

Ocena wpływu zmiany pozycji ciała na profil hemodynamiczny oceniany metodą kardiografii impedancyjnej

Impact of changes in body position on hemodynamic profile assessed by impedance cardiography

Katarzyna Kolaszyńska-Tutka¹, Paweł Krzesiński¹, Aleksandra Cebula², Paulina Karolczak², Natalia Karolczak², Andrzej Skrobowski¹, Grzegorz Gielera¹

¹Klinika Kardiologii i Chorób Wewnętrznych CSK MON WIM w Warszawie; kierownik: dr hab. med. Andrzej Skrobowski
²Studenckie Koło Naukowe „Cardiacus” przy Klinice Kardiologii i Chorób Wewnętrznych CSK MON WIM

Streszczenie. Wstęp. Adaptacja hemodynamiczna do zmiany pozycji ciała warunkuje prawidłową perfuzję narządową. Kardiografia impedancyjna (ICG) umożliwia nieinwazyjną ocenę reakcji układu krążenia na stres ortostatyczny w zakresie m.in. średniego ciśnienia tętniczego (MBP), częstotliwości rytmu serca (HR), wskaźnika objętości wyrzutowej (SI), systemowego oporu naczyniowego (SVRI) oraz zawartości płynu w klatce piersiowej (TFC). Określenie wpływu pozycji ciała na te parametry jest istotne dla prawidłowej interpretacji ICG. Celem badania była ocena wpływu pionizacji na profil hemodynamiczny. Metody. U 30 osób w wieku 22–74 lat wykonywano 20-minutowe badanie ICG z rejestracją parametrów hemodynamicznych w różnych pozycjach ciała. Wyniki. Zmiana pozycji ciała z leżącej na siedzącą wiązała się ze zwiększeniem MBP, HR, SVRI oraz zmniejszeniem SI i TFC. Dla MBP, HR i TFC najistotniejszą zmianę zaobserwowano w 1. minucie po zmianie pozycji, zaś SI i SVRI zmieniały się stopniowo. Powtórne przyjęcie pozycji leżącej wiązało się z powrotem parametrów do wartości wyjściowych. Wnioski. Pozycja ciała ma istotny wpływ na parametry hemodynamiczne mierzone metodą ICG. Badania sekwencyjne powinno się wykonywać konsekwentnie w tej samej pozycji ciała.

Słowa kluczowe: kardiografia impedancyjna, układ krążenia, pionizacja, rzut serca

Abstract. Introduction. Hemodynamic adaptation to change of body position determines proper organ perfusion. Impedance cardiography (ICG) enables the non-invasive assessment of cardiovascular response to orthostatic stress, measuring e.g.: mean blood pressure (MBP), heart rate (HR), stroke volume index (SI), systemic vascular resistance index (SVRI) and thoracic fluid content (TFC). For the correct interpretation of ICG, it is very important to determine the impact of body position on those parameters. Therefore, the aim of the study was to evaluate the impact of verticalization on the hemodynamic profile. Methods. 30 patients (aged 22–74 years) underwent a 20-minute ICG in different body positions and hemodynamic parameters were recorded. Results. The change of body position from supine to sitting was associated with increased MBP, HR, SVRI and decreased SI and TFC. The most significant change of MBP, HR and TFC was observed in 1st minute after the position change, while SI and SVRI were changing gradually. Return to horizontal position indicated the return of the parameters to their baseline values. Conclusions. Body position has significant impact on the hemodynamic parameters measured by ICG. Sequential testing should be performed in the same body position.

Key words: impedance cardiography, cardiovascular system, verticalization, cardiac output,

Nadesłano: 26.10.2016. Przyjęto do druku: 5.12.2016

Nie zgłoszono sprzeczności interesów.

