

# Obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego — nowa jakość w pomiarze prędkości fali tętna

## Magnetic resonance imaging — a new quality in measurement of pulse wave velocity

### Summary

Arterial stiffness assessed by measuring the speed of propagation of the pulse wave (PWV) is now widely recognized as an independent predictor of morbidity and mortality on diseases of the cardiovascular system.

Due to the simplicity and high predictive value of PWV, this parameter was incorporated into the recommendations of the European Society of Hypertension, and the value of PWV above 12 m/s has been added to the list of exponents of subclinical organ damage. Widely used non-invasive techniques are subject to errors arising primarily winding course of the aorta in the elderly and the overstatement of measurement in obese people. Magnetic resonance imaging (MRI) is considered optimal, non-invasive method of imaging the aorta and large vessels elective. The main limitations of the method is the high cost and the relatively long duration of the study.

The advantage of the method of magnetic resonance imaging over other techniques is the direct measurement of the test and the possibility of aortic PWV assessment on any of its level. MRI can also specify a range of other parameters, such as the susceptibility of the vessel, or elasticity.

Pulse wave velocity measurement of the magnetic resonance is carried out using phase-coding sequences (PC), which allows imaging of the flow in the vessel.

Due to the limited availability of this technique are still difficult to study in large groups of patients that allow users to standardize the procedure, especially for the PWV in healthy subjects.

**key words:** arterial stiffness, pulse wave velocity (PWV), magnetic resonance imaging

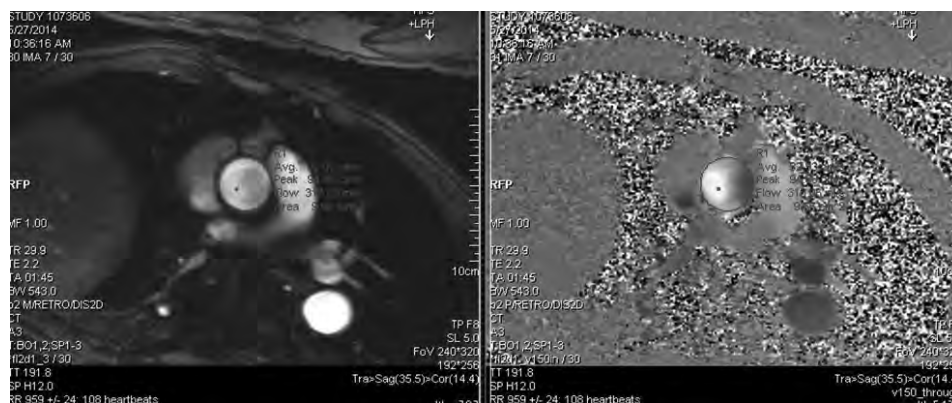
*Arterial Hypertension 2014, vol. 18, no 1, pages: 47–50*

Adres do korespondencji: dr n. med. Katarzyna Katulska  
Zakład Radiologii Ogólnej, I Wydział Lekarski I  
Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu  
ul. Przybyszewskiego 49, 60–355 Poznań  
tel.: (+48) 501–698–777  
e-mail: katarzyna\_katulska@op.pl

 Copyright © 2014 Via Medica, ISSN 1428–5851

Ze względu na rozpowszechnienie chorób układu sercowo-naczyniowego coraz częściej zwraca się uwagę na opracowanie i udoskonalanie metod pomiaru markerów ryzyka powikłań nadciśnienia tętniczego. Szywność tętnic oceniana za pomocą pomiaru prędkości rozchodzenia się fali tętna (PWV, *pulse wave velocity*) jest obecnie powszechnie uznawana za niezależny predyktor zachorowalności i umieralności dotyczącej chorób układu sercowo-naczyniowego [1]. Metodą referencyjną oceny PWV jest pomiar między tętnicami szyjną i udową. Badanie wykonuje się najczęściej w pozycji leżącej, po wcześniejszym 5–10-minutowym odpoczynku. Aortalna PWV wyznaczana jest jako stosunek odległości między punktami pomiarowymi (mierzonymi na powierzchni ciała pacjenta) i czasu między pojawieniem się fali tętna w tych punktach. Ze względu na łatwość wykonania badania i dużą wartość predykcyjną, PWV zostało włączone do zaleceń *European Society of Hypertension* (ESH), a wartość PWV powyżej 12 m/s dołączono do listy wykładników subklinicznego uszkodzenia narządów [2]. Mimo niewątpliwych zalet metody ma ona również kilka ograniczeń. Głównym źródłem błędów jest pomiar drogi jaką przebywa fala tętna między punktami pomiarowymi, dotyczy to głównie osób otyłych, u których pomiar na powierzchni brzucha powoduje wydłużenie rzeczywistej drogi oraz u osób starszych u których aorta ma tendencję do krętego przebiegu [3, 4].

