

Wpływ wieku na biomechaniczne parametry dopplerowskiego sygnału przepływu krwi w tętnicach szyjnych

Andrzej Pelc i Józef Kocemba

Katedra Chorób Wewnętrznych i Gerontologii Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie

The influence of age on biomechanical parameters of doppler blood flow signal in carotid arteries

Introduction: *The doppler parameters of blood flow in carotid arteries on rest and after one minute hyperventilation in groups of old males (65.9 ± 12.3 year-old) and young males (26.9 ± 4.4 year-old) were examined. The factors excluding from the examination were the following: stenosis, cardiac arrhythmias haemodynamically significant, blood pressure higher than 160/90 mm Hg, cardiac defects and evident cardiac insufficiency.*

Material and methods: *By means of ultrasonography and the Doppler impulse method a number of parameters of blood flow in carotid arteries were examined: maximal systolic velocity (V_{max}), average velocity during single heart evolution (V_{mean}), pulsatility index (PI), resistance index (RI), time of velocity increase up to V_{max} (T_n), time of velocity decrease (T_p), acceleration of velocity increase (A_n), deceleration of velocity decrease (A_p) and the amplitude and morphology of the reflected wave.*

Results: *The dispersion of parameters was significantly higher in the group of old males. Apart from the resistance index (RI) no differences in the resting parameters between the two groups were detected. The resistance index was significantly higher for the internal carotid artery in old males. After one minute hyperventilation in both groups significant decrease of V_{mean} and V_{max} and increase of PI and RI in the internal carotid artery were observed. In the external carotid artery significant increase of V_{max} , PI, RI and A_n and decrease of T_n were observed. The reaction on hyperventilation was significantly higher in the group of young males.*

Conclusions: *It was shown that the changes of maximal velocity in the internal and external carotid arteries are of inverse character. In this way different reactivity of both segments of the arterial tree which originate from the common carotid artery is manifested. (Folia Cardiol. 2002; 9: 123–130)*

high and low resistance flow, hyperventilation

Wstęp

Integralność funkcjonalną układu krążenia zapewniają m.in. biofizyczne właściwości przepływu w dużych tętnicach [1, 2], których analiza może istotnie ułatwić ocenę stanu układu krążenia.

Celem opracowania było prześledzenie zachowania się biomechanicznych parametrów przepływu krwi w tętnicach szyjnych u osób młodszych i starszych w warunkach spoczynkowych oraz po 1-minutowej hiperwentylacji.

Adres do korespondencji: Lek. Andrzej Pelc
ul. Jabłonowskich 7/5, 31–114 Kraków
Nadesłano: 20.10.2001 r. Przyjęto do druku: 16.01.2002 r.

Praca finansowana przez KBN, powstała w ramach realizacji grantu promotorskiego nr 501/G/241.

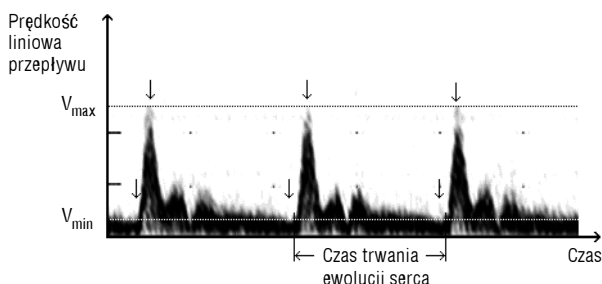
Material i metody

Badana grupa. Zbadano 40 mężczyzn w wieku 28–87 lat, których podzielono na dwie 20-osobowe grupy: osoby młodsze — poniżej 55 rż. (średnia wieku \pm odchylenie standardowe: $26,9 \pm 4,4$ lat) i starsze ($67,2 \pm 12,3$ lat). Kryteriami wykluczającymi były: zwężenie naczyń szyjnych, zaburzenia rytmu, ciśnienie tętnicze $\geq 160/95$ mm Hg, wady zastawkowe, przebyty zawał serca, objawy niewydolności serca oraz stosowanie leków oddziałujących na naczynia krwionośne.

Pomiary. Po 10-minutowym wypoczynku 2-krotnie mierzono pacjentom ciśnienie krwi na prawym ramieniu oraz częstość rytmu serca. Pomiary przepływu przeprowadzono w pozycji leżącej, aparatem USG Aloka SSD-1100, stosując głowicę sektorową 7,5 MHz oraz dopplerowski system impulsowy [3].

