

УДК 612.825.8+613.685

Биоинформационное значение прошлого–настоящего–будущего для интегрального оценивания функционального состояния организма человека

В. В. Кальниш

ДУ «Институт медицины труда имени Ю. И. Кундиева НАМН Украины», Киев

Резюме

Введение. Временные процессы протекают не только в сознании человека — весь организм и его составные части на бессознательном уровне тоже как-то ориентируются во времени. В процессе эволюции в живых системах сформировался определенный способ реагирования на сложившиеся внешнюю и внутреннюю ситуации, в процессе реализации которого осуществляется фундаментальная перестройка функциональных взаимоотношений его подсистем. Поэтому характеристики поведения организма во времени являются основополагающими и интегральными для оценки его состояния и формы ориентации во времени.

Целью предпринятого исследования является разработка подхода к ретроспективной оценке функционального состояния человека с учетом процессов, протекающих до и после отрезка времени, обозначенного как «настоящее».

Методы и объем исследований. Данные ритмограммы и расчет ее показателей были получены в результате годового ежедневного исследования (333 измерения 5-минутных отрезков сердечного ритма) с помощью аппарата «Ритмограф». Для дальнейшего анализа был использован широко известный набор показателей сердечного ритма, а также ряд его новых «временных» характеристик: функция вероятностей появления двух событий в «прошлом» относительно «настоящего» и функция вероятностей появления двух событий в «будущем» относительно «настоящего».

Результаты и выводы. Проведенные исследования показали новизну и целесообразность ретроспективного анализа вариабельности ритма сердца с позиций выделения реакций организма на «прошлые» и «будущие» функциональные состояния, изменяющиеся в зависимости от трансформаций условий окружающей среды в течение года. Привлекательность такого анализа состоит в том, что полученные функции вероятности наступления событий в «прошлом» и «будущем» отражают фундаментальные процессы интеграции различных физиологических процессов в организме. Установлена специфика обеспечения жесткого и пластичного процессов, происходящих в организме человека, сопровождающих их синхронизацию в случае изменения условий окружающей среды. Выявлена возможность классификации функциональных состояний по характеристикам функций вероятности появления событий в «прошлом» и «будущем».

Ключевые слова: функциональное состояние; ритмограмма; прошлое; настоящее; будущее.

ISSN 1812-7231 *Клін. інформат. і Телемед.* 2020, т. 15, вип. 16, сс. 99–107. <https://doi.org/10.31071/kit2020.16.10>

Введение

Жизнь человека неизменно реализовывается в потоке времени. Порой, он использует воспоминания о прошлом и использует приобретенный опыт для построения поведенческих реакций. Часто, человеку приходится планировать будущие события, но постоянно он пребывает в настоящем [4]. С точки зрения психологии обыденной жизни — это понятно. Даже на самых ранних периодах жизни человека проявляется его упорядоченное отношение к предполагаемым будущим событиям [12]. Исследования Е. А. Сергиенко позволили обнаружить и задокументировать наличие способности младенцев на самых ранних этапах их развития избирательно взаимодействовать с окружающим миром, структурировать эти события и предвосхищать их возможные изменения. Как указывает автор — эта способность развивается постепенно, отражая взаимодействие генетической предопределенности реагирования на проявляющиеся закономерности организации внешнего мира.

Но временные процессы протекают не только в сознании человека. Весь организм и его составные части на бессознательном уровне тоже как-то ориентируются во времени. И этот процесс крайне важен для обеспечения его жизнедеятельности. Во-первых, исходя из временных масштабов отдельных

компонентов организма, осуществляется синхронизация деятельности многих его подсистем. Во-вторых, сама работа этих подсистем находится в довольно строгих временных рамках. В процессе эволюции в живых системах сформировался определенный способ реагирования на сложившиеся внешнюю и внутреннюю ситуации, в процессе реализации которого осуществляется фундаментальная перестройка функциональных взаимоотношений его подсистем. Поэтому характеристики поведения организма во времени являются основополагающими и интегральными для оценки его состояния и формы ориентации во времени. Организм как целостная система и его подсистемы как его части пребывают в настоящем, используют как основу своей жизнедеятельности, отразившееся на его функциях и структуре прошедшее, и прогнозирует будущие трансформации таких функций. Без этого, не только организм человека, но и любой другой живой организм, не смогли бы существовать в постоянно изменяющемся мире. Отсутствие ориентации во времени, несомненно, привело бы к гибели организма, превратило бы его в объект, поддающийся любым влияниям внешней среды.

Математическое исследование временных рядов для анализа влияния времени на поведение какого-либо параметра природы предполагает использование автокорреляционной функции. Однако «поведение» этой функции в прошлом

и будущем симметрично относительно настоящего [3] и поэтому не отражает временных особенностей исследуемого процесса до и после отрезка времени, принятого за настоящее.

Целью предпринятого исследования является разработка подхода к ретроспективной оценке функционального состояния человека с учетом процессов, протекающих до и после отрезка времени, обозначенного как «настоящее».

Методы и объем исследований

Важность получения информации об отношении организма к прошлому, настоящему и будущему, хотя бы ретроспективно, помогло бы решить вопрос о трансформации его функционального состояния, с учетом фундаментальной характеристики природы — времени. Для решения этой задачи необходимо выбрать такой параметр функционирования организма, который четко отслеживает многие жизненно важные процессы, характеризующие его жизнедеятельность и хорошо дифференцирован во времени. Таким параметром может быть сердечный ритм. Его ретроспективный анализ дает возможность оценить отношение организма к прошлому, настоящему и будущему, а точнее, к событиям «до», то есть произошедшим до названного «сейчас» отрезка времени, а также к событиям, произошедшим «после» анализируемого промежутка времени. Для простоты изложения эту цепочку событий можно обозначить как «прошлой», «настоящей» и «будущей».

