

ВАРІАБЕЛЬНІСТЬ СЕРЦЕВОГО РИТМУ У ЗДОРОВИХ ДІТЕЙ У ВІЦІ 6-16 РОКІВ

А.Р. Галєєв, Л.Н. Ігішева, Е.М. Казін*

Кемеровський державний університет,

*Кемеровська державна медична академія, Кемерово, Російська Федерація

РЕЗЮМЕ

Для вивчення вікових особливостей варіабельності серцевого ритму в дітей у віці 6-16 років були проаналізовані кардіоритмограми 5400 дітей. Виявлено, що значення параметрів серцевого ритму (M, SDNN, RMSSD, TP, VLF, HF) у дітей 6-16 років збільшуються з віком, хвилеподібно змінюючись від року до року. Статеві розходження спостерігалися за параметром M 9-и років, за параметрами TP, VLF, LF з 11-и років, за параметрами SDNN, RMSSD, HF з 12-и років. У 16 років розходжень між хлопчиками і дівчатками за всіма параметрами варіабельності серцевого ритму виявлено не було. Показано, що параметр VLF, отриманий за записом електрокардіограми тривалістю менше п'яти хвилин, придатний для фізіологічної і клінічної оцінки. Отримані значення параметрів можуть бути використані в практиці як нормативні.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: діти, варіабельність серцевого ритму

HEALTHY CHILDREN FROM 6 TO 16 YEARS' HEART RATE VARIABILITY

A.R. Galeev, L.N. Igisheva, E.M. Kazin*

Kemerovo State University, *Kemerovo State Medical Academy, Kemerovo, Russia

SUMMARY

The cardiograms of 5400 children from 6 to 16 years was analyzed for studying of age features of heart rate variability. It was revealed, that those children's values of parameters of heart rate (M, SDNN, RMSSD, TP, VLF, HF) was increased with age. It was accompanied by sinusity fluctuations of parameters from year to year. Gender differences were observed on parameter of M since 9th years old, on parameters TP, VLF, LF since 11th years old, on parameters SDNN, RMSSD, HF since 12th years old. It was not revealed gender differences at the age of 16 years on all parameters of heart rate variability. It was shown, that parameter VLF received on the record of the electrocardiogram with duration less than five minutes was suitable for a physiological and clinical evaluate. The received values of parameters can be used in practice as normative.

KEY WORDS: children, heart rate variability

УДК 616.8-089:611.1

ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ОТ СРЕДНЕЙ ВЕЛИЧИНЫ RR-ИНТЕРВАЛОВ

В.А. Машии

Нововоронежский учебно-тренировочный центр подготовки персонала для АЭС

РЕЗЮМЕ

Средствами спектрального анализа исследована связь показателей вариабельности сердечного ритма (Heart Rate Variability - HRV) со средней величиной RR-интервалов между нормальными кардиоциклами (RR_{cp} , сек) при контролируемой частоте дыхания (ЧД) у здоровых обследуемых. Согласно полученным результатам, зависимость частоты пиков на графике спектральной плотности для исходного ряда RR-интервалов от величины RR_{cp} можно представить следующей формулой: $f_{п1.0} = f_{п} \cdot RR_{cp}$, где $f_{п1.0}$ - частота пика при $RR_{cp} = 1.0$ сек, $f_{п}$ - частота пика при текущей RR_{cp} . Для коррекции (нормирования) границ частотных диапазонов спектральной мощности (f_d) исходного ряда RR-интервалов относительно текущей RR_{cp} можно воспользоваться формулой: $f_d = f_{d1.0} \times RR_{cp}$, где $f_{d1.0}$ - граница частотного диапазона при $RR_{cp} = 1.0$ сек. Коррекция (нормирование) границ частотных диапазонов спектральной мощности (f_d), час-

тотных пиков ($f_{п1.0}$) исходного ряда RR-интервалов относительно текущей RR_{cp} позволяет сравнивать различные ряды кардиоинтервалов без использования преобразования к эквидистантному ряду.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вариабельность сердечного ритма, спектральный анализ, контролируемое дыхание, коррекция спектральных частот, исходный и дискретный временной ряд

ВВЕДЕНИЕ

Изучение влияния частоты дыхания (ЧД) на колебания RR-интервалов сердечных сокращений привело к пониманию важности контроля ЧД в ходе регистрации и анализа вариабельности ритма сердца (Heart Rate Variability (HRV)) [1, 2, 3, 4, 5]. Исследования показали, что при ЧД меньше 0.17 Гц (10 дыхательных циклов в минуту и менее) наблюдается выраженное повышение дыхательного пика на графике спектральной плотности в высокочастотном диапазоне (High Frequency – HF), а при ЧД свыше 0.25 Гц (15 дыхательных циклов в минуту и более) – его снижение [6]. В клиническую практику был введен тест по измерению HRV во время "принудительного" (forced) ритма дыхания для диагностики функций парасимпатической нервной системы [7, 8].

