

Инновационный метод оценки нервно-психического состояния на основе энтропийного подхода

В.В. Волов

Самарский институт фундаментальных и прикладных проблем, Самара, Россия

В.Т. Волов

Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия

Поступила 28 октября 2019/ Принята к публикации: 12 ноября 2019

Innovative method for assessing neuropsychological status based on entropy approach

Vsevolod V. Volov

Samara Institute of Fundamental and Applied Research, Samara, Russia

Vyacheslav T. Volov*

Samara State Transport University, Samara, Russia

* Corresponding author E-mail: vsevolov79@mail.ru

Received October 28, 2019 / Accepted for publication: November 12, 2019

Актуальность (контекст) тематики статьи. Актуальность работы связана с необходимостью определения нервно-психического состояния и устойчивости к нагрузке в разных условиях деятельности человека. Такой подход согласуется с тенденциями современной психологии исследования самоорганизации в аспекте выявления процессов, лежащих в основе стресс-реакции во время преодоления физического и центрального утомления.

Цель работы: апробация метода критериальных оценок нервно-психической устойчивости для прогноза моторно-двигательных возможностей, поведения и состояния индивида.

Описание хода исследования. В статье представлен инновационный количественный метод оценки нервно-психического утомления на основе энтропийного подхода. Предлагаемый метод включает формулу условной детерминированной энтропии, инструментарий неравновесной термодинамики в ее информационной интерпретации (теорема И. Пригожина о минимуме производства энтропии). За основу взяты данные Биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, где было проведено исследование студентов и спортсменов (71 юноша и 72 девушки, средний возраст 20+3 года). Апробация метода, осуществленная на основе опытных экспериментальных данных психофизиологических показателей (теппинг-тест), позволила дать критериальную оценку устойчивости нервно-психического состояния испытуемых.

Результаты исследования. Данные подтвердили валидность метода и позволили выявить на его основе устойчивые и неустойчивые состояния, связанные с ростом нервно-психического напряжения и приводящие к центральному утомлению.

Выводы. Закономерности, выявленные по трендам деятельности (экспериментальных проб), не только соответствуют данным методики теппинг-теста, но и показывают более точные и качественно содержательные оценки нервно-психического напряжения и состояния системы в целом. Данный подход создает перспективу создания на основе энтропийного метода технологии индивидуального мониторинга нервно-психического напряжения – «теппинг-холтера», а также позволяет производить обобщенные оценки спортивных команд в процессе тренировок, например для игровых видов спорта.

Ключевые слова: условная энтропия, критерий устойчивости, нервно-психическое утомление, психология спорта, психофизиология, теппинг-тест, энтропийный подход.

Background. The paper presents an innovative quantitative method for assessing neuropsychic fatigue based on the entropy approach. The relevance of the work is connected with the need to determine the neuropsychic state and resistance to stress in different conditions of human activity. This approach is consistent with the trends of modern psychology research on self-organization in the aspect of identifying the processes that underlie the stress response during overcoming physical and central fatigue. The proposed method includes the formula of conditional deterministic entropy, tools of nonequilibrium thermodynamics in its information interpretation (I. Prigogine's theorem on the minimum of entropy production).

Objective. The approbation results of the criterion estimates of neuropsychic stability for the prediction of motor-motor capabilities, behaviour and state of the individual are shown.

Background. The study of students and athletes (71 boys and 72 girls, average age 20+3 years) was conducted based on the data provided by the Biological Faculty of Moscow Lomonosov State University. The approbation of the method carried out on the basis of the data of psycho-physiological indicators (tapping test) allowed to assess the stability of the neuropsychic state of athletes.

Results. The data confirmed the validity of the method and made it possible to identify stable and unstable states associated with the growth of neuropsychic stress that may result in central fatigue.

Conclusion. The regularities revealed in the experimental samples do not only correspond to the data of the tapping test technique, but also show more accurate and qualitatively meaningful assessments of the neuropsychic stress and the state of the system as a whole. The approach makes it possible to create a device for monitoring neuropsychic stress, i.e. «Halter tapping», and also allows to make similar assessments of sports teams in the process of training, for example, for game sports.

Keywords: conditional entropy, stability criterion, neuropsychic fatigue, sports psychology, psychophysiology, tapping test, entropy approach

Введение

Среди фундаментальных вопросов психологии особенно остро стоит проблема определения нервно-психического состояния, т.к. ее решение связано с целым спектром научно-практических

ности в экстремальных и стрессовых условиях (спортивные соревнования, работа при утомлении и др.), связанной с особенностями нервной системы и возможностями психики человека.

Среди всего многообразия диагностических методик не встречаются такие,

Определение устойчивости любой системы начинается с количественных оценок. В отношении психики и нервно-психического состояния данная задача, на наш взгляд, может быть решена путем естественнонаучного подхода с применением точных измерений, методов критериальной оценки устойчивости и определения уровня энтропии

задач, требующих современного подхода. Прежде всего, это необходимость разработки метода критериальных оценок нервно-психической устойчивости для прогноза моторно-двигательных возможностей, поведения и психоэмоционального состояния индивида (Берг, 2005; Чермянин, Корзунин, 2008; Залев-

которые решали бы задачу непосредственного измерения психоэмоционального состояния с последующей критериальной оценкой устойчивости в данный момент времени. Психологические тесты опираются, как правило, на субъективный самоотчет испытуемого либо диагностируют признаки психических

Первые закономерности психических процессов, как известно, были установлены с помощью физиологических измерений внимания, памяти, восприятия и психомоторной деятельности на основе математического анализа. Однако устойчивость и психоэмоциональных, и нервных процессов существующие методики до сих пор не измеряют

ский, Рогачева и др., 2015). Данный показатель является универсальным – он одновременно применим как для установления психического состояния, так и для выявления способности к деятель-

отклонений, т.е. предлагают качественные оценки.

