

11. Benner R., Hijmans W., Haaijman J. J. The bone marrow: the major source of serum immunoglobulins, but still a neglected site of antibody formation // Clin. and Exp. Immunol.—1981.—46, N 1.—P. 1—8.
12. Benner R., van Oudenaren A., Björklund M. et al. «Background» immunoglobulin production: measurement, biological significance and regulation // Immunol. Today.—1982.—3, N 9.—P. 243—249.
13. Crewther P., Warner N. D. Serum immunoglobulins and antibodies in congenitally athymic (nude) mice // Aust. J. Exp. Biol. Med. Sci.—1972.—50, N 5.—P. 625—635.
14. Kindred B. T cell function in nude mice: lack of secondary antibody response in vivo // Exp. Cell. Biol.—1984.—52, N 1—2.—P. 17—20.
15. Muirhead D. Y., Cudkowicz G. Subpopulations of splenic T cells regulating an anti-hapten antibody response. II. Distinct functions of an sequential requirement for, helper and amplifier cells // J. Immunol.—1978.—121, N 1.—P. 130—137.

Киев. ун-т им. Т. Г. Шевченко
М-ва высш. и сред. спец. образования УССР

Материал поступил в редакцию 24.08.87

УДК 616.839:65.015:007.51

Д. А. Романов, И. Г. Мартыненко, А. Д. Лиман

Вегетативное обеспечение системного ответа в условиях зрительно-напряженной деятельности оператора

Зрительно-напряженный труд охватывает все большее число работающих и влечет за собой, помимо перегрузки глазодвигательного и аккомодационного аппаратов [7, 9, 11], появление существенных сдвигов функциональной активности центральной нервной, сердечно-сосудистой, двигательной и других систем [5, 8]. Эти сдвиги составляют в целом то, что в настоящее время определяется как системный ответ организма, предполагающий напряжение его функций. Установление оптимального, но не максимального напряжения при данной деятельности человека рассматривается в качестве одной из основных задач физиологии [10], решение которой невозможно без учета состояния многих физиологических функций с выделением комплексов показателей, наиболее информативных для прогноза динамики напряжения организма. Применяемые методы психофизиологического контроля при исследовании зрительно-напряженного труда в большинстве своем стали рутинными, что, однако, не привело к получению хорошо воспроизводимых и сопоставимых результатов. Возможно, подобная цель и не может быть достигнута хотя бы по причине исключительной важности для флюктуаций средних значений параметров физиологических функций индивидуальных конституциональных особенностей и исходного функционального состояния испытуемых [12]. Поэтому цель исследования уже не ограничивается получением показателей состояния отдельных функций и должна быть направлена на выявление закономерностей их интеграции при формировании системного ответа организма, что и составило задачу настоящего исследования применительно к вегетативным реакциям в условиях зрительно-напряженного труда. Решению такой задачи способствуют математические методы анализа, в частности факторный анализ, являющийся не только адекватным приемом сжатия информации, но и «источником гипотез» [6].

Методика

В условиях лабораторного эксперимента проведены исследования при моделировании трудового процесса контролеров плат печатного монтажа, максимально приближенного к реальному производству. В качестве объектов труда служили серийные платы печатного монтажа к электронно-вычислительным машинам типа СМ-2М. Основным

видом брака, подлежащего обнаружению, были разрывы токопроводящих дорожек размером 0,1—1 мм. Осмотр плат осуществлялся испытуемыми в проходящем свете с использованием специальных осветительных приборов, обеспечивающих яркость платы около 500 кд/м². Деятельность испытуемых включала поиск, обнаружение и распознавание дефектов на плате и нанесение метки с помощью карандаша в месте локализации брака. Решение этой задачи требовало постоянного напряжения функций зрительного анализатора, привлечения оперативной и долговременной памяти, осуществления высококоординированных манипуляторных движений. Работа выполнялась сидя при резко ограниченной двигательной активности. Производительность труда (в среднем 10 плат в день) и относительное число ошибок (4,8—6,5 %) практически не изменялись в течение рабочей недели.

Обследовано шесть женщин в возрасте от 18 до 23 лет, выполнявших ежедневную работу продолжительностью 3 ч в течение 5 дней. Всего проведено 60 исследований.

