

# Wpływ ciśnienia tętniczego i wskaźników antropometrycznych na obwodowy przepływ krwi oceniany metodą pletyzmografii impedancyjnej w grupie subiektywnie zdrowych mężczyzn

## Evaluation of influence of blood pressure and anthropometric indices on peripheral blood flow estimated by strain-gauge plethysmography in subjectively healthy men

### Summary

**Background** The aim of the study was to estimate the relationship between anthropometric indices, blood pressure and peripheral blood flow in subjectively healthy subjects.

**Material and methods** The study group consisted of 72 healthy men, aged 41 years (16–58), BMI 25.8 kg/m<sup>2</sup> (16.9–34.6). Body composition was analyzed using bioelectrical impedance method. The value of fat free mass (FFM) were 66.6 kg (48.2–88.1), which means 80% (68.6–96.3). Fat mass (FM) was 16.5 kg (3–32.8) which means 20% (5.5–31.4). Mean values of systolic (SBP) and diastolic (DBP) blood pressure measurements for 24-hour period (SBP24, DBP24), as well as for daytime and nighttime periods were conducted using Spacelabs 90207 devices. SBP24 and DBP24 were 119 mm Hg (95–151) and 73 (55–97) mm Hg, respectively. Peripheral blood flow was assessed using forearm strain-gauge plethysmography and described by fol-

lowing indices: arterial inflow (AI), forearm blood flow (FBF), venous capacitance (VC), partial venous outflow 0.5–2 s (VO<sub>0.5–2.0</sub>), venous outflow (VO).

**Results** Arterial inflow was mainly determined by SBP24 and by both FFM and body mass. Partial venous outflow was determined by SBP24 and BMI. Fast blood flow was determined by SBP24 only.

**Conclusions** The parameters describing body mass (total body mass, BMI) and SBP24 are important determinants of V<sub>0.5–2.0</sub> and arterial inflow.

Our results suggest that arterial blood pressure should be taken into consideration when relationship between anthropometric indices and parameters of peripheral blood flow is examined.

**key words:** obesity, blood pressure, peripheral blood flow, strain-gauge plethysmography

*Arterial Hypertension 2006, vol. 10, no 1, pages 20–29.*

Adres do korespondencji: dr med. Jolanta Neubauer-Geryk  
Samodzielna Pracownia Fizjologii Klinicznej  
Katedra Nadciśnienia Tętniczego i Diabetologii Akademii Medycznej  
ul. Dębinki 7, 80–211 Gdańsk  
tel.: (058) 349–23–40, faks: (058) 349–23–41  
e-mail: Jola\_Neubauer@yahoo.com



Copyright © 2006 Via Medica, ISSN 1428–5851

## Wstęp

Zmniejszenie przepływu obwodowego często stwierdza się u osób z podwyższonym ciśnieniem tętniczym, hiperlipidemią, hiperglikemią i otyłością brzusznią. Wykazano znaczenie powyższych zaburzeń dla sprawności obwodowego krążenia tętniczego, jednak ich wpływ na krążenie żyłne nie został dotychczas jednoznacznie opisany [1–4]. W swojej pracy Doko i wsp. [5] stwierdzili ujemną korelację pomiędzy odpływem żylnym a wskaźnikami otyłości. Iannuzzi i wsp. [6] nie wykazali takiej współzależności w grupie pacjentek z żyłakami kończyn dolnych.

W celu określenia zależności pomiędzy stopniem otyłości a przepływem obwodowym — napływem tętniczym, a zwłaszcza krążeniem żylnym — zbadało grupę 72 subiektywnie zdrowych mężczyzn. Badania te pozwoliły na określenie zależności pomiędzy powszechnie stosowanymi wskaźnikami antropometrycznymi, czyli masą ciała, współczynnikiem masy ciała, obwodem pasa, wskaźnikiem talia:biodra (WHR, *waist:hip ratio*), względnym i bezwzględny udziałem tkanki tłuszczowej i beztłuszczowej w masie ciała a zmiennymi charakteryzującymi wielkość napływu tętniczego i odpływu żylnego.

## Material i metody

### Badana grupa

Badaniem objęto 72 subiektywnie zdrowych ochotników płci męskiej w wieku od 16 do 58 lat (mediana 41 lat) i ze wskaźnikiem masy ciała (BMI, *body mass index*) w granicach 16,9–34,6 kg/m<sup>2</sup> (mediana 25,8). W badanej grupie były 4 osoby poniżej 18 roku życia, których wskaźniki antropometryczne nie różniły się zasadniczo.

W badaniach nie uczestniczyły osoby z BMI > 35 kg/m<sup>2</sup> oraz osoby przyjmujące jakiegokolwiek leki. Pletyzmograficzną ocenę krążenia obwodowego przeprowadzano w godzinach rannych. Osoby badane proszono o powstrzymanie się od przyjmowania używek na 24 godziny przed wizytą oraz niepożywanie posiłku przed badaniem. Spośród badanych 31 osób paliło tytoń. Protokół badawczy został zaakceptowany przez Komisję Etyczną Akademii Medycznej w Gdańsku (nr 322/97).

### Pomiary antropometryczne

Masę ciała (z dokładnością do 100 g) i wzrost badanych (z dokładnością do 1 cm) mierzono przy użyciu wagi lekarskiej ze stacjonarną miarą centymetrową.

Obwód talii mierzono (z dokładnością do 1 cm) przy zastosowaniu nierozciągliwej taśmy centymetrowej.

Wskaźnik masy ciała (BMI [kg/m<sup>2</sup>]) wyliczano jako iloraz masy ciała wyrażonej w kilogramach do kwadratu wzrostu ciała wyrażonego w metrach. Współczynnik talia:biodra (WHR) obliczano jako stosunek obwodu talii do obwodu w biodrach.

Skład masy ciała określano proporcją pomiędzy udziałem tłuszczowej i beztłuszczowej masy ciała. W tym celu zastosowano metodę pomiarową przy użyciu aparatu Bodystat 1500 (Bodystat Ltd, UK). Metoda impedancji bioelektrycznej jest metodą do oceny składu masy ciała, która mierzy oporność efektywną tkanek. W badaniach stosowano metodę bioimpedancji elektrycznej jednozakresowej, umożliwiającą ocenę ilości całkowitej wody ustroju, beztłuszczowej masy ciała (FFM, *fat-free body mass*). Ilość tkanki tłuszczowej (FM, *fat-mass*) wyliczano z różnicy między masą ciała a FFM.

