



НОРМИРОВАННАЯ ЭНТРОПИЯ В ОЦЕНКЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕАКЦИЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ НА СТРЕССОРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ У ОСОБЕЙ РАЗНОГО ПОЛА

Т.Г. Анищенко, Н.Б. Игошева, О.Н. Хохлова

В опытах на людях и животных исследовали особенности реакций сердечно-сосудистой системы на разнообразные стрессорные воздействия в зависимости от пола испытуемых с использованием физиологических параметров, частоты сердечных сокращений, кровяного давления, а также нового критерия – нормированной энтропии, характеризующей вариабельность электрической активности сердца и кровяного давления. Результаты опытов показали, что кардиоваскулярная реактивность зависит от вида стресса и пола испытуемых. Значения нормированной энтропии при стрессах и после их отмены могли как увеличиваться, так и уменьшаться. Изменения вариабельности электрической активности сердца и кровяного давления были более выраженными и длительными, чем изменения традиционных параметров. Было показано, что нормированная энтропия является более чувствительным маркером половых и индивидуальных особенностей кардиоваскулярной стресс-реактивности. Результаты свидетельствуют о перспективности использования нового критерия как показателя вариабельности электрической активности сердца и кровяного давления у женских и мужских особей.

Введение

Жизнь современного человека перенасыщена стрессорными ситуациями, что часто приводит к срывам механизмов адаптации, проявляющимся в росте числа «болезней цивилизации», среди которых лидируют сердечно-сосудистые заболевания. Чрезвычайно важным является тот факт, что мужчины более, чем женщины, подвержены заболеваниям сердечно-сосудистой системы [1], что привело к резкому увеличению смертности мужчин и уменьшению продолжительности их жизни.

В этой связи особую актуальность приобретает проблема исследования половых особенностей реакций сердечно-сосудистой системы (ССС) на разнообразные стрессорные воздействия.

Классическими количественными характеристиками функциональной активности ССС являются частота сердечных сокращений (ЧСС), систолическое (САД) и диастолическое давление (ДАД) и электрокардиограмма (ЭКГ), отражающая электрическую активность сердца. В последние годы, благодаря развитию нелинейной динамики, формируются новые количественные характеристики и критерии, которые все чаще применяются при исследовании функциональной активности ССС. В основу положены представления о функциональных системах живого организма как об открытых диссипативных

динамических системах, подверженных внутренним и внешним влияниям. На основе такого подхода установлено, в частности, что сигналы ЭКГ можно трактовать как режим динамического хаоса [2–4]. Это представление позволяет существенно расширить спектр количественных критериев для диагностики режимов функционирования ССС, используя совокупность характеристик для диагностики хаоса. Так, например, в работах [5,6] с помощью измерительно-вычислительного комплекса продемонстрирована возможность получения ряда динамических и статистических характеристик сигналов ЭКГ и кровяного давления с позиций современной теории колебаний. Авторы убедительно показали, что наиболее чувствительным индикатором изменений в электрической активности сердца и кровяного давления является энтропия, нормированная на среднюю энергию системы. Этот показатель получил название нормированной энтропии E/N [7]. В наших совместных исследованиях этот вывод был подтвержден и дополнительно обоснована высокая чувствительность и информативность E/N сигнала ЭКГ как нового критерия оценки реакций ССС на стрессорные воздействия [8–10].

Целью настоящих исследований явилось изучение половых особенностей реакций ССС на разнообразные стрессорные воздействия с использованием нового критерия – нормированной энтропии и традиционных показателей – кровяного давления и частоты сердечных сокращений.

1. Материалы и методы

В первой серии опытов на 15 здоровых юношах и 21 девушке из числа студентов исследовали влияние шумового воздействия на состояние ССС. Все испытуемые подвергались действию шума при прослушивании с помощью наушников записи программы для персонального компьютера в течение 4 минут. Запись ЭКГ в первом отведении проводилась в исходном состоянии, через 1 минуту после включения шума, через 1, 3, 6 минут после его отключения. САД и ДАД измерялось по методу Короткова сразу после окончания ввода в ЭВМ соответствующих кардиограмм. Значения ЧСС определялись по спектру анализируемой реализации.

Вторая группа испытуемых из 36 юношей и 54 девушек была сформирована для изучения влияния ментального стресса на ССС. Испытуемые должны были в уме в условиях дефицита времени произвести арифметические подсчеты в виде вычитания, а затем умножения различных цифровых комплексов. Задания были отделены друг от друга восстановительным периодом. Значения САД и ДАД регистрировались до, во время и после выполнения задания.

В третьей серии опытов исследовали реакции ССС на ментальный стресс в условиях шума. Испытуемые в количестве 25 юношей и 27 девушек решали в уме одну арифметическую задачу на фоне описанного выше шумового воздействия.

В четвертой серии опытов на 23 юношах и 26 девушках исследовали реакции ССС на экзаменационный стресс. Измерение всех показателей проводили во время ознакомления испытуемых с вопросами экзаменационного билета, сразу после сдачи экзамена и через 30–40 минут после окончания экзамена.

В следующей серии опытов изучали влияние эмоционально-болевого стресса на ССС самок и самцов белых крыс. Стресс у животных вызывали привязыванием их к дощечке на 60 минут. За день до эксперимента животным под наркозом имплантировали катетер в сонную артерию. В день эксперимента внешний конец катетера через систему заполненных физиологическим раствором катетеров соединялся с электроманометром. Среднее артериальное давление (ср.АД) регистрировали у животных до стресса, каждые 5–10 минут после привязывания и каждые 10–20 минут после отвязывания.