Описанный подход был использован для исследования сменной (дневной и ночной) динамики функционального состояния операторов энергетики [5, 7]. Дальнейшее развитие этого подхода было затруднено отсутствием соответствующего технического обеспечения исследований. Сейчас этот этап пройден.

Данные ритмограммы и расчет ее показателей были получены в результате годового ежедневного исследования (333 измерения 5-минутных отрезков сердечного ритма) с помощью специального аппарата «Ритмограф» [8, 9]. Для дальнейшего анализа был использован широко известный набор показателей сердечного ритма [2, 6], а также ряд его новых «временных» характеристик: функцию вероятностей появления двух событий в «прошлом» относительно «настоящего» (ФВП) и функцию вероятностей появления двух событий в «будущем» относительно «настоящего» (ФВБ). Каждая функция имела 80 значений (близко к одной минуте). В качестве указанных двух событий были выбраны события, когда R-R интервал в «настоящем» был больше каждого из двух R-R интервалов соответственно в «прошлом» (событие «>>») или «будущем» (событие «>>>»). Поскольку пар таких событий в ритмограмме может присутствовать довольно много (например, «>>>», «<<<», «==», «<>», «><», «=<», «=>» ...), то с учетом возможной равновероятности их появления можно считать, что в среднем значения этих функций в «прошлом» и «будущем» будут приближаться к 0,12. Предполагается, что рассчитываемые вероятностные функции сердечного ритма характеризуют деятельность организма как целостной системы, а не какой-либо ее части и отражают его функциональное состояние.

Статистический анализ данных был проведен с привлечением методов вариационной и непараметрической статистики, кластерного и пошагового дискриминантного анализа с помощью пакета программ STATISTICA 13.3. Лицензия AXA905I924220FAACD-N.

Результаты и обсуждение

На вопрос о ключевой роли «настоящего-прошлого» и «настоящего-будущего» при построении функций вероятности осуществления заданного события можно дать ответ,

который подсказал известный философ А. Ф. Лосев. Он писал: «Рассмотрим начерченную на бумаге окружность круга. Относится ли окружность круга к тому бумажному фону, на котором она начерчена, или же она относится к самому кругу? Если окружность круга относится к тому фону, на котором начерчен круг, и не относится к самому кругу, тогда получается, что на листе бумаги нет никакого круга, что мы вообще ничего там не начертили. Как же тогда говорить об окружности круга? Возьмем другую возможность. Допустим, что окружность круга относится только к самому кругу, но не относится к тому фону, на котором мы ее начертили. Тогда опять получается, что мы ровно ничего не начертили. Единственный выход из этой противоречивой ситуации заключается в том, чтобы одновременно мыслить и отнесенность окружности к кругу, и отнесенность ее к тому фону, на котором начерчен круг.» [11]. Исходя из приведенных рассуждений можно прийти к выводу, что настоящее как граница между прошлым и будущим одновременно принадлежит и к прошлому и к будущему. Эту объединяющую категорию можно использовать как основание для построения функций вероятности наступления событий «настоящее-прошлой» (ФВП) и «настоящее-будущей» (ФВБ).

Для понимания процессов, описываемых функциями ФВП и ФВБ целесообразно проиллюстрировать на примерах их форму, а также их спектры и кросспектры, представленные на рис. 1 и рис. 2. Как видно на рис. 1а функции ФВП и ФВБ колеблются в интервале 0,32–0,57. Их среднее значение для ФВП равно 0,395, а для ФВБ равно 0,481. Уже эти данные свидетельствуют о том, что изучаемые процессы в несколько раз превосходят теоретически возможные равновероятностные значения. Таким образом, уровень значений околоминутных функций ФВП и ФВБ может служить доказательством активного, отдаленного от хаоса, отношения организма к своему «прошлому» и «будущему». Спектры и кросспектр исследованных функций (рис. 1б, в) имеют по одному четко выраженному пику на одинаковых частотах, что, вероятно, может быть признаком хорошо синхронизированных и достаточно консервативных процессов в отдельных подсистемах организма. Иными словами, образование подобных пиков в спектрах ФВП и ФВБ может говорить о превалировании общего централизованного механизма для обеспечения координации деятельности отдельных подсистем в жизнедеятельности всего организма.

Другой пример описывает несколько иное функциональное состояние организма (рис. 2). Здесь ФВП и ФВБ имеют разброс своих значений в интервале 0,34–0,46 (рис. 2а). Их среднее значение для ФВП равно 0,416, а для ФВБ равно 0,389. Эти значения гораздо выше, чем предполагаемые при равновероятностном распределении 0,12. Поэтому можно считать, что и в рассматриваемом случае анализируемый процесс свидетельствует о протекании активных преобразований в организме человека, которые для анализируемых данных появляются примерно в 80% случаев. Интересными, с точки зрения интерпретации, являются спектры и кросспектр ФВП и ФВБ (рис. 2б, в). Они имеют целый ряд пиков на разных частотах (рис. 1б). В рассматриваемом случае усложнение структуры спектров, по-видимому, связано с наличием поисковых переходных процессов адаптации к изменившимся условиям функционирования организма, которые за год регистрации кардиоритмов, естественно, многократно модифицировались. Эти переходные процессы затрагивают достаточно большое количество подсистем организма, каждая из которых функционирует на присущей ей частоте и имеет много степеней свободы ее изменения при осуществлении адаптации. Постепенная централизованная координация деятельности этих подсистем в усложненных условиях среды приводит к формированию единого ритма организма.