Для оценки функционального состояния испытуемых были использованы показатели физиологических и психофизиологических исследований. До и после работы измеряли критическую частоту слияния световых мельканий (КЧСМ), артериальное давление (АД), рассчитывали суммарный показатель динамического тремора. В ходе выполнения рабочей нагрузки постоянно регистрировали аксиллярную температуру и текущую частоту сердечных сокращений и дыхания, для чего использовали соответствующие блоки монитора ДКС 4Т-01. Каждые 20 мин осуществляли кардиоинтервалографию с последующим расчетом индекса напряжения (ИН) по Баевскому [1]. Вычисляли также вегетативные показатели: индекс Кердо (ИК) и минутный объем крови (QV_m) [3]. В целом эти показатели позволяют судить о направленности сдвига вегетативного тонуса во время работы, а также о напряженности функционирования регуляторных аппаратов вегетативной нервной системы. Мышечную активность изучали с помощью электромиографа МГ-440 фирмы «Medicor» (ВНР). До и после нагрузки записывали интерференционную электромиограмму (ЭМГ) следующих мышц: трапециевидной, двуглавой мышцы плеча, разгибателя позвоночника и камбаловидной мышцы. Измеряли амплитуду отдельных колебаний биопотенциалов ЭМГ и межпульсные интервалы, после чего строили индивидуальные гистограммы их распределения. Эпоха анализа составляла 500 мс. Статистическую обработку полученных результатов проводили на ЭВМ ЕС 1035 с использованием корреляционного и факторного анализов с варимакс-вращением (пакет программ BMDP).

Результаты и их обсуждение

Как показали результаты проведенных исследований, вынужденная поза испытуемых приводит к существенным перестройкам электрической активности отдельных мышц. Так, при анализе распределения амплитуд отдельных пиков на ЭМГ (рис. 1) выявляется сдвиг гистограммы в сторону преобладания потенциалов высокой амплитуды, более выраженный для мышц поддержания позы. В то же время и в активности пассивной для данной деятельности мышцы — камбаловидной — обнаруживается аналогичная тенденция. Нужно отметить, что смещение значений амплитуды потенциалов ЭМГ в сторону их увеличения особенно проявлялось в конце рабочей недели. Для гистограммы распределения межпиковых интервалов усреднение полученных результатов не дало оснований говорить о наличии четко оформленной тенденции (рис. 2), что объясняется неоднозначной динамикой средней частоты разрядов двигательных единиц в течение недели. Если в первый день изменения распределения межпиковых интервалов в начале и конце исследования были незначительными, то к 4-му дню выявлялось существенное сокращение их продолжительности для «нагруженной» и «пассивной» мышц, что указывало на возрастание частоты мышечных разрядов. В последний день исследований для гистограммы межпиковых интервалов ЭМГ ряда мышц (камбаловидной, разгибателя позвоночника) оказывалась характерной обратная динамика: частота разрядов по окончании работы снижалась по сравнению с исходной.

Взаимосвязь мышечной активности и деятельности сердечно-сосудистой системы, устанавливаемая во время выполнения работы [13], предполагала аналогичный характер сдвигов показателей АД, частоты

пульса и ИН. Однако ни частота сердечных сокращений (ЧСС), ни АД не обнаруживали значимых изменений в течение недели (табл. 1). Лишь для ИН выявлялась определенная динамика: до работы он возрастал по сравнению с исходным, оставаясь высоким вплоть до 5-го дня исследований, когда отмечалось его снижение. После работы ИН стабильно характеризовался низким значением, за исключением 4-го дня,

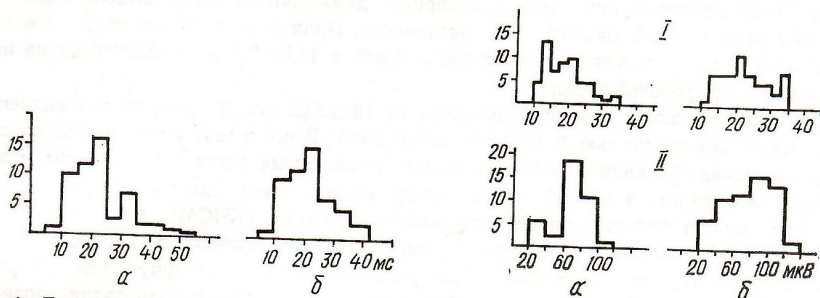


Рис. 1. Гистограмма распределения межимпульсных интервалов на ЭМГ камбаловидной мышцы женщины-контролера до (а) и после (б) работы по выявлению ошибок в серийных платах печатного монтажа к электронно-вычислительным машинам типа СМ-2М.