Как известно, определение устойчивости любой системы начинается с количественных оценок. В отношении пси-

хики и нервно-психического состояния данная задача, на наш взгляд, может быть решена путем естественнонаучного подхода с применением точных измерений, методов критериальной оценки устойчивости и определения уровня энтропии.

Психофизиологические методики дают возможность количественной оценки нервных процессов, их силы, уравновешенности и подвижности, уровня стрессоустойчивости. Они пригодны и для определения состояния психики, т.к. представляют итоговую ее оценку в деятельности. Такой подход сформировался еще во время становления общей психологии. Первые закономерности психических процессов, как известно, были установлены с помощью физиологических измерений внимания, памяти, восприятия и психомоторной деятельности на основе математического анализа. Однако устойчивость и психоэмоциональных, и нервных процессов существующие методики до сих пор не измеряют. Вместе с тем, необходимость такой оценки, как и определение уровня энтропии, продиктована тенденциями современной психологии к выявлению механизмов самоорганизации. Кроме того, идеология системного подхода, развиваемая в его различных модификациях в отечественной науке, подразумевает разработку аналитического инструментария для выявления уровней организации системы и закономерностей ее функционирования, будь то психологическая система, деятельность или сложная форма поведения (Анохин, 1980; Ломов, 1975).

Необходимость и возможность определения меры хаоса нервно-психического состояния и различных психологических систем, а также подход к решению такой задачи рассматриваются в работах современных ученых в рамках междисциплинарных исследований. На их основе уже установлены отдельные закономерности исследования психомоторных явлений. Такой подход не противоречит и фундаментальным принципам психологического исследования, т.к. в своей основе он не приводит к механицизму и сведению сложных психологических процессов к абстрактным математическим моделям с применением неадаптированных понятий других наук.

**Вячеслав Теодорович Воллов** –

доктор педагогических, социологических, физико-математических, технических, экономических наук, профессор, член-корреспондент РАО, зав. кафедрой «Естественные науки» Самарского государственного университета путей сообщения
E-mail: vtvolov@mail.ru
<https://www.peoplelife.ru/60339>

**Всеволод Вячеславович Воллов** –

кандидат психологических наук, зам. директора по науке Самарского института фундаментальных и прикладных проблем
E-mail: vsevolov79@mail.ru

Для цитирования: Воллов В.В., Воллов В.Т. Инновационный метод оценки нервно-психического состояния на основе энтропийного подхода // Национальный психологический журнал. – 2019. – № 4(36). 00–00. С. doi: 10.11621/npj.2019.0400

For citation: Vsevolod V.V., Volov V.T. (2019). Innovative method for assessing neuropsychological status based on entropy approachers. National Psychological Journal, [Natsional'nyy psikhologicheskii zhurnal], (12)4, 00–00. doi: 10.11621/npj.2019.0400

ISSN 2079-6617 Print | 2309-9828 Online
© Lomonosov Moscow State University, 2019
© Russian Psychological Society, 2019

Более того, уже сейчас с их помощью получены новые результаты. Применение энтропийного метода, разностороннего аппарата синергетики и естествознания позволило при исследовании базовых эмоций по мимическим реакциям установить отдельные закономерности их проявлений (Зинченко и др., 2016, Chernogizov et al., 2016) и механизмы системы эмоциональной саморегуляции в норме и при патологии головного мозга (Волов, Волов, 2016).

Исследование моторно-двигательных навыков, произвольных движений (тремор) является наиболее доступной сферой диагностики и оценки нервно-психического состояния, его устойчивости и определения особенностей саморегуляции индивида. Неслучайно именно на базе исследований в этой области специалисты различных направлений психологии и естествознания выявили отдельные закономерности работы мозга и системной организации высших психических функций (ВПФ) (Haken et al., 1985; Thelen, 1995; Schöner, 1996; Freund, 1993; Summer, Burns, 1993; Kupfermann, 1993; Boksem, Meijman, 2005; Jax, Rosenbaum, 2007).

В связи с вышесказанным, целью исследования является апробация метода критериальных оценок нервно-психической устойчивости индивида при различных на него воздействиях для прогноза моторно-двигательных возможностей, поведения и состояния индивида. В работе применяются валидные психофизиологические методики и психологические тесты, математические методы (энтропийный и статистический анализ). В оценке устойчивости нервно-психического состояния на основе исследования прикомоторных проявлений мы опираемся на энергетическую парадигму, теорию Н.А. Бернштейна и методологические основы теории функциональных систем П.К. Анохина.