Существование таких четких различий в форме ФВП и ФВБ, а также в структуре спектров этих функций является

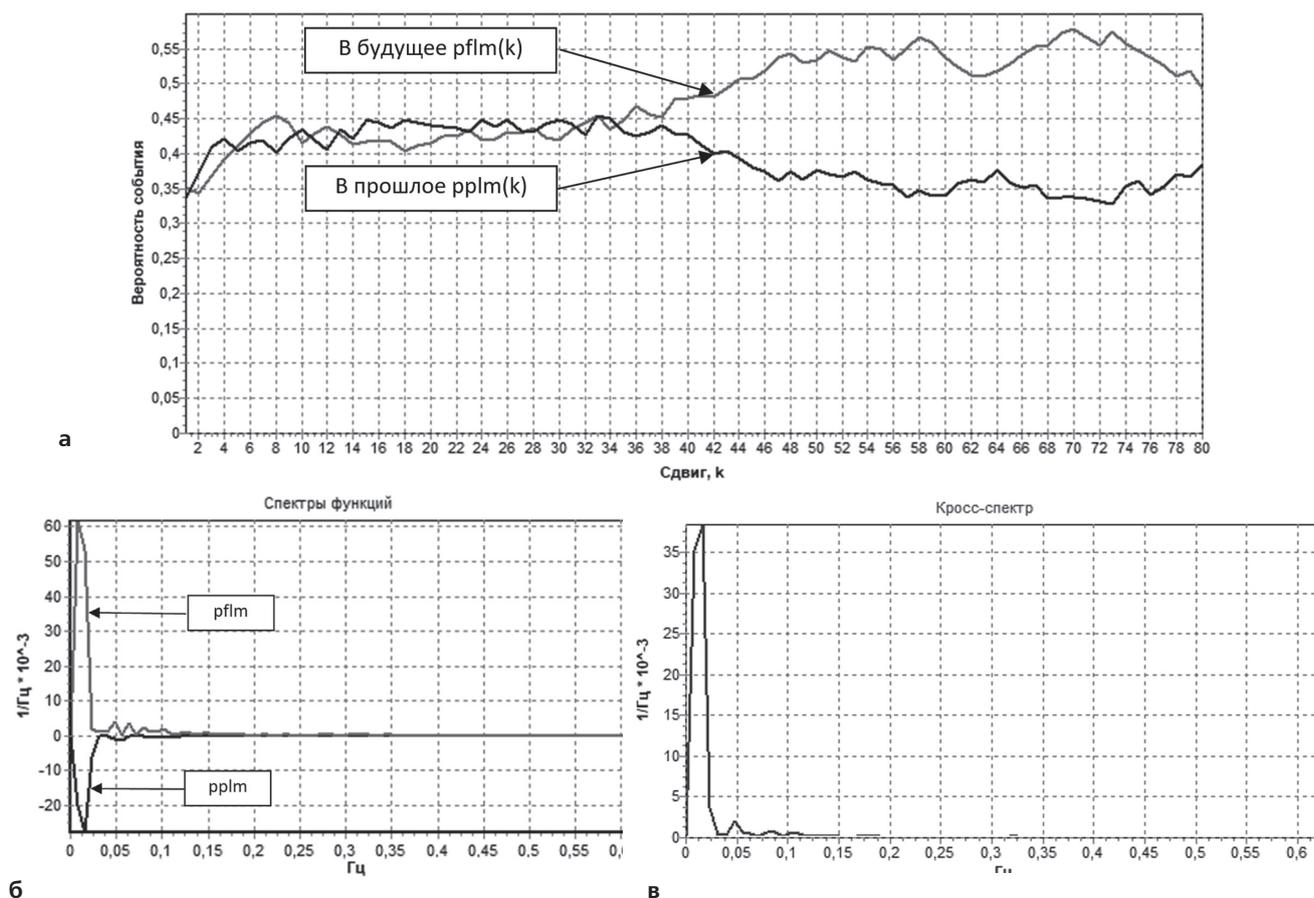


Рис. 1. Динамика ФВП и ФВБ, их спектры и взаимная спектральная функция для случая жесткой синхронизации функций организма. а — функция вероятностей появления «прошлых» событий (ppfm(k) — ФВП), функция вероятностей появления «будущих» событий (pfpm(k) — ФВБ); б — спектральная плотность ФВП, спектральная плотность ФВБ; в — взаимная спектральная плотность ФВП и ФВБ; k — количество сдвигов при расчете ФВП и ФВБ.

предпосылкой в разработке критериев для различения функционального состояния человека. Такая задача имеет важное прикладное значение, например, при проведении профессионального отбора, оценке состояния организма в случае осуществления предменного или предполетного контроля функционального состояния специалиста или проверки пригодности специалиста к работе в экстремальных условиях среды. Во всех перечисленных случаях необходимо дать экспресс-оценку функционального состояния человека. Таким образом, необходимо разбить континуум состояний человека на два класса: пригоден — не пригоден, может работать — не может работать.

Для решения этой задачи и дальнейшего теоретического анализа полученных функций вероятности с помощью кластерного анализа (метод k -средних) исходные данные были разбиты на две подгруппы $ПГ_{вср(1,2)}$ (подгруппы, классифицированные на основе показателей ВСР) и $ПГ_{пнб(1,2)}$ (подгруппы, классифицированные на основе показателей спектров ФВП и ФВБ). Структура обеих классификаций по подгруппам совпадает не полностью, но значимо ($p < 0,05$) коррелирует одна с другой (гамма коэффициент корреляции равен 0,58).

Классификация на подгруппы по показателям спектров ФВП и ФВБ осуществлялась по специально разработанному показателю исходя из следующих соображений. Анализ показал, что спектры подгруппы $ПГ_{пнб(1)}$ характеризуются наличием множества пиков (рис. 2б, в), а в спектрах $ПГ_{пнб(2)}$ преобладает

один пик (рис. 1б, в). Для того, чтобы описать это явление был применен прием, используемый в вариационной статистике для выявления многомодальности гистограмм анализируемых данных — коэффициент эксцесса (Ex). Поэтому для каждого спектра ФВП и ФВБ, а также для взаимного спектра этих функций были рассчитаны соответствующие коэффициенты эксцесса. Проведенный корреляционный анализ этих коэффициентов показал, что выделенные три характеристики достоверно коррелируют друг с другом. Особенно высокая значимая корреляция (коэффициент корреляции Спирмена) показателей Ex спектров ФВП и ФВБ наблюдается с показателем Ex взаимной спектральной плотности ФВП и ФВБ (соответственно 0,88 и 0,87).

