



ARTICOL DE SINTEZĂ

Monitorizarea minim invazivă a hemodinamicii la pacienții cu șoc cardiogen: sinteză narativă de literatură

Lucia Gîrbu^{1,2*}¹*Catedra de anesteziologie și reanimatologie nr. 2, Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie „Nicolae Testemițanu”, Chișinău, Republica Moldova;*²*Secția de terapie intensivă, Spitalul Clinic Municipal „Sfânta Treime”, Chișinău, Republica Moldova.*Data primirii manuscrisului: 14.12.2017
Data acceptării spre publicare: 01.10.2018**Autor corespondent:**

Lucia Gîrbu, doctorand

Catedra de anesteziologie și reanimatologie nr. 2

Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie „Nicolae Testemițanu”

bd. Ștefan cel Mare și Sfânt, 165, Chișinău, Republica Moldova, MD-2004

e-mail: girbu.lucia@gmail.com

NARRATIVE REVIEW

Minimum invasive monitoring of hemodynamics in patients with cardiogenic shock: narrative review

Lucia Gîrbu^{1,2*}¹*Chair of anesthesiology and reanimatology no. 2, Nicolae Testemitanu State University of Medicine and Pharmacy, Chisinau, Republic of Moldova;*²*Intensive care unit, Municipal Clinical Hospital "Holy Trinity", Chisinau, Republic of Moldova.*Manuscript received on: 14.12.2017
Accepted for publication on: 01.10.2018**Corresponding author:**

Lucia Gîrbu, PhD fellow

Chair of anesthesiology and reanimatology no. 2

Nicolae Testemitanu State University of Medicine and Pharmacy,

165, Ștefan cel Mare si Sfânt Blvd., Chisinau, Republic of Moldova, MD-2004

e-mail: girbu.lucia@gmail.com

Ce nu este cunoscut, deocamdată, la subiectul abordat

Cu toate că în ultimii ani s-au efectuat cercetări fundamentale ale hemodinamicii în insuficiența cardiovasculară acută, deocamdată, dovezile acumulate în monitorizarea hemodinamicii prin metoda minim invazivă cu PiCCO la acești pacienți nu au fost sistematizate.

Ipoteza de cercetare

Sistematizarea informației referitor la rolul tehnologiei PiCCO în monitorizarea minim invazivă a hemodinamicii la pacienții cu șoc cardiogen și a stabilirii strategiilor de tratament intensiv.

Noutatea adusă literaturii științifice din domeniu

Articolul prezintă o sinteză a cercetărilor care confirmă avantajul monitorizării hemodinamicii prin metoda minim invazivă cu PiCCO față de metoda clasică, invazivă, în diagnosticul și conduita pacienților cu șoc cardiogen.

What is not known yet, about the topic

Although fundamental research of hemodynamics in acute cardiovascular insufficiency has been carried out in recent years, evidence accumulated in the monitoring of haemodynamics by minimally invasive PiCCO in these patients has not been systematised.

Research hypothesis

Systematization of information on the role of PiCCO technology in minimally invasive monitoring of hemodynamics in patients with cardiogenic shock and the establishment of intensive care strategies.

Article's added novelty of this scientific topic

The article presents a synthesis of research that confirms the benefit of hemodynamic monitoring by the minimally invasive method of PiCCO versus the classical, invasive method in the diagnosis and management of patients with cardiogenic shock.

Rezumat

Introducere. Șocul cardiogen (ȘC) este un sindrom cauzat de incapacitatea cordului de a asigura o perfuzie tisulară adecvată necesităților metabolice și care are drept rezultat disfuncții organice manifestate prin: alterarea statusului mental, confuzie, agitație, hipotensiune, edem pulmonar acut, hipoxemie,

Abstract

Introduction. Cardiogenic shock (CS) is a syndrome due to the inability of the heart to provide a tissue perfusion appropriate to metabolic needs and resulting in organic dysfunction manifested by: mental status alteration, confusion, agitation, hypotension, acute pulmonary edema, hypoxemia, cyanosis,

cianoză, oligurie. O importanță semnificativă în diagnosticul procesului patologic, evaluarea răspunsului la terapia administrată și prevenirea instalării complicațiilor ȘC o constituie monitorizarea hemodinamică.

Material și metode. A fost studiată literatura contemporană științifică relatată în bazele de date PubMed și Springer Link cu referire la monitorizarea minim invazivă a hemodinamicii prin PiCCO după cuvintele cheie: „șoc cardiogen”, „monitorizarea hemodinamică minim invazivă” și „PiCCO”. Au fost selectate articole publicate în anii 2000-2017. Rezultatele studiului bibliografic au fost prezentate sub formă de sinteză narativă.

Rezultate. Au fost trecute în revistă 176 de articole din baza de date PubMed și 292 – din Springer Link. Sinteza finală se bazează pe 43 de articole, considerate a fi relevante în domeniu.

Concluzii. În ultimele decenii, a fost studiată detaliat hemodinamica minim invazivă la pacienții cu insuficiență cardiovasculară acută. Totuși, sunt necesare studii prospective multicentrice, pe eşantioane mari, pentru precizarea rolului monitorizării cu PiCCO în îmbunătățirea managementului șocului cardiogen.

Cuvinte cheie: șoc cardiogen, monitorizare hemodinamică, PiCCO.

Introducere

Insuficiența cardiacă acută (ICA), definită prin debutul acut, „de novo”, sau agravarea progresivă a simptomelor și semnelor de insuficiență cardiacă cronică (ICC), reprezintă o complicație majoră a patologiei cardiovasculare și necesită intervenție terapeutică imediată [1].

În ultimii ani, numărul spitalizărilor pentru insuficiență cardiacă (IC) în Europa este în creștere [2]. Într-un registru spitalicesc sunt semnalate 4,7% de internări la femei versus 5,1% la bărbați, dintre care, ICA nou instalate îi revine un număr mic, comparativ cu cazurile clinice evaluate spre decompensarea ICC [3]. Mortalitatea intraspitalicească înaltă din ICA este datorată ȘC, care variază de la 40% până la 60% din cazuri [2]. Incidența ȘC, în cercetările multicentrice internaționale, este semnalată cu 4% în studiul european EHFS II, efectuat pe 3580 de pacienți și 11% – în studiul american ALARM-HF, efectuat pe 5533 de pacienți [4]. După datele lui Hochman J., din 2009, frecvența ȘC constituie 4-5% din cazuri la bolnavii cu patologie cardiacă severă, 10-15% revine bolnavilor cu IMA, fiind mai înaltă la bărbați, decât la femei, de regulă, instalându-se în decada a 4-a la bărbați și a 5-a la femei [5]. Pacienții cu ȘC cauzat de IMA sunt, de regulă, vârstnici, au istoric de IMA în antecedente sau de IC congestivă și, mai frecvent, dezvoltă un IMA anterior extins [6]. Șocul cardiogen poate să se instaleze și la pacienții cu insuficiență ventriculară cronică stângă persistentă, cardiomiopatie dilatativă, hipertrofică sau cardiopatie valvulară, la ultimii, ȘC fiind cauzat de un IMA embolic, datorat fibrilației atriale [5, 6].

Substratul patofiziologic al ȘC îl constituie incapacitatea cordului de a asigura o perfuzie tisulară adecvată necesităților metabolice, care are drept rezultat apariția disfuncțiilor

oliguria. Significant importance in the diagnosis of the pathological process, evaluation of the response to the administered therapy and prevention of the complications of CS complications is the hemodynamic monitoring.

Material and methods. Contemporary scientific literature reported in PubMed and Springer Link with reference to minimally invasive hemodynamic monitoring by PiCCO, by the following key words: “cardiogenic shock”, “minimally invasive hemodynamic monitoring” and “PiCCO” and selected articles published in the 2000-2017. The results of the literature were presented in the form of narrative synthesis.

