

Mechaniczne wspomaganie krążenia

Wspólna opinia ekspertów Asocjacji Intensywnej Terapii Kardiologicznej oraz Asocjacji Interwencji Sercowo-Naczyniowych Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego

Agnieszka Tycińska^{1*}, Marek Grygier^{2*}, Jan Biegus³, Tomasz Czarnik⁴, Maciej Dąbrowski⁵, Rafał Depukat⁶, Marek Gierlotka⁷, Monika Gil¹, Michał Hawranek⁸, Tomasz Hirnle⁹, Marek Jemielity¹⁰, Bogusław Kapelak^{11,12}, Paweł Kralisz¹³, Wiktor Kuliczkowski³, Mariusz Kuśmierczyk¹⁴, Marcin Ligowski¹⁰, Paulina Łopatowska¹, Mateusz Puślecki^{10,15}, Andrzej Świętkowski¹⁶, Przemysław Trzeciak⁸, Barbara Zawiaślak¹⁷, Michał Zembala^{18,19}, Robert Zymliński³

Recenzenci: Wojciech Wojakowski²⁰, Marek A. Deja²¹

¹Klinika Kardiologii, Uniwersytet Medyczny w Białymstoku

²Katedra Kardiologii, Uniwersytet Medyczny w Poznaniu

³Instytut Chorób Serca, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu

⁴Klinika Anestezjologii i Intensywnej Terapii, Instytut Nauk Medycznych, Uniwersytet Opolski

⁵Klinika Kardiologii Interwencyjnej i Angiologii, Narodowy Instytut Kardiologii, Warszawa

⁶Oddział Anestezjologii i Intensywnej Terapii, Szpital Uniwersytecki w Krakowie

⁷Klinika Kardiologii, Instytut Nauk Medycznych, Uniwersytet Opolski

⁸III Katedra Kardiologii, Wydział Nauk Medycznych w Zabrze, Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Śląskie Centrum Chorób Serca w Zabrze

⁹Klinika Kardiologii, Uniwersytet Medyczny w Białymstoku

¹⁰Oddział Kardiologii i Transplantologii, Uniwersytet Medyczny w Poznaniu

¹¹Szpital im. Jana Pawła II w Krakowie

¹²Klinika Chirurgii Serca Naczyń i Transplantologii, Instytut Kardiologii *Collegium Medicum*, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

¹³Klinika Kardiologii Inwazyjnej, Uniwersytet Medyczny w Białymstoku

¹⁴Narodowy Instytut Kardiologii, Warszawa

¹⁵Katedra Medycyny Ratunkowej, Uniwersytet Medyczny w Poznaniu

¹⁶Oddział Kliniczny Kardiologii, I Oddział Kardiologii i Angiologii, Śląskie Centrum Chorób Serca w Zabrze

¹⁷Oddział Intensywnego Nadzoru Kardiologicznego, Szpital Uniwersytecki w Krakowie

¹⁸Oddział Kardiologii, Transplantacji Serca i Płuc oraz Mechanicznego Wspomagania Krążenia, Śląskie Centrum Chorób Serca w Zabrze

¹⁹Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie

²⁰Klinika Kardiologii i Chorób Strukturalnych Serca, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

²¹Katedra i Klinika Kardiologii, Wydział Nauk Medycznych w Katowicach, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

*Autorzy przyczynili się do powstania pracy w równym stopniu.

Jak cytować / How to cite:

Tycińska A, Grygier M, Biegus J, et al. Mechanical circulatory support. An expert opinion of the Association of Intensive Cardiac Care and Association of Cardiovascular Interventions of the Polish Cardiac Society. *Kardiologia Polska*. 2021; 79(12), doi: 10.33963/KPa2021.0169

Adres do**korespondencji:**

prof. dr hab. n. med.
Agnieszka Tycińska,
Klinika Kardiologii,
Uniwersytet Medyczny
w Białymstoku,
M. Skłodowskiej-Curie 24a,
15-276 Białystok,
e-mail: agnieszka.
tycinska@gmail.com

Copyright © Polskie
Towarzystwo
Kardiologiczne, 2021

STRESZCZENIE

Metody mechanicznego wspomagania krążenia (MCS, *mechanical circulatory support*) znajdują zastosowanie u chorych zarówno z ostrą, jak i przewlekłą postacią niewydolności serca, u których wyczerpano możliwości leczenia farmakologicznego lub zabiegowego. Ich celem jest częściowe lub całkowite wsparcie komór serca i zapewnienie należytnej perfuzji narządowej, co pozwala przywrócić pacjentom pełną wydolność układu krążenia, przedłużając życie i skutecznie podnosząc jego dotychczasową jakość. Trzy najpopularniejsze urządzenia to kontrapulsacja wewnątrzaoortalna (IABP, *intra-aortic balloon pump*), przeszskórne urządzenia wspomagające (m.in. Impella, TandemHeart), a także żyłno-tętnicze pozaustrojowe natlenianie membranowe (VA-ECMO, *venoarterial extracorporeal membrane oxygenation*). Ustalenie strategii postępowania, wybór metody wspomaganie oraz czasu jej użycia wymaga multidyscyplinarnego podejścia z udziałem Kardiogrupy. Opublikowane dotychczas badania naukowe nie pozwalają jednoznacznie określić, która metoda MCS jest najbezpieczniejsza i najbardziej skuteczna. Doświadczenie ośrodka oraz dostępność wydają się mieć obecnie największe znaczenie. Mechaniczne wspomaganie krążenia znajduje szczególne zastosowanie u pacjentów z ostrymi zespołami wieńcowymi powikłanymi opornym na leczenie wstrząsem kardiogennym, a także u pacjentów z ostrą niewydolnością serca o dużym potencjale odwracalności. Mogą również służyć jako zabezpieczenie przeszskórnych interwencji wieńcowych wysokiego ryzyka (CHIP, *complex and high-risk indicated*; PCI, *percutaneous coronary intervention*). Niezwykle istotne przy prowadzeniu pacjenta z użyciem MCS jest zastosowanie odpowiednich leków wspomagających, precyzyjne monitorowanie hemodynamiczne i echokardiograficzne, a także optymalna wentylacja nieinwazyjna lub mechaniczna. Do najpoważniejszych powikłań MCS należą krwawienia, incydenty zakrzepowo-zatorowe, a także infekcje i hemoliza.

Słowa kluczowe: mechaniczne wspomaganie krążenia — rodzaj i czas stosowania, wskazania i powikłania, monitorowanie hemodynamiczne i echokardiograficzne, podejście multidyscyplinarne, wentylacja i farmakoterapia

WSTĘP

Już od ponad dwóch dekad poszukujemy nowych, dodatkowych sposobów farmakoterapii, wpływających na redukcję utrzymującej się wysokiej śmiertelności, która w przebiegu wstrząsu kardiogennego (CS, *cardiogenic shock*) i ostrej niewydolności krążeniowo-oddechowej sięga 40%–50%. Dlatego kolejnym krokiem jest rozwój innych metod leczenia, jak mechanicznie wspomaganie krążenia (MCS, *mechanical circulatory support*). Niestety, obecnie nie dysponujemy wystarczającą liczbą badań naukowych oraz jednoznacznych danych odnośnie do wyboru sposobu MCS, a także jasnymi wytycznymi, kiedy zastosować tego typu wspomaganie.

Wieloczynnikowa stratyfikacja strat/ryzyka i ewentualnych korzyści z zastosowania MCS wymaga multidyscyplinarnego podejścia Kardiogrupy, składającej się z kardiologa ogólnego, inwazyjnego, intensywyisty, kardiochirurga oraz innych specjalistów, jeżeli sytuacja kliniczna tego wymaga. Współcześnie stosowane systemy MCS, dzięki zaawansowanym rozwiązaniom technologicznym, pozwalają przywrócić chorym pełną wydolność układu krążenia, przedłużając życie i skutecznie podnosząc jego dotychczasową jakość. Wytyczne postępowania amerykańskich i europejskich towarzystw naukowych wskazują na zasadność stosowania MCS u chorych zarówno z ostrą, jak i przewlekłą postacią niewydolności krążenia, u których wyczerpano możliwości leczenia farmakologicznego lub zabiegowego, celem częściowego lub całkowitego wsparcia komór serca i zapewnienia należytnej perfuzji narządowej. Strategia postępowania powinna być zależna od etiologii choroby,

chorób współistniejących, wywiadu socjalnego i rodzinnego, ale także od doświadczenia ośrodka. Wybór metody wspomaganie krótko-, średnio- czy długoterminowego rodzaju wsparcia i jego zakresu zależy przede wszystkim od stanu chorego w momencie podejmowanej decyzji oraz planu leczenia docelowego. Dla części chorych MCS będzie terapią pomostową do transplantacji lub do kandydowania do przeszczepienia, dla innych — terapią tymczasową do oczekiwanej regeneracji serca (pomost do poprawy). Dla chorych z przeciwwskazaniami do transplantacji serca (OHT, *orthotopic heart transplantation*) — terapią docelową, a dla chorych z ostrą niewydolnością krążenia powikłaną nagłym zatrzymaniem krążenia i niepewnym rokowaniem — pomostem do dalszych decyzji.

W poniższym stanowisku ekspertów omówiono aktualne sposoby MCS, a także postępowanie z pacjentami na oddziałach intensywnej terapii kardiologicznej, którzy wymagają takiej terapii.

KWALIFIKACJA CHORYCH DO MECHANICZNEGO WSPOMAGANIA KRĄŻENIA

Wstrząs kardiogeny w przebiegu ostrego zespołu wieńcowego

W ostrych zespołach wieńcowych wskazania do zastosowania MCS obejmują przede wszystkim CS w przebiegu świeżego zawału serca opornego na leczenie farmakologiczne. Dostępnych jest wiele urządzeń, ale trzy najpopularniejsze to kontrapulsacja wewnątrzaoortalna (IABP, *intra-aortic*

balloon pump), przeszskórne urządzenia wspomagające — Impella, TandemHeart i inne, a także żylno-tętnicze pozaustrojowe natlenianie membranowe (VA-ECMO, *veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation*). Mogą być one stosowane w różnych konfiguracjach, samodzielnie lub w połączeniu ze sobą i mogą zapewniać wsparcie prawej i/lub lewej komory serca. Według aktualnych wytycznych Europejskiego Towarzystwa Kardiologicznego (ESC, *European Society of Cardiology*), u pacjentów z CS opornym na leczenie lekami wazopresyjnymi/inotropowymi należy rozważyć wczesne krótkoterminowe wspomaganie MCS jako pomostowanie do poprawy lub do dalszych decyzji o długoterminowym zastosowaniu MCS, przeszczepieniu serca lub zaprzestaniu terapii [1, 2]. Zastosowanie IABP można rozważyć u pacjentów z CS jako leczenie mechanicznego powikłania ostrego zawału serca lub jako pomost do decyzji o długotrwałym MCS lub przeszczepieniu serca. Rutynowe zastosowanie IABP u pacjentów z CS po zawale serca nie jest jednak zalecane.