Lek. Wojsk., 2017; 95 (1): 76–81

Copyright by Wojskowy Instytut Medyczny

Adres do korespondencji

Katarzyna Kolaszyńska-Tutka

Klinika Kardiologii i Chorób Wewnętrznych CSK MON WIM

ul. Szaserów 128, 04-141 Warszawa

tel./faks +48 22 810 80 89

e-mail: kcolaszynska@wim.mil.pl

Wstęp

Zmiana pozycji ciała wpływa istotnie na funkcję układu krążenia poprzez uruchomienie szeregu mechanizmów adaptacyjnych. Najważniejszym z nich jest zwiększenie

aktywności układu współczulnego. Wywołuje to zarówno efekt inotropowy oraz chronotropowy dodatni, jak i skurcz tętnic obwodowych [1,2]. Dostosowanie profilu hemodynamicznego do zmian grawitacyjnych warunkuje prawidłowe ukrwienie podstawowych narządów,

zwłaszcza ośrodkowego układu nerwowego. Szczególnie istotne jest szybkie dostosowanie hemodynamiki układu krążenia do zmiany pozycji ciała z leżącej na stojącą (lub siedzącą), ponieważ stres ortostatyczny wynikający z przemieszczenia około 10% krwi do dolnych partii ciała wiąże się z zagrożeniem hipoperfuzją mózgowia [1,3,4]. Kluczową rolę odgrywają tu baroreceptory tętnicze odpowiedzialne za dostosowanie odpowiedzi czynności serca na nagłą pionizację [5].

Odmienności hemodynamiczne związane z różną pozycją ciała mogą mieć znaczenie kliniczne. W badaniach własnych zaobserwowano istotne różnice wartości ciśnienia tętniczego (*blood pressure* – BP) w pozycji siedzącej i leżącej [6]. Oczywiście wydaje się, że dotyczą one również innych parametrów hemodynamicznych. Świadomi tego powinni być zwłaszcza badacze posługujący się nowymi narzędziami nieinwazyjnej oceny hemodynamicznej, takimi jak kardiografia impedancyjna (*impedance cardiography* – ICG). Jest to prosta, coraz powszechniej stosowana metoda diagnostyczna, umożliwiająca ocenę nie tylko BP i częstotliwości rytmu serca (*heart rate* – HR), ale również objętości wyrzutowej (*stroke volume* – SV), rzutu serca (*cardiac output* – CO), systemowego oporu naczyniowego (*systemic vascular resistance* – SVR) i zawartości płynu w klatce piersiowej (*thoracic fluid content* – TFC). Parametry te okazały się przydatne w optymalizacji leczenia chorych na nadciśnienie tętnicze i niewydolność serca [7-11]. Zazwyczaj są one mierzone w pozycji leżącej, jednak w pewnych sytuacjach klinicznych (np. duszności typu *ortopnoe*) pomiar w tej pozycji nie jest możliwy. Interpretacja badania wykonanego w pozycji siedzącej jest utrudniona, ponieważ wpływ zmiany pozycji ciała na wyżej wymienione parametry nie został do tej pory dokładnie zbadany. Słuszne więc wydaje się określenie trendów i skali zmian związanych ze zmianą pozycji ciała, jak również ich osobniczej zmienności.

Cel pracy

Celem pracy była ocena wpływu zmiany pozycji ciała z leżącej na siedzącą na profil hemodynamiczny oceniany metodą ICG u osób z chorobami układu krążenia.

Materiały i metody

Grupa badana

Grupę badaną stanowiło 30 pacjentów Kliniki Kardiologii i Chorób Wewnętrznych Wojskowego Instytutu Medycznego, hospitalizowanych w dniach zajęć naukowych działającego przy tej klinice Studenckiego Kofa

Tabela 1. Charakterystyka podstawowa grupy badanej
Table 1. Basic characteristics of study group

	grupa badana (n=30)
wiek, n (%)	52,7 ±14,7
płeć męska, n (%)	20 (66,6)
wzrost (cm), średnia ± SD	172,5 ±8,2
masa ciała (kg), średnia ± SD	84,1 ±15,2
BMI (kg/m ²), średnia ± SD	28,2 ±4,4
nadciśnienie tętnicze, n (%)	24 (80,0)
choroba niedokrwienna serca, n (%)	8 (26,7)
cukrzyca, n (%)	4 (13,3)
BMI – wskaźnik masy ciała, SD – odchylenie standardowe	

Naukowego „Cardiacus”. Zbadano ochotników, którzy wyrazili zgodę na badanie ICG.