Do badania używano 4 elektrod umieszczonych na grzbietowej powierzchni dłoni w dystalnej części nadgarstka oraz pomiędzy dystalną wyniosłością kości promieniowej i łokciowej, na kończynie dolnej odpowiednio na grzbietowej powierzchni stopy w części dystalnej śródstopia oraz pomiędzy przyśrodkową a boczną kostką stawu skokowego. Miejsca, w których umieszczano elektrody, były odtłuszczone poprzez wcześniejsze przetarcie powierzchni alkoholem.

Badanie wykonywano po 10 minutach adaptacji do pozycji leżącej. Osobom badanym zalecano opróżnienie pęcherza moczowego przed badaniem. Ocenę składu masy ciała przy zastosowaniu metody impedancyjnej prowadzono we współpracy z Zakładem Żywienia Klinicznego i Diagnostyki Laboratoryjnej Akademii Medycznej w Gdańsku.

### Metoda oceny przepływu obwodowego

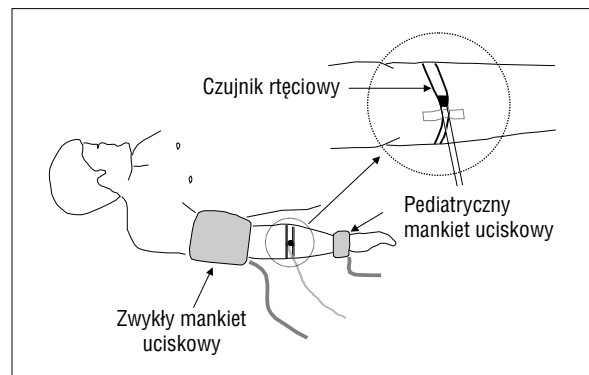
Wielkość odpływu żylnego i napływu tętniczego badano przy użyciu pletyzmografii *strain-gauge* (pletyzmografia impedancyjna). Metoda ta wykorzystuje zjawisko proporcjonalnego wzrostu oporu elektrycznego elastycznego czujnika rtęciowego otaczającego kończynę, spowodowanego zwiększeniem obwodu badanej części kończyny, wywołanym zatrzymaniem odpływu żylnego [7].

Badanie wykonywano po 10 minutach adaptacji do pozycji leżącej. Temperatura pomieszczenia, w którym wykonywano badanie, wynosiła 22–24°C. Łączny czas badania pletyzmograficznego u jednej osoby nie przekraczał 40 minut. Wszystkie badania pletyzmograficzne wykonywał jeden badacz.

Czujnik rtęciowy pletyzmograficzny zakładano w miejscu największego obwodu przedramienia. Długość czujnika była o 2–3 cm mniejsza od obwodu

przedramienia. Przewody łączące czujnik ręciový z pletyzmografem EC 5R (Hokanson, Stany Zjednoczone) mocowano taśmą adhezyjną do przedramienia w dwóch miejscach. Na ramieniu, powyżej łokcia, umieszczano szeroki mankiet przystosowany do napełniania za pomocą pompy powietrznej AG101 (Hokanson, Stany Zjednoczone), zaś na nadgarstku wąski (pediatryczny) mankiet ciśnieniowy. Badane ramię umieszczano na podpórce, na poziomie serca (ryc. 1).

Mankiet na nadgarstku wypełniano powietrzem do ciśnienia 240 mm Hg. Wypełnienie powietrzem utrzymano przez 30 sekund przed napełnieniem mankieta ramiennego (za pomocą pompy powietrznej) w czasie 0,5 sekundy. Zatrzymanie odpływu żylnego przedramienia realizowano, uciskając żyły mankiem umieszczonym na ramieniu osoby badanej wypełnionym powietrzem do ciśnienia 50 mm Hg. Wywołane w ten sposób zwiększenie objętości i obwodu przedramienia jest proporcjonalne do wielkości napływu tętniczego. Po 2 minutach od napełnienia mankieta ramiennego uwalniano powietrze z obydwu mankiatów, kontynuując rejestrację sygnału pletyzmograficznego przez dalsze 30 sekund. U każdej z badanych osób pomiar był powtarzany kilkakrotnie po minimum 5-minutowym okresie spo-



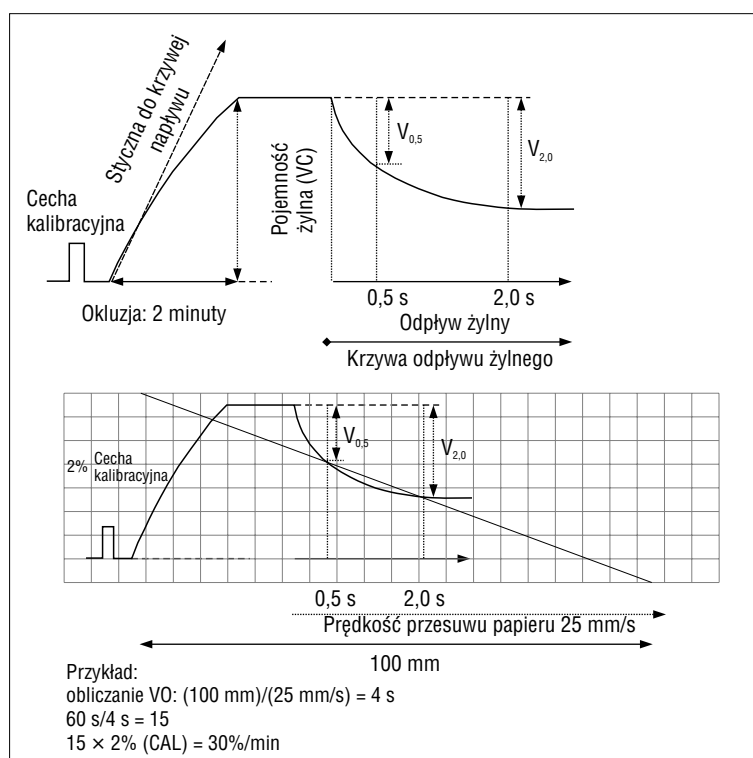
**Rycina 1.** Pletyzmografia typu *strain-gauge* (objaśnienia w tekście). Opracowano na podstawie instrukcji pletyzmografu typu EC 5R (Hokanson, Bellevue, Stany Zjednoczone)

**Figure 1.** Strain-gauge plethysmography (explained in text). Based on the plethysmograph's instruction typ EC 5R) (Hokanson, Bellevue, USA)

czynku. Ocena powtarzalności była szczegółowo badana i przedstawiona we wcześniejszej publikacji [8].

### Ocena pojemności żylną i odpływu żylnego

Na podstawie zarejestrowanych krzywych pletyzmograficznych wyznaczano pojemność żylną oraz odpływ żylny (ryc. 2).