Для исследования степени хаотичности сигналов ЭКГ у людей и кровяного давления у крыс использовали измерительно-вычислительный комплекс, описанный в [5.6]. Кратко структуру этого комплекса можно охарактеризовать

следующим образом: электрокардиограф снимает с помощью электродов в 1 отведении кардиосигнал, который усиливается линейным широкополосным усилителем и с помощью 10-разрядного АЦП вводится в ЭВМ типа IBM PC/AT. У крыс регистрация кровяного давления осуществлялась прямым способом с помощью электроманометра. Получаемые сигналы также усиливались и вводились с помощью вышеуказанного АЦП в компьютер. Полученные реализации обрабатывались программным комплексом «Observe».

Полученные результаты подвергались статистической обработке с использованием параметрических и непараметрических критериев для сопряженных и несопряженных выборок.

2. Результаты опытов

Использование разнообразных по силе и длительности стрессорных воздействий в опытах на юношах и девушках дает возможность провести сравнительный анализ информативности физиологических показателей и показателя нормированной энтропии как индикаторов состояния ССС в условиях психоэмоционального напряжения у лиц разного пола. Рассмотрим, как изменяются ЧСС, величина САД и ДАД, а также показатели E/H , характеризующие хаотичность аттрактора ЭКГ, при стрессах возрастающей интенсивности и длительности у юношей и девушек.

2.1. Кардиоваскулярные реакции у юношей и девушек при шумовом стрессе. Шумовое воздействие продолжительностью 4 минуты можно считать пассивным стрессом, в отличие от всех других использованных воздействий, поскольку в этом случае испытуемый не может повлиять на ход событий и не проявляет активных действий [11]. Кроме того, ответом на шумовое воздействие является слабый стресс, поскольку ни у девушек, ни у юношей не отмечалось каких-либо существенных изменений в ЧСС, у 14% девушек и 47% юношей не наблюдалось сдвигов и в уровне кровяного давления. Слабые гипертензивные реакции со стороны САД наблюдались у 24% девушек и 20% юношей. И, наконец, у 62% девушек и 33% юношей отмечалось незначительное (на 7–10%) кратковременное снижение САД в первую минуту стресса. Таким образом, при шумовом стрессе у большинства девушек отмечались гипотензивные реакции, в то время как у большинства юношей давление существенно не изменялось (рис.1). Важно отметить, что в состоянии покоя у девушек по сравнению с юношами были выше значения ЧСС, но ниже уровни САД и ДАД.

При отсутствии изменений в ЧСС на фоне нестабильных, слабых и

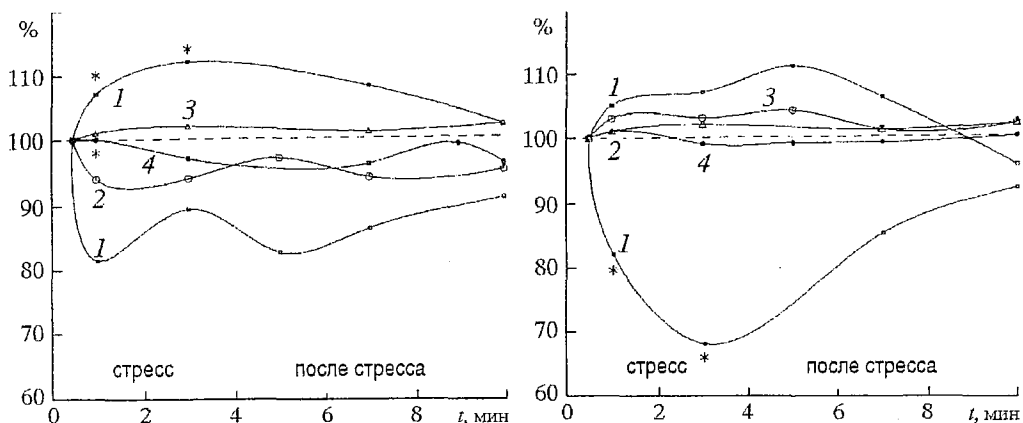


Рис. 1. Изменения E/H при шумовом стрессе сигнала ЭКГ (1), САД (2), ДАД (4) и ЧСС (3) у девушек (а) и юношей (б). Здесь и далее точки, отмеченные символом «*», определены с уровнем достоверности в интервале $0.001 \div 0.05$ по отношению к исходному уровню

кратковременных гипотензивных и гипертензивных реакций, изменения в E/H носили более выраженный по силе и длительности характер, проявлялись у всех испытуемых и зависели от пола. Так, увеличение E/H на 10% отмечалось у 79% девушек и лишь у 13% юношей. Соответственно, снижение этого показателя наблюдалось у 21% девушек и у 87% юношей, для которых оно составило 30%. Таким образом, при шумовом стрессе у большинства девушек отмечалось увеличение, а у большинства юношей снижение E/H . При этом к 6 минуте после окончания стресса у большинства девушек показатели E/H нормализовались, в то время как у юношей оставались пониженными.

Следовательно, при слабом шумовом стрессе наиболее чувствительным показателем кардиоваскулярной реактивности является E/H , отразившая изменение степени хаотичности сигнала ЭКГ при стрессе как в сторону ее увеличения, так и в сторону снижения. При этом девушки чаще, чем юноши, демонстрировали увеличение степени хаотичности сигнала ЭКГ, у них чаще наблюдались гипотензивные ответы на стресс, а исходные уровни давления, несмотря на повышенную ЧСС, были ниже, чем у юношей.