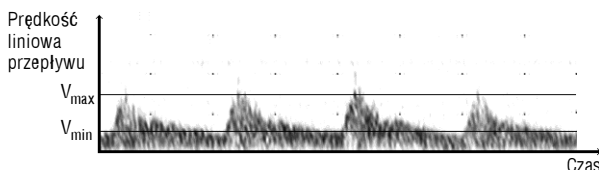
Głowicę umieszczano na szyi, powyżej górnej krawędzi chrząstki tarczowatej, nad rozwidleniem prawej tętnicy szyjnej wspólnej. Najpierw uzyskiwano obraz w prezentacji B. Niewielka rotacja osi głowicy w stronę wyrostka sutkowatego pozwalała uzyskać obraz tętnicy szyjnej wewnętrznej jako przedłużenie tętnicy szyjnej wspólnej, natomiast obrót osi głowicy w stronę kąta żuchwy umożliwił uchwytnie obrazu tętnicy szyjnej zewnętrznej również jako przedłużenie tętnicy szyjnej wspólnej. Ponieważ w prezentacji B obrazy obu tętnic są bardzo podobne, kształt sygnału przepływu stanowił uzupełniające kryterium rozróżnienia. W tętnicy szyjnej zewnętrznej sygnał wskazuje na przepływ wysokoporowy, o dużej amplitudzie prędkości (ryc. 1), natomiast w tętnicy szyjnej wewnętrznej przepływ jest niskoporowy o amplitudzie małej (ryc. 2), a co się z tym wiąże — dużej wartości przepływu końcowo-rozkurczowego [4].

Rejestrację parametrów prowadzono podczas spoczynku i ponownie po 1-minutowej hiperwentylacji, kiedy badany wykonywał szybkie głębokie



Rycina 1. Zapis dopplerowskiego sygnału przepływu w tętnicy szyjnej zewnętrznej podczas spoczynku

Figure 1. Registration of the Doppler flow signal in the external carotid artery



Rycina 2. Zapis dopplerowskiego sygnału przepływu w tętnicy szyjnej wewnętrznej podczas spoczynku

Figure 2. Registration of the Doppler flow signal in the internal carotid artery on rest

oddechy. Zalecano oddychanie raczej torem brzuszny, aby ograniczyć zmianę położenia głowy na szyi podczas ruchów klatki piersiowej.

Sygnał dopplerowski zapisywano umieszczając bramkę pomiarową pod kątem w świetle naczynia. Wartości pomiarów dopplerowskich korygowano stosując poprawkę uwzględniającą kąt między kierunkiem wiązki ultradźwięków i osią długą naczynia.

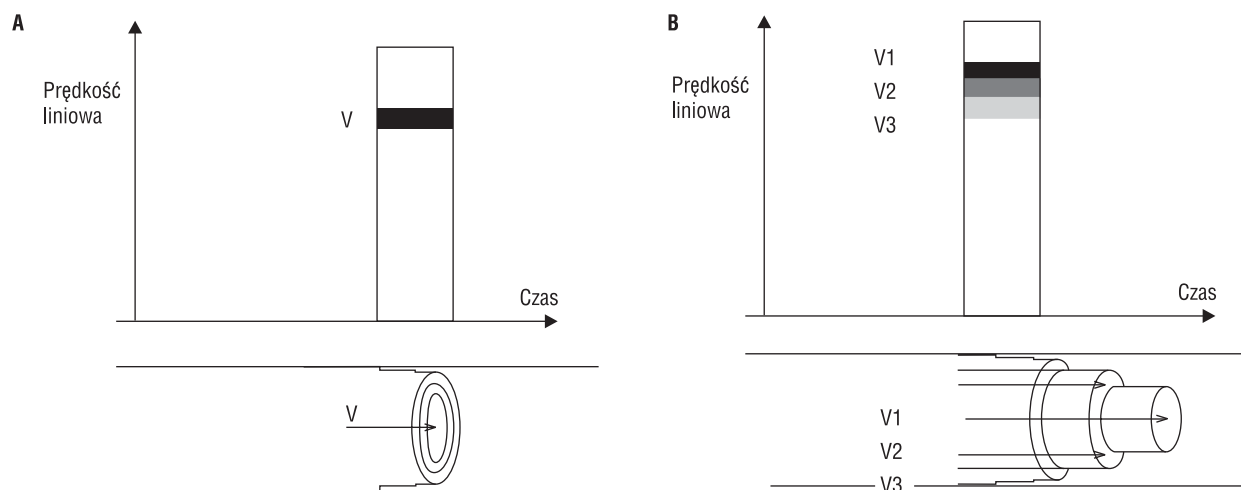
Wielkości każdego parametru mierzono 4-krotnie, a następnie obliczano średnią arytmetyczną, którą przyjmowano za wartość parametru u badanej osoby. Rozproszenie danych w grupach porównywano testem dla wariancji. Dla porównania między grupami wartości średnich, jak również dla oceny zmian parametrów w obrębie grup użyto testów opartych o rozkład *t*-Studenta, odpowiednio: testu dla dwóch średnich z małych grup i testu dla różnic. Przyjęto poziom istotności $\alpha = 0,05$.

