

Primena toraksne bioelektrične impedanse u proceni hemodinamskih parametara kardiovaskularnog sistema

Vesna Stojanov*, Branko Jakovljević[†], Katarina Paunović[†]

Klinički centar Srbije, *Institut za kardiovaskularne bolesti, Beograd, Medicinski fakultet, [†]Institut za higijenu i medicinsku ekologiju, Beograd

K l j u č n e r e č i : hipertenzija; impedanca, električna; hemodinamika; krvni pritisak; antihipertenzivi.

K e y w o r d s : hypertension; electric impedance; hemodynamic phenomena; blood pressure; antihypertensive agents.

Arterijska hipertenzija je veoma rasprostranjena kardiovaskularna bolest i predstavlja značajan faktor rizika za nastanak kardiovaskularnih, cerebrovaskularnih i renovaskularnih oboljenja (1). Blagovremena dijagnoza i pravilna terapija kod hipertenzije su od izuzetnog značaja za smanjenje rizika od kardiovaskularnih komplikacija. Za pravilno lečenje od arterijske hipertenzije značajno je poznavanje osnovnih hemodinamskih parametara koji učestvuju u formiranju arterijskog krvnog pritiska (AKP).

Arterijski krvni pritisak je proizvod minutnog volumena srca i veličine perifernog otpora uglavnom u arteriolama (2). To je pogonska sila potrebna za kretanje krvi kroz sistem krvnih sudova. Ovu silu daje leva komora svojom kontrakcijom (sistolom). Istisnuta krv iz komore širi aortu i velike arterije, pa se tako deo energije, tj. sile, prenosi na elastična vlakna u zidovima krvnih sudova koja se istežu. Do širenja krvnih sudova i istezanja elastičnih vlakana u njihovim zidovima dolazi zbog delovanja još jednog značajnog činioca – otpora u arteriolama (vaskularna rezistencija). Ovaj otpor omogućava da se sila rada leve komore prenese na elastična vlakna u sistoli, ali istovremeno omogućava kretanje krvi i u dijastoli. U dijastoli leva komora miruje, ali se elastična vlakna u zidovima velikih krvnih sudova skraćuju, tj. vraćaju se na prvobitnu dužinu, smanjuju promer krvnog suda i na taj način dalje istiskuju krv koju su aorta i arterije primile tokom sistole leve komore. Ovo je mehanizam koji silom istiskivanja krvi i otporom u arteriolama omogućava potpuno pražnjenje krvnih sudova i neprekidan tok krvi u sistoli i dijastoli (3, 4). Odredi-

vanje ovih hemodinamskih parametara je znatno olakšano primenom toraksne bioelektrične impedanse (5).

Toraksna bioelektrična impedansa (TBI) je nov neinvazivni hemodinamski metod pomoću kojeg smo u mogućnosti da na jednostavan način dođemo do hemodinamskih parametara koji su ključni u formiranju arterijskog krvnog pritiska, tj. količine tečnosti koja cirkuliše, kontraktilnosti srčanog mišića i perifernog otpora. Na osnovu parametra koji je poremećen možemo da odredimo adekvatnu terapiju i da pratimo njen hemodinamski efekat.

Nyboer je 1959. godine prvi primenio bioelektričnu impedansu za određivanje udarnog volumena leve komore. Modifikaciju Nyboerove jednačine uradili su Kubicek i saradnici 1966. godine, a 1981. godine Quail i saradnici su u originalnu jednačinu uveli tzv. faktor rezistentnosti. Sramek i saradnici su 1983. godine našli da konusni oblik grudnog koša ima uticaja na postavljanje elektroda i merenje toraksne bioimpedanse.