В своем исследовании мы поставили задачу проанализировать динамику изменения частоты дыхательного пика (f_d) на графике спектральной плотности сердечных сокращений от средней величины RR-интервалов между нормальными кардиоциклами (RR_{cp}). Для основного эксперимента мы выбрали контролируемое ЧД равную 0.1 Гц (6 циклов в минуту - тест на брадикардию). Для того чтобы проба на брадикардию не была связана с гипервентиляцией, с усилием воли, повышением активности симпатической нервной системы [9, 10], были отобраны испытуемые, которые регулярно занимались бегом или плаванием и у которых ЧД в покое была меньше 0.12 Гц (менее 7 дыхательных циклов в минуту).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 16 здоровых мужчин (средний возраст = 39.5 лет, стандартное отклонение = 4.7), которые уже длительное время регулярно занимались бегом или плаванием. У всех в покое диагностировалась выраженная дыхательная синусовая аритмия ($RR_{cp} = 0.860$, $SD = 0.072$ сек). ЧД в покое колебалась от 0.067 до 0.100 Гц (4 – 6 дыхательных циклов в минуту). Пробы на контролируемое дыхание с частотой 0.1 Гц выполнялись с 8 до 10 часов утра в положении сидя. Данная ЧД не вызвала затруднений у наших испытуемых при выполнении тестовых

проб. Длительность ЧД контролировалась с помощью электронного секундомера. Для регистрации ЭКГ и выделения RR-интервалов между последовательными комплексами QRS (частота дискретизации 500 Гц) использовался 3-х канальный программно-аппаратурный комплекс "RITMON-1". Выражающие длительность сердечных сокращений RR-интервалы (в миллисекундах) сохранялись в ASCII-кодах для дальнейшего компьютерного анализа, построения графика и расчета показателей спектральной плотности с помощью специально разработанной в лаборатории психофизиологического обеспечения Нововоронежского учебно-тренировочного центра программы. Длительность регистрации составляла 5 минут. Исходные массивы RR-интервалов были предварительно визуально отредактированы от артефактов и подготовлены для последующего анализа.

Обработка отредактированных данных производилась скользящей выборкой объемом 256 и шагом 10 RR-интервалов. RR_{cp} и показатели спектрального анализа подсчитывались для каждой скользящей выборки. Для расчета показателей спектрального анализа был использован алгоритм быстрого преобразования Фурье со спектральным окном Хэмминга. Стационарность полученных выборок определялась с помощью рангового коэффициента корреляции Спирмена для среднего и дисперсии в отдельности [11]. После редактирования исходных данных и проверки на стационарность для дальнейшего анализа было отобрано 208 выборок объемом 256 RR-интервалов. Расчет и удаление тренда для спектрального анализа проводились с помощью метода наименьших квадратов. Статистический анализ был выполнен с использованием пакета программ Statistica for Windows (версия 5.1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно полученным результатам, для всех обследуемых был зафиксирован выраженный дыхательный пик на графике спектральной плотности сердечных сокращений. Характерно, что расположение этого пика по оси частот было связано с величиной RR_{cp} (рис.). Чем меньше средняя величина RR-интервалов относительно 1.0 сек, тем меньше

частота дыхательного пика на графике спектральной плотности сердечного ритма от ожидаемой ЧД (0.1 Гц). Если RR_{cp} больше 1.0 сек, то частота дыхательного пика на графике спектральной плотности превышает контро-

лируемую ЧД. При RR_{cp} равной 1.0 сек наблюдается совпадение контролируемой ЧД и частоты дыхательного пика на графике спектральной плотности.

