

УДК (612.014.3+613.86):577.3

ЕДИНСТВО ИЗМЕНЕНИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА РАБОТАЮЩЕГО ПРИ РАЗВИТИИ УТОМЛЕНИЯ.

СООБЩЕНИЕ 3. БИОРИТМОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Кальниш В. В., Пышнов Г. Ю.

ГУ «Институт медицины труда НАМН Украины», г. Киев

В статье рассматривается гипотеза биоритмологического механизма развития различных функциональных состояний человека, в частности, развития хронического утомления в условиях трудовой деятельности. Предлагаются для обсуждения новые представления о формировании «напряжения» и «утомления» как двуединого функционального состояния, развивающегося в процессе работы. На основе оригинальных исследований получены данные, свидетельствующие о многоуровневом механизме ритмической регуляции физиологических функций организма человека. Разработаны интегральные показатели для разграничения состояния спокойного бодрствования, эмоционального напряжения и хронического утомления. Предложена феноменологическая модель развития состояний напряжения и утомления.

Ключевые слова: функциональное состояние, напряжение, утомление, хроническое утомление, биоритмологический подход

Проблема сопряженного развития утомления и эмоционального напряжения имеет много аспектов. Многочисленные, подчас противоречивые сведения о динамике этих состояний пока не объединены в целостную концепцию. Поэтому исследование различных подходов к решению указанной проблемы является актуальным, имеющим ощутимое теоретическое и практическое значение.

Биоритмологический подход к объяснению механизмов развития утомления. Для пояснения процессов, происходящих в организме человека при формировании утомления и хронического утомления, целесообразно привлечь несколько теорий и фундаментальных концепций. В частности, необходимо отметить, что одним из продуктивных современных подходов к анализу явлений природы является подход, в котором колебательные процессы в живых системах рассматриваются как основополагающие, способствующие реализации регуляторных функций организма. Поэтому биоритмологический подход является ядром дальнейшего рассмотрения обсуждаемой проблемы.

Современные ученые убеждены, что возможность организма поддерживать на постоянном уровне состояние существенных переменных внутренней среды обеспечивается наличием комплекса взаимосвязанных осцилляторов, способных к стабильному взаимному поддерживанию своей активности [25]. Иными словами, для каждой системы существует устойчивое состояние динами-

ческого равновесия, к которому она стремится. Строго говоря, живые системы находятся в состоянии неустойчивого равновесия, характеризующегося постоянным развитием, которое получило название «гомеокинез» [13]. При наличии внешних и внутренних воздействий организм пытается достичь состояния равновесия и сохранить его, то есть пребывать в пределах «гомеокинетического плато». Это плато можно рассматривать как область квазиустойчивого состояния системы (схожего с гомеостазом), находясь в которой организм имеет возможность осуществлять адекватное саморегулирование. Расположение границ этого плато, а, следовательно, размеры области устойчивости, постоянно меняется при преобразованиях функционального состояния человека под действием любого воздействия на его организм.

По-видимому, для осуществления анализа процессов формирования утомления и рабочего напряжения в условиях трудовой деятельности человека можно попытаться применить единый подход, основанный на учете колебательной структуры различных физиологических функций его организма. Эта гипотеза имеет определенные основания. Так, широко известно, что различные системы организма при развитии утомления уменьшают частоту своей активности [1, 2, 7, 22]. Например, влияние рабочей смены у операторов АЭС на биоэлектрическую активность головного мозга характеризуется уменьшением доли неизменных компонентов

ЭЭГ, возрастанием мощности α -ритма в теменных отведениях и θ -ритма в задневисочных и теменных отведениях, что предположительно может быть обусловлено как развитием утомления, так и влиянием вредных факторов производства [19]. Средневзвешенная частота спектра экспозиций решения задач в режиме «с обратной связью» у операторов электроэнергетики достоверно уменьшается к концу как дневных, так и ночных смен [22]. Можно привести еще много подобных примеров.

Если рассматривать такую форму утомления, как хроническое утомление, результатом которого было развитие невроза, то и здесь явно прослеживается превалирование медленных процессов в ЭЭГ и ЭКГ [14]. По-видимому, при определенных сочетаниях разнообразных форм утомления и уровней рабочего напряжения периодические процессы в организме формируют характерную «мелодию», в которой интегрируются изменения, происходящие в структуре колебательных составляющих, формируемых в отдельных подсистемах организма.

Для толкования наблюдаемых при развитии утомления феноменов в предложенном ключе важной представляется концепция «триединого мозга», которая была предложена P. D. MacLean [39]. Сейчас эта довольно схематичная концепция активно используется для объяснения вариаций поведения человека [17]. В рамках указанной концепции мозг рассматривается как триединая, трехуровневая система. На низшем уровне системы лежит «мозг пресмыкающихся», который включает в себя ствол, мозжечок и базальные ганглии. В ходе эволюции произошло наращивание другой структуры — лимбической системы, которую можно назвать «мозгом низших млекопитающих». Затем сформировался третий уровень мозга — «мозг высших млекопитающих», который включает в себя неокортекс. Результаты современных фундаментальных исследований позволяют соотнести δ - и θ -ритмы соответственно со стволовыми и лимбическими структурами. α -, β - и γ -ритмы соответственно связаны с таламокортикальными и нейронными сетями [17]. Ряд данных указывает на эволюционно более раннее происхождение низкочастотных осцилляций. Например, α -ритм ЭЭГ является доминирующим у человека, θ -ритм — у низших млекопитающих, а δ -ритм — у рептилий [32, 34, 35].

Каждая из описанных структур на определенном этапе эволюции преимущественно определяла

поведение и жизнедеятельность соответствующих организмов. У человека все указанные структуры одновременно принимают участие в формировании его поведения, но между собой они находятся в реципрокных взаимоотношениях [17]. Предполагается, что три осцилляторные системы, которые условно можно назвать δ -, θ - и α -системами, связаны с тремя иерархическими филогенетическими системами мозга — стволовой, лимбической и корково-таламической, которые можно соотнести с тремя частями модели «триединого мозга» [36, 39].

Считается, что эволюционно наиболее древний «мозг пресмыкающихся» принимает участие в обеспечении витальных потребностей организма [17]. Поэтому в ЭЭГ δ -ритм присутствует даже у спящего человека. «Мозг низших млекопитающих» обеспечивает более гибкую регуляцию поведения путем сопоставления паттернов ЭЭГ текущего функционального состояния с таковыми, накапливаемыми в течение жизни с помощью «эмоционального опыта». θ -ритм также связывают с тормозными процессами в ЦНС и низким уровнем активации. Но вместе с тем, многие авторы рассматривают его как показатель эмоциональных состояний, называя его ритмом напряжения [9]. Указывается, что δ - и θ -ритмы взаимно гармонизируют друг друга.