Definicija

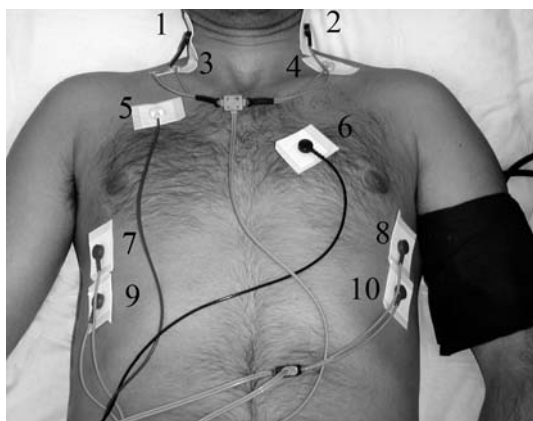
Pod toraksnom bioelektričnom impedansom podrazumeva se otpor koji tkivo grudnog koša pruža pri prolasku naizmenične struje. Kako krv pruža najveći otpor prolasku naizmenične struje, uzima se da je električna impedansa krvi u aorti jednaka ukupnoj torakсноj električnoj impedansi. To znači da se dobijanje hemodinamskih parametara kardiovaskularnog sistema zasniva na primeni struja slabe jačine (2,5

mA i 70 Hz) i određivanju otpora koji krv u aorti pruža tom prolasku struje (6).

Za određivanje hemodinamskog stanja koristi se aparat za merenje električne bioimpedanse tip AVL 2001 (BoMed Medical Manufacturing Ltd.). Aparat je prenosiv, dimenzija $30 \times 29 \times 14$ cm, težine 3,2 kg. Bolesnik je u toku ispitivanja u ležećem položaju na leđima i elektrode se postavljaju na površinu grudnog koša i to četiri elektrode u predelu korena vrata i druge četiri na srednjoj aksilarnoj liniji u visini ksifoidnog nastavka (slike 1 i 2). Elektrode su povezane sa aparatom AVL 2001, a on sa računarnom u koji se unose podaci o ispitaniku, tj. godina rođenja, pol, telesna masa, telesna visina i vrednost arterijskog krvnog pritiska koju lekar izmeri sfingomanometrom.



Sl. 1 – Položaj bolesnika pri ispitivanju toraksnom bioelektričnom impedansom



Sl. 2 – Lokacija elektroda na grudnom košu bolesnika za određivanje toraksne bioelektrične impedanse

Elektrode označene brojem 1, 2 služe kao izvor, a elektrode 9, 10 kao ušće električne struje; elektrode 3, 4, 7, 8 služe za registrovanje signala impedanse i vektora elektrokardiograma; elektrode 5, 6 su pomoćne elektrode koje služe za pojačanje signala

Hemodinamski parametri

Na osnovu specijalnog programa pomoću AVL se određuje 11 parametara i to: sedam fizioloških koje sam meri i dva koja se računaju po posebnom programu; pored toga

njime se određuju srčana frekvencija i srednji arterijski krvni pritisak (slika 3). To su sledeći parametri:

- globalni protok krvi – srčani indeks (CI) predstavlja minutni volumen srca po kvadratnom metru površine tela;
- udarni volumen – sistolni indeks (SI) označava količinu istisnute krvi u toku svake sistole. On predstavlja razliku između volumena leve komore na kraju diastole i njenog volumena na kraju sistole;
- volemija – enddiastolni indeks (EDI) je zapremina krvi u komori na kraju diastole;
- inotropno stanje (izraženo preko dve komponente):
 - kontraktilnost prouzrokovana volemijom (IC) i
 - kontraktilnost prouzrokovana hemijskim faktorom (ACI);
- vazoaktivnost – indeks sistemske vaskularne rezistencije (SVRI) (predstavlja primarnu komponentu postopterećenja);
- efikasnost srčane pumpe – ejeckijska frakcija (EF) predstavlja procenat istisnute krvi sa svakim otkucajem srca i jednaka je udarnom volumenu podeljenom sa volumenom na kraju diastole, enddiastolnim volumenom (normalna vrednost 50,0–65,0%);
- srčani rad – indeks rada levog srca (LCWI) označava primarnu komponentu predopterećenja;
- sadržaj tečnosti u toraksu – torakalna fluidna konduktivnost (TFC) koja obuhvata intravaskularnu, intraalveolnu i intersticijumsku tečnost;
- srednji arterijski pritisak (MAP) izračunava se kao zbir diastolnog pritiska i trećine pulsnog pritiska. Pulsni pritisak je razlika između sistolnog i diastolnog krvnog pritiska, to je vrednost sile koja potiskuje krv kroz krvotok tokom diastole leve komore;
- srčana frekvencija (FS).