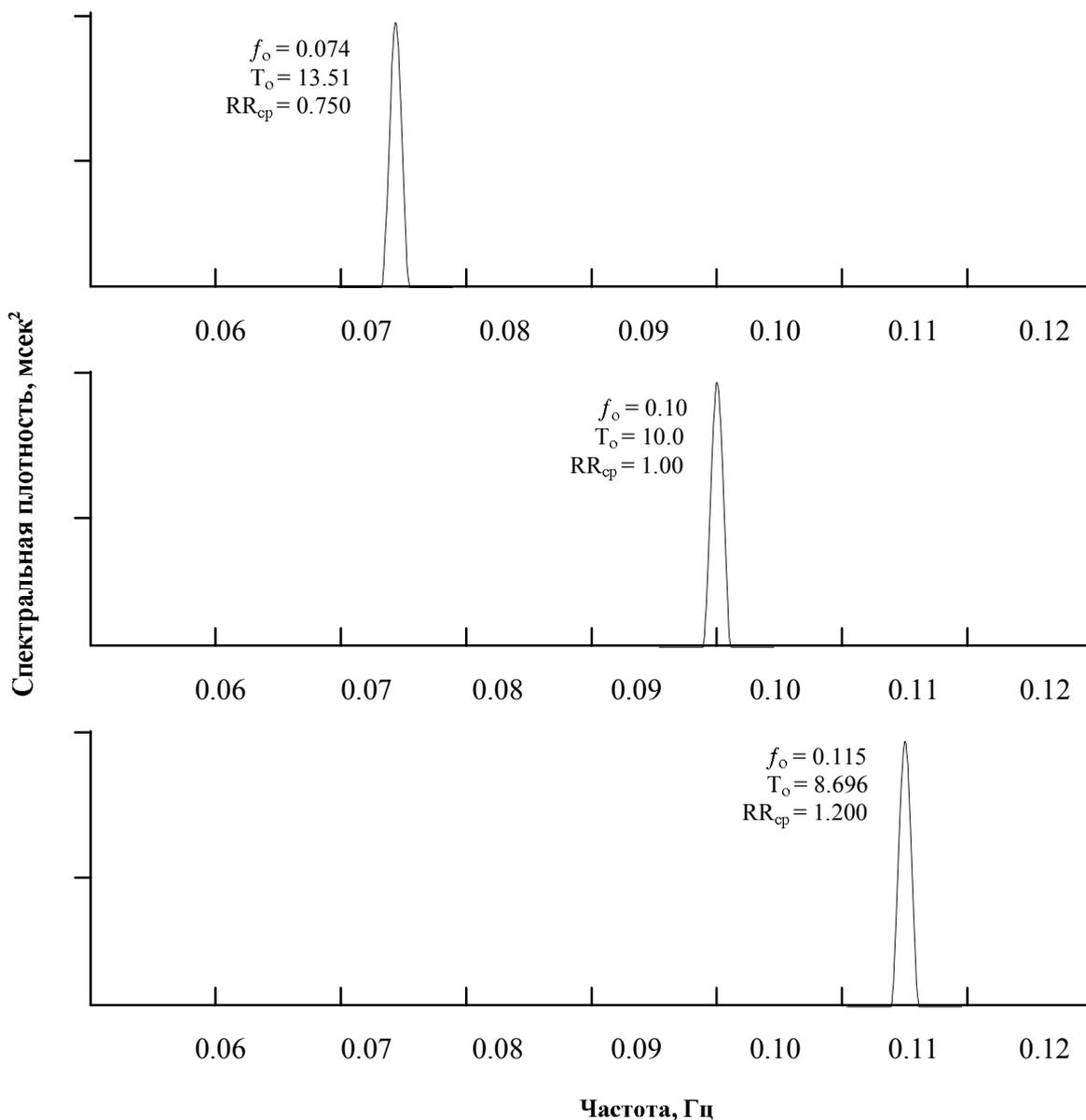


Рис. Изменение частоты дыхательного пика (f_o , Гц) на графике спектральной плотности сердечных сокращений в условиях контролируемой ЧД (0.1 Гц) при различной RR_{cp} (сек). T_o – период дыхательного пика (сек)

С помощью линейного регрессионного анализа была рассчитана зависимость (объясняющая 98.84% дисперсии, $R = 0.9942$, $p = 0.000$) частоты дыхательного пика (f_d) от RR_{cp} (сек) при контролируемом дыхании с частотой 0.1 Гц:

$$f_d = A + B \times RR_{cp}, \quad (1)$$

где $A = -0.002071$ ($p < 0.017$),
 $B = 0.102542$ ($p = 0.000$)

Из формулы (1) следует, что частота f_d ⁴² зависит, главным образом, от величины коэффициента B , который очень близок по зна-