Система «мозга высших млекопитающих» связана с восприятием и распознаванием паттернов окружающей среды. Увеличение мощности α -ритма является показателем снижения уровня активации, свидетельствующим о развитии тормозных процессов, а противоположные изменения рассматриваются как показатели реакции активации. Современные исследователи полагают, что α -ритм принимает участие в выполнении функций временного сканирования информации и реализации механизмов восприятия, а также в функциональной оптимизации состояний мозга, обеспечении его готовности к реагированию и в регуляции потока восходящей и нисходящей информации [3].

Что касается β -активности, то этот ритм зарегистрированный в спокойном состоянии, является показателем спонтанных когнитивных процессов [37] и связан с процессами фокусирования, а также нарушения внимания [38]. Функциональные возможности β -ритма в целом направлены на обработку стимулов во фронтальной зоне коры головного мозга. β -колебания связаны также со способностью к полимодальной интеграции разнообраз-

ных признаков действующих стимулов [29, 35, 40]. Увеличение β -ритма происходит в ситуации, обусловленной решением задач с предъявлением значимого стимула [28, 33]. β -ритм хорошо выражен в спектре ЭЭГ во время эмоционального напряжения, в состояниях тревоги, возбуждения, беспокойства. В связи с этим полагают, что он является выражением активации двигательной коры или ее афферентной системы [12]. Генерацию β -ритма связывают с активным состоянием нейромедиаторной ГАМК-системы в соответствующих регионах коры, повышением уровня активности как возбуждающих, так и тормозных процессов [8].

Частота колебаний γ -ритма находится в пределах 30–70 Гц и выше [11, 27, 30]. Исследования показали, что тоническая γ -активность изменяется в соответствии с текущим состоянием субъекта и выполняемой им работой. Она усиливается в условиях концентрации внимания или увеличения умственной нагрузки [10]. Ожидание появления стимула также приводит к усилению γ -активности [31]. На частотах γ -ритма выявлены отчетливые связи показателей интеллекта, точности восприятия времени с уровнем корковых взаимодействий [4, 5]. Таким образом, фоновый γ -ритм отражает процесс настройки нервной системы на распознавание стимулов и реагирование на них. Мощность и когерентность фоновых γ -ритмов можно интерпретировать как нейрофизиологический показатель уровня устойчивого (тонического) внимания. Ожидание значимого стимула и соответствующее ему усиление устойчивого (тонического) внимания сопровождается повышением мощности и когерентности фоновых флуктуаций в этой части спектра. Адекватное реагирование на значимый и незначимый стимулы реализуется на определенном уровне фоновой γ -активности, который, вероятно, соответствует оптимальному уровню устойчивого внимания. Снижение этого уровня приводит к пропуску двигательной реакции на значимый стимул, а повышение — наоборот, к ошибочным реакциям на незначимый стимул и ложным тревогам [23].

Согласно мнению Г. Г. Князева [17] между системами «триединого мозга» существуют реципрокные взаимоотношения, смысл которых состоит в том, что, как правило, эволюционно более новые системы осуществляют тормозной контроль над эволюционно более старыми. Здесь учитывается тот непреложный факт, что под влиянием социальных обстоятельств современный человек должен в

определенной мере подавлять поведенческие реакции, непосредственно направленные на удовлетворение его биологических потребностей. Однако слишком интенсивное сдерживание «низших» мотивационных сфер ведет к ослаблению мотивационной основы поведения, что, в частности, может инициировать развитие депрессии и других нарушений психического и физического здоровья. Поэтому, по мнению автора, индивидуальные различия в активности трех систем и сила их реципрокных связей определяют различия в поведении человека. Здесь необходимо добавить, что если считать это мнение верным и применять данную концепцию реципрокного взаимодействия δ -, θ - и α -систем для выяснения механизмов утомления, то по-видимому, по изменению степени уравновешенности функционирования этих систем можно судить о некоторых значимых эффектах развития утомления и хронического утомления.

Тестирование утомления методом квазibelого шума. С целью анализа преобразований функционального состояния оператора при развитии у него утомления и эмоционального напряжения также целесообразно применить биоритмологический подход. Для дальнейшего изложения использован фрагмент работы, в которой проводился сравнительный анализ ритмов электроэнцефалограммы и сердечного ритма [15] у трех групп испытуемых — молодых мужчин. Одни из них находились в состоянии спокойного бодрствования (группа 1). Другие — в состоянии эмоционального стресса (группа 2), вызывающего перенапряжение и переутомление, связанное с проведением процедуры профессионального отбора и экзаменами при поступлении в высшее учебное заведение. У остальных сформировалось состояние выраженного хронического утомления, приведшее к развитию невроза (группа 3). Электрофизиологические исследования проводились до и после выполнения интенсивной умственной нагрузки.

Организм человека является нелинейной системой. При исследовании такой системы целесообразно тестировать ее всевозможными видами раздражителей, в результате чего можно получить достаточно большой перечень ответных реакций. Считается, что наиболее эффективными являются стимулы в виде белого шума, имеющего в своем составе широкий спектр всевозможных раздражителей и их сочетаний [20]. Такой подход к организации исследований дает возможность обеспечить

максимально возможную скорость получения информации о поведении системы, и является малочувствительным к различным видам помех.

В нашем случае для определения физиологических резервов человека использовался следующий прием тестирования. Вначале, после соответствующего периода обучения, решению потока информационных задач в режиме «с обратной связью» определялся индивидуальный максимум скорости переработки сигналов испытуемым. Затем, в «зачетной» сессии, испытуемому предлагалось переработать поток информации, состоящий из ряда стимулов, близких по своей сложности к указанному максимуму. Причем сложность каждого из предъявляемых четырех видов стимулов задавалась с помощью генератора псевдослучайных чисел с равномерным законом распределения. Уровень сложности задания каждого из стимулов определялся его экспозицией испытуемому для одних типов задач или количеством запоминаемых символов — для других. Поскольку при организации потока тестовых заданий использовался генератор псевдослучайных чисел, входной тестирующий поток стимулов можно назвать квазибелыми тест-сигналами или квазибелым шумом. Подробно содержание тестирующей процедуры и организация исследований описано в статье [14].

