

ВРЕМЕТО НА РАЗПРОСТРАНЕНИЕ НА ПУЛСОВАТА ВЪЛНА – МЕТОД ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ФУНКЦИОНАЛНИЯ СТАТУС НА СЪРДЕЧНО-СЪДОВАТА СИСТЕМА

Р. Николова

Национален център за опазване на общественото здраве – София

PULSE TRANSIT TIME – METHOD FOR INVESTIGATION OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM FUNCTIONAL STATUS

R. Nikolova

National Center for Public Health Protection – Sofia

Резюме: Функционалнодиагностичните методи за изследване на времето на разпространение на пулсовата вълна (ВРПВ) се прилагат за оценка на хемодинамичните закономерности на движението на кръвта в съдовата система, симпатико-адреналната и вегетативната реактивност към стрес-дистрес, артериалната еластичност и ригидност, процеса на стареене, влиянието на вазоактивните медикаменти по отношение на съдовата стена, ранната детекция на сърдечно-съдови нарушения, диагностиката на сърдечно-съдовия риск и на сърдечно-съдови заболявания (ССЗ). Проведените от нас изследвания показваха, че ВРПВ: намира приложение за оценка на хроничното (тонично) напрежение и дистрес; отразява дисфункционалното състояние; корелира с повишеното артериално налягане и психосоматичните оплаквания; следва спонтанните осцилации на дишането и динамиката на артериалното налягане.

Ключови думи: време на разпространение на пулсовата вълна, артериална еластичност и ригидност, сърдечно-съдови заболявания, стрес

Адрес за кореспонденция: Д-р Ружа Николова, дм, Лаборатория “Физиология, психология и ергономия”, Национален център за опазване на общественото здраве, бул. “Акад. Ив. Гешов” 15, 1431 София, тел.: 80-56-207

Summary: Functional diagnostic methods for investigation of pulse transit time (PTT) are applied for assessment of hemodynamic regularities of blood-kinesis in the vascular system, sympathico-adrenal and autonomic reactivity to stress-distress, arterial elasticity and stiffness, aging, effect of vasoactive agents on vascular wall, early detection of cardiovascular disturbances, diagnostics of cardiovascular risk and cardiovascular diseases (CVD). Our studies revealed that PTT is used for assessment of chronic (tonic) strain and distress, it reflects a dysfunctional state, correlates with increased arterial pressure and psycho-somatic complaints, PTT follows spontaneous respiratory oscillations and the dynamics of arterial pressure.

Key words: pulse transit time, arterial elasticity and arterial stiffness, cardiovascular diseases, stress

Address for correspondence: Rouja Nikolova, MD, National Center for Public Health Protection, Laboratory “Physiology, Psychology and Ergonomy”, 15 Acad. Iv. Geshov blvd, BG – 1431 Sofia, tel.: 80-56-207

ВЪВЕДЕНИЕ

Във функционалната сърдечно-съдова диагностика методите за изследване на хемодинамичните закономерности на движението на кръвта в съдовата система, за оценка на артериалната еластичност и артериалната ригидност, за съпротивлението и скоростта на придвижване на кръвта се използват за анализ и оценка на функционалния статус на сърдечно-съдовата система (ССС). Нарастващият интерес към приложението на неинвазивните и инвазивните методи за оценка на артериалната еластичност и разтегливост се дължи на фундаменталната им роля за хемодинамиката [18, 22-24, 26], както и на тяхната връзка и отношение към

сърдечно-съдовия риск [4-6, 8, 17, 27]. В епидемиологично проучване на функционалната зависимост между артериалната разтегливост, анализа на пулсовата вълна и оценката на отношението ударен обем–пулсово налягане е установена взаимната връзка между посочените показатели и Фрамингамския индекс на сърдечно-съдовия риск [20].

Неинвазивното изследване на артериалната еластичност и ригидност се основава на три методологични подхода: изследване на времето на разпространение на пулсовата вълна; анализ на артериалното пулсово налягане; оценка на диаметъра на съда и налягането на разтегляне. Тези параметри са свързани с функционалните

въздействия върху артериалната ригидност. Чрез инвазивните методи на базата на изследване на артериалния кръвен ток, налягането и диаметъра на съда се анализират и оценяват артериалната еластичност и ригидност.

