

# ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ И ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ХРОНО- И ИНТРОПНОЙ ФУНКЦИИ СЕРДЦА У ДЕВОЧЕК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРЕОБЛАДАНИЯ СПЕКТРОВ В ДИАПАЗОНАХ

**В.В. Епишев\***, **А.Р. Сабирьянов\*\***

\*ЮУрГУ, \*\*ЧелГМА, г. Челябинск

**Проведен анализ особенностей частоты сердечных сокращений, фракции выброса левого желудочка и их вариабельности у девочек 8–15 лет в зависимости от преобладания мощности колебаний в диапазонах медленноволнового спектра.**

*Ключевые слова: частота сердцебиений, фракция выброса, девочки школьного возраста.*

**Актуальность работы.** Колебания – процесс достаточно распространенный в природе, они присутствуют практически на всех уровнях ее организации. Наиболее изученной в настоящее время является вариабельность функционирования органов системы кровообращения в медленноволновом диапазоне, в частности, сердечного ритма.

Начало исследования медленноволновых колебаний функционирования сердечно-сосудистой системы положено в 1760 году, когда А. Галлер обнаружил наличие синусовой аритмии [1]. Впервые присутствие колебаний ритма сердца с меньшей частотой, чем дыхательные волны было показано А. Флейшем и Р. Бекманом [2], которым еще в 1932 г. удалось обнаружить колебания частоты сердечных сокращений (ЧСС) с периодами 10 с и более.

Однако интенсивное изучение вариабельности ритма сердца и других показателей кровообращения началось лишь в середине прошлого столетия, благодаря внедрению компьютерных программ спектрального анализа с использованием быстрого преобразования Фурье [3, 4 и др.]. Особый интерес в изучении медленноволновых колебаний вызван вероятной связью различных частотных спектров с деятельностью отделов системы регуляции функций организма [7–9 и др.].

С момента обнаружения медленноволновых колебаний наиболее актуальным стал вопрос о механизмах их возникновения. Многочисленные исследования позволили установить связь высокочастотных (ВЧ) колебаний (от 0,15 до 0,5 Гц) медленноволнового диапазона, возникающих в результате колебаний активности блуждающего нерва, с актом дыхания [5, 6, 10, 11]. Низкочастотные (НЧ) колебания от 0,075 до 0,15 Гц, по данным многих авторов, являются результатом активности симпатической нервной системы и тесно связаны с барорегуляцией [10, 12, 13, 15 и др.].

До настоящего времени больше всего откры-

тых вопросов остается в механизмах возникновения медленноволновых колебаний с частотой менее 0,075 Гц. Однако, опираясь на результаты проведенных исследований, по-видимому, можно говорить о надсегментарном их происхождении с высших центров вегетативной регуляции [14, 16]. При этом, согласно стандартам по измерению, физиологической интерпретации и клиническому использованию анализа вариабельности сердечного ритма (2001 г.) и данным некоторых авторов [12, 17, 18], диапазон колебаний менее 0,075 Гц целесообразно разделять на два: самый низкочастотный (СНЧ) от 0 до 0,025 Гц и очень низкочастотный (ОНЧ) от 0,025 до 0,075 Гц. При этом исследования [12, 19, 20] свидетельствуют о роли гуморальных факторов в возникновении ОНЧ колебаний.

Несмотря на большое количество публикаций, в источниках литературы недостаточно внимания уделяется изучению вариабельности показателей кровообращения у детей. В доступной нам литературе мы не встречали анализа особенностей центрального кровообращения и их вариабельности в зависимости от преобладания мощности колебаний в диапазонах.

**Цель исследования.** Изучение особенностей ритма сердца и фракции выброса левого желудочка и их вариабельности в зависимости от преобладания мощности колебаний в диапазонах медленноволнового спектра у девочек младшего и старшего школьного возрастов.

**Организация и методы исследования.** В исследованиях участвовали девочки младшего ( $n = 163$ ) и старшего ( $n = 141$ ) школьного возраста первой медицинской группы, не посещающие спортивные секции.

