

Berkala Kesehatan Klinik

p-ISSN : 0854-2805

Vol. 19 No.1, 2025: 43-58

Web: <https://journal.sardjitohospital.co.id>

PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN SVV DAN DO₂ PADA PASIEN POST OPERASI MAYOR ANTARA *ELECTRICAL CARDIOMETRY* DENGAN *PRESSURE-RECORDING ANALYTICAL METHOD* DI ICU RSUP DR. SARDJITO

Bayu Juliansyah¹, Akhmad Yun Jufan², Bowo Adiyanto³

¹Departemen Anestesiologi Dan Terapi Intensif Fakultas Kedokteran, Kesehatan Masyarakat, Dan Keperawatan Universitas Gadjah Mada

²Rumah Sakit Umum Pusat Dr. Sardjito, Yogyakarta

(*) Corresponding Author: dr.bayujuliansyah24@gmail.com

Article Info:	Abstract
Keywords: <i>stroke volume variation, oxygen delivery, pressure recording analytical method (PRAM), electrical cardiometry (EC), hemodynamic monitoring.</i>	Background: Assessment of intravascular volume adequacy remains challenging, as conventional methods such as clinical evaluation, central venous pressure, and pulmonary artery occlusion pressure have limited predictive value. Fluid responsiveness is commonly evaluated through heart–lung interactions during mechanical ventilation using stroke volume variation (SVV). Recently, less invasive monitoring techniques, including the pressure recording analytical method (PRAM) and non-invasive electrical cardiometry (EC), have been developed. Previous studies suggest that SVV monitoring during controlled mechanical ventilation accurately predicts fluid responsiveness. Purpose: This study aimed to determine whether measurements of stroke volume variation (SVV) and oxygen delivery (DO₂) obtained using electrical cardiometry are comparable to those measured by the pressure-recording analytical method (PRAM) in post–major surgery patients treated in the intensive care unit. Methods: The observational study with cross sectional method, the study sample was 57 adult patients who were treated in the ICU Dr. Sardjito with age ≥ 18 years, post major surgery with an arterial line and central venous catheter (CVC). SVV and DO₂ values was measured at the ICU using PRAM and EC. The collected data were be processed and analysed to compare between two of them using paired t test. Results: In this study, the subjects who met the inclusion criteria were 57 patients. The result of SVV measurement on EC was 9.49 and with PRAM was 9.81 with a difference of 0.32 did not show a significant difference P=0.12 (P>.05). Likewise, the results of DO₂ measurements on EC of 619.33 and PRAM of 652.81 there was a difference of 33.37 but did not show a significant difference of P=.06 (P>.05). At the heart rate 60-100 beats/minute, the result of the SVV measurement between EC and PRAM showed a significant difference with P=.03 (P<.05). At the heart rate <60 beats/minute, the result of DO₂ measurement between EC and PRAM showed a significant difference with P=.003 (P<.05). At Hb after surgery <8 g/dl, the result of DO₂ measurement between EC and PRAM showed a significant difference with P=.006 (P<.05). Conclusion: The result of SVV and DO₂ measurements between the electrical cardiometry and the pressure recording analytical method are not significantly different
 This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI © 2025 The Author(s).	

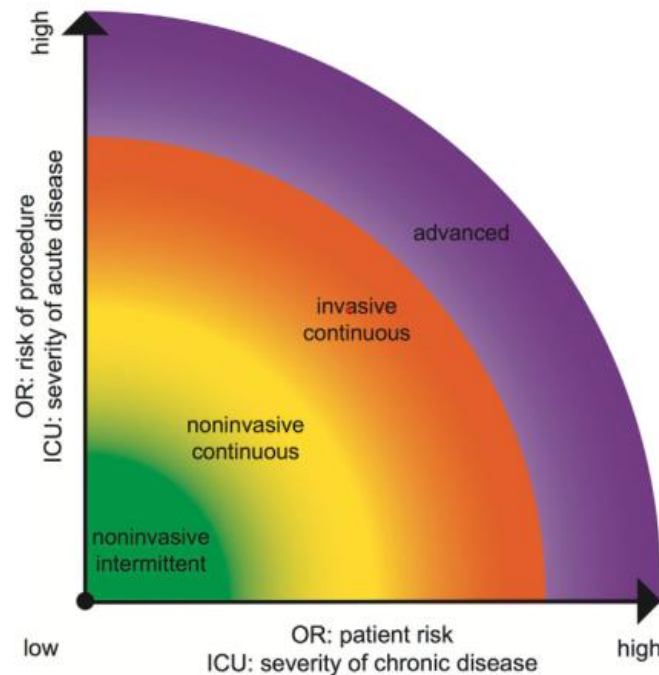
PENDAHULUAN

Evaluasi manajemen cairan post operatif ataupun pada pasien trauma perlu dilakukan untuk menilai kecukupan cairan yang diberikan. Pemberian cairan dilakukan dengan mempertimbangkan keadaan pasien dan kejadian intraoperatif. Pada saat melakukan resusitasi pada pasien dengan hemodinamik yang tidak stabil adalah dengan melakukan *loading* cairan dengan tujuan adalah meningkatkan *stroke volume* dan *cardiac output*. Oleh karenanya kita harus mengetahui tujuan dari resusitasi cairan yaitu *oxygen delivery* adekuat sehingga perfusi ke jaringan cukup dan tidak membahayakan pasien. Tanda-tanda klinis yang sering digunakan untuk mengevaluasi status hemodinamik tidak adekuat seperti turgor kulit pasien, tekanan darah, frekwensi nadi, *urine output*, pemeriksaan dada, dan photo thorax dada. Dengan mempertimbangkan bahwa hanya 50% pasien yang tidak stabil yang diberikan resusitasi cairan menunjukkan respon, hal ini dapat dilihat dari peningkatan *stroke volume* dan *cardiac output* pada pasien tersebut^{1,2}. Meskipun optimalisasi status volume secara cepat menunjukkan perbaikan *outcome*, pemberian *loading* cairan secara terus-menerus dikaitkan dengan peningkatan angka morbiditas dan mortalitas³.