**Rycina 2.** Schematyczne przedstawienie krzywej pletyzmograficznej oraz obliczanie odpływu żylnego (VO)

**Figure 2.** Plethysmographic curve and venous outflow (VO) calculation

**Pojemność żylna** ( $VC$ , *venous capacity*) jest wskaźnikiem opisującym zdolność żył do rozciągnięcia. Jest ona przedstawiana jako procentowy przyrost objętości przedramienia po 2-minutowym zatrzymaniu odpływu żylnego. Wielkość tę wyznacza się na podstawie odchylenia od linii przed okluzją z uwzględnieniem cechy kalibracyjnej.

**Odptyw żylny** ( $VO$ , *venous outflow*), charakteryzujący dynamikę odpływu żylnego, wyznaczano jako współczynnik kierunkowy linii przechodzącej przez punkty po 0,5 i po 2 sekundach od zniesienia okluzji ramienia (ryc. 2). Wskaźnik  $V_{0,5-2,0}$  obliczano na podstawie wzoru [9]:

$$V_{0,5-2,0} = (4/3) \times [V_{2,0}] - (1/3) \times [V_{0,5}],$$

w którym  $V_{0,5}$  i  $V_{2,0}$  oznaczają odpowiednio pojemność żylną w 0,5 i w 2,0 sekundzie po uwolnieniu odpływu żylnego. Wartości  $V_{0,5}$  i  $V_{2,0}$  wyliczano następująco:

$$[V_{0,5}] = (V_{0,5}/CAL) \times 120$$

$$[V_{2,0}] = (V_{2,0}/CAL) \times 30,$$

gdzie  $CAL$  (*calibration*) oznacza wielkość sygnału kalibracyjnego.

### Ocena układu tętniczego

**Napływ tętniczy** ( $AI$ , *arterial inflow*) obliczano jako wartość współczynnika kierunkowego linii stycznej do krzywej pletyzmograficznej w początkowym okresie okluzji żyłnej (ryc. 2).

Badanie **szybkiego napływu tętniczego** ( $FBF$ , *fast blood flow*) przeprowadzono w pozycji leżącej przy zastosowaniu mankietu szybkiego napełniania po wcześniejszym zablokowaniu krążenia w obszarze dłoni (dokładny opis na początku podrozdziału). Następnie wykonywano 20 pomiarów, trwających po 5 sekund każdy, oddzielonych 15-sekundowymi przerwami. Analizowano 10 zarejestrowanych cykli pomiarowych. Wartość napływu tętniczego ocenianego w ten sposób obliczano na podstawie współczynnika kierunkowego linii wyznaczonej przez punkty krzywej pletyzmograficznej, odpowiadające 2 i 4 ewolucji serca. Szybki napływ tętniczy obliczano jako średnią z wartości uzyskanych z poszczególnych pomiarów, po odrzuceniu wartości skrajnych.

### Pomiary ciśnienia tętniczego

#### Konwencjonalny pomiar ciśnienia tętniczego

Cięnienie tętnicze mierzono w pozycji siedzącej sfigmomanometrem rtęciowym, po okresie 10-minutowej adaptacji. Pomiar powtarzano 3-krotnie w odstępach 5-minutowych. Wynik końcowy stanowił średnią arytmetyczną wartości uzyskanych w poszczególnych pomiarach.

#### 24-godzinny automatyczny pomiar ciśnienia tętniczego

Całodobowy automatyczny pomiar ciśnienia tętniczego ( $ABPM$ , *ambulatory blood pressure monitoring*) wykonywano aparatem Spacelabs 90207, który programowano tak, by kolejne pomiary ciśnienia tętniczego i akcji serca odbywały się co 20 minut w godzinach 06.00–22.00 i co 30 minut w nocy, czyli od 22.00 do 06.00.

Obliczano średnie wartości skurczowego ciśnienia tętniczego ( $SBP$ , *systolic blood pressure*) i rozkurczowego ( $DBP$ , *diastolic blood pressure*) dla całej doby ( $SBP_{24}$ ,  $DBP_{24}$ ), okresu dnia (10.00–20.00) ( $SBP_d$ ,  $DBP_d$ ) i nocy (00.00–06.00) ( $SBP_n$ ,  $DBP_n$ ) oraz średnie całodobowe ciśnienie tętnicze ( $MBP_{24}$ , *mean blood pressure*), z okresu dnia i nocy ( $MBP_d$ ,  $MBP_n$ ), a także akcji serca ( $HR$ , *heart rate*) w wymienionych podokresach doby ( $HR_{24}$ ,  $HR_d$ ,  $HR_n$ ).

### Analiza statystyczna wyników

Testowanie hipotezy o normalności rozkładu zmiennych przeprowadzono na podstawie testu Shapiro-Wilka. Ponieważ w większości przypadków rozkład zmiennych nie wykazywał cech rozkładu normalnego, do porównań wartości grupowych stosowano metodę ANOVA według Kruskala-Wallisa, a same zmienne prezentowano przy użyciu mediany i zakresów percentylowych.

Do badania zależności pomiędzy zmiennymi stosowano metodę korelacji Spearmana. Analizę zależności pomiędzy wskaźnikami opisującymi krążenie obwodowe a wybranymi wskaźnikami antropometrycznymi przeprowadzono przy użyciu regresji liniowej i wielokrotnej.

Obliczeń dokonywano przy wykorzystaniu programu statystycznego Statistica 6.0.

## Wyniki

### Charakterystyka zmiennych

#### Badania antropometryczne

W badanej grupie 30 pacjentów (42%) miało BMI do  $25 \text{ kg/m}^2$ , 29 (40%) pomiędzy  $25$  a  $30 \text{ kg/m}^2$ , natomiast u 13 osób (18%) BMI przekraczało  $30 \text{ kg/m}^2$ . W badaniu przy użyciu metody impedancyjnej (Bodystat) wykazano, że u badanych osób beztłuszczowa masa ciała (FFM) stanowiła około 80% całkowitej masy ciała (tab. I).