Регистрация ритма сердца (РС) и фракции выброса (ФВ) левого желудочка в положении лежа при каждом сокращении в течение 500 кардиоинтервалов проводились при помощи биоимпеданс-

ной тетраполярной реополиграфии на базе компьютерной системы «Кентавр II РС» фирмы «Микролюкс» (рекомендована к производству и применению в медицинской практике протоколом № РОСС.RU.АЮ 45.В00211 от 28.11.2002 г.). В системе «Кентавр» РС регистрируется по электрокардиограмме (ЭКГ) первого стандартного отведения. Расчет ФВ производится при помощи формулы Тагифта по ЭКГ и первой производной трансторакальной реограммы [21, 22].

Спектральный анализ колебаний изучаемых показателей проводился при помощи компьютерной программы, использующей метод быстрого

дала в ОНЧ диапазоне. Кроме того, в младшем школьном возрасте НЧ колебания встречались в 17,79 %, ВЧ – в 12,88 %, а в старшем школьном – 19,86 и 9,22 % соответственно. В остальных случаях мощность колебаний равномерно распределялась в 2-х и более диапазонах. Следовательно, для девочек периода отрочества характерны ОНЧ колебания ритма сердца, которые, по мнению одних авторов [12, 19, 20], связаны с гормональными факторами регуляции, а по данным других [14, 16] – с высшими центрами вегетативной системы.

В табл. 1 представлены особенности ЧСС и ее variability у обследованных девочек.

Таблица 1

Частота сердечных сокращений и показатели variability ритма сердца в зависимости от преобладания диапазона спектра колебаний (M ± m)

Возраст	Группа по преобладанию диапазона	ЧСС, уд./мин	ОМС, усл. ед.	Fm, Гц	Mo, Гц
Младший школьный (8–11 лет)	1	–	–	–	–
	2	92,80 ± 0,79	29,03 ± 2,87	0,030 ± 0,0004	0,025 ± 0,0004
	3	84,07 ± 1,87	13,95 ± 2,12	0,079 ± 0,0049	0,076 ± 0,0057
	4	80,82 ± 1,79	8,45 ± 0,48	0,215 ± 0,0160	0,210 ± 0,0180
Старший школьный (12–15 лет)	1	–	–	–	–
	2	82,59 ± 1,07	16,95 ± 2,01	0,032 ± 0,0005	0,030 ± 0,0045
	3	76,35 ± 2,09	8,20 ± 0,69	0,078 ± 0,0037	0,070 ± 0,0043
	4	79,33 ± 3,5	8,79 ± 1,13	0,150 ± 0,0150	0,160 ± 0,0160

Примечание: группа 1 – преобладание СНЧ колебаний РС; группа 2 – преобладание ОНЧ колебаний; группа 3 – преобладание НЧ колебаний; группа 4 – преобладание ВЧ колебаний.

преобразования Фурье. Изучались следующие характеристики variability: общая мощность спектра (ОМС, усл. ед.), середина спектра колебаний (Fm, Гц), распределение мощности по четырем диапазонам (усл. ед. и в %). Кроме того, по спектрограммам определялась мода (Mo, Гц) частоты колебаний.

Учитывая психомоторные особенности детей данного возраста, все результаты спектрального анализа подвергались 60,0 % фильтрации, что позволило устранить помехи и погрешности в процессе регистрации показателей.

При проведении статистической обработки для выявления различий абсолютных показателей использовался критерий Стьюдента, относительных – критерий Фишера.

По преобладанию относительной доли ОМС колебаний изучаемых показателей девочки были разделены на группы. В первую вошли дети с преобладанием СНЧ колебаний, во вторую – ОНЧ, третью составили девочки с преимущественными НЧ, а четвертую – с ВЧ колебаниями.