По вертикали — число межимпульсных интервалов.

Рис. 2. Гистограмма распределения амплитуд отдельных разрядов ЭМГ камбаловидной мышцы (I) и разгибателя позвоночника (II) женщины-контролера до (а) и после (б) работы.

По вертикали — число разрядов.

в течение которого его динамика практически не прослеживалась. Для показателей суммарного тремора, QV_m и частоты дыхания отличительной чертой являлись их колебания в течение недели. Более закономерной представляется динамика КЧСМ и вегетативного ИК — абсолютные значения этих показателей увеличиваются до 4-го дня исследований (ИК в большей мере), вновь снижаясь в последний день недели.

Корреляционная матрица взаимосвязей изученных параметров функций испытуемых, которая явилась основой для дальнейшего фак-

Таблица 1. Изменения показателей исследуемых физиологических функций испытуемых во

Показатель	Понедельник		Вторник	
	до работы	после работы	до работы	после работы
Значения за одну				
Критическая частота мельканий (КЧСМ), Гц	30,5±3,2	35,9±5,7	31,1±2,2	34,0±1,4
Тремор, l	18,0±8,9	63,0±9,8	31,4±8,5	63,0±9,9
Систолическое артериальное давление (АД _{сист}), мм рт. ст.	104±7,0	106±7,0	106±3,0	103±5,4
Диастолическое артериальное давление (АД _{диаст}), мм рт. ст.	66±2,8	60±2,0	66±2,2	69±5,7
Вегетативный индекс Кердо (ИК), l	1,0±2,5	21,9±6,7	8,2±2,0	3,4±5,5
Минутный объем крови (QV _m), l	0,86±0,3	1,56±0,4	1,04±0,1	0,84±0,1
Индекс напряжения (ИН), l	84±60,6	55±41,7	107±30,6	53±15,1
Средние значения				
Температура, °C	36,7±0,05		36,2±0,08	
Частота сердечных сокращений (ЧСС), мин ⁻¹	72,8±1,44		72,0±1,78	
Частота дыхания (ЧД), мин ⁻¹	22,5±0,73		22,0±0,60	
Индекс напряжения (ИН), l	68,6±17,4		74,9±15,5	

торного анализа, содержала в целом 27 связей с коэффициентами корреляции, превышающими 0,4. Так как в качестве исходных были взяты параметры, зарегистрированные до и после работы, а также средние значения показателей, изучавшихся в течение всего дня, то полученные корреляции можно рассмотреть по группам: до работы, после работы, до работы — средние в течение дня, после работы — средние в течение дня, общие для этапов до и после работы (табл. 2). До работы между показателями исследованных функций испытуемых обнаруживались всего две значимые корреляции, которые во многом детерминированы: $AD_{\text{сист.}} - QV_m$; $ИК - QV_m$. После работы к ним добавляются три новые связи, которые подчеркивают взаимозависимость показателей, отражающих состояние центральных аппаратов регуляции зрительного и соматосенсорного анализаторов, и показателей деятельности вегетативной нервной системы.

Связи, устанавливаемые между показателями, значения которых получены до начала работы, и показателями, для которых известны средние значения в течение всего дня, относятся преимущественно к ИН. Они сохраняются и в корреляционной структуре, полученной после работы. Вместе с тем в этом случае появляются новые корреляции: с показателем ИН, что особенно существенно для ИК, и интегративным показателем тремора.

Из четырех связей между параметрами, полученными до и после работы, одна (между значениями $AD_{\text{сист.}}$) указывает на стабильность регуляции АД у испытуемых, две (между $AD_{\text{сист.}}$ и QV_m) — на устойчивость взаимозависимости прессорных реакций и состояний вегетативного тонуса, и одна связь (между ИК и ИН) может быть расценена как свидетельство возможности определяющих влияний исходной вегетативной регуляции на последующую напряженность деятельности вегетативной нервной системы в целом.