Kryteria włączenia:

- wiek 18–75 lat,
- płeć dowolna,
- przewlekła choroba układu sercowo-naczyniowego w wywiadzie (inna niż w kryteriach wyłączenia).

Z badania wyłączono pacjentów spełniających następujące kryteria:

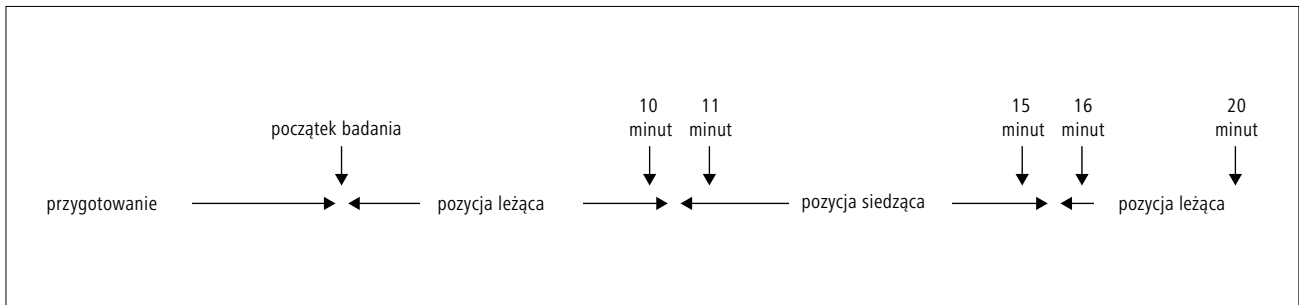
- niestabilny stan uniemożliwiający bezpieczne wykonanie badania wg opisanego protokołu,
- omdlenia ortostatyczne w wywiadach,
- brak zgody badanego i współpracy w czasie badania,
- wszczepiony stymulator serca,
- rytm serca inny niż zatokowy,
- brak możliwości technicznej wykonania badania (wzrost >200 cm i <150 cm, BMI >40 kg/m², istotna niedomykalność zastawki aortalnej).

Badanie podmiotowe i przedmiotowe

Badanie kliniczne przeprowadzono ze szczególnym uwzględnieniem chorób układu sercowo-naczyniowego w wywiadzie oraz czynników konstytucyjnych (wzrost, masa ciała, wskaźnik masy ciała [BMI]).

Kardiografia impedancyjna

Badanie metodą ICG wykonano z wykorzystaniem aparatu Niccomo (Medis, Niemcy) z pięciokrotną rejestracją parametrów hemodynamicznych w wyznaczonych punktach czasowych według schematu przedstawionego na rycinie 1. Po przygotowaniu wstępnym pacjent przyjmował pozycję leżącą i w pozycji tej przebywał przez 10 minut. Po tym okresie dokonywano pierwszego odczytu parametrów hemodynamicznych. Następnie pacjent zmieniał pozycję na siedzącą. W pierwszej minucie po zmianie pozycji ciała dokonywano drugiego



Rycina 1. Schemat metodyki pomiarów w różnych pozycjach ciała

Figure 1. Methodology scheme of measurements in different body positions

odczytu parametrów. Trzeci odczyt przeprowadzano po 5 minutach siedzenia. Następnie pacjent powracał do pozycji leżącej, w której przebywał kolejne 5 minut. W pierwszej i piątej minucie leżenia dokonywano odpowiednio czwartego i piątego odczytu parametrów. Rejestracja danych w opisanych punktach czasowych pozwalała zaobserwować zmiany parametrów hemodynamicznych bezpośrednio po przyjęciu innej pozycji ciała, jak i ich zachowanie w okresie stabilizacji.