Откликом организма человека на предъявление квазибелого шума являлись биоритмологические показатели организма человека: электроэнцефалограмма — ЭЭГ (суммарная мощность α -, β -, θ -, δ - и γ -ритмов) и вариабельность сердечного ритма — ВСР (мощность VLF-, LF- и HF- компонент спектра сердечного ритма), зарегистрированные до и после предъявления нагрузочных квазибелых тест-сигналов. При проведении исследований регистрацию и первичную обработку ЭЭГ осуществлял Кудневский Я. В., а сердечного ритма — Апыхтин К. А.

Оценка уровня уравновешенности мощности разных диапазонов биоритмологических сигналов осуществлялась с помощью ряда специальных коэффициентов. При конструировании этих коэффициентов учитывался тот непреложный факт, что с их помощью будут оцениваться функциональные состояния в очень широком диапазоне — от спокойного бодрствования до хронического утомления, более адекватно описываемые нелинейными функциями. Поэтому при их построении были включены элементы нелинейности (ковариации и

квадраты). Суммарная ЭЭГ до и после нагрузки характеризовалась с помощью следующих коэффициентов:

$$k_1 = \frac{\delta}{\theta \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma} ;$$

$$k_2 = \frac{\delta \cdot \theta}{\alpha \cdot \beta \cdot \gamma} ,$$

где δ , θ , α , β , γ — соответственно суммарные мощности указанных диапазонов ЭЭГ.

При рассмотрении предложенных формул видно, что коэффициент k_1 отражает соотношение активности «мозга пресмыкающихся» с «мозгом низших млекопитающих» в совокупности с «мозгом высших млекопитающих», а коэффициент k_2 — соотношение активности «мозга пресмыкающихся» в совокупности с «мозгом низших млекопитающих» с «мозгом высших млекопитающих».

Кардиоритмограмма до и после нагрузки характеризовалась с помощью следующих коэффициентов:

$$k_3 = \frac{LF \cdot LF}{HF \cdot HF} ,$$

где LF — мощность спектра ВСР в диапазоне «низких» частот;

HF — мощность спектра ВСР в диапазоне «высоких» частот.

Считается, что эфферентная вагусная активность является важной составляющей HF-компоненты, LF-компонента служит маркером симпатической модуляции [6].

Если по аналогии с теорией «триединого мозга» рассматривать содержательную сторону коэффициента k_3 , то следует отметить, что вегетативная нервная система, некоторые стороны деятельности которой, в какой-то мере, представляет этот параметр, связан с функционированием стволовых и лимбических структур головного мозга, а, следовательно, отражает работу «мозга пресмыкающихся» и «мозга низших млекопитающих». Изменения этого коэффициента несут информацию о процессах, происходящих в медленноволновой части спектра колебаний функций организма, в которой также представлены δ - и θ -ритмы ЭЭГ. Поэтому можно говорить об определенных комплементарных изменениях коэффициентов k_1 — k_3 , проявляющихся в различных состояниях организма. Естественно,

анализируя регуляцію поведенческих реакций целостного организма, необходимо помнить, что сенсорные, моторные и вегетативные компоненты тесно связаны между собой. Но, все же, изменения коэффициента k_3 в большей мере отображают активность низших уровней структур головного мозга.

Увеличение представительства медленноволновой части спектра сердечного ритма, по мнению Р. М. Баевского, свидетельствует о повышении активности межсистемного уровня управления ритмом сердца [1]. Однако коэффициент k_3 характеризует не саму медленноволновую часть спектра сердечного ритма, а соотношение более медленноволновой (симпатической) к менее медленноволновой (парасимпатической) части этого спектра и, поэтому, могут быть не полностью распространены интерпретации, предложенные Р. М. Баевским.

Для оценки степени преобразования биоритмологических сигналов под действием интенсивной информационной нагрузки рассчитывались соотношения соответствующих коэффициентов: «после нагрузки» к «до нагрузки» в у. е. Предполагалось, что полученные коэффициенты $g_{i,j}(\text{после/до})$ для ЭЭГ и ВСР отражали уровни выраженности физиологических резервов организма человека (i – номер соответствующего коэффициента k_i ; j : *сб* – состояние спокойного бодрствования, *эн* – состояние эмоционального напряжения, *ху* – состояние хронического утомления).

Результаты оценки уровня утомления и хронического утомления. Применение интенсивной функциональной нагрузки позволило оценить изме-

нение уровня управления организма структурами головного мозга, а, следовательно, в какой-то мере косвенно оценить уровень функциональных резервов организма по показателям ЭЭГ. Эти данные представлены в таблице 1. Здесь обращает на себя внимание закономерность – уровни коэффициентов k_1 и k_2 возрастают после нагрузки. Поскольку эти коэффициенты отражают отношение низкочастотной области спектра ЭЭГ над более высокочастотной, можно предполагать, что интенсивная умственная нагрузка в любом случае вызывает у испытуемых истощение функциональных резервов организма. Однако такой эффект по-разному проявляется у представителей различных групп. Если для коэффициента k_1 эти изменения для всех обследованных групп носят характер тенденции, то для коэффициента k_2 наблюдается несколько иная картина. Рост этого параметра после нагрузки становится все более интенсивным и достоверным по мере исчерпания функциональных резервов организма, и достигает максимума у группы с выраженным хроническим утомлением.

Несколько другое положение вещей наблюдается при анализе изменений коэффициента k_3 , отражающего иную сторону регуляции функциональных резервов организма. В этом случае указанный параметр, рассчитанный по показателям ВСР, по-видимому, в большей степени отражает интенсивность использования функциональных резервов организма. Для группы 1 он, естественно, достоверно наименьший (по сравнению с группой 3), так как интенсивность наиболее «богатых» и доступных резервов здесь не должна быть высокой.