Results. After processing the literature data from the above mentioned sources, were selected 176 articles in PubMed and 292 in Springer Link. The final bibliography contains 43 relevant articles in this area.

Conclusions. In recent decades, minimally invasive haemodynamics has been studied in patients with acute cardiovascular failure. However, large-scale prospective multicenter studies are needed to pinpoint the role of monitoring with PiCCO in improving cardiogenic shock management.

Key words: cardiogenic shock, hemodynamic monitoring, PiCCO.

Introduction

Acute heart failure defined as „de novo” acute onset or progressive worsening of symptoms and signs of chronic heart failure (CHF), is a major complication of cardiac pathologies and requires immediate therapeutic intervention [1].

In last years, the number of hospitalizations with heart failure (HF) in Europe is increasing [2]. In a hospital registry, 4.7% of admissions were females versus 5.1% males, of which the newly installed AHF is a small number in comparison with the decompensations of CHF [3]. High intra-hospital mortality in AHF is due to cardiogenic shock (CS), which ranges from 40% to 60% [2]. The incidence of CS in multicenter international studies, is reported to be 4% in the European EHFS II study of 3580 patients and 11% in the American ALARM-HF study, a study on 5533 patients [4]. According to Hochman J. (2009), the frequency of CS represents 4-5% of cases in patients with severe cardiac pathology, 10-15% in Acute Myocardial Infarction (AMI), being more common in men than in women, CS usually installes in the 4th decade in men and 5th in women [5]. Patients with CS produced by AMI are usually elderly, and have a history of AMI or congestive heart failure and more frequently develops anterior extended AMI [6]. Cardiogenic shock may also develop in patients with chronic persistent left ventricular failure or due to dilated, hypertrophic cardiomyopathy or valvular cardiopathy, in the last SC being caused by an embolic IMA due to atrial fibrillation [5, 6].

Pathophysiological substrate of CS is the inability of the heart to provide a tissue infusion appropriate to metabolic needs, which results in organic dysfunctions manifested by: alteration of mental status, confusion, agitation, hypotension, cyanosis and oliguria, which determines very high mortality

organice, manifestate clinic prin: alterarea statusului mintal, confuzie, agitație, hipotensiune, cianoză și oligurie, care determină mortalitatea foarte înaltă a acestei complicații – 40-80% [7, 8]. În mod clasic, starea de debit cardiac (DC) scăzut definește IC congestivă acută, care se caracterizează prin coexistența semnelor clinice de DC micșorat și cele de congestie pulmonară, cu declanșarea ȘC, determinat în 40% din cazuri de miocardul ventriculului stâng nefuncțional [3].

Conform datelor prezentate de Șerban Bubenek (2004) și S. Hollenberg (2003), în ultimii ani, datorită eforturilor depuse în reducerea dimensiunilor IMA, tratamentul prompt al ischemiei și al altor complicații ale IMA, au diminuat semnificativ incidența ȘC de la 20% la 7% din cazuri. Din acești pacienți, 10% se prezintă cu ȘC la internare, în timp ce 90% îl dezvoltă în decursul a 4-5 ore după spitalizare, ceea ce face ca „fereastră terapeutică” să fie excesiv de mică pentru unii pacienți [8].

O importanță semnificativă în managementul ȘC o constituie monitorizarea hemodinamică (MH), în scopul diagnosticării procesului patologic răspunzător de starea pacientului, evaluarea răspunsului la terapia aplicată și prevenirea instalării complicațiilor. Monitorizarea miniinvasivă cu PiCCO este mai actuală decât cea cu cateter în artera pulmonară, care între timp, a devenit depășită din punct de vedere tehnologic.

Datele multiplelor studii au confirmat, iar altele au respins aceste ipoteze. Din aceste motive, lucrarea de față și-a propus să ofere o informație actuală și o analiză sistematizată a literaturii referitoare la noua tehnologie, PiCCO, de monitorizare a hemodinamicii.

Material și metode

Pentru realizarea obiectivului trasat, a fost studiată literatura contemporană științifică relatată în PubMed și Springer Link cu referire la monitorizarea minim invazivă a hemodinamicii prin PiCCO, după cuvintele cheie: „șoc cardiogen”, „monitorizarea hemodinamică minim invazivă”, „PiCCO” și selectate articole publicate între anii 2000-2017. Au fost studiate articole originale de cercetare (efectuate în condiții clinice, experimentale și *in vitro*), de tip metaanaliză și reviste sistematizate de literatură.

După examinarea titlurilor articolelor, au fost alese doar lucrările care conțineau informații relevante despre monitorizarea minim invazivă a hemodinamicii în insuficiența cardiovasculară acută, șocul cardiogen. De asemenea, a fost studiată bibliografia articolelor date, pentru a găsi alte surse relevante scopului trasat. Informația a fost sistematizată, evidențiind principalele aspecte ale viziunii contemporane asupra parametrilor hemodinamici obținuți prin analiza puls conturului, care necesită calibrare transpulmonară prin termodiluție. La necesitate, pentru precizarea unor noțiuni, au fost consultate surse adiționale de informație. Publicațiile duplicate, care nu au corespuns cu scopul lucrării și nu au fost accesibile pentru vizionare, au fost excluse din lista lucrărilor generate de motorul de căutare. Rezultatele studiului bibliografic sunt prezentate sub formă de sinteză narativă.

rate – 40-80% [7, 8]. Classically, low CO defines acute congestive heart failure (ACHF), which is characterized by the coexistence of clinical signs of low CO and pulmonary congestion with triggering CS in any circumstances where more than 40% of the left ventricular myocardium is inoperative [3].

According to data presented by Șerban Bubenek (2004) and S. Hollenberg (2003), in the recent years, the efforts to reduce the AMI sizes, prompt treatment of ongoing ischemia and other complications of AMI significantly reduced the incidence of CS from 20% to 7%. Of these patients, 10% presented with CS at admission, while 90% developed it within 4-5 hours after hospitalization, which makes the “therapeutic window” to be excessively low for some patients [8].

A significant importance in SC management is the hemodynamic (MH) monitoring in order to diagnose the pathological process responsible for the patient’s condition, to evaluate the response to the applied therapy and to prevent complications. Mini-invasive monitoring with PiCCO is more recent than that with the catheter on the pulmonary artery, which has been discredited over time.

Data from multiple studies have confirmed, and others have rejected these hypotheses. For these reasons, we have proposed to provide current information and a systematized literature review of the new hemodynamic monitoring technology with PiCCO.

Material and methods

In order to achieve the goal, the contemporary scientific literature reported in PubMed and Springer Link with reference to minimally invasive hemodynamic monitoring by PiCCO was studied by the following key words: “cardiogenic shock”, “minimally invasive hemodynamic monitoring” and “PiCCO” and selected articles published in the years 2000-2017. Original research articles (performed in clinical, experimental and *in vitro*), meta-analysis, and systematized literature journals were selected.

After examining the titles of the obtained articles, were selected only the works containing relevant information about the minimal invasive monitoring of hemodynamics in acute cardiovascular failure, cardiogenic shock. The bibliography of selected articles has also been studied in order to find other sources relevant to the purpose. The information was systematized, highlighting the main aspects of the contemporary vision of the hemodynamic parameters obtained by contour pulse analysis, which require transpulmonary calibration by termodilution. Some additional sources of information have been consulted, for specifying some definitions. Duplicated publications, publications that did not match the purpose of the work and were not accessible for viewing, were excluded from the list of publications generated by the search engine. The results of the literature were presented as narrative synthesis.