Fizjologiczne podstawy metody. W trakcie pomiaru aparatem USG z dopplerowskim systemem impulsowym rejestruje się liniowe prędkości przesuwu masy krwi w naczyniu [3] (wartość maksymalną w czasie wybranej ewolucji serca bądź też średnią w danym okresie czasu). Wysokość prążków wyznacza prędkość, natomiast stopień zaczerpnienia prążka odzwierciedla objętość krwi poruszającej się z daną wartością prędkości (ryc. 3) [4].

W odróżnieniu od prędkości transportu masy krwi (w tętnicach szyjnych prędkość średnia wynosi około 0,43 m/s), wytwarzana przez serce fala tętna (jako nośnik energii) przemieszcza się z prędkością 3–15 m/s i podczas jednego cyklu serca dociera na peryferie drzewa tętniczego, skąd po odbiciu wraca do aorty wstępującej [5].

Określenie badanych parametrów przepływu. Prędkość maksymalna (V_{max}) jest największą prędkością w osi naczynia podczas podokresu skurczu serca (ryc. 1) i jest wyznaczana z użyciem odpowiedniej funkcji aparatu pomiarowego.

Prędkość średnią (V_{mean}) wylicza się, uśredniając chwilowe prędkości maksymalne występujące w ciągu jednej ewolucji serca lub jej poszczególnych pod-



Rycina 3. A. Płaski profil (tłokowy) prędkości przepływu, niemal cała objętość cieczy porusza się z jednakową prędkością (V); **B.** Największa objętość porusza się z prędkością V1 (ciemny prążek na skali powyżej), najmniejsza objętość z prędkością V3 (jasnoszary prążek)

Figure 3. A. Flat flow profile, almost the entire volume of liquid moves with the same velocity (V); **B.** The biggest volume (black area on the scale above) moves with velocity V1, the smallest volume (light gray area) moves with velocity V3

okresów. Są to zazwyczaj prędkości w osi naczynia, na rycinie 1 punkty odpowiadające tym prędkościom ograniczają od góry obraz sygnału dopplerowskiego.

Prędkość minimalna (V_{\min}) odpowiada punktom ograniczającym od góry obraz sygnału dopplerowskiego pod koniec fazy rozkurczowej. Ten parametr można zdefiniować więc jako największą wartość prędkości przepływu krwi w naczyniu, bezpośrednio przed rozpoczęciem skurczu serca (ryc. 1).

Współczynnik pulsacji (PI) jest liczbą niemianowaną i charakteryzuje proporcję składowych oscylacyjnych przepływu (V_{\max} i oscylacje następcze) do jego składowej stałej (prędkość końcoworozkurczowa). Wylicza się go za pomocą uproszczonego wzoru według Nowickiego [6]:

$$PI = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\text{mean}}}$$

wyrażającym PI jako proporcję amplitudy prędkości ($V_{\max} - V_{\min}$) do jej wartości średniej. Jest on szczególnie użyteczny do opisu przepływu krwi w tętnicach zaopatrujących mięśnie szkieletowe, np. w tętnicach kończyn (ryc. 4), w których amplituda prędkości jest wyjątkowo duża, gdyż przepływ w spoczynku jest dwukierunkowy.

Współczynnik oporowy (RI) jest także liczbą niemianowaną i stosuje się go do charakteryzowania przepływu w tętnicach, w których przepływ jest zwykle jednokierunkowy, a więc najczęściej w tętnicy szyjnej wspólnej lub szyjnej wewnętrznej (ryc. 2). Współczynnik oporowy oblicza się według wzoru [6]:

$$RI = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\max}}$$

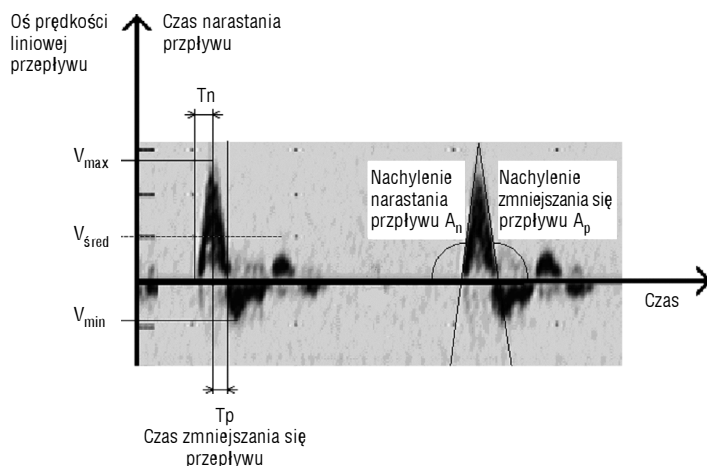
Przy niskim oporze, gdy prędkość pod koniec *diastole* (V_{\min}) zbliżona jest do prędkości maksymalnej, RI może przyjmować wartości bliskie zeru.

