

PARAMETRII PATTERN-ULUI RESPIRATOR CA PREDICTORI ÎN CUANTIFICAREA RAPORTULUI SIMPATOVAGAL

**Ganenco Andrei, Lozovanu Svetlana, Vovc Victor, Timotin Ina,
Grabovschi Ion**

*Catedra de fiziologie a omului și biofizică, Universitatea de Stat de
Medicină și Farmacie „Nicolae Testemițanu”, Chișinău,
Republica Moldova, andrei.ganenco@usmf.md*

Abstract. Two major variables in the series of breathing pattern (BP) parameters, rate and tidal volume, most influence heart rate variability (HRV), they can serve as predictors of the change in the sympathovagal balance in the low-frequency breathing pattern. We used the standardized values, obtained as a result of the descriptive analysis, of the BP parameters and the LF/HF ratio as one of the indices of the frequency domain of HRV, recorded in two respiratory pattern models - the resting breathing pattern and the low-frequency respiratory pattern pattern and the equal duration of inspiration and expiration, namely 5 s. We used the Backward method to establish predictors extracted from the BP parameters recorded in the two breathing patterns in order to quantify the role of each of the BP parameters in predicting the sympathovagal balance expressed by the LF/HF ratio of the HRV when the BP changes. The obtained results allow us to state that in the series of BP parameters recorded during resting and paced breathing, several factors can be extracted as factors that modulate the sympathovagal balance, and as predictors only the breathing frequency and respiratory minute volume remain, as they can improve autonomic balance at the expense of increased parasympathetic dominance.

Key words. Breathing pattern, heart rate variability, sympathovagal balance.

Introducere

Cordul are ca scop menținerea debitului cardiac în conformitate cu cerințele și schimbările homeostatice momentane prin ajustarea frecvenței contracției. Această abilitate este numită variabilitatea ritmului cardiac (VRC) ce se caracterizează printr-o fluctuație a intervalului RR în ms pe ECG. Valori înalte a VRC sunt caracteristice unei persoane sănătoase din punct de vedere fizic, social, mintal și spiritual. O menținere la valori înalte a VRC este semnificativă pentru pacienți cardiaci deoarece se

prezintă ca un indice a prognosticului favorabil și al calității tratamentului [1, 6, 7].

Echilibrul dintre sistemul simpatic și parasimpatic modulează frecvența cardiacă, și această relație neurocardiacă reflectă interacțiunea între inimă și creier și poate fi măsurată prin VRC [4]. VRC este folosită de către clinicieni și cercetători pentru a măsura controlul autonom al inimii și este un concept în curs de dezvoltare ce reflectă tratamentul medical, iar datele privind factorii care influențează VRC sunt foarte controversate [2, 3]. În literatura de specialitate există multe studii privind influența factorilor individuali asupra VRC ca factorii fiziologici, patologici, neuropsihologici, și factorii de mediu. Studiile care au ca scop stabilirea factorilor care pot îmbunătăți VRC pot facilita prestatorii de asistență medicală să elaboreze strategii pentru a sprijini grupul de risc cu VRC scăzută [9, 11]. Creșterea VRC este legată de activarea sistemului parasimpatic, iar stabilirea factorilor care îmbunătățesc VRC este obiectivul principal în identificarea predictorilor pozitivi ai VRC.

Din datele controversate, existente în literatura de specialitate, care investighează efectul respirației profunde asupra diferitor variabile autonome, rezultă că o respirație profundă și rapidă induce un efect diferit asupra ritmului cardiac comparativ cu o respirație profundă și lentă [5, 8]. De asemenea, activitatea autonomă este influențată de pauze respiratorii între expirație și inspirație și pauze postinspiratorii [10]. Este acceptat totalmente, că din toți parametrii pattern-ului respirator, două variabile majore, frecvența și volumul curent, influențează cel mai mult VRC. Scopul acestui studiu este de a evidenția parametrii PR care pot servi ca predictorii ai modificării echilibrului simpatovagal în pattern-ul de respirație cu frecvență joasă.

