

Analiza widmowa zmienności rytmu zatokowego u dzieci zdrowych

Joanna Rękawek, Maria Miszczak-Knecht, Bogumiła Wołoszczuk-Gębicka¹,
Katarzyna Bieganowska, Wanda Kawalec, Krystyna Kubicka

Klinika Kardiologii

¹Klinika Anestezjologii i Intensywnej Terapii Instytutu „Pomnik-Centrum Zdrowia Dziecka”

Heart rate variability spectral analysis in healthy children

The aim of the study: *Evaluated the normal value heart rate variability spectral analysis parameters in healthy children.*

Material and methods: *175 children (87 girls, 88 boys) aged from 4 to 18 years (yrs) mean 11 ± 4 . According to the age all children were divided in 4 groups: group 1 — 27 pts from 4 to 7 yrs, group 2 — 64 pts from 7 to 11 yrs, group 3 — 58 pts from 11 to 15 yrs, group 4 — 26 pts from 15 to 18 yrs. Spectral analysis was performed by Medilog Oxford 7.5 using algorithm FFT from short-term (5 minutes) recording during day and night. The following parameters were calculated: ULF — spectral power of ultra low frequency (0–0.0033 Hz), VLF — spectral power of very low frequency (0.0033–0.04 Hz), LF — spectral power of low frequency (0.04–0.15 Hz), HF — spectral power of high frequency (0.15–0.4 Hz), TP — total power (0.15–0.4 Hz), balance: LF/HF. Parameters were calculated in following unites: ms^2 , logarithm natural (\ln) and normalized unites (nu): $LF [nu] = LF : (TP - VLF) \times 100$, $HF [nu] = HF : (TP - VLF) \times 100$.*

Results: *There were no significant differences between groups in relation to TP and VLF during the day and at night. During day, LF values (ms^2 and \ln) were significantly higher in the group 4 then in groups 1 and 2, wheather LF (nu) values were significantly higher in groups 3 and 4 then in group 1. HF (nu) values were significantly higher in group 1 when compared to group 4, either during the day or at night.*

LF/HF ratio was significantly higher during the day in group 4 then in groups 1 and 2.

Conclusion: *LF values during the day are age dependent.* (Folia Cardiol. 2000; 2: 119–124)

heart rate variability, frequency domain, healthy children

Adres do korespondencji: Dr med. Joanna Rękawek
Klinika Kardiologii, Instytut „Pomnik-Centrum Zdrowia Dziecka”
Al. Dzieci Polskich 20, 04–736 Warszawa
Nadesłano: 07.03.2000 r. Przyjęto do druku: 12.04.2000 r.

Praca częściowo realizowana z grantu KBN nr PB 712/ P05/99/16.

Wstęp

Analiza zmienności kolejnych odstępów RR rytmu zatokowego jest uznaną metodą oceny wpływu autonomicznego układu nerwowego na układ krążenia. Stwierdzono eksperymentalnie, że wahania częstości rytmu serca są wyrazem dynamicznie zmieniającej się równowagi pomiędzy składową współczulną i przywspółczulną układu autonomicznego [1]. Udowodniono, że dojrzewanie obu składowych układu autonomicznego jest nierównomierne w różnych okresach rozwoju. W okresie noworodkowym i niemowlęcym układ autonomiczny jest jeszcze niedojrzały, zaznacza się jednak przewaga układu współczulnego [2]. W okresie ponimowlęcym obserwuje się rozwój obu składowych układu autonomicznego, z równowagą obu układów około 10. rż. W okresie młodzieńczym dominuje układ przywspółczulny, przy równoczesnym dużym napięciu układu współczulnego [3, 4].

Celem pracy była ocena wartości analizy widmowej zmienności rytmu zatokowego u dzieci zdrowych oraz wpływu wieku na te wartości.