Анализ распределения мощности колебаний в диапазонах показал, что ни в той, ни в другой возрастной группе не превалируют СНЧ колебания сердечного ритма. У большинства обследованных девочек, 58,28 % в младшем школьном возрасте и 61,02 % в старшем, мощность колебаний преобла-

Как видно из табл. 1, во 2-й и 3-й группах девочек, независимо от преобладания диапазона спектра, проявляется возрастная динамика урежения сокращений сердца. В младшем школьном возрасте у девочек 2-й группы наблюдаются статистически достоверно более высокие значения ЧСС и ОМС ее колебаний. При этом частотные характеристики variability располагаются практически на границе СНЧ и ОНЧ диапазонов. Учитывая результаты исследований некоторых авторов [23, 24], можно предположить, что данные колебания РС связаны с активностью циркулирующего адреналина, обладающего положительным хронотропным влиянием на деятельность сердца.

Общая мощность спектра характеризует всю variability показателя, которая связана с количественной и качественной стороной осцилляторов [12]. Следовательно, можно полагать, что при преобладании ОНЧ колебаний на ЧСС действует достаточно большой круг факторов, ведущих к variability, которые, по-видимому, связаны с уровнями регуляции. Данное обстоятельство может быть связано с возрастной особенностью поддержания оптимального уровня сокращений сердца. Кроме того, необходимо отметить, что в данной группе девочек наименьшая доля ВЧ колебаний (1,82 %), связана с активностью блуждающего нерва.

При сравнении ЧСС девочек 3-й и 4-й групп младшего школьного возраста статистически достоверной разницы нет, в то же время спектральные характеристики значительно отличаются. В частности, в 3-й группе частотные характеристики расположены в НЧ, где, по данным В. Romeranz с соавт. [25], колебания РС связаны с активностью симпатической нервной системы. Кроме того, в данной группе наблюдается более высокая ОМС ( $p < 0,01$ ).

В 4-й группе девочек данного возраста частотные характеристики также совпадают с преобладающим диапазоном по мощности, однако практически в 2 раза меньше частоты дыхательных движений. Это согласуется с гипотезой взаимодействия дыхательного и кардиомоторного центров на уровне продолговатого мозга, с задержкой проведения возбуждения [26, 27]. Отчасти подтверждением является аналогичное соотношение частот колебаний РС и дыхательных движений в 4-й группе девушек старшего школьного возраста.

Отсутствие разницы ЧСС 3-й и 4-й групп девушек младшего школьного возраста может быть связано с тем, что надсегментарные влияния на синусовый узел преобладают над периферическими. При этом относительная доля ОНС и СНЧ колебаний статистически (по критерию Фишера) одинакова, 24,77 % в 3-й и 21,96 % в 4-й группе.

В старшем школьном возрасте во 2-й и 3-й группах, кроме возрастной динамики ЧСС, наблюдаются более низкие значения ОМС ( $p < 0,01-0,001$ ). Это может быть признаком адаптации, когда для поддержания адекватного уровня ЧСС включается меньшее количество регуляторных механизмов. Несмотря на то, что в старшем школьном возрасте наблюдается повышение активности центральных и периферических структур вегетативной регуляции.

Межвозрастные различия проявляются и в распределении ОМС по диапазонам спектра. Например, во 2-й группе старшего школьного возраста более низкие значения ОМС связаны с СНЧ и

ОНЧ диапазонами, что может свидетельствовать о снижении роли надсегментарных структур в вариабельности ЧСС. В 3-й группе девочек данного возраста более низкие значения ОМС связаны с ОНЧ, НЧ и ВЧ диапазонами. При этом в относительном распределении наблюдается более высокие показатели мощности в НЧ и низкие в ВЧ диапазонах. В данном случае, по-видимому, учитывая физиологические эффекты симпатической и парасимпатической нервной системы, проявляется модулирующая роль блуждающего нерва не только в ВЧ, но и в низкочастотных диапазонах [25].

При сравнении ЧСС 4-й группы девочек старшего школьного возраста со 2-й и 3-й различий не выявлено. При этом не наблюдается межвозрастных различий ни в ОМС и в ее распределении по диапазонам спектра.

Анализ распределения мощности колебаний ФВ показывает, что в младшем школьном возрасте у большинства девочек (49,08 %) преобладающим является ВЧ диапазон. В 31,29 % случаев преобладает мощность НЧ колебаний и в 9,81 % – ОНЧ. У остальных девочек мощность равномерно распределена по нескольким диапазонам.