Przeprowadzone dotychczas badania, zarówno obserwacyjne, jak i randomizowane, nie wykazały ewidentnych korzyści z zastosowania MCS w zakresie poprawy przeżycia u chorych we wstrząsie zawałowym. Dlatego też w chwili obecnej, czekając na wyniki kolejnych badań, wydaje się, że najwłaściwszym podejściem do wyboru i zastosowania MCS jest stworzenie w każdym z ośrodków szczegółowego protokołu postępowania u chorych z CS w przebiegu świeżego zawału serca. Wydaje się, że optymalnym momentem wdrożenia MCS jest „klasyczny” CS (stadium C według klasyfikacji *Society for Cardiovascular Angiography and Interventions*), w tym stężenia mleczanów >2 mmol/l, jeszcze przed wystąpieniem objawów zaawansowanej niewydolności wielonarządowej. Co do wyboru pomiędzy przeszskórnym urządzeniem wspomagającym i VA-ECMO decydować powinno w pierwszej kolejności doświadczenie ośrodka, związane zarówno z podłączeniem urządzenia, jak i prowadzeniem chorych w trakcie MCS w warunkach oddziału intensywnej terapii kardiologicznej oraz, w drugiej kolejności, dostępność metody.

Ostra niewydolność serca

Według najnowszych wytycznych ESC krótkoterminowe zastosowanie urządzeń do MCS może być konieczne u pacjentów z ostrą niewydolnością serca (AHF, *acute heart failure*) w celu zwiększenia rzutu serca i poprawy perfuzji narządów [2]. Krótkoterminowe zastosowanie MCS można rozważyć jako pomost do poprawy lub pomost do dalszych decyzji [2]. Ostatnie badania wykazały, że w przypadku wczesnej implantacji urządzeń do MCS, zastosowanie ustalonych algorytmów standardowego postępowania opartego na podejściu zespołowym wraz ze szczegółowym monitorowaniem pacjenta (inwazyjne monitorowanie hemodynamiczne, pomiar stężenia mleczanów, wskaźniki niewydolności narządowej) może się wiązać z poprawą przeżycia [3].

W pierwszej kolejności MCS należy rozważyć u pacjentów z AHF/CS w przypadkach o dużym potencjale odwracalności, na przykład w przebiegu zapalenia mięśnia sercowego, kardiomiopatii połogowej czy zespołu takotsubo [2]. Trudność polega na wyborze rodzaju urządzenia, gdyż brak jest przekonujących danych z dużych badań randomizowanych. Mimo że wytyczne nie zalecają IABP do rutynowego stosowania w CS [2], można rozważyć zastosowanie tej metody u pacjentów z niestabilnością hemodynamiczną, zwłaszcza o etiologii poza niedokrwienną i w przypadku braku odpowiedzi na leczenie, jako pomost do poprawy lub pomost do dalszych decyzji. Małe randomizowane badania porównujące IABP z innymi urządzeniami do krótkotrwałego MCS nie przyniosły jednoznacznych wyników [4]. W CS urządzenia Impella i TandemHeart przynoszą większe korzyści hemodynamiczne niż IABP, jednak nie przekłada się to na zwiększenie przeżywalności [5] i IABP nadal pozostaje najczęściej stosowanym MCS. Brakuje wysokiej jakości dowodów dotyczących zastosowania Impelli w CS o innej etiologii niż świeży zawał serca.

Wysoki stopień obukomorowego wspomagania krążenia w szerokim spektrum sytuacji klinicznych zapewnia VA-ECMO, dlatego jest coraz częściej MCS pierwszego wyboru [6, 7]. Istnieją dane wskazujące na korzyści płynące ze stosowania VA-ECMO w połączeniu z IABP u pacjentów z CS w postaci zmniejszenia śmiertelności oraz możliwości szybszego odłączenia ECMO [8]. Również zastosowanie Impelli u pacjentów z VA-ECMO (ECMELLA) może poprawić wyniki leczenia [9]. Ponadto MCS (ECMO, Impella RP) można rozważyć również w izolowanej ostrej niewydolności prawej komory [10, 11].

KRÓTKOTRWAŁE MECHANICZNE WSPOMAGANIE KRĄŻENIA W ZABIEGACH KARDIOLOGII INTERWENCYJNEJ

Przeszkórne mechaniczne wspomaganie lewej komory (LVAD, *left ventricular assist device*) w zabiegach kardiologii interwencyjnej jest stosowane zarówno ze wskazań pilnych, jak i planowych. Wskazania pilne wynikają ze stanu klinicznego i opisano je we wcześniejszych rozdziałach niniejszego dokumentu. Dotyczą one przed wszystkim pacjentów z CS lub ostrą niewydolnością serca o podłożu niedokrwiennym, wymagających jednocześnie interwencji w zakresie tętnic wieńcowych.

Konieczność stosowania urządzeń wspomagających pracę lewej komory w trakcie planowych zabiegów kardiologii interwencyjnej wynika ze zmieniającej się charakterystyki pacjentów poddawanych przeszskórnym interwencjom wieńcowym (PCI, *percutaneous coronary intervention*). Ujednoliconej definicji przeszskórnych interwencji wysokiego ryzyka (CHIP, *complex and high-risk indicated PCI*) do tej pory nie opracowano. Niemniej jednak, w ostatnich latach wyodrębniono szereg czynników, które wiążą się ze zwiększonym ryzykiem zabiegu (tab. 1) [10, 12]. W zaawansowanej chorobie naczyń obwodowych można

Tabela 1. Czynniki związane z przeszskórną interwencją wieńcową wysokiego ryzyka

1. Charakterystyka kliniczna wysokiego ryzyka	2. Charakterystyka anatomiczno-morfologiczna zmian wysokiego ryzyka
<ul style="list-style-type: none"> • Zaawansowany wiek (>75 lat) • Cukrzyca • Niewydolność serca z LVEF $\leq 35\%$ • Ostre zespoły wieńcowe • Przebyta operacja kardiologiczna • Choroby naczyń obwodowych • Zaawansowana przewlekła choroba nerek (GFR <30 ml/min/1,73 m²) • Przewlekła obturacyjna choroba płuc • Współistniejąca ciężka wada zastawki aortalnej lub ciężką niedomykalność zastawki mitralnej 	<ul style="list-style-type: none"> • Niezabezpieczona choroba pnia lewej tętnicy wieńcowej • Zdegenerowane pomosty żyłne • Silnie uwapnione zmiany wymagające rotablacji • Ostatnie drożne naczynie • Przewlekłe okluzje, zwłaszcza u pacjentów z chorobą wielonaczyniową
3. Stan hemodynamiczny pacjenta	

Skróty: GFR (glomerular filtration rate), współczynnik filtracji kłębuszkowej; LVEF (left ventricular ejection fraction), frakcja wyrzutowa lewej komory

rozważyć alternatywny dostęp naczyniowy, na przykład z wykorzystaniem tętnicy podobojczykowej lub pachowej. Zastosowanie pompy osiowej jest przeciwwskazane u pacjentów z zaawansowanym zwężeniem zastawki aortalnej lub umiarkowanym/zaawansowanym stopniem niedomykalności zastawki aortalnej. Kwalifikacja do zastosowania przeszskórnego LVAD w trakcie CHIP powinna odbywać się z ramach Kardiogrupy. W dyskusji należy uwzględnić wielkość rzutu serca, schorzenia współistniejące, czas trwania wspomagania, ryzyko zdarzeń krwotocznych oraz niedokrwiennych związanych z planowaną interwencją wieńcową i stosowanym urządzeniem, w tym ryzyko powikłań miejscowych.

Powikłania miejscowe (krwawienia, krwiaki, niedokrwienie kończyny) stanowią istotne ograniczenie stosowania przeszskórnego LVAD. Dlatego też istotne jest prawidłowe wykonanie wkłucia oraz właściwe zabezpieczenie hemostazy po zabiegu. Należy pamiętać, że ryzyko powikłań rośnie wraz z czasem trwania wsparcia lewej komory. Dlatego w przypadku planowych zabiegów CHIP optymalne jest usunięcie urządzenia po zakończeniu zabiegu. Rodzaje dostępnych przeszskórnych urządzeń, porównanie ich cech i wpływu na hemodynamikę przedstawiono w tabeli 2.

ŚREDNIO- I DŁUGOTERMINOWE MECHANICZNE WSPOMAGANIE KRĄŻENIA

Głównie ze względu na bardzo dobre odległe wyniki leczenia OHT pozostaje wciąż terapią z wyboru dla chorych cierpiących z powodu krańcowej niewydolności serca. Mechaniczne wspomaganie krążenia, w szczególności pompy centryfugalne o przepływie ciągłym wspomagające lewą komorę serca, dzięki bardzo zaawansowanej technologii, pozwalają dziś na uzyskanie wyników leczenia porównywalnych z OHT w obserwacji nawet 5-letniej. Biorąc pod uwagę ograniczoną liczbę dawców narządów, różnice między strategią „pomostowania do transplantacji” a „leczeniem docelowym” coraz mocniej się zacierają, a tendencja ta będzie coraz silniej

zaznaczona w przyszłości. W tabeli 3 podsumowano MCS jako pomost do OHT.

NATLENIANIE MEMBRANOWE Z PUNKTU WIDZENIA KARDIOLOGA INTERWENCYJNEGO, INTENSYWISTY ORAZ KARDIOCHIRURGA

Punkt widzenia kardiologa interwencyjnego

W kardiologii interwencyjnej dominuje zgodna opinia o potrzebie dysponowania skutecznym mechanicznym urządzeniem MCS w dwóch sytuacjach klinicznych: w trakcie PCI w zawale serca powikłanym CS oraz podczas CHIP. Od czasu opublikowania wyników badania IABP-SHOCK II, które pokazało istotne ograniczenia IABP, nastąpił wzrost zainteresowania i wykorzystania innych niż kontrapulsacja wewnątrzaoortalna urządzeń MCS, w tym VA-ECMO [13, 14].

