

УДК 519.92; 616.931

**КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ КОМПОНЕНТОВ
СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ПОДРОСТКОВ**

© 2011 г.

Т.И. Чачхиани

Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

ms@nounb.sci-nnov.ru

Поступила в редакцию 02.03.2011

Проведено исследование показателей variability сердечного ритма (ВСР) у подростков методом кластерного анализа в целях установления вариантов регуляции сердечного ритма (СР) для характеристик формирующихся адаптивных реакций. Установлены различные варианты регуляции СР у подростков с различным вкладом центральных и периферических структур в механизмы формирования ВСР. В генезе аритмий у подростков подтверждена роль периферической нервной системы, что сопровождается ростом общей мощности спектра при сохранении типичным вариантов регуляции СР. Для подростков с синусовым СР, не имеющих клинических признаков синдрома вегетативной дисфункции, получены показатели ВСР, которые могут быть предложены в качестве стандартов для данной возрастной группы и использованы при интерпретации результатов ВСР. Другие варианты variability СР отражают пограничные состояния и клинически интерпретированы как вегетативная лабильность в условиях интенсивного развития и становления систем в подростковом возрасте.

Ключевые слова: кластерный анализ, variability сердечного ритма.

Введение

Подростковый возраст, являясь одним из критических этапов развития, характеризуется напряжением адаптационных механизмов, variability всех физиологических параметров организма, обусловленной их лабильностью в условиях интенсивного развития и становления систем. Особенности подросткового периода определяют повышенный риск развития нарушений адаптации при неблагоприятных воздействиях среды.

В целях оценки состояния адаптации организма при различных состояниях в последнее время используется метод исследования variability сердечного ритма (ВСР).

Вариability сердечного ритма (ВСР) рассматривается как процесс активации различных регуляторных механизмов, обеспечивающих поддержание сердечно-сосудистого гомеостаза и адаптацию организма к изменениям условий окружающей среды. Показатели ВСР являются результатом реакции многоконтурной и многоуровневой системы регуляции кровообращения, изменяющей во времени свои параметры для достижения оптимального приспособительного ответа, который отражает адаптационную реакцию целостного организма.

Актуальным в настоящее время остается разработка вопросов клинико-физиологической интерпретации и оценки компонентов сердечного ритма, получение стандартов показателей СР. В педиатрической практике и физиологии подростков исследования, посвященные анализу типологических вариантов регуляции ритма сердца, немногочисленны [1].

Центральный контур регуляции сердечного ритма – это сложнейшая многоуровневая система нейрогуморальной регуляции физиологических функций. Ее структуру можно представить в виде трехуровневой системы. 1-й уровень включает кору центральной нервной системы, координирующую функциональную деятельность всех систем организма в соответствии с воздействиями факторов внешней среды. 2-й уровень представлен высшими вегетативными центрами, обеспечивающими гормонально-вегетативный гомеостаз и взаимодействие различных систем организма между собой. 3-й уровень функционирует на уровне вазомоторного центра в продолговатом мозге и осуществляет внутрисистемный гомеостаз, в частности, оказывает стимулирующее или угнетающее действие на сердце через волокна симпатических нервов.

Периферический контур регуляции представлен вкладом парасимпатической нервной системы в формирование ВСП.

Целью работы было проведение анализа типологических вариантов регуляции сердечного ритма подростков в целях исследования механизмов формирующихся адаптационных реакций и соотношения между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы.

Материалы и метод исследования

В качестве метода исследования был выбран метод кластерного анализа, который имеет широкое применение в анализе больших массивов многомерных данных. В целях классификации типологических вариантов регуляции СР был использован алгоритм кластер-анализа, в основе которого лежит коллективное поведение стохастических автоматов [2]. Данный алгоритм применялся для решения целого ряда прикладных задач и показал хорошие результаты. Анализ показателей ВСП проводился в несколько этапов.

На первом этапе было обследовано 190 подростков 15–16 лет. Основанием включения в исследование являлось отсутствие острых и обострение хронических заболеваний в течение последнего месяца перед осмотром. Для регистрации сердечного ритма использовался аппаратно-программный комплекс «Поли-Спектр-12» (г. Иваново). Условия регистрации показателей ВСП соответствовали общепринятой методике [3]. Регистрация СР проводилась в положении лежа на спине, при спокойном дыхании в течение 5 минут лежа и 6 минут стоя.