В старшем школьном возрасте наблюдается увеличение (19,15 %,  $p < 0,01$ ) количества девочек с преобладанием ОНЧ колебаний ФВ. Кроме того, в 2,13 % случаев встречалось преимущество СНЧ колебаний.

В табл. 2 представлены особенности ФВ и ее спектральных характеристик в зависимости от преобладания диапазона медленноволнового спектра.

Как видно из табл. 2, общая вариабельность (ОМС) ФВ ниже аналогичного показателя РС, что свидетельствует о стабильности функции сократимости миокарда. При этом ФВ статистически достоверно не различает в зависимости от преобладания тех или иных колебаний. Данное обстоятельство может быть связано со значимой ролью интракардиальных механизмов в регуляции сократимости в покое и, по-видимому, вариабельность

Таблица 2

Фракция выброса и показатели ее вариабельности  
в зависимости от преобладания диапазона спектра колебаний (M ± m)

Возраст	Группа по преобладанию диапазона	ФВ, %	ОМС, усл. ед.	Fm, Гц	Mo, Гц
Младший школьный (8–11 лет)	1	–	–	–	–
	2	68,25 ± 0,57	0,27 ± 0,03	0,029 ± 0,0014	0,024 ± 0,0006
	3	69,62 ± 0,40	0,83 ± 0,09	0,093 ± 0,0028	0,082 ± 0,0042
	4	69,10 ± 0,32	0,77 ± 0,08	0,240 ± 0,0098	0,240 ± 0,0100
Старший школьный (12–15 лет)	1	67,50 ± 0,24	0,47 ± 0,12	0,020 ± 0,0003	0,018 ± 0,0003
	2	68,00 ± 0,27	0,47 ± 0,05	0,037 ± 0,0023	0,028 ± 0,0009
	3	67,96 ± 0,31	0,79 ± 0,11	0,110 ± 0,0028	0,091 ± 0,0038
	4	67,95 ± 0,25	1,49 ± 0,16	0,190 ± 0,0069	0,180 ± 0,0100

Примечание: группа 1 – преобладание СНЧ колебаний РС; группа 2 – преобладание ОНЧ колебаний; группа 3 – преобладание НЧ колебаний; группа 4 – преобладание ВЧ колебаний.

ФВ является отражением общих нейрогуморальных влияний на гемодинамику.

В младшем школьном возрасте ОМС колебаний ФВ во 2-й группе статистически достоверно ( $p < 0,0001$ ) ниже, по сравнению с 3-й и 4-й группами. В старшем школьном возрасте статистическая достоверность появляется при сравнении ОМС 4-й группы с остальными, где наблюдаются более высокие значения. При этом обращает на себя внимание то, что в вариабельности ФВ наблюдается тенденция увеличения ОМС с ростом частоты медленноволновых колебаний. Следовательно, можно полагать, что чем выше уровень регуляции, тем меньше колебаний показателя. В вариабельности РС наблюдается обратная связь, подтверждаемая корреляционным анализом.

Кроме того, если во 2-й группе частотные характеристики колебаний РС и ФВ не отличаются, что свидетельствует о сродстве их происхождения, то в 3-й группе данные показатели вариабельности ФВ более высокие (кроме  $M_0$  в младшем школьном возрасте). Это может быть связано с различиями генеза и механизма возникновения колебаний изучаемых показателей. В частности, результатом взаимодействия степени влияния различных уровней регуляции, ведущего к формированию определенной частоты колебаний.

В 4-й группе статистическая достоверность проявляется только при сравнении  $F_m$  колебаний в старшем школьном возрасте.

Необходимо отметить, что в старшем школьном возрасте у трех девочек обнаруживались СНЧ колебания ФВ, которые проявлялись спектральным пиком в 0,018–0,02 Гц диапазоне. Сами величины ФВ отличались достаточной стабильностью в процессе регистрации, что проявлялось низкой ОМС. При этом практически вся вариабельность была сосредоточена в ОНЧ и СНЧ диапазонах (53,27 % и 43,25 % соответственно). Данные особенности вариабельности ФВ, по-видимому, являются проявлением исключительно центрального генеза колебаний показателя, связанного с дезадаптацией в системах регуляции кровообращения с началом препубертатных нейроэндокринных изменений.