Аналитический метод количественной оценки устойчивости нервно-психического состояния

В качестве основы количественного исследования нервно-психического

состояния спортсменов выбран метод условных энтропий (Мартин, Инглэнд, 1988; Волов, 2005), т.к. он имеет хорошо разработанный и достаточно простой в использовании аналитический аппарат, который получил широкое распространение и применение в точных, общественных и гуманитарных науках (Волов, 2000, 2001). В связи с этим, необходимо отметить цикл психо-физиологических исследований с применением энтропийного аппарата (Еськов, Зинченко, Филатов, 2016). Для формулы условной энтропии учитывались следующие свойства математической энтропии:

$\tilde{H} \geq 0$ – неотрицательность; (1)

$\exists \tilde{H}_{max} > 0: \tilde{H} \leq \tilde{H}_{max}$ – ограниченность; (2)

$\tilde{H} \geq \sum_{i=1}^N \tilde{H}_i$ – аддитивность. (3)

Величину, \tilde{H}_i удовлетворяющую свойствам (1-3), удобно нормировать,

$$H_i = \tilde{H}_i / \tilde{H}_i^{max}$$

где \tilde{H}_i^{max} – максимальное значение энтропии организма и считать, что

$$0 \leq H_i \leq 1.$$

Кроме того, при построении условной энтропии применяется принцип «золотого сечения» или «золотой пропорции»:

$$H = H_0 = 0.618, (4)$$

который соответствует не только «принципу красоты» (Gareev et al., 2002; Stakhov, 2005), но и нормальному функционированию организма (Ляпунов, 1975; Prigogine, 1977).

В качестве обобщенной меры нервно-психического состояния и основы критериев устойчивости индивида мы предлагаем следующую формулу для его нормированной условной энтропии:

$$H = 1 - \frac{1 - H_0}{\ln(N_{max}/N_0)} \ln(N_{max}/N(t)) (5)$$

где N_{max} – $N(t)$ – максимальное и текущее значение показаний в тесте, N_0 – значение показаний, лежащее в интервале и соответствующее значению условной

энтропии $H = H_0$. Выбор логарифмического вида формулы для энтропии (5) обусловлен тем, что за малым исключением (Volov, 2013) все известные формулы энтропии (детерминированные и вероятностные) имеют логарифмический вид. Из формулы (5) следует, что H удовлетворяет условиям (1), (2). Кроме того, отметим, что для возможных составных систем (которые мы здесь не рассматриваем) ненормированная энтропия $\tilde{H} = H \cdot \tilde{H}^{max}$ удовлетворяет условию аддитивности (3). Естественно, что выбор формулы (5) для нормированной детерминированной энтропии – не единственный, можно предложить и другие формы реализации, согласующиеся со свойствами математической энтропии. Поэтому вопрос о «правильности» данной предложенной формулы (5) в данном теоретическом контексте не имеет смысла, но имеет смысл говорить об адекватности введенной величины для описания исследуемых систем. Единственным критерием адекватности предложенной формулы является ее апробация на реальных данных.

Показания в тесте $N(t)$, соответствующее нулевому значению условной энтропии ($H=0$), определяется следующим образом:

$$N_{min} = N_{max} / (N_{max} / N_0)^{1/(1-H_0)} (6)$$

Условная энтропия (5) представляет собой детерминированную меру компаративной количественной оценки, полученной в тесте, к максимально возможной. В контексте настоящего исследования условная энтропия представляет собой количественную меру нервно-психического утомления. Под состоянием равновесия в статье понимается состояние, характеризующееся отсутствием нарастания осцилляции тренда энтропии во времени и малой величиной ее осцилляций, по сравнению с ее осредненным значением ($\delta H / H_{cp} \ll 1$). Энтропия «золотого сечения» H_0 в статье определяется как усредненное значение энтропии повторных замеров первых двух отрезков теппинг-теста (2x5сек), выполненного группой молодых здоровых испытуемых.

Теория устойчивости А.М. Ляпунова дала теоретико-методологический аппа-

рат формулирования критериев устойчивости в синергетике (Ляпунов, 1950), а более конкретно – в термодинамике структуры, где в качестве критериев устойчивости приняты знаки второго

монотонной деятельностью, которое проявляется уменьшением силы и увеличением энергозатрат (умственных и физических) для выполнения работы. Утомление приводит к временному сни-

тельности в диапазоне проявлений, позволяющем системе находится в квазиравновесном состоянии (без признаков утомления или истощения).

Перечисленные термины включены в понятие нервно-психического состояния. Признаки напряжения и его переход в утомление определяются с помощью предложенного авторского метода.

Физическое утомление, возникающее в результате интенсивной физической нагрузки и приводящее к аритмии работы мышц, снижению скорости движений, достаточно хорошо изучено. Поэтому в настоящем исследовании на основе разработанного энтропийного метода анализируется центральное (нервно-психическое) утомление при тех или иных воздействиях на индивида

дифференциала энтропии (вблизи равновесия) и производства избыточной энтропии (вдали от равновесия) (Prigogine, 1977):

$$\frac{d^2H}{dt^2} \leq 0 \quad (7)$$

По знаку второго дифференциала, опираясь на теорему И. Пригожина о минимуме производства энтропии, можно определить, устойчива динамика состояния системы или нет.

В случае выпуклой траектории энтропии ($d^2H/dt^2 < 0$) состояние системы устойчиво, а в случае вогнутой ($d^2H/dt^2 < 0$) – неустойчиво.

Экспериментальные исследования нервно-психической напряженности

Нервно-психическое напряжение возникает при воздействии стрессоров, вызывающих адаптационные реакции организма и психики в ситуации повышенной или длительной нагрузки. Постепенно, в зависимости от резистентности ЦНС

жению работоспособности. Различают мышечное (физическое) и центральное (нервно-психическое) утомление. Физическое утомление, возникающее в результате интенсивной физической нагрузки и приводящее к аритмии работы мышц, снижению скорости движений, достаточно хорошо изучено. Поэтому в настоящем исследовании на основе разработанного энтропийного метода анализируется центральное (нервно-психическое) утомление при тех или иных воздействиях на индивида. Данный тип утомления развивается не в мышцах, а в областях коры мозга, от которых зависит передача возбуждающего сигнала к мотонейронам. Успешное выполнение деятельности (например, спортивной) зависит от способности центральной нервной системы (ЦНС) инициировать команды к действию, вопреки нарастанию ощущения состояния усталости. При длительной или интенсивной деятельности физическое и центральное утомление сочетаются, приводя к развитию стресса (либо дистресса) и истощению. Мониторинг данного процесса позволяет в динамике оценить способность сис-

Методика исследования.