Rezultate

În rezultatul prelucrării informației din bazele de date PubMed și Springer Link, conform criteriilor căutării, au fost selectate 176 de articole în PubMed și 292 – în Springer Link. Bibliografia finală conține articole relevante în acest domeniu, care abordează tematica tehnologiei moderne de monitorizare a hemodinamicii centrale. Cu toate acestea, există necesitatea investigațiilor suplimentare, pe loturi semnificative de pacienți, pentru confirmarea avantajului monitorizării minim invaziv al hemodinamicii cu PiCCO la pacienții cu șoc cardiogen. În bibliografia finală a lucrării au fost incluse 43 de publicații.

Indicațiile monitorizării cu PiCCO

Principalele indicații ale MH sunt: diagnosticul stării de șoc, determinarea statusului volemic, măsurarea DC, monitorizarea și tratamentul pacientului instabil hemodinamic, evaluarea răspunsului la tratament în cazul pacienților cu ȘC și instabilitate hemodinamică, disfuncție de organe, precum și managementul pacienților cu IMA complicat etc. [9]. Monitorizarea avansată a hemodinamicii se efectuează invaziv, minim invaziv și non invaziv, ceea ce ne permite: măsurarea DC, parametrilor care evaluează umplerea vasculară și presarcina, funcția cordului, postsarcina, perfuzia și oxigenarea tisulară [10]. La pacientul critic, determinarea DC prin metoda termodiluției reprezintă standartul de „aur” [11]. Monitorizarea DC pe baza analizei unde pulsului arterial se poate realiza cu sistemele invazive: *Pulse index Contour Continuous Cardiac Output* (PiCCO), dezvoltată de *Pulsion Medical Systems*, Germania, *Volume View System Cardiac Output Calculation* (VV-CCO) sau *Lithium Diluted Cardiac Output* (LiDCO). Aspectul unde pulsului este esențială pentru analiză ei corectă prin tehnologia PiCCO, nu și prin sistemele LiDCO [10, 11].

PiCCO prezintă un monitor, care calculează DC prin combinarea analizei conturului unde de presiune arterială și tehnicii de termodiluție transpulmonară. PiCCO include monitorizarea oximetrică venoasă fibroscopică continuă cu sonda CeVOX (sondă inserabilă, fibroscopică), prin intermediul presiunii venoase centrale (PVC). PiCCO se utilizează pentru monitorizarea hemodinamică, mai ales, în formele mixte de șoc (ex., septic și cardiogen) sau atunci când cateterizarea arterei pulmonare este indisponibilă sau contraindicată.

Utilizarea PiCCO nu este indicată atunci când sunt prezenți factorii care determină măsurători inexacte: șunturi intracardiac, anevrism aortic, stenoză aortică, pneumoectomie, embolie pulmonară, prezența unei pompe cu balon, aritmii instabile.

Descriere sistemului PiCCO

Sistemul este constituit din: cateter PiCCO, transductor de presiune, monitor PiCCO. Cateterul PiCCO prezintă o linie arterială cu un termistor la capăt, care asigură o monitorizare hemodinamică completă prin analiza conturului unde de presiune arterială, cu o înregistrare continuă a parametrilor cardiaci, utilizând o versiune modificată a algoritmului Wesseling, combinată cu o tehnică transpulmonară de termodiluție [12].

Cateterul PiCCO se plasează într-o arteră mare, de obicei, femurală, care se consideră preferabilă, dar poate fi plasată și în arterele axilară, brahială sau radială. Se instalează, de asemenea, și un cateter venos central pentru efectuarea ter-

Results

As a result of processing the information in the PubMed and Springer Link databases according to the search criteria, 176 articles were selected in PubMed and 292 in Springer Link. The final bibliography contains relevant articles in this field, which address the theme of modern central hemodynamic monitoring technology. However, there is a need for additional investigations on significant batches of patients to confirm the benefit of minimally invasive monitoring of PiCCO hemodynamics in patients with cardiogenic shock. Forty-three publications entered the final bibliography of the work.

Indications of monitoring with PiCCO

The main indications of hemodynamic monitoring are: the diagnosis of shock, determination of blood volume status, CO measurement, monitoring and treatment of unstable hemodynamic patients, evaluation of hemodynamic response to treatment in patients with CS, hemodynamic instability, organ dysfunction, management of patients with complicated AMI, etc. [9]. Advanced hemodynamic monitoring is invasive/minimally invasive and non-invasive, what allows us: measurement of CO, of parameters that evaluate vascular filling and preload, heart function, afterload and tissue perfusion and oxygenation [10]. In the critical patient the determination of CO by the method of thermodilution is the "golden standard" [11]. CO monitoring based on arterial pulse wave analysis can be done with invasive systems *Pulse index Contour Continuous Cardiac Output* (PiCCO), developed by *Pulsion Medical Systems* (Germany), *Volume View System Cardiac Output Calculation* (VV-CCO) or *Lithium Diluted Cardiac Output* (LiDCO). The appearance of the pulse wave is essential for a correct analysis by PiCCO and not through LiDCO systems [10, 11].

The PiCCO features a DC-based monitor that combines the analysis of the arterial pressure wave contour and the transpulmonary thermodilution technique. PiCCO includes continuous fibroscopic vein oximetry monitoring with the CeVOX probe (fibroscopic insertion probe), via central venous pressure (CVP). PiCCO is used, mainly, for hemodynamic monitoring, especially in mixed forms of shock (septic and cardiogenic shock) or catheterization of pulmonary artery is not available or is contraindicated.

PiCCO is underestimated or relatively contraindicated when factors that cause inaccurate measurements are present: intracardiac shunt, aortic aneurysm, aortic stenosis, pneumonectomy, pulmonary embolism, the presence of a balloon pump, unstable arrhythmias.

Description of PiCCO system

The system is constituted by: PiCCO catheter, pressure transducer, PiCCO monitor. The PiCCO catheter presents an arterial line with an end-to-end thermistor that provides complete hemodynamic monitoring by analyzing the arterial pressure wave outline with a continuous heart rate record using a modified version of the Wesseling algorithm combined with a transpulmonary thermodilution technique [12].

The PiCCO catheter is placed in a large, usually femoral artery, which is considered preferable, but can also be placed in the axillary, brachial or radial arteries. A central venous cath-

modiluției și se cuplează dispozitivul PiCCO prin intermediul unui transductor de presiune la monitorul PiCCO. Datele pacientului se introduc înainte de calibrare. Ulterior, se administrează un volum cunoscut de soluție salină rece (15-20 ml), cu temperatura $<8^{\circ}\text{C}$ prin portul central de injecție. Sistemul PiCCO detectează diferența de temperatură, generând o curbă de disipare, la care se aplică ecuația Stewart-Hamilton pentru calcularea DC. Alte măsuri generate includ: presarcina, volumul sanguin tele-diastolic global, volumul sângelui intratoracic, lichidul pulmonar extravascular, care prezintă un indicator sensibil al edemului pulmonar, presiunea arterială, frecvența cardiacă, volumul sistolic, rezistența vasculară sistemică și indicele funcției cardiace [13, 14].

Avantajele PiCCO constau în minim invazivitatea metodei și reflectarea continuă a parametrilor [15]. De asemenea, prin această metodă se măsoară lichidul extravascular pulmonar, volumul intratoracic (ITBV) și global end-diastolic (GEDV), care sunt indicatori mai relevanți pentru aprecierea presarcinii decât PVC și presiunea de ocluzie pulmonară (PCWP), acestea nefiind influențați de ventilația mecanică. Posibilitatea estimării lichidului extrapulmonar (EVLW) a permis identificarea unei corelații clare între severitatea sindromului de detresă respiratorie acută (ARDS) și durata aflării în unitatea de terapie intensivă, durata ventilării pulmonare artificiale sau mortalitate. Cateterul PiCCO se poate menține pe o perioadă mai lungă (10 zile), spre deosebire de cateterul arterei pulmonare (PAC) – maximum, 72 de ore.