Исходя из данных классификации на подгруппы $ПГ_{пнб1}$ и $ПГ_{пнб2}$ были рассчитаны статистические характеристики этих подгрупп по параметрам ВСР. Эти данные представлены в табл. 1. По материалам, приведенным в таблице можно обнаружить, что между средними значениями подавляющего большинства использованных параметров ВСР подгрупп $ПГ_{пнб(1)}$ и $ПГ_{пнб(2)}$ имеется существенная разница. В частности, показатель ЧСС, отражающий активность гуморального канала регуляции ритма сердца, в $ПГ_{пнб(2)}$ имеет достоверно большее значение, что может свидетельствовать о некотором увеличении уровня эмоционального напряжения обследованного человека.

Следующий достоверно изменяющийся показатель TR отражает мощность спектра ВСР. Существенно большее значение

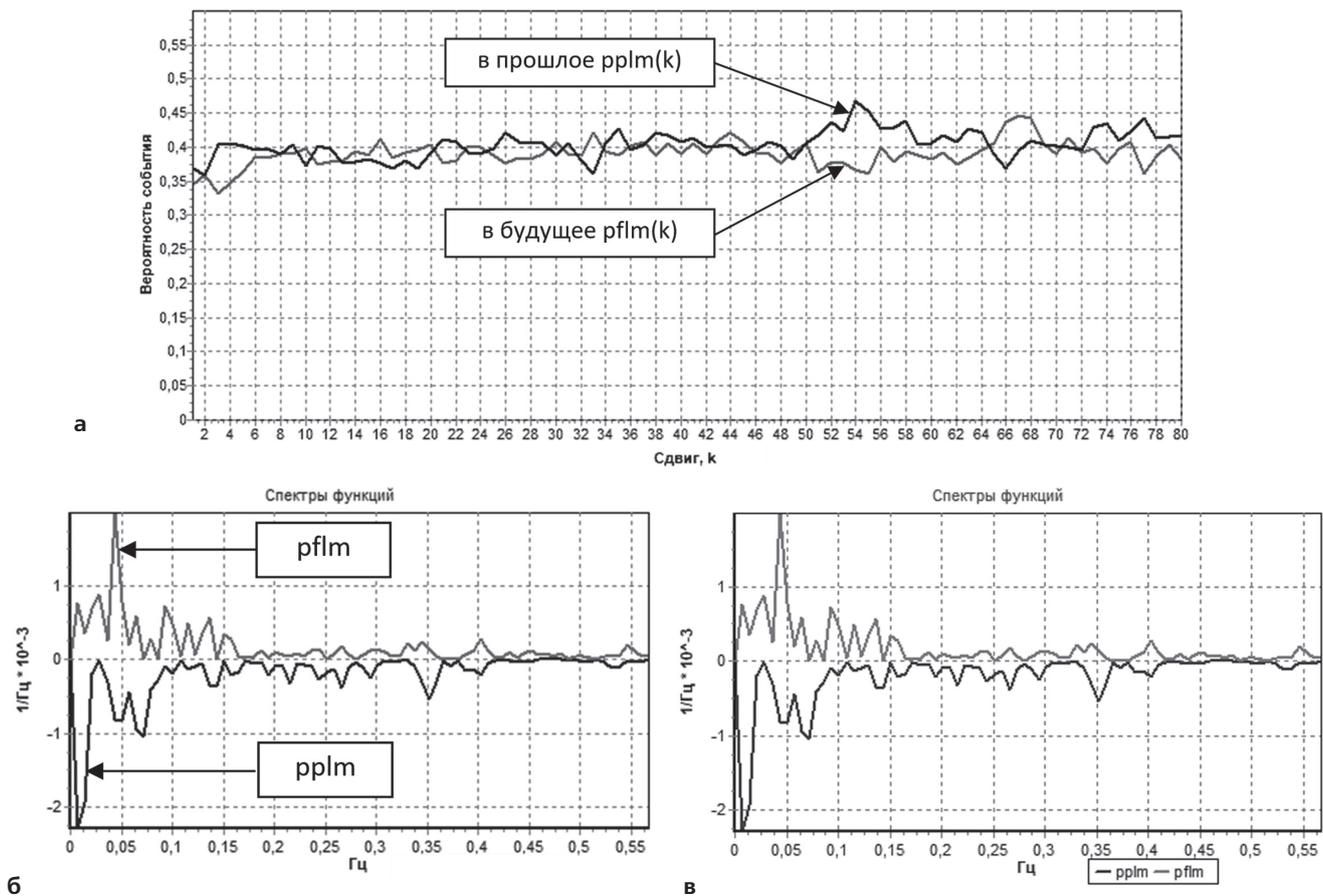


Рис. 2. Динамика трансформируемой активности ФВП и ФВБ, их спектры и взаимная спектральная функция для случая пластичной синхронизации функций организма. Динамика ФВП и ФВБ, их спектры и взаимная спектральная функция для случая жесткой синхронизации функций организма. а — функция вероятностей появления «прошлых» событий (pplm(k) — ФВП), функция вероятностей появления «будущих» событий (pflm(k) — ФВБ); б — спектральная плотность ФВП, спектральная плотность ФВБ; в — взаимная спектральная плотность ФВП и ФВБ; k — количество сдвигов при расчете ФВП и ФВБ.

Табл. 1. Показатели ВСР для подгрупп $ПГ_{n\beta(1)}$ и $ПГ_{n\beta(2)}$ анализируемых данных, $M \pm m$.