Основной базой исследований был Биологический факультет МГУ, где испытуемыми стали 143 студента: 71 юноша и 72 девушки, средний возраст 20+3 года (Сысоева и др., 2009). Выборка представлена контрольной группой (здоровые добровольцы, не занимающиеся спортом) и спортсменами, занимающимися разными видами спорта. В качестве основного теста апробации предлагаемого энтропийного метода оценки напряженности нервно-психического состояния выбран теппинг-тест.

Полуширина доверительного интервала для каждого из испытуемых не превышала $p=0,05$ от ожидаемого значения. Все количественные показатели статистической обработки эксперимента по теппинг-тесту приняты согласно полученным данным (Малюченко и др., 2009).

В данном случае в формуле условной энтропии (5) N_{max} , $N(t)$ – максимально возможное и текущее число касаний в теппинг-тесте соответственно, N_0 – значение касаний, лежащее в интервале $0 \leq N_{max} \leq N$ и соответствующее значению условной энтропии ($H=H_0$). Необходимо дать комментарий допущения (3) для энтропийной оценки нервно-психического напряжения. Свойство аддитивности энтропии (3) справедливо, когда имеет место независимость или слабое влияние нервно-психического состояния индивидов друг на друга (например, при групповых видах спорта). Правомочность использования критерия устойчивости (7), соответствующего состоянию системы, находящейся вблизи равновесия, объясняется тем фактом, что все испытуемые психически здоровы, т.е. их психика находится вблизи своего равновесного состояния.

Выявленные закономерности динамики энтропии согласуются с положениями методологического подхода психодиагностики в психологии и психофизиологии. В частности, выявление тренда деятельности для установления утомления в теппинг-тесте является неотъемлемой частью методики

и приспособительных возможностей наступает нервно-психическое утомление и истощение.

В настоящей работе под нервно-психическим утомлением понимается функциональное состояние человека, вызванное длительной напряженной

темы к самоорганизации, устойчивость к нагрузке и уровень ее энтропии.

Под нервно-психической устойчивостью понимается интегральная характеристика нервно-психического состояния, отражающая способность поддерживать определенный уровень де-

Результаты исследования.

На рис. 1–5 представлены зависимости условной энтропии H числа касаний (тремора) от времени проведения теста для испытуемых. Из рис. 2 следует, что имеет место неустойчивая динамика энтропии (кривая вогнута), что соответствует неустойчивому нервно-психическому состоянию испытуемого, психика которого находится вблизи своего равновесия.

Рис. 1 и 2 иллюстрируют устойчивую динамику энтропии (выпуклая кривая – рис. 2), что соответствует устойчивому нервно-психическому состоянию и характеризует нейтральную устойчивость (прямолинейный тренд, зависимость энтропии от времени). Из рис. 2 следует, что любые внешние воздействия на психику испытуемого могут перевести ее в неустойчивое состояние.

Необходимо отметить, что выявленные закономерности динамики энтропии согласуются с положениями методологического подхода психодиагностики в психологии и психофизиологии. В частности, выявление тренда деятельности для установления утомления в теппинг-тесте является неотъемлемой частью методики. Последняя по своим результатам согласуется с данными, полученными с помощью предложенного аналитического аппарата по оценке энтропии, показывающим более точные и качественно содержательные оценки не только нервно-психического напряжения, но и состояния системы в целом.

По результатам количественного анализа испытаний в теппинг-тесте можно ввести дополнительный критерий устойчивости нервно-психического напряжения. Если в теппинг-тесте осцилляции энтропии существенно меньше усредненного по интервалу Δt ($\Delta t/T \ll 1$), где T – период проведения теста) значения энтропии измерений ($\Delta H/H_{cp} \ll 1$), то данный факт свидетельствует о нормальном функционировании испытуемого при внешних воздействиях (рис. 2). В противном случае ($\Delta H/H_{cp} \sim 1$) имеет место негативное нервно-психическое состояние. В случае роста параметра ($\Delta H/H_{cp}$) во времени имеет место нарастание негативных тенденций нервно-психического напряжения. А в случае

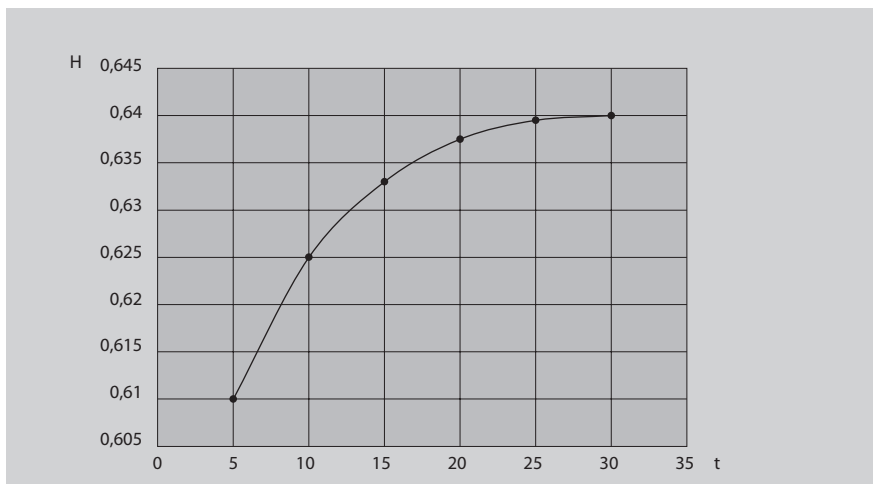


Рис. 1. Зависимость условной энтропии H в теппинг-тесте при устойчивом нервно-психическом напряжении ($d^2H/dt^2 < 0$).