Dezavantajele PiCCO constau în faptul că sistemul nu poate fi utilizat concomitent cu pompa de contrapulsare intraaortică, necesită recalibrare după schimbarea poziției pacientului sau a medicației pacientului (se ține cont de complianța patului vascular). De asemenea, EVLW este subestimat la pacienții obezi (variază semnificativ, în funcție de greutatea pacientului) sau este inexact după pneumonectomie, în regurgitarea aortică severă (formarea unei curbe de termodiluție atipică).

Historicul analizei conturului pulsului arterial

Prima măsurare directă a presiunii arteriale a fost efectuată de preotul Stephen Hales în 1733. Încă din 1899, conceptul de utilizare a unde presiunii arteriale pentru măsurarea modificărilor fluxului sanguin, a fost sugerat de Otto Frank, care a descris circulația sanguină ca un model tip Windkessel (din germană – „cameră de aer”). Acest model descrie proprietatea cu care se confruntă cordul în pomparea sângelui prin circulația pulmonară și sistemică, cât și relația dintre presiunea arterială (PA) și fluxul ei în aortă și artera pulmonară. Acest model simulează sistemul cordului și cel arterial într-un circuit hidraulic închis, compus dintr-o pompă de apă, conectată la o cameră. Sistemul dat este umplut cu apă, cu excepția unui buzunar de aer din cameră. Pe măsură ce apa este pompată în cameră, aceasta comprimă aerul din buzunar și, totodată, împinge apa din cameră, înapoi la pompă. Compresibilitatea aerului din buzunar simulează elasticitatea și extensibilitatea arterelor mari, deoarece sângele din inimă este pompat prin ele, denumită, în mod obișnuit, complianță arterială. Rezistența revenită apei la ieșirea din sistemul Windkessel este echivalentă cu rezistența care o generează sângele circulant la trecerea prin arborele arterial, numită rezistența periferică. Vizi-

eter is installed to perform the thermodilution and the PiCCO device is attached via a pressure transducer to the PiCCO monitor. Patient data is entered before calibration, followed by a known volume of cold (15-20 ml) saline solution at $<8^{\circ}\text{C}$ through the central injection port. The PiCCO system detects the temperature difference, generating a dissipation curve, to which Stewart Hamilton equation is used to calculate the CO. Other generated measures include: preloading, global tele-diastolic blood volume, the volume of intrathoracic blood, the extravascular pulmonary fluid, which has a sensitive indicator of lung edema, blood pressure, heart rate, systolic volume, systemic vascular resistance and cardiac function index [13, 14].

The advantages of PiCCO consists in a less invasive method, which involves transpulmonary thermodilution and appreciates the dynamics of parameters [15]. Through this method shall be measured, also, the pulmonary extravascular fluid, intrathoracic volume (ITBV) and global end-diastolic (GEDV), which are better indicators for cardiac overload assessment than CVP and pulmonary occlusion pressure (PCWP), not influenced by mechanical ventilation. The possibility of assessment of extra pulmonary fluid (EVLW) led to find a clear correlation between the severity of acute respiratory distress syndrome (ARDS) and the length of stay in the intensive care unit, the duration of mechanical ventilation or patients' mortality. The PiCCO catheter is maintained for a longer period (10 days), unlike the pulmonary artery catheter (PAC) – 72 hours only.

Disadvantage of PiCCO consists in: the system cannot be used with an intraaortic balloon pump, requiring recalibration, depending on the patient's position and therapy, account is taken of the compliance of the vascular bed. Also, EVLW is underestimated in obese patients (varying significantly with the patient weight), after pneumonectomy or in severe aortic regurgitation (can lead to atypical form of thermodilution curve).

History of arterial pulse contour analysis

The first direct blood pressure measurement was carried out by Father Stephen Hales in 1733, although since 1899 the concept of using the blood pressure wave to measure changes in blood flow was suggested by Otto Frank, who described blood circulation as a Windkessel model (from German – “air chamber”). This model describes the property that the heart is experiencing in pumping blood through pulmonary and systemic circulation and the relationship between blood pressure (BP) and its flow through the aorta and the pulmonary artery. This model simulates the heart and arterial system in a closed hydraulic circuit, composed of a water pump connected to a room. The given system is filled with water, except for a pocket of air in the room. As the water is pumped into the room, it compresses the air from the pocket and at the same time pushes the water from the room back to the pump. Air compressibility in the pocket simulates the elasticity and extensibility of the large arteries, as the blood in the heart is pumped through them, commonly referred to as arterial compliance. The resistance of the water to the exit of the Windkessel system is equivalent to the resistance that the circulating blood deposits in the passage through the arterial shaft, called the

nea dată, simplistă a circulației, numită „modelul Windkessel cu 2 elemente”, a sporit semnificativ perceperea fiziologiei de bază a circulației sangvine în IC. Modelul respectiv a permis calcularea DC, deoarece obiectivul inițial a lui O. Frank a fost obținerea rezultatelor despre DC, bazat pe presiunea aortică. Conform acestui model, complianța poate fi estimată prin măsurarea vitezei undelor pulsului pe aortă (de la artera carotidă până la cea femurală). Cunoscând constanta de timp din decăderea și complianța presiunii aortice diastolice, rezistența periferică ar putea fi derivată din presiunea medie și rezistență, folosind legea lui Ohm și s-ar putea calcula fluxul mediu arterial. Această tehnică a fost îmbunătățită în ultimii ani și a condus la dezvoltarea modelului Windkessel de tip 3 și 4. Tehnica dată a fost utilizată pentru a defini zona sistolică sub curba conturului pulsului, respectiv, pentru a estima volumul circulator [16, 17]. În 1904, J. Erlanger și T. Hooker au declarat: „Mărirea presiunii pulsului din aortă depinde de cantitatea de sânge care este propulsată de inimă în timpul sistolei” [15]. Deși aceasta a fost o declarație intuitivă, interpretarea acestor observații într-un sistem robust de măsurare a performanței cardiace a depășit o serie de probleme, fapt ce a permis introducerea acestei tehnici importante în medicina contemporană [9]. Tabelul 1 prezintă cronologia evoluției tehnologiei PiCCO, de la modelul simplist Windkessel la PiCCO₂.

Tehnologia PiCCO a fost dezvoltată la Munchen, Germania, în anul 1990 de către doctorul Ulrich Pfeiffer. Începând cu anul 2008, sediul *Pulsion Medical Systems* s-a situat în Feldkirchen, (regiunea Munchen), care găzduiește departamentele de cercetare, dezvoltare, marketing [17].

Monitorizarea hemodinamică

Scopul MH constă în diagnosticarea procesului patologic răspunzător de starea pacientului, realizarea unui management terapeutic adecvat, evaluarea răspunsului la terapia aplicată și prevenirea instalării unor complicații [11, 24]. Principalele indicații ale MH sunt: diagnosticul stării de șoc, determinarea statusului volemic, măsurarea DC, monitorizarea

peripheral resistance. The simplistic vision of the movement, called the “Windkessel Two Element Model”, significantly increased the perception of the basic physiology of blood circulation in the IC. The model led to the DC calculation, since O. Frank’s original goal was to obtain results on DC based on aortic pressure. According to this model, compliance can be estimated by measuring the velocity of pulse waves on the aorta (from the carotid artery to the femoral artery). Knowing the time constant from the decline and compliance of diastolic aortic pressure, peripheral resistance could be derived from mean pressure and resistance, using Ohm’s law, and the mean arterial flow could be calculated. This technique has been improved in recent years and has led to the development of Windkessel model 3 and 4. This technique has been used to define the systolic area under the contour of the pulse and thus to estimate the volume of circulation [16, 17]. In 1904, J. Erlanger and T. Hooker stated: “The amount of pulse pressure in the aorta depends on the amount of blood that is propelled by the heart during the systole” [15]. Although this is an intuitive statement, interpreting these observations in a robust system of measuring contemporary cardiac outcomes has overcome a number of confusing issues that have led to the introduction of this important technique in contemporary medicine [9]. Table 1 shows the chronology of PiCCO technology evolution, from the Windkessel Simple Model to PiCCO₂.

