

an opportunity to use the information available to develop new drug-free methods of influencing physiological conditions to prevent the development of neurodegenerative diseases.

**Key words:** melatonin, neurodegeneration, oxidative stress.

**ORCID and contributionship / ORCID кожного автора та його внесок до статті:**

Belykova M. V.: <https://orcid.org/0000-0002-8010-105X><sup>ABD</sup>

Rozova K. V.: <https://orcid.org/0000-0002-6266-4617><sup>EF</sup>

Vashchenko N. M.: <https://orcid.org/0009-0008-0334-8236><sup>B</sup>

**Conflict of interest / Конфлікт інтересів:**

The authors declare no conflict of interest. / Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

**Corresponding author / Адреса для кореспонденції**

Belykova Maria Viktorivna / Беликова Марія Вікторівна

National Physical Education and Sports University of Ukraine / Національний університет фізичного виховання і спорту України

Ukraine, 02000, Kyiv, 1 Fizkultury str. / Адреса: Україна, 02000, м. Київ, вул. Фізкультури 1

Tel.: 0688948587 / Тел.: 0688948587

E-mail: [belikova.maria@gmail.com](mailto:belikova.maria@gmail.com)

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis, C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article, E – Critical review, F – Final approval of the article / A – концепція роботи та дизайн, B – збір та аналіз даних, C – відповідальність за статичний аналіз, D – написання статті, E – критичний огляд, F – остаточне затвердження статті.

Received 06.02.2025 / Стаття надійшла 06.02.2025 року  
Accepted 01.05.2025 / Стаття прийнята до друку 01.05.2025 року

DOI 10.29254/2077-4214-2025-2-177-18-25

UDC 616.12-008.46:616.127-005.8:616-005]-07-08

Vasylyv M. S., Sadova-Chuba Z. T., Harbar M. O.

### OVERVIEW OF CONTEMPORARY METHODS OF TEMPORARY MECHANICAL CIRCULATORY SUPPORT IN CARIOGENIC SHOCK ASSOCIATED WITH HEART FAILURE

Danylo Halytsky Lviv National Medical University (Lviv, Ukraine)

[vasyliv.marta@gmail.com](mailto:vasyliv.marta@gmail.com)

*Cardiogenic shock (CS) is a clinical syndrome resulting from a sharp decrease in cardiac output, which leads to hypoperfusion of vital organs and tissues. Despite the achievements of pharmacological therapy, mortality in CS remains high. In this regard, the role of temporary mechanical circulatory support (TMCS) methods is increasing, which allows for stabilising hemodynamics, ensuring adequate organ perfusion, and reducing the load on the myocardium. Such devices can serve as a bridge to restoring heart function, provide long-term mechanical support, or facilitate transplantation. Over the past decade, significant progress has been noted in the development of TMCS technologies, among which intraaortic balloon counterpulsation (IABP), microaxial pump systems (Impella), transseptal ventricular assist devices (TandemHeart) and extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) are the most widely used.*

*The purpose of this study is to examine various options for modern methods of temporary mechanical circulatory support, to compare their availability, advantages, and disadvantages, as documented in modern literature, to optimise the intensive care of patients with acute heart failure.*

*Bibliosemantic, comparative and systematic analysis methods were used. The results of this study are based on data from the analysis of modern literature, as well as the results of randomised trials and meta-analyses devoted to the study of modern methods of temporary mechanical circulatory support.*

*The use of MCS devices in patients with progressive heart failure unresponsive to conventional intensive care management provides hemodynamic support and stabilization and increases patient survival. Rather than viewing these devices as competing technologies, it is essential to understand each device individually to leverage its unique properties in various clinical situations. Early use of MCS devices in CS is associated with better outcomes because they mitigate the adverse effects of systemic hypoperfusion on target organs and reduce the need for inotropes/vasopressors, thereby minimising myocardial oxygen consumption and improving microcirculation.*

**Key words:** cardiogenic shock, temporary mechanical circulatory support, intra-aortic balloon counterpulsation, Impella, TandemHeart, extracorporeal membrane oxygenation.

**Connection of the publication with planned research works.**

The work is a fragment of the SRW of the Department of Anesthesiology and Intensive Care of the Danylo Halytsky Lviv National Medical University “Clin-

ical and pathophysiological justification of prosthetics for organ dysfunction in patients during anesthesia and in emergency conditions”, state registration number 0120U002137.

**Introduction.**

Cardiogenic shock (CS) developing in patients with acute myocardial infarction (MI) and progressive heart failure (HF) remains the leading cause of mortality in this patient population. Stabilizing hemodynamics in patients with CS presents a number of challenges and is not always easy to achieve. Vasopressors and inotropes increase cardiac output and organ perfusion, but by increasing myocardial oxygen consumption, they may impair tissue microcirculation and induce arrhythmias [1]. Of course, early revascularization remains the best treatment method, improving survival rates in patients with MI. Additionally, temporary mechanical circulatory support (MCS) has become a crucial component in the treatment of cardiogenic shock [2]. Among the currently known ECMO devices, we reviewed intra-aortic balloon counterpulsation (IABP), Tandem Heart (TH), Impella, and extracorporeal membrane oxygenation (ECMO), each of which has its unique advantages and risks.

**The aim of the study.**

To consider various options for modern methods of temporary mechanical circulatory support, compare their availability, advantages, and disadvantages based on contemporary literature sources to optimize intensive care for patients with acute heart failure.

**Object and research methods.**

Bibliosemantic, comparative, and systematic analysis methods. The results of this study are based on an analysis of contemporary literature, randomized trials, and meta-analyses devoted to the study of modern methods of temporary mechanical circulatory support.