Таким образом, результаты исследования показывают, что у большинства девочек периода отрочества в медленноволновом спектре ритма сердца преобладают очень низкочастотные колебания, а фракции выброса левого желудочка – высокочастотные. При этом если частота сердечных сокращений значительно отличается, в зависимости от преобладания медленноволновых колебаний, то в показателях фракции выброса наблюдается стабильность, что, учитывая регуляторный генез вариабельности центрального кровообращения, свидетельствует о значимой роли внутрисердечных механизмов в поддержании сократимости миокарда в состоянии покоя. Для большинства девочек периода отрочества характерно преобла-

дание очень низкочастотных колебаний в медленноволновом диапазоне спектра. При этом у них наблюдается более высокая частота сердечных сокращений и общая вариабельность показателя. Величины фракции выброса левого желудочка у обследованных девочек не зависели от особенностей ее вариабельности в покое. Это свидетельствует о высокой роли внутрисердечных механизмов в поддержании адекватного уровня сократимости. Учитывая системность медленноволновых колебаний параметров кровообращения, исследования позволяют сделать вывод о том, что очень низкочастотные колебания ритма сердца и фракции выброса однородны, а низко и высокочастотные различны.

### Литература

1. Анализ вариабельности сердечного ритма в космической медицине / Р.М. Баевский // *Физиология человека*. – 2002. – Т. 28, № 2. – С. 70–82.
2. Астахов, А.А. Физиологические основы биоимпедансного мониторинга гемодинамики в анестезиологии (с помощью системы «Кентавр»): в 2 т. – Челябинск, 1996. – Т. 1. – 174 с.
3. Астахов, А.А. Физиологические основы биоимпедансного мониторинга гемодинамики в анестезиологии (с помощью системы «Кентавр»): в 2 т. – Челябинск, 1996. – Т. 2. – 162 с.
4. Бубнова, И.Д. Центральные механизмы гуморально-метаболической и автономной регуляции кровообращения при критических состояниях, обусловленных патологией головного мозга: дис. ... д-ра мед. наук / И.Д. Бубнова. – Челябинск, 2001. – 299 с.
5. Баевский, Р.М. Некоторые аспекты системного подхода к анализу временной организации функции в живом организме / Р.М. Баевский, М.К. Чернышов // *Теоретические и прикладные аспекты временной организации биосистем*. – М.: Наука, 1976. – С. 174–186.
6. Баевский, Р.М. Спектральный анализ функции сердечного автоматизма / Р.М. Баевский, И.К. Нидеккер // *Статистическая электрофизиология*. – Ч. 1. – Вильнюс, 1968. – С. 49–55.
7. Вариабельность ритма сердца: представления о механизмах / С.А. Котельников, А.Д. Ноздрачев, М.М. Одинак и др. // *Физиология человека*. – 2002. – Т. 28, № 1. – С. 130–143.
8. Медленные волновые процессы гемодинамики как новое перспективное направление мониторинга в анестезиологии и реаниматологии / А.А. Астахов // *Инжиниринг в медицине. Колебательные процессы гемодинамики. Пульсация и флюктуация сердечно-сосудистой системы: сб. науч. тр. II Всерос. симпозиума и III Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием*. 23–24 мая 2002 г. – Челябинск, 2002. – С. 217–227.
9. Навакатикян, А.О. Возрастная работоспособность умственного труда / А.О. Навакатикян, В.В. Крыжановская. – Киев: Здоров'я, 1979. – 207 с.