W ostatnich latach coraz popularniejsza staje się metoda wyznaczania PWV przy zastosowaniu rezonansu magnetycznego (MRI, *magnetic resonance imaging*) [5–8]. Badanie MRI jest uznawane za optymalną metodę obrazowania aorty i dużych naczyń w trybie planowym. Stanowi badanie nieinwazyjne i nieszkodliwe dla organizmu, środki cieniujące wykorzystywane w tej technice są bardzo dobrze tolero-



**Rycina 1.** Sekwencja kontrastu fazowego umożliwiającą zobrazowanie przepływu przez naczynie. Przekrój poprzeczny przez aortę wstępującą na poziomie 1 cm nad opuszką

**Figure 1.** Phase contrast sequence gives possibility to image flow through the vessel. Cross section of the ascending aorta at the level of 1 cm above aortic bulb

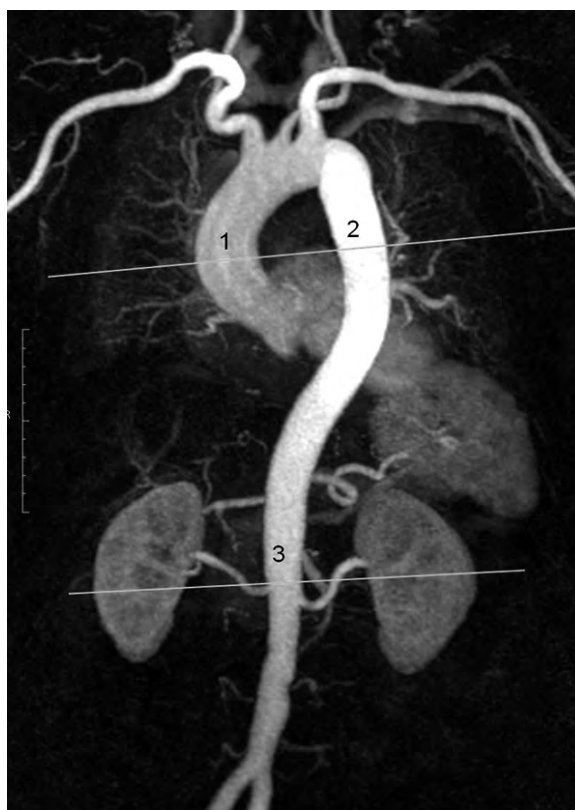
wane, a w wybranych przypadkach możliwe jest wykonanie badania z pominięciem ich podania. Główne ograniczenia metody to wysoki koszt i stosunkowo długi czas badania. Przewagą MRI nad innymi technikami jest bezpośredni pomiar badanego odcinka aorty oraz możliwość oceny PWV na dowolnym jej poziomie. W badaniu MR możliwe jest również określenie wielu innych parametrów naczynia, takich jak podatność, elastyczność czy moduł sprężystości [9].

Pomiar PWV metodą MRI wykonuje się przy użyciu sekwencji kodowania fazowego (PC, *phase contrast*), która umożliwia zobrazowanie przepływu w naczyniu (ryc. 1). Pomiar sterowany jest zapisem EKG, czas skanowania wynosi około 1 min, a rozdzielczość czasowa 25 klatek na cykl pracy serca. Pomiar przeprowadza się zwykle w trzech punktach: aorta wstępująca około 1 cm nad opuszką (1), aorta zstępująca na poziomie podziału pnia płucnego (2) oraz aorta brzuszna na poziomie odejścia tętnic nerkowych (3) (ryc. 2). Płaszczyzny pomiarowe pozycjonuje się prostopadle do światła aorty przy wykorzystaniu wcześniej wykonanych obrazów anatomicznych. Analiza i wyznaczenie PWV wymaga wykonania pomiaru przesunięcia czasowego fali tętna między poszczególnymi poziomami aorty ( $\Delta t$ ) oraz zmierzenia odległości między nimi ( $\Delta l$ ) (ryc. 3). PWV wyznacza się jako:

$$PWV = \frac{\Delta l}{\Delta t} \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Pomiar PWV najczęściej przedstawia się w postaci trzech wyników:

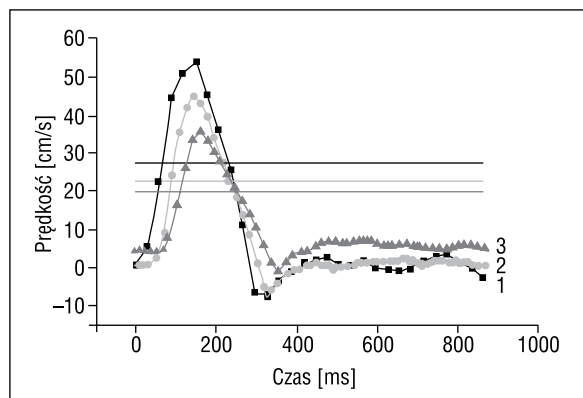
- PWV<sub>prox</sub> — pomiar dla łuku aorty między poziomem 1 i 2,
- PWV<sub>dist</sub> — pomiar dla aorty zstępującej między poziomem 2 i 3,



**Rycina 2.** Obraz *maximum intensity projection* (MIP) aorty z wskazanymi poziomami pomiaru fali tętna. 1 — centymetr nad opuszką aorty, 2 — aorta zstępująca na poziomie podziału pnia płucnego, 3 — aorta brzuszna na poziomie odejścia tętnic nerkowych

**Figure 2.** Maximum Intensity Projection Image (MIP) of aorta with references levels of pulse wave measurements. 1 — 1 centimeter above aortic bulb, 2 — descending aorta on the level of pulmonary trunk, 3 — abdominal aorta on the level of renal arteries

PWV<sub>tot</sub> — pomiar dla całego naczynia między poziomem 1 i 3.



**Rycina 3.** Wykres fali tętna na trzech poziomach — pomiar czasu między pojawieniem się kolejnej fali pozwala na wyznaczenie wartości prędkości fali tętna

**Figure 3.** Pulse wave diagram at three levels — measuring the time between appearance of the next wave allows to determine the value of pulse wave velocity

Pomiar PWV metodą MRI może stanowić uzupełnienie protokołu badania angiograficznego aorty.

Głównym ograniczeniem stosowania MRI do oceny PWV (oprócz dostępności i ceny badania) jest brak komercyjnie dostępnego oprogramowania, które pozwalałoby na zautomatyzowanie pomiarów. Dodatkowo pojawia się coraz więcej metod wyznaczania PWV jak metoda cross-korelacji (korelacji wzajemnej) czy wyznaczanie PWV lokalnie na podstawie zmiany średnicy aorty w trakcie cyklu pracy serca czy też wyznaczanie PWV na podstawie sekwencji kodowania fazowego 4D [7, 8, 10]. Brak dotychczas ustandaryzowanych wytycznych co do metody pomiaru stwarza trudności w przypadku próby porównania wyników między ośrodkami czy grupami pacjentów. Dotychczas pojawiło się jedynie kilka badań porównujących wartości PWV wyznaczone przy zastosowaniu MRI oraz przy zastosowaniu tradycyjnych metod przezskórnych [3, 11]. Doniesienia te potwierdzają przydatność MRI do oceny PWV aorty, szczególnie w jej proksymalnym odcinku [12, 13]. Wciąż jednak brakuje badań z udziałem dużych grup pacjentów, w szczególności dotyczących wartości PWV u osób zdrowych.

## Streszczenie

Szywność tętnic oceniana za pomocą pomiaru prędkości rozchodzenia się fali tętna (PWV) jest obecnie powszechnie uznawana za niezależny predyktor zachorowalności i umieralności dotyczącej chorób układu sercowo-naczyniowego.