В ходе факторного анализа полученной корреляционной матрицы выявлены шесть факторов, объединяющих взаимодействующие переменные в данной матрице. Наиболее мощный из них (22,1 % полной дисперсии) I фактор может быть назван фактором «напряженности вегетативной регуляции», так как он включает в себя все выбранные показатели ИН; II фактор (16,9 %) объединяет показатели $AD_{\text{сист.}}$ и QV_m

2 время зрительно-напряженной деятельности

Среда		Четверг		Пятница	
до работы	после работы	до работы	после работы	до работы	после работы
эпоху анализа					
32,0±1,6	35,5±2,0	36,3±2,0	36,8±3,5	34,0±2,0	34,3±1,7
20,4±5,8	30,4±7,8	59,5±8,7	69,6±9,8	12,2±4,2	19,9±6,0
102±2,2	106±2,2	105±4,3	107±2,2	105±4,7	107±5,4
65±2,2	70±2,2	61±2,2	65±2,2	70±3,2	69±3,2
16,5±2,2	5,5±1,6	26,1±2,8	12,9±2,6	+0,7±3,7	+11,7±4,7
0,96±0,1	0,90±0,1	1,20±0,2	1,04±0,2	0,85±0,1	1,03±0,1
112±66,0	51±13,7	101±39,9	101±46,4	69±24,3	48±14,7
в течение 3 ч работы					
36,2±0,10		36,4±0,06		36,2±0,05	
74,7±2,02		72,1±1,93		72,6±1,59	
22,7±0,86		23,2±0,64		24,2±0,81	
72,2±10,3		96,2±16,7		75,9±13,9	

до и после работы, вследствие чего он интерпретируется как фактор «постоянства вегетативной регуляции»; III фактор (12,9 %), включающий всего два параметра дыхания, может носить название фактора «частоты дыхания»; IV фактор (9,2 %) нами не интерпретируется, что допускается факторным анализом, дающим возможность исключать случайные взаимодействия; V фактор (7,6 %), в состав которого входят вегетативные показатели после работы и среднее значение ЧСС, предположительно определяется как фактор «прогноза состояния вегетативного тонуса». Критерием прогноза выступает в этом случае текущее значение ЧСС. И наконец, VI фактор (6,2 %) подтверждает важность устанавливающихся при адаптационных перестройках соотношений между вегетативной активностью и интегральным показателем деятельности зрительного анализатора.

Таблица 2. Коэффициент корреляции показателей исследуемых физиологических функций

Корреляционная пара показателей	Сравниваемые значения показателей				
	до работы	после работы	до работы— средние	после работы— средние	до работы— после работы
АД _{сист.} —QV _m	+0,652	+0,495			
ИК—QV _m	+0,499	+0,501			+0,460
КЧСМ—QV _m	+0,400				
Тр.—QV _m	+0,422				
Тр.—ИН		+0,700			
АД _{сист.} —ИН _{ср.}			—0,441	—0,409	
ИН—ИН _{ср.}			+0,734	+0,691	
ИН—ИН _{ср.}			+0,595	+0,464	
QV _m —ЧД _{ср.}			—0,445		
АД _{сист.} —ИН _{ср.}				—0,402	
ИК—ИН _{ср.}				+0,426	
Тр.—ИН _{ср.}				+0,427	
Тр.—ИК _{ср.}				+0,462	
АД _{сист.} —АД _{диагн.}					+0,647
QV _m —АД _{сист.}					+0,464
ИК—ИН					+0,493

Примечание. Тр. — интегральный показатель тремора; остальные обозначения см. в табл. 1.