Ponieważ przepływ końcoworozkurczowy zależy od oporu w tętniczkach końcowych, to RI pozwala określić całkowity opór rozgałęzień tętnicy dystalnie od miejsca pomiaru.

Obydwa współczynniki (PI i RI) nie zależą od kąta ustawienia wiązki ultradźwięków w stosunku do osi długiej naczynia, o ile jest to kąt mniejszy od prostego, ponieważ określają proporcje między prędkościami. Jest to cenna właściwość podnosząca wiarygodność pomiaru i skracająca czas jego wykonania.

Do analizy morfologii zapisu przepływu krwi w naczyniu stosuje się także pomiary: czasu narastania prędkości przepływu (T_n) do jej wartości maksymalnej w czasie skurczu oraz czasu zmniejszania się prędkości przepływu (T_p) od wartości maksymalnej do końca podokresu skurczu (ryc. 4) [7].

Natomiast przyspieszenie narastania prędkości przepływu i jej zwolnienia obrazują współczynniki nachylenia zboczy sygnału przepływu krwi podczas skurczu serca: A_n i A_p wyrażone w cm/s^2 (ryc. 4). Obydwa te współczynniki można wyliczyć, dzieląc wartość wzrostu lub spadku prędkości odpowiednio przez T_n i T_p . Im większe A_n i A_p , tym większa „strzelistość” fali wyrzutu i tym bardziej sprężyste naczynie [7, 8].



Rycina 4. Zapis dopplerowskiego sygnału przepływu w tętnicy ramieniowej podczas spoczynku

Figure 4. Registration of the Doppler flow signal in the brachial artery on rest

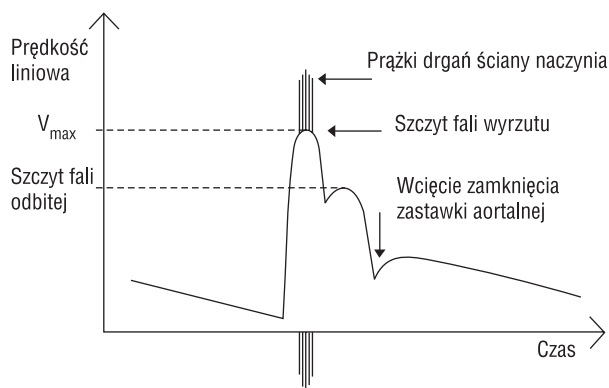
W tętnicach szyjnych oznaczenie T_p jest trudne, ponieważ często na ramię zstępujące fali skurczowej nakłada się już fala odbita, co niejednokrotnie utrudnia odnalezienie wcięcia dykrotycznego wyznaczającego koniec fali skurczowej. Z tego samego powodu wyznaczenie A_p jest w tętnicach szyjnych często niemożliwe. Takie utrudnienie nie występuje w tętnicach kończyn, gdzie w warunkach spoczynku pod koniec *systole* przepływ maleje do zera, a następnie zmienia kierunek, przez co zakończenie podokresu skurczu jest łatwo uchwytne (ryc. 4).

Amplituda i czasowa lokalizacja fali odbitej. Krew do tętnic szyjnych napływa podczas skurczu serca, a także rozkurczu, gdy odbita od obwodu fala tętna powraca do serca, powodując zwiększenie ciśnienia w aorcie wstępującej i w łuku aorty. Jest to widoczne w zapisie dopplerowskiego sygnału przepływu w tętnicach szyjnych. Po fali wyrzutu obserwuje się ponowny wzrost prędkości przepływu (ryc. 5).

Przedstawione parametry można rejestrować i oceniać zarówno w warunkach spoczynkowych, jak i po różnych bodźcach, takich jak hiperwentylacja bądź wysiłek [9].

Wyniki

Parametry przepływu w spoczynku oraz po hiperwentylacji w tętnicach szyjnych (zewnątrznej i wewnętrznej) zmierzono w grupie 20 młodszych oraz 20 starszych mężczyzn. Porównano między grupami średnie arytmetyczne parametrów oraz ich rozproszenie. Grupy nie różniły się istotnie średnim ciśnieniem tętniczym skurczowym i rozkurczowym (starsi — 138/84 mm Hg; młodszy — 128/85 mm Hg), a także częstością akcji serca.