	male		© 1991 Bofed	
GLOBAL FLOW	CI	2.8	4.2	3.5 L/min/m ²
PUMP OUTPUT/VT.	SI	35	65	47 mL/m ²
PRELOAD	EDI	50	110	82 mL/m ²
CONTRACTILITY (volume)	IC	.033	.065	0.050/sec
	ACI	0.7	1.5	1.10/sec ²
AFTERLOAD	SVRI	1660	2580	2030 F10hm.m ²
CARDIAC WORK	LCWI	3.3	5.3	4.3 kgm/m ²
PUMP EFFICIENCY	EF	50	65	57 %
THORACIC FLUIDS	TFC	.030	.050	0.040/0hm
MEAN ARTER. PRESS	MAP	94	100	92 Torr

Sl. 3 – Grafički prikaz normalnih vrednosti hemodinamskih parametara

Značaj određivanja ovih parametara je u tome što svaki od njih predstavlja jednu komponentu hemodinamskog stanja. Srčani indeks određuje hemodinamsko stanje koje može biti normodinamsko, hipodinamsko i hiperdinamsko. Indeks sistemske vaskularne rezistencije pokazuje vazoaktivnost koja se kreće u pravcu vazodilatacije, vazokonstrikcije, ili je normalna vazoaktivnost. Indeks rada levog srca predstavlja efekte volumena i inotropnog stanja, tačnije

volumena i kontraktilnosti, pa ispitanik može biti: normovolemičan ili normotropan, hipovolemičan ili hipoinotropan i hipervolemičan ili hiperinotropan. Vrednosti srednjeg arterijskog krvnog pritiska mogu da ukažu na normotenziju, hipotenziju ili hipertenziju.

Sve ove komponente predstavljene su na tzv. terapijskoj strani u vidu dvodimenzionjskog grafikona (slike 4, 5 i 6), na kome su na horizontalnoj osi predstavljene vrednosti

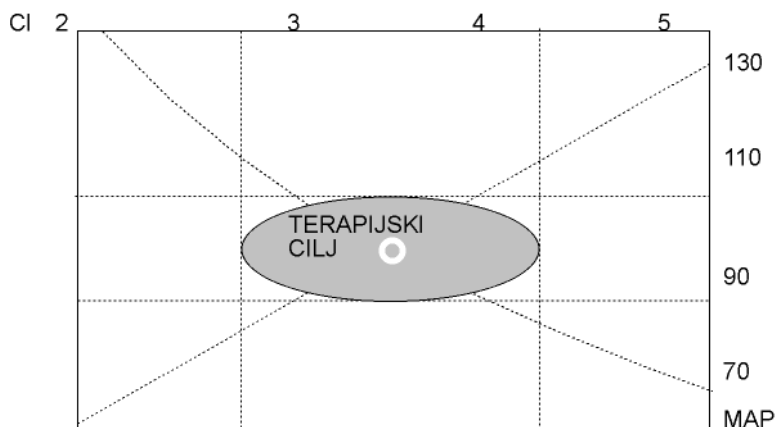
srčanog indeksa (CI), a na vertikalnoj srednjeg arterijskog krvnog pritiska (MAP). Sistemsko hemodinamsko stanje ispitanika definisano je globalnim protokom i pritiskom. Njihovim koordinatama predstavljena je hemodinamska tačka, koja kada se nalazi u centru grafikona ima koordinate: MAP = 92 mmHg i CI = 3,5 l/min/m². To bi bila lokacija normalne hemodinamske tačke idealnih vrednosti i odnosi se na odraslog, zdravog ispitanika u ležećem položaju. Ona predstavlja naš cilj u terapiji. Na grafikonu je ucrtana elipsa koja ograničava normalno hemodinamsko stanje, tako da se sve vrednosti hemodinamskih parametara, koje se nalaze u njoj, kreću u granicama normale. Na grafikonu su ucrtani i podaci o LCWI i SVRI. Na osnovu položaja tačke u ovom grafikonu određujemo hemodinamsko stanje bolesnika, a izračunato je i procentualno odstupanje od normalnih vrednosti, koje nas upućuje na izbor odgovarajuće terapije (7). Na terapijskom grafikonu nisu odvojene promene volumena od promena inotropnosti, izražene su u okviru istih vrednosti, pa je zbog toga potrebno pogledati i dijagnostički grafikon.