Fig. 1. Dependence of conditional entropy H in the tapping test with stable neuropsychic strain ($d^2H/dt^2 < 0$).

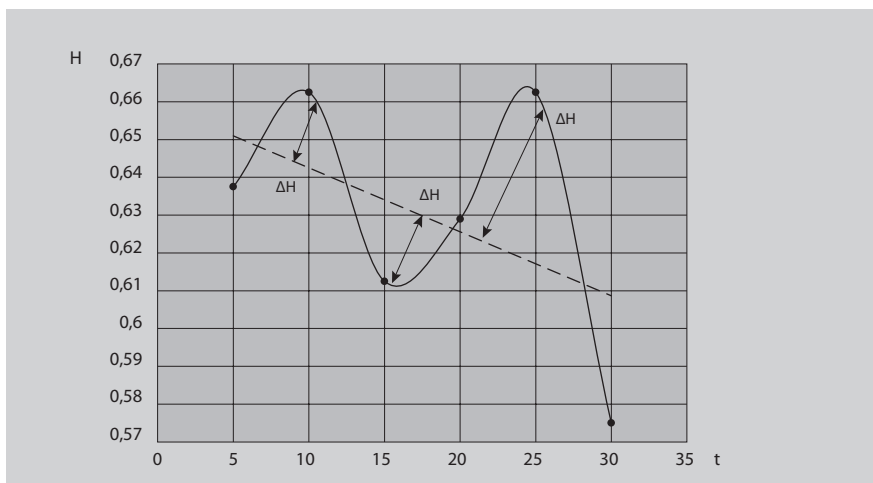


Рис. 2. Зависимость энтропии H при квазинейтральном нервно-психическом состоянии

Fig. 2. Dependence of entropy H in a quasineutral neuropsychic state

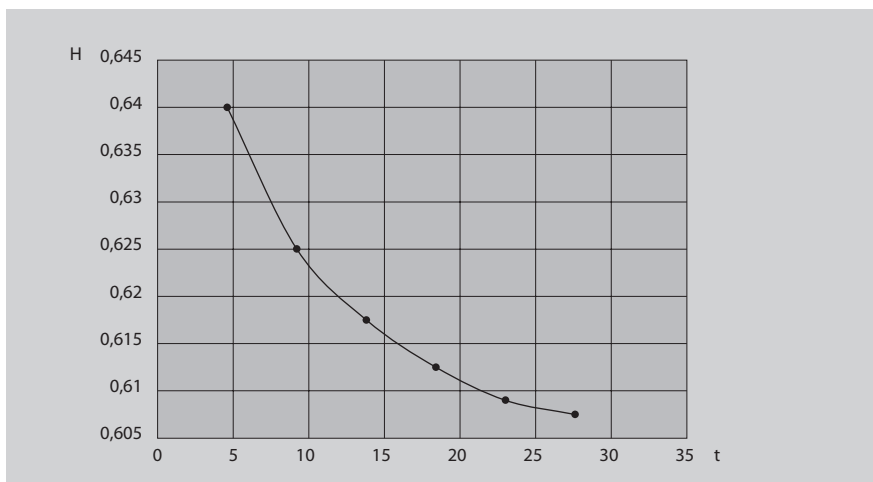


Рис. 3. Зависимость энтропии H при неустойчивом нервно-психическом напряжении ($d^2H/dt^2 > 0$).

Fig. 3. Dependence of entropy H in unstable neuropsychic strain ($d^2H/dt^2 > 0$).

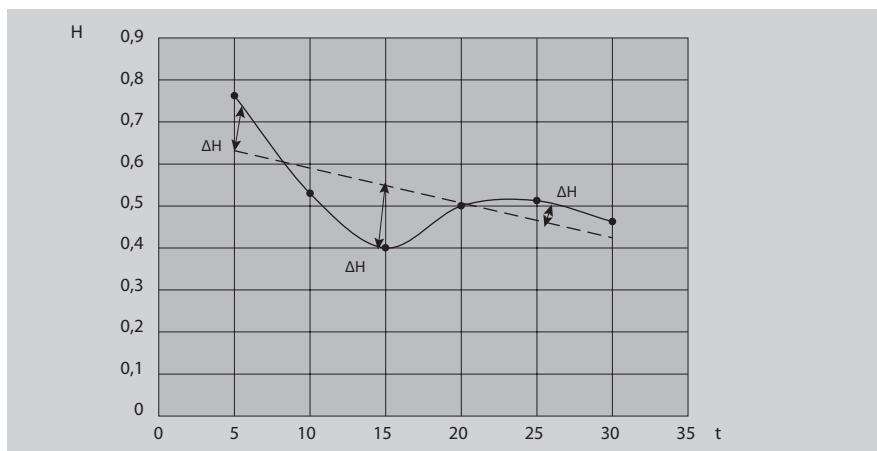


Рис. 4. Зависимость энтропии H при одновременном нарастании центрального утомления и адаптации испытуемого к нагрузке ($\Delta H \downarrow$)

Fig. 4. Dependence of entropy H with a simultaneous increase in central fatigue and adaptation of the subject to the load ($\Delta H \downarrow$)