Zarejestrowane zapisy poddano analizie z wykorzystaniem oprogramowania Niccomo Software (Medis, Niemcy). Ostatecznej analizie poddano zmiany ciśnienia skurczowego (*systolic blood pressure* – SBP), średniego (*mean blood pressure* – MBP) i rozkurczowego (*diastolic blood pressure* – DBP), ciśnienia tętna (*pulse pressure* – PP), częstotliwości rytmu serca (HR), objętości wyrzutowej i jej wskaźnika (*stroke volume* – SV, *stroke index* – SI), rzutu serca i jego wskaźnika (*cardiac output* – CO, CI), systemowego oporu naczyniowego i jego wskaźnika (SVR, SVRI), zawartości płynu w klatce piersiowej (*thoracic fluid content* – TFC), całkowitej podatności tętnic (TAC), wskaźnika prędkości (*velocity index* – VI) – zależnego od obciążenia wstępnego i obrazującego szczytowy przepływ krwi w aorcji, oraz wskaźnika akceleracji (*acceleration index* – ACI) – opisującego szczytowe przyspieszenie przepływu krwi w aorcji.

Analizie poddano wartości bezwzględne oraz maksymalną zmianę parametrów wyliczaną jako:

$\text{delta (\%)} = \frac{(\text{maksymalna [minimalna] wartość w pozycji siedzącej}) - (\text{minimalna [maksymalna] wartość w pozycji leżącej})}{(\text{minimalna [maksymalna] wartość w pozycji leżącej})} \times 100\%$

Analiza statystyczna

Analizę statystyczną otrzymanych wyników przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania Statistica 7.0 (StatSoft Inc.). Normalność rozkładu danych oceniano wzrokowo oraz z wykorzystaniem testu Shapiro-Wilka. Wyniki wyrażono jako wartości średnie \pm odchylenie standardowe (*standard deviation* – SD) dla zmiennych

ciągłych oraz liczebności i udział procentowy dla zmiennych jakościowych. Porównania międzygrupowe dokonano z wykorzystaniem testu ANOVA dla danych o rozkładzie normalnym oraz testu Kruskal-Wallisa dla danych o rozkładzie innym niż normalny. Za znamienne statystycznie uznano $p < 0,05$.

Wyniki

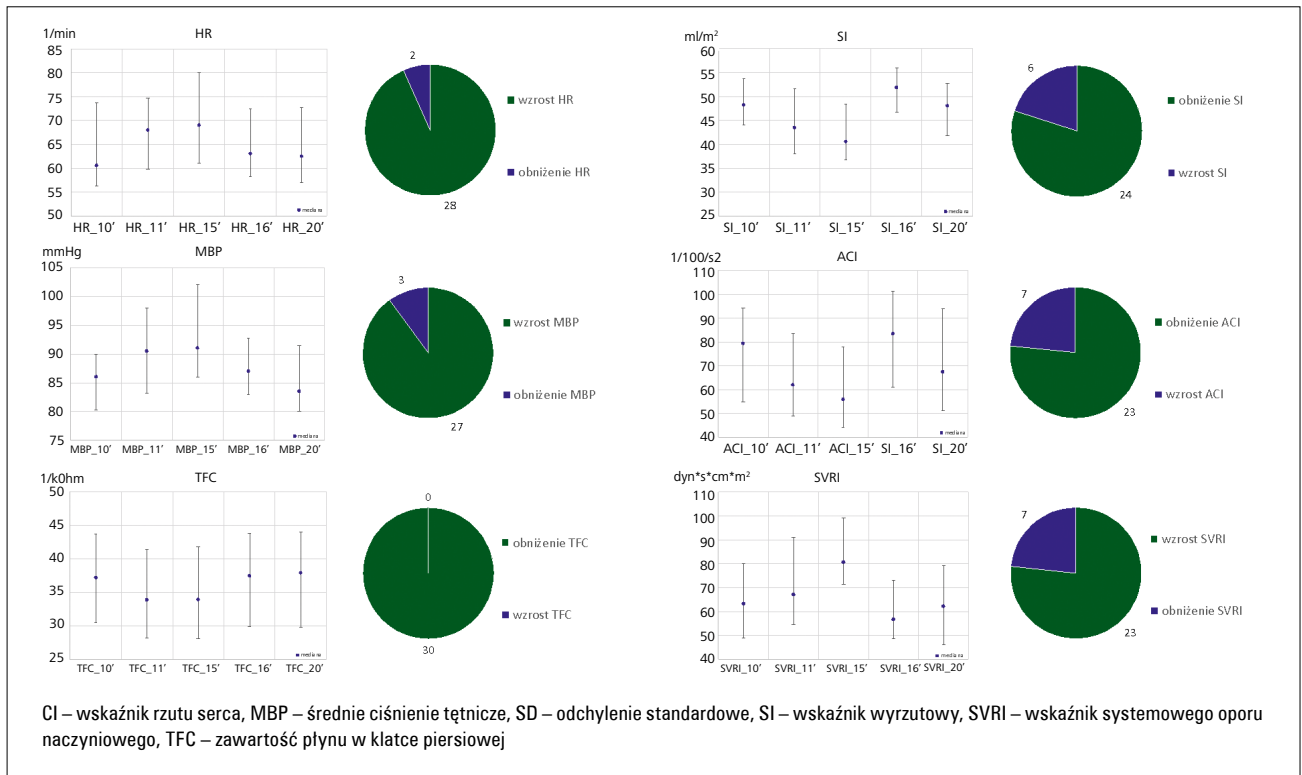
Zmiana pozycji ciała z leżącej na siedzącą wiązała się ze zmianą profilu hemodynamicznego, a powtórne przyjęcie pozycji leżącej z powrotem parametrów do wartości zbliżonych do wyjściowych. Najwyraźniejsze zmiany zaobserwowano dla HR, MBP, DBP, TFC, SI, SVRI i ACI (tab. 2., ryc. 2.).