Na osnovu dobijenih podataka može se odabrati terapija koja povećava ili redukuje volumen, ima pozitivno ili negativno inotropno dejstvo, deluje vazodilatatorno ili vazokonstriktorno ili ima pozitivna ili negativna hronotropna dejstva.

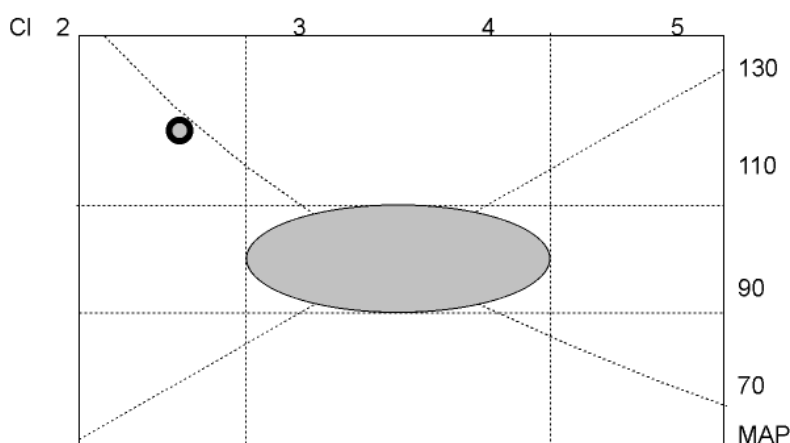
Indikacije za primenu toraksne bioelektrične impedanse

Toraksna bioelektrična impedansa primenjuje se kao dijagnostička metoda u Institutu za kardiovaskularne bolesti Kliničkog centra Srbije od 1993. godine. Do danas je ovim putem pregledano oko 15 000 bolesnika – preko 1 000 bolesnika godišnje. Koristi se za:

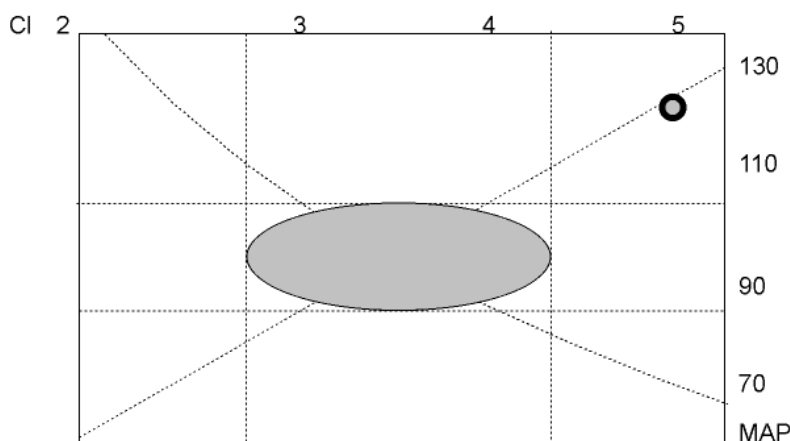
- definisanje i tumačenje hemodinamskog stanja bolesnika (8, 9);
- propisivanje adekvatne terapije i praćenje efekta primenjene terapije na regulisanje hemodinamskih parametara (10–13). Pri prvom pregledu bolesnika sa hipertenzijom na osnovu hemodinamskih parametara određuje se vrsta antihipertenzivne terapije. Na kontrolnim pregledima posle 2 nedelje, mesec dana ili po potrebi, doza leka se povećava ili se terapija menja prilagođavajući se hemodinamskom stanju bolesnika;
- kod obolelih od koronarne bolesti sa poremećajem funkcije leve komore i kod bolesnika sa kardiomiopatijom (14);



Sl. 4 – Grafički prikaz terapijskog cilja



Sl. 5 – Grafički prikaz vazokonstrikcije



Sl. 6 – Grafički prikaz hipervolemije

- kod nefroloških bolesnika (pre i posle hemodijalize) (15);
- kod bolesnika pre i posle operacije (5), bolesnika pod anestezijom (16) i bolesnika na odeljenju intenzivne nege (17), u eksperimentne svrhe u cilju procene delovanja određenih stresora na kardiovaskularni sistem (18, 19), kod žena u trudnoći (5), i kod zdravih sportista u cilju procene stepena utreniranosti.

