

УДК: [613.86:378.032 +130.12] (477)

Методические подходы к оценке адаптационных возможностей студентов с нарушениями зрения

М.С.Гончаренко, И.Г.Мартыненко, К.В.Носов, В.В.Мартыненко

*Харьковский национальный университет имени В.Н.Каразина (Харьков, Украина)
valeolog@univer.kharkov.ua*

Статья посвящена обоснованию применения энтропийного анализа при исследовании сердечного ритма для диагностики функционального состояния студентов с нарушениями зрения. Установлена высокая эффективность применения мультимасштабного анализа энтропии сложности сердечного ритма для оценки адаптационных возможностей и функциональных резервов организма студентов с нарушениями зрения. Показано снижение адаптационных резервов у слабовидящих студентов при выполнении функциональной пробы.

Ключевые слова: *студенты с нарушениями зрения, функциональная проба, варибельность сердечного ритма, мультимасштабный анализ энтропии, адаптационные возможности.*

Методичні підходи до оцінки адаптаційних можливостей студентів з порушеннями зору

М.С.Гончаренко, І.Г.Мартиненко, К.В.Носов, В.В.Мартиненко

Стаття присвячена обґрунтуванню застосування ентропійного аналізу при дослідженні серцевого ритму для діагностики функціонального стану студентів з порушеннями зору. Встановлена висока ефективність використання мультимасштабного аналізу ентропії складності серцевого ритму для оцінки адаптаційних можливостей і функціональних резервів організму студентів з порушеннями зору. Показано зниження адаптаційних резервів у слабозорих студентів при виконанні функціональної проби.

Ключові слова: *студенти з порушеннями зору, функціональна проба, варіабельність серцевого ритму, мультимасштабний аналіз ентропії, адаптаційні можливості.*

Methodical approaches to the estimation of adaptation of students with visual impairments

M.S.Goncharenko, I.G.Martynenko, K.V.Nosov, V.V.Martynenko

The article is devoted to a substantiation of application of the entropy analysis in the study of a heart rhythm for the diagnostics of the functional state of students with visual impairments. There has been set high effectiveness of the use of multiscale analysis of the entropy of the complexity of a heart rhythm for the assessment of adaptive capacity and functional reserves of the organism students with vision impairments. There has been shown decrease of adaptive reserves of visually impaired students in performing functional tests.

Key words: *students with visual impairments, functional test, heart rate variability, multiscale analysis of entropy, adaptive capacity.*

Введение

Опыт современной медицины и физиологии позволил разработать новый подход к оценке функционального состояния организма человека. Этот подход заключается в том, что переход от нормы к патологии, от здоровья к болезни рассматривается как процесс постепенного снижения уровня адаптации организма к условиям окружающей среды. В результате этого возникают различные пограничные, донологические состояния. С точки зрения физиологии эти функциональные состояния не отражают наличия или отсутствия болезни, а характеризуют уровень или резервы здоровья, которые определяются функциональными возможностями и степенью адаптации организма к условиям окружающей среды.

Пограничные состояния возникают в результате напряжения механизмов регуляции в тех случаях, когда организм должен затратить больше усилий, чем обычно, чтобы обеспечить уравнивание со средой. Если воздействие на организм неблагоприятных факторов

продолжается достаточно длительное время или оно значительное по интенсивности, то продолжительное или чрезмерное напряжение регуляторных систем может привести к истощению резервных возможностей и развитию перенапряжения, а затем к срыву адаптации.

У студентов, которые, в основном, являются лицами молодого возраста, запас приспособительных возможностей достаточно велик, поэтому ухудшение умственной или физической работоспособности в результате воздействия на их организм специфических факторов среды (физических, психических и социальных) представляет собой функционально обратимый процесс. Заболевания развиваются в студенческой популяции постепенно, как следствие длительных перенапряжений адаптационного механизма. Поэтому контроль за состоянием здоровья студентов должен быть направлен на выявление функциональных состояний, которые предшествуют заболеваниям, т.е. контроль должен быть донозологическим и прогностическим.

В этой связи представляют большой интерес исследование физиологических характеристик организма студентов во время их адаптации к учебному процессу, определение их адаптационных возможностей и на основании этих данных осуществление интегральной оценки их соматического здоровья. Особое значение это приобретает для студентов с нарушениями зрения, так как особенности их организма дополнительно усложняют адаптацию к специфическим факторам учебного процесса.