Таблица

Величины интегральных коэффициентов соотношения мощностей частот спектров ЭЭГ и ВСР

Показатель	Состояния испытуемых в динамике до и после нагрузки								
	Спокойное бодрствование (группа 1)			Эмоциональное напряжение (группа 2)			Хроническое утомление (группа 3)		
	До	После	$g_{i,сб}$	До	После	$g_{i,эн}$	До	После	$g_{i,ху}$
k_1 , у.е. (ЭЭГ)	15,4± 5,1·10 ⁻⁶	22,6± 7,2·10 ⁻⁶	1,5±0,4	14,4± 3,9·10 ⁻⁶	21,7± 5,7·10 ⁻⁶	1,51±0,3	19,8± 9,0·10 ⁻⁶	38,0± 10,0·10 ⁻⁶	1,92±0,5
k_2 , у.е. (ЭЭГ)	2,5±0,4·10 ⁻²	(4,2 ± 0,7·10 ⁻²)°	1,7±0,2*	2,1± 0,5·10 ⁻²	(4,0 ± 0,1·10 ⁻²) ^{ooo}	1,9±0,1^	2,3± 0,5·10 ⁻²	(5,4 ± 0,1·10 ⁻²) ^{ooo}	2,35±0,1*^
k_3 , у.е. (ВСР)	4,4±0,9**	4,5±1,0 [■]	1,02±0,2	5,5±0,9 ^{♦♦}	6,1±0,6 ^{□□}	1,11±0,2^	25,9± 7,0 ^{♦♦}	15,1±3,1 ^{■□□}	0,6±0,1^

Примечание. °, °°, °°° достоверность разницы средних по Стьюденту для коэффициентов k_1 , k_2 и k_3 , соответственно на уровне $p < 0,05$; $p < 0,01$ и $p < 0,001$. **, ■, ♦♦ и □□ достоверность разницы средних по Стьюденту для соответствующих коэффициентов k_3 на уровне $p < 0,01$. * и ^ достоверность разницы средних по Стьюденту для соответствующих коэффициентов $k_{i,сб(n/d)}$, $k_{i,н(n/d)}$ и $k_{i,ху(n/d)}$ на уровне $p < 0,05$.

У представителей группы 2 параметр k_3 имеет несколько больший уровень по сравнению с группой 1, но по сравнению с группой 3 он существенно ниже. Если у двух обсуждаемых групп k_3 несколько увеличивается после нагрузки, то для группы 3 — уменьшается. Такой феномен можно объяснить тем, что у членов групп 1 и 2 функциональных резервов еще достаточно, а у группы 3 они уже приближаются к возможному минимуму.

Важным для понимания вопроса развития утомления представляется подробное рассмотрение динамики показателей $g_{i,j}$, изображенной на рисунке 1. Здесь видна своеобразная динамика соотношений коэффициентов k_1 и k_2 , показывающая, что при нарастании эмоционального напряжения и хронического утомления уровни соответствующих характеристик $g_{i,j}$ возрастают. Причем в случае $g_{2,j}$ — достоверно. Это может свидетельствовать о том, что информационная нагрузка в большей степени истощает функциональные резервы лиц с ухудшенным функциональным состоянием — медленно-волновая компонента ЭЭГ у них становится более весомой.

Интенсивность изменения потребления функциональных резервов носит несколько иной характер. В этом случае для лиц группы, находящихся в состоянии спокойного бодрствования, интенсивность использования ресурсов после нагрузки находится на среднем уровне. Для представителей группы 2 она несколько возрастает, что может вызывать определенное маскирование развивающегося переутомления. У людей с выраженным

проявлением хронического утомления, не смотря на значительное представительство симпатических влияний в регулировании сердечного ритма (по сравнению с группами 1 и 2), меняется механизм потребления ресурсов, уровень которых низок — за счет нарастания парасимпатической составляющей. Все это свидетельствует о том, что в состоянии спокойного бодрствования, эмоционального напряжения и хронического утомления на биоритмологическом уровне существуют различные механизмы формирования функционального состояния.

Достоверное изменение уровней коэффициентов $g_{i,j}$ при различных функциональных состояниях организма человека позволит в будущем разработать надежные индикаторы различных уровней эмоционального напряжения и утомления.

Заключение

В целом, на наш взгляд, не стоит смешивать понятия таких различных оттенков функционального состояния, как «напряжение» и «утомление». Здесь следует иметь в виду, что организм в данный конкретный промежуток времени может находиться только в одном функциональном состоянии. Такое состояние можно назвать «текущее рабочее состояние организма», а напряжение и утомление являются разными сторонами одного и того же состояния.

В свое время А. И. Киколов сформулировал интересную гипотезу о механизмах развития переутомления и перенапряжения [21]. Он писал: «При возникновении переутомления одним из ведущих факторов (в противоположность нервному перенапряжению) является нарушение саморегуляции, координации и согласованности физиологических процессов вследствие замедления и снижения лабильности и возбудимости, а также истощения функционального потенциала нервных элементов. Если сложные механизмы нервного перенапряжения (перевозбуждения) должны включать и интегрировать многие функции высших и вегетативных отделов мозга вследствие усиления и повышения активности нервных процессов, то сложные механизмы нервного переутомления с характерным для этого

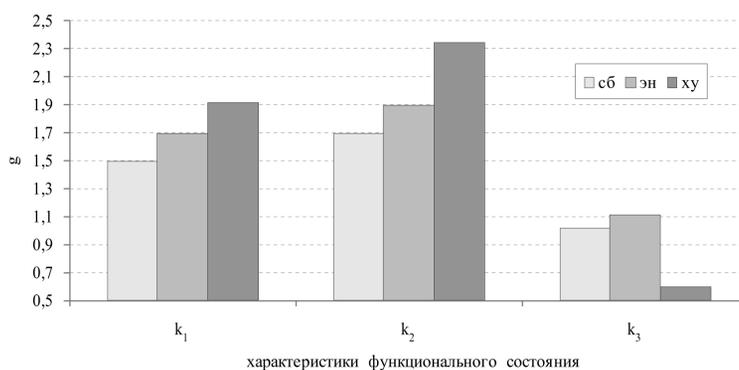


Рис. 1. Преобразование интегральных характеристик функционального состояния человека по соотношениям показателей электрической активности мозга (k_1 и k_2) и электрической активности сердечно-сосудистой системы (k_3) в условиях спокойного бодрствования (сб), эмоционального напряжения (эн) и хронического утомления (ху).

состояния развитием снижения физиологических функций не включают дополнительных нервных механизмов вследствие ослабления (истощения) активности и дезинтеграции (дезадаптации) нервных процессов. Нет сомнения в том, что формирование нервного переутомления происходит как под влиянием снижения лабильности, так и под тормозящим воздействием, исходящим от специальных тормозных систем коры и подкорки. Наоборот, формирование нервного перенапряжения обусловлено развитием процесса возбуждения. Здесь возбуждение не переходит в торможение: оно принимает застойный характер и держится на повышенном уровне длительное время, в котором основное значение имеет эмоциональный «аккомпанемент», поддерживающий данное состояние» [21, с. 197].