U okviru neinvazivnih dijagnostičkih metoda TBI zauzima značajno mesto zbog velikog broja hemodinamskih parametara koji se mogu odrediti, velike preciznosti, kao i zbog velike brzine i jednostavnosti pri upotrebi. Pre otkrivanja toraksne električne bioimpedanse ejičiona frakcija određivana je invazivnom kvantitativnom ventrikulografijom i neinvazivnim metodama: standardnom ehokardiografijom i radionukleidnom ventrikulografijom (20). Klasičnom metodom za određivanje minutnog volumena srca, takozvanim zlatnim standardom, do sada je smatrana termomodulacija. U mnogim studijama nalazimo podatke o evaluaciji podudarnosti između vrednosti minutnog volumena određenog metodom toraksne bioelektrične impedanse sa vrednostima dobijenim ovom metodom. Sageman i saradnici su pokazali dobro slaganje vrednosti minutnog volumena koji su određivani toraksnom bioelektričnom impedansom i termomodulacionom metodom u postoperativnom periodu kod bolesnika sa kardiopulmonalnim bajpasom, koronarnim bajpas graftom ili zamenom valvula (21). U studiji Junga i

saradnika kod bolesnika sa plućnom hipertenzijom, korelacija vrednosti minutnog volumena izmerenog toraksnom impedansom i direktnom Fikovom metodom iznosila je 0,84, korelacija između impedanse i termomodulacije 0,80, a između dve invazivne metode 0,89. Zaključeno je da toraksna bioelektrična impedansa može biti dobra zamena za ove invazivne i skupe metode koje nose i veliki rizik od pojave komplikacija (22).

Prednosti i nedostaci bioelektrične impedanse

Prednosti korišćenja ovog metoda su: lakoća izvođenja, neinvazivnost, skraćeno vreme pregleda, neškodljivost, kako za bolesnika, tako i za medicinsko osoblje, ne zahteva posebnu pripremu bolesnika, manja učestalost pojave komplikacija i veća ekonomska isplativost. Zato je ova metoda praktična za vanbolničku upotrebu, a procena funkcije kardiovaskularnog sistema bazirana na objektivnim hemodinamskim podacima je pouzdanija nego ona koja je bazirana na simptomima i fizičkim znacima i daje mogućnost ranije intervencije.

Metoda toraksne bioelektrične impedanse ima ograničenu vrednost kod bolesnika sa valvularnom regurgitacijom i poremećajima ritma (apsolutna aritmija, blokovi raznog stepena) kao posledica artefakta u analizi talasa impedanse (23). Međutim, u prodaji je i noviji model AVL 2011 koji savremenim programom prevazilazi ove nedostatke.