**Main part.**

**Intra-aortic balloon counterpulsation.** IABP has long been the most widely used device for improving hemodynamics in CS. Recently, there has been a trend toward decreasing the frequency of use of this method, driven by the emergence of a large number of studies and articles reporting good results in the treatment of patients using other MCS devices [3, 4].

A double-lumen catheter with a cylindrical polyurethane balloon at the distal end is inserted through the common femoral artery into the descending aorta, with the end of the balloon located 2 cm distal to the left subclavian artery. Balloon inflation is synchronized with the cardiac cycle and occurs at the beginning of diastole, while deflation occurs immediately before the beginning of systole, displacing approximately 40 ml of blood volume in each cardiac cycle. Depending on several factors (balloon size and location, heart rate, aortic elasticity), IABP can provide 0.5-1 L/min of cardiac output. The primary hemodynamic effects are an increase in diastolic blood flow to the coronary arteries and peripheral organs, as well as an improvement in stroke volume resulting from a reduction in left ventricular (LV) afterload, LV wall load, and myocardial oxygen demand [5, 6].

The use of IABP has its contraindications and possible complications. Cardiac arrhythmias can lead to untimely balloon inflation, which increases the load on the LV, as the myocardium contracts against the inflated balloon. Balloon inflation in the presence of aortic regurgitation increases the end-diastolic volume and pressure of the LV [7]. Most complications are re-

lated to blood vessels, including limb ischemia, bleeding at puncture sites, and vascular damage, which may require surgical intervention [8]. Thrombocytopenia and hemolysis are often observed. Balloon rupture is rare but can cause air embolism.

**Impella device.** Impella is a microaxial pump that is inserted through the aortic valve and continuously aspirates blood from the left ventricle and ejects it into the ascending aorta. The size of the pump determines the maximum achievable flow; however, it also depends on the preload and afterload of the left ventricle. The Impella 2.5 pump with a 12 Fr motor has a maximum flow of 2.5 L/min, the Impella CP pump with a 14 Fr motor has a maximum flow of 4.3 L/min, the Impella 5.0 pump with a 21 Fr motor has a maximum flow of 5.0 L/min, and the Impella 5.5 pump with a 19 Fr motor has a maximum flow of 6.2 L/min. The devices are inserted percutaneously (Impella 2.5 and Impella CP) into the common femoral artery or through surgical access (Impella 5.0 and Impella 5.5) into the common femoral artery or axillary/subclavian artery. Impella Smart Assist is a system that utilizes optical sensors to obtain positional waves, which enables more accurate monitoring of the pump's position and provides a real-time display of end-diastolic pressure in the left ventricle and mean arterial pressure (MAP) [9]. In addition, Impella Connect became available in 2020 – a service that allows remote viewing of the controller screen using a personal computer, smartphone, tablet, or other devices [10].

The blood flow provided by Impella improves cardiac index, mean arterial pressure, coronary blood flow, and organ perfusion.

Absolute contraindications to the use of Impella are left ventricular thrombus and mechanical aortic valve. Relative contraindications include severe aortic regurgitation, obstructive hypertrophic cardiomyopathy, hematological diseases, ascending aortic aneurysm, and severe peripheral arterial lesions. Severe aortic stenosis was initially considered a contraindication due to the possibility of embolization and device malfunction due to calcification of the valve leaflets, the likelihood of occlusion, and the already small opening of the aortic valve. However, since Impella CP, 5.0, and 5.5 provide a higher flow of assistive blood flow than the cardiac output of a patient with severe aortic stenosis, Orvin K. and co-authors published positive results of their use during transcatheter aortic valve implantation in 2021 [11].

Potential complications from the use of the Impella device include ventricular arrhythmia, aortic valve damage, bleeding, and various vascular injuries. Mechanical damage to red blood cells can lead to hemolysis, a complication observed in a significant proportion of patients within the first 24 hours [12].

**Tandem Heart.** Tandem Heart (TH) is a left atrial bypass system consisting of a transeptal cannula, arterial cannulas, and a centrifugal pump. The pump can provide a flow rate of up to 4.0 L/min at a maximum speed of 7500 rpm. Oxygen-rich blood from the patient's left atrium is fed to the pump through a transeptal cannula and then returned to the patient's systemic arterial circulation, with blood flow redirected from the left atrium (LA) to the aorta, bypassing the left ventricle

(LV). As a result, LV preload, filling pressure, and myocardial oxygen demand are reduced, while SBP and systemic blood flow are increased [13]. TH provides higher hemodynamic support compared to IABP. Similar to Impella, but unlike IABP, TH can continue to provide circulatory support despite transient arrhythmias or extreme tachycardia as long as right ventricular function remains satisfactory. Contraindications include the presence of an intra-atrial thrombus and aortic insufficiency. Complications with cannulation of large vessels are similar to those with other devices; stroke and intracranial hemorrhage may occur with prolonged use of the device, and hemolysis is rare [14, 15].

Transseptal cannulation makes TH the most invasive of the methods we studied, limiting its clinical application to centers with qualified interventional cardiologists who have experience in transseptal punctures.

**Extracorporeal membrane oxygenation.** Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) can be configured in two different ways: venovenous (VV) and venoarterial (VA). Both provide respiratory support, but only the latter provides circulatory support in patients with CS. With ECMO, venous blood enters the oxygenator via a circuit, is saturated with oxygen, and returns to the systemic circulation. The femoral vessels are a common site for cannulation due to their size and accessibility. Central access VA ECMO involves cannulation of the right atrium (venous inflow) and cannulation of the ascending aorta (arterial outflow) and is used in patients with CS after cardiac surgery.

Among all temporary devices, BA ECMO is unique in that it can support both the heart and lungs. Venous blood sampling during ECMO reduces pressure in the right chambers and pulmonary artery (PA) pressure. This reduces preload on the LV, prevents LV stretching, reduces the load on the myocardial wall, and reduces myocardial oxygen consumption. Retrograde aortic blood flow delivers oxygen to the organs, improves SBP, and increases afterload on the LV [16, 17, 18].