Materiał i metody

Badaniami objęto 175 zdrowych dzieci w wieku od 4 do 18 lat (śr. 11 ± 4), w tym 88 chłopców i 87 dziewczynek. W zależności od wieku wyodrębniono 4 grupy pacjentów:

- grupa 1 — 27 osób w wieku od 4 do 7 lat (śr. $5,8 \pm 0,7$);
- grupa 2 — 64 osób w wieku od 7 do 11 lat (śr. $9,3 \pm 1,8$);
- grupa 3 — 58 osób w wieku od 11 do 15 lat (śr. $12,8 \pm 1,3$);
- grupa 4 — 26 osób w wieku od 15–18 lat (śr. $16,7 \pm 1,0$).

U żadnego dziecka nie stwierdzono cukrzycy ani chorób metabolicznych w wywiadzie. Badani młodociani negowali palenie tytoniu. Ponadto w badaniu przedmiotowym nie stwierdzono odchyleń od stanu prawidłowego. U wszystkich pacjentów wykonano badanie echokardiograficzne aparatem firmy *Helwett-Packard, collar Doppler 1500*. Oceniano anatomie dużych naczyń i jam serca, domykalność zastawek przedsionkowo-komorowych i komorowo-naczyniowych, odejście proksymalnych odcinków naczyń wieńcowych oraz procentowy wskaźnik zmiany wymiaru poprzecznego lewej komory.

Zmienność rytmu zatokowego analizowano na podstawie 24-godzinnych zapisów EKG, z zastosowaniem analizatorów wykorzystujących taśmę magnetyczną (MR 45) lub cyfrowych (FD 3) firmy Oxford. Automatycznie wgrane zapisy poddawano ocenie wizualnej, eliminując pobudzenia nieprawidłowo zakwalifikowane przez komputer oraz weryfikując skrajne wartości tachogramu. Analizy częstotliwościowej dokonano stosując oprogramowanie *Medilog Oxford Excel* wersja 7.5, za pomocą algorytmu szybkiej transformacji Fouriera (FFT). Analizie poddano 5-minutowe fragmenty z okresu czuwania i snu. Wyodrębniono następujące pasma, w których wyznaczano moc widma:

- częstotliwości ultraniskie (*ULF, ultra low frequency*: 0–0,0033 Hz);
- częstotliwości bardzo niskie (*VLF, very low frequency*: 0,0033–0,04 Hz);
- częstotliwości niskie (*LF, low frequency*: 0,04–0,15 Hz);
- częstotliwości wysokie (*HF, high frequency*: 0,15–0,4 Hz).

Ponadto oceniano:

- całkowitą moc widma (*TP, total power*: 0–0,4 Hz);
- iloraz niskich częstotliwości do wysokich częstotliwości (LF/HF).

Parametry te wyznaczano i porównywano w wartościach bezwzględnych (ms^2), jako logarytmy naturalne (\ln) i w jednostkach znormalizowanych (nu).

Całkowitą moc widma (TP) uzyskano odejmując od wartości TP podanej przez komputer wartość ULF, traktowaną (zgodnie z zaleceniami ekspertów) jako artefakt, uznając okres 5-minutowy za niewystarczający dla wartości ULF. Jednostki znormalizowane oznaczano według wzoru:

- dla częstotliwości niskich: $\text{LF} [\text{nu}] = \text{LF} : (\text{TP} - \text{VLF}) \times 100$,
- dla częstotliwości wysokich: $\text{HF} [\text{nu}] = \text{HF} : (\text{TP} - \text{VLF}) \times 100$.

W obliczeniach statystycznych zastosowano wieloczynnikową analizę wariancji oraz test porównań wielokrotnych Tukeya, przyjmując poziom istotności $p < 0,05$.