Во многом соглашаясь с мнением А. И. Киколова, следует все же сделать несколько комментариев. Исходя из предложенной автором интерпретации, состояния перенапряжения и переутомления никак не связаны. Они имеют разные механизмы развития. Возникает вопрос, если при наличии состояния перенапряжения снять (допустим, с помощью фармакологических средств) перевозбуждение определенных мозговых структур, где возникли эффекты застойного характера, человек сразу же перейдет в состояние спокойного бодрствования или же у него проявятся признаки переутомления, маскируемые перенапряжением? Поскольку, как утверждает И. А. Киколов: «нервное перенапряжение можно определить как состояние, когда процесс возбуждения при продолжительном хроническом воздействии какого-либо постоянного сильного раздражителя или эмоционального комплекса достигает предельно высокого уровня, длительно сохраняющегося только благодаря постепенному включению дополнительных нервных механизмов и потенциальных ресурсов. Образование нервного перенапряжения происходит за счет расширения территориальных корково-подкорковых кольцевых взаимодействий возбуждения» [21, с. 197–198]. В этом случае затруднительно понять ту ситуацию, когда человек находится в состоянии переутомления (истощение активности и дезинтеграция нервных процессов), но на него действуют сильные внешние эмоциональные раздражители, то истощение элиминируется и дезинтеграция пропадет? Кроме того, состояния перенапряжения и перевозбуждения не являются, как подразумевает А. И. Киколов, тождественными, а взаимно дополняют друг друга.

Возникающие вопросы и пояснения, которые дает автор, делают его позицию несколько зыбкой, тем более, что дальше он декларирует: «Хотя предлагаемая нами дифференциация гипотетична, а перечень особенностей нервного перенапряжения и переутомления в определенной мере условен, так как в реальном состоянии организма чаще всего переплетаются признаки, свойственные обоим состояниям ...» [21, с. 198].

На наш взгляд, этот феномен объясняется использованием различных подходов к анализу рассматриваемых явлений. Состояние утомления — это достаточно устойчивая временная характеристика уровня физиологических резервов организма работающего человека. Она в большей мере отражает степень взаимосвязей внутри или между функциональными системами, обеспечивающими эффективную деятельность. Напряжение — это характеристика, отражающая интенсивность физиологических процессов, направленных на использование этих резервов, непосредственно зависящая от напряженности труда. Естественно, что в случае понижения уровня резервов, но при высокой напряженности труда, организму требуется наращивать систему получения энергии, так как ее извлечение встречает все больше и больше трудностей.

Строгая связь между процессами развития эмоционального напряжения и утомления очевидна. Однако, не смотря на изменение единого функционального состояния человека, в котором отражаются процессы генеза утомления и напряжения, эти процессы имеют свои закономерности и специфику развития. Для пояснения этой мысли целесообразно построить феноменологическую модель, в которой будут отражены некоторые детали изоморфизма в развитии различных аспектов утомления и эмоционального напряжения, схематично представленную на рисунке 2.

Имеются все основания полагать, что исследуемые в этой работе процессы основаны на различных сторонах использования функциональных резервов человека при осуществлении профессиональной деятельности. Дело в том, что количество и степень доступности функциональных резервов в организме человека все время варьируют. Это обусловлено, с одной стороны, действием внешней рабочей нагрузки, а, с другой, — совокупным уровнем этих резервов организма с учетом использования и пополнения его функциональных возможностей, как в течение работы, так и во время отдыха.

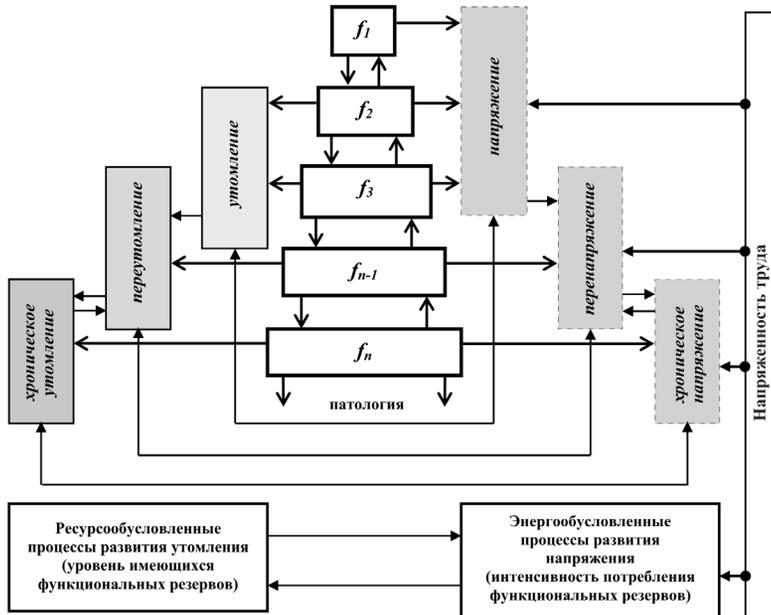


Рис. 2. Структурно-функціональна схема зв'язки напруження і утомлення різного рівня, викликаного напруженістю праці в умовах професійної діяльності.

Для дальнішого розгляду обговорюваного питання необхідно врахувати дві особливості функціонування організму. Во-первых, інтенсивність извлечения функціональних резервів найвища, і може здійснюватися з найбільшою частотою при використанні найбільш доступних способів отримання енергії. По мірі виснаження цих ресурсів організм змушений переходити на інші, більш «глибинні» рівні отримання енергетичного забезпечення роботи, доступність і частота надходження яких зменшується.

Таким чином, можна констатувати, що $f_1 > f_2 > f_3 > \dots > f_{n-1} > f_n$. Дальніше споживання резервів з частотою f_{n+1} і нижче чревато розвитком патологічних станів, супроводжується поломкою «нормально» протікаючих фізіологічних механізмів забезпечення діяльності. Хоча вже на рівні розвитку хронічного перенапруження-перетуомлення спостерігаються деякі морфологічні зміщення в тканинах живого організму [24]. Во-вторых, складність в отриманні енергетичних ресурсів забезпечення роботи неминуче викликає перебудову регуляторних механізмів функціональної системи діяльності, супроводжується збільшенням кількості задіяваних в ній компонентів, що також веде к

зменшенню частоти функціонування цієї системи.