Żylna-tętnicza pozaustrojowe natlenianie membranowe to technika wywodząca się z kardiologii, która stała się niezbędnym elementem nowoczesnej intensywnej terapii. W Polsce znakomita większość urządzeń znajduje się na oddziałach kardiologii i intensywnej terapii, poza pracownią hemodynamiki. Czas uznawany jest za kluczowy czynnik w interwencyjnym leczeniu zawału serca z uniesieniem odcinka ST oraz CS. Uruchomienie VA-ECMO w pracowni hemodynamiki wymaga jednak podejmowania natychmiastowych decyzji oraz świetnej współpracy wewnątrzszpitalnej, opartej na prostych i klarownych algorytmach postępowania. Niestety wykorzystanie VA-ECMO jest utrudnione przez brak wytycznych. Ponadto przedłużone zastosowanie VA-ECMO u pacjentów z CS zwiększa obciążenie następcze, a u niektórych pacjentów brak opróżnienia lewej komory skutkuje jej postępującym przeciążeniem, które prowadzi do ostrej niewydolności lewokomorowej. W takich przypadkach konieczne jest przeszskórne uzupełniające lub pomocnicze odciążanie lewego serca za pomocą pompy osiowej (tj. Impella), co może się przełożyć na poprawę przeżywalności oraz obniżenie odległego ryzyka niewydolności

Tabela 2. Porównanie właściwości technicznych i klinicznych najczęściej stosowanych urządzeń wspomagających krążenie wprowadzanych drogą przezskórną

Cechy	IABP	VA-ECMO	Impella (2.5, CP, 5.0, 5.5)	iVAC 2L	TandemHeart
Napływ/wypływ	Aorta	Prawy przedsionek — aorta	Lewa komora — aorta	Lewa komora — aorta	Lewa komora — aorta
Mechanizm działania	Pneumatyczny	Przepływ centryfugalny	Przepływ osiowy	Przepływ pulsacyjny	Przepływ centryfugalny
Miejsce i sposób wprowadzenia	Tętnica udowa/ /przezskórnie	Tętnica i żyła udowa/ /przezskórnie	Tętnica udowa/ /przezskórnie	Tętnica udowa/ /przezskórnie	Tętnica i żyła udowa/ /przezskórnie
Rozmiar koszulki (F)	7–8	Żyłna: 17–21 Tętnicza: 16–19	14–21	17	Żyłna: 21 Tętnicza: 12–19
Osiągany przepływ maksymalny, l/min	0,3–0,5	7,0	3,7–5,5	2,8	4,0
Czas trwania wspomagania	2–5 dni	7–10 dni	6 h–10 dni	6 h–10 dni	do 14 dni
Zależność od funkcji lewej komory	+	–	–	–	–
Synchronia z pracą serca	+	–	–	–	–
Odbarczanie lewej komory	+	–	+++	+	+++
Obciążenie następcze (afterload)	↓	↑↑	↓	↓	↑
MAP	↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
Wskaźnik sercowy	↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑	↑↑↑
PCWP	↓	↔	↓↓	↓	↓↓
LVEDP	↓	↔	↓↓	↓↓	↓↓↓
Perfuzja naczyń wieńcowych	↑	↔	↑	↑	↔
Zapotrzebowanie mięśnia sercowego na tlen	↓	↔	↓↓	↓↓	↓↔
Trudność założenia i prowadzenia chorego na wspomaganie	+	+++	++	++	+++
Potencjalne powikłania	Niedokrwienie kończyn dolnych; krwawienie	Niedokrwienie kończyn dolnych; krwawienie; hemoliza	Hemoliza; niedokrwienie kończyn dolnych; krwawienie	Hemoliza; niedokrwienie kończyn dolnych; krwawienie	Hemoliza; niedokrwienie kończyn dolnych; krwawienie
Przeciwwskazania do zastosowania	Niedomykalność aortalna umiarkowana do ciężkiej, krytyczne zwężenie tętnic biodrowych/ /udowych	Niedomykalność aortalna umiarkowana do ciężkiej, krytyczne zwężenie tętnic biodrowych/udowych, przeciwwskazania do antykoagulacji	Ciężka wada aortalna, mechaniczna zastawka aortalna, skrzeplina w lewej komorze, krytyczne zwężenie tętnic biodrowych/ /udowych, przeciwwskazania do antykoagulacji	Ciężka wada aortalna, mechaniczna zastawka aortalna, skrzeplina w lewej komorze, krytyczne zwężenie tętnic biodrowych/ /udowych, przeciwwskazania do antykoagulacji	Niedomykalność aortalna umiarkowana do ciężkiej; skrzeplina w lewym przedsionku, krytyczne zwężenie tętnic biodrowych/ /udowych, przeciwwskazania do antykoagulacji

Skróty: IABP (*intra-aortic balloon pump*), kontrapulsacja wewnątrzortalna; LV (*left ventricular*), lewa komora; LVEDP (*left ventricular end-diastolic pressure*), ciśnienie końcowo-rozkurczowe lewej komory; MAP (*mean arterial pressure*), średnie ciśnienie tętnicze; PCWP (*pulmonary capillary wedge pressure*), ciśnienie zaklinowania w kapilarach płucnych; VA-ECMO (*venoarterial extracorporeal membrane oxygenation*), żyłno-tętnicze pozaustrojowe natlenianie membranowe

serca spowodowanej przeciążeniem lewej komory. Jednak zastosowanie takiej strategii MCS u pacjentów z CS wiąże się z dodatkowym ryzykiem, zwłaszcza powikłań naczyniowych. Krwawienie do przestrzeni zaotrzewnowej, rozerwanie tętnicy udowej spowodowane użyciem kaniuli o dużej średnicy oraz niedokrwienie kończyny wiąże się z częstszą koniecznością wykonania transfuzji krwi oraz większym ryzykiem ostrego uszkodzenia nerek. Dlatego zdecydowanie zaleca się, aby zabieg został przeprowadzony z udziałem chirurga naczyniowego oraz z użyciem odpowiednich urządzeń zabezpieczających. Podsumowując, należy podkreślić, że podejście łączone jest bardzo złożone, ale też opłacalne z punktu widzenia kosztów, jednak liczba badań potwierdzających te korzyści jest ograniczona [9, 15].

Podjęcie decyzji, czy pacjent wymaga wspomaganie hemodynamicznego podczas CHIP, nie jest łatwe, zaś powszechnie stosowane systemy oceny ryzyka (Euroscore II, Syntax I i II) mają niewielką, jedynie pomocniczą wartość. Z jednej strony należy rozważyć indywidualną charakterystykę pacjenta, czyli choroby współistniejące, funkcję lewej komory, przebyte rewaskularyzacje, oczekiwany czas i stopień złożoności interwencji wieńcowej, z drugiej strony trzeźwo i rzeczowo ocenić możliwości zabiegowe w bardzo trudnych sytuacjach (rotablacja, leczenie przewlekłego zamknięcia tętnicy wieńcowej czy dystalnego pnia lewej tętnicy wieńcowej). W tym miejscu należy wspomnieć o powikłaniu, jakim jest niedokrwienie kończyny oraz możliwości jego zapobiegania (zarówno Impella, jak i ECMO) poprzez nakłucie tętnicy techniką *antegrade* poniżej miej-

