:

1. ЕКМО. Історія розвитку [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://tghealth.com.ua/ua/ekmo/1/>.
2. Корнилов И.А. Экстракорпоральная поддержка жизни в педиатрии / И.А. Корнилов // Патология кровообращения и кардиохирургия. – 2018. – № 22 (4) – С. 35–47.
3. Корнелюк Р.А. Экстракорпоральная мембранная оксигенация в интенсивной терапии критических состояний / Р.А. Корнелюк, Д.Л. Шукевич // Медицина в Кусбасе. – 2016. – Т. 15. – № 4. – С. 3–9.
4. Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) cardiopulmonary support in infancy / R.H. Bartlett, A.B. Gazzaniga, M.R. Jefferies and other // Trans Am Soc Artif Intern Organs. – 1976. – № 22. – P. 80–93.
5. Meshner A.L. Extracorporeal life support for the neonatal cardiac patient: outcomes and new directions / A.L. Meshner, D.M. McMullan // Semin Perinatol. – 2014. – № 38 (2). – P. 97–103.
6. ECMO Extracorporeal Cardiopulmonary Support in Critical Care 4th Edition / G.Annich, W.Lynch, G.MacLaren et al. – Michigan : Extracorporeal Life Support Organization, Ann Arbor, 2012. – P. 87–104, 309–337, 385–395.
7. Extracorporeal Life Support Organization. ECLS registry report. – Michigan : Extracorporeal Life Support Organization, Ann Arbor, 2018.
8. Howard T.S. Association of Extracorporeal Membrane Oxygenation Support Adequacy and Residual Lesions With Outcomes in Neonates Supported After Cardiac Surgery / T.S. Howard, B.T. Kalish, D.Wigmore and other // Pediatr Crit Care Med. – 2016. – 17 (11). – P. 1045–1054.
9. ECLS in Pediatric Cardiac Patients / M.Di Nardo, G.MacLaren, M.Marano and other // Front Pediatr. – 2016. – № 4. – 109 p.

10. Клинические рекомендации. Применение экстракорпоральной мембранной оксигенации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://transpl.ru/images/cms/data/pdf/Klinicheskie-rekomendacii-membrannoj-oksigenacii.pdf>.
11. Екстракорпоральна мембранна оксигенація (ЕКМО) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://eurecamed.com.ua/services/ecmo>.

**References:**

1. ЕКМО. Istorija rozvytku, [Online], available at: <https://tghealth.com.ua/ua/ekmo/1/>
2. Kornilov, I.A. (2018), «Ekstrakorporal'naja podderzhka zhizni v pediatrii», *Patologija krovoobrashhenija i kardiohirurgija*, No. 22 (4), pp. 35–47.
3. Korneljuk, R.A. and Shukevich, D.L. (2016), «Ekstrakorporal'naja membrannaja oksigenacija v intensivnoj terapii kriticheskikh sostojanij», *Medicina v Kusbase*, Vol. 15, No. 4, pp. 3–9.
4. Bartlett, R.H., Gazzaniga, A.B., Jefferies, M.R., Huxtable, R.F., Haiduc, N.J. and Fong, S.W. (1976), «Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) cardiopulmonary support in infancy», *Trans Am Soc Artif Intern Organs*, No. 22, pp. 80–93.
5. Meshner, A.L. and McMullan, D.M. (2014), «Extracorporeal life support for the neonatal cardiac patient: outcomes and new directions», *Semin Perinatol*, No. 38 (2), pp. 97–103.
6. Annich, G., Lynch, W., MacLaren, G. et al. (2012), «ECMO Extracorporeal Cardiopulmonary Support in Critical Care 4th Edition», Extracorporeal Life Support Organization, Ann Arbor, Michigan, pp. 87–104, 309–337, 385–395.
7. Extracorporeal Life Support Organization. ECLS registry report (2018), Extracorporeal Life Support Organization, Ann Arbor, Michigan.
8. Howard, T.S., Kalish, B.T., Wigmore, D., Nathan, M. and Kulik, T.J. (2016), «Association of Extracorporeal Membrane Oxygenation Support Adequacy and Residual Lesions With Outcomes in Neonates Supported After Cardiac Surgery», *Pediatr Crit Care Med*, No. 17 (11), pp. 1045–1054.
9. Di Nardo, M., MacLaren, G., Marano, M., Cecchetti, C., Bernaschi, P. and Amodeo, A. (2016), «ECLS in Pediatric Cardiac Patients», *Front Pediatr*, No. 4, 109 p.
10. Клинические рекомендации. Применение экстракорпоральной мембранной оксигенации, [Online], available at: <http://transpl.ru/images/cms/data/pdf/Klinicheskie-rekomendacii-membrannoj-oksigenacii.pdf>
11. Ekstrakorporal'na membranna oksigenacija (ЕКМО), [Online], available at: <https://eurecamed.com.ua/services/ecmo>

**Коренівська** Оксана Леонідівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри біомедичної інженерії та телекомунікації Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- побудова медичної апаратури;
- апаратура підтримки життєдіяльності;
- дослідження роботи серця.

<http://orcid.org/0000-0002-3735-7690>.

E-mail: o.l.korenivska@gmail.com.

**Бенедикський** Василь Борисович – старший викладач кафедри біомедичної інженерії та телекомунікації Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- моделювання роботи органів людини;
- обробка та передача медичних даних.

<http://orcid.org/0000-0003-1623-1594>.

E-mail: vslbened@gmail.com.

**Нікітчук** Тетяна Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри біомедичної інженерії та телекомунікації Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- цифрова обробка біомедичних сигналів;
- дослідження роботи серцево-судинної системи.

<http://orcid.org/0000-0002-9068-931X>.

E-mail: tnkitchuk@ukr.net.

Стаття надійшла до редакції 04.03.2020.