#### Badanie krążenia obwodowego i ciśnienia tętniczego

Charakterystykę zmiennych opisujących obwodowe krążenie żyłne i tętnicze oraz wartości ciśnienia tętniczego, zarówno mierzonego metodą konwencjonalną, jak i wyznaczone na podstawie profilu dobowego, przedstawiono odpowiednio w tabeli II i III. Stosując konwencjonalny pomiar ciśnienia tę-

**Tabela I.** Charakterystyka wskaźników antropometrycznych w całej badanej grupie

**Table I.** The characteristics of anthropometric indices in study group

Wskaźnik antropometryczny	N	Mediana	Zakres min.–maks.	Zakres 25–75 percentyl	W	p
Wiek (lata)	72	41	16–58	33–45	0,926	0,001
Masa ciała [kg]	72	83,5	52–115	74,5–91	0,980	0,661
Obwód pasa [cm]	72	91	63–111	84,5–98	0,975	0,161
BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	72	25,8	16,9–34,6	23,4–28,9	0,979	0,589
WHR	72	0,91	0,68–1,01	0,87–0,94	0,947	0,01
FFM						
bezwzględna [kg]	69	66,6	48,2–88,1	60,9–71,1	0,981	0,7
względna (%)	69	80	68,6–96,3	76,3–83,6	0,967	0,17
FM						
bezwzględna [kg]	69	16,5	3–32,8	12,5–20,8	0,971	0,294
względna (%)	69	20	5,5–31,4	15,9–23,9	0,955	0,040

FFM, fat-free body mass, beztłuszczowa masa ciała; FM, fat mass, tkanka tłuszczowa; W — test Shapiro-Wilka; p — istotność hipotezy o rozkładzie normalnym (rozkład jest normalny, gdy p > 0,05)

**Tabela II.** Wskaźniki obwodowego krążenia tętniczego i żylnego uzyskane w całej badanej grupie

**Table II.** Indices of peripheral arterial and venous circulation in study group

Wskaźnik krążenia żylnego	Mediana	Zakres min.–maks.	Zakres 25–75 percentyl	W	p
Pojemność żylna (VC) [cm <sup>3</sup> /100 cm <sup>3</sup> ]	2,03	0,7–3,6	1,56–2,45	0,966	0,14
Odptyw żylny (VO) [cm <sup>3</sup> /100 cm <sup>3</sup> /min]	15,18	1,01–39,4	9,63–21,97	0,965	0,134
Odptyw żylny między 0,5 a 2,0 s (V <sub>0,5–2,0</sub> ) [cm <sup>3</sup> /100 cm <sup>3</sup> /min]	15,33	1,33–33,33	9,33–21,33	0,95	0,016
Napływ tętniczy (AI) [cm <sup>3</sup> /100 cm <sup>3</sup> /min]	3,64	1,54–9,8	2,98–4,72	0,906	0,001
Szybki napływ tętniczy (FBF) [cm <sup>3</sup> /100 cm <sup>3</sup> /min]	2,65	1,22–6,93	2,13–3,15	0,879	0,001

W — test Shapiro-Wilka; p — istotność hipotezy o rozkładzie normalnym (rozkład jest normalny, gdy p > 0,05)

**Tabela III.** Wartości ciśnienia tętniczego mierzonego metodą konwencjonalną oraz w profilu dobowym w całej grupie osób badanych

**Table III.** Office blood pressure and 24-hours blood pressure values in study group

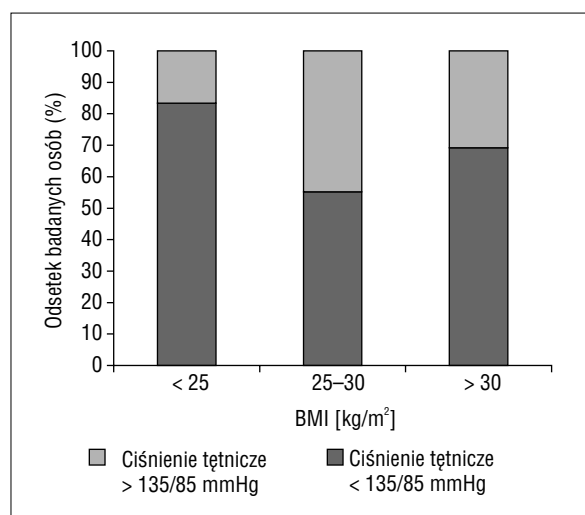
Ciśnienie tętnicze	Mediana	Zakres min. –maks.	Zakres 25–75 percentyl	W	p
Metoda konwencjonalna pomiaru (n = 72)					
Ciśnienie skurczowe (SBP) [mm Hg]	122	92–160	110–131	0,976	0,48
Ciśnienie rozkurczowe (DBP) [mm Hg]	81	58–109	72–89	0,968	0,204
Średnie ciśnienie tętnicze (MBP) [mm Hg]	95	69–124	85–102	0,979	0,578
Automatyczny 24-godzinny pomiar (n = 71)					
Ciśnienie skurczowe [mm Hg]					
24-h	119	95–151	112–124	0,974	0,386
Dzień (SBPd)	124	103–155	118–133	0,952	0,021
Noc (SBPn)	107	83–139	99–114	0,978	0,553
Ciśnienie rozkurczowe [mm Hg]					
24-h	73	55–97	70–81	0,976	0,47
Dzień (DBPd)	79	62–106	72–86	0,972	0,428
Noc (DBPn)	63	41–89	59–70	0,988	0,920
Częstość akcji serca [uderzenia/min]					
24-h	75	55–101	68–81	0,977	0,494
Dzień (HRd)	80	57–108	72–87	0,978	0,547
Noc (HRn)	63	46–90	57–70	0,962	0,090
Średnie ciśnienie tętnicze [mm Hg]					
24-h	89	31–61	84–95	0,973	0,327
Dzień (MBPd)	95	76–121	88–101	0,968	0,187
Noc (MBPn)	76	55–106	73–85	0,981	0,684

W — oznacza test Shapiro-Wilka; p — istotność hipotezy o rozkładzie normalnym (rozkład jest normalny, gdy p > 0,05); dzień 10.00–20.00; noc 0.00–6.00

niczego, wykazano, że w badanej grupie mężczyzn odsetek osób z ciśnieniem powyżej 140/90 mm Hg wynosił 22%. Średnie wartości ciśnienia tętniczego z okresu dnia nieprzekraczające 135/85 mm Hg stwierdzono u 50 (69%) spośród 72 badanych osób (tab. II, III).

Prawidłowe ciśnienie tętnicze (tj. < 135/85 mm Hg z okresu dnia) stwierdzono u 83% osób z prawidłową masą ciała. Odsetek ten wynosił odpowiednio 55% i 69% wśród osób z nadwagą lub otyłością (ryc. 3).

Odsetek osób z nadwagą był istotnie większy w podgrupie z nadciśnieniem tętniczym niż w podgrupie osób z prawidłowym ciśnieniem ( $p < 0,05$ ).



**Rycina 3.** Otyłość a wysokość ciśnienia tętniczego

**Figure 3.** Obesity and blood pressure

### Analiza zależności pomiędzy zmiennymi

#### Wskaźniki antropometryczne a krążenie obwodowe

Badane wskaźniki antropometryczne wykazywały istotną statystycznie zależność ze wskaźnikami krążenia żylnego. Nie stwierdzono jedynie korelacji między wiekiem badanych a VC.