Zwraca uwagę zróżnicowana dynamika zmian ocenianych parametrów hemodynamicznych: dla MBP, HR, TFC i ACI najistotniejszą zmianę zaobserwowano już w 1. minucie po zmianie pozycji, zaś wartości SI i SVRI, DBP zwiększały się lub zmniejszały stopniowo.

W ocenie zgodności zmian indywidualnych z trendem grupowym zaobserwowano: zmniejszenie TFC u wszystkich badanych, zwiększenie HR u 28 z 30 badanych, wzrost MBP u 27 z 30 badanych, wzrost DBP u 26 z 30 badanych, zmniejszenie SI u 24 z 30 badanych, zwiększenie SVRI u 23 z 30 badanych oraz zmniejszenie ACI u 23 z 30 badanych.

Dyskusja

Obserwowane zmiany hemodynamiczne potwierdzają wpływ pozycji ciała na funkcję układu krążenia. W wykonanym badaniu wykazano istotne zwiększenie częstotliwości rytmu serca, ciśnienia tętniczego, oporu naczyniowego, jak również zmniejszenie zawartości płynu w klatce piersiowej i wskaźników funkcji serca jako pompy, związane z przyjęciem pozycji siedzącej. Obserwacje te można wytłumaczyć mechanizmami mającymi na celu adaptację organizmu do nowych warunków



Rycina 2. Zmiany wybranych parametrów hemodynamicznych (wykresy liniowe) oraz rozkład zmian indywidualnych (wykresy kołowe): zgodnych (kolor zielony) i przeciwnych (kolor niebieski) trendowi w całej grupie

Figure 2. Changes of selected hemodynamic parameters (line charts) and distribution of individual changes (ring charts), consistent (green) and inconsistent (blue) with general group trend

hemodynamicznych. Mają one istotne implikacje metodyczne dla osób stosujących kardiografię impedancyjną w praktyce klinicznej.

Zmiana pozycji ciała z poziomej na pionową powoduje wzrost ciśnienia w naczyniach żylnych dolnej połowy ciała. Powoduje to rozszerzenie żył i zatrzymanie w nich nawet 400 ml krwi [1]. W warunkach fizjologicznych wyłączenie z krążenia tak dużej objętości uruchamia mechanizmy regulacyjne. Dochodzi do odbarczenia baroreceptorów tętniczych i mechanoreceptorów sercowo-płucnych, co skutkuje zwiększeniem aktywności układu współczulnego. Efektem jest zwiększenie oporu obwodowego, częstotliwości rytmu serca i kurczliwości mięśnia sercowego. Dzięki temu mimo zmniejszenia powrotu żylnego zapewniona jest prawidłowa perfuzja narządowa [1]. Ze względu na złożoność reakcji ludzkiego organizmu na stres ortostatyczny oraz częste zaburzenia adaptacji układu krążenia do zmian pozycji ciała zjawisko to od wielu lat stanowi przedmiot badań. W ocenie różnych populacji zwraca się uwagę na różnice reakcji hemodynamicznej wynikające z wieku, płci czy współistniejących chorób [4,12-14].