PiCCO technology was developed in Munich in 1990, by Dr. Ulrich Pfeiffer. Since 2008, *Pulsion Medical System* headquarter was moved in Feldkirchen (Munich area), which is hosting research, development and marketing departments [17].

Hemodynamic monitoring

The purpose of hemodynamic monitoring (HM) is to diagnose the pathological process responsible for the patient condition, achieving a suitable therapeutic management and assessing the response to applied therapy and preventing complications [11, 24]. The main indications of HM are: diagnosis of shock condition; determining the status of blood vo-

Tabelul 1. Istoricul analizei conturului curbei de presiune arterială.

Table 1. History of pressure waveform analysis.

Evenimente / events	Autori / authors
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelul Windkessel al circulației. ▪ <i>Windkessel model of the circulation.</i> 	Otto Frank (1899) [16, 17]
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prima metodă de evaluare a presiunii pulsatile: volumul sistolic este proporțional cu presiunea pulsului (sistolic-diastolic). ▪ <i>First pulse pressure assessment method: the stroke volume is proportional to the pulse pressure (systolic-diastolic).</i> 	J. Erlanger, T. Hooker (1904) [15]
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cerința de calibrare a presiunii pulsului printr-o măsurare independentă a debitului cardiac. ▪ <i>Requirement for calibration of pulse pressure by an independent cardiac output measure.</i> 	K. Wezler, A. Bogler (1904) [18]
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Presiunea pulsatilă simplă corectată pentru complianța arterială. ▪ <i>Pulse pressure simply corrected for arterial compliance.</i> 	G. Liljestrand, E. Zander (1927)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pentru prima dată a fost documentată complianța aortei la om. ▪ <i>Compliance of the human aorta, documented first by.</i> 	J. W. Remington (1948) [19, 20]
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Metoda de determinare a presiunii sistolice pulsatile în aortă. ▪ <i>Aortic systolic area based on pulse contour method.</i> 	N. Kouchoukos (1970) [21, 22]
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zona sistolică cu factori de corecție (model cu 3 elemente Windkessel). ▪ <i>Systolic area with correction factors (3 element Windkessel model).</i> 	K. Wesseling, J. Jansen (1993)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abordarea puterii de impuls de tip „net” de corecție a complianței. ▪ <i>Compliance corrected pressure wave form “net” pulse power approach.</i> 	D. Band (1996) [23]

și tratamentul pacientului instabil hemodinamic, evaluarea răspunsului la tratament în cazul pacienților cu șoc, instabilitate hemodinamică, disfuncție de organe, sepsis, afecțiuni pulmonare de tip ARDS și edem pulmonar etc. Indicații pentru MH reprezintă managementul intraoperator al pacienților supuși chirurgiei cu risc crescut (ex., by-pass aortocoronarian, chirurgie vasculară sau valvulară etc.), în cazul unor pierderi lichidiene majore, în IMA complicat, cât și în afecțiunile avansate: hipertensiunea pulmonară primară, șunt intracardiac, tamponadă cardiacă, embolie pulmonară etc [12].

Contraindicațiile MH sunt reprezentate de: inexistența fluxului colateral, insuficiența vasculară, sindromul Raynaud etc. Complicațiile acestei proceduri pot fi: hematoma în locul puncției, fistula arteriovenoasă, infecția, tromboza cu sau fără ischemie distală și necroză, vasospasm, embolie, leziuni ale nervilor învecinați ș. a. [25].

Monitorizarea hemodinamică de bază este înregistrată la monitor și include următorii parametri: presiunea arterială (PA); PA sistolică (PAS); PA diastolică (PAD) și PA medie (PAM); frecvența contracțiilor cardiace (FCC), înregistrată electrocardiografic (EKG); presiunea venoasă centrală (PVC); temperatura și culoarea tegumentelor; timpul de reumplere capilară; pulsoximetria; starea de conștiență; debitul urinar orar [12, 26].

Monitorizarea hemodinamică avansată (MHA) presupune utilizarea unor parametri integrați, care se pot estima prin tehnici invazive, minim invazive și noninvazive, care se calculează în baza unor algoritmi. Pentru a-i obține, se poate folosi cateterul inserat în artera pulmonară, senzori speciali sau transductori de presiune, conectați la un cateter arterial și unul venos central, sau doar la un cateter arterial (respectiv, la dispozitivul de monitorizare PiCCO). O serie de parametri se vor exprima sub formă indexată (ex., indexul cardiac, CI) la suprafața corporală. Monitorizarea hemodinamică avansată permite evaluarea: presarcinii, postsarcinii, contractilității miocardice, răspunsului la terapia lichidiană și „excesului” volemic. Prin MHA determinăm parametrii: PVC, volumul de umplere al ventriculului drept (VD) în diastolă; volumul global în cele 4 camere ale cordului: volumul telediastolic global (GEDV), indexul telediastolic global (GEDI); presiunea în artera pulmonară AP (PAP) în sistolă/diastolă/medie; presiunea de ocluzie a capilarului pulmonar (POCP); parametrii ce evaluează răspunsul la lichide: variația volumului sistolic (SVV), variația presiunii pulsatile (PPV), indexul volumului sistolic (SVI), indexul volumului total toracic (ITBW); volumele din cavitățile cardiace și din circulația pulmonară; parametrii care reflectă postsarcina: rezistența vasculară sistemică (RVS), indexul rezistenței vasculare sistemice (RVSI); rezistența și indexul de rezistență în circulația pulmonară (RVP/RVPI); parametrii ce evaluează contractilitatea: fracția de ejeție (FE) a VD și ventriculului stâng (VS), fracția de ejeție globală (GEF) și indicele global de contractilitate (GFI) etc.; parametrii fluxului de sânge oxigenat: debit cardiac/index cardiac (DC/CI); volumul bataie/indexul volumului bataie (SV/SVI); parametrii de oxigenare tisulară: saturația în oxigen a sângelui mixt pulmonar (SVO₂); saturația în oxigen a sângelui venos la nivel central (SCVO₂); aportul de oxigen/indexul aportului de oxigen (DO₂/DO₂I); consumul de oxigen/indexul consumului de oxigen

lume; cardiac output measurement; monitoring and treatment of unstable hemodynamic patients, evaluation of treatment response in shock patients, hemodynamic instability, organ dysfunction, sepsis, pulmonary dysfunction like ARDS and pulmonary edema etc. Indications for HM also are: intraoperative management of patients undergoing high-risk surgery (e.g. aortocoronarian by-pass, vascular or valvular surgery etc.) in case of major fluid loss; in complicated AMI, as well as in difficult conditions: primary pulmonary hypertension, intracardiac shunt, cardiac tamponade, pulmonary embolism etc [12].

HM contraindications are: the absence of collateral flow, vascular failure, Raynaud's syndrome, etc. Complications of this procedure can be: hematoma in the place of puncture, arterial-venous fistula, infection, thrombosis with or without distal ischemia and necrosis, vasospasm, embolism, lesions of neighboring nerves etc [25].

Basic hemodynamic monitoring is recorded at the monitor and includes the following indices: blood pressure (BP) – systolic BP (SBP), diastolic BP (DBP) and mean BP (MBP); heart rate (HR), registered electrocardiographic (ECG); central venous pressure (CVP); temperature and color of the skin; capillary refill time; pulse oximetry; state of consciousness; urinary flow; measurement and monitoring of BP [12, 26].