Важное место в исследованиях функционального состояния человека занимает поиск чувствительных скрининговых методов диагностики общего функционального состояния человека. Особый интерес представляет извлечение информации о физиологическом состоянии организма посредством выявления интегральных характеристик отдельных биологических сигналов с их последующей обработкой с помощью соответствующих алгоритмов. Эта возможность вытекает из представлений об информационном единстве внутриорганизменных связей, что дает основание использовать биологические сигналы для интегрального суждения не только о состоянии конкретного органа, являющегося источником данного сигнала, но и о состоянии организма как единого целого (Смирнов, Смирнов, 2001). Распространенным методом изучения механизмов регуляции физиологических функций организма человека является математический анализ вариабельности сердечного ритма (BCP), в ходе которого оцениваются его геометрические, статистические и спектральные характеристики.

В последнее время опубликованы результаты ряда исследований, посвященных проблемам оценки физиологической сложности биологических временных рядов и, в частности, сложности сердечного ритма. Наряду с традиционными подходами, основанными, в основном, на анализе статистических и спектральных показателей вариабельности RR-интервалов, значительный интерес представляет оценка физиологической сложности ритма с учетом ее мультимасштабной временной структуры. Метод мультимасштабного анализа энтропии (multiscale entropy method) в ряде случаев позволяет выявить различия между группами с различным функциональным состоянием (Costa et al., 2005, Гудков, Пенжоян, 2009), в то время как традиционные методы, основанные на вариационной пульсометрии, не обнаруживают различий между такими группами.

Сложность физиологических процессов, которые можно представить в виде временных рядов, например, в виде ряда RR-интервалов, может быть оценена путем вычисления значения их энтропии. Ряд исследований подтверждает информативность этого показателя в плане оценки физиологического состояния.

Энтропия временного ряда характеризует степень случайности (или, напротив, степень закономерности) последовательности чисел, составляющих ряд. В соответствии с этим принципом она должна быть максимальной для полностью некоррелированных случайных сигналов и минимальной для рядов, у которых случайность полностью отсутствует. Использование энтропии как меры сложности временного ряда было предложено в работах (Pincus, 1991, 1995), где было введено определение аппроксимативной энтропии (approximate entropy) ApEn. В (Richman, Moorman, 2000) была предложена еще одна, близкая к ApEn, энтропийная мера – выборочная энтропия (sample entropy, S_E). Ее преимуществом перед ApEn является меньшая зависимость от длины временного ряда и других параметров, определяющих величину энтропии. Обе величины, ApEn и S_E , определяют степень случайности (или, напротив, степень регулярности) временного ряда, однако прямой зависимости между упорядоченностью и сложностью нет (Feldman, Crutchfield, 1998). Увеличение энтропии часто, но не всегда связано с усложнением характера сигнала. Фактически энтропийные меры максимальны для случайных временных последовательностей и минимальны для регулярных

последовательностей, но оба эти крайних случая не имеют сложной структуры, и их физиологическая сложность мала. Как показали исследования (Goldberger et al., 2002), в применении к физиологическим процессам обе меры ApE_n и S_E демонстрируют более высокие значения для временных рядов, соответствующих патологическим процессам, и более низкое – для здоровых состояний. Однако временной ряд патологического процесса соответствует менее адаптированной системе, что, предположительно, ведет к уменьшению ее сложности. Одной из причин этого обстоятельства является использование одного временного масштаба (равного одному шагу) при вычислении этих мер. Следовательно, они не могут быть применимы к анализу явлений, имеющих в своей структуре масштаб, отличающийся от единицы. Для преодоления этого ограничения (Costa et al., 2002, 2005) предложен метод мультимасштабной энтропии. Его суть состоит в том, что исходный временной ряд u_1, u_2, \dots, u_N рассматривается в различных временных масштабах и для каждого из масштабов вычисляется значение S_E . Так, при временном масштабе 1 (один) ряд совпадает с исходным, а, например, при масштабе 3 ряд становится в три раза короче исходного: его первый член $u_1^{(3)}$ равен среднему арифметическому значений u_1, u_2, u_3 , второй член $u_2^{(3)}$ – среднему арифметическому u_4, u_5, u_6 и т.д. Количество масштабов τ выбирается таким образом, чтобы отношение N / τ не было слишком малым (например, в работе (Pincus, 1995) рекомендуется, чтобы оно не было меньше 75). Последующий анализ физиологической сложности ряда должен учитывать значения энтропии для всех выбранных масштабов.

Целью настоящего исследования являлась оценка эффективности применения мультимасштабного анализа энтропии сложности сердечного ритма при исследовании адаптационных возможностей и функциональных резервов организма студентов с различным состоянием здоровья.