Wyniki

W okresie czuwania (tab. 1 i 3) nie stwierdzono znamiennych różnic pomiędzy grupami wiekowymi w wartościach widma VLF. Również nie stwierdzono znamiennych różnic w wartościach

widma HF, jak i całkowitej mocy widma TP (wyznaczonych w ms^2 i jako \ln). Natomiast wartości widma LF (wyznaczone w ms^2 i jako \ln) były istotnie większe w grupie 4 niż w grupach 1 i 2, a wyrażone w jednostkach znormalizowanych (nu) — istotnie większe w grupach 3 i 4 w porównaniu z grupą 1. Wykazano też istotnie większe wartości widma HF (wyznaczonych w nu) w grupie 1 niż w grupie 4. Iloraz LF/HF był znacząco większy w grupie 4 niż w grupach 1 i 2.

Podczas snu (tab. 2 i 4) nie stwierdzono znaczących różnic pomiędzy grupami wiekowymi w wartościach widma VLF i LF, jak również całko-

witej mocy widma TP. Wartości widma HF (wyznaczone w ms^2 i jako \ln) nie różniły się znacząco, natomiast wyrażone w jednostkach znormalizowanych (nu) były istotnie większe w grupie 1 w porównaniu z grupą 4.

Wartości ilorazu LF/HF nie różniły się znacząco pomiędzy grupami.

Dyskusja

Dojrzewanie układu autonomicznego odbywa się nieharmonijnie. Jak wykazały badania przeprowadzane w ostatnich latach, układem „oszczędza-

Tabela 1

Wartości analizy widmowej w czasie czuwania w poszczególnych grupach

Parametry	Grupa 1	Grupa 2	Grupa 3	Grupa 4
VLF [ms^2]	824,1 ± 828,3	788,3 ± 583,7	966,6 ± 856,4	1129,2 ± 883,80
VLF (\ln)	6,35 ± 0,90	6,4 ± 0,8	6,5 ± 0,9	6,7 ± 0,9
LF [ms^2]	492,40 ± 334,02	615,0 ± 474,8	871,5 ± 916,9	1170,8 ± 1041,9
LF (\ln)	6,0 ± 0,8	6,2 ± 0,8	6,3 ± 1,0	6,7 ± 0,9
LF [nu]	53,5 ± 20,7	61,3 ± 14,9	66,2 ± 17,2	73,0 ± 15,6
HF [ms^2]	826,00 ± 1634,8	465,3 ± 583,1	639,40 ± 1124,3	490,9 ± 623,1
HF (\ln)	5,7 ± 1,4	5,6 ± 1,1	5,5 ± 1,4	5,6 ± 1,1
HF [nu]	45,1 ± 21,9	37,8 ± 15,1	33,8 ± 16,0	26,2 ± 15,3
TP [ms^2]	2148,6 ± 2144,3	1873,3 ± 1251,6	2426,7 ± 2354,6	2798,0 ± 2130,4
TP (\ln)	7,3 ± 0,8	7,3 ± 0,7	7,3 ± 0,9	7,7 ± 0,8
LF/HF	2,1 ± 2,4	2,2 ± 1,6	2,7 ± 1,8	4,0 ± 2,7

VLF — częstotliwości bardzo niskie;
 LF — częstotliwości niskie;
 HF — częstotliwości wysokie;
 TP — całkowita moc widma;
 \ln — logarytm naturalny;
 nu — jednostki znormalizowane