Tabela 3. Mechaniczne wspomaganie krążenia jako pomost do transplantacji

Wskazania do implantacji u chorych	Kiedy?	Przewidywany czas wspomagania mechanicznego	
MCS jako pomost do transplantacji			
<p>1. Zakwalifikowanych do OHT, z przewidywanym dłuższym czasem oczekiwania na serce dawcy (np. masa ciała >100 kg, grupa krwi np. B), z częstymi okresami dekomensacji (INTERMACS 4) lub hospitalizacji wymagających podaży leków inotropowych (INTERMACS 3)</p> <p>2. Z kardiomiopatią rozstrzeniową lub niedokrwienną, w której uszkodzeniu (i rozstrzeni) uległa lewa komora serca, a funkcja skurczowa prawej komory jest prawidłowa lub nieznacznie upośledzona</p> <p>3. U których nie ma przeciwwskazań do długotrwałej terapii przeciwwkrzepliwiej z zastosowaniem VKA i przeciwpyłtkowej z zastosowaniem ASA, z dobrym wsparciem rodziny lub bliskich, samodzielnych i nieznacznie ograniczonych w codziennym funkcjonowaniu</p>	<p>1. U chorego zakwalifikowanego do OHT w trybie pilnym, implantacje MCS należy rozważyć po określonym czasie oczekiwania na narząd, zdefiniowanym przez <i>Heart Failure Heart Team</i> i zależnym od hemodynamicznego stanu chorego, etiologii chorób oraz technicznej możliwości implantacji MCS. Jeśli chory jest hemodynamicznie stabilny, na inotropowym wsparciu farmakologicznym lub krótko/średniodługotrwałym mechanicznym wspomaganiu krążenia czas oczekiwania nie powinien przekraczać 2 tygodni</p> <p>2. W przypadku chorych zakwalifikowanych do OHT w trybie pilnym, z groźnymi zaburzeniami rytmu lub z eskalacją amin katecholowych — implantacja urządzenia powinna być wykonana w ciągu 48–72 godzin</p> <p>3. W przypadku chorych zakwalifikowanych do OHT w trybie planowym implantację długoterminowego MCS, preferencyjnie CF-LVAD można rozważyć u chorych, u których szansa na otrzymanie narządu jest niewielka (masa ciała >120 kg)</p> <p>4. W klasie InterMACS 1 (wstrząs kardiogeny) preferuje się implantacje systemów średniodługoterminowych i późniejszą konwersję do długoterminowego wspomagania (LVAD lub TAH) w przypadku braku dawcy narządu w określonym przez zespół transplantacyjny czasie (zwykle w ciągu 10–30 dni)</p>	<p>W tej grupie preferowane są urządzenia umożliwiające długoterminowe wspomaganie układu krążenia wspomagające wyłącznie lewą komorę serca (LVAD). Taka forma leczenia oferuje 2- i 5-letnie przeżycie porównywalne z OHT</p>	
Wskazania do implantacji u chorych	Kiedy?	Przewidywany czas wspomagania mechanicznego	Jaki rodzaj/typ urządzenia zastosować?
Pomost do transplantacji			
<p>Gdy istnieją potencjalnie odwracalne lub wyleczalne przeciwwskazania do przeszczepienia. MCS może służyć jako terapia dająca szansę na wyleczenie choroby towarzyszącej, np. nadciśnienie płucne, wcześniej zdiagnozowany nowotwór lub stan po leczeniu onkologicznym w czasie mniejszym niż 5 lat od zabiegu/leczenia</p>	<p>U chorych stabilnych hemodynamicznie, w klasach INTERMACS 3–5. Zabieg zwykle wykonywany jest w trybie planowym. Interwencja powinna być poprzedzona konsultacjami ze specjalistami w dziedzinie, która wymaga terapii, a dalsze leczenie powinno być prowadzone w porozumieniu z ośrodkiem implantującym VAD/przeszczepiającym</p>	<p>Nieznanym, potencjalnie długi</p>	<p>Preferowane jest wspomaganie wyłącznie lewokomorowe (CF-LVAD), długoterminowe. W przypadku konieczności wspomaganie obukomorowego rozwiązaniem jest całkowicie sztuczne serce (TAH) lub VAD do wspomagania dwukomorowego</p>
Pomost do decyzji			
<p>We wstrząsie kardiogenym (INTERMACS 1) lub w przypadku pogorszenia stanu hemodynamicznego lub/i dysfunkcji wielonarządowej pomimo eskalacji leczenia (INTERMACS 2)</p>	<p>Natychmiast w momencie podjęcia decyzji o konieczności wspomaganie układu krążenia, nierzadko podczas reanimacji chorego</p>	<p>Nieznanym, potencjalnie średnio długi</p>	<p>Ze względu na dostępność i szybkość implantacji preferowane są urządzenia do krótkoterminowego wspomaganie — głównie VA-ECMO, lub w przypadku wstrząsu kardiogenego o etiologii potencjalnie odwracalnej — urządzenia średniodługo działające (np. LEVITRONIX)</p>
Pomost do regeneracji			
<p>Z ostrą niewydolnością serca, w której nie doszło do trwałego zniszczenia aparatu kurczliwego i jest możliwe przywrócenie prawidłowej jego funkcji np. MCI, w zatruciach, PPCM, we wstrząsie kardiogenym po operacjach serca czy po przeszczepieniu serca, rzadziej w kardiomiopatii rozstrzeniowej</p>	<p>Decyzję należy podjąć niezwłocznie, gdy wyczerpano możliwości leczenia farmakologicznego</p>	<p>Nieznanym, potencjalnie średniodługi (miesiące) lub rzadziej długi (lata)</p>	<p>Ze względu na dostępność i szybkość implantacji preferowane są urządzenia/systemy do średniodługoterminowego wspomaganie — pompy osiowe typu LEVITRONIX lub pompy pneumatyczne typu Religa czy Berlin Heart (pacjenci pediatryczni). CF-LVAD jest przeciwwskazany lub technicznie niemożliwy do implantacji ze względu na to, że patologia często dotyczy obu komór (zatrucie, <i>myocarditis</i>)</p>
MCS jako terapia docelowa			
<p>Niekwalifikujących się do OHT, najczęściej ze względu na wiek (>70. r.ż.) lub przewlekłe choroby towarzyszące: przewlekła niewydolność nerek, nieodwracalne nadciśnienie płucne, czy też z przeciwwskazaniami do leczenia immunosupresyjnego (nowotwór w wywiadzie) lub z patologiczną otyłością</p>	<p>Preferencyjnie, gdy chory doświadcza objawów niewydolności krążenia z hospitalizacjami przynajmniej 2 razy w roku (INTERMACS 4–5). Zabieg należy wykonać w okresie hemodynamicznej stabilizacji, wcześniej wykonując badania obrazowe przewodu pokarmowego (gastroskopia, kolonoskopia) w celu wykluczenia przeciwwskazań do przewlekłej terapii przeciwwkrzepliwiej</p>	<p>Długoterminowo</p>	<p>Preferowane są całkowicie implantowalne pompy CF-LVAD. TAH nie ma rejestracji w tej strategii postępowania</p>

Skróty: CF-LVAD (*continuous-flow left ventricular assist device*), urządzenie wspomagające pracę lewej komory serca o ciągłym przepływie; LVAD (*left ventricular assist device*), urządzenie wspomagające pracę lewej komory serca; MCS (*mechanical circulatory support*), mechaniczne wspomaganie krążenia; OHT (*orthotopic heart transplantation*), ortotopowa transplantacja serca; TAH (*total artificial heart*), całkowicie sztuczne serce; VAD (*ventricular assist device*), urządzenie wspomagające pracę komór; VA-ECMO (*venoarterial extracorporeal membrane oxygenation*), żylno-tętnicze pozaustrojowe natlenianie membranowe

sca dużego dostępu naczyniowego i połączenia koszulki naczyniowej z drugim dostępem tętniczym, co umożliwi napływ krwi do kończyny. Ważne jest też zabezpieczenie procedury usunięcia urządzenia przez chirurga naczyniowego lub użycie systemu hemostatycznego.

Podstawowe zagadnienia dotyczące wyboru wspomaganiania z punktu widzenia kardiologa inwazyjnego w zależności od sytuacji klinicznej przedstawiono w tabeli 4.

Punkt widzenia intensywisty

Do typowych wskazań ECMO należą: oporny CS, masywny zator płucny, zatrzymanie krążenia, zatrucie lekami kardiotoksycznymi, głęboka hipotermia [16]. Wykazano, że wdrożenie VA-ECMO w trakcie resuscytacji krążeniowo-oddechowej pozwala zwiększyć przeżycie w populacji pacjentów szpitalnych z 20% do 40% [17]. Należy pamiętać, że wdrożenie ECMO nie leczy, daje jedynie więcej czasu na podjęcie interwencji terapeutycznych, mających odwrócić proces, który doprowadził do niewydolności narządu.

Kluczem do skutecznego prowadzenia terapii VA-ECMO jest zachowanie wysokiego poziomu ogólnego intensywnej terapii, realizowanego poprzez ustawiczne szkolenie personelu wraz z analizą efektów terapii i niepowodzeń [18]. Intensywiści w centrum ECMO jest odpowiedzialny za optymalizację przepływów w układzie ECMO i codzienną echokardiograficzną oceną jakości opróżniania lewej komory. Posiadanie gotowego planu odbarczenia lewej komory różnymi metodami wraz z biegłością w prowadzeniu inwazyjnej wentylacji mechanicznej oraz umiejętnością rozpoznania

i niwelacji skutków hipoksemii różnicowej są kolejnymi cechami determinującymi powodzenie terapii VA-ECMO [19]. W celu odbarczenia lewej komory podczas VA-ECMO najczęściej wykorzystuje się IABP, przeszskórne LVAD (Impella), septostomię przedsionkową lub bezpośrednie chirurgiczne odciążenie LV. Ostatnim istotnym elementem pozostaje wiedza z zakresu eskalacji terapii VA-ECMO (LVAD, OHT) oraz gotowość do podjęcia świadomej jej deeskalacji.

Punkt widzenia kardi chirurga

W kardiologii VA-ECMO może być stosowane jako wsparcie układu krążenia w pokardiotomijnych zespołach małego rzutu i terapii opornego CS [20] (w skali *Society for Cardiovascular Angiography and Interventions Clinical Expert Consensus Statement on the Classification of Cardiogenic Shock — D-eteriorating, E-xtremis*). Zastosowanie to ma miejsce bezpośrednio śródoperacyjnie z powodu ciężkiej niewydolności krążenia, w przypadku braku możliwości odłączenia krążenia pozaustrojowego po wykonanej procedurze lub w przebiegu zespołu małego rzutu, który wystąpił w bezpośrednim przebiegu pooperacyjnym. Zazwyczaj stosuje się go jako pomost do regeneracji mięśnia sercowego, w niektórych przypadkach jako pomost do decyzji o dalszym sposobie leczenia — wszczepienie LVAD lub OHT. Najczęstszym powikłaniem pokardiotomijnego ECMO jest istotne krwawienie — prawie połowa chorych wymaga reinterwencji chirurgicznej. Pokardiotomijne ECMO wiąże się z niskim przeżyciem. Śmiertelność szpitalna wynosi 70%, a 5-letnie przeżycie 15%.

Tabela 4. Zastosowanie wsparcia przeszskórnego urządzenia wspomagającego pracę komór w przypadkach przeszskórnej interwencji wieńcowej wysokiego ryzyka (CHIP, *complete higher risk indicated percutaneous coronary intervention*)

Urządzenie	IABP	AFP	VA-ECMO
Zastosowanie wsparcia przeszskórnego VAD w przypadkach CHIP			
Wskazania	W wybranych przypadkach, gdy dostęp naczyniowy nie pozwala na zastosowanie AFP (średnica tętnicy udowej wspólnej >4 oraz <6 mm, bez nadmiernej krętości)	Wskazane w przypadkach odpowiedniego dostępu naczyniowego (średnica tętnicy udowej wspólnej >6 mm, bez nadmiernej krętości)	Do rozważenia w przypadku konieczności wsparcia dwukomorowego, z koniecznością wsparcia oksygenacji
Siła dowodów	Badanie BCIS-1	Badanie PROTECT II i badania kohortowe	Brak danych
Zastosowanie wsparcia p-VAD w przypadkach HR-AMI bez CS			
Wskazania	Nierekomendowane	Zastosowanie Impella CP jest możliwe i skuteczne w ramach pierwotnej strategii odbarczającej lewą komorę	Nierekomendowane
Siła dowodów	Badanie CRISP-AMI	Badania przedkliniczne i jedno badanie pilotażowe	Brak danych
Zastosowanie przeszskórnego VAD w przypadku CS			
Wskazania	Rutynowe zastosowanie nie jest zalecane, może być rozważone u pacjentów z powikłaniami mechanicznymi AMI oraz w przypadku wstrząsu niezwiązanego z AMI	Impella CP może być zastosowana jako krótkoterminowe wsparcie w CS, w stadium C lub D z potencjalnie odwracalną przyczyną lub u kandydatów do VAD /przeszczepienia serca	Może być zastosowane jako krótkoterminowe wsparcie w CS, w stadium C, D lub E, szczególnie u pacjentów z niewydolnością oddechową, z potencjalnie odwracalną przyczyną lub u kandydatów do VAD /przeszczepienia serca Do rozważenia u pacjentów z opornym nagłym zatrzymaniem krążenia
Siła dowodów	IABP-SHOCK II	Małe badania randomizowane i badania kohortowe	Prospektywne i retrospektywne badania kohortowe

Skróty: AFP (*axial-flow pumps*), pompy o przepływie osiowym; AMI (*acute myocardial infarction*), ostry zawał serca; CS (*cardiogenic shock*), wstrząs kardiogeny; HR-AMI (*high risk after acute myocardial infarction*), pęknięcie serca po ostrym zawale serca; IABP (*intra-aortic balloon pump*), wewnątrzaoortalna pompa balonowa; VAD (*ventricular assist device*), urządzenie wspomagające pracę komór; VA-ECMO (*venoarterial extracorporeal membrane oxygenation*), żyłno-tętnicze pozaustrojowe natlenianie membranowe

Pozaustrojowe natlenianie membranowe może być również stosowane jako MCS — krótkoterminowe wspomaganie krążenia u pacjentów w 1. i 2. stopniu skali INTERMACS, przy braku przeciwwskazań i przy możliwości zastosowania wspomagania długoterminowego lub kwalifikacji do przeszczepienia serca [16]. Przedoperacyjne zastosowanie ECMO ma na celu uzyskanie stabilizacji pacjenta z CS przed zabiegiem operacyjnym. Poprzez przywrócenie rzutu z pompy pozwala na wyrównanie funkcji narządowej (głównie nerek i wątroby), wyrównanie ewentualnej skazy krwotocznej, całościową ocenę i analizę stanu pacjenta przed ostatecznymi decyzjami co do sposobu dalszego postępowania.