Rycina 5. Schemat zapisu sygnału dopplerowskiego przepływu w tętnicach szyjnych

Figure 5. The schema of the Doppler flow signal registration in carotid arteries

Uzyskane wyniki zestawiono w tabelach 1 i 2, podając różnicę wartości parametrów po hiperwentylacji.

Dane zamieszczone w tabeli 1 wskazują, że średnie wartości parametrów spoczynkowych w tętnicy szyjnej wewnętrznej nie różniły się w obu grupach. Jedynie współczynnik oporu był istotnie wyższy w grupie osób starszych.

Pod wpływem hiperwentylacji w obu grupach (tab. 1), w równym stopniu, w tętnicy szyjnej wewnętrznej zniżyła się zarówno średnia prędkość przepływu (V_{mean}), jak i prędkość maksymalna (V_{max}). Natomiast istotnie zwiększyły się współczynniki pulsacji i oporu, przy czym wzrost ten był zniżył wyższy w grupie osób młodszych. W obu grupach zaobserwowano przeciwstawne średnie zmiany parametrów: czasu narastania

Tabela 1. Parametry przepływu krwi w spoczynku oraz po hiperwentylacji w tętnicy szyjnej wewnętrznej
Table 1. Blood flow parameters in internal carotid artery at rest and their differences after hyperventilation

Pomiary spoczynkowe			Reakcja na hiperwentylację				
Parametr	Mężczyźni młodszy n = 20	Mężczyźni starsi n = 20	p < 0,05	Δ	Mężczyźni młodszy n = 20	Mężczyźni starsi n = 20	p < 0,05
V_{mean} [cm/s]	42,6 ± 8,9	42,7 ± 15,4	s	ΔV_{mean} [cm/s]	-14,8 ± 7,8 *	-9,3 ± 8,6 *	
V_{max} [cm/s]	69 ± 13	71 ± 30	s	ΔV_{max} [cm/s]	-15 ± 14 *	-13 ± 17 *	
PI	1,05 ± 0,32	1,18 ± 0,35		ΔPI	0,48 ± 0,35 *	0,19 ± 0,34 *	m
RI	0,59 ± 0,07	0,65 ± 0,07	m	ΔRI	0,13 ± 0,06 *	0,05 ± 0,06 *	m
T_n [ms]	85 ± 14	75 ± 8		ΔT_n [ms]	-10 ± 11	1 ± 14	m
A_n [cm/s ²]	512 ± 149	624 ± 332	s	ΔA_n [cm/s ²]	33 ± 142	-20 ± 209	s
A_p [cm/s ²]	303 ± 219	301 ± 246		ΔA_p [cm/s ²]	14 ± 253	-41 ± 149	

m — istotna różnica średnich pomiędzy grupami; s — istotna różnica wariancji pomiędzy grupami; Δ — różnica pomiędzy wartością danego parametru mierzonego po hiperwentylacji względem jego wartości spoczynkowej, *p < 0,05 dla tej różnicy (istotna zmiana wartości parametru pod wpływem hiperwentylacji w obrębie danej grupy)

Tabela 2. Parametry przepływu krwi w spoczynku oraz po hiperwentylacji w tętnicy szyjnej zewnętrznej
Table 2. Blood flow parameters in external carotid artery at rest and their differences after hyperventilation

Pomiary spoczynkowe			Reakcja na hiperwentylację				
Parametr	Mężczyźni młodszy n = 20	Mężczyźni starsi n = 20	p < 0,05	Δ	Mężczyźni młodszy n = 20	Mężczyźni starsi n = 20	p < 0,05
V_{mean} [cm/s]	34,1 ± 13,5	40,4 ± 6,4		ΔV_{mean} [cm/s]	-5,2 ± 9,1	-1,6 ± 14,6	
V_{max} [cm/s]	86 ± 35	103 ± 60	s	ΔV_{max} [cm/s]	28 ± 25 *	31 ± 32 *	
PI	2,16 ± 0,38	2,01 ± 0,63	s	ΔPI	1,20 ± 0,29 *	0,99 ± 0,59 *	
RI	0,80 ± 0,05	0,79 ± 0,09	s	ΔRI	0,24 ± 0,1 *	0,15 ± 0,08 *	m, s
T_n [ms]	69 ± 12	66 ± 9		ΔT_n [ms]	-14 ± 15 *	-10 ± 10 *	
A_n [cm/s ²]	1140 ± 387	1201 ± 319		ΔA_n [cm/s ²]	707 ± 299 *	747 ± 506 *	
A_p [cm/s ²]	728 ± 312	657 ± 281		ΔA_p [cm/s ²]	151 ± 564	348 ± 764	