Teknik pemantauan hemodinamik yang ideal seharusnya adalah teknik yang reliabel, non invasif, berkelanjutan, *cost effective* dan tidak bergantung dengan pengguna, serta mempunyai respon yang cepat dalam mendeteksi perubahan hemodinamik⁴. Shephard *et al* telah mengidentifikasi delapan karakteristik yang diinginkan untuk setiap teknik pemantauan hemodinamik yaitu akurasi, reproduktivitas, waktu respon cepat, kemandirian operator, kemudahan aplikasi, tidak ada morbiditas, penggunaan yang berkelanjutan, dan efektivitas biaya⁵. Penggunaan alat pemantauan hemodinamik dipertimbangkan berdasarkan kondisi pasien, patofisiologi, waktu terjadinya proses penyakit dan kondisi fasilitas kesehatan.

Teknik standar untuk pemantauan CO di ICU didasarkan pada pemantauan thermodilusi intermiten dengan *pulmonary artery catheter* (PAC)⁶, akan tetapi insidensi komplikasi pada pasien dengan insersi PAC pada publikasi RCT PAC-Man dan ESCAPE adalah 10% dan 5%. Selama beberapa dekade, pemantauan hemodinamik berkembang dari pemantauan dasar CO sampai pemantauan yang canggih yang menyediakan banyak variabel. Teknik ini dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu teknik kalibrasi dibandingkan non kalibrasi dan berdasarkan derajat invasif (invasif, kurang invasif dan non invasif)⁷. Beberapa studi terakhir mengklaim bahwa monitor dengan pengukuran

dinamis dapat menilai status kecukupan cairan pasien. Teknik non invasif seperti PPV, SVV dan SPV dapat secara signifikan memprediksi respon cairan pada pasien-pasien dengan ventilasi mekanik¹.



Gambar 1. Pemilihan peralatan pemantauan tekanan darah yang adekuat di ICU dan kamar operasi berdasarkan pasien dan risiko prosedur kamar operasi atau penyakit kronik dan akut (ICU)⁸

Stroke volume variation (SVV) adalah perubahan sejumlah darah yang diejeksi dari ventrikel kiri ke dalam aorta pada setiap denyutan jantung. SVV menggambarkan perubahan yang terjadi pada tekanan darah arteri dan *stroke volume* yang berhubungan dengan pola respirasi⁹. Morgan (1966) berhasil mendapatkan penurunan aliran darah pada vena cava, arteri pulmonal dan aorta sebagai respon terhadap ventilasi tekanan positif selama inspirasi⁹. Morgan (1966) berhasil mendapatkan penurunan aliran darah pada vena cava, arteri pulmonal dan aorta sebagai respon terhadap ventilasi tekanan positif selama inspirasi⁹. Monitoring hemodinamik dengan pengukuran SVV memiliki beberapa persyaratan yaitu terpasang *arteri line* (terpasang baik, berfungsi baik dan menampilkan gelombang yang adekuat), menggunakan ventilasi mekanik (dengan volume tidal > 8 cc/kgbb pada frekwensi napas yang konstan dan tidak ada pernapasan spontan), dan dada tertutup^{9,10}. Hasil pengukuran SVV menjadi tidak akurat apabila terdapat penyakit pada paru atau jantung (terutama aritmia) dan mendapatkan terapi klinis (seperti vasodilator dan *positive end expiratory pressure*)^{7,9}.

Pemantauan keseimbangan antara DO_2 dan VO_2 perlu dilakukan karena terjadinya ketidakseimbangan antara kedua komponen tersebut meningkatkan angka morbiditas, mortalitas dan lamanya rawat inap di rumah sakit. Oksigen yang sampai ke sel-sel tubuh ditentukan oleh beberapa faktor¹¹ yaitu:

1. Faktor sentral, terutama berkaitan dengan adekuatnya fungsi kardiorespirasi (*cardiac index* dan PaO_2) dan konsentrasi hemoglobin
2. Faktor perifer, berkaitan dengan redistribusi *cardiac output* ke berbagai organ dan regulasi mikrosirkulasi
3. Mekanisme lainnya yang ditentukan terutama oleh kontrol otonom pada tonus vaskuler dan respon mikrovaskular lokal dan derajat afinitas molekul hemoglobin terhadap oksigen.

DO_2 ditentukan oleh CO dan CaO_2 , dimana CaO_2 menggambarkan konsentrasi oksihemoglobin arteri total. *Cardiac output* merupakan faktor yang paling menentukan DO_2 . CO terutama ditentukan oleh *stroke volume* X frekwensi denyut jantung, sedangkan CaO_2 ditentukan oleh kadar Hb X saturasi oksigen arteri (SaO_2) X 1.36¹². Penurunan kadar hemoglobin atau saturasi oksigen arteri (SaO_2) dapat dikompensasi dengan peningkatan pada *cardiac output* tetapi tidak sebaliknya. Untuk meningkatkan DO_2 , SaO_2 yang diupayakan senormal mungkin mendekati 100% dan konsentrasi hemoglobin tidak dapat terjadi secara akut. Transfusi darah juga tidak dapat langsung meningkatkan DO_2 karena *cardiac output* biasanya menurun akibat peningkatan viskositas darah¹¹.

Pressure-recording analytical method (PRAM) merupakan teknik yang diperuntukkan untuk tekanan arteri-mengukur CO secara terus menerus tanpa memerlukan kalibrasi atau kateterisasi vena sentral. Oleh karena itu, PRAM hanya membutuhkan *arterial line*. Selain mengukur CO, sistem ini juga dapat mengukur parameter lainnya, seperti EVLW, index permeabilitas vaskuler pulmonal (PVPI), GEDV, ITBV, GEF, SV, SVV, dan SVR^{12,13}. Hasil pengukuran CI antara PRAM (Most-Care®) dengan PAC pada 59 pasien post operasi jantung yang dirawat di ICU RS Milan Italia menunjukkan korelasi yang baik pada hemodinamik yang tidak stabil¹⁴. Pada suatu penelitian yang dilakukan terhadap 58 bayi hewan coba (babi) setelah mengalami henti jantung yang menjalani pengukuran SVV dengan menggunakan FTAD dan PRAM, tidak terdapat perbedaan bermakna hasil pengukuran SVV pada kedua alat tersebut ($p=0,13$, $n=58$)¹³.