Stosowanie VA-ECMO może prowadzić do rozwoju tak zwanego zespołu Harlequina, który jest związany z różnicą w utlenowaniu krwi między dolną a górną częścią ciała. Górna część ciała otrzymuje słabo natlenioną krew pompowaną przez serce, natomiast do dolnej części pompowana jest dobrze natleniona krew z ECMO. Granica zależy od stosunku pojemności minutowej serca do napływu z ECMO. Rozwiązaniem jest zmiana położenia kaniuli powrotnej bliżej serca (np. w prawej tętnicy podobojczykowej), kaniulacja centralna (poprzez torakotomię) lub założenie dodatkowej kaniuli dożylną (tzw. ECMO żylna-tętnicza-żylna).

MONITOROWANIE HEMODYNAMICZNE CHOREGO Z MECHANICZNYM WSPOMAGANIEM KRĄŻENIA

Monitorowanie czynności układu krążenia u chorych w stanie ciężkim, zwłaszcza w przebiegu ostrej niewydolności krążenia w fazie CS, odgrywa fundamentalną rolę nie tylko w diagnostyce, ale także w procesie optymalizacji i oceny skuteczności leczenia. Dotychczas nie wykazano jednak istotnej przewagi pomiędzy technikami inwazyjnymi a mało- bądź nieinwazyjnymi w kontekście korzystnego wpływu na poprawę wyników leczenia [21, 22]. Wydaje się, że dobór metody oceny układu krążenia u chorych

w stanie ciężkim zgodnie z dostępnymi rekomendacjami powinien uwzględniać przede wszystkim precyzyjną ocenę kliniczną, dostępność oraz doświadczenie w stosowaniu określonej techniki monitorowania hemodynamicznego. Zaawansowane monitorowanie pacjenta obejmuje zastosowanie zarówno metod nieinwazyjnych, jak i ciągłego inwazyjnego monitorowania parametrów hemodynamicznych. Techniki nieinwazyjne obejmują ocenę kliniczną: pomiar ciśnienia krwi, rytmu serca, diurezy, parametrów metabolicznych, echokardiografię przezprzełykową oraz przezklatkową, kardioimpedancję oraz nieinwazyjny pomiar ciśnienia fali tętna. Monitorowanie inwazyjne za pomocą cewnika tętniczego, dożylnego centralnego cewnika naczyniowego oraz cewnika w tętnicy płucnej umożliwia pomiar ciśnienia tętniczego, ciśnień wewnątrzsercowych, poziomu gazów we krwi oraz wskaźnika sercowego (inwazyjny pomiar ciśnienia tętniczego krwi, pomiar ciśnienia żylnego, cewnikowanie prawego serca [za pomocą termodylucji, ciągłego monitorowania rzutu minutowego serca, monitorowania saturacji krwi żyłnej mieszanej], termodylucja przezpłucna [metodą PICCO z ciągłą analizą fali tętna oraz metodą LIDCO z użyciem chlorku litu oraz ciągłą analizą fali tętna], metoda Ficka). Ponadto w niektórych przypadkach konieczny jest także pomiar ciśnienia wewnątrzbrzuszego w celu oceny ciśnienia perfuzji narządów [23–26]. Należy zauważyć, że metoda monitorowania hemodynamicznego sama w sobie nie poprawi rokowania pacjenta: zastosowanie każdej z wymienionych metod musi się wiązać z podejmowaniem właściwych decyzji dotyczących leczenia. Nie istnieją optymalne wartości parametrów hemodynamicznych, które miałyby zastosowanie u wszystkich pacjentów. Poszczególne parametry należy dobierać i łączyć w zależności od stanu klinicznego pacjenta. Przykład zmian hemodynamicznych spowodowanych różnymi formami wspomaganie krążenia przedstawiono w tabeli 5 [27], zaś w tabeli 6 przedstawiono zakres badanych parametrów przy wykorzystaniu różnych technik badania.

Tabela 5. Zaburzenia hemodynamiczne w zależności od zastosowanego urządzenia do mechanicznego wspomaganie krążenia [27]

	IABP	Impella	TandemHeart	VA-ECMO
Kurczliwość lewej komory	↔	↔	↔	↔
TPR	↔	↔	↔	↔
Przepływ krwi przez lewą komorę	↑	↓	↓	↓
Całkowity rzut serca	↑	↑↑	↑↑	↑↑↑
CVP	↔ lub ↓	↔ lub ↓	↔ lub ↓	↓
PCWP	↔ lub ↓	↓	↓	↑ lub ↔ ^a
MAP	↑	↑↑	↑↑	↑↑
Całkowita moc wyrzutu serca	↑	↑↑	↑↑	↑↑
PVA	↔ lub ↓	↓↓	↔ lub ↓	↑↑
MVO ₂	↓	↓↓	↔ lub ↓	↑↑

^aStosowanie ECMO może prowadzić do obniżenia obciążenia wstępnego lewej komory, ale może też wywołać wzrost obciążenia następnego wraz z negatywnymi skutkami w postaci zwiększonej pracy serca i zwiększonego zapotrzebowania na tlen
Skróty: CVP (central venous pressure), ośrodkowe ciśnienie żyłne; IABP (intra-aortic balloon pump), wewnątrzaoortalna pompa balonowa; MAP (mean arterial pressure), średnie ciśnienie tętnicze; MVO₂ (myocardial oxygen consumption), zużycie tlenu przez mięsień sercowy; PCWP (pulmonary capillary wedge pressure), ciśnienie zaklinowania w kapilarach płucnych; PVA (pressure volume area), ciśnienie objętość powierzchni; TPR (total peripheral resistance), całkowita oporność obwodowa; VA-ECMO (venoarterial extracorporeal membrane oxygenation), żylna-tętnicza pozaustrojowe natlenianie membranowe

Tabela 6. Ogólna charakterystyka i ocena hemodynamiczna w zależności od metody monitorowania hemodynamicznego

Metoda monitorowania	CO/CI	CVP/RAP	PAP	LAP	SVR	PVR	TFC	SvO ₂ /SCvO ₂	Inwazyjność	Dostępność
Cewnikowanie tętnicy płucnej	+++	+++	+++	++	+++	+++	-	+++	+++	+++
Kardioimpedancja	+ / ++	-	-	-	++	-	++	-	0	+
Echokardiografia dopplerowska	++	++	++	+	-	-	-	-	0/+	+++
Termodylucja przezpłucna	+++	+/-	-	-	-	-	+	+	++	+++
Inwazyjna/nieinwazyjna ocena konturu fali tętna	+ / ++	-	-	-	-	-	-	-	++/0	++

Skróty: CI (*cardiac index*), wskaźnik sercowy; CO (*cardiac output*), rzut serca; CVP (*central venous pressure*), ośrodkowe ciśnienie żyłne; LAP (*left atrial pressure*), ciśnienie w lewym przedsionku; PAP (*pulmonary artery pressure*), ciśnienie w tętnicy płucnej; RAP (*right atrial pressure*), ciśnienie w prawym przedsionku; SCvO₂ (*central venous oxygen saturation*), saturacja tlenu w żyłę centralnej; SvO₂ (*mixed venous oxygen saturation*), saturacja tlenu w żyłę mieszanej; SVR (*systemic vascular resistance*), systemowy opór naczyniowy; TFC (*total fluid capacity*), całkowita pojemność plynowa

Tabela 7. Podsumowanie inwazyjnego monitorowania hemodynamiki oparte na wytycznych (wyjaśnienia w tekście)

Klasa zaleceń IC
Nie zaleca się rutynowego stosowania cewnikowania serca u chorych we wstrząsie; Nie zaleca się rutynowej oceny rzutu serca w przypadku uzyskania zadowalającej odpowiedzi na wdrożone leczenie, którego pomiar powinien być wykonany w przypadku braku stabilizacji mimo leczenia i/lub oceny reakcji na płynoterapię i leczenie wazoaktywne; Zaleca się sekwencyjną ocenę statusu hemodynamicznego w przebiegu wstrząsu.
Klasa zaleceń IIB
Należy rozważyć ocenę echokardiograficzną w ocenie statusu hemodynamicznego w ustaleniu typu wstrząsu jako alternatywy do badania inwazyjnego.
Klasa zaleceń IIC
W skomplikowanych sytuacjach należy rozważyć wykorzystanie cewnikowania tętnicy płucnej lub przezpłucnej termodylucji w celu zdefiniowania rodzaju wstrząsu; Należy rozważyć cewnikowanie tętnicy płucnej w ocenie chorych z opornym na leczeniem wstrząsem i niewydolnością prawej komory; Należy rozważyć wykorzystanie cewnikowania tętnicy płucnej lub przezpłucnej termodylucji u chorych we wstrząsie z towarzyszącym ARDS.

Skróty: ARDS (*acute respiratory distress syndrome*), zespół ostrej niewydolności oddechowej

Zgodnie z Konsensusem Europejskiego Towarzystwa Intensywnej Terapii (*Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. Task Force of the European Society of Intensive Care Medicine*) [28] ocenę hemodynamiki układu krążenia u chorych we wstrząsie rekomenduje się w celu identyfikacji rodzaju wstrząsu w przypadku niejasnego obrazu klinicznego, wyboru interwencji terapeutycznej oraz oceny odpowiedzi na leczenie.