В проведените от нас проучвания е изследвано времето на разпространение на пулсовата вълна (ВРПВ), като е приложена функционално-диагностична полифизиографска система Toppieces – конфигурация РС – NCR [26]. ВРПВ е един от основните функционално-диагностични неинвазивни методи за изследване и оценка на функционалното състояние на сърдечно-съдовата система (ССС) чрез определяне на хемодинамичните закономерности на движението на кръвта в съдовата система, на артериалната еластичност и ригидност. Прилага се за определяне на хемодинамичните характеристики на движението на кръвта в съдовата система при въздействие на нервно-психичен стрес, умствено работно напрежение и натоварване; въздействие на факторите на околната среда [13, 14, 16, 21, 25, 28]. Чрез този метод се определят: сърдечно-съдовата реактивност; вегетативната активност; активността на симпатико-адреналната система към въздействието на стресорни фактори. Тъй като ВРПВ корелира със сърдечно-съдовите рискови фактори, а в редица проучвания се разглежда като един от тях, този показател намира приложение за определяне на сърдечно-съдовия риск, тъй като е детерминант на систолното и пулсовото налягане, на натоварването на сърцето, на артериалната разтегливост и ригидност [11, 12, 15, 19].

Резултатите от проведените от нас изследвания на ВРПВ показваха, че ВРПВ: намира приложение за оценката на хроничното (тонично) напрежение и дистрес; отразява дисфункционалното състояние, корелира с повишеното артериално налягане и психосоматичните оплаквания; следва спонтанните осцилации на дишането и динамиката на артериалното налягане [2-3].

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ВРЕМЕТО НА РАЗПРОСТРАНЕНИЕ НА ПУЛСОВАТА ВЪЛНА

ВРПВ се изучава и използва в параклиничната (теоретична и приложна физиология, трудова медицина, психо-физиология) и клиничната медицина (кардиология, функционална диагностика на дишането и съня, нефрология, ендокринология и др.).

В трудовофизиологичната медицина, теоретичната и приложната физиология и психо-физиологията ВРПВ се използва за оценка на:

- умственото работно напрежение, предизвикано от когнитивни процеси, свързани с преработка на информация – самостоятелно или паралелно с други физиологични показатели, които са индикатори на умствено напрежение (сърдечен ритъм, амплитуда на Т-вълната, барорефлексна сензитивност, психични показатели, вариативност на артериалното налягане);

- нервно-психичния стрес и свързаната с него сърдечно-съдова реактивност, активността на симпатико-адреналната система и вегетативната активност – самостоятелно или паралелно с изследване на сърдечния ритъм, артериалното налягане, сърдечната вариативност, катехоламините;

- въздействието на факторите на околната среда (въздействие на надморската височина и промяната в барометричното налягане) – самостоятелно или паралелно с електрокардиограма (ECG) и скорост на разпространение на кръвния ток, артериално налягане;

- при определяне на сърдечно-съдовия риск – в повечето случаи паралелно с проучване на сърдечно-съдовите рискови фактори;

- за скринингово проучване на професионални групи, експонирани на стрес, за откриване на сърдечно-съдови нарушения и ССЗ.

СЪЩНОСТ НА МЕТОДИКАТА

ВРПВ е неинвазивен функционално-диагностичен метод за детерминиране на артериалната еластичност и ригидност, за изследване на сърдечно-съдовата реактивност, вегетативната и симпатико-адреналната активност към въздействието на стресорни фактори. ВРПВ е детерминант на систолното и пулсовото налягане, на натоварването на сърцето, на артериалната ригидност и разтегливост.

Методът се основава на регистрацията на дистанциите (времеви серии) между R-зъбеца в ECG и пика на анакротната вълна на фотоплетизмограмата (PTG). Плетизмографският сигнал се регистрира от ушната мида, дисталната фаланга на средния пръст на ръката или крака. В повечето проучвания фотоплетизмографският сигнал се регистрира от дисталната фаланга на средния пръст на ръката.