Materiale și metode

Actualul studiu a avut ca scop crearea modelelor predictive, folosind datele obținute în urma analizei descriptive din cadrul studiului efectuat pentru realizarea tezei de doctor în cadrul Catedrei de fiziologie a omului și biofizică ce vizează valorile parametrilor pattern-ului respirator și VRC în diferite modele de pattern respirator.

În cadrul studiului dat vom prezenta datele înregistrate doar în 2 modele de pattern respirator, modelul respirației de repaus și modelul de pattern respirator cu frecvență joasă (6 respirații pe minut) și durata egală a inspirației și expirației, și anume 5 s.

Valorile standardizate ai parametrilor pattern-ului respirator, incluși în studiu, ca volumul curent (V_t), timpul de inspirație (T_i), timpul de expirație (T_e), timpul total al ciclului respirator (T_t), raportul dintre durata inspirației și durata întregului ciclu respirator (T_i/T_t), raportul volumului curent la durata inspirației (V_t/T_i), minut-volumul respirator (MVR), au fost stabilite cu ajutorul analizei descriptive. Acești parametri, considerați în continuare ca factori ce pot cuantifica echilibru simpatovagal, ne vor permite crearea modelelor predictive și selectarea celor parametri care au valoare predictivă pentru modificarea raportului LF/HF.

Valorile standardizate ale raportului LF/HF ca unul din indicii domeniului de frecvență al VRC, larg utilizat pentru aprecierea echilibrului simpatic-vagal între cele două ramuri ale SNV, la fel a fost înregistrat în aceleași două modele de respirație.

Reieșind din interacțiunile complexe posibile între factorii măsurați, în continuare a fost efectuată analiza multivariată. Am folosit metoda Backward pentru a stabili predictorii extrași din parametrii PR înregistrați în cele 2 modele de respirație în scopul cuantificării rolului fiecăruia din parametrii pattern-ului respirator în prezicerea echilibrului simpatovagal exprimat prin raportului LF/HF al VRC la schimbarea pattern-ului de respirație.

Rezultate și discuții

Necesitatea analizei multivariate poate fi argumentată prin interacțiunile complexe posibile între parametrii PR și echilibrul simpatovagal. Rezultatele analizei statistice descriptive, referitor la valoarea medie, mediana și deviația standard a parametrului PR în respirația de repaus, sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1. Valorile parametrilor pattern-ului respirator în respirația de repaus

Parametrii pattern-ului respirator	Media $\pm$ DS	Minimum – Maximum	Mediana (P25-P75)
V_t, l	0,47 $\pm$ 0,10	0,27-0,66	0,48 (0,40-0,53)
T_i, s	1,64 $\pm$ 0,36	1,15-2,41	1,51 (1,43-2,01)
T_e, s	2,42 $\pm$ 0,87	1,14-4,64	2,24 (1,71-3,05)
T_t, s	4,06 $\pm$ 1,17	2,32-7,05	4,0 (3,22-4,61)
MVR, l/min	7,09 $\pm$ 1,59	4,49-10,16	7,01 (5,66-8,17)
FR, r/min	15,92 $\pm$ 4,21	8,5-24,53	15,15 (13,0-18,6)

În continuare, în baza rezultatelor prezentate în tabelul 1 s-a elaborat modelul matematic, Modelul RR, care a avut ca scop predicția raportului LF/HF ca instrument de evaluare a mecanismelor de reglare autonomă a sistemului cardiovascular în respirația de repaus. Modelul RR a inclus în calitate de predictorii valorile standardizate ale volumului curent, timpului total al ciclului respirator, frecvența respiratorie și minut volumul respirator (tabelul 2).

Tabelul 2. Datele statistice ale analizei multivariate pentru Modelul RR.