Analizując zależności pomiędzy zmiennymi antropometrycznymi a zmiennymi opisującymi napływ tętniczy, stwierdzono jedynie ujemną korelację pomiędzy napływem tętniczym (AI) a beztłuszczową masą ciała (FFM, *fat free mass*) ocenianą metodą impedancyjną.

#### Krążenie obwodowe a wysokość ciśnienia tętniczego

Zmienne charakteryzujące krążenie żyłne nie korelowały znacząco z wysokością ciśnienia tętniczego zarówno mierzonego metodą konwencjonalną, jak i metodą ABPM.

Stwierdzono natomiast znaczącą dodatnią korelację pomiędzy wielkością szybkiego napływu tętniczego a 24-godzinnym SBP ( $r = 0,31$ ;  $p = 0,01$ ).

Zależności pomiędzy każdą ze zmiennych opisujących odpływ żylny (VC, VO,  $V_{0,5-2,0}$ ) oraz napływ tętniczy (AI, FBF) a pozostałymi zmiennymi antropometrycznymi analizowano za pomocą regresji wielokrotnej. Stosując wiele modeli regresji obejmujących BMI, masę ciała, tłuszczową i beztłuszczową masę ciała oraz poszczególne zmienne opisujące ciśnienie tętnicze, stwierdzono, że stopień determinacji zmiennych opisujących krążenie obwodowe zwiększał się jedynie w wypadku, gdy ciśnienie tętnicze było opisywane poprzez zmienną SBP24 (tab. IV).

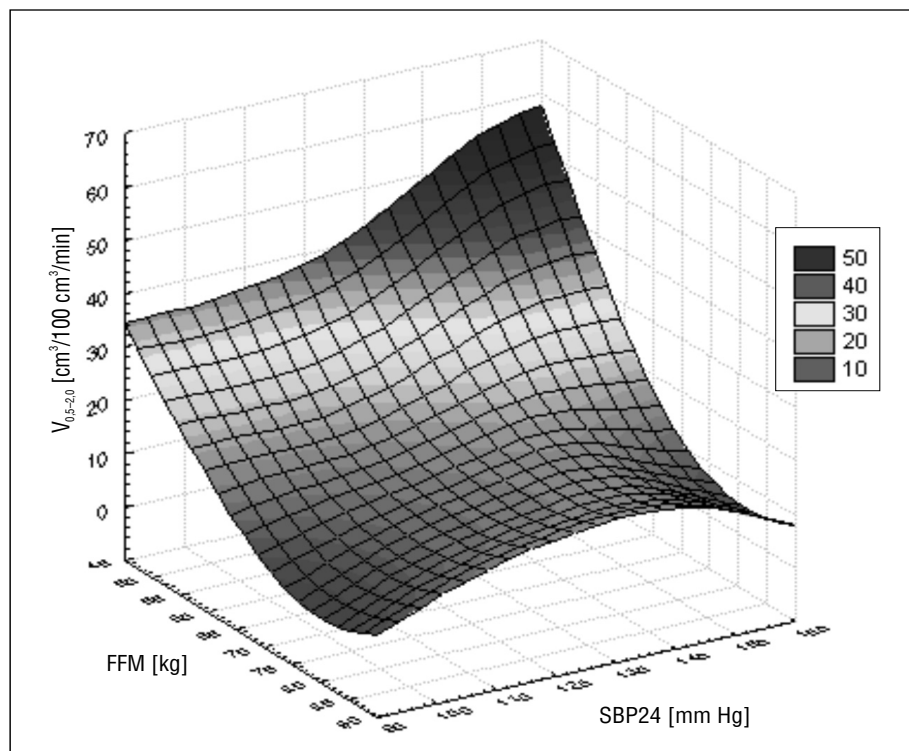
W wypadku zmiennej  $V_{0,5-2,0}$  był to model uwzględniający oprócz średniego SBP24 zmienną BMI oraz masę ciała (MR [*multiple regression*, regre-

**Tabela IV.** Analiza zależności pomiędzy poszczególnymi zmiennymi opisującymi przepływ a zmiennymi antropometrycznym za pomocą regresji liniowej (r) oraz za pomocą regresji wielokrotnej (MR) w modelach uwzględniających jako wymuszoną zmienną niezależną SBP24

**Table IV.** Analysis between parameters describing peripheral blood flow and anthropometric parameters using linear regression (r) and multiple regression (MR) in models with SBP24 forced as an independent variable

Wskaźniki antropometryczne	$V_{0,5-2,0}$ [cm <sup>3</sup> /100 cm <sup>3</sup> /min]	VO [cm <sup>3</sup> /100 cm <sup>3</sup> /min]	VC [cc/100cc]	AI [cm <sup>3</sup> /100 cm <sup>3</sup> /min]	FBF [cm <sup>3</sup> /100 cm <sup>3</sup> /min]
	r/MR	r/MR	r/MR	r/MR	r/MR
Masa ciała [kg]	-0,52*/0,655**	-0,50*/0,626**	-0,49**/0,616**	#/0,428*	#/0,366*
BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	-0,58**/0,682**	-0,57**/0,656**	-0,52**/0,624**	#/0,380*	#/0,343#
WHR	-0,36**/0,584**	-0,36**/0,558**	-0,32**/0,553**	#/0,407*	#/0,343#
Obwód pasa [cm]	-0,51**/0,633**	-0,5**/0,598**	-0,46**/0,574**	#/0,377*	#/0,344#
FFM [kg]	-0,42**/0,623**	-0,40**/0,601**	-0,4**/0,582**	#/0,451*	#/0,371*
FFM (%)	0,47**/0,596**	0,46**/0,581**	0,4**/0,577**	#/0,394*	#/0,339#
FM [kg]	-0,62**/0,622**	-0,61**/0,602**	-0,56**/0,594**	#/0,399*	#/0,34#
FM (%)	-0,51**/0,619**	-0,50**/0,603**	-0,44**/0,596**	#/0,386*	#/0,333#

\*NS, \*p < 0,05, \*\*p < 0,001



**Rycina 4.** Zależność pomiędzy odpływem żylnym, SBP24 i beztłuszczową masą ciała  
**Figure 4.** Relationship between venous outflow, SBP24 and fat free mass

sja wielokrotna] = 0,682 lub MR = 0,655). Powyższe zależności przedstawiają równania:

$$V_{0,5-2,0} = -1,26 [\text{BMI}] + 0,23 [\text{SBP24}] + 39,8 \text{ (MR} = 0,682 \text{) (ryc. 4)}$$

$$V_{0,5-2,0} = -0,33 [\text{masa ciała}] + 0,21 [\text{SBP24}] + 43,37 \text{ (MR} = 0,655)$$

Analizując zmienną VC, stwierdzono, że współczynnik regresji wielokrotnej zwiększył się jedynie, gdy model tworzony był przez zmienne BMI i SBP24.