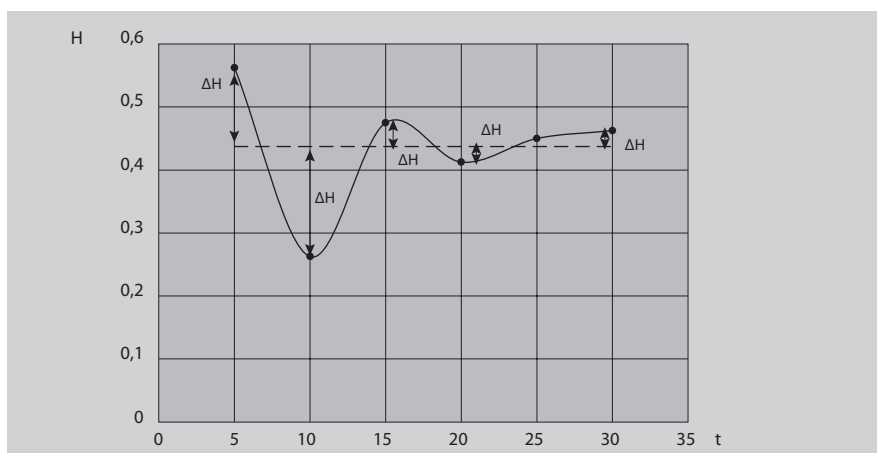


Рис. 5. Зависимость энтропии H при эталонной адаптации нервно-психического состояния испытуемого к нагрузке ($\Delta H \downarrow$)

Fig. 5. The dependence of entropy H in the standard adaptation of the neuropsychic state of the subject to the load ($\Delta H \downarrow$)

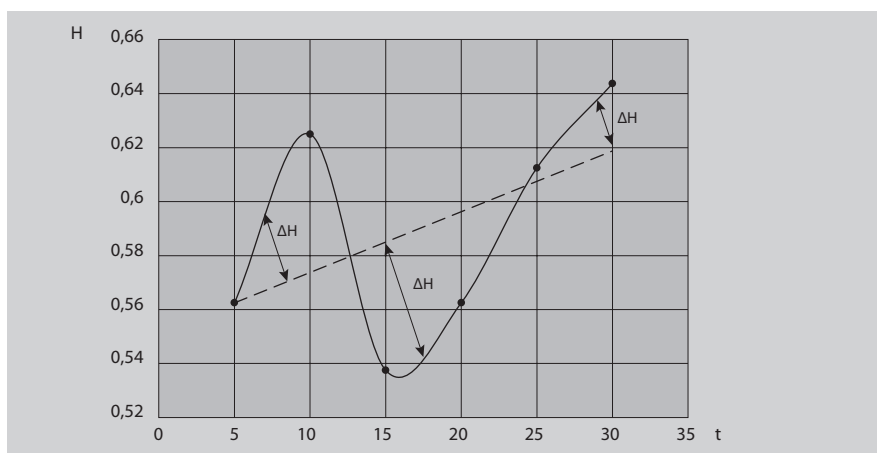


Рис. 6. Зависимость энтропии H для испытуемых с феноменальной возможностью устойчивой адаптации к возрастающей нагрузке

Fig. 6. Dependence of entropy H for subjects with a phenomenal possibility of stable adaptation to increasing load

убывания параметра ($\Delta H/H_{\text{фр}}$) имеет место трансформация в устойчивое нервно-психическое состояние (рис. 4, 5, 6). Очевидно, что теппинг-тест представляет собой характеристику нервно-психического состояния только в измеряемый промежуток времени и повторить его даже у одного и того же индивида невозможно. Однако многократные повторные проведения теппинга с одним и тем же испытуемым позволяют достоверно определить тренд энтропии для него, выявить признаки утомления и составить долговременную характеристику устойчивости его нервно-психического состояния.

Заключение

Следует отметить, что авторами был разработан инновационный метод мониторинга нервно-психического состояния. Апробация метода по данным теппинг-теста позволила, опираясь на жестко формализованный аппарат синергетики, выявить устойчивые и неустойчивые состояния, связанные с ростом нервно-психического напряжения и приводящие к центральному утомлению. В качестве перспективы применения предложенного метода можно рассматривать создание на его основе прибора мониторинга нервно-психического напряжения – «теппинг-холтера». Это создаст предпосылки для более тонкого анализа адаптивных возможностей индивида в динамике в разных условиях. Кроме того, представленный метод и лежащий в его основе научный аппарат в дальнейшем могут быть применимы и для создания и использования других диагностических методик, связанных с оценкой эмоциональной и когнитивной сферы.

Необходимо подчеркнуть, что, согласно полученным результатам, особенно важны следствия свойства аддитивности условной энтропии при психологическом мониторинге и организации групповых видов спорта. Предложенный энтропийный метод позволяет оперативно давать количественные оценки устойчивости нервно-психического напряжения и отдельных членов спортивных команд, и всей команды в целом в процессе тренировок.