The use of VA ECMO is contraindicated in the presence of aortic regurgitation. As with most MCS devices, complications associated with VA ECMO include bleeding at the access site, thromboembolic complications, and hemolysis. The most common complications associated with ECMO are renal failure, bacterial pneumonia, sepsis, hemolysis, liver dysfunction, leg ischemia, venous thrombosis, central nervous system complications, and disseminated intravascular coagulation. In cases of neurological complications caused by intracranial hemorrhages, the mortality rate reaches 57% [19, 20]. Increased LV afterload due to retrograde aortic blood flow may not relieve the load on the LV wall and increase the myocardium's oxygen demand. This gradually complicates LV recovery and worsens the patient's prognosis [21].

Understanding the characteristics of each MCS device is crucial for their effective use in various clinical situations, ultimately leading to improved medical care and increased patient survival rates. When determining which MCS device to use, several factors must be considered: the patient's condition, comorbidities, the device's hemodynamic impact, the urgency of the situation, access sites, staff proficiency in setting up the device, and the device's availability in medical facilities.

If the hemodynamic profile can be carefully assessed, it is recommended to choose the device that is best suited to meet the specific needs of the physiological disorder and the underlying diagnosis. The authors also observed better results with early use of MCS devices.

Possible complications should also be considered before choosing between available temporary mechanical heart support devices, as they may affect patient survival. For example, early experience with the Impella 5.5 device showed that more than a third of patients required blood component transfusions due to bleeding [22].

The choice of TMCS depends on the causes of CS, the availability of technical resources, and the experience of the center's medical staff. In some cases, combined use is justified, for example, Impella or IABP in combination with ECMO for optimal left ventricular unloading.

It should be noted separately that the use of temporary mechanical cardiac support in patients who have undergone heart transplantation shows higher survival rates compared to those who did not receive MCS [23].

Cardiogenic shock (CS) remains a critical condition with high mortality despite advances in therapeutic approaches [24]. In recent years, there has been an increase in the use of mechanical circulatory support devices (especially Impella and ECMO) [25], but recent randomized trials (notably DANSHOCK II) question their effectiveness in certain patient groups, finding no significant advantage of Impella over standard therapy and indicating a higher risk of complications [26]. Although a stepwise approach to hemodynamic support (from drug therapy to MCS) is widely accepted, there remains considerable uncertainty about the optimal choice of MCS type, timing of initiation, and patient profile that will benefit most [27].

### Conclusions.

1. The use of MCS in patients with progressive heart failure who do not respond to conventional intensive care provides support and stabilization of hemodynamics and increases patient survival rates.

2. Rather than viewing these devices as competing technologies, it is essential to understand each device individually to leverage its unique properties in various clinical situations.

3. Early use of MCS in CS is associated with better outcomes because it reduces the negative effects of systemic hypoperfusion on target organs and inotropes/vasopressors on oxygen consumption and myocardial microcirculation.

### Prospects for further research.

In Ukraine, among the methods of temporary mechanical cardiac support we have listed, intra-aortic balloon counterpulsation is the most widely used. Further research should focus on determining the optimal criteria for selecting and timing the implementation of various mechanical circulatory support devices in patients with progressive heart failure and cardiogenic shock. It is essential to examine the individual clinical parameters that influence the effectiveness of each device type in specific clinical conditions.

**ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТИМЧАСОВОЇ МЕХАНІЧНОЇ ПІДТРИМКИ КРОВООБІГУ ПРИ КАРДІОГЕННОМУ ШОЦІ ПОВ'ЯЗАНОМУ З СЕРЦЕВОЮ НЕДОСТАТНІСТЮ**

Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького (м. Львів, Україна)

vasyliv.marta@gmail.com

Кардіогенний шок (КШ) є клінічним синдромом, що виникає внаслідок різкого зниження серцевого викиду, що призводить до гіперперфузії життєво важливих органів і тканин. Незважаючи на досягнення фармакологічної терапії, смертність при КШ залишається високою. У зв'язку з цим зростає роль методів тимчасової механічної підтримки кровообігу (ТМПК), які дозволяють стабілізувати гемодинаміку, забезпечити адекватну перфузію органів та зменшити навантаження на міокард. Такі пристрої можуть слугувати мостом до відновлення функції серця, тривалої механічної підтримки або трансплантації. За останнє десятиліття відзначено значний прогрес у розвитку технологій ТМПК, серед яких найбільш широко застосовуються внутрішньоаортальна балонна контрапульсація (ВАБК), мікроаксіальні насосні системи (Impella), транстептальні шлуночкові асистуючі пристрої (TandemHeart) та екстракорпоральна мембранна оксигенація (ЕКМО).

Мета дослідження – розглянути різні варіанти сучасних методів тимчасової механічної підтримки кровообігу, порівняти їх доступність, переваги та недоліки із джерел сучасної літератури для оптимізації інтенсивної терапії пацієнтів з гострою серцевою недостатністю.

Використано бібліосемантичний, порівняльний та метод системного аналізу. Результати цього дослідження розроблені на даних аналізу сучасної літератури, результатах рандомізованих досліджень та мета-аналізів, присвячених вивченню сучасних методів тимчасової механічної підтримки кровообігу.

Використання пристроїв МПК у пацієнтів з прогресуючою серцевою недостатністю що не реагують на звичайне ведення інтенсивної терапії, забезпечує підтримку і стабілізацію гемодинаміки та збільшує відсоток виживання пацієнтів. Замість того, щоб сприймати ці пристрої як конкурентні технології, важливо розуміти кожен пристрій окремо, щоб скористатися їх унікальними властивостями в різних клінічних ситуаціях. Раннє використання пристроїв МПК при КШ асоціюється з кращими результатами, оскільки вони зменшують негативний вплив системної гіперперфузії на органи-мішені та інотропію/вазопресорів на споживання кисню та мікроциркуляцію міокарда.