чению к контролируемой ЧД. Если учесть погрешность расчета частоты дыхательного пика погрешность контроля за ЧД, то данную формулу можно переписать следующим образом:

$$f_d = \text{ЧД} \times \text{RR}_{\text{ср}} \quad (2)$$

Использование в регрессионном анализе (формула (1)) коэффициента $B=0.1$ (ЧД = 0.1 Гц) незначительно изменяет результаты. Полученная в этом случае зависимость объясняет 98.79% дисперсии, $R=0.9939$, $p=0.000$. При этом значение свободного члена становится крайне мало ($A=0.000116$) и им можно пренебречь. Коэффициент корреляции между выборками расчетных (формула (2)) и исходных значений частоты дыхательного пика на графике спектральной плотности равен 0.9942 ($p=0.000$).

Зная исходную частоту дыхательного пика на графике спектральной плотности, по формуле (2) легко рассчитать частоту дыханий, которую контролировал обследуемый:

$$\text{ЧД} = f_d : \text{RR}_{\text{ср}} \quad (3)$$

Проверка гипотезы о различии средних по выборкам расчетной частоты дыханий (по формула (3) средняя величина ЧД составила 0.100064 Гц) с заданной в контролируемой пробе (ЧД = 0.1 Гц), показала статистическую незначимость различий между ними (использовался t -тест для зависимых переменных: $t = 1.063$, $p = 0.289$).

В реальности ЧД может изменяться в очень широком диапазоне. На следующем этапе мы решили проверить полученную закономерность для других значений ЧД. С той же группой испытуемых были проведены дополнительные пробы на контролируемое дыхание с частотой 0.200, 0.167, 0.083 и 0.067 Гц (соответственно, 12, 10, 5 и 4 дыхательных цикла в минуту). При этом $\text{RR}_{\text{ср}}$ варьировалась в диапазоне 0.75-1.00 сек. Наблюдаемые на графике спектральной плотности значения частоты дыхательных пиков сравнивались с рассчитанными по формуле (2). В статистическом анализе использовались значения, полученные в результате спектрального анализа 298 стационарных выборок объемом 256 RR-интервалов. Коэффициент корреляции между этими выборками равен 0.9973 ($p=0.000$). Проверка гипотезы о равенстве средней разницы между расчетными (формула (3)) и исходными значениями контролируемой частоты дыхания нулю показала статистическую незначимость различий (t -тест для зависимых

ка по графику спектральной плотности, плюс

переменных: $t = -1.131$, $p = 0.259$). Таким образом, выражаемая формулой (2) зависимость позволяет достаточно точно рассчитывать по $\text{RR}_{\text{ср}}$ наблюдаемые на графике спектральной плотности значения частоты дыхательного пика для любой контролируемой ЧД.

В своем анализе мы использовали исходные ряды RR-интервалов для расчета спектральных показателей. На практике, чтобы выполнить одно из свойств временного ряда: равные промежутки времени между измерениями переменной, используют преобразование динамического ряда кардиоинтервалов в эквидистантный ряд с выбранной частотой квантования [12]. На следующем шаге мы решили сравнить частоты пиков на графике спектральной плотности для эквидистантного ряда RR-интервалов (частота квантования 250 мсек, линейная интерполяция значений) и для исходного динамического ряда. Для этого мы воспользовались результатами 69 проб на контролируемое дыхание с ЧД=0.1 Гц (средний возраст обследуемых составил 25.62 лет, $SD = 2.247$; $\text{RR}_{\text{ср}}=0.780$ сек, $SD=0.1077$). Частота дыхательного пика на графике спектральной плотности для эквидистантного ряда RR-интервалов совпадала с контролируемой частотой дыхания. Для расчета контролируемой частоты дыхания по дыхательному пику на графике спектральной плотности для исходного ряда RR-интервалов (без преобразований) мы воспользовались формулой (3). Проверка гипотезы о различии средних по выборкам расчетной контролируемой частоты дыханий для исходного ряда (средняя величина ЧД составила 0.100797 Гц) с контролируемой частотой дыханий для эквидистантного ряда (средняя ЧД = 0.100769 Гц), показала статистическую незначимость различий между ними (использовался t -тест для зависимых переменных: $t = 0.097$, $p = 0.923$). Таким образом, частота пиков на графике спектральной плотности для эквидистантного ряда RR-интервалов совпадает с скорректированной по $\text{RR}_{\text{ср}}$ частотой пиков на графике спектральной плотности для исходного ряда.