Напруженість праці в залежності від рівня функціональних резервів призводить до розвитку станів напруження, перенапруження або, при тривалому впливі вказаного фактора і значительного виснаження функціональних резервів, хронічного напруження. Асиметричність процесів споживання-відновлення резервів в організмі працюючого людини в бік споживання сприяє розвитку станів утомлення, перетуомлення або хронічного утомлення. Станні напруження, перенапруження і хронічного напруження, а також утомлення, перетуомлення і хронічного утомлення не мають чітких меж. При цьому необхідно підкреслити, що станні напруження і перенапруження можуть, на

визначений період, маскувати прояви станів утомлення або навіть перетуомлення.

Свідченням цього можуть бути результати досліджень, в яких в той або іншій мірі підтверджується описаний феномен. Аналіз випадків виникнення утомлення летного складу [18] показав, що при його розвитку в процесі польоту відсутні скарги на погіршення самопочуття, так як вони маскуються високим нервно-психічним напруженням. Чувство втоми, як правило, виникає через 20–40 хв після завершення польоту. Об'єктивно ж у летчика в стані утомлення змінюється працездатність, що проявляється в погіршенні узгодженості керуючих дій, зниженні точності утримання параметрів польоту, виникненні помилок при читанні і оцінці інформації з приладної панелі, виникненні неточностей при виконанні простих, добре відомих елементів управління, особливо на етапі посадки. Важливими ознаками утомлення летчика є порушення автоматизму сенсорних і моторних навичок, виникнення відчуження напруження, проявляючогося в загальному скованості, уповільненні двигательних реакцій, зажимі ручок управління.

В випадку розвитку утомлення іноді уповільнюються психічні процеси: з'являється сонливість,

снижается внимание. Эти признаки принято называть скрытым, преодолеваемым или субкомпенсированным утомлением [26]. Автор считает, что при развитии скрытого утомления происходит как бы дополнительная мобилизация сил и возможностей организма, отдаляющая видимое снижение работоспособности и компенсирующая начинающиеся нарушения в деятельности организма. При этом в механизме такого увеличения физиологической стоимости работы, вероятно, участвует усиление эмоциональных реакций, связанных со стрессорным эффектом работы. Однако здесь уместно подчеркнуть, что утомление, а тем более скрытое утомление, является нормальным физиологическим процессом и, по всей видимости, о «нарушении деятельности организма» в этом случае говорить еще рано. Эти нарушения будут появляться только в случае развития переутомления и хронического утомления.

Рабочее напряжение, естественно, появляется раньше, чем утомление. В момент, когда человек начинает работу (или даже ранее, если учитывать состояние предрабочего напряжения, подготавливающего организм человека к работе) утомление близко к нулю. В начале деятельности организмом используются самые доступные ресурсы, добываемые с наибольшей частотой. Здесь протекают стадии вработывания и стабильной работоспособности. По мере исчерпания этих управленческих и метаболических ресурсов появляется необходимость использования более мощных, однако менее доступных ресурсов; частота их использования закономерно уменьшается. В это время начинает формироваться скрытое утомление, сигнализирующее, в частности, о недостатке легкодоступных ресурсов.

Постоянное действие повышенного эмоционального напряжения способствует более интенсивному потреблению энергии и, как следствие, усиленному уменьшению ресурсов организма. Если можно так выразиться, трагедия развития хронического напряжения и хронического утомления — две стороны одной медали. Хроническое напряжение связано с интенсивным потреблением исчерпывающихся ресурсов организма. Для их получения организм вынужден наступать «не всем фронтом», а сосредотачиваться на «отдельных достаточно узких направлениях». Для этого на определенных участках повышается возбудимость нервных образований и в определенной мере расширяется их представительство, вызываемые значительным умень-

шением резервов, порой, маскирующие торможение многих иных нервных структур.

Однако и в случае значительного снижения уровня резервов организма (состояние хронического утомления), и при поддержании высокой интенсивности потребления, уже частично исчерпанных, энергетических возможностей (состояние хронического напряжения) организм вынужден привлекать дополнительные механизмы получения энергии для поддержания высокой интенсивности деятельности. Поэтому и в том, и в другом случае наблюдается наращивание объема функциональной системы, обеспечивающей деятельность. При этом рабочее напряжение формируется под непосредственным влиянием профессиональной нагрузки, а утомление — под действием преобразований в организме, вызванных понижением уровня его функциональных резервов.

Поскольку и о наличии напряжения, и о наличии утомления можно судить по косвенным характеристикам, связанным с частотной структурой различных физиологических функций, то подчас наблюдаются тождественные преобразования этой структуры, характеризующиеся преобладанием низкочастотных составляющих этих функций и/или подавлением высокочастотных. Например, при раздельном анализе когнитивного и оценочно-эмоционального компонентов операторской деятельности на основе динамики индексов вариационной пульсометрии установлено, что при эмоционально негативной окраске этой деятельности наблюдается преимущественное снижение на этом фоне суммарной активности быстрых регуляторных механизмов [16]. Автор считает, что в терминах симпато-парасимпатического баланса это означает уменьшение вклада парасимпатической регуляции в процессах вегетативного обеспечения психической деятельности.

Выбранные в этой работе модели спокойного бодрствования (группа 1), наличия элементов значительного напряжения или даже перенапряжения (группа 2) и явного наличия хронического утомления (группа 3) характеризуются определенным, закономерным изменением частотной структуры исследованных физиологических процессов, представленных в этой работе. Природа этих явлений такова, что при развитии напряжения интенсивности потребления ресурсов организма непосредственное влияние оказывают внешние условия деятельности, формирующие напряженность труда.

Усиленное потребление ресурсов приводит к их истощению, что с одной стороны способствует появлению утомления (снижению работоспособности), а с другой – к затруднению получения энергетических возможностей, то есть к повышению эмоционального напряжения (при постоянном уровне напряженности труда). Таким образом, утомление развивается как опосредованный процесс, связанный с истощением функциональных ресурсов организма при высокой интенсивности их потребления (эмоциональное напряжение), в свою очередь вызываемым высоким уровнем напряженности труда.

Исследования генеза состояний утомления и напряжения при операторском труде ведутся уже давно, но прежде чем сделать какие-либо решающие выводы, по-видимому, их необходимо продолжить и расширить до получения данных, четко подтверждающих получаемые психофизиологические эффекты. В частности, несомненный интерес представляли бы исследования, направленные на изучение механизмов совместного развития утомления и напряжения в зависимости от качества самой психической деятельности. Но в этом случае необходимо разработать четкие индикаторы изменения эмоционального напряжения и утомления.