Electrical cardiometry (EC) adalah suatu metode non invasif untuk menilai *stroke volume*, *cardiac output*, dan parameter hemodinamik lainnya pada orang dewasa, anak-

anak, dan neonatus. Metode ini pertama sekali dikemukakan oleh *Kubicek et al* pada tahun 1966. Metode ini bekerja dengan berdasarkan perubahan pada resistensi rongga toraks akibat dari perubahan velositas darah selama siklus kardiak dan menggunakan suatu algoritme untuk menghitung CO¹⁵. Terdapat modifikasi pada metode ini, dan terakhir dengan persamaan Bernstein-Osyka. Berdasarkan suatu studi meta analisis, penelitian pengukuran CO dengan metode non-invasif EC dibandingkan dengan PAC didapatkan bahwa EC masih dapat digunakan sebagai alat untuk mengukur perubahan akut pada CO¹⁵. Pada penelitian lainnya, EC dapat digunakan untuk mengukur perubahan SVV terhadap 30 pasien yang mengalami sepsis dan hipotensi sebagai panduan terapi cairan¹⁶.

Seiring berkembangnya teknik pemantauan hemodinamik, pressure-recording analytical method (PRAM) dan electrical cardiometry (EC) menjadi dua modalitas yang semakin banyak digunakan dalam praktik klinis, masing-masing dengan karakteristik invasivitas dan prinsip pengukuran yang berbeda. PRAM memanfaatkan analisis gelombang tekanan arteri untuk memperoleh berbagai parameter hemodinamik secara kontinu, sedangkan EC menggunakan pendekatan non invasif berbasis perubahan impedansi toraks untuk menilai stroke volume dan cardiac output. Meskipun kedua metode tersebut telah divalidasi secara terpisah terhadap pulmonary artery catheter (PAC) terutama untuk pengukuran cardiac output, kajian yang secara langsung membandingkan hasil pengukuran stroke volume variation (SVV) dan oxygen delivery (DO₂) antara EC dan PRAM, khususnya pada pasien post operasi mayor yang dirawat di ICU dengan ventilasi mekanik terkontrol, masih terbatas. Kondisi ini menjadi relevan secara klinis mengingat SVV dan DO₂ merupakan parameter penting dalam evaluasi respons cairan dan kecukupan perfusi jaringan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk membandingkan hasil pengukuran SVV dan DO₂ antara electrical cardiometry dan pressure-recording analytical method pada pasien post operasi mayor di ICU, dengan harapan dapat memberikan dasar ilmiah dalam pemilihan modalitas pemantauan hemodinamik yang sesuai dengan kebutuhan klinis serta tingkat invasivitas yang lebih rendah.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian observasional prospektif dengan metodologi penelitian *cross sectional* pada pasien post operasi mayor yang dirawat di ICU RSUP Dr. Sardjito pada tanggal 18 Agustus 2022 sampai dengan 30 September 2022. Penelitian

dimulai setelah mendapat *ethical approval* dari Komisi Etik Penelitian Fakultas Kedokteran Kesehatan Masyarakat dan Keperawatan Universitas Gadjah Mada dengan nomor KE/FK/0934/EC/2022 dan surat izin penelitian dari Bagian Pendidikan dan Penelitian RSUP Dr. Sardjito dengan nomor LB.02.01/XI.2.2/14680/2022.

Cara pemilihan sampel pada penelitian ini adalah dengan metode *consecutive sampling*, dimana subyek yang datang secara berurutan dan memenuhi kriteria pemilihan dimasukkan dalam penelitian sampai subyek yang diperlukan terpenuhi. Sampel penelitian adalah pasien post operasi mayor yang dirawat di ICU RSUP Dr. Sardjito daritanggal 18 Agustus 2022 sampai 30 September 2022 yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi. Besar sampel yang diambil menggunakan rumus penentuan besar sampel analisis deskriptif, dengan kesalahan alpha ditetapkan ke 5% dengan tingkat kepercayaan 95%. Besar sampel minimal yang dibutuhkan adalah 52, dengan perkiraan jumlah sampel yang *drop out* 10% maka berdasarkan perhitungan koreksi *drop out* jumlah sampel yang dibutuhkan adalah 57 sampel.

Kriteria inklusi penelitian ini adalah pasien post operasi mayor yang dirawat di ICU RSUP Dr. Sardjito, berumur lebih dari 18 tahun, terpasang *central venous catheter* (CVC) dan *arterial line*, dan menggunakan ventilasi mekanik (volume tidal > 8 cc/kgbb, frekwensi napas konstan, tidak ada pernapasan spontan) dan dada tertutup. Kriteria eksklusinya adalah pasien post operasi mayor dengan ventilasi mekanik tetapi tidak tercapai tidal volum minimal 8 ml/kgbb, memiliki diagnosis aorta regurgitasi, takikardi >140 kali/menit atau bradikardi <40 kali/menit, atrial fibrilasi, pasien dengan edema anasarka, emfisema subkutis daerah thorax, dan obesitas ($BMI \geq 30 \text{ kg/m}^2$).

Variabel terikat pada penelitian ini adalah *stroke volume variation* (SVV) dan *oxygen delivery* (DO₂). Variabel bebas adalah *electrical cardiometry* (EC), *pressure recording analytical method* (PRAM). Variabel lainnya adalah jenis kelamin, usia, berat badan, tinggi badan, jenis operasi mayor, lama operasi, tekanan darah sistolik, tekanan darah diastolik, MAP, CVP, obat inotropik, obat vasopressor, aritmia, ventilasi mekanik.