IBM SPSS 26 output

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0,880	0,775	0,684	0,561
Predictors: (Constant), Zscore (Tt), Zscore (Vt), Zscore (FR), Zscore (MVR)				
Dependent Variable: Zscore (LF/HF)				

Datele analizei multivariate utilizând valorile măsurate în stare de repaus au fost în stare să explice 68,4% din modificările raportului LF/HF. Coeficientul de determinare (Adjusted R Square) a fost 0,684, suma pătratelor a constituit 10,845 din 14 posibile, ceea ce înseamnă că modelul propus explică peste două treimi din dispersia variabilei LF/HF pentru respirația în stare de repaus. Ipoteza nulă (nici un parametru din cei incluși în model nu poate prezice valoarea LF/HF pentru respirația în stare de repaus mai bine decât un oarecare model arbitrar) a fost respinsă ($F=8,593$, $p=0,003$) (tabelul 3).

Tabelul 3. Testul ANOVA pentru modelul RR. IBM SPSS 26 output

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	10,845	4	2,711	8,593	0,003
Residual	3,155	10	0,316		
Total	14,0	14			
Dependent Variable: Zscore: LF/HF					
Predictors: (Constant), Zscore (Tt), Zscore (Vt), Zscore (FR), Zscore (MVR)					

Inițial pentru a elabora modelul și pentru a testa puterea predictivă a parametrilor mășurați, s-au inclus în model toate variabilele. Ulterior, s-a utilizat metoda Backward, prin care parametrii nesemnificativi au fost

excluși etapă cu etapă până la momentul când au rămas doar combinația optimă de variabile pentru a forma ecuația de regresie și a prezice rezultatul studiat. Modelul rezultat este prezentat în tabelul 4. Acesta a inclus drept variabile constanta ($B = 3,310$, $p = 1,000$) și valorile standardizate ale MVR ($B = 1,731$, $p = 0,040$), FR ($B = 1,379$, $p = 0,049$), Vt ($B = -1,622$, $p = 0,062$), și Tt ($B = 3,580$, $p < 0,001$). Modelul final nu a inclus constanta și valoarea standardizată a Vt din cauza faptului că acestea au fost ne semnificative în acest caz și din cauza faptului că intervalul de încredere a inclus valoarea 0. Astfel, s-a determinat că valoarea LF/HF în modelul de respirație de repaus poate fi prezisă utilizând expresia

$$LF/HF \text{ în modelul de respirație în repaus} = Zscore (MVR) * 1,731 + Zscore (FR) * 1,379 + Zscore (Tt) * 3,580.$$

Tabelul 4. Coeficienții predictorilor pentru modelul RR. IBM SPSS 26 output

Model	Unstandardized Coefficients		Standard ized Coeffici ents	t	Sig.	95.0% Confidence Interval for B	
	B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
(Constant)	3,310e-15	0,145		0,000	1,000	-0,323	0,323
Zscore (MVR)	1,731	0,733	1,731	2,363	0,040	0,099	3,363
Zscore (FR)	1,379	0,614	1,379	2,246	0,049	0,011	2,747
Zscore (Vt)	-1,622	0,771	-1,622	-2,105	0,062	-3,340	0,095
Zscore (Tt)	3,580	0,703	3,580	5,090	0,000	2,012	5,147
Dependent Variable: Zscore (LF/HF)							

Nota: B – coeficientul nestandardizat al regresiei; Std. Error – eroarea standard pentru coeficientul B; Beta – coeficientul standardizat; t – testul t; Sig. – semnificația; 95,0% Confidence Interval for B – intervalul de încredere 95% pentru B; Lower Bound – limita inferioară; Upper Bound- limita superioară.

Condițiile necesare pentru reziduurile regresiei liniare au fost întrunite de modelul elaborat. Analiza acestora a demonstrat o distribuție aproape normală și lipsa asociațiilor între valorile standardizate predictive

și reziduurile standardizate (fig.1). Toate acestea împreună permit să considerăm modelul ca fiind unul potrivit.