Odpowiednie równanie regresji miało postać:

$$VC = -0,09 [\text{BMI}] + 0,02 [\text{SBP24}] + 5,05; \text{ (MR} = 0,624; p < 0,001)$$

Oceniając wpływ zmiennych antropometrycznych i ciśnienia tętniczego na napływ tętniczy, stwierdzono, że najwyższe wartości współczynnika regresji występowały w modelu uwzględniającym SBP24 i masę ciała lub beztłuszczową masę ciała. Dla AI równanie regresji przyjmowało postać:

$$AI = -0,04 [\text{masa ciała}] + 0,05 [\text{SBP24}] + 4,24; \text{ (MR} = 0,428)$$

lub

$$AI = -0,06 [\text{FFM}] + 0,05 [\text{SBP24}] + 5,7; \text{ (MR} = 0,451 \text{) (ryc. 5)}$$

W modelu charakteryzującym zmienną szybkości napływu tętniczego (FBF, forearm blood flow) pozostała jedynie zmienna SBP24. Odpowiednie równanie regresji miało postać:

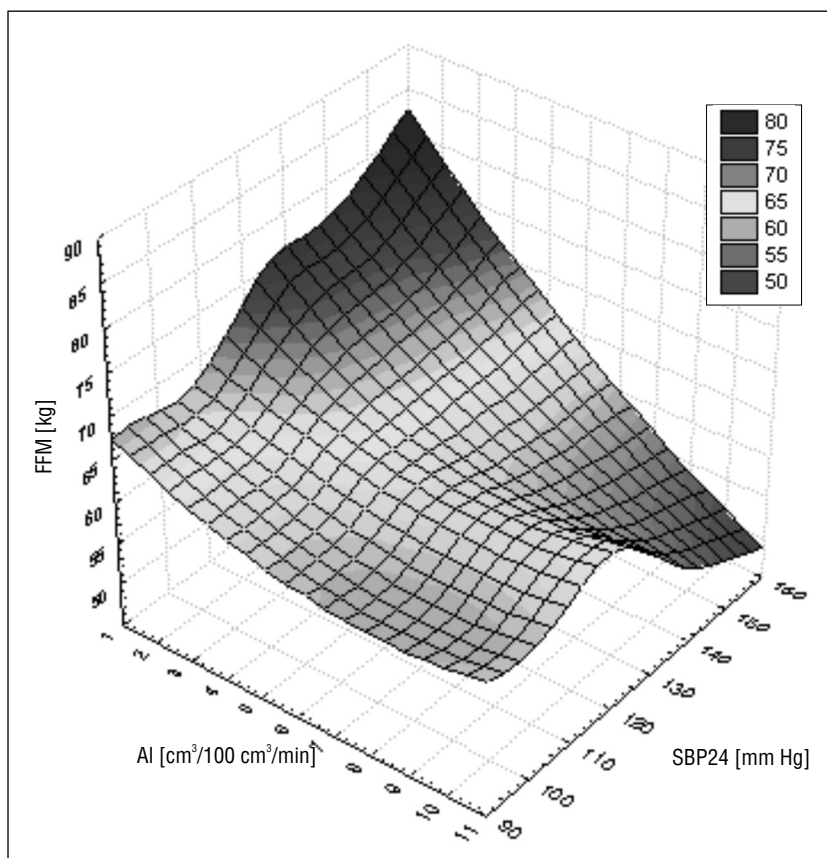
$$\text{FBF} = 0,03 [\text{SBP24}] + 4,19; r = 0,366.$$

## Dyskusja

Otyłość jest znanym od dawna niezależnym czynnikiem ryzyka chorób serca i naczyń.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, iż u części badanych osób ciśnienie tętnicze jest podwyższone powyżej wartości przyjętych za prawidłowe w ABPM według zaleceń JNC 7 (*The Seventh Report of the Joint National Committee on Prevention, Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure*), a część osób z podwyższonym ciśnieniem charakteryzuje wyższy niż przyjęty za normę BMI. Rozkład BMI jest zbliżony z rozkładem w populacji polskiej, stwierdzanym w badaniu NATPOL-PLUS [10]. Porównanie proporcji osób prawidłową masą ciała, nadwagą i otyłością przedstawia tabela V.

Pletyzmografia impedancyjna jest powszechnie uznaną, dokładną i prostą metodą przydatną



**Rycina 5.** Zależność pomiędzy napływem tętniczym, SBP24 i beztłuszczową masą ciała  
**Figure 5.** Relationship between arterial blood flow (AI), SBP24 and fat free mass

**Tabela V.** Rozkład procentowy BMI w populacji  
**Table V.** Percentage distribution of BMI in population

Grupa	Norma (%)	Nadwaga (%)	Otyłość (%)
Grupa badana	42	40	18
NATPOL-PLUS	42	39	19

do badania mechanizmów regulacji naczyniowej [8, 11] oraz określania oporu naczyniowego [8, 12–18]. Umożliwia również ocenę przepływu krwi równie dokładnie jak inne metody oceny przepływu [19–25].

Metoda ta wyraża zmiany objętości badanego segmentu ciała w przeliczeniu na 100 cm<sup>3</sup> oraz na minutę, co pozwala na pominięcie długości czujnika przy porównywaniu wyników pochodzących od różnych badanych [26]. Zdaniem wielu autorów zmiany objętości łożyska naczyniowego dłoni trudno jest ocenić [11, 14, 27–28]. Dlatego w niniejszym badaniu łożysko to wyeliminowano przez założenie mankietu pediatrycznego na nadgarstek i wypełnienie go powietrzem do ciśnienia 240 mm Hg. Wykonywanie

badania na czczo było bardzo istotnym elementem procedury, gdyż z piśmiennictwa wiadomo [29], że po obfitym posiłku znacząco wzrasta przepływ przez przedramię (o 40–60%) oraz pojemność żylna (VC) (o 25–40%) i maksymalny odpływ żylny (VO) (o 20–25%) [29]. Spośród badanych 31 osób paliło tytoń. Testem Manna-Whitneya nie wykazano istotnych różnic w wielkości parametrów oceniających krążenie obwodowe pomiędzy podgrupami osób palących i niepalących.