Полученные результаты позволяют нам оценить распределение мощности спектра колебаний сердечных сокращений по частотным диапазонам без использования эквидистантного ряда RR-интервалов. В этом случае формула (2) приобретает следующий вид:

$$f_d = f_{d1.0} \times \text{RR}_{\text{ср}} \quad (4)$$

где $f_{d1.0}$ - частота спектрального диапазона при RR_{cp} равной 1.0 сек,

f_d - частота спектрального диапазона при текущей RR_{cp} .

Формула (4) позволяет скорректировать (нормировать) границы частотных диапазонов спектральной мощности сердечных сокращений относительно текущей RR_{cp} и решить задачу сравнения различных временных рядов без преобразования их в эквидистантный ряд. Следуя формуле (4), чтобы скорректировать частотные границы диапазонов спектральной мощности, нам необходимо их

значения умножить на текущую RR_{cp} . Частотные диапазоны имеют следующие границы [12]:

VLF - мощность в очень низкочастотном диапазоне: 0.00-0.04 Гц;

LF - мощность в низкочастотном диапазоне: 0.04-0.15 Гц;

HF - мощность в высокочастотном диапазоне: 0.15-0.40 Гц.

Как можно заметить (табл.), при RR_{cp} меньше 1.0 сек границы диапазонов спектральной мощности сдвигаются влево, а когда RR_{cp} больше 1.0 сек – вправо.

Таблица

Скорректированные частотные границы диапазонов спектральной мощности сердечных сокращений для различных значений RR_{cp}

RR_{cp} (сек)	f_{VLF-LF} (0.04 Гц)	f_{LF-HF} (0.15 Гц)	$f_{HF-0.5}$ (0.40 Гц)
1.25	0.050	0.188	0.500
1.20	0.048	0.180	0.480
1.10	0.044	0.165	0.440
1.00	0.040	0.150	0.400
0.90	0.036	0.135	0.360
0.80	0.032	0.120	0.320
0.70	0.028	0.105	0.280
0.60	0.024	0.090	0.240
0.50	0.020	0.038	0.200
0.40	0.016	0.024	0.160

ВЫВОДЫ

1. Согласно полученным результатам, зависимость частоты пиков на графике спектральной плотности для исходного ряда RR -интервалов от величины RR_{cp} можно представить следующей формулой:

$$f_{п.} = f_{п.} : RR_{cp},$$

где $f_{п.0}$ - частота пика при $RR_{cp} = 1.0$ сек,

$f_{п.}$ - частота пика при текущей RR_{cp} .

2. Для коррекции (нормирования) границ частотных диапазонов спектральной мощности (f_d) исходного ряда RR -интер-

валов относительно текущей RR_{cp} можно воспользоваться формулой:

$$f_d = f_{d1.0} \times RR_{cp},$$

где $f_{d1.0}$ - граница частотного диапазона при $RR_{cp} = 1.0$ сек.

3. Коррекция (нормирование) границ частотных диапазонов спектральной мощности (f_d), частотных пиков ($f_{п.0}$) исходного ряда RR -интервалов относительно текущей RR_{cp} позволяет сравнивать различные ряды кардиоинтервалов без использования преобразования к эквидистантному ряду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Eckberg D.L., Rea R.F., Andersson O.K., et al. // Acta Physiol Scand. 1988. Vol. 133. P. 221.
2. Grossman P., Karemaker J., Wieling W. // Psychophysiol. 1991. Vol. 28. P. 201.
3. Кутерман Э.М., Хаспекова Н.Б. // Физиология человека. 1992. Т. 18. № 4. С. 52.
4. Laude D., Weise F., Girard A., et al. // Clin. Exp. Pharmacol. Physiol. 1995. Vol. 1. № 47. P. 352.
5. Zhang P.Z., Tapp W.N., Reisman S.S., et al. // IEEE Trans Biomed Eng. 1997. Vol. 4. № 23 P. 321.
6. Brown T.E., Beightol L.a., Koh J., et al. // J. Appl. Physiol. 1993. Vol. 75. P. 2310.
7. Кутерман Э.М., Цыденов М.М. // Анестезиология и реаниматология. 1984. № 5. С. 53.
8. Diehl R.R., Linden D., Berlitz P. // Clin Auton Res. 1997. Vol. 4. № 82. P. 131.
9. Блудов А.А., Воронцов В.А. // Физиология человека. 1998. Т. 24. № 6. С.66.
10. Malik M. // Circulation. 1996. Vol. 96. P. 1589.
11. Кенделл М. Дж., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. М.:Наука. 1976. 736 с.
12. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability. Standards of Measurements, Physiological Interpretation, and Clinical Use. // Circulation 1996. Vol. 93. P. 1043.