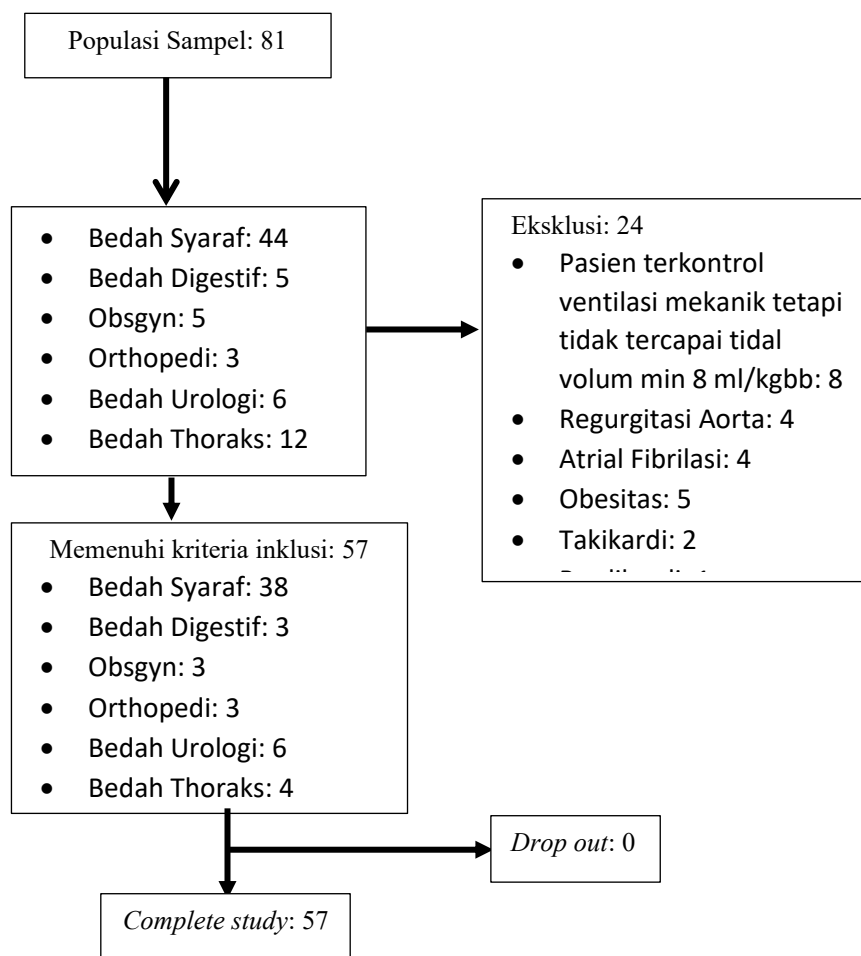
Analisis data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak statistik IBM SPSS versi 25. Analisis karakteristik subjek penelitian yang bertujuan mengetahui karakteristik setiap variabel pada penelitian ini dilakukan terhadap data umur, jenis kelamin, berat badan, tinggi badan, BMI, BSA, jenis operasi, tekanan darah, MAP, denyut jantung, laju napas, CVP, Hb post operasi, vasopressor, inotropik, ventilasi mekanik, cairan masuk, cairan keluar, *balance* cairan, dan lama anestesi. Data dinyatakan dalam

mean, frekuensi dan persentase. Pada penelitian ini sebanyak 57 sampel dilakukan uji normalitas Kolmogorov-Smirnov pada variabel SVV pada EC, SVV pada PRAM, DO₂ pada EC, dan DO₂ pada PRAM. Apabila data berdistribusi normal ($P>.05$) maka dilakukan uji *paired T-test* antara SVV pada EC dengan SVV pada PRAM, dan DO₂ pada EC dengan DO₂ pada PRAM. Kemudian dilakukan perbandingan hasil SVV dan DO₂ antara EC dan PRAM berdasarkan pada beberapa variabel seperti BMI, denyut jantung, MAP, *balance* cairan dan atau Hb post operasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

Pengambilan sampel dilakukan sejak tanggal 18 Agustus 2022 sampai dengan 30 September 2022. Populasi sampel yang didapatkan adalah 81 sampel. Pasien yang masuk ke dalam kriteria eksklusi sebanyak 24 sampel, tidak ada yang *drop out*, dan yang masuk kriteria inklusi sebanyak 57 sampel.



Gambar 2. Populasi sampel, sampel eksklusi, dan sampel inklusi

Pada penelitian ini, proporsi subjek berdasarkan jenis kelamin menunjukkan bahwa pasien pria berjumlah 20 orang (35.08%) dan pasien wanita sebanyak 57 orang (64.92%). Rerata usia subjek penelitian adalah 47.21 tahun dengan SD +14.20. Rerata berat badan subjek penelitian tercatat sebesar 57.67 kg dengan SD +8.96, sedangkan rerata tinggi badan adalah 159.81 cm dengan SD +6.88. Berdasarkan indeks massa tubuh (BMI), sebagian besar subjek berada pada kategori 18.5–24.9 kg/m² yaitu sebesar 66.67%, diikuti oleh BMI >24.9 kg/m² sebesar 26.32% dan BMI <18.5 kg/m² sebesar 7.02%. Rerata *body surface area* (BSA) subjek penelitian adalah 1.13 m² dengan SD +0.70.

Jenis operasi yang paling banyak dilakukan adalah bedah saraf sebesar 66.67%, diikuti oleh urologi sebesar 10.53%, bedah toraks sebesar 7.02%, serta obstetri dan ginekologi, bedah digestif, dan ortopedi masing-masing sebesar 5.26%. Berdasarkan kategori tekanan darah, tidak terdapat subjek dengan hipotensi (0%). Sebagian besar subjek berada dalam kondisi normotensi (56.14%), sedangkan sisanya mengalami prehipertensi (19.30%), hipertensi grade 1 (14.04%), dan hipertensi grade 2 (10.52%). Rerata *mean arterial pressure* (MAP) pada kelompok EC adalah 86.58 mmHg dengan SD +14.76, sedangkan pada kelompok PRAM sebesar 90.67 mmHg dengan SD +14.08. Tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua kelompok dengan nilai $P = .78$ ($P > .05$).

Distribusi denyut jantung subjek penelitian menunjukkan bahwa 26.32% memiliki denyut jantung <60 denyut/menit, 63.16% berada pada rentang 60–100 denyut/menit, dan 10.53% memiliki denyut jantung >100 denyut/menit. Rerata laju napas subjek penelitian adalah 14.96 kali/menit dengan SD +2.03. Rerata *central venous pressure* (CVP) pada kelompok EC adalah 4.39 mmH₂O dengan SD +2.19, sedangkan pada kelompok PRAM juga sebesar 4.39 mmH₂O dengan SD +2.13. Tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua kelompok dengan nilai $P = 1.00$ ($P > .05$).