Tabela 2

Wartości analizy widmowej w czasie snu w poszczególnych grupach

Parametry	Grupa 1	Grupa 2	Grupa 3	Grupa 4
VLF [ms^2]	772,10 ± 1392,1	1181,2 ± 2180,9	1420,6 ± 2406,4	1942,2 ± 3046,3
VLF (\ln)	6,0 ± 1,0	6,3 ± 1,0	6,2 ± 1,1	6,6 ± 1,4
LF [ms^2]	1155,4 ± 1743,6	876,4 ± 963,9	1190,6 ± 1646,6	1387,2 ± 1485,3
LF (\ln)	6,2 ± 1,3	6,3 ± 1,0	6,4 ± 1,2	6,6 ± 1,3
LF [nu]	30,1 ± 18,3	36,2 ± 17,6	34,3 ± 18,0	41,1 ± 18,3
HF [ms^2]	3118,5 ± 3903,2	1779,2 ± 1848,0	2329,0 ± 3054,0	2114,1 ± 2584,2
HF (\ln)	7,3 ± 1,4	7,0 ± 1,1	7,1 ± 1,2	7,0 ± 1,2
HF [nu]	69,8 ± 18,4	63,6 ± 17,7	65,5 ± 18,0	58,3 ± 18,6
TP [ms^2]	5048,7 ± 5696,2	3841,8 ± 3746,0	4956,8 ± 5918,0	5451,1 ± 5373,7
TP (\ln)	7,9 ± 1,2	7,9 ± 0,9	7,9 ± 1,1	8,0 ± 1,2
LF/HF	0,6 ± 0,7	0,7 ± 0,6	0,8 ± 1,1	1,0 ± 0,9

jącym” system krążenia jest układ przywspółczulny, a zmniejszenie jego napięcia może być przyczyną chorób układu sercowo-naczyniowego, np. nadciśnienia tętniczego [5]. Wiadomo również, że obniżenie parametrów zmienności rytmu serca u pacjentów po zawale jest niezależnym czynnikiem ryzyka [6]. Ponadto wykazano obniżoną zmienność rytmu zatokowego u pacjentów z ciężką niewydolnością krążenia, zagrożonych nagłym zgonem [7].

W naszej pracy podjęliśmy problem określenia prawidłowych parametrów zmienności rytmu serca w zależności od wieku. Przedstawiony materiał obejmował 175 zdrowych dzieci w wieku od 4 do 18 lat, w grupach podzielonych według wieku co 3 lata. Największe różnice dotyczyły parametrów analizy widmowej w zakresie częstotliwości (LF) w jednostkach: ms^2 , \ln i nu w czasie czuwania pomiędzy najmłodszymi i najstarszymi pacjentami. Wartości miały charakter wzrastający od grupy 1 do 4. W wartościach widma VLF stwierdzono również tendencję

wzrastającą zgodnie z wiekiem, jednak różnice te nie były znamienne. Wykazano istotną różnicę w wartościach widma HF pomiędzy grupą 1 i 4 w jednostkach znormalizowanych (większa wartość w grupie 1 w porównaniu z grupą 4). W czasie czuwania ilorazy mocy widma niskich częstotliwości do wysokich (LF/HF) pomiędzy grupą 1 a 4 i 2 a 4 różniły się istotnie. Natomiast w czasie snu jedynie wartości widma HF były istotnie różne w grupie dzieci najmłodszych w porównaniu z najstarszymi.

Wyniki naszych badań odniesiono do innych autorów. W porównaniu z artykułem Finley i wsp. [8], opisującym 61 pacjentów w wieku od 1 miesiąca życia do 24 lat, wykazaliśmy tendencję wzrastającą w wartościach widma VLF i LF zarówno w czasie czuwania, jak i w nocy, a nie obniżenie wartości widma LF po 6 rż. Ponadto wartości pomiędzy grupami 1, 2 i 4 różniły się znamienne. W wartościach widma HF, wyrażonych w jednostkach znormalizowanych, grupa dzieci najmłodszych (4–7 lat) w po-

Tabela 3

Porównanie wyników analizy widmowej zmienności rytmu zatokowego podczas czuwania w poszczególnych grupach w 5-minutowych fragmentach zapisu EKG

Grupy	VLF [ms^2]	VLF (\ln)	LF ms^2	LF (\ln)	LF [nu]	HF [ms^2]	HF (\ln)	HF [nu]	TP [ms^2]	TP (\ln)	LF/HF
1 a 2	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
1 a 3	NS	NS	NS	NS	0,028	NS	NS	NS	NS	NS	NS
1 a 4	NS	NS	0,005	0,005	<0,001	NS	NS	<0,001	NS	NS	0,004
2 a 3	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
2 a 4	NS	NS	0,032	0,032	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,006
3 a 4	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS — różnica nieznamienna