Разрабатываемая модель единства физиологических преобразований в организме при развитии различных состояний утомления и эмоционального

напряжения получает определенные подтверждения, и, таким образом, в последующем может служить ядром для дешифровки, по крайней мере, одной из сторон многогранных психофизиологических механизмов обеспечения профессиональной деятельности операторов.

Выводы

1. Предложены подходы для формирования адекватной интенсивной умственной нагрузки на оператора, основанные на использовании метода квазibelого шума.
2. Выявлены закономерности изменения функционального состояния человека при развитии эмоционального напряжения и хронического утомления. Установлено, что уровень эмоционального напряжения и утомления отражают разные стороны ритмической структуры изменения физиологических функций (на примере ЭЭГ и ВСР).
3. Разработаны интегральные показатели, позволяющие четко различать состояния спокойного бодрствования, эмоционального напряжения и хронического утомления.
4. Предложена гипотетическая феноменологическая модель, позволяющая с единых позиций рассматривать эффекты развития напряжения и утомления.

6. Варіабельність серцевого ритму. Стандарти вимірювання, фізіологічної інтерпретації та клінічного використання. – Львів, 2002. – 70 с.

7. Виноградов М. И. Физиология трудовых процессов / М. И. Виноградов. – М.: Медицина, 1966. – 367 с.

8. Пнездицкий В. В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография / В. В. Пнездицкий. – Таганрог: ТРТУ, 2000. – 640 с.

9. Гофман С. С. Данные многоканальной радио-ЭЭГ о человеке при нервно-эмоциональном напряжении / С. С. Гофман, Я. В. Фрейдин // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 1970. – № 11. – С. 19–22.

10. Данилова Н. Н. Внимание человека как специфическая связь ритмов ЭЭГ с волновыми модуляторами сердечного ритма / Н. Н. Данилова, С. В. Астафьев // Журнал высшей нервной деятельности. – 2000. – Т. 50. – Вып. 5. – С. 791–803.

11. Думенко В. Н. Высокочастотные компоненты ЭЭГ и инструментальное обучение / В. Н. Думенко. – М.: Наука, 2006. – 151 с.

Литература

1. Баевский Р. М. Математический анализ измененный сердечного ритма при стрессе / Р. М. Баевский, О. И. Кирымсов, С. З. Киецкин. – М.: Наука, 1984. – 221 с.

2. Баевский Р. М. Особенности регуляции сердечного ритма при умственной работе / Р. М. Баевский, В. И. Кудрявцева // Физиология человека. – 1975. – Т. 1. – № 2. – С. 296–301.

3. Базанова О. М. Современная интерпретация альфа-активности электроэнцефалограммы / О. М. Базанова // Успехи физиологических наук. – 2009. – Т. 40. – № 3. – С. 32–53.

4. Бушов Ю. В. Связь гамма-колебаний с уровнем интеллекта и точностью восприятия времени / Ю. В. Бушов, М. В. Светлик, Е. П. Крутенкова // Вестник Томского государственного университета. – 2009. – № 321. – С. 177–183.

5. Бушов Ю. В. О функциональном значении высокочастотной электрической активности мозга в процессах восприятия времени / Ю. В. Бушов, М. В. Светлик, М. Ю. Ходанович // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2007. – № 1. – С. 87–95.