Jedną z najbardziej wyrazistych w naszym badaniu zmian było zwiększenie HR. Obserwacja ta znajduje potwierdzenie w wielu publikacjach [1,4,12,13,15,16]. Zauważono jednak, że młode zdrowe osoby reagują większym przyrostem HR niż osoby starsze [4,14,15]. Odmierności w zmianach parametrów hemodynamicznych u osób starszych spowodowane są zmianami strukturalnymi i czynnościowymi układu krążenia, zmniejszeniem aktywności układu autonomicznego oraz upośledzoną czynnością pompy mięśniowej. Istnieje pewna rozbieżność opinii na temat wpływu płci – istnieją zarówno doniesienia wskazujące na wyraźniejszą reakcję tętna w czasie pionizacji u kobiet [12], jak i publikacje mówiące o większej HR u mężczyzn [17].

Obserwowane przez nas zmniejszenie SI, spowodowane zmniejszeniem powrotu żylnego podczas pionizacji, odnotowali również inni badacze [13,15,16]. W naszej pracy parametr ten zmieniał się stopniowo w ciągu kilku minut, podczas gdy Smith i wsp. [15] stwierdzili zmniejszenie SI w pierwszych sekundach, a następnie stabilność tego parametru. Należy podkreślić, że pomimo związanego z przyjęciem pozycji siedzącej zwiększenia

Tabela 2. Zmiany badanych parametrów hemodynamicznych w kolejnych punktach czasowych
Table 2. Changes in hemodynamic parameters in subsequent time points

parametr hemodynamiczny	punkt czasowy pomiaru						p (dla trendu)	delta (%)
	10 min	11 min	15 min	16 min	20 min			
HR (bpm)	65,2 ±13,0	69,9 ±14,4	70,6 ±14,0	66,1 ±12,0	65,1 ±12,0	<0,00001	8,4	
SBP (mm Hg)	124,0 ±16,7	127,3 ±18,6	130,4 ±17,3	125,5 ±15,9	124,6 ±17,4	0,014	5,1	
DBP (mm Hg)	72,8 ±10,0	78,0 ±12,1	81,1 ±10,6	74,6 ±8,0	73,1 ±9,9	<0,00001	11,4	
MBP (mm Hg)	85,9 ±10,7	91,0 ±12,9	94,2 ±11,2	88,0 ±8,7	85,9 ±10,7	<0,00001	9,7	
PP (mm Hg)	51,2 ±12,2	49,4 ±15,9	49,3 ±14,4	50,9 ±14,1	51,5 ±14,8	0,572	3,0	
TFC (1/kOhm)	37,8 ±11,1	35,3 ±10,5	35,2 ±10,5	37,8 ±11,3	38,0 ±11,5	<0,00001	7,4	
SI (ml/m ²)	47,9 ±8,4	44,7 ±10,3	41,8 ±11,9	50,4 ±10,4	48,2 ±10,9	0,0003	17,1	
CI (l/min/m ²)	3,15 ±0,66	3,05 ±0,66	2,88 ±0,78	3,28 ±0,64	3,10 ±0,71	0,062	12,2	
VI (1/1000*Ohm/s)	52,6 ±16,9	46,3 ±16,8	42,1 ±16,1	54,7 ±17,5	51,0 ±17,1	<0,00001	29,9	
ACI (1/100*Ohm/s ²)	77,1 ±31,7	70,9 ±34,2	64,8 ±30,3	82,4 ±34,4	73,2 ±32,1	0,0006	21,4	
SVRI (dyn*s*m ² /cm ⁵)	2122 ±548	2295 ±577	2652 ±846	2105 ±532	2181 ±621	0,002	26,0	
TAC (ml/mm Hg)	1,13 ±0,50	1,08 ±0,41	1,01 ±0,42	1,19 ±0,51	1,16 ±0,58	0,203	15,1	