**Ключові слова:** кардіогенний шок, тимчасова механічна підтримка кровообігу, інтрааортальна балонна контрапульсація, Impella, Tandem Heart, екстракорпоральна мембранна оксигенація.

**Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.**

Робота є фрагментом НДР кафедри анестезіології та інтенсивної терапії Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького «Клініко-патологічне обґрунтування протезування органної дисфункції у хворих під час анестезії та при невідкладних станах», номер державної реєстрації 0120U002137.

**Вступ.**

Кардіогенний шок (КШ) що розвивається у пацієнтів з гострим інфарктом міокарда (ГІМ) та прогресуючою серцевою недостатністю (СН) і далі залишається основною причиною смертності в даній категорії пацієнтів. Стабілізація гемодинаміки у пацієнтів з КШ має ряд викликів і не завжди її легко досягнути. Вазопресори та інотропи збільшують серцевий викид і перфузію органів, але за рахунок збільшення споживання кисню міокардом, можливе порушення мікроциркуляції тканин та індукція аритмій [1]. Звісно що рання реваскуляризація залишається найкращим методом терапії, який покращує рівень виживання у пацієнтів з ГІМ. Поруч з цим тимчасова механічна підтримка кровообігу (МПК) стала важливим компонентом у лікуванні кардіогенного шоку [2]. Серед відомих на даний момент пристроїв МПК нами було розглянуто інтрааортальну балонну контрапульсацію (ІАБК), Tandem Heart (ТН), Impella та екстракорпо-

ральну мембранну оксигенацію (ЕКМО), кожен з яких має свої унікальні переваги і ризики.

**Мета дослідження.**

Розглянути різні варіанти сучасних методів тимчасової механічної підтримки кровообігу, порівняти їх доступність, переваги та недоліки із джерел сучасної літератури для оптимізації інтенсивної терапії пацієнтів з гострою серцевою недостатністю.

**Об'єкт і методи дослідження.**

Бібліосемантичний, порівняльний та метод системного аналізу. Результати цього дослідження розроблені на даних аналізу сучасної літератури, результатах рандомізованих досліджень та мета-аналізів, присвячених вивченню сучасних методів тимчасової механічної підтримки кровообігу.

**Основна частина.**

**Інтрааортальна балонна контрапульсація.** ІАБК протягом тривалого часу була найбільш широко використовуваним пристроєм для покращення гемодинаміки при КШ. Останнім часом спостерігається тенденція зменшення частоти використання цього методу з появою великої кількості досліджень і статей про хороші результати у лікуванні пацієнтів з використанням інших пристроїв МПК [3, 4].

Двопросвітний катетер з циліндричним поліуретановим балоном на дистальному кінці вводиться через загальну стегнову артерію у низхідну аорту, при цьому кінець балона розташовується на 2 см дистальніше лівої підключичної артерії. Роздування

балона синхронізується з серцевим циклом і відбувається на початку діастолі, тоді як його здування безпосередньо перед початком систолі, зміщуючи приблизно 40 мл об'єму крові в кожному серцевому циклі. Залежно від ряду факторів (розмір і розташування балона, частоти серцевих скорочень, еластичності аорти) ІАБК може забезпечити 0,5-1 л/хв серцевого викиду. Основні гемодинамічні ефекти – збільшується діастолічний приплив крові до коронарних артерій і периферичних органів і покращується ударний об'єм за рахунок зниження постнавантаження ЛШ, навантаження на стінку ЛШ і потреби міокарда в кисні [5, 6].

Використання ІАБК має свої протипокази та можливі ускладнення. Серцеві аритмії можуть призвести до невчасного накачування балона, що збільшує навантаження на ЛШ, оскільки міокард скорочується проти надутого балона. Роздування балона за наявності аортальної регургітації збільшує кінцево-діастолічний об'єм і тиск ЛШ [7]. Більшість з ускладнень пов'язані з судинами, включаючи ішемію кінцівок, кровотечу в місцях проколів і пошкодження судин, можуть вимагати хірургічного втручання [8]. Часто спостерігається тромбоцитопенія, гемоліз. Розрив балона зустрічається рідко, але може спричинити повітряну емболію.

**Пристрій Impella.** Impella – це мікроаксіальний насос, який встановлюється через аортальний клапан, він безперервно аспірує кров з лівого шлуночка та викидає її в висхідну аорту. Розмір насоса визначає максимальний досяжний потік; однак він також залежить від переднавантаження та післянавантаження лівого шлуночка. Impella 2.5 насос з мотором 12 Fr має максимальний потік 2.5 л/хв, Impella CP насос з мотором 14 Fr, максимальний потік 4.3 л/хв, Impella 5.0 насос з мотором 21 Fr -максимальний потік 5.0 л/хв та Impella 5.5 - насос з мотором 19 Fr, максимальний потік 6.2 л/хв. Пристрої вводять перкутанно (Impella 2.5 та Impella CP) у загальну стегову артерію або через хірургічний доступ (Impella 5.0 та Impella 5.5) у загальну стегову артерію або пахвинну/підключичну артерію. Impella Smart Assist – це система, яка використовує оптичні датчики для отримання позиційних хвиль, що допомагає в більш точному моніторингу положення насоса та надає відображення в реальному часі кінцево-діастолічного тиску в лівому шлуночку, середнього артеріального тиску (САТ) [9]. Крім того, у 2020 році став доступний Impella Connect – сервіс дозволяє віддалено переглядати екран контролера за допомогою персонального комп'ютера, смартфона, планшета або інших пристроїв [10].