12. Жоров П. А. Электроэнцефалографические корреляты корково-подкорковых отношений / П. А. Жоров // Проблемы дифференциальной психофизиологии / Под ред. В. Д. Небылицына. – М.: Наука, 1974. – С. 187–198.
13. Иберал А. С. Гомеокинез – организационный принцип сложных живых систем / А. С. Иберал, У. С. Мак-Каллок // Общие вопросы физиологических механизмов. Анализ и моделирование биологических систем. Труды международного симпозиума по техническим и биологическим проблемам управления. Ереван, 24–28 сентября 1968 г. / Гл. редактор акад. В. А. Трапезников. Отв. ред. сборника акад. П. К. Анохин. – М.: Изд-во Наука, 1970. – 336 с.
14. Кальниш В. В. Удосконалення методології визначення психофізіологічних характеристик операторів / В. В. Кальниш, А. В. Швець // Укр. журн. з пробл. медицини праці. – 2008. – № 4. – С. 49–54.
15. Кальниш В. В. Психофізіологічні особливості надійності операторської діяльності осіб в різних функціональних станах / В. В. Кальниш, Г. Ю. Пишнов, М. М. Дорошенко [та ін.] // Укр. журн. з пробл. медицини праці. – 2009. – № 2. – С. 51–58.
16. Каплан А. Я. Вариабельность ритма сердца и характер обратной связи по результату операторской деятельности у человека // Журнал высшей нервной деятельности. – 1999. – Т. 49. – Вып. 2. – С. 345–349.
17. Князев Г. Г. Осцилляции мозга и поведение человека: эволюционный подход / Г. Г. Князев // Методологические проблемы современной психологии: иллюзии и реальность. Материалы Сибирского психологического форума 16–18 сентября 2004 г. – Томск: Томский государственный университет, 2004. – С. 570–576.
18. Копанев В. И. Об актуальных вопросах проблемы утомления летного состава / В. И. Копанев // Военно-медицинский журнал. – 1985. – № 1. – С. 49–51.
19. Ласкова И. В. Особенности неврологического статуса и электроэнцефалограммы у операторов блока управления атомной электростанции // И. В. Ласкова, Е. Е. Третьякова // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 2008. – Т. 108. – № 12. – С. 39–42.
20. Мармарелис П. Анализ физиологических систем. Метод белого шума / П. Мармарелис, В. Мармарелис. – М.: Изд-во «Мир», 1981. – 434 с.
21. Мойкин Ю. В. Психофизиологические основы профилактики перенапряжения / Ю. В. Мойкин, А. И. Киколов, В. И. Тхоревский [и др.] // АМН СССР. М.: Медицина, 1987. – 256 с.
22. Навакатилян А. О. Физиология и гигиена умственного труда / А. О. Навакатилян, В. В. Крыжановская, В. В. Кальниш. – К.: Здоров'я, 1987. – 152 с.
23. Панасюк Я. А. Фоновая гамма активность в электроэнцефалограмме как показатель уровня устойчивого (тонического) внимания при реализации парадигмы «активный оддболл» у кроликов / Я. А. Панасюк, О. Б. Мацелера, Б. В. Чернышев [и др.] // Журнал высшей нервной деятельности. – 2011. – Т. 61. – № 1. – С. 75–84.
24. Пишнов Г. Ю. Особливості морфологічних змін у внутрішніх органах щурів під впливом хронічного стресорного впливу різного рівня / Г. Ю. Пишнов, М. М. Діденко, І. В. Завгородній // Експер. і клін. медицина. – 2009. – № 2. – С. 10–15.
25. Сараев А. Д. Системный анализ и современные информационные технологии / А. Д. Сараев, О. А. Щербина // Труды Крымской академии наук. – 2006. – С. 47–57.
26. Смирнов К. М. Скрытое утомление // Гигиена труда и профессиональные заболевания. – 1989. – № 2. – С. 28–31.
27. Сорокина Н. Д. Нейробиологические исследования биоэлектрической активности мозга в диапазоне гамма ритма у человека / Н. Д. Сорокина, Г. В. Селицкий, Н. С. Косицын // Успехи физиол. н. – 2006. – № 37 (3). – С. 3–10.
28. Bertrand O. Oscillatory gamma activity humans: possible role for object representation / O. Bertrand, C. Tallon-baudry // Int. J. neurosci. – 2000. – V. 38. – P. 211–223.
29. Bibbig A. Long-range synchronization of gamma and beta oscillations and the plasticity of excitatory and inhibitory synapses: A network model / A. Bibbig, R. D. Traub, M. A. Whittington // J. Neurophysiol. – 2002. – № 4. – P. 1634–1653.
30. Debener S. Top down attentional processing enhances evoked gamma band activity / S. Debener, C. S. Hermann, C. Kranczioch, D. Gembris, A. K. Engel // Neuroreport. – 2003. – V. 14. – P. 683–686.
31. Fries P. Modulation of oscillatory neuronal synchronization by selective visual attention / P. Fries, J. Reynolds, A. E. Rorie, R. Desimone // Science. – 2001. – V. 291. – P. 1560–1563.
32. Gaztelu J. M. Electroencephalograms of hippocampal and dorsal cortex of two reptiles: comparison with possible mammalian homologs / J. M. Gaztelu, E. Garcia-Austt, T. H. Bullock // Brain and Behavioral Evolution. – 1991. – V. 37 (3). – P. 144–160.
33. Gomez C. M. Frequency analysis of the EEG during spatial selective attention / C. M. Gomez, M. Vazquez, E. Vaquero // Int. J. neurosci. – 1998. – V. 95. – № 1. – 2. – P. 17–25.
34. Gonzalez J. Nonlinear, fractal, and spectral analysis of the EEG of lizard, Gallotiagalloti / J. Gonzalez, A. Gamundi, R. Rial [et al.] // American Journal of Physiology. – 1999. – V. 277(46). – P. 86–93.
35. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis / W. Klimesch // Brain Res. Brain Res. Rev. – 1999. – № 29. – P. 169–195.

36. Knyazev G. G. Personality trait of behavioral inhibition is associated with oscillatory systems reciprocal relationships / G. G. Knyazev, H. R. Slobodskaya // Int. J. Psychophysiol. – 2003. – V. 48. – P. 247–261.

37. Laufs C. EEG-correlated fMRI of human alpha activity / H. Laufs, A. Kleinschmidt, A. Beyerle [et al.] // Neuroimage. – 2002. – V. 19. – № 4. – P. 1463–1476.

38. Laibow R. Medical applications of neurobiofeedback Introduction to antitative EEG and Neurofeedback /

R. Laibow // Eds.: Evans JR & Abarbanel A. – 1999. – V. 5. – P. 83–102.

39. MacLean P. D. Brain evolution relating to family, play, and the separation call // Archive of Genetic Psychiatry. – 1985. – V. 42. – P. 405–417.

40. Pulvermuller F. High-frequency brain activity: perception or active memory? / F. Pulvermuller, A. Keil, T. Elbert // Trends Cogn. Sci. – 1999. – № 7. – P. 250–252.

Кальниш В. В., Пишнов Г. Ю.

ЄДНІСТЬ ЗМІН ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОРГАНІЗМУ ПРАЦІВНИКІВ ПРИ РОЗВИТКУ СТОМЛЕННЯ: ПОВІДОМЛЕННЯ З БІОРИТМОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

ДУ «Інститут медицини праці НАМН України», м. Київ

У статті розглядається гіпотеза біоритмологічного механізму розвитку різних функціональних станів людини, зокрема, розвитку хронічного стомлення в умовах трудової діяльності. Пропонуються для обговорення нові уявлення про формування «напруження» і «стомлення» як двоєдиного функціонального стану, що розвивається в процесі роботи.

На основі оригінальних досліджень отримані дані, що свідчать про багаторівневі механізми ритмічної регуляції фізіологічних функцій організму людини.

Розроблено інтегральні показники для розмежування стану спокійного неспання, емоційної напруги і хронічного стомлення. Запропоновано феноменологічну модель розвитку станів напруження і стомлення.

Ключові слова: функціональний стан, напруження, стомлення, хронічне стомлення, біоритмологічний підхід

Kalnysh V. V., Pyshnov G. Yu.

UNITY OF CHANGES IN THE BODY FUNCTIONAL STATE OF AN EMPLOYEE, WORKING UNDER FATIGUE DEVELOPMENT: PRESENTATION 3. BIORHYTHMOLOGICAL ASPECTS

SI «Institute for Occupational Health of NAMS of Ukraine», Kiev

A hypothesis on the biorhythmological mechanism of development of different functional human states in the body has been considered, covering, in particular, development of chronic fatigue in conditions of work activity. New ideas on formation of «strain» and «fatigue» as twofold functional state, developing in the process of the work, have been proposed.

The data have been obtained, basing on original studies, pointing to a multi-level mechanism of rhythmic regulation of human physiological functions in the body.

Integral indices have been elaborated for differentiation of states of calm wakefulness, emotional strain and chronic fatigue. A phenomenological model of development of strain and fatigue states has been proposed.

Key words: functional state, strain, fatigue, chronic fatigue, biorhythmological approach

Поступила: 23.01.2012 г.

Контактное лицо: Кальныш В. В., ГУ «Институт медицины труда НАМН Украины», ул. Саксаганского, 75, г. Киев, 01033. Тел.: (44) 289-46-05.