Материалы и методы

В исследовании принимали участие 25 студентов с нарушениями зрения (слабовидящие студенты) и 15 условно здоровых студентов с нормальным зрением (контрольная группа).

Исследование ВСП проводили путем регистрации ЭКГ с помощью программно-аппаратного комплекса «Омега-М». Анализировался ряд показателей ВСП: ЧСС, индекс вегетативного равновесия (ИВР) и спектральные характеристики сердечного ритма (HF – мощность высокочастотного компонента, LF – мощность низкочастотного компонента, соотношение LF/HF, TP – мощность полного спектра частот). Для оценки адаптационных резервов студентов осуществляли выполнение функциональной пробы Мартине (ФП). Математический анализ ВСП осуществлялся с помощью программного пакета «Омега-М». В исследовании показателей энтропии использовались ряды кардиоинтервалов длиной 300 членов. Значения S_E вычислялись для временных масштабов от 1 до 6. Пороговое значение r выбиралось равным 0,2, что соответствует рекомендованному диапазону значений, длина серии $m = 2$. Значимость различий экспериментальных данных определяли с помощью критерия Вилкоксона и U-критерия Манна-Уитни.

Результаты и обсуждение

Проведенный сравнительный анализ с использованием критерия Манна-Уитни до и после выполнения ФП не выявил значимых отличий по всем исследуемым статистическим и спектральным показателям ВСП между контрольной группой и группой слабовидящих студентов.

Результаты исследований показателей ВСП с использованием парного критерия Вилкоксона в динамике выполнения ФП в каждой из обследуемых групп имели более выраженные отличия. У студентов с нормальным зрением после выполнения ФП в восстановительном периоде наблюдается возвращение к исходным значениям большинства исследуемых показателей (табл. 1).

Исключение составлял LF-компонент спектра, который значимо снижался на 30%, вызывая соответствующие изменения соотношения LF/HF. При этом отмечается тенденция к увеличению высокочастотной составляющей спектра.

После выполнения ФП слабовидящими студентами к концу восстановительного периода у них не отмечается восстановление ЧСС – ЧСС была значимо выше исходных значений на 3% (табл. 1). После выполнения ФП у слабовидящих студентов наблюдается повышение активности парасимпатического автономного контура регуляции – значимое повышение HF на 58%. При этом

значения LF практически не изменяются, что приводит к закономерному изменению симпатопарасимпатического баланса – LF/HF достоверно снижается на 42%.

Таблица 1.

Динамика показателей ВСР студентов с нормальным зрением и ослабленным зрением при выполнении функциональной пробы Мартине

Показатель	Контрольная группа студентов		Группа слабовидящих студентов	
	До ФП M ± m	После ФП M ± m	До ФП M ± m	После ФП M ± m
ЧСС, уд/мин	78,67 ± 2,004	80,87 ± 2,805	79,88 ± 1,76	82,08 ± 1,933*
ИВР, усл. ед.	103,62 ± 11,84	90,56 ± 10,13	118,63 ± 11,16	84,61 ± 8,978*
HF, мс ²	931,76 ± 251,86	1090,61 ± 160,57	893,94 ± 206,39	1415,01 ± 293,65*
LF, мс ²	1590,45 ± 263,18	1109,08 ± 123,83*	1499,47 ± 186,83	1500,69 ± 202,62
LF/HF	2,757 ± 0,52	1,589 ± 0,3682*	2,942 ± 0,3799	1,63 ± 0,1994*
TP, мс ²	3583,49 ± 486,24	3739,95 ± 319,36	3422,7 ± 439,51	5540,44 ± 738,22*

*различия статистически значимы по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$), относительно показателей до ФП.

Функциональная проба выступает в роли физиологического модулятора тонуса отделов ВНС, при этом у студентов с нормальным зрением наблюдаются типичная ответная реакция после физической нагрузки в восстановительном периоде – усиление парасимпатических влияний и ослабление симпатической активности ВНС. У слабовидящих студентов в этот период повышение активности парасимпатического звена ВНС не сопровождается изменениями симпатической активности, что отмечается по показателю LF/HF как определенное смещение вегетативного баланса в сторону более выраженных парасимпатических влияний. В то же время эти изменения вегетативного баланса не оказывают значимого влияния на динамику такого интегрального показателя сердечно-сосудистой системы, как ЧСС.