Кровотік, що забезпечується Impella, покращує серцевий індекс, середній артеріальний тиск, коронарний кровотік і перфузію органів.

Абсолютні протипокази до використання Impella – це тромб лівого шлуночка та механічний аортальний клапан. Відносні протипокази включають важку аортальну регургітацію, обструктивну гіпертрофічну кардіоміопатію, гематологічні захворювання, аневризму висхідної аорти та важкі периферичні артеріальні ураження. Важкий аортальний стеноз спочатку вважався протипоказом через можливість емболізації та порушення роботи пристрою через кальцифікацію стулок клапана, ймовірність перекриття і так малого отвору аортального клапана. Але оскільки Impella CP,

5.0 і 5.5 забезпечують вищий потік допоміжного кровотоку, ніж серцевий викид пацієнта з важким аортальним стенозом, Orvin K. та співавтори у 2021 році опублікували позитивні результати їх використання під час транскатетерної імплантації аортального клапана [11].

Потенційні ускладнення від застосування пристрою Impella включають шлуночкову аритмію, пошкодження аортального клапана, кровотечі та різні судинні ушкодження. Механічне пошкодження еритроцитів може призвести до гемолізу, ускладнення, яке спостерігається у значній частині пацієнтів протягом перших 24 годин [12].

**Tandem Heart.** Tandem Heart (TH) – це система шунтування лівого передсердя, що складається з транссептальної канюлі, артеріальних канюль та відцентрового насоса. Насос може забезпечувати швидкість потоку до 4,0 л/хв при максимальній швидкості 7500 об/хв. Насичена киснем кров з лівого передсердя пацієнта подається до насоса через транссептальну канюлю, а потім повертається в системний артеріальний кровообіг пацієнта, кровотік перенаправляється з лівого передсердя (ЛП) до аорти обминаючи лівий шлуночок (ЛШ). В результаті знижується переднавантаження ЛШ, тиск наповнення та потреба міокарда в кисні, підвищується САТ та системний кровообіг [13]. TH забезпечує вищу гемодинамічну підтримку в порівнянні з ІАВР. Подібно до Impella, але на відміну від ІАВР, TH може продовжувати забезпечувати циркуляторну підтримку незважаючи на транзиторні аритмії або екстремальну тахікардію, поки функція правого шлуночка залишається задовільною. До протипоказів відносять наявність внутрішньопередсердного тромбу і аортальну недостатність. Ускладнення при канюляціях великих судин подібні до таких при застосуванні інших пристроїв, інсульт і внутрішньочерепний крововилив можуть виникнути при більш тривалому використанні пристрою, гемоліз зустрічається рідко [14, 15].

Транссептальна канюляція робить TH найбільш інвазивним серед досліджених нами методів, що обмежує його клінічне застосування центрами з кваліфікованими інтервенційними кардіологами, які мають досвід у транссептальних пункціях.

**Екстракорпоральна мембранна оксигенація.** Екстракорпоральна мембранна оксигенація (ЕКМО) може бути налаштована двома різними способами: веновенозним (ВВ) і веноартеріальним (ВА). Обидва забезпечують респіраторну підтримку, але тільки останній забезпечує циркуляторну підтримку у пацієнтів з КШ. При ЕКМО венозна кров по контуру надходить в оксигенатор, насичується киснем та повертається в системний кровообіг. Стегнові судини є поширеним місцем для канюляції через їх розмір і доступність. Центральний доступ ВА ЕКМО передбачає канюлювання правого передсердя (венозне надходження) та канюлювання висхідної аорти (артеріальний відтік) і застосовується у пацієнтів з КШ після кардіохірургічного втручання. Серед усіх тимчасових пристроїв МПК ВА ЕКМО унікальна тим, що може забезпечити підтримку роботи як серця, так і легенів. Забір венозної крові при ЕКМО знижує тиск в правих відділах та тиск у легеневій артерії (ЛА). Це зменшує переднавантаження на ЛШ, запобігає розтягуванню ЛШ, знижує навантаження на стінку міокарда, змен-

шує споживання кисню міокардом. Ретроградний аортальний кровотік забезпечує доставку кисню до органів, покращує САТ і збільшує постнавантаження на ЛШ [16, 17, 18].

Застосування ВА ЕКМО при наявності аортальної регургітації протипоказано. Як і у випадку з більшістю пристроїв МПК, ускладнення пов'язані з ВА ЕКМО включають кровотечу в місці доступу, тромбоемболічні ускладнення та гемоліз. Найбільш поширеними ускладненнями, пов'язаними з ЕКМО: ниркова недостатність, бактеріальна пневмонія, сепсис, гемоліз, порушення функції печінки, ішемія ніг, венозний тромбоз, ускладнення з боку центральної нервової системи, дисеміноване внутрішньосудинне згортання крові. При неврологічних ускладненнях що проводжуються внутрішньочерепними крововиливами рівень смертності досягає 57% [19, 20]. Підвищене постнавантаження ЛШ через ретроградний аортальний кровотік може не знімати навантаження на стінку ЛШ і збільшити потребу міокарда в кисні. Поступово це ускладнює відновлення ЛШ і погіршує прогноз у пацієнта [21].

Розуміння характеристик кожного пристрою МПК є важливим для їх ефективного використання в різних клінічних ситуаціях, що в кінцевому підсумку приведе до покращення надання медичної допомоги і підвищення рівня виживання пацієнтів. При визначенні пристрою МПК, який буде використовуватися, необхідно враховувати численні фактори: стан пацієнта, його супутні захворювання, гемодинамічний вплив пристрою, терміновість ситуації, місця доступу та вміння персоналу у його налагодження, доступність самого пристрою в медичних закладах. Якщо гемодинамічний профіль можна ретельно оцінити, рекомендується вибрати пристрій, який найкраще підходить для задоволення конкретних потреб фізіологічного розладу та основного діагнозу. Також автори спостерігали кращі результати при ранньому використанні пристроїв МПК.