m — istotna różnica średnich pomiędzy grupami; s — istotna różnica wariancji pomiędzy grupami; Δ — różnica pomiędzy wartością danego parametru mierzonego po hiperwentylacji względem jego wartości spoczynkowej, *p < 0,05 dla tej różnicy (istotna zmiana wartości parametru pod wpływem hiperwentylacji w obrębie danej grupy)

szybkości przepływu (T_n) oraz wartości przyspieszeń — narastania (A_n) i zwalniania (A_p) przepływu. Osoby młodsze reagowały istotnym zmniejszeniem T_n . Kierunek średnich zmian wartości A_n i A_p różnił obydwie grupy badanych — zwiększały się one u osób młodszych, natomiast u starszych wyraźnie się zmniejszyły, choć przy obranym poziomie ufności różnice ani w obrębie grup, ani między grupami nie były istotne.

Parametry spoczynkowe przepływu w tętnicy szyjnej zewnętrznej nie różniły się w obu grupach wiekowych (tab. 2). Po hiperwentylacji wartości V_{mean} średnio nieco się zmniejszyły, natomiast wartości V_{max} znamienne wzrosły

niezależnie od wieku. Istotnie wzrosły także wartości współczynników pulsacji i oporu. W obu grupach znamienne skrócił się T_n , a wzrosły wartości A_n i A_p .

Dla obu tętnic rozproszenie wartości niektórych parametrów, zwłaszcza w spoczynku było znacząco większe u osób starszych niż u młodszych (tab. 1 i 2).

Dyskusja

W celu uzyskania poprawnego sygnału przepływu istotne okazało się precyzyjne ustawienie głowicy nad badaną tętnicą pod kontrolą obrazu

w prezentacji B. Bramkę pomiarową umiejscawiano w świetle naczynia, w miarę możliwości nie w pobliżu rozgałęzień, gdzie profil przepływu nie jest osiowo symetryczny i występują turbulencje.

Badane tętnice reprezentują dwa różne odcinki układu krążenia, mające również odmienną budowę histologiczną. Tętnica szyjna wewnętrzna jest sprężysta, natomiast tętnica szyjna zewnętrzna w początkowym odcinku (tworzącym stożek odejścia) ma budowę tętnicy sprężystej, następnie zaś przechodzi w tętnicę mięśniową (dystrybucyjną). Taką różnicę budowy obu naczyń tłumaczy ich ontogeneza. Najpierw rozwija się tętnica szyjna wewnętrzna — jako naczynie trzeciego łuku skrzelowego prowadzące krew do mózgowia, a z niej wtórnie pączkuje tętnica szyjna zewnętrzna — jako dystalny odcinek drzewa tętniczego [10].

Dyfuzja substancji odżywczych i metabolitów w ścianie tętnicy elastycznej jest nieco mniej intensywna niż w ścianie tętnicy mięśniowej, nie tylko z powodu grubości ściany, lecz również obecności w warstwie środkowej ułożonych równolegle błon sprężystych, które mimo obecności okienek (*fenestrae*) upośledzają dyfuzję. Dlatego też niejednokrotnie błona środkowa tych tętnic już u ludzi młodych degeneruje i wapnieje [11, 12]. Tętnica szyjna wewnętrzna uczestniczy w krążeniu mózgowym, które charakteryzuje się stałymi parametrami fizjologicznymi. Mózgowie jest oddzielone od świata zewnętrznego czaszką i układem opon minimalizujących wpływ bodźców mechanicznych z zewnątrz, a wszelkie zmiany parametrów metabolicznych i reologicznych krwi koryguje autonomiczne łożysko naczyniowe.

Tętnica szyjna zewnętrzna unaczynia skórę twarzy, mięśnie mimiczne, mięśnie języka oraz ślinianki. Aktywność metaboliczna tych narządów, a zatem i ukrwienie, zmienia się w szerokim zakresie — stosownie do nasilenia funkcji oraz warunków zewnętrznych. W odróżnieniu od mózgu, narządy te wykazują znacznie większą tolerancję na niedotlenienie.

Wyniki własne wskazują, że biofizyczne parametry przepływu krwi w obydwu tętnicach nie zależą w warunkach spoczynkowych od wieku badanych. Jedynie współczynnik oporu jest w tętnicy szyjnej wewnętrznej znamienne wyższy u osób starszych.

