

УДК 681.784.48+612.842.2

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ВАРИАЦИОННАЯ ПУПИЛЛОМЕТРИЯ В ОЦЕНКЕ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕАКТИВНОСТИ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ ТЕПЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА КИСТЬ РУКИ

Д.А. АЛЕКСАНДРОВ

*Учреждение образования «Белорусский государственный медицинский университет»
(Минск, Республика Беларусь)*

Аннотация. Сравнительный анализ результатов высокочастотной вариационной пупиллометрии (вариабельности размеров зрачка) и сердечного ритма при их синхронной регистрации позволил выявить определенные ограничения в возможности оценки тонуса структур автономной нервной системы, локализованных на уровне среднего мозга, а также надсегментарных уровней вегетативной регуляции по данным анализа вариабельности сердечного ритма. В условиях локального теплового воздействия выявлены сдвиги показателей вариабельности размеров зрачка и сердечного ритма, указывающие на противоположную направленность изменений тонуса центров автономной нервной системы, расположенных на различных уровнях центральной нервной системы. Одновременная оценка показателей изменения вариабельности размеров зрачка и сердечного ритма расширяет возможности для более полного и корректного заключения об участии автономной нервной системы в регуляции кровообращения и других висцеральных функций.

Ключевые слова: высокочастотная вариационная пупиллометрия, автономная нервная система, функциональные пробы, преобразование Фурье.

HIGH-FREQUENCY VARIATION PUPILLOMETRY IN THE ASSESSMENT OF AUTONOMIC REACTIVITY DURING LOCAL HEAT EXPOSURE TO THE HAND

DENNIS A. ALEXANDROV

*Educational Institution «Belarusian State Medical University»
(Minsk, Republic of Belarus)*

Abstract. The comparative analysis of the results of high-frequency variation pupillometry (pupil size variability) and heart rhythm at their synchronous registration allowed to reveal certain limitations in the possibility of estimating the tone of the autonomous nervous system structures localised at the level of the midbrain, as well as suprasedgmental levels of vegetative regulation according to the analysis of heart rhythm variability. Under conditions of local temperature exposure, shifts in the variability of pupil size and heart rate were revealed, indicating the opposite direction of changes in the tone of the centres of the autonomous nervous system located at different levels of the central nervous system. Simultaneous assessment of the pupil size variability and heart rate variability expands the possibilities for a more complete and correct conclusion about the participation of the autonomous nervous system in the regulation of blood circulation and other visceral functions.

Keywords: high-frequency variation pupillometry, autonomous nervous system, functional tests, Fourier transform.

Введение

Оценка радиуса зрачка и его изменения в динамике является одним из часто используемых методов исследования, применяемых в клинической практике. В последние годы, по мере развития систем цифровой видеосъемки и компьютерного анализа видеоизображений, возродился интерес к более тонкому анализу динамики и характера изменения размеров зрачка в различных условиях на основе данных, полученных с использованием чувствительных высокоскоростных видеокамер, поиску новых физиологических и клинических коррелят результатов динамической пупиллометрии, выполненной как в фотопических, так и в скотопических условиях, уточнению научных данных

о нейрофизиологических механизмах регуляции просвета зрачка в различных физиологических и патофизиологических состояниях. При этом предлагаются различные аппаратные и программные решения для фиксации, обработки и анализа изменения размеров зрачка в динамике [1-3]. Однако, как правило, в представленных работах характеристика зрачковых реакций была сосредоточена на средних величинах изменения диаметра зрачка во времени и практически отсутствуют исследования, посвященные выявлению тонких изменений размеров зрачка во времени с их математическим анализом.

Цель работы: охарактеризовать динамику изменения размеров зрачка у молодых практически здоровых лиц и ее связь с показателями вариабельности сердечного ритма при выполнении функциональных температурных проб.

Методика проведения исследования

Обследовано 33 молодых здоровых человека (9 юношей, 24 девушки; возраст испытуемых составлял от 19 до 23 лет). Исследование проводилось в скотопических условиях в состоянии физического и психоэмоционального покоя исследуемых лиц. Исследование изменений размера зрачка проводилось в 2 этапа с 15-минутными интервалами между ними: без локального температурного воздействия (ЛТВ), контроль; на фоне погружения кисти левой руки в теплую воду, $t = 41^{\circ}\text{C}$, время экспозиции 4 мин. Изменения размера зрачка регистрировали при помощи цифровой видеокамеры с разрешением 640×480 пикселей с использованием целевой лампы ЩЛ-2Б (объектив x8, окуляр x8) с инфракрасной подсветкой в течение 30 с в конце каждого из этапов. Видеофайл разбивали на кадры и анализировали вертикальный радиус зрачка (PЗ) в мм с шагом 100 мс. Гармонический анализ полученного колебания проводился методом быстрого преобразования Фурье в пакете прикладных программ Matlab 5.0 [9].

Для определения положения центра и PЗ было разработано программное средство для автоматической обработки видеоизображений, которые бы позволили точно и максимально быстро измерять положение центра и PЗ (Гурский И.С. под руководством проф. Кубарко А.И.). Поскольку форма зрачка у подавляющего большинства людей достаточно точно описывается эллипсом, поиск велся в направлении методов обнаружения и измерения эллипса. Наилучших результатов удалось добиться, применяя алгоритм преобразования Хафа (Generalized Hough Transform — GHT) с некоторыми усовершенствованиями, позволяющими увеличить точность результатов и на порядки увеличить скорость обработки видеоизображений [2].