Литература:

- Анохин П.К. Узловые вопросы теории функциональных систем. – Москва : Наука, 1980. – 197 с.
- Берг Т.Н. Нервно-психическая неустойчивость и способы ее выявления. – Владивосток : Морской государственный ун-т, 2005. – 63 с.
- Бернштейн Н.А. Физиология движений и активность / под ред. О.Г. Газенко. АН СССР. – Москва : Наука, 1990. – 494 с.
- Волов В.Т. Об одном классе условных энтропий // Обзорение прикладной и промышленной математики. – 2005. – Т. 12. – № 4. – С. 929–930. doi: 10.1016/j.acra.2005.03.051
- Волов В.Т., Волов В.В. Исследование психоэмоциональной устойчивости на основе матрицы базальных эмоций // Национальный психологический журнал. – 2016. – № 4(24). – С. 98–107. doi: 10.11621/npj.2016.0412
- Зинченко Ю.П., Еськов В.М., Еськов В.В. Понятие эволюции Глендсдорфа-Пригожина и проблема гомеостатического регулирования в психофизиологии // Вестник московского университета. Серия 14. Психология. – 2016. – № 1. – С. 3–24. doi: 10.11621/vsp.2016.01.03
- Ломов Б.Ф. О системном подходе в психологии // Вопросы психологии. – 1975. – № 2. – С. 31–45.
- Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения. – Москва; Ленинград : ГИТТЛ, 1950. – 471 с.
- Малюченко Н.В., Щеголькова Ю.В., Куликова М.А., Тимофеева М.А., Шлепцова В.А., Сысоева О.В., Тоневицкий А.Г. Гендерные влияния на ассоциацию полиморфизма гена серотонинового транспортера с симптомами центрального утомления // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2009. – Т. 147. – № 4. – С. 445–448. doi: 10.1007/s10517-009-0559-2
- Мартин Н., Ингленд Дж. Математическая теория энтропии. – Москва : Мир, 1988. – 350 с.
- Рогачева Т.В., Залевский Г.В., Левицкая Т.Е. Психология экстремальных ситуаций и состояний : учебное пособие. – Томск : Издательский дом ТГУ, 2015. – 276 с.
- Сысоева О.В., Малюченко Н.В., Смирнов К.С., Шлепцова В.А., Иваницкий А.М., Тоневицкий А.Г. Особенности анализа информации мозгом у носителей разных вариантов гена транспортера серотонина // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2009. – Т. 148. – № 11. – С. 484–487. doi: 10.1007/s10517-010-0803-9
- Чермянин С.В., Корзунин В.А., Юсупов В.В. Методологические аспекты диагностики нервно-психической неустойчивости у специалистов экстремальных видов деятельности // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2008. – № 6. – С. 49–54.
- Boksem M.S., Meijman T.F., & Monicque M. (2005). Effects of mental fatigue on attention: an ERP study. *Cognitive Brain Research*. Vol. 25. doi: 10.1016/j.cogbrainres.2005.04.011
- Chernorizov A.M., Zhong-qing J., Petrakova A.V., & Zinchenko Yu. P. (2016). Face cognition in humans: Psychophysiological, developmental, and cross-cultural aspects. *Psychology in Russia: State of the Art*, 9 (4), 37–50. doi: 10.11621/pir.2016.0404
- Freund H.I. (1993). Motor unit and muscle activity in voluntary motor control. *Psychological Reviews*, 63, 387–436. doi: 10.1152/physrev.1983.63.2.387
- Gareev F.A. Gareeva E.F. & Zhidkova I.E. (2002). The Golden Section in Some Parts of Theoretical Physics, Samara.
- Haken H., Kelso J.A.S., & Bunz H. (1985). A theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biol. Cybernetics*, S1, 347–356. doi: 10.1007/BF00336922
- Jax S.A., & Rosenbaum D.A. (2007). Hand path priming in manual obstacle avoidance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33, 425–441. doi: 10.1037/0096-1523.33.2.425
- Jax S.A., Rosenbaum D.A., & Vaughan J. (2007). Extending Fitts' Law to manual obstacle avoidance. *Journal of Experimental Brain Research*, 180, 775–779. doi: 10.1007/s00221-007-0996-y
- Kupfermann I. (1993). The generation of motor pattern. *Current directions in Psychological Science*, 2, 126. doi: 10.1111/1467-8721.ep10772613
- Prigogine, I., & Nicolis, G. (1977). *Self-Organization in Non-Equilibrium Systems*, Wiley.
- Prigogine, I. «Time, Dynamics and Chaos: Integrating Poincaré's 'Non-Integrable Systems'», Center for Studies in Statistical Mechanics and Complex Systems at the University of Texas-Austin, United States Department of Energy-Office of Energy Research, Commission of the European Communities.
- Schöner G., Haken H., & Kelso J.A.S. (1986). A stochastic theory of phase transitions in human hand movements. *Biol. Cybernetics*, 53, 247–257. doi: 10.1007/BF00336995
- Stakhov, A. The Generalized Principle of the Golden Section and its applications in mathematics. *Chaos Solitons & Fractals*, 26 (2), 263–289. doi: 10.1016/j.chaos.2005.01.038
- Summer J., Rosenbaum D.A., & Burns B. (1993). Production of polyrhythms. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 416–426. doi: 10.1037//0096-1523.19.2.416
- Thelen E. (1995). Motor development: A new synthesis. *American Psychophysicologist*, 50, 79–95. doi: 10.1037/0003-066X.50.2.79
- Volov V.T. (2013). Fractal-cluster theory and thermodynamic principles of the control and analysis for the self-organizing systems. Retrieved from: <https://arxiv.org/abs/1309.1415v1>.
- Volov, V.T. (2000). *Fractal-Cluster Theory of Educational Institutions Management*, Kazan University Press, Kazan.
- Volov, V.T. (2001). *Economics, Fluctuations and Thermodynamics*, GHQ Academy of Sciences, Samara.

References:

- Anokhin P.K. (1980). Major issues of the theory of functional systems. Moscow, Nauka, 197.
- Berg T.N. (2005). Neuropsychic instability and methods for its detection. Vladivostok, Morskoy gosudarstvennyy Universitet, 63.