Precyzja wyznaczenia wyników AI oraz FBF może zależeć od wyboru punktu na krzywej, który służy do ustalenia przebiegu stycznej. W niniejszej pracy punkty na krzywej pletyzmograficznej wyznaczano metodą graficzną, napływ tętniczy (AI) obliczano za pomocą tangensa kąta linii stycznej do krzywej przyrostu objętości kończyny w zakresie kilku pierwszych sekund napływu. Metoda oceny FBF charakteryzuje się większą precyzją niż ocena AI wyznaczana z pełnej krzywej pletyzmograficznej [30].

W ocenianej grupie wskaźniki krążenia żylnego wykazywały znaczącą zależność z wybranymi wskaźnikami antropometrycznymi. Natomiast napływ tętniczy (AI) korelował jedynie ze względną



beztłuszczową masą ciała, nie zaobserwowano natomiast korelacji między wskaźnikami antropometrycznymi a FBF.

Z badań Nestela i wsp. [31] wynika, że podstawowy przepływ krwi nie korelował z parametrami otyłości. Jacobs i wsp. [32] wykazali zaś znamiennej korelację ( $r = 0,58$ ;  $p < 0,03$ ) pomiędzy zmniejszeniem masy ciała a zmianami w napływie tętniczym przedramienia.

Indeksy żyłne oceniano dotychczas u pacjentów z patologią układu żylnego [9, 33–37]. W badaniach tych nie uwzględniano jednak wysokości ciśnienia tętniczego i w związku z tym nie porównywano go z parametrami żylnymi.

W badaniach przeprowadzonych przez autorów niniejszej pracy zmienne charakteryzujące krążenie żyłne nie korelowały znamiennej z wysokością ciśnienia tętniczego zarówno ocenianego metodą konwencjonalną, jak i poprzez ABPM.

Metoda regresji wielokrotnej zastosowana w analizie zależności pomiędzy parametrami opisującymi obwodowe krążenie żyłne ( $VO$ ,  $VC$ ,  $V_{0,5-2,0}$ ) z wybranymi czynnikami antropometrycznymi i hemodynamicznymi wykazała, iż dla wszystkich zmiennych antropometrycznych SBP24 zwiększało stopień determinacji zmiennej opisującej krążenie żyłne. W wypadku zależności pomiędzy wskaźnikami opisującymi część tętniczą krążenia obwodowego a wybranymi wskaźnikami antropometrycznymi za pomocą regresji wielokrotnej stwierdzono, że masa ciała oraz FFM są najsilniejszymi determinantami AI. Stopień determinacji AI zwiększał się po uwzględnieniu SBP24.

## Wnioski

Zmienne opisujące masę ciała (całkowita masa ciała, BMI) wraz z SBP24 są istotnymi determinantami  $V_{0,5-2,0}$  oraz napływu tętniczego.

Ocena przepływu obwodowego za pomocą pletyzmografii powinna uwzględniać wskaźniki antropometryczne i ciśnienie tętnicze.

## Streszczenie

**Wstęp** Celem pracy była ocena zależności pomiędzy wskaźnikami antropometrycznymi oraz ciśnieniem tętniczym a obwodowym przepływem krwi w grupie subiektywnie zdrowych osób.

**Materiał i metody** Grupę badaną stanowiło 72 subiektywnie zdrowych mężczyzn z medianą: wieku 41 lat (16–58), BMI 25,8 kg/m<sup>2</sup> (16,9–34,6). Skład

ciała analizowano przy użyciu metody bioimpedancji elektrycznej.

Wartości beztłuszczowej masy ciała (FFM) wynosiły 66,6 kg (48,2–88,1), czyli 80% (68,6–96,3). Tłuszczowa masa ciała (FM) średnio wynosiła 16,5 (3–32,8) kg, czyli 20% (5,5–31,4). Średnie wartości skurczowego ciśnienia tętniczego (SBP) i rozkurczowego (DBP) dla całej doby (SBP24, DBP24), okresu dnia i nocy wyznaczano na podstawie rejestracji dokonanych aparatem Spacelabs 90207.

Wartości SBP24 i DBP24 wynosiły odpowiednio 119 mm Hg (95–151) i 73 mm Hg (55–97). Obwodowy przepływ krwi badano przy użyciu pletyzmografii *strain-gauge* i opisywano za pomocą następujących parametrów: napływ tętniczy (AI), szybki napływ tętniczy (FBF), pojemność żylna (VC), częściowy odpływ żylny 0,5–2 s ( $VO_{0,5-2,0}$ ), odpływ żylny (VO).

**Wyniki** Napływ tętniczy był determinowany głównie przez SBP24, a także przez FFM, jak i całkowitą masę ciała. Częściowy odpływ żylny był determinowany przez SBP24 i BMI. Szybki napływ tętniczy był determinowany wyłącznie przez SBP24.

**Wnioski** Masa ciała (całkowita masa ciała, BMI) oraz średnie dobowe skurczowe ciśnienie tętnicze (SBP24) są istotnymi determinantami odpływu żylnego  $V_{0,5-2,0}$  oraz napływu tętniczego (AI). Ocena przepływu obwodowego za pomocą pletyzmografii powinna uwzględniać wskaźniki antropometryczne i ciśnienie tętnicze.

**słowa kluczowe:** otyłość, ciśnienie tętnicze, obwodowy przepływ krwi, pletyzmografia *strain-gauge*

*Nadcisnienie Tętnicze 2006, tom 10, nr 1, strony 20–29.*

## Piśmiennictwo

1. Raison J.M., Safar M.E., Cambien F., London G.M. Forearm haemodynamics in obese normotensive and hypertensive subjects. *J. Hypertens.* 1988; 6: 299–303.
2. Lind L., Lithell H. Decreased peripheral blood flow in the pathogenesis of the metabolic syndrome comprising hypertension, hyperlipidemia, and hyperinsulinemia. *Am. J. Heart* 1993; 125: 1494–1497.
3. Westerbacka J., Vehkavaara S., Bergholm R., Wilkinson I., Cocroft J., Yki-Jarvinen H. Marked resistance of the ability of insulin to decrease arterial stiffness characterizes human obesity. *Diabetes* 1999; 48: 821–827.
4. Utriainen T., Malmström R., Makimattila S., Yki-Järvinen H. Methodological aspects, dose-response characteristics and causes of interindividual variation in insulin stimulation of limb blood flow in normal subjects. *Diabetologia* 1995; 38: 555–564.
5. Doko S., Katsumura T., Fujiwara T., Nogami A., Masaki H. Maximum venous outflow and development of deep vein thrombosis. *Jpn Circ. J.* 1991; 55: 185 Abs.