2.2. Кардиоваскулярные реакции у юношей и девушек при ментальном стрессе. Решение в уме арифметических задач в условиях дефицита времени является активным стрессом, включающим умственную деятельность испытуемого. Данное стрессорное воздействие в отличие от предыдущего сопровождалось типичными стрессорными реакциями по показателям ЧСС и давления (рис. 2). У испытуемых наблюдалось значительное увеличение ЧСС при решении как первой, так и второй задачи. При этом у девушек базальные значения ЧСС, а также степень ее увеличения при стрессе были выше, чем у юношей. Так, у девушек при выполнении первого и второго задания ЧСС возрастала, соответственно, на 30 и 29%, а у юношей – на 12 и 23%.

У подавляющего большинства юношей и девушек умственное напряжение сопровождалось повышением САД и ДАД. При этом, несмотря на более существенное увеличение ЧСС, у девушек интенсивность гипертензивных ответов была такой же, как у юношей, составляя 12–14% для САД и 12–18% для ДАД. Следует отметить, что число испытуемых, реагирующих повышением давления на ментальный стресс, у девушек было несколько ниже, чем у юношей. Так, повышение САД отмечалось у 80% девушек и у 86% юношей. Повышение ДАД – у 76% девушек и 81% юношей. Повышенные уровни кровяного давления, как и ЧСС, сохранялись у испытуемых в течение 3–4 минут после выполнения первого задания и 1–2 минуты после выполнения второго.

При данном стрессе на фоне увеличения ЧСС и кровяного давления как у юношей, так и у девушек отмечалось два типа реакций со стороны E/H . Снижение

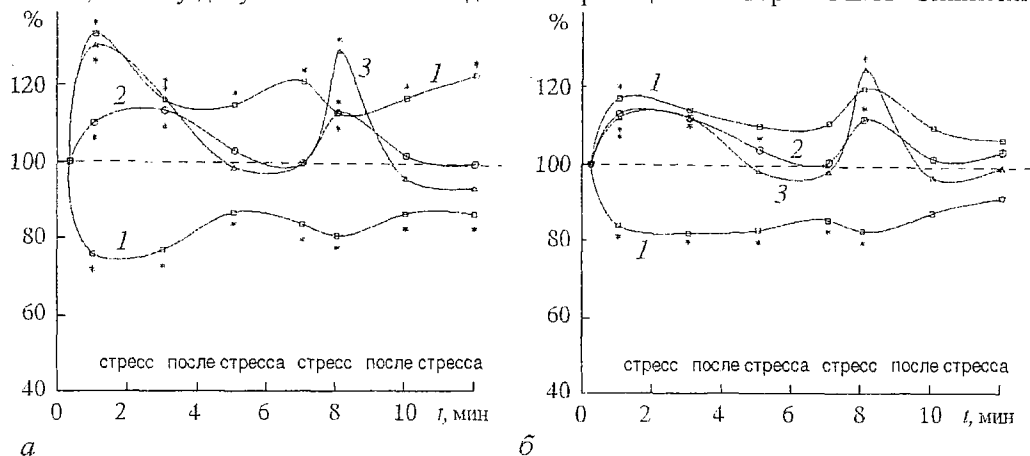


Рис. 2. Изменения E/H (1) сигнала ЭКГ, САД (2) и ЧСС (3) у девушек (а) и юношей (б) при умственном стрессе

E/H при выполнении первого и второго задания регистрировалось у 65% девушек и 46% юношей. При этом максимальное снижение этого показателя составляло 25% у девушек и 18% у юношей. Увеличение E/H при стрессах наблюдалось в среднем у 30% девушек и 36% юношей. Максимальное увеличение E/H составляло 33% у девушек и 20% у юношей.

В восстановительные периоды не наблюдалось нормализации значений E/H , в отличие от ЧСС и кровяного давления, однако в эти периоды число испытуемых с повышенными значениями E/H возрастало вдвое. При этом, как и в периоды стресса, у девушек значения E/H были выше, чем у юношей.

Таким образом, ментальный стресс, в отличие от шумового, вызывал увеличение ЧСС и кровяного давления. Изменения E/H , как и при шумовом стрессе, отражали возможность как усиления, так и подавления степени хаотичности сигнала ЭКГ, более выраженных у девушек, чем у юношей. Для восстановительного периода характерна не нормализация E/H , а увеличение процента испытуемых с повышенными значениями этого показателя. Степень повышения хаотичности аттрактора ЭКГ у девушек была выше, чем у юношей, как при стрессах, так и в периоды релаксации. Кроме того, гипертензивные реакции у девушек, несмотря на более высокие у них базальные и стрессорные уровни ЧСС, по амплитуде не превышали гипертензивные реакции у юношей и проявлялись у меньшего числа испытуемых.

2.3. Кардиоваскулярные реакции у юношей и девушек при ментальном стрессе на фоне шума. Можно предположить, что шумовой фон затрудняет решение в уме арифметических задач, что должно привести к более высокому уровню эмоционального напряжения. Однако увеличение ЧСС при данном стрессе было примерно таким же, как при одном ментальном стрессе, составляя у девушек 25, а у юношей 20% (рис.3). Повышенные значения ЧСС сохранялись, как и в предыдущем опыте, в течение 3–4 минут. Следует отметить, что в данной серии экспериментов базальные и стрессорные значения ЧСС у девушек были ниже, чем у юношей.

Интенсивность увеличения САД и ДАД, примерно одинаковая у юношей и девушек (13–14%), также не отличалась от данных показателей в предыдущем опыте. Однако при этом стрессе число девушек, реагирующих повышением САД, возросло до 96% против 80, характерных для ментального стресса без шумового фона. Кроме того, нормализация повышенных уровней ДАД при данном стрессе задерживалась по сравнению с предыдущим стрессом. Существенно то, что базальные и стрессорные уровни САД и ДАД в этой серии у девушек были ниже, чем у юношей. Более того, у девушек, по сравнению с юношами, быстрее происходила нормализация уровней давления после стресса.