L I T E R A T U R A

1. *Stojanov V, Avramović DM, Jakovljević B, Kozarević Đ, Janošević S, Avramović DD.* High-normal values of the arterial blood pressure as a risk factor for the occurrence of cardiovascular diseases. *Jugosl Zhur Hipert* 1997; 1: 27–30. (Serbian)
2. *Guyton A.* Medical physiology. Beograd: Medicinska knjiga; 1989. (Serbian)
3. *Avramović D.* Arterial hypertension. In: *Manojlović D*, editor. Internal medicine. Beograd: Medicinska knjiga; 1994. p. 419–30. (Serbian)
4. *Milnor WR.* Hemodynamics. Baltimore: Williams and Wilkins; 1982.
5. *Chouhan L.* Electrical bioimpedance: a new noninvasive hemodynamic monitoring technique for clinical use. *Heart Views* 2000; 1(8): 317–9.
6. *Sramek BB.* Thoracic electrical bioimpedance: Basic principles and physiologic relationship. *Noninvas Cardiol* 1994; 3(2): 83–8.
7. *Sramek BB.* Thoracic electrical bioimpedance measurement of cardiac output. *Crit Care Med* 1994; 22(8): 1337–9.
8. *Ivanović B, Avramović D, Šujeranović D, Todorović Lj, Pavlović S, Bošnjaković V.* Left ventricular ejection fraction determination by thoracic electrical bioimpedance. *Balneoclimatol* 1993; (Suppl 1): 267–9. (Serbian)
9. *Stojanov V.* Retrospective and prospective follow-up of hypertension in the same group of participants [dissertation]. Belgrade: School of Medicine, University of Belgrade; 1995. (Serbian)
10. *Stojanov V, Jakovljević B, Avramović DM.* Effect of hydrochlorothiazide on hemodynamic parameters and circadian rhythm of the hypertensive patients. Prevention of cardiovascular diseases. *Balneoclimatol* 1999; 23(Suppl 2): 117–22. (Serbian)
11. *Stojanov V, Avramović DM.* Application of the thoracic electrical bioimpedance in the choice of antihypertensive therapy. In: *Nedeljković S*, editor. *Cardiology* 2000. Belgrade: School of Medicine, University of Belgrade, Department for cardiology; 2000. p. 642–5. (Serbian)
12. *Stojanov V, Jakovljević B, Avramović MD, Petrović M.* Significance of new non-invasive diagnostic procedures in the estimation of the efficiency of therapy with cilasaprile. *Kardiovaskul obol* 1996; 7: 60–5. (Serbian)
13. *Avramović DM, Kocijančić M, Bojić M, Avramović DD, Kocijančić A, Stojanov V*, et al. Efficiency, endurance and effect of cilasaprile and caproprile on 24-hour

- profile of blood pressure. *Kardiovaskul obol* 1996; 7: 38–42. (Serbian)
14. *Strobeck JE, Silver MA, Ventura H.* Impedance cardiography: noninvasive measurement of cardiac stroke volume and thoracic fluid content. *Congest Heart Fail* 2000; 6(2): 56–9.
 15. *Peco-Antić A, Pejčić I, Stojanov V, Kostić M, Kruščić D, Jovanović O,* et al. Continuous ambulatory measurement of blood pressure in children – personal experience. *Srp Arh Celok Lek* 1997; 125(7-8): 197–202. (Serbian)
 16. *Critchley LA, Short TG, Gin T.* Hypotension during subarachnoid anaesthesia: haemodynamic analysis of three treatments. *Br J Anaesth* 1994; 72(2): 151–5.
 17. *Critchley LA.* Impedance cardiography. The impact of new technology. *Anaesthesia* 1998; 53(7): 677–84.
 18. *Belojević G, Stojanov V, Jakovljević B.* Sex specific cardiovascular effects of experimental exposure of humans to noise. Niš: University of Niš, Faculty of Occupational Safety, Department of Noise and Vibration; 2002.
 19. *Belojević G, Stojanov V, Jakovljević B.* Thoracic electrical bioimpedance monitoring of cardiovascular effects of noise. In: *Prasher D*, editor. Noise pollution and health. London: Noise Research Network Publications; 2003. p. 77–80.
 20. *Braunwald E*, editor. Heart disease. A textbook of cardiovascular medicine. Philadelphia: W. B. Saunders Company; 1992.
 21. *Sageman WS, Riffenburgh RH, Spiess BD.* Equivalence of bioimpedance and thermodilution in measuring cardiac index after cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2002; 16(1): 8–14.
 22. *Yung GL, Fedullo PF, Kinninger K, Johnson W, Charnick RN.* Comparison of impedance cardiography to direct Fick and thermodilution cardiac output determination in pulmonary arterial hypertension. *Congest Heart Fail* 2004; 10(2 Suppl 2): 7–10.
 23. *Lasater M, Von Rueden KT.* Outpatient cardiovascular management utilizing impedance cardiography. *AACN Clin Issues* 2003; 14(2): 240–50.

Rad je primljen 25. VIII 2004. god.