Hiperwentylacja (przyjęta jako test czynnościowy) w tętnicy szyjnej wewnętrznej powodowała istotne zmniejszenie średniej i maksymalnej prędkości przepływu w obu grupach wiekowych, bez istotnych różnic między nimi. Obserwowano również zwiększenie współczynników pulsacji i oporu jako wyraz zwiększenia oporu krążenia w mózgowiu, przy czym zmiana ta jest istotnie bardziej na-

silona u osób młodszych. U większości badanych podczas hiperwentylacji występowały zawroty głowy oraz mrowienia dłoni lub stóp, co można odnieść do zmniejszenia przepływu krwi w krążeniu mózgowym.

Opisana obserwacja potwierdziła znaną, niezależną od wieku, zdolność krążenia mózgowego do samoregulacji w warunkach zmian ciśnienia parcjalnego dwutlenku węgla we krwi oraz ciśnienia tętniczego [12, 13].

Wykazano natomiast u młodszych mężczyzn wzrost A_n i skrócenie T_n , a także zaobserwowano pojawianie się prązków podczas fali skurczowej (ryc. 5), co odzwierciedla wzrost sprężystości ściany naczynia po hiperwentylacji u osób w tym wieku. Odwrotny efekt po hiperwentylacji obserwowano u starszych mężczyzn, u których nastąpiło zmniejszenie dynamiki napływu krwi (wydłużenie T_n , zmniejszenie A_n i A_p).

W obydwu grupach wiekowych w tętnicy szyjnej zewnętrznej po hiperwentylacji zwiększyły się V_{max} oraz A_n i A_p , a także skracał się T_n . Fala wyrzutu stała się bardziej strzelista. Można to tłumaczyć wzrostem elastyczności ściany naczyń i zwiększeniem transportu krwi podczas skurczu. U wielu badanych po hiperwentylacji wystąpiło zaczerwienienie skóry głowy oraz subiektywne poczucie ciepła na twarzy. Obserwowano też istotny wzrost współczynników pulsacji i oporu, ale było to raczej wynikiem znacznego wzrostu maksymalnej prędkości przepływu i zwiększenia transportu krwi w czasie skurczu, a nie wzrostu oporu łożyska naczyniowego.

Biorąc pod uwagę powyższe dane, wydaje się, że większą korzyść z hiperwentylacji w zakresie krążenia obwodowego odnoszą osoby w wieku podeszłym, zwłaszcza że tętnica szyjna zewnętrzna może częściowo przejąć funkcję tętnicy szyjnej wewnętrznej [14].

Niezależnie od wieku badanych wykazano różnicowanie w reaktywności na hiperwentylację między obydwoma tętnicami szyjnymi w zakresie maksymalnej szybkości przepływu, która po hiperwentylacji w tętnicy szyjnej wewnętrznej zmniejszyła się, a w tętnicy szyjnej zewnętrznej znamienne wzrosła.

Wnioski

Biofizyczne parametry przepływu krwi w obydwu badanych tętnicach w warunkach spoczynkowych nie zależą od wieku, z wyjątkiem współczynnika oporu — znamienne wyższego w tętnicy szyjnej wewnętrznej u osób starszych. W tej grupie wiekowej występuje także większe rozproszenie niektórych parametrów przepływu, zwłaszcza spoczynkowych.

Zależność od wieku bardziej niż warunki spoczynkowe ujawnia 1-minutowa hiperwentylacja, ponieważ sprężystość ściany tętnicy szyjnej zewnętrznej zwiększa się w obu grupach, a w tętnicy szyjnej wewnętrznej — tylko u osób młodszych. Przeciwnie, w starszym wieku, po hiperwentylacji ściana tętnicy szyjnej wewnętrznej wykazuje zmniejszoną elastyczność. Uzyskane wyniki potwierdzają, że starzenie się tętnic ela-

stycznych zachodzi szybciej niż tętnic mięśniowych, zgodnie z uwarunkowaniem strukturalnym ich ściany.

Tętnice szyjne (wewnętrzna i zewnętrzna) reagują na hiperwentylację przeciwstawnie w zakresie maksymalnych przepływów, co jest wyrazem odmienności fizjologicznej obu odcinków łożyska naczyniowego mających początek we wspólnym pniu tętnicy szyjnej wspólnej.