ЗАЛЕЖНІСТЬ ПОКАЗНИКІВ ВАРІАБЕЛЬНОСТІ СЕРЦЕВОГО РИТМУ ВІД СЕРЕДНЬОЇ ВЕЛИЧИНИ RR-ІНТЕРВАЛІВ

В.А. Машин

Нововоронежський учбово-тренувальний центр підготовки персоналу для АЕС

РЕЗЮМЕ

Засобами спектрального аналізу досліджений зв'язок показників варіабельності серцевого ритму (Heart Rate Variability - HRV) із середньою величиною RR-інтервалів між нормальними кардіоциклами (RR_{cp} , сек) при контрольованій частоті подиху (ЧД) у здорових обстежуваних. Відповідно до отриманих результатів, залежність частоти піків на графіку спектральної щільності для вихідного ряду RR-інтервалів від величини RR_{cp} можна представити такою формулою: $f_{п1.0} = f_{п} : RR_{cp}$, де $f_{п1.0}$ - частота піка при $RR_{cp}=1.0$ сек, $f_{п}$ - частота піка при поточній RR_{cp} . Для корекції (нормування) границь частотних діапазонів спектральної потужності (f_d) вихідного ряду RR-інтервалів щодо поточної RR_{cp} можна скористатися формулою: $f_d = f_{d1.0} \times RR_{cp}$, де $f_{d1.0}$ - границя частотного діапазону при $RR_{cp}=1.0$ сек. Корекція (нормування) границь частотних діапазонів спектральної потужності (f_d), частотних піків ($f_{п1.0}$) вихідного ряду RR-інтервалів щодо поточної RR_{cp} дозволяє порівнювати різні ряди кардіоінтервалів без використання перетворення до еквідистантного ряду.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: варіабельність серцевого ритму, спектральний аналіз, контрольований подих, корекція спектральних частот, вихідний і дискретний часовий ряд

THE DEPENDENCY OF HEART RATE VARIABILITY FROM THE RR-INTERVALS AVERAGE

V.A. Mashin

Head of psychophysiological laboratory of Atom Energy Training Centre, Novovoronezh, Russia

SUMMARY

The means of spectral analysis the dependency of Heart Rate Variability (HRV) from the RR-intervals average (RR_{av} , sec) is explored at controlled (forced) breathing. According to got results, the dependency of peaks frequency on spectral density graph for source series of RR-intervals from RR_{av} possible to present the following formula: $f_{p1.0} = f_p : RR_{av}$, where $f_{p1.0}$ - peak frequency when $RR_{cp} = 1.0$ sec, f_p - peak frequency at current RR_{av} . For correcting (the standertizations) of frequency domain borders of spectral power (f_d) of source series of RR-intervals comparatively current RR_{av} possible to use the formula: $f_d = f_{d1.0} \times RR_{av}$, where $f_{d1.0}$ - frequency domain border at $RR_{av} = 1.0$ sec. The correction (the standertization) of frequency domain borders of spectral power (f_d), frequency peaks ($f_{p1.0}$) of source series of RR-intervals comparatively current RR_{av} allows to compare different series of RR-intervals without use the transformation to the discrete event series (DES).

KEY WORDS: heart rate variability, spectral analysis, controlled breathing, correction of spectral frequency, source and discrete event series

УДК (612.172.2-02:618.33-008.9)-053.31

ВАРІАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА В ОЦЕНКЕ АДАПТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ У НОВОРОЖДЕННЫХ

Е.Г. Цой, Л.Н. Изюшева, А.Р. Галеев

Кемеровская государственная медицинская академия,

Кемеровский областной психолого-валеологический центр, г. Кемерово, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

С целью выявления особенностей ранней постнатальной адаптации у доношенных новорожденных проведен сравнительный анализ клинических и ритмографических данных у 122 детей в возрасте 1-6 дней. Выявлена волнообразность течения адаптационного процесса, характеризующаяся усилением жизнедеятельности в первые двое суток и на шестые сутки жизни, и относительным спадом функциональной активно-