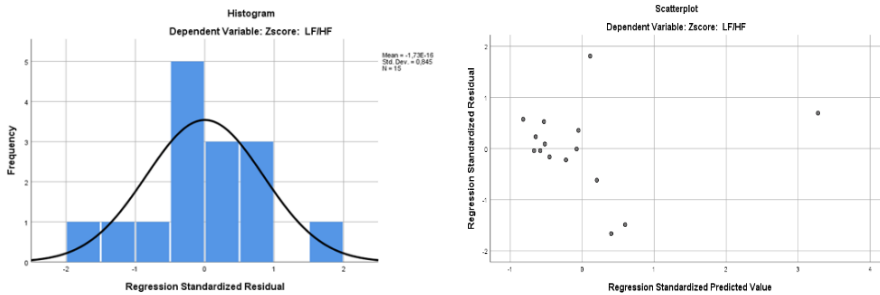


Figura 1. Distribuția reziduurilor (stânga); scatterplot al valorilor predictive standardizate și reziduurilor standardizate (dreapta) pentru modelul LF/HF în stare de repaus. IBM SPSS 26 output.

Notă: unul din criteriile ca modelul să fie funcțional este distribuția normală a reziduurilor și lipsa oricărei coliniarități

Rezultatele analizei statistice, referitor la valoarea medie, mediana și deviația standard a parametrului PR în modelul respirației cu frecvența 6 resp/min și păstrarea duratei inspirației și expirației 5 s la 5 s (Modelul R5/5), sunt prezentate în tabelul 5.

Tabelul 5. Parametrii pattern-ului respirator în modelul de respirație dirijată cu frecvența 6/min, durata inspirației/expirației 5 s la 5 s.

	Minimu m	Maxim um	Media±DS	Medi ana	P25	P75
Vt	0,62	1,12	0,89±0,12	0,91	0,81	0,94
Ti	4,87	5,18	5,02±0,10	5,01	4,93	5,12
Te	4,83	5,13	4,96±0,09	4,93	4,86	5,03
Tt	9,87	10,21	10,04±0,10	10,05	9,97	10,10
Ti/Tt	0,48	0,51	0,50±0,01	0,50	0,49	0,51
Vt/Ti	0,12	0,22	0,18±0,03	0,18	0,16	0,19
MVR	3,71	6,65	5,30±0,72	5,47	4,92	5,61
FR	5,88	6,08	5,97±0,06	5,97	5,94	6,02

Notă: DS – deviația standard; P25 – percentila 25%; P75 – percentila 75%.

Pentru crearea modelului predictiv în evaluarea indicelui vegetativ LF/HF (Modelul R5/5) au fost folosite scorurile standardizate a parametrilor respiratori înregistrați în respirația de repaos și în cadrul respirației cu durata inspirației 5 s și durata expirației 5.

Tabelul 6. Datele statistice ale analizei multivariate pentru Modelul R5/5.
IBM SPSS 26 output

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
	0,965 ^e	0,931	0,805	0,441
Predictors: (Constant), Sexul, Zscore (FRB), Zscore (MVR), Zscore (LF/HFB), Zscore (CCB), Zscore (TeB), Zscore (FR), Zscore (Te), Zscore (VtB)				
Dependent Variable: Zscore (LF/HF)				

Pentru acest model statistic, coeficientul de determinare (Adjusted R Square) a fost 0,08, astfel putem preciza că 80% din varianța raportului LF/HF (echilibrul dintre activitatea simpatică și parasimpatică, adică raportul LF/HF la persoanele cu raport respirator de 5/5) este determinat de factorii de predicție expuși în tabelul 6. Suma pătratelor a constituit 13,027 din 14,0 posibile. Ipoteza nulă (nici un parametru din cei incluși în model nu poate prezice echilibrul dintre activitatea simpatică și parasimpatică apreciat pe baza raportului LF/HF la persoanele cu respirație dirijată) nu a fost respinsă ($F = 7,4$ $p < 0,05$), testul Fisher fiind semnificativ statistic (tabelul 7).