Wydaje się, że w obliczu niejednoznacznych danych dotyczących wyboru optymalnej techniki monitorowania, oczekiwanych korzyści z zastosowania w rozumieniu wpływu na rokowanie cele te wydają się uzasadnionymi klinicznie. Podsumowanie inwazyjnego monitorowania hemodynamiki opartego na wytycznych zawarto w tabeli 7.

FARMAKOTERAPIA WSPOMAGAJĄCA

Chorzy na oddziałach intensywnej terapii leczenia z wykorzystaniem MCS wymagają stosownej farmakoterapii. Właściwe wypełnienie łożyska naczyniowego, wsparcie ino-/wazoaktywne, leki zapobiegające wystąpieniu powikłań krwotocznych i zakrzepowo-zatorowych to niezbędne elementy leczenia farmakologicznego. Wykaz najczęściej stosowanych leków wazoaktywnych z przedstawieniem ich działania na mięsień sercowy i układ naczyniowy przedstawiono w tabeli 8 [29]. Leki najczęściej stosowane w codziennej praktyce klinicznej, jak dopamina, dobutamina, noradrenalina czy adrenalina, mają stosunkową

Tabela 8. Wpływ leków inotropowych na wybrane parametry hemodynamiczne [29]

Lek/dawka	Parametry hemodynamiczne
Dopamina 0,5–2 µg·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	↑CO
Dopamina 5–10 µg·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	↑↑CO, ↑SVR
Dopamina 10–20 µg·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	↑↑SVR, ↑CO
Noradrenalina 0,05–0,4 µg·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	↑↑SVR, ↑CO
Adrenalina 0,01–0,5 µg·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	↑↑CO, ↑↑SVR
Wazopresyna 0,02–0,04 j./min	↑↑SVR, ↔PVR
Dobutamina 2,5–20 µg·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	↑↑CO, ↓SVR, ↓PVR
Milrynon 0,125–0,75 µg·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	↑CO, ↓SVR, ↓PVR
Enoksymon 2–10 µg·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	↑CO, ↓SVR, ↓PVR
Lewozymendan 0,05–0,2 µg·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	↑CO, ↓SVR, ↓PVR

Skróty: CO (*cardiac output*), rzut serca; PVR (*pulmonary vascular resistance*), płucny opór naczyniowy; SVR (*systemic vascular resistance*), systemowy opór naczyniowy

niską klasę zaleceń opartą na opinii ekspertów. Stosowanie leków działających inoaktywnie powinno się ograniczać do pacjentów ze słabą perfuzją narządową. Jednak schematy leczenia są różne i zależą od założonych celów leczenia. Autorzy wytycznych ESC postępowania w ostrej niewydolności serca wymieniają dobutaminę jako lek zalecany

do stosowania w celu zwiększenia rzutu serca u chorych we wstrząsie (klasa zaleceń IIb, poziom wiarygodności C) [2]. W celu utrzymania skurczowego ciśnienia tętniczego w sytuacji przetrwałej hipoperfuzji autorzy wytycznych preferują noradrenalinę w stosunku do dopaminy (klasa zaleceń IIb, poziom wiarygodności B) [2]. Wazopresyna i jej analogi mają mniejszy wpływ naczynioobkurczający na krążenie płucne, dlatego też ich zastosowanie może być korzystniejsze w przypadku CS i ostrej prawokomorowej niewydolności serca [30].

W ostatnich latach wzrasta zainteresowanie landiolem, jako ultrakrótkodziałającym β -adrenolitykiem stosowanym dożylnie, ponad 250-krotnie większej selektywności β_1/β_2 . Dotychczas udowodniono jego korzystne działanie u pacjentów z zaawansowaną niewydolnością serca i tachyarytmiami nadkomorowymi celem kontroli częstości rytmu serca [31].

ZNACZENIE MONITOROWANIA ECHOKARDIOGRAFICZNEGO

Echokardiografia przezklatkowa (TTE, *transthoracic echocardiography*), jak również przezprzełykowa są podstawowymi metodami służącymi do ustalenia wskazań lub przeciwwskazań do zastosowania MCS oraz monitorowania leczenia ze względu na dostępność, powtarzalność, nieinwazyjny charakter oraz możliwość wykonania badania przyłóżkowo. Echokardiografia przezklatkowa w większości przypadków jest również wystarczająca do monitorowania i oceny prawidłowej implantacji systemu Impella 2,5 i CP. Ocena echokardiograficzna prawidłowego ułożenia urządzenia powinna być wykonana podczas zabiegu implantacji, jak również okresowo w trakcie dalszego monitorowania [10]. Wskazana jest również kontrola funkcji lewej i prawej komory serca. Celem monitorowania wspomaganie VA-ECMO w większości przypadków również wystarczające jest TTE. Monitorowanie chorego z implantowanym urządzeniem do długoterminowego wspomaganie krążenia za pomocą echokardiografii w szczególności pozwala na identyfikację powikłań w okresie pooperacyjnym i w obserwacji odległej, a także jest użyteczne w optymalizacji ustawień urządzenia oraz ocenie poprawy funkcji mięśnia sercowego. Przeciwwskazania do zastosowania poszczególnych typów MCS możliwe do oceny w badaniu echokardiograficznym przedstawiono w tabeli 9.

WENTYLACJA MECHANICZNA U PACJENTÓW ZE WSTRZĄSEM KARDIOGENNYM

Konieczność zastosowania wentylacji mechanicznej u pacjentów z ostrą dekomensacją układu krążenia wynika z ostrej hipoksemicznej niewydolności oddechowej, nadmiernego wysiłku oddechowego, niestabilności elektrycznej lub potrzeby wykonania przezskórnej czy chirurgicznej interwencji [5]. Rozpoczęcie tej terapii u pacjentów z zawałem serca jest jednak związane z istotnym, sięgającym 50% wzrostem śmiertelności [32, 33].

Pomimo znacznego odsetka pacjentów wymagających wspomaganie oddechu w przebiegu zawału serca i CS istnieje niewiele danych naukowych wskazujących na idealny model wentylacji mechanicznej w tej grupie pacjentów. Odnosi się to szczególnie do odpowiedniego zastosowania wentylacji z dodatkimi ciśnieniami, którego nieumiejętne ustawienia mogą prowadzić do pogorszenia stanu chorego. Wentylacja nieinwazyjna znajduje szerokie zastosowanie u przytomnych pacjentów z ostrą skurczową niewydolnością serca i ostrą niewydolnością oddechową, powodując poprawę parametrów hemodynamicznych, oddechowych i gazometrycznych. Chociaż u chorych z CS zwykle stosowana jest inwazyjna wentylacja mechaniczna, to wentylacja nieinwazyjna może być bezpieczną i coraz częściej stosowaną opcją wspomaganie wentylacji u chorych przytomnych [34].

Tlenoterapia wysokoprzepływowa wydaje się nieskuteczna w ostrej fazie CS, ale może być przydatna w procesie odzwyczajania od respiratora, ponieważ pozwala na skrócenie czasu inwazyjnej wentylacji mechanicznej [35, 36]. Terapia stałym dodatnim ciśnieniem w drogach oddechowych jest dość prostą metodą, która może być przydatna w leczeniu przedszpitalnym i w słabo wyposażonych ośrodkach [35]. Nieinwazyjne wspomaganie oddechu dodatnim ciśnieniem w drogach oddechowych powinno być najbardziej skuteczną metodą wentylacji nieinwazyjnej [34, 37], zwłaszcza u pacjentów z hiperkapnią [38, 39].

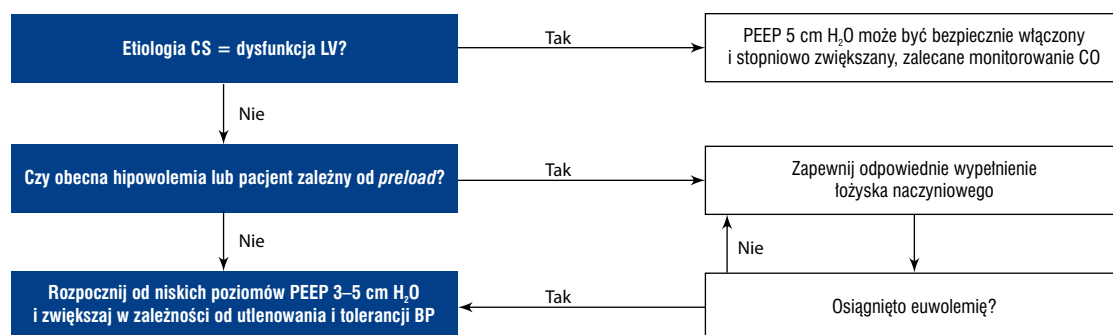
Ponieważ pacjenci z niewydolnością oddechową są niestabilni hemodynamicznie, wentylacja inwazyjna jest najczęstszą opcją terapeutyczną w tej populacji. W niedawno opublikowanym badaniu TRIUMPH wykazano, że 1-godzinne opóźnienie wentylacji mechanicznej u pacjentów z CS wiąże się ze znacznym wzrostem 30-dniowej śmiertelności [29].