Изучение реактивности АНС в условиях ЛТВ проводилось с использованием анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР) по Баяевскому с использованием программы Бриз-М (ИМО Интеркард, Республика Беларусь).

Полученные данные представлены в виде $Me (Q_{25}; Q_{75})$. Статистический анализ полученных данных выполнялся с использованием пакета прикладных программ Statistica 10.0 (Statsoft, USA). Анализ полученных данных выполнялся с использованием непараметрических критериев (критерий Вилкоксона, коэффициент ранговой корреляции Спирмена). Различия считались статистически значимыми при вероятности ошибки I рода $< 5\%$ ($p < 0,05$).

Результаты и их обсуждение

Измерение естественного PЗ в скотопических условиях после 10-минутной темновой адаптации по результатам автоматической обработки видеоизображения показало, что его радиус составляет $3,47 \pm 0,4$ мм. Радиус адаптированного к темноте зрачка, полученный по результатам ручного измерения его изображения, составил $3,52 \pm 0,28$ мм ($p > 0,05$). При исследовании зрачка испытуемых в состоянии покоя и скотопических условиях оказалось, что его размер у большинства исследованных здоровых молодых людей варьировал с частотой от 0,17 до 0,52 Гц ($0,28 \pm 0,11$ Гц), практически совпадая с диапазоном HF части спектра ВСР. Средняя продолжительность одного цикла при этом составила $3,6 \pm 0,9$ с. При этом в условиях ЛТВ было выявлено уменьшение PЗ с 2,26 мм (1,92;2,47) до 2,14 мм (1,82;2,42) ($p < 0,05$), хорошо коррелирующее с признаками снижения тонуса сегментарных центров симпатического и повышения — парасимпатического отдела АНС: по данным кардиоинтервалограммы показатель LF повысился с 46,8% (42,2;51,4) до 48,5% (43,5;51,2) ($p < 0,05$), а HF уменьшился с 30,8% (29,5;35,9) до 30,2% (27,2;34,3) ($p < 0,05$).

При этом по результатам анализа данных, полученных в результате применения быстрого преобразования Фурье, выявлялись весьма значительные индивидуальные различия в динамике изменения РЗ при локальном температурном воздействии, во многом зависящие от исходного тонуса АНС, что проявилось в неодинаковом распределении мощности спектра частот, амплитуды и фазы колебаний, формировании плавнорастающей, ступенчатой или волнообразной картины автокорреляционной функции.

Анализ степени связи между величиной РЗ и показателями ВСР с использованием коэффициента корреляции Спирмена представлен в таблице 1.

Таблица 1. Корреляционные связи между РЗ и показателями variability сердечного ритма

Этап исследования	SDNN, мс	LF, %	HF, %	LF/HF	VLF, %
Контроль	-0,16	-0,14	0,03	-0,08	0,02
Тепловое воздействие	-0,12	-0,13	-0,20	0,04	0,38*

Примечание. * – Оценка силы корреляционной связи достоверна ($p < 0,05$).

При сравнении полученных данных на контрольном этапе исследования и на фоне локального теплового воздействия выявлялась значимая умеренной силы корреляционная связь между РЗ и показателем VLF ($r = 0,38$). Эти результаты согласуются с данными Р.М. Баевского с соавт. о том, что мощность спектра VLF кардиоритмограммы характеризует систему сложных влияний со стороны надсегментарного уровня регуляции висцеральных функций и подтверждают полученные нами ранее на меньшей группе испытуемых (15 человек) данные о возможности установления в условиях температурной нагрузки более тесных функциональных связей между центрами АНС, регулирующими висцеральные функции [1].

Заключение

Сравнительный анализ variability размеров зрачка и сердечного ритма при их синхронной регистрации позволил выявить определенные ограничения в возможности оценки тонуса структур автономной нервной системы, локализованных на уровне среднего мозга, а также надсегментарных уровней вегетативной регуляции по данным анализа variability сердечного ритма. В условиях локального теплового воздействия наблюдаются разнонаправленные изменения тонуса центров автономной нервной системы, расположенных на различных уровнях центральной нервной системы. Одновременная оценка показателей изменения variability размеров зрачка и сердечного ритма расширяет возможности для более полного и корректного заключения об участии автономной нервной системы в регуляции кровообращения и других висцеральных функций.

Список литературы

1. Оценка участия автономной нервной системы в регуляции висцеральных функций по данным variability размеров зрачка / А.И. Кубарко, И.С. Гурский, Д.А. Александров [и др.] // Проблемы регуляции висцеральных функций : сб. науч. ст. в 2 кн. Кн. 2. Минск. 2008. С. 99-103.
2. Viglione A. From pupil to the brain: New insights for studying cortical plasticity through pupillometry. A. Viglione, R. Mazziotti, T. Pizzorusso // Front. Neural Circuits. 2023. No 17. Art. 1151847. DOI: 10.3389/fncir.2023.1151847.
3. Pupillometry and autonomic nervous system responses to cognitive load and false feedback: an unsupervised machine learning approach / E.I. Alshanskaia, G.V. Portnova, K. Liukovich, O.V. Martynova // Front. Neurosci. 2024. No 18. Art. 1445697. DOI: 10.3389/fnins.2024.1445697.