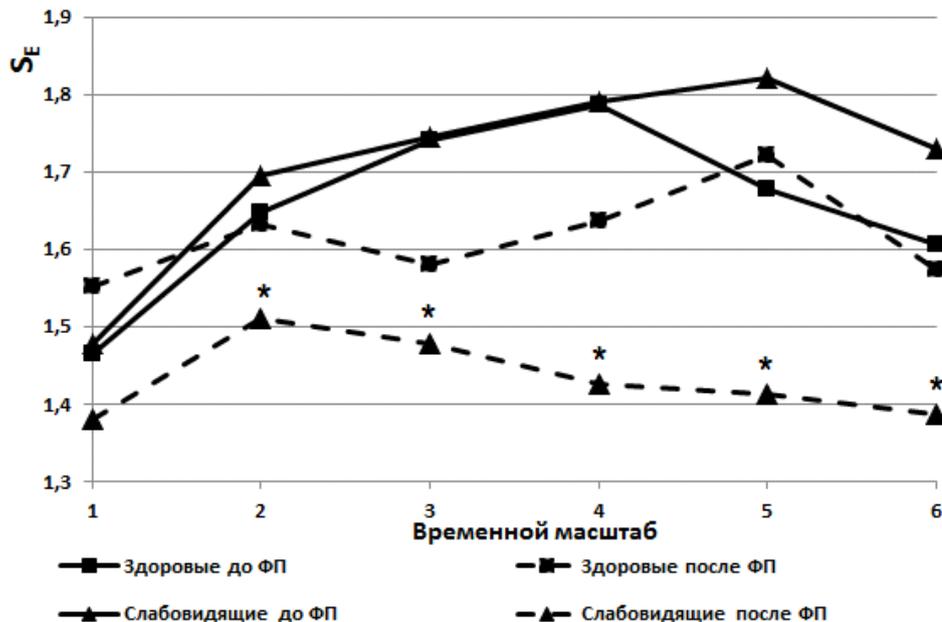


Рис. 1. Значения S_E для различных временных масштабов для контрольной группы и слабовидящих студентов до и после функциональной пробы

Таким образом, сравнительный анализ функционального состояния контрольной группы и

слабовидящих студентов как независимых выборок по критерию Манна-Уитни не выявил значимых отличий как до, так и после выполнения ФП. Сравнение динамики показателей ВСР при выполнении ФП в каждой из групп с использованием критерия Вилкоксона выявило информативные отличия в основном по спектральным показателям HF и LF, динамика которых может в определенной степени свидетельствовать о неадекватности вегетативного баланса у слабовидящих студентов после выполнения ФП и позволяет опосредованно сделать вывод о снижении адаптационных возможностей у студентов с нарушениями зрения.

Исследование сердечного ритма в данных группах с использованием мультимасштабного анализа энтропии проиллюстрированы на рис. 1 (средние по группе значения S_E для выбранных временных масштабов для контрольной группы и группы слабовидящих студентов до и после функциональной пробы).

В табл. 2 приведена описательная статистика и значимость различий S_E по парному критерию Вилкоксона для контрольной группы и группы слабовидящих студентов до и после ФП.

Таблица 2.
Статистика значений S_E и значимость различий до и после функциональной пробы по критерию Вилкоксона для контрольной группы и для группы слабовидящих студентов

Масштаб	Контрольная группа студентов		Группа слабовидящих студентов	
	До ФП M ± m	После ФП M ± m	До ФП M ± m	После ФП M ± m
1	1,466 ± 0,07098	1,551 ± 0,06492	1,478 ± 0,0378	1,38 ± 0,05629
2	1,647 ± 0,07579	1,631 ± 0,05547	1,695 ± 0,02767	1,51 ± 0,06065*
3	1,74 ± 0,1033	1,58 ± 0,04999	1,744 ± 0,0554	1,478 ± 0,07264*
4	1,786 ± 0,1157	1,637 ± 0,1015	1,79 ± 0,07352	1,427 ± 0,06489*
5	1,678 ± 0,1217	1,722 ± 0,06712	1,821 ± 0,09095	1,412 ± 0,08478*
6	1,606 ± 0,1543	1,573 ± 0,09836	1,729 ± 0,09205	1,387 ± 0,09558*

*различия статистически значимы по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$), относительно показателей до ФП.