Показатель сердечного ритма	$ПГ_{n\beta(1)}$ (n = 265)	$ПГ_{n\beta(2)}$ (n = 68)	p
ЧСС, уд/мин.	68,06 ± 0,44	71,09 ± 0,98	0,002879
SDNN, мс	21,42 ± 0,54	23,53 ± 1,32	0,092126
ИН, у.е.	318,95 ± 11,33	309,25 ± 19,59	0,692062
TP, мс ²	271,79 ± 13,29	356,35 ± 39,59	0,010831
VLF, мс ²	164,52 ± 9,04	261,78 ± 33,13	0,000086
LFnorm, у.е.	0,74 ± 0,01	0,79 ± 0,01	0,000408
HFnorm, у.е.	0,26 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,000408
LF/HF, у.е.	3,74 ± 0,15	4,56 ± 0,25	0,011343
CC1, у.е.	0,77 ± 0,01	0,86 ± 0,01	0,000001
CC0, кол-во	31,00 ± 1,35	64,35 ± 4,44	0,000001
СВЧР, Гц	0,08 ± 0,001	0,07 ± 0,002	0,000002
BetaT, у.е.	1,47 ± 0,056	1,65 ± 0,17	0,162249

Примечание: p — уровень достоверности разницы средних подгрупп $ПГ_{n\beta(1)}$ и $ПГ_{n\beta(2)}$ по t-критерию Стьюдента. Показатели сердечного ритма — пояснения в тексте.

этого показателя в $ПГ_{\text{ннб}(2)}$ свидетельствует об увеличенной мощности нейрогуморальной регуляции в этой подгруппе. Характеристика VLF, отражающая мощность низкочастотного домена BCP, в $ПГ_{\text{ннб}(2)}$ значительно превышает значения в $ПГ_{\text{ннб}(1)}$, что может подтверждать увеличенную мощность гуморального звена регуляции BCP в $ПГ_{\text{ннб}(2)}$.

Параметр LFnorm, отражающий мощность низкочастотного домена спектра BCP, по-видимому, свидетельствует о большей активации симпатического звена регуляции в $ПГ_{\text{ннб}(2)}$. Наоборот, меньшее значение HFnorm в $ПГ_{\text{ннб}(2)}$ указывает на сниженную по сравнению с $ПГ_{\text{ннб}(1)}$ мощность парасимпатического звена регуляции BCP. Соотношение LF/HF в $ПГ_{\text{ннб}(2)}$ имеет значительно большее значение чем в $ПГ_{\text{ннб}(1)}$, что свидетельствует о существенном смещении симпатовагального баланса в сторону превалирования активации симпатического звена регуляции BCP в $ПГ_{\text{ннб}(2)}$. Значительно большие значения показателей ССО и СС1, характеризующие взаимосвязь автономного и центрального контуров регуляции ритма сердца, зарегистрированные в $ПГ_{\text{ннб}(2)}$ подтверждают мнение о смещении баланса действия этих контуров в сторону превалирования регуляции центрального контура в этой подгруппе. И, наконец, меньший уровень показателя СВЧР в $ПГ_{\text{ннб}(2)}$, характеризующий степень развития утомления у человека [1, 6], доказывает, что функциональное состояние человека в этой подгруппе больше смещено в сторону развития большего утомления, чем в $ПГ_{\text{ннб}(1)}$. Уровни трех показателей: SDNN (среднее квадратическое отклонение параметров сердечного ритма, отражающего активность вагусной регуляции сердца), ИН (индекс напряжения, отражающий степень снижения (централизации) регуляторных механизмов ритма сердца), Beta T (отображает изменение симметрии T зубца кардиоцикла) [14] в выделенных подгруппах существенно не отличались. Все вышеперечисленные аргументы иллюстрируют наличие активных переходных процессов в организме и сопровождается централизацией формирования функционального состояния человека в $ПГ_{\text{ннб}(2)}$.

Подводя итог проведенному анализу можно задекларировать, что классификация на подгруппы данных BCP, проведенная по характеристикам структуры спектров ФВП и ФВБ достаточно четко указывает на целесообразность использования такой дифференцировки в практике оценки функционального состояния человека. В частности, оценка разделяющей способности показателей Ex спектров ФВП, ФВБ и особенно их взаимного спектра с помощью пошагового дискриминантного анализа показала, что такая способность достигает уровня 83,8%. Такая точность вполне достаточна для проведения, например, предсменного контроля функционального состояния работника.

Здесь еще раз уместно обратиться к обсуждению физиологического смысла функций ФВП и ФВБ. Исходя из полученных расчетов этих функций можно полагать, что организм человека в настоящем учитывает события прошлого и прогнозирует возможные события будущего. В литературе имеются другие мнения о содержании понятий прошлое, настоящее, будущее. Так, Т. П. Лолаев сформулировал следующее мнение. «Поскольку объекты и их состояния образуют собственные времена лишь с момента своего возникновения и до воплощения их материального содержания в последующие объекты и их состояния, время всегда настоящее. В связи со сказанным функционирование объекта, пока он существует как таковой, постоянно осуществляется в его собственном настоящем времени, а не в последовательно сменяющихся моментах постулированного времени, которых в природе нет. Следовательно, только настоящее время, образуемое конкретными, конечными материальными объектами, процессами, существует объективно, в реальной действительности, имеет физическое значение. Так называемые прошлое и будущее времена статуса реальности не имеют. В природе не существует

прошлое время как некоторого рода вместилище, в которое бы переходили все существовавшие ранее, но исчезнувшие как таковые, материальные объекты. Объясняется сказанное тем, что субстанциональное материальное содержание исчезнувших объектов воплощается в последующие объекты, а образуемое ими несубстанциональное время заканчивается. По указанной причине не существует и будущее время, в котором бы находились материальные объекты до своего возникновения. Следовательно, функциональное время течет от настоящего, образуемого одними состояниями объекта и самими объектами, к настоящему, образуемому последующими состояниями того же объекта и объектами, в которые воплотилось их материальное содержание, а не от прошлого через настоящее к будущему, как принято считать в науке. В связи со сказанным следует подчеркнуть, что несубстанциональное время течет не само по себе, а благодаря последовательной смене качественно новых состояний конкретного процесса, образующих последовательно сменяющиеся временные длительности.» [10, с. 98–99.].