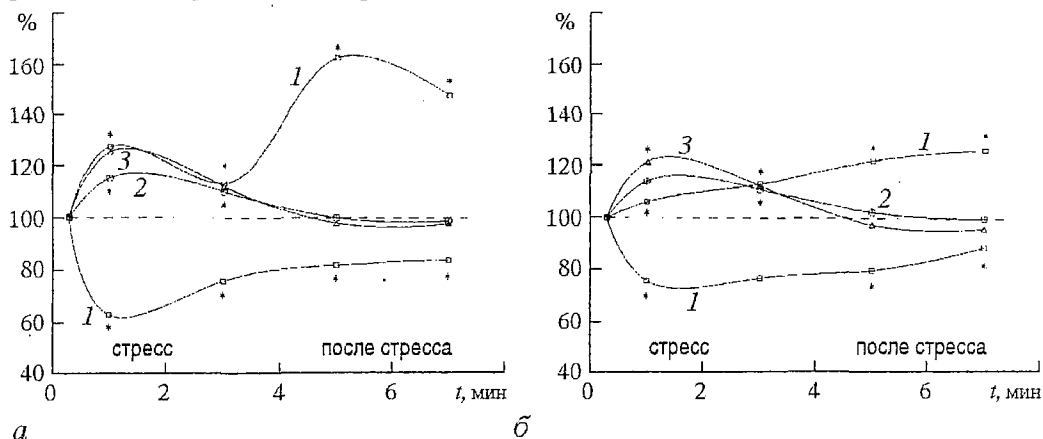


Рис. 3. Изменения E/H (1) сигнала ЭКГ, САД (2) и ЧСС (3) у девушек (а) и юношей (б) при умственном стрессе на фоне шума

Таким образом, показатели кровяного давления более чувствительны к добавлению шума при решении арифметических задач, нежели показатели ЧСС. Это проявилось в более длительных процессах нормализации ДАД как у юношей, так и у девушек, а также в увеличении числа девушек, реагирующих на стресс повышением САД.

Изменения E/H , как и в предыдущих опытах, были разнонаправленны и более длительны по сравнению с традиционными параметрами. При этом E/H снижалась в большей степени и у большего числа испытуемых по сравнению с предыдущим опытом. Так, у 71% девушек и 59% юношей E/H уменьшалась, соответственно, на 40 и 26%. В то же время увеличение E/H было менее выраженным и проявлялось у меньшего числа юношей и девушек по сравнению с предыдущим опытом (на 27% у 19% девушек и всего на 7% у 27% юношей).

В восстановительном периоде, по сравнению со временем действия шума, как и в предыдущем опыте, примерно в 2 раза возрастал процент испытуемых с повышенными значениями E/H . Кроме того, в данном опыте в отличие от предыдущего, прекращение стресса сопровождалось дальнейшим увеличением E/H . Это увеличение через 4 минуты после окончания стресса достигало 62% у девушек и 25% у юношей.

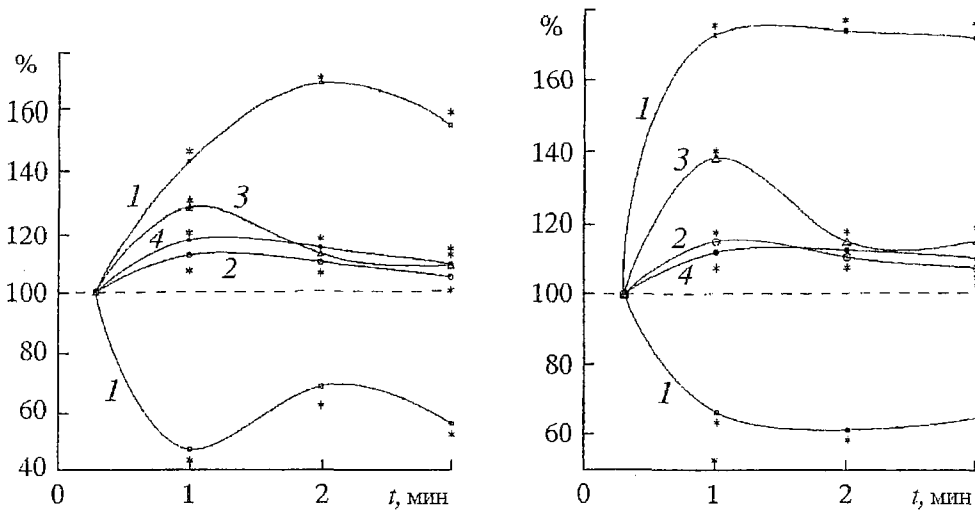
Таким образом, добавление шума не изменяло реакции ССС на ментальный стресс по показаниям ЧСС, но усилило эти реакции по показаниям кровяного давления и в большей степени по показаниям E/H . При этом, как и в предыдущих опытах, изменения степени хаотичности ЭКГ были разнонаправленны и более выражены у девушек по сравнению с юношами. Восстановительный период характеризовался дальнейшим увеличением E/H и ростом числа испытуемых с повышенными значениями данного показателя. Как и в предыдущем опыте, увеличение степени хаотичности ЭКГ как при стрессе, так и в период релаксации у девушек было выше, чем у юношей. Наряду с этим базальные и стрессорные значения ЧСС, САД и ДАД у девушек были ниже, чем у юношей.

2.4. Кардиоваскулярные реакции у юношей и девушек при экзаменационном стрессе. Продолжительность этого стресса была достаточно велика, поскольку эмоциональное напряжение, безусловно, имело место в течение нескольких часов, предшествовавших экзамену. С учетом этого обстоятельства контрольные измерения ЧСС, давления и E/H проводили спустя несколько недель после экзаменационной сессии.