Можливі ускладнення теж слід враховувати перед вибором між доступними тимчасовими пристроями механічної підтримки серця, оскільки вони можуть вплинути на виживання пацієнтів. Наприклад, ранній досвід використання пристрою Impella 5.5 показав, що більше третини пацієнтів потребували переливань компонентів крові через кровотечі [22].

Вибір ТМПК залежить від причин КШ, доступності технічних засобів та досвіду медичних працівників центру. У деяких випадках виправдане комбіноване застосування, наприклад, Impella або ІАБК у поєднан-

ні з ЕКМО для оптимального розвантаження лівого шлуночка.

Окремо слід зазначити що використання тимчасової механічної підтримки серця у пацієнтів яким виконували трансплантацію серця, демонструють вищі показники виживання, порівнянні з тими, хто не отримував МПК [23].

Кардіогенний шок (КШ) залишається критичним станом із високою летальністю, незважаючи на прогрес у терапевтичних підходах [24]. В останні роки спостерігається зростання застосування механічних засобів підтримки кровообігу (особливо Impella та ЕСМО) [25], проте сучасні рандомізовані дослідження (зокрема, DANSHOCK II) ставлять під сумнів їхню ефективність у певних групах пацієнтів, не виявляючи достовірної переваги Impella порівняно зі стандартною терапією, і вказують на вищий ризик ускладнень [26]. Попри те, що стратегія поетапного підходу до підтримки гемодинаміки (від медикаментозної терапії до МПК) є загальноприйнятою, залишається значна невизначеність щодо оптимального вибору типу МПК, часу її ініціації та профілю пацієнта, який отримує від цього найбільшу користь [27].

### Висновки.

1. Використання пристроїв МПК у пацієнтів з прогресуючою серцевою недостатністю що не реагують на звичайне ведення інтенсивної терапії, забезпечує підтримку і стабілізацію гемодинаміки та збільшує відсоток виживання пацієнтів.

2. Замість того, щоб сприймати ці пристрої як конкурентні технології, важливо розуміти кожен пристрій окремо, щоб скористатися їх унікальними властивостями в різних клінічних ситуаціях.

3. Раннє використання пристроїв МПК при КШ пов'язане з кращими результатами, оскільки вони зменшують негативний вплив системної гіперперфузії на органи-мішені та інотропів/вазопресорів на споживання кисню та мікроциркуляцію міокарда.

### Перспективи подальших досліджень.

В Україні серед наведених нами методів тимчасової механічної підтримки серця найбільше використовують інтрааортальну балонну контрапульсацію. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на визначення оптимальних критеріїв вибору та термінів впровадження різних пристроїв механічної циркуляторної підтримки у пацієнтів із прогресуючою серцевою недостатністю та кардіогенним шоком. Важливо дослідити індивідуальні клінічні параметри, які впливають на ефективність застосування кожного типу пристрою в конкретних клінічних умовах.

## References / Література

1. Tarvasmäki T, Lassus J, Varpula M, Sionis A, Sund R, Køber L, et al. Current real-life use of vasopressors and inotropes in cardiogenic shock – adrenaline use is associated with excess organ injury and mortality. *Crit Care*. 2016;20:208.
2. Vallabhajosyula S, Prasad A, Sandhu GS, Dunlay SM, Gersh BJ, Gulati R, et al. Ten-year trends, predictors and outcomes of mechanical circulatory support in percutaneous coronary intervention for acute myocardial infarction with cardiogenic shock. *EuroIntervention*. 2021;16:e1254-e1261.
3. Strom JB, Zhao Y, Shen C, Ferreira JP, Vaduganathan M, Bhatt DL, et al. National trends, predictors of use, and in-hospital outcomes in mechanical circulatory support for cardiogenic shock. *EuroIntervention*. 2018;13:e2152-e2159.
4. Khera R, Cram P, Lu X, Vyas A, Gerke A, Rosenthal GE. Trends in the use of percutaneous ventricular assist devices: analysis of national inpatient sample data, 2007. *JAMA Intern Med*. 2014;174(6):941-950.
5. Krishna M, Zacharowski K. Principles of intra-aortic balloon pump counterpulsation. *Contin Educ Anaesth Crit Care Pain*. 2009;9(1):24-28.
6. Tanaka A, Tuladhar S, Onsager D, Wood K, Durham LA, Fukamachi K. The subclavian intraaortic balloon pump: a compelling bridge device for advanced heart failure. *Ann Thorac Surg*. 2015;100:2151-2157.
7. Trost JC, Hillis LD. Intra-aortic balloon counterpulsation. *Am J Cardiol*. 2006;97:1391-1398.
8. de Jong MM, Lorusso R, Al Awami F, Mariani MA, Morshuis M, Schmid C, et al. Vascular complications following intra-aortic balloon pump implantation: an updated review. *Perfusion*. 2018;33:96-104.