Ze względu na łatwość wykonania badania i dużą wartość predykcyjną, PWV zostało włączone do zaleceń *European Society of Hypertension*, a wartość PWV powyżej 12 m/s dołączono do listy wykładników subklinicznego uszkodzenia narządów. Stosowane powszechnie techniki nieinwazyjne obarczone są błędami wynikającymi przede wszystkim krętym przebiegiem aorty u osób starszych oraz zawyżeniem pomiaru u osób otyłych.

Badanie metodą rezonansu magnetycznego (MRI) jest uznawane za optymalną, nieinwazyjną metodę obrazowania aorty i dużych naczyń w trybie planowym. Główne ograniczenia metody stanowią wysoki koszt i stosunkowo długi czas badania.

Przewagą metody rezonansu magnetycznego nad innymi technikami jest bezpośredni pomiar badanego odcinka aorty oraz możliwość oceny PWV na dowolnym jej poziomie. W badaniu MR możliwe jest również określenie wielu innych parametrów naczynia, takich jak podatność, elastyczność czy moduł sprężystości.

Pomiar PWV metodą MRI wykonuje się przy użyciu sekwencji kodowania fazowego (PC), która umożliwia zobrazowanie przepływu w naczyniu.

Ze względu na ograniczoną dostępność tej techniki, nadal trudne są badania z udziałem dużych grup chorych, które pozwoliłyby na standaryzację tej procedury, zwłaszcza dotyczących wartości PWV u osób zdrowych.

**słowa kluczowe:** szywność tętnic, prędkość fali tętna (PWV), rezonans magnetyczny

*Nadciśnienie Tętnicze 2014, tom 18, nr 1, strony: 47–50*

## Piśmiennictwo

1. Blacher J., Asmar R., Djane S. i wsp. Aortic pulse wave velocity as a marker of cardiovascular risk in hypertensive patients. *Hypertension* 1999; 33: 1111–1117.
2. Safar M.E., London G.M. Therapeutic studies and arterial stiffness in hypertension: recommendations of the European Society of Hypertension. The Clinical Committee of Arterial Structure and Function. Working Group on Vascular Structure and Function of the European Society of Hypertension. *J. Hypertens.* 2000; 18: 1527–1535.
3. Joly L., Perret-Guillaume C., Kearney-Schwartz A. i wsp. Pulse wave velocity assessment by external noninvasive devices and phase-contrast magnetic resonance imaging in the obese. *Hypertension* 2009; 54: 421–426.
4. Asmar R., Benetos A., Topouchian J. i wsp. Assessment of arterial distensibility by automatic pulse wave velocity measurement. Validation and clinical application studies. *Hypertension* 1995; 26: 485–490.
5. Ibrahim el-S.H., Johnson K.R., Miller A.B. i wsp. Measuring aortic pulse wave velocity using high-field cardiovascular magnetic resonance: comparison of techniques. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2010; 12: 26.

6. Gang G., Mark P., Cockshott P. i wsp. Measurement of pulse wave velocity using magnetic resonance imaging. *Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.* 2004; 5: 3684–3687.
7. Markl M., Wallis W., Bredecke S. i wsp. Estimation of global aortic pulse wave velocity by flow-sensitive 4D MRI. *Magn. Reson. Med.* 2010; 63: 1575–1582.
8. Wentland A.L., Grist T.M., Wieben O. Review of MRI-based measurements of pulse wave velocity: a biomarker of arterial stiffness. *Cardiovasc. Diagn. Ther.* 2014; 4: 193–206.
9. Vulliémoz S., Stergiopoulos N., Meuli R. Estimation of local aortic elastic properties with MRI. *Magn. Reson. Med.* 2002; 47: 649–654.
10. Ibrahim el-S.H., Johnson K.R., Miller A.B. Measuring aortic pulse wave velocity using high-field cardiovascular magnetic resonance: comparison of techniques. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2010; 12: 26.
11. Vappou J., Luo J., Okajima K. Aortic pulse wave velocity measured by pulse wave imaging (PWI): a comparison with applanation tonometry. *Artery Res.* 2011; 5: 65–71.
12. Mohiaddin R.H., Firmin D.N., Longmore D.B. Age-related changes of human aortic flow wave velocity measured noninvasively by magnetic resonance imaging. *J. Appl. Physiol.* (1985) 1993; 74: 492–497.
13. Rogers W.J., Hu Y.L., Coast D. i wsp. Age-associated changes in regional aortic pulse wave velocity. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2001; 38: 1123–1129.