10. Роль структур головного мозга в организации вегетативных функций / Б.И. Каменецкая, Н.Б. Хаспекова, Н.Ю. Березова и др. // Журн. невропатологии и психиатрии. – 1988. – № 12. – С. 35.
11. Спектральный анализ колебаний ЧСС – известное, спорное, неизвестное / В.М. Хайутин, Е.В. Лукошкова // Инженеринг в медицине. Колебательные процессы гемодинамики. Пульсация и флюктуация сердечно-сосудистой системы: сб. науч. тр. II науч.-практ. конф. и I Всерос. симпозиума. 30 мая – 1 июня 2000 г. – Челябинск: АТМН, 2000. – С. 71–80.
12. Хаспекова, Н.Б. Регуляция вариативности ритма сердца у здоровых и больных с психогенной и органической патологией мозга: автореф. дис. ... канд. мед. наук / Н.Б. Хаспекова – М., 1996. – 48 с.
13. Arterial baroreceptors as determinants of 0,1 Hz and respiration-related changes in blood pressure and heart rate spectra / L. Bernardi, C. Passino, G. Spadacini et al. // *Frontiers of blood pressure and heart rate analysis*. – Amsterdam: IOS Press, 1997. – P. 241–252.
14. Brain corticosteroid receptors and regulation of arterial blood pressure / D.T.W.M. Van den Berg, E.R. de Rloet, H.H. Van Dijken et al. // *American Journal of Hypertension*. – 1989. – V. 7, Suppl. 6. – P. 202.
15. Cooley, J.W. An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series / J.W. Cooley, J.S. Tukey // *Mathematics of Computation*. – 1961. – V. 19. – P. 267–301.
16. Pomeranz, M. Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis / M. Pomeranz, R.J.B. Macaulay, M.A. Caudill // *American Journal of Physiology*, 1985. – V. 248. – P. 151–153.
17. Richter, D.W. Cardiorespiratory control / D.W. Richter, K.M. Spyer // *Central regulation of autonomic functions*. – N.Y.: Oxford University Press, 1990. – P. 189–207.
18. Fleisen, A. Die raschen Schwankungen der Pulsfrequenz registriert mit dem Pulsfettsschreiber / A. Fleisen, R. Beckmann // *Zeitschr Medicen*. – 1932. – Bd. 80 (3/4). – P. 487–510.
19. Malik, M. Heart rate variability / M. Malik // *Current Opinion in Cardiology*. – 1998. – Vol. 13, № 1. – P. 36–44.
20. Heart rate variability frequency domain analysis / Z. Ori, G. Monir, J. Weiss et al. // *Electrocardio*. – 1992. – V. 10, № 3. – P. 499.
21. Holler, A. *Elementa physiologiae corporis humani*: In 8t. / A. Holler – Lausanne: S, d'Arnay, 1760. – T. 2, lib. 6. – P. 330.
22. Cohen, G.J. Physiological investigation of vascular response variability / G.J. Cohen, A. Silverman // *Journal of Psychosomatic Research*. – 1959. – Vol. 3. – P. 185–210.
23. Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog / M. Pagani, F. Lombardy, S. Guzzetti et al. // *Circular Res*. – 1986. – V. 59, № 2. – P. 178–193.
24. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: A quantitative probe of beat to beat cardiovascular control / S.D. Akselrod, D. Gordon, F.A. Ubel et al. // *Science*. – 1981. – V. 213, № 10. – P. 220.
25. Role of sinoaortic afferents in modulating BP and pulse-interval spectral characteristics in unanesthetized cats / M. Di Rienzo, G. Parati, P. Castiglioni et al. // *American Journal of Physiology*. – 1991. – V. 251, № 6. – Pt. 2. – P. H1811–H1818.
26. S-A nodal parasympathectomy delineates autonomic contributions to the heart rate power spectrum / D.C. Randall, D.R. Brown, J.D. Yingling, R.M. Raisch // *American Journal of Physiology*. – 1991. – №260 (3). – P. H985–H988.
27. Spectral analysis of sympathetic discharge in decerebrate cats / F. Lombardi, N. Montano, M.L. Finocchiaro et al. // *Journal Autonomy Nervous System*. – 1990. – V. 30 (suppl.). – P. S.97–S.99.

Поступила в редакцию 17 сентября 2009 г.