Tabela 9. Przeciwwskazania do zastosowania poszczególnych typów MCS możliwe do oceny w badaniu echokardiograficznym

IABP	Impella	VA-ECMO	LVAD
Niedomykalność aortalna	Skrzeplina w lewej komorze	Niedomykalność aortalna	Niedający się naprawić VSD
Dyssekcja aorty	Dyssekcja aorty	Dyssekcja aorty	Aktywne infekcyjne zapalenie wsierdzia
Miażdżycza obwodowa	Pęknięcie ściany lewej komory	Tętniak aorty brzusznej z przysięcienną skrzepliną	Tętniak aorty wstępującej
	Mechaniczna zastawka aortalna		Pęknięcie ściany lewej komory
	ASD, VSD		Ciężka niewydolność prawej komory

Skróty: ASD (*atrial septal defect*), ubytek w przegrodzie międzyprzedsionkowej; IABP (*intra-aortic balloon pump*), wewnątrzaoortalna pompa balonowa; LVAD (*left ventricular assist device*), urządzenie wspomagające pracę lewej komory; VA-ECMO (*venoarterial extracorporeal membrane oxygenation*), żylna-tętnicza pozaustrojowe natlenianie membranowe; VSD (*ventricular septal defect*), ubytek w przegrodzie międzykomorowej

Rodzaj wstrząsu	Potencjalne wady	Sposoby monitorowania i leczenia
Hipowolemiczny	↓ Preload lewej komory i prawej komory → ↓ CO i nasilenie hipotensji	Zapewnienie adekwatnej resuscytacji płynowej, monitorowanie BP
Kardiogeny	Mimo że ↓ afterload lewej komory może prowadzić do ↑ CO, ↓ preload lewej komory i prawej komory może bardziej nasilać ↓ CO	Odpowiednie zapobieganie hipowolemii
Dystrybucyjny	↓ Preload lewej komory i prawej komory → ↓ CO i nasilenie hipotensji	Zapewnienie adekwatnej resuscytacji płynowej, monitorowanie BP
Obturacyjny	↓ Afterload prawej komory może gwałtownie ↓ CO	Odpowiednie nawodnienie, może być konieczne włączenie wazopresorów



Rycina 1. Podsumowanie wentylacji PEEP względem etiologii wstrząsu oraz algorytm zastosowania PEEP u pacjentów we wstrząsie kardiogenym

Skróty: BP (blood pressure), ciśnienie tętnicze krwi; CO (cardiac output), rzut serca; CS (cardiogenic shock), wstrząs kardiogeny; LV (left ventricular), lewa komora; PEEP (positive end-expiratory pressure), dodatnie ciśnienie końcowo-wydechowe

Tabela 10. Powikłania mechanicznego wspomaganie krążenia

	IABP [13, 42, 43]	Impella [43–45]	VA-ECMO [46–50]
Krwawienie	3,0%–3,3% (poważne krwawienie)	8,5% (poważne krwawienia), 17,5% (krwawienia w miejscu dostępu naczyniowego)	15% (poważne krwawienie)
Niedokrwienie w obrębie dostępu, powikłania naczyniowe	4,3%–7,5%	<4% (niedokrwienie w miejscu dostępu naczyniowego), 9,8% (powikłania naczyniowe)	10%–70%
Udar mózgu	0,7%	<2%	17%
Sepsa/infekcja	15,7%	35,3%	9%
Inne		Tamponada, 1,7% Hemoliza, 5%–10%	Niewydolność nerek, 22% Niedokrwienie jelit, 9% Hemoliza, 4%

Skróty: IABP (intra-aortic balloon pump), wewnątrzortalna pompa balonowa; VA-ECMO (venoarterial extracorporeal membrane oxygenation), żylna-tętnicze pozaustrojowe natlenianie membranowe

Zastosowanie wentylacji mechanicznej i pośrednich poziomów dodatniego ciśnienia końcowo-wydechowego (PEEP, positive end-expiratory pressure) u pacjentów z CS u większości chorych przynosi korzyści związane z poprawą utlenowania oraz parametrów hemodynamicznych. Jednak w przypadku pacjentów, u których funkcja lewej komory jest zależna od obciążenia wstępnego, zawałem prawej komory lub hipowolemią, wskazana jest ostrożność oraz optymalizacja preload. Postępowanie z PEEP w zależności od etiologii wstrząsu oraz algorytm stosowania PEEP w CS przedstawiono na rycinie 1.

POWIKŁANIA MECHANICZNEGO WSPOMAGANIA KRĄŻENIA

Krwawienia, incydenty zakrzepowo-zatorowe oraz w mniejszym stopniu infekcje i hemoliza wydają się najpoważniejszymi powikłaniami MCS. Nie dysponujemy aktualnie randomizowanymi badaniami porównującymi systemy do

wspomagania, co nie pozwala na jednoznaczne określenie, które są najbezpieczniejsze lub też obciążone największym ryzykiem powikłań. Z dostępnych rejestrów i metaanaliz wynika, że zastosowanie IABP wiąże się najczęściej z najmniejszą liczbą powikłań — zarówno miejscowych związanych z dostępem naczyniowym, jak i obwodowych związanych z niedokrwieniem kończyn, ośrodkowego układu nerwowego, nerek i jelit, a także ogólnoustrojowych (infekcje) [10]. Impella daje porównywalną lub nieznacznie większą częstość powikłań miejscowych, obwodowych i ogólnoustrojowych w porównaniu z IABP, podczas gdy ECMO zdaje się ich dawać najwięcej (tab. 10) [13, 40–50].

Piśmiennictwo

- Collet JP, Thiele H, Barbato E, et al. Questions and answers on workup diagnosis and risk stratification: a companion document of the 2020 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation. Eur Heart J. 2021;42(14):1379–1386, doi: 10.1093/eurheartj/ehaa602, indexed in Pubmed: 32860030.

2. McDonagh TA, Metra M, Adamo M, et al. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur Heart J*. 2021; 42(36): 3599–3726, doi: [10.1093/eurheartj/ehab368](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab368), indexed in Pubmed: 34447992.
3. Tehrani BN, Truesdell AG, Psotka MA, et al. Standardized team-based care for cardiogenic shock. *J Am Coll Cardiol*. 2019; 73(13): 1659–1669, doi: [10.1016/j.jacc.2018.12.084](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.12.084), indexed in Pubmed: 30947919.
4. Kar B, Gregoric I, Basra S, et al. The percutaneous ventricular assist device in severe refractory cardiogenic shock. *J Am Coll Cardiol*. 2011; 57(6): 688–696, doi: [10.1016/j.jacc.2010.08.613](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2010.08.613), indexed in Pubmed: 20950980.
5. Chioncel O, Parissis J, Mebazaa A, 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(8): 1315–1341, doi: [10.1002/ehfj.1922](https://doi.org/10.1002/ehfj.1922), indexed in Pubmed: 32469155.
6. Keebler ME, Haddad EV, Choi CW, et al. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation in cardiogenic shock. *JACC Heart Fail*. 2018; 6(6): 503–516, doi: [10.1016/j.jchf.2017.11.017](https://doi.org/10.1016/j.jchf.2017.11.017), indexed in Pubmed: 29655828.
7. Shin TG, Choi JH, Jo IJ, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in patients with inhospital cardiac arrest: A comparison with conventional cardiopulmonary resuscitation. *Crit Care Med*. 2011; 39(1): 1–7, doi: [10.1097/CCM.0b013e3181feb339](https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3181feb339), indexed in Pubmed: 21057309.
8. Aso S, Matsui H, Fushimi K, et al. The effect of intraaortic balloon pumping under venoarterial extracorporeal membrane oxygenation on mortality of cardiogenic patients: an analysis using a nationwide inpatient database. *Crit Care Med*. 2016; 44(11): 1974–1979, doi: [10.1097/CCM.0000000000001828](https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000001828), indexed in Pubmed: 27322361.
9. Pappalardo F, Schulte C, Pieri M, et al. Concomitant implantation of Impella on top of veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation may improve survival of patients with cardiogenic shock. *Eur J Heart Fail*. 2017; 19(3): 404–412, doi: [10.1002/ehfj.668](https://doi.org/10.1002/ehfj.668), indexed in Pubmed: 27709750.
10. Rihal CS, Naidu SS, Givertz MM, et al. 2015 SCAI/ACC/HFSA/STS Clinical Expert Consensus Statement on the Use of Percutaneous Mechanical Circulatory Support Devices in Cardiovascular Care (Endorsed by the American Heart Association, the Cardiological Society of India, and Sociedad Latino Americana de Cardiologia Intervencionista; Affirmation of Value by the Canadian Association of Interventional Cardiology-Association Canadienne de Cardiologie d'intervention). *Catheter Cardiovasc Interv*. 2015; 85(7): 1112–1114, doi: [10.1002/ccd.25719](https://doi.org/10.1002/ccd.25719), indexed in Pubmed: 25850944.
11. Clinical Study of Extra-Corporeal Life Support in Cardiogenic Shock Complicating Acute Myocardial Infarction (ECLS-SHOCK). *ClinicalTrials.gov* Identifier: NCT02544594. Available online: <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT02544594>.
12. Bass TA. High-Risk percutaneous coronary interventions in modern day clinical practice: current concepts and challenges. *Circ Cardiovasc Interv*. 2015; 8(12): e003405, doi: [10.1161/CIRCINTERVENTIONS.115.003405](https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.115.003405), indexed in Pubmed: 26628592.
13. Thiele H, Zeymer U, Neumann FJ, et al. Intraaortic balloon support for myocardial infarction with cardiogenic shock. *N Engl J Med*. 2012; 367(14): 1287–1296, doi: [10.1056/nejmoa1208410](https://doi.org/10.1056/nejmoa1208410), indexed in Pubmed: 22920912.
14. Strom JB, Zhao Y, Shen C, et al. National trends, predictors of use, and in-hospital outcomes in mechanical circulatory support for cardiogenic shock. *EuroIntervention*. 2018; 13(18): e2152–e2159, doi: [10.4244/EIJ-D-17-00947](https://doi.org/10.4244/EIJ-D-17-00947), indexed in Pubmed: 29400657.
15. Patel SM, Lipinski J, Al-Kindi SG, et al. Simultaneous venoarterial extracorporeal membrane oxygenation and percutaneous left ventricular decompression therapy with impella is associated with improved outcomes in refractory cardiogenic shock. *ASAIO J*. 2019; 65(1): 21–28, doi: [10.1097/MAT.0000000000000767](https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000000767), indexed in Pubmed: 29489461.
16. Guglin M, Zucker MJ, Bazan VM, et al. Venoarterial ECMO for adults: JACC Scientific Expert Panel. *J Am Coll Cardiol*. 2019; 73(6): 698–716, doi: [10.1016/j.jacc.2018.11.038](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.11.038), indexed in Pubmed: 30765037.
17. Chen YS, Lin JW, Yu HY, et al. Cardiopulmonary resuscitation with assisted extracorporeal life-support versus conventional cardiopulmonary resuscitation in adults with in-hospital cardiac arrest: an observational study and propensity analysis. *Lancet*. 2008; 372(9638): 554–561, doi: [10.1016/S0140-6736\(08\)60958-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)60958-7), indexed in Pubmed: 18603291.
18. Abrams D, Garan AR, Abdelbary A, et al. Position paper for the organization of ECMO programs for cardiac failure in adults. *Intensive Care Med*. 2018; 44(6): 717–729, doi: [10.1007/s00134-018-5064-5](https://doi.org/10.1007/s00134-018-5064-5), indexed in Pubmed: 29450594.
19. Desai SR, Hwang NC. Strategies for left ventricular decompression during venoarterial extracorporeal membrane oxygenation — a narrative review. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2020; 34(1): 208–218, doi: [10.1053/j.jvca.2019.08.024](https://doi.org/10.1053/j.jvca.2019.08.024), indexed in Pubmed: 31530454.
20. Pineton de Chambrun M, Bréchet N, Combes A. Mechanical circulatory devices in acute heart failure. *Curr Opin Crit Care*. 2018; 24(4): 286–291, doi: [10.1097/MCC.0000000000000520](https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000520), indexed in Pubmed: 29901460.
21. Kanaan M, Gajera M, Goonewardena SN. Hemodynamic assessment in the contemporary intensive care unit: a review of circulatory monitoring devices. *Crit Care Clin*. 2014; 30(3): 413–445, doi: [10.1016/j.ccc.2014.03.007](https://doi.org/10.1016/j.ccc.2014.03.007), indexed in Pubmed: 24996604.
22. Kirton OC, Calabrese RC, Staff I. Increasing use of less-invasive hemodynamic monitoring in 3 specialty surgical intensive care units: a 5-year experience at a tertiary medical center. *J Intensive Care Med*. 2015; 30(1): 30–36, doi: [10.1177/0885066613498055](https://doi.org/10.1177/0885066613498055), indexed in Pubmed: 23940109.
23. Chatterjee K. The Swan-Ganz catheters: past, present, and future. A viewpoint. *Circulation*. 2009; 119(1): 147–152, doi: [10.1161/CIRCULATIONAHA.108.811141](https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.811141), indexed in Pubmed: 19124674.
24. Vincent JL, Rhodes A, Perel A, et al. Clinical review: Update on hemodynamic monitoring—a consensus of 16. *Crit Care*. 2011; 15(4): 229, doi: [10.1186/cc10291](https://doi.org/10.1186/cc10291), indexed in Pubmed: 21884645.
25. Seymour CW, Liu VX, Iwashyna TJ, et al. Assessment of clinical criteria for sepsis: for the third international consensus definitions for sepsis and septic shock (sepsis-3). *JAMA*. 2016; 315(8): 762–774, doi: [10.1001/jama.2016.0288](https://doi.org/10.1001/jama.2016.0288), indexed in Pubmed: 26903335.
26. Sorajja P, Borlaug BA, Dimas V, et al. Executive summary of the SCAI/HFSA clinical expert consensus document on the use of invasive hemodynamics for the diagnosis and management of cardiovascular disease. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2017; 89(7): 1294–1299, doi: [10.1002/ccd.27036](https://doi.org/10.1002/ccd.27036), indexed in Pubmed: 28489324.
27. Binanay C, Califf RM, Hasselblad V, et al. Evaluation study of congestive heart failure and pulmonary artery catheterization effectiveness: the ESCAPE trial. *JAMA*. 2005; 294(13): 1625–1633, doi: [10.1001/jama.294.13.1625](https://doi.org/10.1001/jama.294.13.1625), indexed in Pubmed: 16204662.
28. Cecconi M, De Backer D, Antonelli M, et al. Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. Task force of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med*. 2014; 40(12): 1795–1815, doi: [10.1007/s00134-014-3525-z](https://doi.org/10.1007/s00134-014-3525-z), indexed in Pubmed: 25392034.
29. van Diepen S, Hochman JS, Stebbins A, et al. Association between delays in mechanical ventilation initiation and mortality in patients with refractory cardiogenic shock. *JAMA Cardiol*. 2020; 5(8): 965–967, doi: [10.1001/jamacardio.2020.1274](https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.1274), indexed in Pubmed: 32432650.
30. Gordon AC, Wang N, Walley KR, et al. The cardiopulmonary effects of vasopressin compared with norepinephrine in septic shock. *Chest*. 2012; 142(3): 593–605, doi: [10.1378/chest.11-2604](https://doi.org/10.1378/chest.11-2604), indexed in Pubmed: 22518026.
31. Wada Y, Aiba T, Tsujita Y, et al. Practical applicability of landiolol, an ultra-short-acting β_1 -selective blocker, for rapid atrial and ventricular tachyarrhythmias with left ventricular dysfunction. *J Arrhythm*. 2016; 32(2): 82–88, doi: [10.1016/j.joa.2015.09.002](https://doi.org/10.1016/j.joa.2015.09.002), indexed in Pubmed: 27092187.
32. Kouraki K, Schneider S, Uebis R, et al. Characteristics and clinical outcome of 458 patients with acute myocardial infarction requiring mechanical ventilation. Results of the BEAT registry of the ALKK-study group. *Clin Res Cardiol*. 2011; 100(3): 235–239, doi: [10.1007/s00392-010-0235-6](https://doi.org/10.1007/s00392-010-0235-6), indexed in Pubmed: 20878411.
33. Drakos SG, Bonios MJ, Anastasiou-Nana MI, et al. Long-term survival and outcomes after hospitalization for acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock. *Clin Cardiol*. 2009; 32(8): E4–E8, doi: [10.1002/clc.20488](https://doi.org/10.1002/clc.20488), indexed in Pubmed: 19455673.
34. Hongisto M, Lassus J, Tarvasmaki T, et al. Use of noninvasive and invasive mechanical ventilation in cardiogenic shock: A prospective multicenter study. *Int J Cardiol*. 2017; 230: 191–197, doi: [10.1016/j.ijcard.2016.12.175](https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.12.175), indexed in Pubmed: 28043661.