Rerata kadar hemoglobin pascaoperasi pada subjek penelitian adalah 11.69 g/dl dengan SD +2.09. Penggunaan vasopresor hanya ditemukan pada 2% subjek, sedangkan seluruh subjek penelitian (100%) menggunakan ventilasi mekanik. Rerata cairan masuk adalah 3649.93 ml dengan SD +1504.48, sementara rerata cairan keluar sebesar 3713.61 ml dengan SD +1758.73. Rerata balance cairan tercatat sebesar 80.02 ml dengan SD +443.55. Lama anestesi pada subjek penelitian memiliki rerata 310.53 menit dengan SD +107.46. Data karakteristik subjek penelitian disajikan dalam tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik Subjek Penelitian

		N (%) / Mean $\bar{x}$ ($\pm$ SD) Pada EC	N (%) / Mean $\bar{x}$ ($\pm$ SD) Pada PRAM	P
Umur (th)		47.21 $\pm$ 14.20	47.21 $\pm$ 14.20	-
Jenis kelamin	Laki-laki	20 (35.08%)	20 (35.08%)	-
	Perempuan	37 (64.92%)	37 (64.92%)	-
BB (kg)		57.67 $\pm$ 8.96	57.67 $\pm$ 8.96	-
TB (cm)		159.81 $\pm$ 6.88	159.81 $\pm$ 6.88	-
BMI (kg/m ²)	<18.5	4 (7.02%)	4 (7.02%)	-
	18.5-24.9	39 (66.67%)	39 (66.67%)	-
	>24.9	14 (26.32%)	14 (26.32%)	-
BSA (m ²)		1.13 $\pm$ 0.70	1.13 $\pm$ 0.70	-
Jenis Operasi	Bedah Saraf	38 (66.67%)	38 (66.67%)	-
	Obsgyn	3 (5.26%)	3 (5.26%)	-
	Urologi	6 (10.53%)	6 (10.53%)	-
	Bedah Digestif	3 (5.26%)	3 (5.26%)	-
	Bedah Thoraks	4 (7.02%)	4 (7.02%)	-
	Orthopedi	3 (5.26%)	3 (5.26%)	-
Tekanan Darah	Hipotensi	0 (0%)	0 (0%)	-
	Normotensi	32 (56.14%)	32 (56.14%)	-
	Pre Hipertensi	11 (19.30%)	11 (19.30%)	-
	Hipertensi grade 1	8 (14.04%)	8 (14.04%)	-
	Hipertensi grade 2	6 (10.52%)	6 (10.52%)	-
MAP (mmHg)		86.58 $\pm$ 14.76	90.67 $\pm$ 14.08	0.78
Denyut Jantung (denyut/menit)	<60	15 (26.32%)	15 (26.32%)	-
	60-100	36 (63.16%)	36 (63.16%)	-
	>100	6 (10.53%)	6 (10.53%)	-
Laju Nafas (kali/menit)		14.96 $\pm$ 2.03	14.96 $\pm$ 2.03	-
CVP (mmH ₂ O)		4.39 $\pm$ 2.19	4.39 $\pm$ 2.13	1.00
Hb Post Operasi (g/dl)		11.69 $\pm$ 2.09	11.69 $\pm$ 2.09	-
Vasopresor	Ya	2 (4%)	2 (4%)	-
	Tidak	55 (96%)	55 (96%)	-
Inotropik	Ya	0 (0)	0 (0)	-
	Tidak	57 (100%)	57 (100%)	-
Ventilasi Mekanik	Ya	57 (100%)	57 (100%)	-
	Tidak	0 (0%)	0 (0%)	-
Cairan Masuk (ml)		3649.93 $\pm$ 1504.48	3649.93 $\pm$ 1504.48	-
Cairan Keluar (ml)		3713.61 $\pm$ 1758.73	3713.61 $\pm$ 1758.73	-
Balance Cairan (ml)		80.02 $\pm$ 443.55	80.02 $\pm$ 443.55	-
Lama anestesi (menit)		310.53 $\pm$ 107.46	310.53 $\pm$ 107.46	-

BB: berat badan, TB: tinggi badan, SD: standar deviasi, BMI: *body mass index*, BSA: *body surface area*, MAP: *mean arterial pressure*, CVP: *central venous pressure*

Berdasarkan hasil uji normalitas data berupa uji Kolmogorov-Smirnov didapatkan bahwa SVV pada EC memiliki nilai $P=.06$, SVV pada PRAM memiliki nilai $P=.07$, DO₂ pada EC memiliki nilai $P=.20$, dan DO₂ pada PRAM memiliki nilai $P=.20$. Dikarenakan nilai P pada keempat data adalah $P>.05$ maka dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal. Setelah dilakukan uji normalitas pada keempat data tersebut dilakukan uji *paired T-test* antara SVV pada EC dengan SVV pada PRAM dan DO₂ pada EC dengan DO₂ pada PRAM dengan hasil uji *paired T-test* disajikan pada tabel 2. Hasil pengukuran SVV pada EC

sebesar 9.49% dan dengan PRAM sebesar 9.81% dengan selisih 0.32% tidak menunjukkan perbedaan yang bermakna $P=.12$ ($P>.05$). Begitu pula hasil pengukuran DO_2 pada EC sebesar 619.33 ml/menit dan PRAM sebesar 652.81 ml/menit terdapat selisih 33.37 ml/menit tetapi tidak menunjukkan perbedaan bermakna $P=.06$ ($P>.05$).

Berdasarkan tabel 3, pada denyut jantung 60-100 kali/menit, hasil pengukuran SVV pada EC sebesar 9.33% dan SVV pada PRAM sebesar 9.86% dengan selisih 0.53% menunjukkan terdapat perbedaan yang bermakna dengan nilai $P=.03$ ($P<.05$). Sedangkan perbandingan hasil pengukuran SVV pada EC dan SVV pada PRAM tidak terdapat perbedaan bermakna pada BMI; denyut jantung < 60 kali/menit dan >100 kali/menit; MAP; dan balance cairan, dengan nilai $P>.05$.