Wyniki zaprezentowano jako średnia ± odchylenie standardowe

ACI – wskaźnik przyspieszenia, CI – wskaźnik rzutu serca, DBP – ciśnienie rozkurczowe, HR – częstotliwość rytmu serca, MBP – średnie ciśnienie tętnicze, PP – ciśnienie tętna, SBP – ciśnienie skurczowe, SD – odchylenie standardowe, SI – wskaźnik wyrzutowy, SVRI – wskaźnik systemowego oporu naczyniowego, TAC – całkowita podatność naczyniowa, TFC – zawartość płynu w klatce piersiowej, VI – wskaźnik prędkości

HR zmniejszenie SI jest na tyle znaczne, że CI – ich pochodna ($CI = HR \times SI$) – wykazuje tendencję spadkową. Nie jest to jednak prosta zależność. W badaniu Smith i wsp. [15] szczegółowa analiza zmian ultrakrótkoterminowych wykazała, że w pierwszych sekundach pionizacji CI ulega zwiększeniu, a dopiero w późniejszym okresie następuje jego zmniejszenie.

Zastosowanie ICG umożliwiło ocenę innych wskaźników funkcji serca jako pompy. Zaobserwowano między innymi istotną statystycznie zmianę dynamiki wyrzutu krwi w czasie skurczu lewej komory. Parametry ACI i VI zmieniały się bardzo istotnie, co sugeruje ich dużą czułość w ocenie odpowiedzi hemodynamicznej lewej komory na zmiany grawitacyjne. Obserwowane zjawisko jest prawdopodobnie związane z prawem Franka-Starlinga, zgodnie z którym mniejsze obciążenie wstępne skutkuje mniejszą kurczliwością mięśnia sercowego (zmniejszenie ACI i VI).

Niezwykle ważna jest również reakcja naczyń oporowych na zmianę pozycji ciała [2,13,15]. Zaobserwowane przez nas zwiększenie SVRI wynika najpewniej z ich obkurczenia. Odzwierciedla to wspomnianą aktywację ramienia naczyniowego układu współczulnego w odpowiedzi na stres ortostatyczny [1].

Wypadkową reakcji hemodynamicznej mięśnia sercowego oraz naczyń jest zmiana BP. W naszym badaniu obserwowaliśmy istotny wzrost ciśnienia średniego i rozkurczowego. Najpewniej jest to adaptacja mająca

na celu zachowanie prawidłowej perfuzji tkanek. Jak wskazują inni badacze [15], kompensacja może jednak nie występować natychmiastowo. W pierwszych sekundach obserwowali oni bowiem obniżenie MBP [15]. Uodwodniono również zmienność tej reakcji zależną od wieku i płci. Osoby starsze wykazują mniej zaznaczoną reakcję DBP [15]. Okazuje się również, że MBP w mniejszym stopniu wzrasta u kobiet niż u mężczyzn [12]. Co ciekawe, istnieje zależność pomiędzy HR i SBP – osoby z niższym SBP przed pionizacją i w czasie niej odpowiadają większym zwiększeniem HR w porównaniu z osobami z wyższym wyjściowym SBP [17].

Charakterystyczne dla przyjęcia pozycji siedzącej okazało się również zmniejszenie TFC. Taka zmiana nastąpiła u wszystkich badanych i wynosiła średnio -7,4%. Jest to obserwacja szczególnie wartościowa z punktu widzenia metodycznego. Ocena TFC okazuje się przydatna w wielu sytuacjach klinicznych, zarówno u chorych z niewydolnością serca [8,18], jak i przy wyborze optymalnej terapii nadciśnienia tętniczego [7]. Świadomość konieczności uwzględnienia pozycji ciała i skali możliwych rozbieżności w interpretacji wyniku badania ma kluczowe znaczenie dla poprawnego stosowania ugruntowanych już algorytmów terapeutycznych opartych na ICG.

Ograniczenia pracy

Głównym ograniczeniem naszej pracy była mała liczebność grupy oraz jej niepełna jednorodność. Nałożenie się pewnych czynników zakłócających (np. wiek, płeć) może tłumaczyć zróżnicowaną reakcję w zakresie niektórych ocenianych parametrów. Niemniej jednak dla tych najbardziej kluczowych (HR, BP, SI, TFC) zgodność reakcji indywidualnych z trendem ogólnym była duża. Trzeba również podkreślić ograniczenie zastosowania pomiarów nieinwazyjnych w ocenie nagłych zmian hemodynamicznych, których nie jest pozbawiona stosowana przez nas metoda.