Регистрировали минимальные и максимальные кардиоинтервалы (R_{min} и R_{max}), определяли RR_{NN} – среднее значение кардиоциклов, $SDNN$ – стандартное отклонение всех анализируемых RR -интервалов, $RMSSD$ – среднее квадратичное отклонение разницы последовательных интервалов, $pNN50$ (%) – процентную представленность эпизодов различия последовательных интервалов RR более чем на 50 мс, CV – коэффициент вариации. Рассчитывались следующие спектральные показатели: TP – суммарная мощность спектра ВСП в $мс^2$, являющийся суммой мощностей спектров в частотных диапазонах VLF (0,015–0,04 Гц), LF (0,04–0,15 Гц), HF (0,15–0,4 Гц); $\%VLF$, $\%LF$, $\%HF$ – мощности спектров в % от суммарной мощности колебаний; LF_n , HF_n – мощности спектров

низких и высоких частот в нормализованных единицах (у.е.); LF/HF – соотношение мощностей спектров низких и высоких частот.

В результате применения кластерного анализа было получено 5 кластеров. По всем показателям между кластерами установлены значимые различия. К ведущим показателям, определяющим интерпретацию физиологических особенностей ВСП, отнесли $SDNN$, $RMSSD$, $PNN50$, CV , т.е. показатели, характеризующие нестабильность СР, а также TP , LF/HF , $\%VLF$, $\%LF$, $\%HF$.

Кластеры 1 и 3 отличаются от остальных высокими значениями $SDNN$, $RMSSD$, $PNN50$ и CV . $SDNN$ в 1.5–1.8 раз выше аналогичных показателей в кластерах 2, 4, 5. Значения $RMSSD$ в кластерах 1 и 3 в 1.6–2.5 раза выше соответствующих значений в других кластерах. Подобная динамика аналогична у $PNN50$ и CV . Следовательно, в кластеры 1 и 3 объединены показатели ВСП с выраженными нестабильными характеристиками.

Синусовый ритм был установлен только у 60.5% подростков. У остальных обследуемых выявлены следующие виды аритмий: миграция водителя ритма (33.2%), атриовентрикулярная блокада 1 и 2 степени (1.1%), экстрасистолия (4.7%), нижнепредсердный ритм (0.5%).

Доля аритмий в кластерах 1 и 3 достигает соответственно 67.9% и 45.2%, в кластерах 2, 4 и 5 число нарушений СР значительно меньше – 23.6%, 38.5%, 29.2% соответственно. Таким образом, в кластерах 1 и 3 ВСП характеризуется преимущественной изменчивостью за счет вклада различных вариантов аритмий. Их генез обусловлен активностью парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, на что указывает увеличение по сравнению со средневозрастными значениями $\%HF$ до 52.1% и 41.2% и снижение LF/HF до 0.5 и 0.7 в кластерах 3 и 1 соответственно.

Установлены отличия показателей ВСП в 1 и 3 кластерах. В кластере 1 отмечено уменьшение в структуре спектра СР $\%LF$ до 22.1% по сравнению с средневозрастными показателями, что свидетельствует о снижении роли симпатической нервной системы в регуляторных воздействиях. В 3 кластере подобные изменения сопровождаются и статистически значимым снижением $\%VLF$ до 21.6%, что характеризует уменьшение у этой группы подростков активности центральных эрготропных и гуморально-метаболических механизмов регуляции СР.

В кластерах 1 и 3 также отмечен значительный уровень TP , в 2–2.7 раза превышающий

уровень аналогичных показателей в других кластерах. Этот факт может быть интерпретирован, как следствие нарастание нестабильности СР, а не как проявление высоких адаптационных резервов организма и косвенно указывает на несовершенство нейрогуморальной регуляции.

Для показателей ВСР, объединенных в кластеры 2, 4 и 5, отметили общие свойства. SDNN, RMSSD, PNN50, CV ниже средневозрастных значений, что отражает наличие стабильных показателей СР. Во 2 кластере все они имеют значимые отличия от средневозрастных значений, что сопровождается самой низкой долей аритмий (23.6%).