В приведенной сентенции имеется рациональное зерно. Действительно, если рассматривать функциональное время, то живой организм всегда находится в постоянно становящемся, трансформирующемся состоянии настоящего. Однако эти трансформации всегда обусловлены определенными ограничениями. Поскольку отношения между прошлым и настоящим, а также между будущим и настоящим поддерживаются в первом случае, теми событиями, которые происходили в прошлом и сохранились в структуре и функциях объекта, а во втором — событиями, которые предусматриваются моделью будущего и исполнены с помощью механизма сравнения, реализованном в акцепторе результатов действия (по П. К. Анохину) или на психологическом уровне механизмами антиципации. Поэтому любая существенная перемена окружающей среды в настоящем, не скорректированная течением событий прошлого или изменениями в модели будущего, всегда будет вносить соответствующий вклад в целенаправленность и упорядоченность протекания физиологических процессов в организме. Четким доказательством этого положения может служить средний уровень функций ФВП и ФВБ, который находится на гораздо более высоком уровне, чем при равновесном появлении исследованных событий «прошлого» и «будущего» в ритмограмме. В изложенном смысле целесообразно думать о процессе жизнедеятельности не просто как о серии изменений в адаптации к условиям существования, но и как о постоянной регуляции отношений между человеком и окружающей средой, где промежутки времени с жесткими отношениями подсистем организма (рис. 1) сменяются интервалами времени, в которых осуществляется гибкая корректировка этих отношений (рис. 2).

Некоторые авторы для рассмотрения вопроса категорий времени вводят специальный термин — временная форма, который указывает на наличие связности процессов настоящего, прошлого и будущего [13, с. 107–129.]. Автор подчеркивает, что устойчивое существование обусловлено продолжением прошлого в будущем и является определенным синтезом прошлого и будущего в настоящем. В экстремальной ситуации осуществляется перестройка временной формы. В этом случае связь прошлого и будущего может быть разорвана и процессы, протекающие в организме, превращаются в «клубок отдельных фрагментов», которые затруднительно объединить в общую форму.

Действительно, по анализируемым в настоящей статье данным можно заключить, что гибко изменяемое функциональное состояние, имеющее больший потенциал приспособления к окружающей среде, в большей степени характеризуется спектрами ФВП и ФВБ со многими пиками (80% случаев в рассматриваемом примере). Многие процессы организма

в этом случае имеют большой потенциал гибкости в процессе адаптации к изменениям внешней среды. Здесь функции организма в «прошлом» и «будущем», достоверно связаны на среднем уровне. Коэффициент корреляции между ФВП и ФВБ КПБ = 0,37 ($p < 0,05$). С другой стороны, встречаются эпизоды, по-видимому, вызванные изменением условий окружающей среды, когда организмом осуществляется жесткая централизация синхронизации протекающих процессов, отличительным признаком которой является существенная однородность спектров ФВП, ФВБ, а также их кросспектра. Связь физиологических функций, характеризуемая ФВП и ФВБ, значительно усиливается. Коэффициент корреляции между ФВП и ФВБ КПБ = 0,77 ($p < 0,05$). Разница между приведенными коэффициентами корреляции в подгруппах ПГ_{ннб(1)} и ПГ_{ннб(2)}, рассчитанная по t -критерию Стьюдента, достоверна на уровне $p < 0,00001$.

Изложенное доказывает, во-первых, наличие активных и мощных процессов синхронизации функций организма, происходящих в условиях перестройки условий синхронизации физиологических функций; во-вторых, о сужении рамок вариабельности физиологических функций, уменьшении степени свободы их изменений при осуществлении наблюдаемых переходных процессов. Последний тезис доказывает тот факт, что среднее квадратическое отклонение коэффициентов корреляции ФВП и ФВБ в ПГ_{ннб(1)} равно 0,28, а в ПГ_{ннб(2)} — 0,14. Их разница по F -критерию Фишера достоверна ($p < 0,0000001$). В известной степени, возможности свободы колебания уровней связности ФВП и ФВБ в ПГ_{ннб(1)} гораздо выше, чем в ПГ_{ннб(2)}, что может указывать на наличие большего потенциала адаптации организма в первом случае.

Заключение

Проведенные исследования показали новизну и целесообразность ретроспективного анализа вариабельности ритма сердца с позиций выделения реакций организма на «прошлые» и «будущие» функциональные состояния, изменяющиеся в зависимости от трансформаций условий окружающей среды в течение года. Привлекательность такого анализа состоит в том, что полученные функции вероятности наступления событий в «прошлом» и «будущем» отражают фундаментальные процессы интеграции различных физиологических процессов в организме. Установлена специфика обеспечения жесткого и пластичного процессов, происходящих в организме человека, сопровождающих их синхронизацию в случае изменения условий окружающей среды. Выявлена возможность классификации функциональных состояний по характеристикам функций вероятности появления событий в «прошлом» и «будущем».

Выводы

Разработан новый интегральный подход для оценки функционального состояния человека, основанный на ретроспек-

тивном анализе сердечного ритма с учетом фундаментальных категорий времени: прошлое, настоящее, будущее.

Выявлены механизмы формирования функционального состояния человека при изменении условий окружающей среды. Показано наличие достоверной разницы показателей вариации сердечного ритма в подгруппах с разным функциональным состоянием.

Установлены информативные показатели сердечного ритма, рассчитанные по характеристикам динамики функций вероятности появления событий «настоящего-прошлого» и «настоящего-будущего».