Съществува пряка зависимост между ВРПВ и скоростта на пулсовата вълна (PWV). Измерването на PWV е до известна степен комплицирано – измерва се чрез регистрацията на пулсовото налягане между две места на артериалната стена. Поради тази причина се предпочита изследването на ВРПВ. Синхронните с пулса хемо-

динамични промени в дадена съдова област са в пряка зависимост от диаметъра на съда, неговата еластичност и нивото на системното артериално налягане. Тези показатели, както и вискозитетът на кръвта и дължината на съдовата мрежа определят пулсовата скорост. Основните закономерности, определящи ВРПВ, могат да се изразят чрез уравнението на Poiseuille, според което общото съдово съпротивление $R = 8 \cdot l \cdot \eta / \pi \cdot r^4$, където l е дължината на съда, η – вискозитетът на кръвта, и r е радиусът на съда.

За провеждане на изследването е необходима следната диагностична апаратура: полиелектрофизиограф Tonpiles – конфигурация PC – NCR; ECG електроди; фотоплетизмографски датчик – RFT.

Лицата се изследват при откъсване от трудовата дейност в покой през работния ден или смяна (дневна/нощна). За регистриране на ECG сигнала се използват стандартни ECG електроди при двуполусно гръдно отвеждане [1], а за фотоплетизмограмата (PTG) – RFT кварцови датчици, разположени върху дисталната фаланга на средния пръст на ръката [26]. Следващата операция е селектиране на каналите, на които ще се проследяват двата физиологични сигнала: първи канал – PTG, втори канал – ECG. Маркират се R-зъбецът на ECG и пикът на анакротната вълна на PTG, след което с курсора се измерват маркираните дистанции между R-зъбеца на ECG и пика на анакротната вълна на PTG в десет времеви серии. Осредненият резултат от последователните измервания се представя в милисекунди (ms).

Методиката е разработена да представи като краен резултат показателя ВРПВ, представляващ осреднена стойност в ms на десеткратни дистанции между R-зъбеца на ECG и пика на анакротната вълна на PTG.

ДРУГИ СПЕЦИАЛИЗИРАНИ ФУНКЦИОНАЛНОДИАГНОСТИЧНИ МЕТОДИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА АРТЕРИАЛНАТА ЕЛАСТИЧНОСТ И РИГИДНОСТ

Освен тази методика съществуват следните специализирани функционалнодиагностични методи за изследване и проучване на артериалната еластичност и ригидност и на хемодинамичните закономерности, които се използват в специализирани експериментални и клинични лаборатории [10, 18, 20, 23, 24].

Неинвазивни методи за изследване на артериалната ригидност

• Детерминиране на системната артериална ригидност. Тъй като артериалното налягане

се смята за показател за хемодинамичното натоварване, то системната артериална ригидност определя реакцията на големите артериални съдове към пулсиращото въздействие вследствие на изтласкването на кръвта от камерите.

• Детерминиране на регионалната артериална ригидност. Регионалната артериална ригидност се измерва на артериални места с основно физиологично значение, каквото е това на аортата и на *a. brachialis* на мястото на аускултиране на артериалното налягане. Повечето от изследователските методологични подходи се основават на принципа на регистриране на скоростта на разпространение на пулсовата вълна (PWV). $PWV = h/Er \cdot \rho$, където E е еластичният модул на артериалната стена, h и r са характеристиките на артериалния съд – дебелина и радиус, и ρ е плътността на кръвта.

• Детерминиране на локалната артериална ригидност. Локалното определяне на артериалната ригидност включва изследване на кросартериалната разтегливост – измерване диаметъра на съда и едновременно или след няколко минути регистриране на артериалното налягане.

• Използват се също изследователски диагностични методи, основаващи се на детекция на пулсовия поток, при които се извършва образнодиагностично неинвазивно определяне на PWV и локалната артериална разтегливост.

Неинвазивни методи за изследване на артериалната ригидност, основаващи се на изследване на времето на разпространение на пулсовата вълна

Тази група функционалнодиагностични методи се основават на изследване на времето на разпространение на пулсовата вълна (ВРПВ):

• Системата “Complor” (Colson, Les Lilas, France) измерва автоматично ВРПВ на едно или две артериални места.