Изменения ЧСС, САД и ДАД были максимальными в период знакомства испытуемых с экзаменационным билетом (рис. 4). Так, ЧСС возрастала у девушек и юношей на этой стадии на 27 и 36%, соответственно. Сразу после сдачи экзамена наблюдалось снижение ЧСС более, чем в 2 раза по сравнению с максимальными значениями, однако и через 40 минут после окончания экзамена значения ЧСС оставались выше нормы как у девушек, так и у юношей. Отметим, что у юношей увеличение ЧСС на первой стадии стресса было более значительным, чем у девушек, а процессы нормализации ЧСС протекали медленнее. При этом максимальная степень увеличения ЧСС у девушек при данном стрессе была примерно такой же, как и при коротких стрессах, а у юношей значительно выше. Вследствие этого, на всех этапах стресса значения ЧСС у девушек были ниже, чем у юношей.

Увеличения САД и ДАД по интенсивности были примерно такими же, как при кратковременных стрессах, составляя 12–14% для САД и 11–17% для ДАД в период знакомства студентов с экзаменационным билетом. Сразу после сдачи экзамена уровень давления несколько снижался, однако и через 40 минут после экзамена не наблюдалось окончательной нормализации этих показателей. Отметим, что и в данной серии опытов базальные и стрессорные уровни САД и ДАД у девушек были ниже, чем у юношей.

Таким образом, экзаменационный стресс, по сравнению с предыдущими, вызывал более длительные, а у юношей и более существенные увеличения ЧСС, что сопровождалось более продолжительными гипертензивными реакциями.



а

б

Рис. 4. Изменения E/N (1) сигнала ЭКГ, САД (2), ДАД (4) и ЧСС (3) у девушек (а) и юношей (б) при экзаменационном стрессе. По оси абсцисс – периоды экзаменационного стресса: 1 – при ознакомлении с экзаменационным билетом; 2 – сразу после сдачи экзамена; 3 – через 30–40 минут после сдачи экзамена

Наиболее сильно при данном стрессе изменялась степень хаотичности сигнала ЭКГ. Как и в предыдущих опытах, наблюдалось два типа реакции со стороны этого показателя, однако эти изменения были более выраженными по амплитуде и длительности. Так, при взятии экзаменационного билета и сразу после экзамена примерно у половины девушек и юношей E/N снижалась, соответственно, на 53%, 32% у девушек и 32%, 38% у юношей. У другой половины девушек и юношей величина E/N на этих этапах стресса повышалась, соответственно, на 43%, 68% и 69%, 70%. Повышенные и пониженные уровни E/N сохранялись и через 40 минут после окончания экзамена. В отличие от кратковременных стрессов, окончание экзаменационного стресса не приводило к увеличению числа испытуемых с повышенными значениями E/N , что указывает на более высокую степень эмоционального напряжения в данной ситуации. При этом, в целом, на разных этапах исследования у девушек чаще, чем у юношей, наблюдалось повышение E/N , что сочеталось с более низкими у девушек стрессорными значениями ЧСС, а также более низкими базальными и стрессорными уровнями САД и ДАД.

Таким образом, самый продолжительный, экзаменационный стресс сопровождался наиболее длительными изменениями ЧСС, САД и ДАД и наиболее выраженными и продолжительными изменениями степени хаотичности электрической активности сердца. При этом индуцированные стрессом изменения E/N были разнонаправленны, более выражены по амплитуде и более устойчивы по сравнению с традиционными показателями и различались у юношей и девушек.

2.5. Кардиоваскулярные реакции самок и самцов белых крыс при эмоциональном стрессе. Рассмотрим, как изменяются показатели ЧСС, ср. АД и нормированной энтропии сигнала кровяного давления у крыс обоего пола при 60-минутном стрессе (рис.5). Как у самок, так и у самцов ЧСС существенно возрастала с первой минуты стресса, оставаясь примерно на таком уровне до его окончания. Однако у самок при более высоких исходных значениях ЧСС амплитуда ее увеличения была ниже, чем у самцов (35% против 51). Прекращение стрессорного воздействия (отвязывание животных) вызывало резкое снижение ЧСС как у самок, так и у самцов. Однако, если у самок это снижение приводило к нормализации ЧСС через 40 минут, то у самцов ЧСС оставалась повышенной и через 60 минут после стресса. Таким образом, у самок при стрессе ЧСС возрастала в меньшей степени и нормализовалась быстрее, чем у самцов.

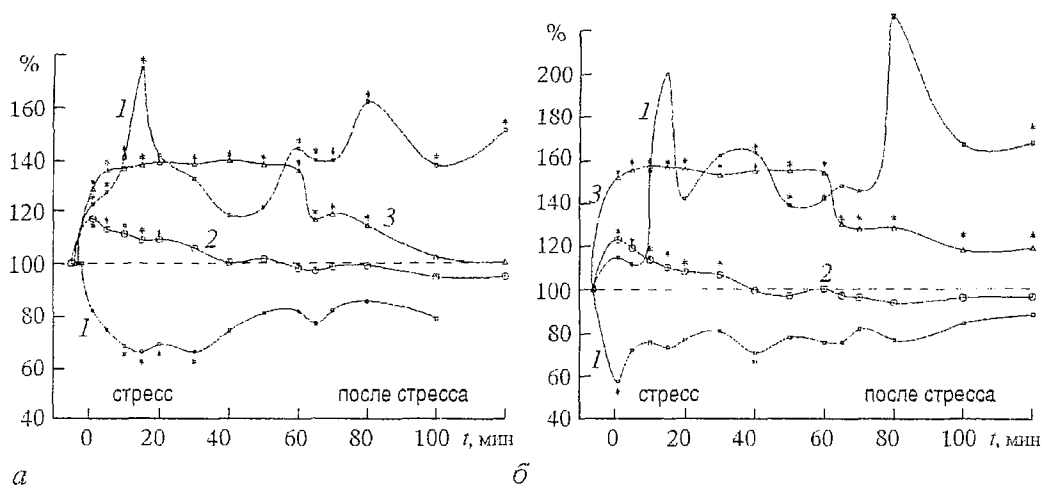


Рис. 5. Изменения E/N сигнала кровяного давления (1), ср. АД (2) и ЧСС (3) у самок (а) и самцов (б) белых крыс