Tabela 4

Porównanie wyników analizy widmowej zmienności rytmu zatokowego podczas snu wybrane z 5-minutowych fragmentów zapisu EKG

Grupy	VLF [ms^2]	VLF (\ln)	LF [ms^2]	LF (\ln)	LF [nu]	HF [ms^2]	HF (\ln)	HF [nu]	TP [ms^2]	TP (\ln)	LF/HF
1 a 2	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
1 a 3	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
1 a 4	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	<0,001	NS	NS	NS
2 a 3	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
2 a 4	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
3 a 4	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

równaniu z najstarszymi (15–18 lat) różniła się istotnie zarówno w czasie czuwania, jak i w czasie snu. Parametry widma HF wykazywały nieznaczną tendencję do obniżania się wartości, ale nie wykazano istotnego ich zmniejszenia po 6 rż. Goto i wsp. [9] u 60 zdrowych japońskich dzieci w wieku od 3 do 14 lat oceniali wartości HRV w czasie snu. W tej pracy wartości HF pomiędzy grupą dzieci najmłodszych (3–6 lat) a najstarszymi (12–15 lat) różniły się istotnie. W naszej pracy wykazano również znamienne różnice w czasie snu pomiędzy najmłodszą i najstarszą grupą dzieci, ale jedynie w jednostkach znormalizowanych (nu). Inne wartości widma HF (wyznaczone w ms^2 i jako ln) nie różniły się znamienne, wartości nie miały tendencji zmniejszania się po 6 rż. Podobnie w wartościach widma LF w czasie snu nie wykazaliśmy znamienych różnic, jednakże obserwowano tendencję wzrastającą. W odniesieniu do pracy Massin i wsp. [4], oceniającej 210 zdrowych dzieci w wieku od 3 doby życia do 14 lat, wykazaliśmy również zależną od wieku tenden-

cję wzrastającą w wartościach mocy widma VLF i LF w czasie czuwania i snu, w zależności od wieku. Massin i wsp. nie obserwowali obniżania się wartości mocy widma HF po 6 rż. W naszym materiale różnice dotyczyły najmłodszych i najstarszych dzieci przy porównaniu wartości widma HF w jednostkach znormalizowanych (nu). Artykuł Massin i wsp. podaje wartości wyrażone w ms^2 , w których to również w naszym materiale nie stwierdzono różnic znamienych statystycznie.

Przedstawiony materiał obrazuje zmiany w dojrzewaniu układu autonomicznego w okresie dzieciństwa. Porównanie prawidłowych wartości parametrów analizy HRV u dzieci zdrowych w stosunku do dzieci chorych może być stosowane w przypadku wielu jednostek chorobowych, np. dość często obserwowanych omdleniach wazowagalnych [10]. Wartości parametrów rytmu serca u dzieci zdrowych wskazują na konieczność uwzględnienia wieku pacjenta we wszelkich analizach dotyczących HRV w okresie wzrastania.

Streszczenie

Analiza widmowa HRV u dzieci zdrowych

Cel pracy: Ocena wartości analizy widmowej zmienności rytmu zatokowego u dzieci zdrowych.