Tabel 2. Perbandingan SVV dan DO_2 antara PRAM dan EC

	EC n=57	PRAM n=57	P
SVV(%)	9.49±3.26	9.81±3.37	0.12
DO_2 (mL/menit)	619.33±174.89	652.81±163.48	0.06

SVV: stroke volume variation, DO_2 : oxygen delivery paired t test, bermakna jika $p<.05$

Tabel 3. Perbandingan hasil SVV anantara EC dan PRAM berdasarkan BMI, denyut jantung, MAP, dan balance cairan

	Mean±SD	SVV EC	SVV PRAM	P
		Mean±SD	Mean±SD	
BMI (kg/m ²)	<18.5	9.50±4.66	9.50±4.20	1.00
	18.5-24.9	9.56±3.15	9.90±3.04	0.14
	≥25	9.29±3.43	9.64±4.19	0.27
Denyut jantung (kali/menit)	<60	8.07±2.02	7.73±2.43	0.35
	60-100	9.33±3.25	9.86±3.05	0.03*
	>100	14.00±1.79	14.67±1.96	0.50
MAP (mmHg)	<90	9.00±3.34	9.54±3.40	0.53
	90-≤92	8.00±2.65	7.67±3.21	0.81
	92-<96	10.60±1.82	10.00±1.41	0.21
	≥96	10.92±3.32	11.08±3.73	0.66
Balance Cairan (ml)	80.02 ±443.55	9.49±3.26	9.81±3.37	0.12

BMI: body mass index, SD: standar deviasi, SVV: stroke volume variation, *) bermakna jika $P<.05$

Tabel 4. Perbandingan hasil DO₂ antara EC dan PRAM berdasarkan BMI, denyut jantung, MAP, dan Hb post operasi

		DO ₂ EC	DO ₂ PRAM	p
		Mean±SD	Mean±SD	
BMI (kg/m²)	<18.5	579.50±97.28	550.75±144.87	0.66
	18.5-24.9	640.44±190.28	684.10±162.45	0.08
	≥25	571.93±139.67	594.79±152.86	0.13
	<60	488.47±189.16	577.40±180.82	0.003*
Denyut jantung (kali/menit)	60-100	652.97±142.05	684.53±138.91	0.13
	>100	744.67±150.95	651.00±219.95	0.14
MAP (mmHg)	<90	606.41±177.84	621.54±154.63	0.51
	90-≤92	496.00±81.84	746.33±202.82	0.14
	92-<96	586.00±90.36	649.20±101.49	0.17
	≥96	703.92±187.12	727.33±186.64	0.10
Hb Post Operasi (g/dl)	<8	485.00±140.29	516.60±134.85	0.006*
	8-≤10	522.71±66.23	480.43±75.66	0.44
	>10	645.06±176.91	684.30±157.14	0.06

BMI: *body mass index*, SD: standar deviasi, SVV: *stroke volume variation*, *) bermakna jika $P < .05$

Berdasarkan tabel 4, pada denyut jantung <60 kali/menit, hasil pengukuran DO₂ pada EC sebesar 488 ml/menit dan DO₂ pada PRAM sebesar 577 ml/menit dengan selisih 89 ml/menit menunjukkan perbedaan yang bermakna dengan nilai $P = .003$ ($P < .05$). Pada Hb post operasi <8 g/dl, hasil pengukuran DO₂ pada EC sebesar 485 ml/menit dan DO₂ pada PRAM sebesar 516 ml/menit dengan selisih 31 ml/menit menunjukkan perbedaan bermakna dengan nilai $P = .006$ ($P < .05$). Sedangkan hasil pengukuran DO₂ pada EC dan DO₂ pada PRAM tidak terdapat perbedaan bermakna pada variabel BMI; denyut jantung 60-100 kali/menit dan >100 kali/menit; MAP; dan Hb post operasi (8-10 g/dl dan ≥10 g/dl) dengan nilai $P > .05$.

PEMBAHASAN

Telah dilakukan penelitian di ICU RSUP Dr. sardjito dengan jumlah populasi sebanyak 81 sampel. Jumlah sampel yang memenuhi kriteria inklusi sebanyak 57 sampel dan sampel dikeluarkan sesuai kriteria eksklusi karena adanya komorbid *atrial fibrilasi*, takikardi, bradikardi, obesitas, regurgitasi aorta dan pasien post operasi mayor dengan ventilasi mekanik tetapi tidak tercapai tidal volum minimal 8 ml/kgbb. Penelitian berlangsung selama enam minggu untuk mendapatkan jumlah sampel minimal.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil pengukuran SVV dan DO₂ dengan *electrical cardiometry* dapat digunakan sebagai alat monitoring alternatif selain dengan menggunakan *pressure-recording analytical method*. Pada penelitian ini didapatkan rerata nilai SVV dan DO₂ pada EC dan PRAM secara statistik tidak menunjukkan perbedaan yang bermakna dengan nilai $P > .05$. Hasil uji komparasi dengan *paired T-test* pada nilai SVV antara EC dan PRAM menunjukkan hasil yang tidak berbeda bermakna dengan nilai $P = .12$ ($P > .05$). Dan hasil *paired T-test* pada nilai DO₂ antara EC dan PRAM menunjukkan hasil yang tidak berbeda bermakna dengan nilai $P = .06$ ($P > .05$).

Belum ada penelitian sebelumnya yang membandingkan pengukuran SVV dan DO₂ antara EC dan PRAM. Akan tetapi dari hasil penelitian sebelumnya, yang membandingkan pengukuran SVV antara FTAD dengan PRAM pada bayi hewan coba yang mengalami henti jantung menunjukkan hasil pengukuran SVV yang tidak berbeda bermakna antara FTAD dengan PRAM dengan nilai $P = .13$ ¹³. Pada penelitian yang dilakukan Soliman R., *et al* (2016), mengevaluasi nilai SVV dengan menggunakan EC sebagai respon terhadap pemberian cairan menunjukkan hasil yang signifikan untuk memprediksi respon cairan dengan *cut off value* 11.5%, sensitivitas 100%, spesifisitas 70.0% dan nilai $P < .001$.

Pada tabel 3, pada denyut jantung 60-100 kali/menit, hasil pengukuran SVV pada EC sebesar 9.33% dan SVV pada PRAM sebesar 9.86% dengan selisih 0.53% menunjukkan perbedaan yang bermakna dengan nilai $P = .03$ ($P < .05$). Berdasarkan denyut jantung, terdapat perbedaan nilai SVV pada EC antara denyut jantung < 60 kali/menit dan > 100 kali/menit dengan selisih 5.93%. Dan berdasarkan denyut jantung, terdapat perbedaan nilai SVV pada PRAM antara denyut jantung < 60 kali/menit dan > 100 kali/menit dengan selisih 6.94%. Peningkatan denyut jantung mengakibatkan berkurangnya *stroke volume*, tetapi secara statistik terlihat peningkatan yang signifikan pada SVV pada pasien post operasi mayor dengan pernapasan terkontrol ventilasi mekanik dan rerata keseimbangan cairan yang tidak berbeda. Roeth et al (2014) membandingkan peningkatan denyut jantung dan volum tidal terhadap variabilitas *stroke volume* pada pasien pembedahan vaskular, terdapat korelasi antara peningkatan denyut jantung dengan peningkatan SVV dengan nilai $P < .05$.