Advanced hemodynamic monitoring (AHM) involves the use of multiple parameters that can be measured by invasive, minimally invasive and non-invasive techniques, and is calculated based on algorithms using. A catheter inserted into the pulmonary artery, special sensors and pressure transducers connected to an arterial catheter, and a central venous catheter or just an arterial catheter and the PiCCO monitoring device, respectively. A number of parameters will be expressed as an index (e.g. cardiac index, CI) and will be appropriate because they will rely on the body surface. AHM allows the evaluation of: preload, afterload, myocardial contractility, response to liquid therapy and blood volume “excess”. Through AHM we determine the following parameters: CVP, the right ventricle (RV) filling volume in diastole, total volume in the 4 heart chambers: total telediastolic volume (TDV), total telediastolic index (TDI), the pulmonary artery pressure (PAP) in systole/diastole/mean; pulmonary capillary occlusion pressure (PCOP); parameters that measure fluid response: systolic volume variation (SVV), pulse pressure variation (PPV), systolic volume index (SVI), thorax total volume index (ITBW); volumes from cardiac cavities and pulmonary circulation; parameters that evaluate afterload: systemic vascular resistance (SVR), the systemic vascular resistance index (SVRI), resistance and resistance index in pulmonary circulation (SVR/SVRI); parameters that assess the contractility and ejection fraction (EF) of the right ventricle and left ventricle, global ejection fraction (GEF) and global contractility index (GFI) etc.; parameters of oxygenated blood flow: cardiac output/cardiac index (CO/CI); stroke volume or beating volume/stroke volume index (SV/SVI); tissue oxygenation parameters: oxygen saturation of mixed pulmonary blood (SVO₂); oxygen saturation of venous blood at central level (SCVO₂); oxygen delivery/oxygen delivery index (OD₂/OD₂I); oxygen consumption/oxygen consumption index (VO₂/VO₂I); organ function (with certain monitoring systems only):

(VO_2/VO_2I); funcția organelor (doar cu anumite sisteme de monitorizare): pulmonar – prezența edemului pulmonar: apa extravasculară (*extravascular lung water*, EVLW); indexul de permeabilitate pulmonară (*pulmonary vascular permeability index*, PVPI), care diferențiază tipul de edem pulmonar cardiogen sau non-cardiogen [27, 28].

Pentru MHA, cateterul de arteră pulmonară sau sistemele de monitorizare invazivă sau mai puțin invazivă permit evaluarea DC și a altor parametri derivați în mod continuu. La pacienții cu hipoperfuzie tisulară și instabilitate hemodinamică, acești parametri sunt utili pentru ghidarea terapiei lichidiene, dozării vasoactivelor și inotropelor, în scopul optimizării perfuziei tisulare [29, 30].

Monitorizarea DC este obligatorie la pacientul cu indexul cardiac scăzut, hipoperfuzie periferică, hipotensiune arterială și PAM mai mică de 65 mmHg. Monitoarele de tip PiCCO pot aprecia și GEDV. Variația presiunii pulsului (PPV) reprezintă diferența dintre presiunea maximă și cea minimă a pulsului în cursul unui ciclu respirator. O valoare a PPV de peste 13% orientează spre necesitatea administrării de fluide. Variația presiunii sistolice în timpul ciclului respirator la pacientul ventilat mecanic are aceeași semnificație fiziopatologică ca și PPV, dar cu o sensibilitate și specificitate mai redusă. Variația volumului sistolic se apreciază în baza curbei pulsatile, iar valoarea de peste 10-15% indică la creșterea debitului cardiac după administrarea de lichide [28, 31, 32].

Monitorizarea parametrilor volumetrici

Metoda termodiluției transpulmonare permite evaluarea unor parametri volumetrici, care țin de structurile toracice: volumul intratoracic termal (*intrathoracic thermal volume*, ITTV), volumul pulmonar termal (*pulmonary thermal volume*, PTV), volumul telediastolic global (*global end-diastolic volume*, GEDV), volumul de sânge intratoracic (*intrathoracic blood volume*, ITBV), EVLW, PVPI, volumul telediastolic al ventriculului drept (*right ventricular end-diastolic volume*, RVEDV). Indicele ITTV reprezintă volumul de distribuție al indicatorului, folosit pentru termodiluție în cele 4 camere ale cordului și plămâni (volumul intravascular pulmonar, volumul interstițial pulmonar și volumul alveolar). Componenta pulmonară a ITTV este prezentată prin PTV, iar cea cardiacă – prin GEDV și se calculează prin diferență ($GEDV = ITTV - PTV$). Deoarece GEDV este o măsură a volumului de sânge în cele 4 camere, aceasta se poate considera o valoare volumetrică a presarcinii; RVEDV, de asemenea, este o măsură volumetrică a presarcinii. Raportarea GEDV la suprafața corporală oferă valoarea indexată a parametrului respectiv (GEDI), cu o importanță practică mai mare. Volumul de sânge din vasele toracice (ITBV), din cavitățile cardiace și vasele pulmonare, se calculează prin multiplicarea GEDV cu 1,25. Acest parametru, de asemenea, poate fi indexat la suprafața corporală (*intrathoracic blood volume index*, ITBI). Cel mai important dintre parametrii volumetrici este EVLW, deoarece el corelează cu severitatea edemului pulmonar (acumularea de lichide în spațiul interstițial pulmonar și în cel alveolar). Valoarea indexată (EVLWI) se utilizează în practică pentru identificarea edemului pulmonar, ghidarea terapiei volemeice, alături de parametrii care corelează cu responsivitatea la fluide [26]. Indexul de permeabilitate vascula-

pulmonary – the presence of pulmonary edema: extra vascular fluids (EVLW); pulmonary vascular permeability index (PVPI), which differentiates the type of cardiogenic or non-cardiogenic pulmonary edema [27, 28].

For AHM, it is important that pulmonary artery catheter or various, invasive or less invasive, monitoring systems allow CO and other parameters described above to be evaluated and especially their modification over time and under the influence of the applied treatment. These parameters are useful for guiding the therapy of patients with tissue hypoperfusion or hemodynamic instability on liquids, vasoactive and inotropic drugs, in order to optimize tissue perfusion [29, 30].

Monitoring of cardiac output is mandatory for patients with low cardiac index, peripheral hypoperfusion, hypotension, and MBP less than 65 mmHg. PiCCO monitors can also appreciate the global end-diastolic volume (GEDV). Pulse pressure variation (PPV) is the difference between the maximum and the minimum pulse pressure during a respiratory cycle. At a PPV value above 13%, fluids should be considered. Systolic pressure variation (SPV) is the variation of systolic pressure during the respiratory cycle in the mechanically ventilated patient, with the same physiopathological significance as PPV but with less sensitivity and specificity. Stroke volume variation (SVV) is calculated by analyzing the pulse curve, and at a value above 10-15% correlates with the responsiveness to liquids [28, 31, 32].