Исследования проводились с соблюдением национальных норм биоэтики и положений Хельсинкской декларации (в редакции 2013 г.). Автор статьи — В. В. Кальниш — подтверждает, что у него нет конфликта интересов.

Литература

1. Баевский Р. М., Кудрявцева В. И. Особенности регуляции сердечного ритма при умственной работе. *Физиология человека*, 1975, т. 1, № 2, сс. 296–301.
2. Баевский Р. М., Мотылянская Р. Е. Ритм сердца у спортсменов. М.: *Физкультура и спорт*, 1986, 143 с.
3. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. М.: Мир. 1989, 540 с.
4. Волкова Е. В. Трехединный аспект функциональной организации концепта: прошлое, настоящее и будущее. *Мир психологии*. 2013, № 2, сс. 29–41.
5. Кальниш В. В. Контенс-моделирование процесса коэволюции человека и техники. *Клінічна інформатика та телемедицина*, 2010, т. 6, вип. 7, сс. 105–112.
6. Кальниш В. В. Системные подходы к анализу умственной работоспособности. *Физиология и гигиена умственного труда*. К.: Здоров'я, 1987, сс. 79–104.
7. Кальниш В. В. Час і адаптація. *Вісник АНУ*, 1996, № 11, сс. 87–91.
8. Кочина М. Л., Каминский А. А. Компьютерный ритмограф. *Радиотехника*, 2010, № 160, сс. 263–267.
9. Кочина М. Л., Каминский А. А., Маленкин В. А. Информационная технология прогноза функционального состояния сердечно-сосудистой системы. *Кибернетика и вычислительная техника*, 2012, вып. 170, сс. 15–27.
10. Лолаев Т. П. Время функциональной концепции — адекватное отражение времени объективной реальности. *Культура и время. Время в культуре. Культура времени*. Шахты, Изд-во ЮРГУЭС, 2007, 303 с.
11. Лосев А. Ф. Типы отрицания. Диалектика отрицания отрицания. М., Политиздат, 1983, 342 с. (сс. 164–165).
12. Сергиенко Е. А. Антиципация в раннем онтогенезе человека. *Дисс. ... докт. психол. наук в форме научного доклада*. М., 1997, 138 с.
13. Стрелков Ю. К. Синтез временной формы процессов. *Ученые записки кафедры психологии Северо-восточного государственного университета*. Магадан, Изд-во СВГУ, 2009, вып. 7, сс. 107–129.
14. Чайковский И. А., Файнзильберг Л. С. Медицинские аспекты применения устройства «Фазаграф» в клинической практике и домашних условиях. К. 2009, 75 с.

Біоінформаційне значення минулого–теперішнього–майбутнього для інтегрального оцінювання функціонального стану організму людини

В. В. Кальниш

ДУ «Інститут медицини праці імені Ю. І. Кундієва НАМН України», Київ

Резюме

Вступ. Процеси, які протікають в часі, існують не тільки в свідомості людини — весь організм і його складові частини на несвідомому рівні теж якось орієнтуються в часі. В процесі еволюції в живих системах сформувався певний спосіб реагування на сформовані зовнішні і внутрішні ситуації, в процесі реалізації яких здійснюється фундаментальна перебудова функціональних взаємовідносин їх підсистем. Тому характеристики поведінки організму в часі є основними і інтегральними для оцінки його стану та форми орієнтації в часі.

Метою проведеного дослідження є розробка підходу до ретроспективної оцінки функціонального стану людини з урахуванням процесів, що протікають до і після відрізка часу, позначеного як «теперішнє».

Методи і обсяг досліджень. Дані ритмограми і розрахунок її показників були отримані в результаті річного щоденного дослідження (333 вимірювання 5-хвилинних відрізків серцевого ритму) за допомогою апарату «Ритмограф». Для подальшого аналізу був використаний широко відомий набір показників серцевого ритму, а також ряд його нових «часових» характеристик: функція ймовірностей появи двох подій в «минулому» відносно до «теперішнього» і функція ймовірностей появи двох подій в «майбутньому» відносно до «теперішнього».

Результати та висновки. Проведені дослідження показали новизну і доцільність ретроспективного аналізу варіабельності ритму серця з позицій виділення реакцій організму на «минулі» і «майбутні» функціональні стани, що змінюються в залежності від трансформацій умов навколишнього середовища протягом року. Привабливість такого аналізу полягає в тому, що отримані функції ймовірності настання подій в «минулому» і «майбутньому» відображають фундаментальні процеси інтеграції різних фізіологічних процесів в організмі. Встановлено специфіку забезпечення жорсткого і пластичного процесів, що відбуваються в організмі людини, які супроводжують їх синхронізацію в разі зміни умов навколишнього середовища. Виявлено можливість класифікації функціональних станів за характеристиками функцій ймовірності появи подій в «минулому» і «майбутньому».

Ключові слова: функціональний стан; ритмограма; минуле; сучасне; майбутнє.

Bioinformational significance of the past–present–future for integral assessment of the functional state of the human organism

V. V. Kalnysh

State Institution «Kundiev Institute of Occupational Health of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv
e-mail: vkalnysh@ukr.net

Introduction. Temporary processes take place not only in the consciousness of a person - the entire organism and its components at the unconscious level are also somehow oriented in time. In the process of evolution in living systems, a certain way of responding to the prevailing external and internal situations has been formed, in the process of implementation of which a fundamental restructuring of the functional relationships of its subsystems is carried out. Therefore, the characteristics of the behavior of an organism in time are fundamental and integral for assessing its state and the form of orientation in time.

The objective of the undertaken research is to develop an approach to retrospective assessment of the functional state of a person, taking into account the processes that occur before and after the period of time designated as «present».

Methods and scope of research. The rhythmogram data and the calculation of its indicators were obtained as a result of an annual daily study (333 measurements of 5-minute heart rate segments) using the gythmograph apparatus. For further analysis, a well-known set of heart rate indicators was used, as well as a number of its new «temporal» characteristics: a function of the probabilities of two events in the «past» relative to the «present» and a function of the probabilities of two events in the «future» relative to the «present».