Pada penelitian sebelumnya membandingkan kedua alat tersebut dengan standard emas yaitu PAC dengan pengukuran yang dinilai adalah CO, CI, dan SVR. *Cardiac output* merupakan faktor yang paling menentukan DO₂¹⁷. Romano et al (2002) secara simultan mengukur CO dengan *direct-oxygen Fick method*, PAC-ThD, dan PRAM pada 22 pasien

jantung dewasa dengan hemodinamik stabil yang dilakukan kateterisasi jantung. Terdapat korelasi yang baik antara PRAM, Fick *method* dan ThD. Penelitian pengukuran CO dan CI yang menggunakan ICON® dibandingkan dengan PAC juga menunjukkan hasil yang akurat. Pemeriksaan CI pada pasien anak dengan penyakit jantung kongenital (penyakit jantung struktural) menggunakan EC dan PAC memiliki nilai $P>.05$ yang menunjukkan hasil yang tidak berbeda bermakna yang dapat dipercaya dan mewakili CI absolut seperti yang diperoleh pada PAC. Penggunaan ICON® dapat dipercaya, non invasif, memberikan estimasi CO setiap denyut jantung dan data thermodinamik lain pada pasien dengan berbagai macam defek jantung¹⁸.

Pada tabel 4, pada denyut jantung <60 kali/menit, hasil pengukuran DO_2 pada EC sebesar 488 ml/menit dan DO_2 pada PRAM sebesar 577 ml/menit dengan selisih 89 ml/menit menunjukkan perbedaan yang bermakna dengan nilai $P=.003$ ($P<.05$). Pengukuran DO_2 pada EC dipengaruhi oleh perbedaan denyut jantung, dimana antara denyut jantung <60 kali/menit dengan >100 kali/menit terdapat perbedaan nilai DO_2 sebesar 256 ml/menit. Hal ini dapat dijelaskan karena $DO_2 = CO \times CaO_2$, dan $CO = SV \times$ denyut jantung, dimana semakin tinggi denyut jantung (peningkatan denyut jantung tidak lebih dari 140 kali/menit atau kurang dari 40 kali/menit atau tidak terdapat atrial fibrilasi) maka nilai CO semakin besar, dan semakin besar nilai CO maka nilai DO_2 juga akan semakin besar. CO dapat ditingkatkan oleh beberapa sebab seperti peningkatan tonus simpatis, sekresi katekolamin, dan sirkulasi hormone tiroid. Mekanisme tersebut juga dapat meningkatkan denyut jantung melalui efek positif dari kronotropik (mempengaruhi waktu), dromotropik (mempengaruhi kecepatan konduksi) dan lusitropik (mempengaruhi kecepatan relaksasi miokard). Pengaruh-pengaruh ini juga meningkatkan *preload* melalui peningkatan aliran balik vena melalui reseptor yang dimediasi oleh vasokonstriksi¹⁹. Selain itu, pemeriksaan DO_2 dengan menggunakan EC menjadi tidak akurat pada denyut jantung yang terlalu cepat atau lambat (>140 kali/menit atau <40 kali/menit)²⁰.

Pada Hb post operasi <8 g/dl, hasil pengukuran DO_2 pada EC sebesar 485 ml/menit dan DO_2 pada PRAM sebesar 516 ml/menit dengan selisih 31 ml/menit menunjukkan perbedaan bermakna dengan nilai $P=.006$ ($P<.05$). Terdapat perbedaan hasil pengukuran DO_2 pada Hb post operasi < 8 g/dl dan Hb post operasi >10 g/dl baik pada EC maupun PRAM. Faktor yang paling mempengaruhi DO_2 adalah *cardiac output (CO)* terutama ditentukan oleh *stroke volume* dan frekwensi denyut jantung, sedangkan CaO_2 ditentukan

oleh kadar Hb X saturasi oksigen arteri (SaO₂) X 1.36¹². Apabila terjadi penurunan pada nilai Hb maka nilai CaO₂ dan DO₂ juga menurun.

Terdapat beberapa keterbatasan yang dijumpai pada penelitian ini. Pertama, penelitian ini dilakukan di ICU dengan sampel adalah pasien-pasien post operasi mayor atau surgikal dengan kondisi hemodinamik yang stabil, sehingga perlu dilakukan penelitian terutama pada pasien-pasien dengan kondisi medis yang tidak stabil. Kedua, pada penelitian sebelumnya pada pengukuran SVV pasien diklasifikasikan menjadi yang respon dan tidak respon terhadap pemberian cairan²⁰, pemberian bolus cairan tidak diberikan kepada pasien.

Penutup

Penelitian ini menunjukkan bahwa secara umum hasil pengukuran *stroke volume variation* (SVV) dan *oxygen delivery* (DO₂) pada pasien post operasi mayor di ICU RSUP Dr. Sardjito tidak menunjukkan perbedaan bermakna antara metode *electrical cardiometry* (EC) dan *pressure recording analytical method* (PRAM). Temuan ini mengindikasikan bahwa EC memiliki potensi sebagai alternatif pemantauan hemodinamik yang sebanding dengan PRAM pada populasi pasien post operasi mayor dengan kondisi hemodinamik relatif stabil.

Namun demikian, analisis subkelompok mengungkapkan adanya perbedaan bermakna pada kondisi klinis tertentu, yaitu perbedaan nilai SVV pada rentang denyut jantung 60–100 kali/menit, serta perbedaan nilai DO₂ pada pasien dengan denyut jantung <60 kali/menit dan kadar hemoglobin pascaoperasi <8 g/dl. Temuan ini menunjukkan bahwa akurasi dan kesesuaian pengukuran EC terhadap PRAM dapat dipengaruhi oleh faktor fisiologis tertentu, khususnya denyut jantung ekstrem dan kondisi anemia pascaoperasi.