Monitoring of volumetric parameters

The transpulmonary thermodilution method allows the evaluation of some volumetric parameters, related to the thoracic structures. The thoracic volumetric parameters are: intrathoracic thermal volume (ITTV), pulmonary thermal volume (PTV), global end-diastolic volume (GEDV), intrathoracic blood volume (ITBV), extravascular lung water (EVLW), pulmonary vascular permeability index (PVPI), right ventricular end-diastolic volume (RVEDV). In fact, ITTV is the volume of distribution of the indicator used for the thermodilution and includes the 4 chambers of the heart and the lungs (pulmonary intravascular volume, interstitial lung volume and alveolar volume). The ITTV pulmonary component is presented by PTV and the cardiac by GEDV and is calculated by difference ($GEDV = ITTV - PTV$). Because GEDV is a blood volume measure in the four chambers, it can be considered a volumetric value of the cardiac overload, RVEDV is also a volumetric measure of the preload. If GEDV is reported at body surface, global end-diastolic volume index (GEDI) is obtained, with a greater practical value. The volume of blood in the thoracic vessels (ITBV), in cardiac cavities and lung vessels is calculated by multiplying GEDV by 1.25, if it is related to the body surface, is obtained the indexed value – intrathoracic blood volume index (ITBI). The most important of the volumetric parameters is EVLW, because it correlates with the degree of pulmonary edema, by the accumulation of fluids in the interstitial lung space or in the alveolar space. The indexed value – EVLWI is used in practice to identify lung edema, the guidance of volumetric therapy, along with parameters that correlate with fluid responsiveness [26]. Pulmonary vascular permeability index (PVPI) is the ratio of EVLW to PTV and reflects the de-

ră pulmonară este raportul dintre EVLW și PTV; acesta reflectă gradul de permeabilitate al membranei alveolo-capilare. Acest index va fi crescut în edemul pulmonar acut non-cardiogen, caracteristic pacientului septic, în schimb, va fi în limite normale în edemul pulmonar acut cardiogen [28].

Studiul lui Connors, publicat în 1996, a declanșat o largă discuție în literatura de specialitate [33]. Acest studiu observațional, efectuat pe 5735 de pacienți de terapie intensivă generală, a arătat o creștere a mortalității, a costurilor și duratei de spitalizare a pacienților cu cateter arterial pulmonar (CAP). Rezultatele descrise au fost, ulterior, confirmate sau infirmate prin alte studii, accentuând confuzia legată de utilitatea CAP [34]. Ulterior, o metaanaliză care a inclus peste 5000 de pacienți, a arătat că monitorizarea CAP nu influențează mortalitatea sau durata spitalizării [35]. După mulți ani de dezbateri, autorii la cinci studii prospective, randomizate [36-40], care au inclus pacienți cu șoc septic și cardiogen, au analizat efectul CAP asupra morbidității și mortalității, demonstrând că acesta nu are efecte negative, dar nici nu oferă vre-un beneficiu.

Monitoarele tip PiCCO permit o măsurare a indexului cardiac mai puțin invazivă, comparativ cu CAP, utilizând un cateter venos central și unul arterial (plasat, de obicei, în artera femurală). Datele multiplelor studii, efectuate până acum, sugerează faptul că PiCCO prezintă o tehnologie nouă de monitorizare minim invazivă, care utilizează unda de arteră pentru estimarea volumului sistolic și debitului cardiac. Aceste realizări au contribuit, într-o măsură substanțială, la evaluarea rolului PiCCO în diagnosticarea precoce a șocului cardiogen, a optimizării dozelor de vasopresori și inotropi, a terapiei lichidiene sau a argumentării administrării de diuretice. Mai multe studii au validat acuratețea tehnologiei PiCCO la pacienții instabili hemodinamic [41, 42, 43].

Concluzii

Monitorizarea hemodinamică minim invazivă este obligatorie în managementul pacientului cu șoc cardiogen, în special, pentru aprecierea principalilor determinanți ai debitului cardiac. Evaluarea prin PiCCO a pacientului cu șoc cardiogen permite diagnosticarea precoce a procesului patologic, ghidarea terapiei cu viză cardiovasculară la pacienții cu hipoperfuzie tisulară sau instabilitate hemodinamică. Monitorizarea hemodinamică permite interpretarea corectă a parametrilor hemodinamici obținuți și transpunerea lor în decizii medicale adecvate, fapt ce conduce la ameliorarea prognosticului. Pacientul cu șoc cardiogen nu poate fi abordat prin simpla aplicare a unor algoritmi sau tratamente standardizate, dar necesită o conduită individualizată, bazată pe simptome clinice, parametri hemodinamici, de laborator și imagistici, cu monitorizarea continuă a efectelor induse de medicamentele prescrise.

Declarația conflictului de interes

Nimic de declarat.

Referințe / references

1. Ginghină C. Insuficiența cardiacă acută (pp. 618-619). În: Mic tratat de cardiologie. Editori: Agreșanu D., Dobrin L., Cosmin C., Călin A. Ed. Academiei Române, București, România, 2010.

gree of permeability of the alveolar-capillary membrane. This index will be increased in non-cardiogenic acute pulmonary edema, characteristic of the septic patient and normal in acute cardiogenic pulmonary edema [28].

The study of Connors, published in 1996, triggered a wide dispute in literature [33]. This observational study, which included a population of 5735 general intensive care patients, showed an increase in mortality, costs and hospitalization in patients with pulmonary artery catheter (PAC). These results were subsequently confirmed or refuted, emphasizing the confusion over the utility of PAC [34]. Subsequently, a meta-analysis that included more than 5000 patients showed that PAC monitoring did not influence mortality or hospital stay [35]. After years of debate, five prospective randomized studies [36-40] which included patients with septic or cardiogenic shock analyzed the effect of PAC on morbidity and mortality and showed that it had no supplementary risk, but no benefit too.

PiCCO monitors allow a less invasive cardiac index measurement compared to PAC, using a central venous catheter and arterial artery usually placed in the femoral artery. The data from multiple studies so far suggest that PiCCO is a new minimally invasive monitoring technology that uses the artery wave to determine cardiac output and stroke volume. These achievements have contributed to a substantial extent to the assessment of the role of PiCCO in the early diagnosis of cardiogenic shock, optimal dosing of vasopressors and inotropes, fluid replacement and diuretics use. A variety of studies have validated the accuracy and precision of PiCCO technology in unstable hemodynamic patients [41, 42, 43].

Conclusions

Minimally invasive hemodynamic monitoring is a mandatory step in patient management with cardiogenic shock, especially for the assessment of the main determinants of cardiac output. The evaluation of the patient with cardiogenic shock through PiCCO allows us to diagnose early the pathological process, guide the therapy of patients with tissue hypoperfusion or hemodynamic instability on liquids, vasoactive substances, cardiotoxic in order to optimize tissue perfusion. Hemodynamic monitoring helps to correctly interpret the hemodynamic parameters obtained and transpose them into appropriate medical decisions, which leads to improvement of prognosis. The patient with cardiogenic shock can not be treated by mechanical application of some algorithms or therapeutic measures, but by an individualized approach, building a coherent scenario based on clinical, hemodynamic, laboratory and imaging elements with strict monitoring of the treatment in dynamics.

Declaration of conflicting interests

Nothing to declare.

2. Vatamanu E. *et al.* Protocolul Național „Insuficiența cardiacă acută la adult”, 2014; p. 6-7.
3. West R., Liang L., Fonarow G. *et al.* Characterization of heart failure