• Системата “SphygmoCor” измерва времето на разпространение на пулсовата вълна между две артериални места в зависимост от R-пика на електрокардиограмата (ECG). Прилага се Millar, Houston TX тонометър за определяне и регистриране на проксималния и дисталния пулс, като ВРПВ се изчислява след изваждане на закъснението на разпространение на пулсовата вълна между ECG и двете регистрирани пулсови вълни.

• Ултразвукова регистрация на PWV. Ултразвуковата регистрация на PWV се извършва чрез детерминиране на едновременно регистрираните пулсови вълни от *a. subclavia sinistra* и бифуркацията на абдоминалната аорта.

- Системата "Wall Track" (Pie Medical, Maast-richt, The Netherlands) позволява ехографско измерване на PWV чрез определяне на промените в диаметъра на артериалния съд. Времето на разпространение на вълната се получава след изваждане на закъснението в разпространението между ECG и времето за 10% увеличение на артериалния диаметър, синхронно с регистрацията на пулса.

- Системата "QKd" е амбулаторен метод за регистриране на артериалното налягане (Novacog, Rueil-Malmaison, France). Тази система се прилага за изследване на артериалната ригидност при едновременна регистрация на артериалното налягане. ВРПВ се определя чрез измерване началото на електрическата активност на камерите и фазата на диастолата от регистрирането на артериалното налягане.

Неинвазивни методи за изследване на артериалната ригидност, основаващи се на анализ на артериалното пулсово налягане

При тази група методи се използват алгоритми за анализ на неинвазивно определеното артериално пулсово налягане:

- Измерва се артериалното пулсово налягане на a. subclavia, като се определя ултразвуково и скоростта на аортния кръвен ток.

- Система за проксимално и дистално определяне на артериалния пулс, регистриран на нивото на a. radialis, като се използва модифицираният метод на Windkessel (CR-2000, Research Cardiovascular Profiling System, Eagan, MN).

- Методика, насочена към оценяване въздействието на процеса на стареене и влиянието на вазоактивните медикаменти по отношение на артериалната система чрез изчисляване на амплитудата на секундерната периферна вълна на пулсовото налягане, регистрирана фотоплетизмографски (Fukuda Electric Co., Токуо, Japan).

- Анализ на периферната пулсова вълна, като се използва системата SphygmoCor device; PWV Medical, Sydney, Australia.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резюмираните функционалнодиагностични методи за изследване на времето на разпространение на пулсовата вълна показват, че освен за оценка на хемодинамичните закономерности на движението на кръвта в съдовата система, симпатико-адреналната и вегетативната реактивност към стрес-дистрес, артериалната еластичност и ригидност, процеса на стареене [20], влиянието на вазоактивните медикаменти по отношение на съдовата стена [29], ВРПВ се

използва и за оценка и ранна детекция на сърдечно-съдови нарушения, диагностика на сърдечно-съдовия риск и ССЗ [7-9, 12, 19, 20].