Materiał i metody: Badaniami objęto 175 dzieci zdrowych w wieku 4–18 lat (\bar{x} 11 ± 4): 88 chłopców i 87 dziewczynek. W zależności od wieku wyodrębniono 4 grupy pacjentów: grupa 1 — 4–7 lat ($n = 27$); grupa 2 — 7–11 lat ($n = 64$); grupa 3 — 11–15 lat ($n = 58$); grupa 4 — 15–18 lat ($n = 26$). Z 24-godzinnej zapisu EKG oceniono 5-minutowe fragmenty z okresu czuwania i snu. Analizę częstotliwościową zmienności rytmu serca przeprowadzono za pomocą algorytmu szybkiej transformacji Fouriera (FFT). Wartości mocy widma uzyskano w następujących pasmach: ULF (0–0,0033 Hz), VLF (0,0033–0,04 Hz), LF (0,04–0,15 Hz), HF (0,15–0,4 Hz). Wartości wyznaczano w ms^2 , jako logarytm naturalny (ln) i w jednostkach znormalizowanych (nu). Oceniano również całkowitą moc widma (TP — bez składowej ULF) oraz iloraz wartości LF/HF.

Wyniki: Nie stwierdzono znamienych różnic między grupami wiekowymi w wartościach TP i VLF w ciągu dnia i podczas snu oraz LF i LF/HF w czasie snu. W czasie czuwania wartości LF (ms^2 i ln) były istotnie większe w grupie 4 niż w grupach 1 i 2, a LF (nu) — istotnie większe w grupach 3 i 4 w porównaniu z grupą 1. Wartości HF (nu) były znamienne większe w grupie 1 niż w grupie 4, zarówno w czasie czuwania jak i w nocy. Iloraz LF/HF był istotnie większy w grupie 4 niż w grupach 1 i 2 (w czasie czuwania).

Wnioski: Wartości mocy widma niskich częstotliwości (LF) różnią się w zależności od wieku. (Folia Cardiol. 2000; 2: 119–124)

zmienność rytmu serca, analiza widmowa, zdrowe dzieci

Piśmiennictwo

1. Task force of European Society of Cardiology and North American Society. Heart Rate Variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation* 1996; 93: 1043–1065.
2. Wnuk W., Kornacewicz-Jach Z. Ocena dojrzałości autonomicznego unerwienia serca. Zależność rytmu serca od wieku płodowego. *Folia Cardiol.* 1999; 6: 35–42.
3. Karkushko O.V., Shatilo V.B., Plachinda Y.I., Shatilo T.V. Autonomic control of cardiac chronotropic function in man as a function of age: assessment by power spectral analysis of heart rate variability. *J. Auton. Nervs Syst.* 1991; 32: 191–198.
4. Massin M., van Bernuth G. Normal ranges of heart rate variability during infancy and childhood. *Pediatr. Cardiol.* 1997; 18: 297–302.
5. Langewitz W., Ruddel M., Schachinger M. Reduced parasympathetic cardiac control in patients with hypertension at rest and under mental stress. *Am. Heart J.* 1994; 127: 122–128.
6. Bigger J.T., Fleiss J.L., Steinman R.C., Rolnitzky L.M., Klieger R.E., Rottman J.N. Frequency domain measures of heart rate variability and mortality after myocardial infarction. *Circulation* 1992; 85: 164–171.
7. Ponikowski P., Anker S.D., Szelemej R., Banasiak K., Kratochwil D., Sobkowicz B., Coats A.J.S., Wrabec K. Obniżona zmienność rytmu serca jest niezależnym czynnikiem ryzyka zgonu u chorych z zaawansowaną niewydolnością krążenia. *Kardiol. Pol.* 1996; 45: 514–521.
8. Finley J.P., Nugent S.T. Heart rate variability in infants, children and young adults. *J. Auto. Nervs Syst.* 1995; 51: 103–108.
9. Goto M., Nagoshima M., Bada R., Nagano Y., Yokata M., Tsuji A. Analysis of heart rate variability demonstrates effects of development on vagal modulation of heart rate in healthy children. *J. Pediatr.* 1997; 130: 725–729.
10. Sehra R., Hubbard J.E., Strake S.P., Eineberg N.S., Engelstein E.D., Zipes D.P. Autonomic changes and heart rate variability in children with neurocardiac syncope. *Pediatr. Cardiol.* 1999; 20: 242–247.