Streszczenie

Parametry przepływu krwi w tętnicach szyjnych a wiek

Wstęp: *Prześlędzono dopplerowskie parametry przepływu krwi w naczyniach szyjnych w warunkach spoczynkowych oraz po 1-minutowej hiperwentylacji w grupach starszych ($65,9 \pm 12,3$ lat) i młodszych ($26,9 \pm 4,4$ lat) mężczyzn. Czynniki wykluczającymi z badania były: zwężenia naczyń, hemodynamicznie istotne zaburzenia rytmu serca, ciśnienie tętnicze krwi większe niż 160/90 mm Hg, wady zastawkowe i objawy niewydolności serca.*

Materiał i metody: *Stosując badanie USG oraz impulsową metodę dopplerowską, prześlędzono parametry przepływu krwi w tętnicach szyjnych: prędkość maksymalną podczas skurczu (V_{max}), prędkość średnią podczas całego cyklu serca (V_{mean}), współczynnik pulsacji (PI), współczynnik oporności (RI), czas narastania prędkości (T_n), czas obniżania się prędkości (T_p), przyspieszenie narastania prędkości (A_n) oraz zwalniania prędkości (A_p), a także morfologię i amplitudę fali odbitej.*

Wyniki: *Pomiędzy badanymi grupami nie stwierdzono różnic w parametrach spoczynkowych z wyjątkiem współczynnika (RI) znamiennej wyższego dla tętnicy szyjnej wewnętrznej u osób starszych, u których zaobserwowano również większe rozproszenie parametrów. Po 1-minutowej hiperwentylacji w obu grupach w tętnicy szyjnej wewnętrznej zanotowano istotny spadek V_{mean} i V_{max} oraz wzrost PI i RI, a w tętnicy szyjnej zewnętrznej — znamiennej wzrost V_{max} , PI, RI i A_n oraz zmniejszenie T_n . Reakcja na hiperwentylację była większa w grupie osób młodszych. Wykazano, że w zakresie V_{max} tętnice szyjne — wewnętrzna i zewnętrzna — reagują na hiperwentylację przeciwstawnie, co jest wyrazem odmiennej odczynowości obu odcinków łożyska naczyniowego mających początek we wspólnym pniu tętnicy szyjnej wspólnej.*

Wnioski: *Parametry spoczynkowe nie różnią się w obu grupach wiekowych, a hiperwentylacja powoduje wzrost sprężystości ścian oraz przepływu w tętnicy szyjnej zewnętrznej oraz zmniejszenie przepływu w tętnicy szyjnej wewnętrznej. (Folia Cardiol. 2002; 9: 123–130)*

przepływ wysokooporowy i niskooporowy, hiperwentylacja

Piśmiennictwo

1. Rourke M.F., Kelly R.P. Wave reflection in the systemic circulation and its implications in ventricular function. *J. Hypertens.* 1993; 11: 327–335.
2. Westerhof N., O'Rourke M.F. Haemodynamic basis for the development of left ventricular failure in systolic hypertension and for its logical therapy. *J. Hypertens.* 1995; 13: 943–952.
3. Jensen J. Arendt. Estimation of blood velocities using ultrasound. Cambridge University Press, Cambridge 1996; 155–191.
4. Krzanowski M., Łuszczyc A. Atlas ultrasonografii naczyń. Med. Prakt., Kraków 2000; 33–34, 104.
5. Konturek S. Fizjologia człowieka. T. II: Układ krążenia. Kraków 2000; 139–195.
6. Nowicki A. Podstawy ultrasonografii dopplerowskiej. PWN, Warszawa 1995.
7. Fronek A. Quantitative ultrasonographic studies of lower extremity flow velocity in health and disease. *Circulation* 1976; 53: 957.

8. Fabris F., Poli L., Zanolchi M., Friziero M., Malfi G. Age-related modification of continuous wave Doppler findings. W: Hegyeli R.J. red. Atherosclerosis reviews noninvasive methods in atherosclerosis research. Raven Press, New York 1983; 10: 31–39.
9. Vaitkevicius P.V., Fleg J.L., Engel J. Effects of age and aerobic capacity on arterial stiffness in healthy adults. *Circulation* 1993; 88: 1456–1462.
10. Bochenek A., Reicher M. Anatomia człowieka. T. III. Układ naczyniowy. PZWL, Warszawa 1993; 151–194.
11. Sawicki W. Histologia. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 1993; 189.
12. Hetzel A., Braune S., Guschlbauer, B. CO₂ reactivity testing without blood pressure monitoring? *Stroke* 1999; 30: 398–401.
13. Eicke B.M., Buss E., Bahr R.R. Influence of acetazolamide and CO₂ on extracranial flow volume and intracranial blood flow velocity. *Stroke* 1999; 30: 76–80.
14. Fearn S.J., Picton A.J., Mortimer A.J. The contribution of the external carotid artery to cerebral perfusion in carotid disease. *J. Vasc. Surg.* 2000; 31: 989–993.