Tabelul 7. Testul ANOVA pentru modelul 5/5. IBM SPSS 26 output

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	13,027	9	1,447	7,441	0,020
Residual	0,973	5	0,195		
Total	14,000	14			
Dependent Variable: Zscore (LF/HF)					
Predictors: (Constant), Sexul, Zscore (FRB), Zscore (MVR), Zscore (LF/HFB), Zscore (CCB), Zscore (TeB), Zscore (FR), Zscore (Te), Zscore (VtB)					

Metoda Backward s-a utilizat la elaborarea și acestui model. Inițial, au fost incluse în model toate variabilele existente, apoi au fost excluse cele nesemnificative. Modelul rezultat este prezentat în tabelul 8. Astfel,

s-a determinat că valoarea LF/HF în raportul respirator de 5/5 poate fi prezisă utilizând expresia:

LF/HF în modelul respirație R5/5 = $- Zscore(VtB) * 3.710 - Zscore(TeB) * 6.900 - Zscore(FRB) * 8.875 + Zscore(LF/HFB) * 2.937 + Zscore(Te) * 2.700 - Zscore(MRV) * 1.747 - Zscore(FR) * 2.872 - Zscore(Sexul) * 7.014$.

Tabelul 8. Coeficienții predictorilor pentru Modelul R5/5. IBM SPSS 26 output

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95,0% Confidence Interval for B	
	B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
(Constant)	-9,819	1,485		-6,612	0,001	-13,637	-6,002
Zscore (VtB)	-3,710	0,639	-3,710	-5,809	0,002	-5,352	-2,068
Zscore (TeB)	-6,900	1,392	-6,900	-4,956	0,004	-10,479	-3,321
Zscore (FRB)	-8,875	1,623	-8,875	-5,470	0,003	-13,047	-4,704
Zscore (LF/HFB)	2,937	0,590	2,937	4,976	0,004	1,420	4,455
Zscore (Te)	2,700	0,505	2,700	5,343	0,003	1,401	3,998
Zscore (MVR)	1,747	0,314	1,747	5,561	0,003	,940	2,555
Zscore (FR)	-2,872	0,575	-2,872	-5,000	0,004	-4,349	-1,396
Sexul	7,014	1,058	3,557	6,631	0,001	4,295	9,733
a. Dependent Variable: Zscore (LF/HF)							

Nota: B – coeficientul nestandardizat al regresiei, Std. Error – eroarea standard pentru coeficientul B, Beta – coeficientul standardizat, t – testul t, Sig. – semnificația, 95,0% Confidence Interval for B – intervalul de încredere 95% pentru B, Lower Bound – limita inferioară, Upper Bound- limita superioară

Reziduurile modelului obținut în cadrul regresiei liniare au întrunit condițiile necesare. S-a observat o ușoară distribuție asimetrică la dreapta și o împrăștiere aleatorie fără careva legități de repartizare (fig. 2).

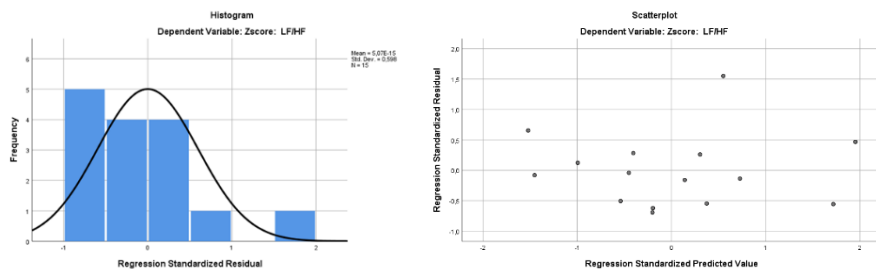


Fig. 2. Distribuția reziduurilor (stânga); scatterplot al reziduurilor standardizate (dreapta) pentru modelul LF/HF în respirație 5/5. IBM SPSS 26 output.

Notă: unul din criteriile ca modelul să fie funcțional este distribuția normală a reziduurilor și lipsa oricărei coliniarități.

Caracteristicile enumerate fac posibilă considerarea modelului elaborat ca fiind unul optim în predicția LF/HF la persoanele cu raportul respirator de 5/5 pornind de la datele luate în calcul. Aceste date, prezentate în actualul studiu, ne permit să afirmăm că din șirul parametrilor de PR înregistrați în respirația de repaus și cea dirijată, pot fi extrași ca factori ce modulează echilibrul simpatovagal mai mulți factori, iar în calitate de predictorii rămân doar frecvența respirației și minut-volumul respirator.