Изменения ср. АД у крыс были не столь продолжительны, как изменения ЧСС. Действительно, максимальное увеличение этого показателя, достигающее 16% у самок и 21% у самцов наблюдалось на первой минуте стресса, а затем давление начинало снижаться, достигая базальных значений к 40 минуте стресса. До окончания стресса и на протяжении 60 минут после его отмены отмечались слабые гипотензивные реакции. Эти факты можно расценить как развитие у животных компенсаторных реакций в виде снижения общего периферического сопротивления, приводящего к снижению давления, несмотря на повышенную ЧСС. Важно отметить, что базальные и стрессорные уровни давления у самок были ниже, чем у самцов.

Изменения нормированной энтропии сигнала кровяного давления на всех этапах стресса и постстрессорного периода были разнонаправленными. При этом в восстановительном периоде также отмечалось увеличение числа особей с возрастающей E/N . Различия в динамике E/N в зависимости от пола особей наблюдались наиболее ярко в первые 10 минут стресса, когда реакции по показателям ЧСС и ср. АД были максимальны, а также в восстановительном периоде. Так, к 1, 5 и 10 минуте стресса число особей с уменьшенной E/N составляло у самок 58, 58 и 67%, соответственно, а у самцов – 80, 79 и 80%. Соответственно, число особей с увеличенной E/N у самок было в 1.5–2 раза выше, чем у самцов. К 40 и 60 минутам восстановительного периода число особей с увеличенной E/N у самок достигало 75 и 100%, в то время как у самцов – 50 и 80%. Максимальное снижение E/N у самок и самцов составляло в период стресса 34 и 43%, соответственно, в постстрессовом периоде 23 и 25%. Максимальное увеличение E/N у самок и самцов в период стресса составляло, соответственно, 75 и 99%, а после его отмены 62 и 124%.

Сравнение полученных результатов показывает, что E/N снижается в наибольшей степени и у большего числа особей при стрессе в фазе гипертензивных реакций, на фоне значительного увеличения ЧСС. И, напротив, E/N увеличивается у большего числа особей в восстановительном периоде на фоне гипотензивных реакций и нормализации ЧСС. Анализ выявил высокую степень корреляции между изменениями в E/N и изменениями в ЧСС и давлении. Как и в предыдущих опытах, изменения степени хаотичности сигнала кровяного давления были более продолжительными, чем изменения традиционных показателей.

Таким образом, при эмоционально-болевым стрессе, а также в восстановительном периоде, самки чаще, чем самцы демонстрировали повышение степени хаотичности сигнала кровяного давления, что сочеталось с менее значительным увеличением ЧСС у них и более низкими базальными и стрессорными уровнями кровяного давления.

Обсуждение результатов

Изучение реакций ССС на разнообразные стрессорные воздействия у мужских и женских особей с использованием традиционных физиологических показателей и нового критерия – нормированной энтропии сигналов ЭКГ (опыты на людях) и сигналов кровяного давления (опыты на крысах) позволило выявить ряд интересных закономерностей. Результаты исследований на людях свидетельствуют о том, что реактивность ССС определяется природой стресса. Так, слабый и кратковременный шумовой стресс, не влияя на ЧСС, сопровождался нестабильными, слабыми и кратковременными изменениями САД. Более сильные стрессы – ментальный, ментальный на фоне шума, экзаменационный – приводили к увеличению как ЧСС, так и артериального давления. При этом амплитуда увеличения ЧСС, САД, ДАД была практически одинаковой при разных стрессах, однако длительность этих изменений увеличивалась при переходе к более сильным стрессам.

Результаты опытов выявили существенные различия в активности ССС в покое и при стрессах в зависимости от пола испытуемых. При этом половые различия по показаниям ЧСС носили факультативный характер, что делает понятным разногласия различных авторов в этом вопросе [12–14]. В целом, у девушек в покое ЧСС чаще была выше, а при стрессах ниже, чем у юношей. Повышенные базальные уровни ЧСС при сниженной стресс-реактивности этого показателя обнаружены нами и у самок крыс по сравнению с самцами.

Различия у особей разного пола в базальных уровнях и в стрессорной динамике кровяного давления были устойчивы, проявляясь практически во всех сериях опытов на людях и животных.

Важно отметить, что у девушек, несмотря на повышенные в ряде опытов значения ЧСС, уровни кровяного давления никогда не превышали уровней такового у юношей как в покое, так и при стрессе, а в подавляющем большинстве опытов были ниже, чем у юношей. Более низкие базальные и стрессорные показатели давления обнаружены нами и у самок крыс по сравнению с самцами. Подобные закономерности, выявленные и в предыдущих наших опытах [9,10], соответствуют результатам других авторов [13–16]. В целом эти данные позволяют говорить о более благоприятном режиме функционирования ССС в покое и при стрессе у женских особей по сравнению с мужскими, поскольку повышенные гипертензивные ответы на стрессы считаются предпосылкой развития сердечно-сосудистой патологии [17–20].