Results and Conclusions. The studies carried out have shown the novelty and expediency of a retrospective analysis of heart rate variability from the standpoint of isolating the body's reactions to «past» and «future» functional states that change depending on the transformations of environmental conditions during the year. The attractiveness of such an analysis lies in the fact that the obtained functions of the probability of occurrence of events in the «past» and «future» reflect the fundamental processes of integration of various physiological processes in the body. The specifics of providing rigid and plastic processes occurring in the human body, accompanying their synchronization in the event of changes in environmental conditions, have been established. The possibility of classifying functional states according to the characteristics of the functions of probability of occurrence of events in the «past» and «future» has been revealed.

Key words: Functional state; Rhythmogram; Past; Present; Future.

©2020 Institute Medical Informatics and Telemedicine Ltd, ©2020 Ukrainian Association for Computer Medicine, ©2020 Kharkiv medical Academy of Postgraduate Education. Published by Institute of Medical Informatics and Telemedicine Ltd. All rights reserved.

ISSN 1812-7231 *Klin. inform. teleded.*, 2020, vol. 15, iss. 16, pp. 99–107. <https://doi.org/10.31071/kit2020.16.10>
http://kit-journal.com.ua/en/index_en.html

References (14)

References

1. Baevskij R. M., Kudryavceva V. I. *Osobennosti regulyacii serdechnogo ritma pri umstvennoj rabote* [Features of regulation of heart rate during mental work]. *Fiziologiya cheloveka* [Human physiology], 1975, no. 2, vol. 1, pp. 296–301. (In Russ.).
2. Baevskij R. M., Motylyanskaya R. E. *Ritm serdca u sportsmenov* [Heart rate in athletes]. Moscow, Fizkul'tura i sport Publ., 1986, 143 p. (In Russ.).
3. Bendat Dzh., Pirsol A. *Prikladnoj analiz sluchajny'x dannyx* [Applied analysis of random data]. Moscow, Mir Publ., 1989, 540 p. (In Russ.).
4. Volkova E. V. *Triedinyj aspekt funkcional'noj organizacii koncepta: proshloe, nastoyashhee i budushhee* [The triune aspect of the functional organization of the concept: past, present and future]. *Mir psixologii* [The world of psychology], 2013, no. 2, pp. 29–41. (In Russ.).
5. Kal'nish V. V. *Kontens-modelirovanie processa koe'volycii cheloveka i tehniki* [Content modeling of the process of co-evolution of man and technology]. *Klinichna informatyka ta telededytsyna* [Clinical informatics and telemedicine], 2010, vol. 6, iss. 7, pp. 105–112. (In Russ.).
6. Kal'nish V. V. *Sistemny'e podxody k analizu umstvennoj rabotosposobnosti. Fiziologiya i gigiena umstvennogo truda* [Systemic approaches to the analysis of mental performance. Physiology and hygiene of mental work]. Kiev, Zdorovia Publ., 1987, pp. 79–104. (In Russ.).
7. Kalnysh V. V. *Chas i adaptatsiya* [Time and adaptation]. Bulletin of ANU, 1996, no. 11, pp. 87–91. (In Ukr.).
8. Kochina M. L., Kaminskij A. A. *Kompyuternyj ritmograf* [Computer rhythmograph]. *Radiotekhnika* [Radio engineering], 2010, no. 160, pp. 263–267. (In Russ.).
9. Kochina M. L., Kaminskij A. A., Malenkin V. A. *Informacionnaya texnologiya prognoza funkcional'nogo sostoyaniya serdechno-sosudistoj sistemy* [Information technology for predicting the functional state of the cardiovascular system]. *Kibernetika i vychislitel'naya texnika* [Cybernetics and Computer Science], 2012, iss. 170, pp. 15–27. (In Russ.).
10. Lolaev T. P. *Vremya funkcionajnoj koncepcii — adekvatnoe otrazhenie vremeni ob'ektivnoj real'nosti. Kul'tura i vremya. Vremya v kul'ture. Kul'tura vremeni* [The time of the functional concept is an adequate reflection of the time of objective reality. Culture and time. Time in culture. Culture of the time]. Shaxty, SRSUES Publ., 2007, 303 p. (In Russ.).
11. Losev A. F. *Tipy otriczaniya. Dialektika otriczaniya otriczaniya* [Types of denial. Dialectics of negation of negation]. Moscow, Politizdat Publ. 1983, pp. 164–165. (In Russ.).
12. Sergienko E. A. *Anticipaciya v rannem ontogeneze cheloveka* [Anticipation in early human ontogenesis]. Diss. ... Doct.

psychol. sciences in the form of a scientific report. Moscow, 1997, 138 P. (In Russ.).

13. Strelkov Yu. K. *Sintez vremennoj formy' processov* [Synthesis of the temporal form of processes]. *Ucheny'e zapiski kafedry' psixologii Severo-vostochnogo gosudarstvennogo universiteta* [Scientific Notes of the Department of Psychology of North-eastern State University]. Magadan: NESU Publ., 2009, iss. 7, pp. 107–129. (In Russ.).
14. Chajkovskij I. A., Fajnzil'berg L. S. *Medicinskie aspekty' primeneniya ustrojstva «Fazagraf» v klinicheskoy praktike i domashnix usloviyax* [Medical aspects of the use of the device «Fazagraf» in clinical practice and at home]. Kyiv, 2009, 75 p. (In Russ.).

Переписка

д. биол. наук, проф. **В. В. Кальниш**
лаб. психофизиологии труда
ДУ «Институт медицины труда имени Ю. И. Кундиева
НАМН Украины»
ул. Саксаганского, 75, Киев, 01033, Украина
тел.: +380 (44) 289 46 05
эл. почта: vkalnysh@ukr.net