Таким образом, осуществление зрительно-напряженной деятельности сопровождается изменениями изученных показателей функционального состояния организма, из которых наиболее информативными являются ИН, ИК и КЧСМ. Для их значений до и после работы, а также в начале и конце рабочей недели отмечаются отчетливые различия, анализ которых указывает на существенное напряжение механизмов вегетативного обеспечения системного ответа. Корреляционный анализ позволяет установить усложнение структуры взаимосвязей исследованных функций после работы, причем корреляция показателя КЧСМ и сдвигов интегративных вегетативных показателей является по своему характеру адаптационной [2]. В то же время сохранность основных корреляций вегетативных индексов до и после работы находится в соответствии с представлениями об определенном постоянстве матрицы связей вегетативных показателей относительно времени и внешних воздействий [4]. Эти выводы подтверждаются и результатами факторного анализа (состав II и VI факторов), на основе которого может быть сделано также заключение о возможности прогноза состояния вегетативного тонуса и об определяющей роли напряжения вегетативной регуляции при адаптации к данному виду деятельности. Достаточно высокая эффективность и точность работы по обнаружению дефектов плат, практиче-

ски не изменяющиеся в течение недели, свидетельствуют об оптимальности организации вегетативного обеспечения системного ответа в этот период.

THE VEGETATIVE ENSURING OF THE SYSTEM RESPONSE UNDER CONDITIONS OF OPERATOR'S ACTIVITY CONNECTED WITH VISUAL STRENGTH

D. A. Romanov, I. G. Martynenko, A. D. Liman

The parameters of functioning of muscular, cardiac-respiratory, vegetative and other systems in the organism of healthy persons engaged in the work connected with visual strength have been studied. The optimal limits of system response are determined and thus its realization is shown to be provided with the activation of vegetative regulation apparatus. The structure of the relations between the distinguished parameters is maintained even when new level of functioning is established. Initial activation of vegetative mechanisms is a leading factor of the further rearrangements of visual and somato-sensory analyzers with the given kind of activity.

Institute of Labour Hygiene and Occupational Diseases,
Ministry of Public Health of the Ukrainian SSR, Kharkov

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баевский Р. М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии.— М.: Медицина, 1979.— 298 с.
2. Бенъкович Б. И., Маршак О. В. Влияние стимуляции процессов холинергической медиации на критическую частоту слияния световых мельканий и некоторые параметры вегетативной активации // Физиология человека.— 1986.— 12, № 6.— С. 932—939.
3. Вейн А. М., Соловьева А. Д., Колосова О. А. Вегетососудистая дистония.— М.: Медицина, 1981.— 320 с.
4. Дмитриева Н. В. Корреляционная матрица связей гемодинамических показателей как характеристика вегетативного гомеостаза // Изв. АН СССР (Сер. биол.)— 1986.— № 6.— С. 943—946.
5. Дубровина З. В., Блинова Л. Т., Макарова Л. П. и др. О способах определения комплексов психофизиологических критериев профессиональной пригодности // Физиология человека.— 1987.— 13, № 2.— С. 278—283.
6. Иберла К. Факторный анализ.— М.: Статистика, 1980.— 398 с.
7. Израелян А. А. Вопросы профилактики общего и зрительного утомления // Пром-сть Армении.— 1986.— № 8.— С. 39—40.
8. Клименко Г. Я., Козлов М. А., Лютов А. И. и др. Состояние физиологических функций у работниц, занятых зрительно-напряженными видами работ при невысоком уровне двигательной активности // Гигиена труда и проф. заболевания.— 1983.— № 4.— С. 40—41.
9. Колпаков С. П., Румянцева А. Г. Опыт применения комплексного метода коррекции психофизиологического состояния человека в условиях работы с постоянным зрительным напряжением // Физиология человека.— 1987.— 13, № 1.— С. 42—49.
10. Медведев В. И. Человек и научно-технический прогресс // Физиология человека.— 1986.— 12, № 5.— С. 707—714.
11. Рышкина Е. С. Диагностика и лечение спазма аккомодации.— Л.: Изд-во ГИДУВ, 1978.— 28 с.
12. Смирнова Г. А., Овчинников Б. В. Индивидуальные различия динамики работоспособности и функционального состояния операторов в зависимости от типа телосложения // Физиология человека.— 1987.— 13, № 3.— С. 419—424.
13. Stone H. L., Dormer K. J., Foreman R. D. et al. Neural regulation of the cardiovascular system during exercise // Fed. Proc.— 1985.— 44, N 7.— P. 2271—2278.

Харьков. ин-т гигиены труда
и профзаболеваний
М-ва здравоохранения УССР

Материал поступил в редакцию 04.02.88