В контрольной группе для всех временных масштабов статистически значимых отличий на уровне 0,05 критерий Вилкоксона не обнаруживает. У слабовидящих студентов, начиная с временного масштаба, равного двум, отличия величины энтропии становятся статистически значимыми. Рис. 1 наглядно демонстрирует это различие между группами студентов с нормальным зрением и слабовидящих: график уровня энтропии после пробы у слабовидящих для масштабов выше 1 расположен значительно ниже графика, соответствующего состоянию до ФП, в то время как для контрольной группы эти графики расположены достаточно близко.

Полученные результаты мультимасштабного анализа энтропии в обследуемых группах согласуются с концепцией о том, что наибольшая сложность сердечного ритма характерна для оптимального ритма сердца (Гудков, Пенжоян, 2009), что и находит свое отражение в динамике показателей у группы студентов с нормальным зрением, когда не отмечается значимых изменений в восстановительный период после физической нагрузки и сохраняется адекватная организация ритма, свидетельствующая о достаточных адаптационных резервах. В то же время у студентов с нарушениями зрения после ФП наблюдается значимый сдвиг уровня энтропии, выходящий за пределы физиологического диапазона. Динамика этого показателя свидетельствует об «атипичной» организации сердечного ритма после нагрузки и снижении адаптационных возможностей регуляторных систем. Эти выводы подтверждаются и приведенными выше данными, полученными в результате анализа ВСР традиционными методами – по статистическим и спектральным показателям вариабельности сердечного ритма, динамика которых свидетельствовала о неоптимальном симпатопарасимпатическом балансе в восстановительном периоде и снижении адаптационных резервов у слабовидящих студентов после ФП.

Полученные данные подтверждают выводы о том, что физиологическая сложность динамической организации сердечного ритма человека фундаментально связана с мощностью его адаптационных возможностей и является следствием мультимасштабной организации нормально

функционирующих регуляторных систем.

Выводы

Таким образом, исследование сердечного ритма у здоровых и слабовидящих студентов продемонстрировало адекватность и высокую информативность мультимасштабного анализа энтропии для оценки их адаптационных возможностей.

Анализ динамики статистических и спектральных показателей ВСР, а также данных мультимасштабного анализа энтропии сердечного ритма при выполнении функциональной пробы показал снижение адаптационных резервов у слабовидящих студентов.

Список литературы

- Гудков Г.В., Пенжоян М.А. Новые подходы к оценке патологической динамики вариабельности сердечного ритма плода для прогнозирования перинатальных исходов // Вестник новых медицинских технологий. – 2009. – Т.XVI, №3. – С. 191–193. /Gudkov G.V., Penzhoyan M.A. Novyye podkhody k otsenke patologicheskoy dinamiki variabel'nosti serdechnogo ritma ploda dlya prognozirovaniya perinatal'nykh iskhodov // Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. – 2009. – Т.XVI, №3. – С. 191–193./
- Смирнов К.Ю., Смирнов Ю.А. Разработка и исследование методов математического моделирования и анализа биоэлектрических сигналов. – СПб: Научно-исследов. лаборатория «Динамика», 2001. – 43с. /Smirnov K.Yu., Smirnov Yu.A. Razrabotka i issledovaniye metodov matematicheskogo modelirovaniya i analiza bioelektricheskikh signalov. – SPb: Nauchno-issledov. laboratoriya «Dinamika», 2001. – 43s./
- Costa M., Goldberger A.L., Peng C.K. Multiscale entropy analysis of complex physiologic time series // Physical Review Letters. – 2002. – Vol.89. – №6. – P.68102.
- Costa M., Goldberger A.L., Peng C.K. Multiscale entropy analysis of biological signals // Physical Review E. – 2005. – Vol.71. – №2. – P.021906.
- Feldman D.P., Crutchfield J.P. Measures of statistical complexity: Why? // Physics Letters A. – 1998. – Vol.238, № 4–5. – P. 244–252.
- Goldberger A.L., Peng C.K., Lipsitz L.A. What is physiologic complexity and how does it change with aging and disease? // Neurobiology of Aging. – 2002. – Vol.23, № 1. – P. 23–26.
- Pincus S.M. Approximate entropy as a measure of system complexity // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 1991. – Vol.88, №6. – P. 2297–2301.
- Pincus S. Approximate entropy (ApEn) as a complexity measure // Chaos. – 1995. – Vol.5, №1. – P. 110–117.
- Richman J.S., Moorman J.R. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy // American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology. – 2000. – Vol.278, №6. – H2039–H2049.

Представлено: Г.О.Семко / Presented by: G.O.Semko

Рецензент: Л.В.Шеремет / Reviewer: L.V.Sheremet

Подано до редакції / Received: 12.11.2012