9. Wong ASK, Sin SWC. Short-term mechanical circulatory support (intra-aortic balloon pump, Impella, extracorporeal membrane oxygenation, TandemHeart): A review. *Ann Transl Med.* 2020;8:829.
10. Saito S, Okubo S, Matsuoka T, Nishida T, Ueno H, Takahashi A, et al. Impella – Current issues and future expectations for the percutaneous, microaxial flow left ventricular assist device. *J Cardiol.* 2024;83:228-235.
11. Orvin K, Perl L, Landes U, Vaknin-Assa H, Codner P, Assali A, et al. Percutaneous mechanical circulatory support from the collaborative multicenter Mechanical Unusual Support in TAVI (MUST) Registry. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2021;98:E862-E869.
12. Manzo-Silberman S, Fichet J, Mathonnet A, Pinaud F, Dumas F, Cariou A, et al. Percutaneous left ventricular assistance in post cardiac arrest shock: comparison of intra-aortic blood pump and Impella Recover LP2.5. *Resuscitation.* 2013;84:609-615.
13. Vranckx P, Meliga E, de Jaegere P, van Domburg RT, Serruys PW. The TandemHeart®, percutaneous transseptal left ventricular assist device: a safeguard in high-risk percutaneous coronary interventions. The six-year Rotterdam experience. *EuroIntervention.* 2008;4(3):385-391.
14. Smith L, Peters A, Mazimba S, Truesdell AG, O'Neill WW, Kapur NK. Outcomes of patients with cardiogenic shock treated with TandemHeart® percutaneous ventricular assist device: Importance of support indication and definitive therapies as determinants of prognosis. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2018;92:1173-1181.
15. Kar B, Gregoric ID, Basra SS, Idelchik GM, Loyalka P. The percutaneous ventricular assist device in severe refractory cardiogenic shock. *J Am Coll Cardiol.* 2011;57:688-696.
16. Wood K, Ayers B, Gosev I, Lanfranchi M, Hirose H, Cohn WE, et al. Venoaerterial ECMO without routine systemic anticoagulation decreases adverse events. *Ann Thorac Surg.* 2020;109(5):1458-1466.
17. Ostadal P, Rokyta R, Karasek J, Kruger A, Kovarnik T, Malek F, et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation in the Therapy of Cardiogenic Shock: Results of the ECMO-CS Randomized Clinical Trial. *Circulation.* 2023;147:454-464.
18. Raffa GM, Kowalewski M, Brodie D, Ogino M, Whitman G, Meani P, et al. Meta-Analysis of Peripheral or Central Extracorporeal Membrane Oxygenation in Postcardiomy and Non-Postcardiomy Shock. *Ann Thorac Surg.* 2019;107:311-321.
19. Lorusso R, Barili F, Di Mauro M, Schreiber C, Raffa GM, Makhoul M, et al. In-hospital neurologic complications in adult patients undergoing venoaerterial extracorporeal membrane oxygenation: results from the extracorporeal life support organization registry. *Crit Care Med.* 2016;44:e964-e972.
20. Zangrillo A, Landoni G, Biondi-Zoccai G, Greco M, Greco T, Frati G, et al. A meta-analysis of complications and mortality of extracorporeal membrane oxygenation. *Crit Care Resusc.* 2013;15:172-178.
21. Russo JJ, Aleksova N, Pitcher I, Couture E, Parlow S, Faraz M, et al. Left ventricular unloading during extracorporeal membrane oxygenation in patients with cardiogenic shock. *J Am Coll Cardiol.* 2019;73:654-662.
22. Bernhardt AM, Potapov E, Schibilsky D, Hübler M, Friedrich M, Krabatsch T, et al. First in man evaluation of a novel circulatory support device: Early experience with the Impella 5.5 after CE mark approval in Germany. *J Heart Lung Transplant.* 2021;40:850-855.
23. Gonzalez MH, Acharya D, Lee S, Greenberg JW, Sinha SS, Mangi AA, et al. Improved survival after heart transplantation in patients bridged with extracorporeal membrane oxygenation in the new allocation system. *J Heart Lung Transplant.* 2021;40:149-157.
24. Chioncel O, Parissis J, Mebazaa A, Harjola VP, Coats AJS, Papp Z, et al. Epidemiology, pathophysiology and contemporary management of cardiogenic shock – A position statement from the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology. *Eur J Heart Fail.* 2020;22:1315-1341.
25. Khan SU, Khan MZ, Alkhouli M. Trends of Clinical Outcomes and Health Care Resource Use in Heart Failure in the United States. *J Am Heart Assoc.* 2020;9:e016782.
26. Moller JE, Engstrom T, Jensen LO, Schmidt H, Frandsen NJ, Andersen HR, et al. Microaxial Flow Pump or Standard Care in Infarct-Related Cardiogenic Shock. *N Engl J Med.* 2024;390:1382-1393.
27. Laghnam D, Benghanem S, Ortuno S, Arnaout M, Mongardon N, Tuil D, et al. Management of cardiogenic shock: A narrative review. *Ann Intensive Care.* 2024;14:45.

## ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТИМЧАСОВОЇ МЕХАНІЧНОЇ ПІДТРИМКИ КРОВООБІГУ ПРИ КАРДІОГЕННМУ ШОЦІ ПОВ'ЯЗАНОМУ З СЕРЦЕВОЮ НЕДОСТАТНІСТЮ

Василів М. С., Садова-Чуба З. Т., Гарбар М. О.

**Резюме.** Кардіогенний шок (КШ), що розвивається у пацієнтів з гострим інфарктом міокарда (ГІМ) та прогресуючою серцевою недостатністю (СН), досі залишається провідною причиною смертності в цій категорії хворих. Стабілізація гемодинаміки у таких пацієнтів становить значну клінічну проблему й часто вимагає застосування додаткових методів підтримки. Тимчасова механічна підтримка кровообігу (МПК) стала важливою складовою сучасного лікування КШ. Розуміння особливостей кожного з пристроїв МПК має ключове значення для їх ефективного використання в різних клінічних сценаріях, що, у свою чергу, сприяє покращенню надання медичної допомоги та підвищенню виживаності пацієнтів.

Мета дослідження – розглянути різні варіанти сучасних методів тимчасової механічної підтримки кровообігу, порівняти їх доступність, переваги та недоліки із джерел сучасної літератури для оптимізації інтенсивної терапії пацієнтів з гострою серцевою недостатністю.