Дифференцируются 2, 4 и 5 кластеры по показателям спектрального анализа. Во 2 кластере отмечено наличие соответствующее средневозрастным значениям вклада VLF и LF в структуре общей мощности спектра, что составляет 38.4% и 32.6% соответственно и отражает вклад надсегментарных центров вегетативной регуляции с участием симпатической нервной системы и свидетельствует об активации церебральных, симпатoadреналовых (стимулирующих выработку адреналина) или эрготропных (стимулирующих активный метаболизм) систем при снижении роли периферического контура регуляции, что сопровождается снижением %HF до 29.1%.

В 5 кластере объединены показатели ВСР с сохранением центральных механизмов регуляции над периферическим контуром, но с преобладанием роли подкорковых структур над надсегментарными, о чем свидетельствует увеличение доли в структуре спектра %LF до 38.8% над %VLF составляющим 36.3%. Вклад дыхательных волн (%HF) в этом случае составил лишь 24.9%.

Кластер 4 объединил показатели ВСР, отражающие снижение регулирующих влияний симпатической нервной системы, что подтверждается значимым снижением %LF до 25.5% с сохранением роли надсегментарных регулирующих влияний (%VLF=31.2%). Доля %HF в общей структуре спектра не отличается от средневозрастных значений (43.2%).

Таким образом, по результатам кластерного анализа выделены 3 варианта регуляции СР у подростков:

– преобладание центрального контура регуляции над периферическим в регуляции СР с участием надсегментарных и подкорковых структур;

– преобладание центрального контура регуляции над периферическим с увеличением

роли подкорковых и сохранением участия надсегментарных структур в регулирующих процессах;

– преобладающее влияние периферического контура регуляции посредством увеличения тонуса парасимпатической нервной системы.

Таким образом, установлены различные варианты регуляции СР у подростков с различным вкладом центральных и периферических структур в механизмы формирования ВСР. В генезе аритмий у подростков подтверждена роль парасимпатической нервной системы, что сопровождается ростом общей мощности спектра при сохранением типичных вариантов регуляции СР.

Далее из этой группы подростков были выделены 114 подростков с синусовым ритмом (отсутствием аритмии).

Применение алгоритма кластеризации выявило 3 кластера.

Кластер 1 объединил показатели 64.6% подростков, отличающихся рядом особенностей. Отмечено снижение значений статистических характеристик динамического ряда кардиоинтервалов (математическое ожидание, дисперсия) ниже средневозрастных значений в положении лежа, что отражает наличие стабильных показателей СР. Общая мощность спектра в положении лежа также ниже средневозрастных значений и соответствует 3209.0 ± 201.16 . В 1-м кластере объединены показатели ВСР с соразмерным вкладом центральных механизмов регуляции и периферического контура (симпатическая и парасимпатическая нервные системы), о чем свидетельствует равные доли вклада в структуру спектра %VLF (33.2%), %LF (29.9%) и дыхательных волн %HF (36.9%). LFn, HFn соответствует при этом 1.09.

В этом кластере 57.8% детей имели нормальный вегетативный тонус, у остальных 26.8% обследованных отмечался повышенный тонус центральной нервной системы или возбуждение (симпатикотония) и у 15.5% избыточный тонус центральной нервной системы или повышенное возбуждение (гиперсимпатикотония). Среди детей, отнесенных к данному кластеру, не было ни одного с избыточным тонусом периферической нервной системы (ваготония). Большинство детей (46.5%) имели избыточную реактивность, 40.8% – нормальную и только 12% недостаточную реактивность.

Противоположные по направленности регуляторных влияний показатели ВСР установлены в 3 кластере, объединившим показатели 12.7% подростков.

К ним можно отнести значимую вариабельность СР в положении лежа по данным статистических характеристик динамического ряда кардиоинтервалов, на что указывают высокие значениями статистических показателей, соответственно в 1.5–2.7 раза превышающие аналогичные показатели в кластерах 2, 3, что связывают с увеличением влияния парасимпатической регуляции. В структуре общей мощности спектра в кластере 3 максимальна доля быстрых волн (%HF – 59.6% против 16.3% %VLF и 24.1% %LF), мощность спектров высоких частот 71.4 ± 2.976 (у.е.), что в 3 раза больше вклада спектров низких частот; LF/LF – 0.4. Общая мощность спектра составила 10935.0 ± 1376.045 , что в 2 раза выше средневозрастных показателей.