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Данев, С. Информативност на сърдечния ритъм в трудово-физиологичен аспект. Дисертация за дмн. София, 1989.
2. Данев, С., Р. Николова и Е. Дацов. Промени във времето на разпространение на пулсовата вълна при психо-физиологичен дискомфорт. – Хиг. и здравеоп., 1991, № 2, 30-36.
3. Николова, Р. Аprobация на метода за анализ на сърдечната вариативност при модели на нервно-сензорно професионално напрежение и неговото методично усъвършенстване. Дисертация. София, 1993.
4. Asmar, J. et al. Arterial stiffness and cardiovascular risk factors in a population-based study. – J. Hypertens., 3, 2001, 381-387.
5. Asmar, R. et al. Pulse wave velocity as endpoint in large-scale intervention trial. The Compilor study. – J. Hypertens., 4, 2001, 813-818.
6. Avolio, A. et al. Effects of aging on arterial distensibility in populations with high and low prevalence of hypertension: comparison between urban and rural communities in China. – Circulation, 71, 1985, 202-210.
7. Balkenstein, E. et al. The effect of weight loss with or without exercise training on large artery compliance in healthy obese men. – J. Hypertens., 17, 1999, 1831-1835.
8. Blacher, J. et al. Aortic pulse wave velocity as a marker of cardiovascular risk in hypertensive patients. – Hypertension, 33, 1999, 1111-1117.
9. Blacher, J. et al. Carotid arterial stiffness as a predictor of cardiovascular and all cause mortality in end stage renal disease. – Hypertension, 32, 1998, 570-574.
10. British Standard Institution: Precision of Test Methods I: Guide for Determination of Reproducibility for a Standard Test Method (BS 5497 part 1). London, UK, British Standard Institution, 1979.
11. Chen, W. et al. Continuous estimation of systolic blood pressure using the pulse arrival time and intermittent calibration. – Med. Biol. Eng. Comput., 38, 2000, № 5, 569-574.
12. Cohn, J. et al. Non-invasive pulse wave analysis for the early detection of vascular disease. – Hypertension, 26, 1995, 503-508.
13. Dutch, J. et S. Redman. Psychological stress and arterial pulse transit time. – N. Z. Med. J., 96, 1983, 737-743.
14. Joannides, R. et al. Influence of sympathetic tone on mechanical properties of muscular arteries in humans. – Am. J. Physiol., 268, 1995, (Pt 2), H794-H801.
15. Lane, J., L. Greenstadt et D. Shapiro. Pulse transit time and blood pressure: an intensive analysis. – Psychophysiology, 1, 1983, 45-49.
16. Lantelme, P. et al. White coat effect and reactivity to stress: cardiovascular and autonomic nervous system responses. – Hypertension, 31, 1998, 1021-1029.
17. Lehmann, E. et al. Relation between number of cardiovascular risk factors/events and noninvasive Doppler ultrasound assessments of aortic compliance. – Hypertension, 32, 1998, № 3, 565-569.

18. Liang, Y. et al. Non-invasive measurements of arterial structure and function: repeatability, interrelationships and trial sample size. – Clin. Sci., **95**, 1998, 669-679.
19. Liao, D. et al. Arterial stiffness and the development of hypertension. The ARIC study. – Hypertension, **34**, 1999, 201-206.
20. Lind, L. et al. Comparison of three different methods to determine arterial compliance in the elderly: the Prospective Investigation of the Vasculature in Uppsala Seniors (PIVUS) study. – J. Hypertension, **24**, 2006, № 6, 1075-1082.
21. McGrath, B. et al. Impact of physical and physiological factors on arterial function. – Clin. Exp. Pharmacol. Physiol., **12**, 2001, 1004-1007.
22. Nitzan, M., B. Khanokh et Y. Slovik. The difference in pulse transit time to the toe and finger measured by photoplethysmography. – Physiol. Meas., **1**, 2002, 85-93.
23. Pannier, B. et al. Methods and devices for measuring arterial compliance in humans. – Am. J. Hypertens., **15**, 2002, 743-753.
24. Parati, G. et L. Bernardi. How to assess arterial compliance in humans. – J. Hypertens., **24**, 2006, 1009-1012.
25. Pollow, M. et P. Obrist. Aortic-radial pulse transit time and ECG Q-wave to radial pulse wave interval as indices of beat-to-beat blood pressure change. – Psychophysiology, **20**, 1983, № 1, 21-28.
26. Rehfeldt, H. Eine methode zur nichtinvasiven Erfassung und Verarbeitung von arteriellen Laufzeiten zur Erfassung der Kreislaufaktivierung bei statischer Muskelarbeit. Prom. A. Berlin, Humboldt University, 1988.
27. Riley, W. et al. Decreased arterial elasticity associated with cardiovascular disease risk factors in the young. Bogalusa Heart Study. – Arteriosclerosis, **6**, 1986, 378-386.
28. Szabo, A. The combined effects of orthostatic and mental stress on heart rate, T-wave amplitude, and pulse transit time. – Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol., **6**, 1993, 540-544.
29. Takazawa, K. et al. Assessment of vasoactive agents and vascular aging by the second derivate of photoplethysmogram waveform. – Hypertension, **32**, 1998, 365-370.

Постъпила – 15 февруари 2008 г.