Було використано бібліосемантичний, порівняльний та метод системного аналізу. Результати цього дослідження розроблені на даних аналізу сучасної літератури, результатах рандомізованих досліджень та мета-аналізів, присвячених вивченню сучасних методів тимчасової механічної підтримки кровообігу.

Використання пристроїв МПК у пацієнтів з прогресуючою серцевою недостатністю що не реагують на звичайне ведення інтенсивної терапії, забезпечує підтримку і стабілізацію гемодинаміки та збільшує відсоток виживання пацієнтів. Замість того, щоб сприймати ці пристрої як конкурентні технології, важливо розуміти кожен пристрій окремо, щоб скористатися їх унікальними властивостями в різних клінічних ситуаціях. Раннє використання пристроїв МПК при КШ асоціюється з кращими результатами, оскільки вони зменшують негативний вплив системної гіперперфузії на органи-мішені та інотропів/вазопресорів на споживання кисню та мікроциркуляцію міокарда.

**Ключові слова:** кардіогенний шок, тимчасова механічна підтримка кровообігу, інтрааортальна балонна контрапульсація, Impella, Tandem Heart, екстракорпоральна мембранна оксигенація.

## OVERVIEW OF CONTEMPORARY METHODS OF TEMPORARY MECHANICAL CIRCULATORY SUPPORT IN CARDIOGENIC SHOCK ASSOCIATED WITH HEART FAILURE

Vasylyiv M. S., Sadova-Chuba Z. T., Harbar M. O.

**Abstract.** Cardiogenic shock (CS), which develops in patients with acute myocardial infarction (AMI) and progressive heart failure (HF), remains a leading cause of mortality in this category of patients. Hemodynamic

stabilization in such cases presents a significant clinical challenge and often requires additional supportive strategies. Temporary mechanical circulatory support (MCS) has become an important component of modern CS management. Understanding the characteristics of each MCS device is crucial for their effective use in various clinical scenarios, which in turn contributes to improved medical care and increased patient survival.

The aim of the study – to explore the current options for temporary mechanical circulatory support, compare their availability, advantages, and disadvantages based on contemporary literature, in order to optimize intensive therapy in patients with acute heart failure.

We used bibliosemantic, comparative, and systems analysis methods. The results of this study are based on an analysis of current literature, randomized clinical trials, and meta-analyses focused on modern methods of temporary mechanical circulatory support.

The use of MCS devices in patients with progressive heart failure who do not respond to conventional intensive care ensures hemodynamic support and stabilization and increases survival rates. Instead of perceiving these devices as competing technologies, it is important to understand each device individually in order to benefit from their unique properties in different clinical situations. Early use of MCS devices in CS is associated with better outcomes, as they reduce the negative impact of systemic hypoperfusion on target organs and the effects of inotropes/vasopressors on oxygen consumption and myocardial microcirculation.

**Key words:** cardiogenic shock, temporary mechanical circulatory support, intra-aortic balloon counterpulsation, Impella, TandemHeart, extracorporeal membrane oxygenation.

### ORCID and contributionship / ORCID кожного автора та їх внесок до статті:

Vasylyv M. S.: <https://orcid.org/0000-0003-0686-7601><sup>ABCDE</sup>

Sadova-Chuba Z. T.: <https://orcid.org/0000-0002-9965-9723><sup>EF</sup>

Harbar M. O.: <https://orcid.org/0000-0003-0749-6427><sup>EF</sup>

### Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

The authors declare no conflict of interest. / Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

### Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Vasylyv Marta Stepanivna / Василів Марта Степанівна

Danylo Halutsky Lviv National Medical University / Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького

Ukraine, 79010, Lviv, 7 Chernihivska str. / Адреса: Україна, 79010, м. Львів, вул. Чернігівська 7

Tel.: +380673727967 / Тел.: +380673727967

E-mail: [vasyliv.marta@gmail.com](mailto:vasyliv.marta@gmail.com)

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis, C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article, E – Critical review, F – Final approval of the article / A – концепція роботи та дизайн, B – збір та аналіз даних, C – відповідальність за статичний аналіз, D – написання статті, E – критичний огляд, F – остаточне затвердження статті.

Received 19.01.2025 / Стаття надійшла 19.01.2025 року

Accepted 30.04.2025 / Стаття прийнята до друку 30.04.2025 року

DOI 10.29254/2077-4214-2025-2-177-25-34

UDC 611.73:612.22+612.12(045)

Korman Sh.-A. S., Lukyantseva H. V.

## ULTRASTRUCTURAL MECHANISMS OF ADAPTATION OF THE OXYGEN TRANSPORT SYSTEM TO MUSCULAR WORK

National University of Physical Education and Sport of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

[lukyantseva@gmail.com](mailto:lukyantseva@gmail.com)

*Muscular work is a key stimulus for multilevel remodeling of the human body, particularly in tissues forming the oxygen transport system. These changes enable the organism to meet increased metabolic demands. Ultrastructural adaptations provide the morphofunctional basis for efficient oxygen transport, diffusion, and utilization.*

*The aim is to summarize current data on the structural mechanisms of adaptation in the heart, lungs, skeletal muscles, and vascular endothelium under physical activity of varying types, intensities, and durations, based on a review of scientific literature.*

*This article summarizes key morphological and functional changes in the oxygen transport system during muscular work. Regular exercise induces mitochondrial hypertrophy and proliferation in skeletal muscles and cardiomyocytes, reflecting enhanced aerobic metabolism. Capillary density increases around muscle fibers, improving oxygen diffusion. Adaptations also include greater secretory activity of atrial cardiomyocytes, endothelial hyperplasia, and remodeling of alveolar type II cells involved in surfactant synthesis. These changes reflect integrated structural-functional mechanisms. Special attention is paid to differences between adaptive responses in trained individuals and destructive reactions under excessive or inappropriate loads in untrained organisms, emphasizing the need for personalized training programs.*