Dengan demikian, *electrical cardiometry* layak dipertimbangkan sebagai alat pemantauan alternatif yang non-invasif untuk SVV dan DO₂, namun penggunaannya perlu mempertimbangkan batasan klinis tertentu, terutama pada pasien dengan bradikardi dan anemia berat, di mana interpretasi hasil harus dilakukan secara lebih hati-hati dan dikombinasikan dengan penilaian klinis menyeluruh.

Saran

Electrical cardiometry dapat dipertimbangkan sebagai alternatif non-invasif untuk

pemantauan *stroke volume variation* dan *oxygen delivery* pada pasien post operasi mayor di ICU, khususnya pada pasien dengan kondisi hemodinamik relatif stabil, denyut jantung dalam rentang fisiologis, dan kadar hemoglobin yang adekuat; namun, pada kondisi klinis tertentu seperti bradikardi dan anemia pascaoperasi berat, interpretasi hasil pengukuran perlu dilakukan secara hati-hati dan sebaiknya dikombinasikan dengan metode pemantauan lain. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan desain prospektif dengan pendekatan dinamis, termasuk uji respons cairan serta *randomized controlled trial* pada populasi intraoperatif dan pasien medikal dengan hemodinamik tidak stabil, guna memperkuat validitas klinis dan menentukan batasan penggunaan *electrical cardiometry* secara lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

1. Marik PE, Cavallazzi R, Vasu T, Hirani A. Dynamic changes in arterial waveform derived variables and fluid responsiveness in mechanically ventilated patients: A systematic review of the literature*: Critical Care Medicine. 2009 Sep;37(9):2642–7.
2. Kayilioglu SI, Dinc T, Sozen I, Bostanoglu A, Cete M, Coskun F. Postoperative fluid management. WJCCM. 2015;4(3):192.
3. Cherpanath TGV, Geerts BF, Lagrand WK, Schultz MJ, Groeneveld ABJ. Basic concepts of fluid responsiveness. Neth Heart J. 2013 Dec;21(12):530–6.
4. Cox PBW, den Ouden AM, Theunissen M, Montenij LJ, Kessels AGH, Lancé MD, et al. Accuracy, Precision, and Trending Ability of Electrical Cardiometry Cardiac Index versus Continuous Pulmonary Artery Thermodilution Method: A Prospective, Observational Study. Biomed Res Int [Internet]. 2017 [cited 2020 Oct 29];2017. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5654291/>
5. Tibby SM, Murdoch IA. Monitoring cardiac function in intensive care. Arch Dis Child. 2003 Jan;88(1):46–52.
6. Mercado P, Maizel J, Beyls C, Titeca-Beauport D, Joris M, Kontar L, et al. Transthoracic echocardiography: an accurate and precise method for estimating cardiac output in the critically ill patient. Crit Care. 2017 Jun 9;21(1):136.
7. Huygh J, Peeters Y, Bernards J, Malbrain MLNG. Hemodynamic monitoring in the critically ill: an overview of current cardiac output monitoring methods. F1000Research. 2016 Dec 16;5:2855.
8. Saugel B, Sakka SG. Editorial: Less and Non-invasive Hemodynamic Monitoring Techniques. Front Med. 2018 Sep 19;5:258.
9. Martinez G. WHAT IS STROKE VOLUME VARIATION (SVV)? [Internet]. 2018 [cited 2021 May 20]. Available from: <https://www.lidco.us/blog/what-is-stroke-volume-variation-svv>
10. Li C, Lin F qing, Fu S kun, Chen G qiang, Yang X hu, Zhu C yan, et al. Stroke Volume Variation for Prediction of Fluid Responsiveness in Patients Undergoing Gastrointestinal Surgery. Int J Med Sci. 2013;10(2):148–55.
11. Hameed SM, Aird WC, Cohn SM. Oxygen delivery. Critical Care Medicine. 2003 Dec;31(12):S658.

12. Burtman DTM, Stolze A, Genaamd Dengler SEK, Vonk ABA, Boer C. Minimally Invasive Determinations of Oxygen Delivery and Consumption in Cardiac Surgery: An Observational Study. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2018;32(3):1266–72.
13. Urbano J, López J, González R, Fernández SN, Solana MJ, Toledo B, et al. Comparison between pressure-recording analytical method (PRAM) and femoral arterial thermodilution method (FATD) cardiac output monitoring in an infant animal model of cardiac arrest. *ICMx*. 2016 Dec;4(1):13.
14. Barile L, Landoni G, Pieri M, Ruggeri L, Maj G, Nigro Neto C, et al. Cardiac Index Assessment by the Pressure Recording Analytic Method in Critically Ill Unstable Patients After Cardiac Surgery. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. 2013 Dec;27(6):1108–13.
15. Sanders M, Servaas S, Slagt C. Accuracy and precision of non-invasive cardiac output monitoring by electrical cardiometry: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Monit Comput*. 2020 Jun;34(3):433–60.
16. R S, D Z. Bedside Assessment of Preload in Acute Circulatory Failure Using Cardiac Velocimetry. *J Med Diagn Meth* [Internet]. 2016 [cited 2022 Sep 26];5(3). Available from: <https://www.omicsgroup.org/journals/bedside-assessment-of-preload-in-acute-circulatory-failure-using-cardiac-velocimetry-2168-9784-1000222.php?aid=77163>
17. Pulse Wave Analysis Using the Pressure Recording Analytical Method to Measure Cardiac Output in Pediatric Cardiac Surgery Patients [Internet]. *Anesthesia Experts*. 2022 [cited 2022 Oct 2]. Available from: <https://anesthesiaexperts.com/uncategorized/pulse-wave-analysis-pressure-recording-analytical-method-measure-cardiac-output-pediatric-cardiac-surgery-patients-2/>
18. Narula J, Chauhan S, Ramakrishnan S, Gupta SK. Electrical Cardiometry: A Reliable Solution to Cardiac Output Estimation in Children With Structural Heart Disease. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. 2017 Jun;31(3):912–7.
19. King J, Lowery DR. Physiology, Cardiac Output. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 [cited 2022 Sep 27]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470455/>
20. Kazimierczyk R, Jasiewicz M, Marcinkiewicz-Siemion M, Knapp M, Lisowska A, Błaszczak P, et al. The pilot study of role of electrical cardiometry in non-invasive assessment of hemodynamic parameters in patients with pulmonary arterial hypertension (RCD code: II-1A.1). *Journal of Rare Cardiovascular Diseases*. 2017 Mar 31;3(2):44–9.