Изменения E/H , как показали исследования на людях и на животных, также зависели от вида стресса и пола испытуемых, но имели при этом характерные особенности. Во-первых, в отличие от традиционных показателей, изменения E/H обнаруживались у всех испытуемых и при любых стрессорных воздействиях. Далее, изменения E/H всегда были разнонаправленны, то есть у одних испытуемых ее значения при стрессах возрастали, у других, напротив, снижались. При этом изменения E/H были более продолжительными, чем изменения ЧСС и кровяного давления. Важно отметить, что в периоды релаксации, когда отмечалась более или менее быстрая нормализация ЧСС и кровяного давления, существенно возрастал процент испытуемых с повышенными значениями E/H .

С увеличением силы стресса возрастала не только длительность интервала времени, в течение которого сохранялось изменение E/H , как это наблюдалось в отношении ЧСС и давления, но и амплитуда этих изменений. Это привело к тому, что в ситуации самого сильного экзаменационного стресса амплитуда изменений E/H превышала амплитуду изменения для ЧСС примерно в 2 раза, а давления – в 5–7 раз.

Изменения показателей E/H при стрессах подтверждают факт различий в реакциях ССС по показаниям ЧСС и давления в зависимости от пола. Оказалось, что в периоды стресса и релаксации E/H увеличивается в большей степени и (или) у большего числа девушек по сравнению с юношами. Можно полагать, что эти различия в стрессорной динамике E/H отражают более близкий к оптимальному

характер изменений степени хаотичности ЭКГ и сигнала кровяного давления у женских особей. Это предположение базируется на двух выявленных фактах. Во-первых, при любом стрессе в восстановительном периоде существенно возрастает процент испытываемых (до 100% в отдельных случаях) с повышенными значениями E/H , что происходит на фоне нормализации ЧСС и давления. Во-вторых, у женских особей режим функционирования ССС в покое и при стрессах по показаниям давления и ЧСС более близок к оптимальному. Кроме того, литературные данные свидетельствуют о том, что увеличение регулярности и периодичности в ЭКГ предшествует приступам стенокардии, инфаркту миокарда, внезапной смерти [4,21].

Таким образом, можно предполагать, что более выраженное у женских особей увеличение E/H сигнала ЭКГ и кровяного давления при стрессе, наряду с более благоприятной у них динамикой кровяного давления, а в ряде случаев и ЧСС, являются факторами, повышающими их устойчивость по отношению к стресс-индуцированному сердечно-сосудистым заболеваниям.

В целом, результаты наших исследований, выполненных на большом количестве людей и животных, свидетельствуют о высокой чувствительности и информативности нового критерия – нормированной энтропии сигналов ЭКГ и кровяного давления в оценке индивидуальных и половых особенностей кардиоваскулярной стресс-реактивности. Эти выводы, подтверждающие полученные нами ранее данные [8–10], наряду с результатами клинических исследований [22,23], обосновывают перспективность использования E/H как дополнительного критерия при оценке функциональных резервов ССС у здоровых и больных людей.

Авторы выражают глубокую благодарность профессору Анищенко В.С. за помощь при обсуждении полученных результатов.

Исследования финансировались по гранту в области фундаментального естествознания (шифр N 95-0-10.0-238).

Библиографический список

1. Stoney C., Davis M., Matthews K. Sex differences in physiological responses to stress and coronary heart disease: a causal link? // *Psychophysiol.* 1987. Vol.24. P.127.
2. Babiloyantz A., Destexhe A. Low-dimensional chaos in the instance of epilepsy // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 1986. Vol.83. P.3513.
3. Glass L., Makey C. *From Clocks to Chaos. The rhythm of life.* Princeton University. 1988.
4. Golgberger A. Is the normal heartbeat chaotic or homeostasis? // *New in physiological sciences.* 1991. Vol.6. P.87.
5. Анищенко В.С., Сапарин П.И., Сафонова М.А. Измерительно-вычислительный комплекс для диагностики сложных режимов автоколебаний // *Радиотехника и электроника.* 1992. Т.37. N3. P.467.
6. Anishchenko V.S., Saparin P.I., Igosheva N.B. Diagnostic of human being physical and mental conditions on the basis of electrocardiogram analysis by methods of chaotic dynamics // *Proc. SPIE.* 1993. Vol.1981. P.141.
7. Климонтович Ю.Л. Проблемы статистической теории открытых систем: критерии относительной степени упорядоченности состояний в процессе самоорганизации // *УФН.* 1989. Т.158, № 1. С.59.
8. Anishchenko V.S., Saparin P.I., Anishchenko T.G. On the criterion of the relative degree of order of self-oscillating regimes. Illustration of Klimontovich's S-theorem // *Proc. SPIE.* 1994. Vol.2098. P.130.
9. Anishchenko T.G., Igosheva N.B., Saparin P.I. The sex differences in human cardiovascular stress responses. Mathematical and physiological approaches // *Proc. SPIE.* 1993. Vol.1981. P.151.