Большая часть детей данного кластера (64.3%) имеют в состоянии покоя повышенный тонус периферической нервной системы, остальные – соразмерный вклад обоих отделов вегетативной нервной системы (нормотонию). Детей с повышенным тонусом центральной нервной системы (симпатикотонией) в этой группе не отмечено. При этом у 57.1% среди них отмечается избыточная и у 42.9% нормальная вегетативная реактивность. Это обусловлено исходными значениями вегетативных показателей.

В кластере 2 показатели вариабельности СР (установлены у 22.7% детей) занимают в своих значениях промежуточное положение по сравнению с кластерами 1 и 3. При этом по большинству показателей установленные значения не отличаются от средневозрастных. К отличительным особенностям можно отнести соразмерное участие различных уровней регуляторных влияний. Отмечено наличие соответствующее средневозрастным значениям вклада VLF и LF в структуре общей мощности спектра в положении лежа, что составляет 35.1% и 31.9% соответственно и отражает вклад надсегментарных центров (центральной нервной системы) вегетативной регуляции с участием симпатической нервной системы и свидетельствует об активации церебральных, симпатoadренальных (стимулирующих выработку адреналина) или эрготропных (стимулирующих активный метаболизм) систем при сохранении роли периферического контура регуляции (%HF – 33,0%). LF/LF соответствует 1.0, что характеризует баланс парасимпатических и симпатических воздействий в положении лежа.

Вместе с тем 88% детей этой группы имеют нормотонию в состоянии покоя и лишь 12%

отнесены к «ваготоникам». Детей с симпатикотонией в этой группе не установлено. При этом у 68% обследованных установлена нормальная вегетативная реактивность, остальные – поровну отнесены к недостаточной и избыточной.

Таким образом, по результатам кластерного анализа выделены 3 варианта регуляции СР у подростков:

- соразмерный вклад центрального контура регуляции с участием надсегментарных и подкорковых структур и периферического в регуляцию СР при наличии нормального исходного вегетативного тонуса и нормальной вегетативной реактивности, что можно рассматривать как оптимальный вариант, а представленные показатели – в качестве нормативных для данной возрастной группы;

- соразмерный вклад центрального контура регуляции и периферического в регуляцию сердечного ритма с нарастанием ригидности ритма и уменьшением общей мощности спектра за счет увеличения симпатикотонии, что может быть интерпретировано как снижение резерва адаптационных механизмов в этой группе детей;

- преобладающее влияние периферического контура регуляции посредством увеличения тонуса парасимпатической нервной системы, что сопровождается нарастанием вариабельности СР. Т.е. нет нормального соотношения центрального и периферического контуров регуляции.

Следующим этапом исследования являлось определение границ нормальных значений показателей вариабельности ритма сердца (ВРС) у подростков.

Было проведено обследование 377 подростков 15–16 лет с синусовым ритмом (отсутствием аритмий). Основанием для исключения из исследования являлось наличие в течение последнего месяца острых заболеваний, а также клинических признаков синдрома вегетативной дисфункции, т.е. были выбраны практически здоровые подростки.

Были выделены 3 кластера. Кластер 1 объединил показатели 33,7% подростков со значениями SDNN, RMSSD, PNN50 ниже аналогичных показателей других кластеров, что отражает наличие стабильных показателей СР. Общая мощность спектра минимальна (2984 ± 143.8). Отмечено увеличение доли вклада в структуру спектра %VLF (38.6%), свидетельствующее об увеличении влияния центральных механизмов регуляции сердечного ритма, при минимальных значениях %HF = 24.6%, доля %LF = 36.8%.