35. Makdee O, Monsomboon A, Surabenjawong U, et al. High-Flow nasal cannula versus conventional oxygen therapy in emergency department patients with cardiogenic pulmonary edema: a randomized controlled trial. *Ann Emerg Med.* 2017; 70(4): 465–472.e2, doi: [10.1016/j.annemergmed.2017.03.028](https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2017.03.028), indexed in Pubmed: 28601264.
36. Masip J, Peacock WF, Price S, et al. Indications and practical approach to non-invasive ventilation in acute heart failure. *Eur Heart J.* 2018; 39(1): 17–25, doi: [10.1093/eurheartj/ehx580](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx580), indexed in Pubmed: 29186485.
37. Nouira S, Boukef R, Bouida W, et al. Non-invasive pressure support ventilation and CPAP in cardiogenic pulmonary edema: a multicenter randomized study in the emergency department. *Intensive Care Med.* 2011; 37(2): 249–256, doi: [10.1007/s00134-010-2082-3](https://doi.org/10.1007/s00134-010-2082-3), indexed in Pubmed: 21136039.
38. Masip J, Betbesé AJ, Pérez J, et al. Non-invasive pressure support ventilation versus conventional oxygen therapy in acute cardiogenic pulmonary oedema: a randomised trial. *Lancet.* 2000; 356(9248): 2126–2132, doi: [10.1016/S0140-6736\(00\)03492-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)03492-9), indexed in Pubmed: 11191538.
39. Nava S, Carbone G, DiBattista N, et al. Noninvasive ventilation in cardiogenic pulmonary edema: a multicenter randomized trial. *Am J Respir Crit Care Med.* 2003; 168(12): 1432–1437, doi: [10.1164/rccm.200211-1270OC](https://doi.org/10.1164/rccm.200211-1270OC), indexed in Pubmed: 12958051.
40. Enezate T, Eniezat M, Thomas J. Utilization and outcomes of temporary mechanical circulatory support devices in cardiogenic shock. *Am J Cardiol.* 2019; 124(4): 505–510, doi: [10.1016/j.amjcard.2019.05.032](https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2019.05.032), indexed in Pubmed: 31204034.
41. Cheng JM, den Uil CA, Hoeks SE, et al. Percutaneous left ventricular assist devices vs. intra-aortic balloon pump counterpulsation for treatment of cardiogenic shock: a meta-analysis of controlled trials. *Eur Heart J.* 2009; 30(17): 2102–2108, doi: [10.1093/eurheartj/ehp292](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehp292), indexed in Pubmed: 19617601.
42. Al-Khadra Y, Alraies MC, Darmoch F, et al. Outcomes of nonemergent percutaneous coronary intervention requiring mechanical circulatory support in patients without cardiogenic shock. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2020; 95(3): 503–512, doi: [10.1002/ccd.28383](https://doi.org/10.1002/ccd.28383), indexed in Pubmed: 31254325.
43. Schrage B, Ibrahim K, Loehn T, et al. Impella support for acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock. *Circulation.* 2019; 139(10): 1249–1258, doi: [10.1161/CIRCULATIONAHA.118.036614](https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.118.036614), indexed in Pubmed: 30586755.
44. Lauten A, Engström AE, Jung C, et al. Percutaneous left-ventricular support with the Impella-2.5-assist device in acute cardiogenic shock: results of the Impella-EUROSHOCK-registry. *Circ Heart Fail.* 2013; 6(1): 23–30, doi: [10.1161/CIRCHEARTFAILURE.112.967224](https://doi.org/10.1161/CIRCHEARTFAILURE.112.967224), indexed in Pubmed: 23212552.
45. Burzotta F, Trani C, Doshi SN, et al. Impella ventricular support in clinical practice: Collaborative viewpoint from a European expert user group. *Int J Cardiol.* 2015; 201: 684–691, doi: [10.1016/j.ijcard.2015.07.065](https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2015.07.065), indexed in Pubmed: 26363632.
46. Thiele H, Zeymer U, Neumann FJ, et al. Intra-aortic balloon counterpulsation in acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock (IABP-SHOCK II): final 12 month results of a randomised, open-label trial. *Lancet.* 2013; 382(9905): 1638–1645, doi: [10.1016/S0140-6736\(13\)61783-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61783-3).
47. Bonicolini E, Martucci G, Simons J, et al. Limb ischemia in peripheral veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation: a narrative review of incidence, prevention, monitoring, and treatment. *Crit Care.* 2019; 23(1): 266, doi: [10.1186/s13054-019-2541-3](https://doi.org/10.1186/s13054-019-2541-3), indexed in Pubmed: 31362770.
48. Burrell AJC, Bennett V, Serra AL, et al. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: A systematic review of selection criteria, outcome measures and definitions of complications. *J Crit Care.* 2019; 53: 32–37, doi: [10.1016/j.jcrc.2019.05.011](https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2019.05.011), indexed in Pubmed: 31181462.
49. Renaudier M, de Roux Q, Bougouin W, et al. Acute mesenteric ischaemia in refractory shock on veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care.* 2020; 10(1): 62–70, doi: [10.1177/2048872620915655](https://doi.org/10.1177/2048872620915655), indexed in Pubmed: 33609105.
50. Appelt H, Philipp A, Mueller T, et al. Factors associated with hemolysis during extracorporeal membrane oxygenation (ECMO)-Comparison of VA- versus VV ECMO. *PLoS One.* 2020; 15(1): e0227793, doi: [10.1371/journal.pone.0227793](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227793), indexed in Pubmed: 31986168.