Wnioski

Pozycja ciała ma istotny wpływ na parametry hemodynamiczne oznaczane metodą kardiografii impedancyjnej, co należy uwzględnić w interpretacji wyniku badania. Badania sekwencyjne powinno się wykonywać konsekwentnie w tej samej pozycji ciała.

Finansowanie

Pracę wykonano w ramach projektu naukowego WIM/MNiSW nr 213.

Piśmiennictwo

1. Traczyk W, Trzebski A. Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2001
2. Dobosiewicz A, Puchalska L, Abramczyk P. Występowanie atypowej odpowiedzi na aktywną pionizację u osób z chorobami układu krążenia. *Kardiol Pol*, 2009; 67: 672–676
3. Krakow K, Ries S, Daffertshofer M, Hennerici M. Simultaneous assessment of brain tissue oxygenation and cerebral perfusion during orthostatic stress. *Eur Neurol*, 2000; 43 (1): 39–46
4. Sorond FA, Khavari R, Serrador JM, et al. Regional cerebral autoregulation during orthostatic stress: age-related differences. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2005; 60 (11): 1484–1487
5. Sopolnińska E, Krześciński P, Piotrowicz K., Gielerak G. Współczesne metody oceny czułości baroreceptorów tętniczych w praktyce klinicznej. *Forum Med Rodz*, 2012; 6 (2): 55–67
6. Krześciński P, Stańczyk A, Gielerak G, et al. The diagnostic value of supine blood pressure in hypertension. *Arch Med Sci*, 2016; 12 (2): 310–318
7. Krześciński P, Gielerak G, Kowal J. A "patient-tailored" treatment of hypertension with use of impedance cardiography: A randomized, prospective and controlled trial. *Med Sci Monit*, 2013; 19: 242–250
8. Yancy C, Abraham WT. Noninvasive hemodynamic monitoring in heart failure: utilization of impedance cardiography. *Congest Heart Fail*, 2003; 9: 241–250
9. Van De Water JM, Miller TW, Vogel RL, et al. Impedance cardiography: the next vital sign technology? *Chest* 2003; 123: 2028–2033
10. Springfield CL, Sebat F, Johnson D, et al. Utility of impedance cardiography to determine cardiac vs noncardiac cause of dyspnea in the emergency department. *Congest Heart Fail*, 2004; 10 (suppl. 2): 14–16
11. Peacock F, Summers R, Emerman C. Emergent dyspnea impedance cardiography-aided assessment changes therapy: The ED IMPACT trial. *Ann Emerg Med*, 2003; 42 (4): S82
12. Shoemaker JK, Hogeman CS, Khan M, et al. Gender affects sympathetic and hemodynamic response to postural stress. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2001; 281 (5): H2028–2035
13. Kassis E. Cardiovascular response to orthostatic tilt in patients with severe congestive heart failure. *Cardiovasc Res*, 1987; 21 (5): 362–368
14. Vargas E, Lye M. Physiological responses to postural change in young and old healthy individuals. *Experimental Gerontol*, 1982; 17 (6): 445–451
15. Smith JJ, Porth CM, Erickson M. Hemodynamic response to the upright posture. *J Clin Pharmacol*, 1994; 34 (5): 375–386
16. Zaidi A, Benitez D, Gaydecki P, et al. Haemodynamic effects of increasing angle of head up tilt. *Heart*, 2000; 83 (2): 181–184
17. Ramirez-Marrero FA, Charkoudian N, Hart EC, et al. Cardiovascular dynamics in healthy subjects with differing heart rate responses to tilt. *J Appl Physiol*, 2008; 105 (5): 1448–1453
18. Gielerak G, Krześciński P, Piotrowicz E, Piotrowicz R. The usefulness of impedance cardiography for predicting beneficial effects of cardiac rehabilitation in patients with heart failure. *Biomed Res Int*, 2013; article ID 595369: 1–8