6. Iannuzzi A., Panico S., Ciardullo A.V. i wsp. Varicose veins of the lower limbs and venous capacitance in postmenopausal women: relationship with obesity. *J. Vasc. Surg.* 2002; 36: 965 Abs.
7. Altenkirch H.U., Fransson L., Koch G. Assessment of arterial and venous circulation in upper and lower extremities by venous occlusion strain gauge plethysmography. Normal values and reproducibility. *VASA* 1989; 18: 140–145.
8. Neubauer J., Bieniaszewski L., Kruszewski P., Świerblewska E., Juzwa W., Krupa-Wojciechowska B. Ocena powtarzalności wskaźników pletyzmograficznych w zależności od pozycji ciała, wyboru badanej kończyny oraz metody pomiaru. *Pol. Arch. Med. Wew.* 2000; 3: 575–582.
9. Cramer M., Beach K.W., Strandness D.E.J. The detection of proximal deep vein thrombosis by strain gauge plethysmography through the use of an outflow/capacitance discriminant line. *Bruit*, Vol. VII, Dec, 1983.
10. Babińska Z., Bandosz P., Zdrojewski T., Wyrzykowski B. Epidemiologia otyłości brzusznej w Polsce, Europie Zachodniej i USA. *Kardiologia w Praktyce dla Lekarzy Praktyków* 2004; 3: 3–7.
11. Benjamin N., Calver A., Collier J., Robinson B., Vallance P., Webb D. Measuring forearm blood flow and interpreting the responses to drugs and mediators. *Hypertension* 1995; 25: 918–923.
12. Hayoz D., Weber R., Pechere A., Burnier M., Brunner H.R. Heterogenous vascular response to vasopressin: radial artery versus forearm blood flow. *J. Hypertens.* 1997; 15: 35–41.
13. Sakai K., Imaizumi T., Masaki H., Takeshita A. Intra-arterial infusion of insulin attenuates vasoreactivity in human forearm. *Hypertension* 1993; 22: 67–73.
14. Altenkirch H.U., Koch G., Koralewski H.E. Variability and reproducibility of arterial and venous circulation parameters in the forearm and calf measured at one-week intervals. *VASA* 1990; 19: 21–25.
15. Carberry P.A., Shepard A.M.M., Johnson J.M. Resting and maximal forearm skin blood flows are reduced in hypertension. *Hypertension* 1992; 20: 349–355.
16. Fujita T., Ito Y., Ando K., Noda H., Ogata E. Attenuated vasodilator responses to  $Mg^{+2}$  in young patients with borderline hypertension. *Circulation* 1990; 82: 384–393.
17. Longhini C.S., Scorzoni D., Bazzanini F. i wsp. The structural arteriolar changes in diabetes mellitus and essential hypertension. *Eur. Heart J.* 1997; 18: 1135–1140.
18. Malcolm J., Arnold O., Ribeiro J.P., Colucci W.S. Muscle blood flow during forearm exercise in patients with severe heart failure. *Circulation* 1990; 82: 465–472.
19. Greenfield A.D.M., Whitney R.J., Mowbray J.F. Methods for the investigation of peripheral blood flow. *Br. Med. Bull.* 1963; 19: 101–109.
20. Diji A., Greenfield A.D.M. The local effect of carbon dioxide on human blood vessels. *Am Heart J.* 1960; 60: 907–914.
21. Kety S.S. Measurement of regional circulation by the local clearance of radioactive sodium. *Am. Heart J.* 1949; 38: 321–328.
22. Tschakovsky M.E., Shoemaker J.K., Hugson R.L. Beat-by-beat forearm blood flow with Doppler ultrasound and strain-gauge plethysmography. *J. Appl. Physiol.* 1995; 79: 713–719.
23. Whitney R.J. The measurement of volume changes in human limbs. *J. Physiol.* 1953; 121: 1–27.
24. Burton A.C. The range and variability of the blood flow in the human fingers and the vasomotor regulation of body temperature. *Am. J. Physiol.* 1939; 127: 437–453.
25. Zierler K.L. *Circulation*. W: Hamilton W.F. (red.). *Handbook of Physiology*. American physiological Society, Washington, DC 1962; 585–644.
26. Hokanson D.E. *EC5R plethysmograph*. Manual. Bellevue, USA 1995.
27. Whitney R.J. The measurement of change in human limb volume by means of a mercury — in rubber strain gauge. *J. Physiol. Soc.*, 26 March 1949; 5P–6P.
28. Roddie I.C., Wallace W.F.M. Methods for the assessment of the effects of drugs on the arterial system in man. *Br. J. Clin. Pharmacol.* 1979; 7: 317–323.
29. Sundberg S. Variation in plethysmographically measured limb blood flow using two study designs. *Clin. Physiol.* 1999; 15: 199–206.
30. Neubauer J., Bieniaszewski L., Kruszewski P., Świerblewska E., Juzwa W., Krupa-Wojciechowska B. Zależności pomiędzy ciśnieniem tętniczym a wskaźnikami opisującymi przepływ krwi przez przedramię. *Nadciśnienie Tętnicze* 1998; 2: 218–227.
31. Nestel P.J., Yamashita T., Sasahara T. i wsp. Control of the forearm microcirculation: interactions with measures of obesity and noradrenaline kinetics. *Clin. Sci. (Colch)* 1998; 95: 203–212.
32. Jacobs D.G., Sowers J.R., Hmeidan A., Niyogi T., Simpson L., Standley P.R. Effects of weight reduction on cellular cation metabolism and vascular resistance. *Hypertension* 1993; 21: 308–314.
33. Barnes R.W., Collicot P.E., Sumner D.S., Strandness E. Noninvasive quantitation of venous hemodynamics in the postphlebotic syndrome. *Arch. Surg.* 1973; 107: 807.
34. Struckmann J.R., Vissing S.F., Hjortso E. Ambulatory strain-gauge plethysmography and blood volume scintimetry for quantitative assessment of venous insufficiency. *Clin. Physiol.* 1992; 12: 277–285.
35. Barnes R.W., Hokanson D.E., Wu K.K., Hoak J.C. Detection of deep vein thrombosis with an automatic electrically calibrated strain gauge plethysmography. *Surgery* 1977; 82: 219–223.
36. Barnes R.W., Ross E.A., Strandness D.E.J. Differentiation of primary and secondary varicose veins by Doppler ultrasound and strain gauge plethysmography. *Surg. Gynecol. Obstet.* 1975; 141: 207–211.
37. Strandness D.E., Gibbons G.E., Bell J.W. Mercury strain gauge plethysmography. *Arch. Surg.* 1962; 85: 215–219.