- Bernstein N.A. (1990). Physiology of movements and activity. USSR Academy of Sciences. Moscow, Nauka, 494.
- Boksem M.S., Meijman T.F., & Monicque M. (2005). Effects of mental fatigue on attention: an ERP study. *Cognitive Brain Research*. Vol. 25. doi: 10.1016/j.cogbrainres.2005.04.011
- Chermyanin S.V., Korzunin V.A., & Yusupov V.V. (2008). Methodological aspects of the diagnosis of neuropsychiatric instability in specialists of extreme activities. [*Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*], 6, 49–54.
- Chernorizov A.M., Zhong-qing J., Petrakova A.V., & Zinchenko Yu. P. (2016). Face cognition in humans: Psychophysiological, developmental, and cross-cultural aspects. *Psychology in Russia: State of the Art*, 9 (4), 37–50. doi: 10.11621/pir.2016.0404
- Freund H.I. (1993). Motor unit and muscle activity in voluntary motor control. *Psychological Reviews*, 63, 387–436. doi: 10.1152/physrev.1983.63.2.387
- Gareev F.A. Gareeva E.F. & Zhidkova I.E. (2002). The Golden Section in Some Parts of Theoretical Physics, Samara.
- Haken H., Kelso J.A.S., & Bunz H. (1985). A theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biol. Cybernetics*, 51, 347–356. doi: 10.1007/BF00336922
- Jax S.A., & Rosenbaum D.A. (2007). Hand path priming in manual obstacle avoidance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33, 425–441. doi: 10.1037/0096-1523.33.2.425
- Jax S.A., Rosenbaum D.A., & Vaughan J. (2007). Extending Fitts' Law to manual obstacle avoidance. *Journal of Experimental Brain Research*, 180, 775–779. doi: 10.1007/s00221-007-0996-y
- Kupfermann I. (1993). The generation of motor pattern. Current directions in Psychological Science, 2, 126. doi: 10.1111/1467-8721.ep10772613
- Lomov B.F. (1975). On a systematic approach in psychology. [*Voprosy psikhologii*], 2, 31–45.
- Lyapunov A.M. (1950). The general problem of the stability of movement, Moscow-Leningrad, GITTL, 471.
- Malyuchenko N.V., Schegolkova Yu.V., Kulikova M.A., Timofeeva M.A., Shleptsova V.A., Sysoeva O.V., & Tonevitsky A.G. (2009). Gender effects on the association of serotonin transporter gene polymorphism with symptoms of central fatigue. [*Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny*], 147(4), 445–448. doi: 10.1007/s10517-009-0559-2
- Martin N., & England J. (1988). The mathematical theory of entropy. Moscow, Mir, 350.
- Prigogine, I., & Nicolis, G. (1977). Self-Organization in Non-Equilibrium Systems, Wiley.
- Prigogine, I. «Time, Dynamics and Chaos: Integrating Poincaré's 'Non-Integrable Systems», Center for Studies in Statistical Mechanics and Complex Systems at the University of Texas-Austin, United States Department of Energy-Office of Energy Research, Commission of the European ++Communities.
- Rogacheva T.V., Zalevsky G.V., & Levitskaya T.E. (2015). Psychology of extreme situations and conditions: a training manual. Tomsk, Izdatel'skiy Dom TGU, 276.
- Schöner G., Haken H., & Kelso J.A.S. (1986). A stochastic theory of phase transitions in human hand movements. *Biol. Cybernetics*, 53, 247–257. doi: 10.1007/BF00336995
- Stakhov, A. The Generalized Principle of the Golden Section and its applications in mathematics. *Chaos Solitons & Fractals*, 26 (2), 263–289. doi: 10.1016/j.chaos.2005.01.038
- Summer J., Rosenbaum D.A., & Burns B. (1993). Production of polyrhythms. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 416–426. doi: 10.1037//0096-1523.19.2.416
- Sysoeva O.V., Malyuchenko N.V., Smirnov K.S., Shleptsova V.A., Ivanitsky A.M., & Tonevitsky A.G. (2009). Features of the analysis of information by the brain in carriers of different variants of the serotonin transporter gene. [*Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny*], 148, 11. doi: 10.1007/s10517-010-0803-9
- Thelen E. (1995). Motor development: A new synthesis. *American Psychophysicologist*, 50, 79–95. doi: 10.1037/0003-066X.50.2.79
- Volov, V.T. (2000). Fractal-Cluster Theory of Educational Institutions Management, Kazan University Press, Kazan.
- Volov, V.T. (2001). Economics, Fluctuations and Thermodynamics, GHQ Academy of Sciences, Samara.
- Volov V.T. (2013). Fractal-cluster theory and thermodynamic principles of the control and analysis for the self-organizing systems. Retrieved from: <https://arxiv.org/abs/1309.1415v1>.
- Volov V.T. (2005) On a class of conditional entropies. [*Obozrenie prikladnoy i promyshlennoy matematiki*], 12(4), 929–930. doi: 10.1016/j.acra.2005.03.051
- Volov V.T., & Volov V.V. (2016). The study of psycho-emotional stability based on the matrix of basal emotions. *National Psychological Journal*, 4 (24), 98–107. doi: 10.11621/npj.2016.0412
- Zinchenko Yu.P., Eskov V.M., & Eskov V.V. (2016). The concept of Glensdorf-Prigogine evolution and the problem of homeostatic regulation in psychophysiology. [*Vestnik moskovskogo universiteta*]. Series 14. Psychology, 1, 3–24. doi: 10.11621/vsp.2016.01.03