Противоположные по направленности регуляторных влияний показатели ВСР установлены в 3 кластере, объединившим показатели 8.5% подростков. К ним отнесли значимую изменчивость СР, на что указывают высокие значения SDNN, RMSSD, PNN50, CV, определяющие рост ВСР. В структуре общей мощности спектра максимальна доля быстрых волн (%HF – 51.5% против 23.4% %VLF и 25.5% %LF), LF/HF – 0.6, что характеризует преобладание периферического контура регуляции над центральным и увеличение вклада парасимпатической нервной системы в процессы регуляции сердечного ритма. Общая мощность спектра максимальна и оставила 11337 ± 702.9 , что в 2 раза выше средневозрастных показателей. Во 2 кластере (57.8% подростков), показатели изменчивости СР занимают в своих значениях промежуточное положение по сравнению с представленными ранее, при этом по большинству из них установленные значения не отличаются от средневозрастных. Отмечен соразмерный вклад в структуру спектра медленных волн первого и второго порядка и быстрых волны (%LF – 25.4%, %VLF – 31.8% и %HF – 42.8%), что можно расценить как гармоничное участие центрального и периферического контуров регуляции сердечного ритма. Установлена значимая связь показателей СР подростков, отнесенных к разным кластерам, с вегетативным тонусом. В обсуждаемом кластере 60.6% отнесены к «нормотоникам», «симпатотоники» и «ваготоники» соответственно составили 18.8% и 20.6%. Вегетативная реактивность в этой группе изменчива: 37.7% подростков имели нормальную, 21.7% недостаточную и 40.6% избыточную реактивность.

По результатам проведенного анализа выделены три варианта регуляции СР у подростков:

– увеличение вклада центрального контура регуляции с нарастанием ригидности СР и уменьшением общей мощности спектра за счет увеличения симпатикотонии, что может быть интерпретировано как снижение резерва адаптационных механизмов в этой группе детей;

– преобладающее влияние периферического контура регуляции посредством увеличения тонуса парасимпатической нервной системы, что сопровождается нарастанием изменчивости СР;

– соразмерный вклад центрального контура регуляции с участием надсегментарных и под-

корковых структур и периферического в регуляцию СР.

Показатели изменчивости СР, объединенные в последнем кластере, сочетаются с преимущественно нормальным исходным вегетативным тонусом и изменчивой вегетативной реактивностью.

Выводы

Таким образом, были получены следующие результаты. Установлены различные варианты регуляции СР у подростков с различным вкладом центральных и периферических структур в механизмы формирования ВСР. В генезе аритмий у подростков подтверждена роль периферической нервной системы, что сопровождается ростом общей мощности спектра при сохранении типичным вариантов регуляции СР.

Для подростков с синусовым СР, не имеющих клинических признаков синдрома вегетативной дисфункции, получены показатели ВСР, которые могут быть предложены в качестве стандартов для данной возрастной группы и использованы при интерпретации результатов ВСР. Другие варианты изменчивости СР отражают пограничные состояния и клинически интерпретированы как вегетативная лабильность в условиях интенсивного развития и становления систем в подростковом возрасте.

Результаты будут использованы в кардиологических отделениях детских больниц и детской спортивной медицине.

Список литературы

1. 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. V. 93. P. 1043–1065.
2. Чачхиани Т.И. Автоматный метод кластеризации // Сб. науч. тр. Российской ассоциации «Женщины-математики». Н. Новгород: Нижегородский ун-т, 2001. Т. 8. Вып. 1. С. 53–56.
3. Баевский Р.М., Берсенев Е.Ю., Берсенева И.А. Медленные волны сердечного ритма как индикатор возрастного развития детей и подростков. Медленные колебательные процессы в организме человека. Теоретические и прикладные аспекты нелинейной динамики в физиологии // Сб. материалов III Симпозиума и школы. Новокузнецк: Изд. НИИ КПП ПЗ СО РАМН, 2001. С. 105–109.

CLUSTER ANALYSIS IN THE PROBLEM OF HEART RATE COMPONENT ESTIMATION FOR TEENAGERS*T.I. Chachkhiani*

Parameters of heart rate variability (HRV) in teenagers have been studied by the cluster analysis to establish the variants of heart rate (HR) regulation in the forming adaptive reactions. The following results have been obtained: HR regulation options in teenagers with different contribution of central and peripheral structures to HRV formation mechanisms; the role of peripheral nervous system in cardiac arrhythmias genesis in teenagers has been confirmed, that is accompanied by the growth of the full spectrum power with the preservation of typical variants of HR regulation; for teenagers with normal sinus HR without clinical signs of the autonomic dysfunction syndrome, the HRV parameters have been obtained which can be proposed as standards for the given age group and used to interpret HRV results; other variants of HRV reflect boundary cases and are clinically interpreted as the vegetative lability under conditions of intensive development and establishment of systems in adolescence.

Keywords: cluster analysis, heart rate variability.