- patients with preserved ejection fraction a comparison between ADHERE-US registry and ADHERE-International registry. *Eur. J. Heart Fail.*, 2011; 13: 945-52.
4. Nieminen M, Brutsaert D, Dickstein K. *et al.* EuroHeart Failure Survey II (EHFS II): a survey on hospitalized acute heart failure patients: description of population. *Eur. Heart J.*, 2006; 27 (22): 2725-36.
 5. Hochman J, Magnus O. Cardiogenic shock. (American Heart Association Clinical Series). *Hardcover*, 2009; 138-188.
 6. Hollenberg S, Kavinsky C, Parrillo J. Cardiogenic shock. *Yearbook of Intensive Care and Emergency Medicine*, 2003; 44: 447-58.
 7. Shoemaker W, Leigh T, Holbrook S. Cardiogenic shock. *Textbook of Critical Care*. Published by W.B. Saunders Company, 2000: 1037-44.
 8. O'Keefe J, Bailey J, Rutherford B, Hartzler G. Primary angioplasty for acute myocardial infarction in 1000 consecutive patients. *J. Cardiol.*, 2003; 72: 107-115.
 9. Perel A, Saugel B, Teboul J, Malbrain M, Belda F, Fernández-Mondéjar E, Kirov M, Wendon J, Lussmann R, Maggiorini M. The effects of advanced monitoring on hemodynamic management in critically ill patients: a pre and post questionnaire study. *J. Clin. Monit. Comput.*, 2016; 30 (5): 511-518.
 10. Bubenek Ş. Ghiduri și algoritme pentru optimizarea statusului hemodinamic. *Actualități în anestezie, terapie intensivă și medicină de urgență, Timișoara*, 2004: 150-152.
 11. 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.
 12. Bendjelid K., Marx G., Kiefer N., Simon T., Geisen M., Hoeft A., Siegenthaler N., Hofer C. Performance of a new pulse contour method for continuous cardiac output monitoring: validation in critically ill patients. *Br. J. Anaesth.*, 2013; 111 (4): 573-579.
 13. Tanczos K., Molnar Z. Pulsion Medical Systems SE PiCCO Technology Literature List, Jan. 2016: 9-26.
 14. Uchino S., Bellomo R., Morimatsu H. *et al.* Pulmonary artery catheter versus pulse contour analysis: a prospective epidemiological study. PAC/PiCCO Use and Likelihood of Success Evaluation [PULSE] Study Group. *Critical Care*, 2006; 10 (6): 174.
 15. Sun J., Reisner A., Saeed M., Mark R. Estimating cardiac output from arterial blood pressure waveforms: a critical evaluation using the MIMIC II Database. Harvard-MIT Division of Health Sciences and Technology, MIT, Cambridge, MA, USA. *Computers in Cardiology*, 2005; 32: 295-298.
 16. Rhodes A., Sunderland R. Arterial pulse power analysis: the LIDCO plus system. In: *Functional hemodynamic monitoring* (p. 183-192). Eds.: Pinsky M., Payen D. Ed: Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005.
 17. Middeke M. Otto F, der Dynamiker. Die Grundform des arteriellen Pulses. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 2012; 137:2706-2711.
 18. Wezler K., Boger A. Die Dynamik des arteriellen Systems. Der arterielle Blutdruck und seine Komponenten. *Ergebn Physiol*, 1939; 41: 292-306.
 19. Remington J., Nobach C., Hamilton W, Gold J. Volume elasticity characteristics of the human aorta and the prediction of stroke volume from the pressure pulse. *Am. J. Physiol.*, 1948; 153: 198-308.
 20. Kouchoukos N., Sheppard L., McDonald D. Estimation of stroke volume in the dog by a pulse contour method. *Circ. Res.*, 1970; 26: 611-623.
 21. Wesseling K., de Wit B., Weber J., Smith N. A simple device for the continuous measurement of cardiac output. *Adv. Cardiovasc Phys*, 1983; 5: 16-52.
 22. Jansen J., Wesseling K., Settels J., Schreuder J. Continuous cardiac output monitoring by pulse contour during cardiac surgery. *Eur. Heart J*, 1990; 11: 26-32.
 23. Band D., O'Brien T., Linton N., Jonas M., Linton R. Point-of-care sensor technology for critical care applications. Presentation at Colloquium on New Measurements and Techniques. *Crit Care Med.*, 1997; 25 (11): 1796-800.
 24. Teboul J., Saugel B., Cecconi M. *et al.* Less invasive hemodynamic monitoring in critically ill patients. *Intensive Care Med*, 2016; 42 (9): 1350-1359.
 25. Monnet X., Teboul J. Minimally invasive monitoring. *Crit. Care Clin.* 2015; 31 (1): 25-42.
 26. Levy B., Bastien O., Karim B. *et al.* Experts' recommendations for the management of adult patients with cardiogenic shock. *Ann. Intensive Care*, 2015; 5 (1): 52.
 27. Sakka S., Reuter D., Perel A. The transpulmonary thermodilution technique. *J. Clin. Monit. Comput.*, 2012; 26 (5): 347-353.
 28. Perny J., Kimmoun A., Perez P., Levy B. Evaluation of cardiac function index as measured by transpulmonary thermodilution as an indicator of left ventricular ejection fraction in cardiogenic shock. *Hindawi Publishing Corporation. Biomed. Res. Int.*, 2014; art. 598029: 7.
 29. Saugel B., Phillip V., Ernesti C., Messer M., Meidert A., Schmid R., Huber W. Impact of large-volume thoracentesis on transpulmonary thermodilution-derived extravascular lung water in medical intensive care unit patients. *J. Crit. Care*, 2013; 28 (2): 196-201.
 30. Chew M., Ihrman L., During J. *et al.* Extravascular lung water index improves the diagnostic accuracy of lung injury in patients with shock. *Crit. Care.*, 2012; 16 (1): R1.
 31. Jozwiak M., Teboul J., Monnet X. Extravascular lung water in critical care: recent advances and clinical applications. *Ann. Intensive Care*, 2015; 5 (1): 38.
 32. Pulsion Medical Sistem. PiCCO tehnology-Brochure. 2018, MAQUET Holding B.V. & Co. KG: 27.
 33. Connors A., Speroff T., Dawson N. *et al.* The effectiveness of right heart catheterization in the initial care of critically ill patients. *JAMA*, 1996; 276 (11): 889-897.
 34. Monnet X., Richard C., Teboul J. The pulmonary artery catheter in critically ill patients. Does it change outcome? *Minerva Anesthesiol.*, 2004; 70 (4): 219-24.
 35. Shah M., Hasselblad V., Stevenson L., Binanay C., O'Connor C., Sopko G., Califf R. Impact of the pulmonary artery catheter in critically ill patients. *JAMA*, 2005; 294 (13): 1664-1669.
 36. Rhodes A., Cusack R., Newman P., Grounds R., Bennett E. A randomised, controlled trial of the pulmonary artery catheter in critically ill patients. *Intensive Care Med.*, 2002; 28 (3): 256-264.
 37. Richard C., Warszawski J., Anguel N. *et al.* Early use of the pulmonary artery catheter and outcomes in patients with shock and acute respiratory distress syndrome - a randomized controlled trial. *JAMA*, 2003; 290 (20): 2713-2720.
 38. Harvey S., Harrison D., Singer M. *et al.* Assessment of the clinical effectiveness of pulmonary artery catheters in management of patients in intensive care (PAC-Man): a randomized controlled trial. *Lancet*, 2005; 366 (9484): 472-477.
 39. Wheeler A., Bernard G., Thompson B. Pulmonary-artery versus central venous catheter to guide treatment of acute lung injury. National Heart, Lung, and Blood Institute Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) Clinical Trials Network. *Engl. J. Med.*, 2006; 354 (21): 2213-2224.
 40. Binanay C., Califf R., Hasselblad V. *et al.* Evaluation study of congestive heart failure and pulmonary artery catheterization effectiveness: the ESCAPE trial. *JAMA*, 2005; 294 (13): 1625-1633.
 41. Kirov M., Lenkin A., Kuzkov V. *et al.* Single transpulmonary thermodilution in off-pump coronary artery bypass grafting: haemodynamic changes and effects of different anaesthetic techniques. *Acta Anaesthesiol Scand.*, 2007; 51 (4): 426-433.
 42. Wiesenack C., Fiegl C., Keyser A., Prasser C., Keyl C. Assessment of fluid responsiveness in mechanically ventilated cardiac surgical patients. *Eur. J. Anaesthesiol.*, 2005; 22 (9): 658-665.
 43. Reuter D., Felbinger T., Kilger E., Schmidt C., Lamm P., Goetz A. Optimizing fluid therapy in mechanically ventilated patients after cardiac surgery by on-line monitoring of left ventricular stroke volume variations. Comparison with aortic systolic pressure variations. *Br. J. Anaesth.*, 2002; 88 (1): 124-126.