10. *Anishchenko T.G., Saporin P.I., Igosheva N.B., Anishchenko V.S.* Sex differences in human cardiovascular responses to external excitation // *Nuovo chimento*. 1995. Vol.17D, № 7. P.699
11. *Obrist P., Gaebelen C., Teller E., Langer A., Grignolo A., Light K., McCubbin J.* The relationship among heart rate, carotid dp/dt and blood pressure in humans as a function of the type of stress // *Psychophysiol*. 1978. Vol.15. P.102.
12. *Frankenhaeuser M., Dunne E., Lundberg U.* Sex differences in sympathetic-adrenal medullary reactions induced by different stressors // *Psychopharmacol*. 1978. Vol.47. P.1.
13. *Hastrup J., Light K.* Sex differences in cardiovascular stress responses: modulation as a function of menstrual cycle phases // *J. Psychosomatic Res*. 1984. Vol.28. P.475.
14. *Eiff A.* The importance of hypothalamic centers for the pathogenesis of essential hypertension // *Activ. nerv. super*. 1990. Vol.32, № 3. P.184.
15. *Van Doornier L.* Sex differences in physiological reactions to real life stress and their relationship to physiological variables // *Psychophysiol*. 1986. Vol.28. P.657.
16. *Демидов В.А.* Половые особенности кардиоваскулярных коррелятов эмоционального стресса у юношей и девушек. Эмоциональный стресс: физиологические, медицинские и социальные аспекты. Харьков: Прапор, 1990.
17. *Falkner B., Onesit G., Hamstra B.* Stress response characteristics of adolescents with genetic risk for essential hypertension: a five year follow-up // *Clin. Exp. Hypertens*. 1981. Vol.3. P.183.
18. *Dlin R., Hanne N., Silverberg D., Bar-Or O.* Follow-up of normotensive men with exaggerated blood pressure responses to exercise // *Amer. Heart J*. 1983. Vol.106. P.316.
19. *Kasprowicz A., Manuck S., Malkoff S., Krantz D.* Individual differences in behaviorally evoked cardiovascular responses: temporal stability and hemodynamic patterning // *Psychophys*. 1990. Vol.27, № .6. P.605.
20. *Carrol G., Harris M., Cross G.* Haemodynamic adjustments to mental stress in normotensives and subjects with mildly elevated blood pressure // *Psychophysiology*. 1991. Vol.4. P.438.
21. *Pool R.* Is healthy to be chaotic? // *Science*. 1989. Vol.243. P.604.
22. *Kurths J., Saporin P., Vossing H.J., Witt A., Voss A., Deitz R., Fiehrinf H., Kleiner H.* Nonlinear dynamics, heart rate variability and frequency analysis of high resolution ECG // *Computer in cardiology*. 1993. P.253.
23. *Wessel N., Voss A., Kurths J., Saporin P., Witt A., Kleiner H.J., Dietz R.* Re-normalised entropy: A new method of non-linear dynamics for the analysis of heart rate variability // *Computer in cardiology*. 1994. P.137.

*Саратовский госуниверситет,
кафедра физиологии человека и
животных*

Поступила в редакцию 17.03.97

NORMALIZED ENTROPY IN THE EVALUATION OF SEX PARTICULARITIES IN CARDIOVASCULAR RESPONSES TO STRESS INFLUENCES

T.G. Anishchenko, N.B. Igosheva, O.N. Khokhlova

The sex particularities in cardiovascular responses to different stress stimuli in humans and rats were investigated using the physiological parameters, heart rate and blood pressure, and a new sensitive criterion of electrical heart and blood pressure variability, a normalized entropy. The result showed that cardiovascular reactivity depended on the type of stress and the sex of individual involved. The values of normalized entropy increased or decreased during and after stress. The changes in

electrical heart and blood pressure variability were more pronounced and more prolonged when one compared with those in heart rate and blood pressure. Normalized entropy was demonstrated to be more sensitive criterion of sex and individual differences in cardiovascular responses to stressors than heart rate and blood pressure. So, results illustrate a perspective of new parameter using as a characteristic of electrical heart and blood pressure variability in male and female organism under stress conditions.



Анищенко Татьяна Григорьевна – родилась в Ульяновске, окончила биологический факультет СГУ (1964). С 1966 и по настоящее время работает в СГУ на кафедре физиологии человека и животных. С 1995 года заведует кафедрой физиологии человека и животных. Защитила кандидатскую диссертацию (1967), докторскую диссертацию на тему «Половые аспекты проблемы стресса и адаптации» в НИИ Нормальной физиологии им. П.К. Анохина (1993, Москва). Имеет 55 опубликованных работ, принимала участие в работе трех Международных и семи Всероссийских конференций. В последние годы занимается исследованием возможности применения методов нелинейной динамики к анализу стрессорных изменений сердечно-сосудистой системы. Исследования, проводимые совместно с коллективом лаборатории нелинейной динамики кафедры радиофизики СГУ (зав. кафедрой – профессор Анищенко В.С.), открывают перспективу разработки новых

методов диагностики состояния сердечно-сосудистой системы при стрессах.



Игощева Наталья Борисовна – родилась в Саратове (1968), окончила биологический факультет СГУ (1990). С 1990 года работает ассистентом на кафедре физиологии человека и животных СГУ. Опубликовала 14 работ. Принимала участие в работе трех Международных и семи Всероссийских конференций. Подготовила к защите кандидатскую диссертацию. В последние годы занимается исследованиями, связанными с разработкой новых прогностических критериев индивидуальной стресс-устойчивости сердечно-сосудистой системы. Исследования проводятся совместно с коллективом лаборатории нелинейной динамики кафедры радиофизики СГУ с привлечением традиционных физиологических методов изучения сердечно-сосудистой системы и методов нелинейной динамики.



Хохлова Оксана Николаевна – родилась в Кузнецке Пензенской обл. (1971), окончила биологический факультет СГУ (1993). С 1993 года работает ассистентом на кафедре физиологии человека и животных СГУ. Имеет 5 опубликованных работ. Принимала участие в работе Международных и Всероссийских конференций. В настоящее время работает над кандидатской диссертацией. Занимается исследованиями по оценке индивидуальной стресс-реактивности и стресс-устойчивости сердечно-сосудистой системы.