Concluzii

1. Rezultatele prezentate în acest studiu ne permit să afirmăm că în prezicerea variației raportului simpatovagal LF/HF cel mai evident parametru al PR cu valoare predictivă din șirul parametrilor respiratori înregistrați în cele 2 tipare ale respirației este minut-volumul respirator (l/min), înregistrat în respirația de repaus.

2. Modularea cu ajutorul a respirației dirijate a doi parametri ai pattern-ului respirator, MVR și durata totală a unui ciclu respirator de care depinde frecvența respirației, înregistrați în timpul respirației obișnuite la persoanele sănătoase, pot îmbunătăți echilibru autonom pe contul creșterii dominanței parasimpatice.

Bibliografie

1. Amjadian M., Bahrami Ehsan H., Saboni K. et al. A pilot randomized controlled trial to assess the effect of Islamic spiritual intervention and of breathing technique with heart rate variability feedback on anxiety, depression and psycho-physiologic coherence in patients after coronary artery bypass

surgery. În: *Ann Gen Psychiatry* 19, 46 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12991-020-00296-1>.

2. Baevsky R., Chernikova A. Heart rate variability analysis: physiological foundations and main methods. În: *Cardiometry*, 2017; 10:66-76. DOI:10.12710/cardiometry.2017.10.6676; www.cardiometry.net/no10-may-2017/heart-rate-variability-analysis.

3. Gullett N., Zajkowska Z, Walsh A, Harper R, Mondelli V. Heart rate variability (HRV) as a way to understand associations between the autonomic nervous system (ANS) and affective states: A critical review of the literature. În: *Int J Psychophysiol.* 2023, 192:35-42. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2023.08.001>.

4. Hopf H. B., Skyschally A., Heusch G., Peters J. Low-frequency spectral power of heart rate variability is not a specific marker of cardiac sympathetic modulation. În: *Anesthesiology* 1995, 82(3):609–619. <https://doi.org/10.1097/00000542-199503000-00002>.

5. Laborde S. et al. Slow-Paced Breathing: Influence of Inhalation/Exhalation Ratio and of Respiratory Pauses on Cardiac Vagal Activity. În: *Sustainability.* 2021; 13(14):7775. <https://doi.org/10.3390/su13147775>.

6. Licht C. M. M., De Geus E. J. C., Van Dyck R., Penninx B. W. J. H. Association between anxiety disorders and heart rate variability in The Netherlands Study of Depression and Anxiety (NESDA). În: *Psychosom Med.* 2009, 71(5):508–518. <https://doi.org/10.1097/psy.0b013e3181a292a6>.

7. Lin I. M. et al. Heart rate variability biofeedback increased autonomic activation and improved symptoms of depression and insomnia among patients with major depressive disorder. În: *Clin Psychopharmacol Neurosci.* 2019, 17:222–232. <https://doi.org/10.9758/cpn.2019.17.2.222>.

8. Lin I. M., Tai L. Y., Fan S. Y. Breathing at a rate of 5.5 breaths per minute with equal inhalation-to-exhalation ratio increases heart rate variability. În: *Int J Psychophysiol.* 2014, 91:206–211. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2021.101980>.

9. Pham T, Lau ZJ, Chen SHA, Makowski D. Heart Rate Variability in Psychology: A Review of HRV Indices and an Analysis Tutorial. În: *Sensors.* 2021; 21(12):3998. <https://doi.org/10.3390/s21123998>.

10. Strauss-Blasche G. et al. Relative timing of inspiration and expiration affects respiratory sinus arrhythmia. În: *Clin Exp Pharmacol Physiol.* 2000, 27(8):601–606. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1681.2000.03306.x>.

11. Tiwari R, Kumar R, Malik S, Raj T, Kumar P. Analysis of Heart Rate Variability and Implication of Different Factors on Heart Rate Variability. În: *Curr Cardiol Rev.* 2021;17(5):e160721189770. <https://doi.org/10.2174/1573403X16999201231203854>.