

## **РАЗДЕЛ III**

### **КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ В ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЕ**

---

#### **Использование компьютерной системы «СОПР-мониторинг» для анализа психической работоспособности в условиях привычной профессиональной деятельности и в сложных условиях**

Т. М. Смирнова, В. Н. Крутько, А. Ф. Быстрицкая,  
А. Г. Виноходова, И. М. Ларина

В структуре современной трудовой деятельности постоянно возрастает доля профессий и отдельных видов деятельности, сопряженных с высокой психической нагрузкой. Это создает потребность в эффективных средствах оценки психической работоспособности (ПР) для целей как профессионального отбора, так и контроля изменений ПР при осуществлении трудовой деятельности. В свою очередь, анализ влияния на ПР различных факторов трудовой деятельности является необходимым условием совершенствования принципов нормирования труда и профилактики профессионально обусловленных нарушений здоровья.

Компьютерная система «СОПР-мониторинг» была разработана нами для целей оперативного контроля ПР, а также накопления и отсроченного анализа данных. Принципы компьютерной реализации регистрации обследуемых, тестирования ПР и регистрации результатов сохраняют преемственность с системой оценки психической работоспособности «СОПР», разработанной нами ранее для целей профилактической медицины [Смирнова Т. М. и соавт., 2005]. Набор тестовых методик обеспечивает оценку основных компонент ПР — умственной работоспособности (УР) и сенсомоторной деятельности (СД). Помимо анкетных данных, в базу данных заносится сведения о профессиональном и спортивном опыте обследуемых, который может

иметь значимую связь с особенностями ПР вследствие специфического отбора и тренировки отдельных профессиональных навыков. В соответствии с задачами оперативного контроля из системы «СОПР» заимствованы два теста, направленные на оценку наиболее лабильных характеристик УР и СД. Для оценки УР используется методика «Непрерывный счет в автотемпе» (НСАТ). В качестве показателей УР регистрируются две характеристики продуктивности деятельности — общее число арифметических операций, выполненных за время тестирования, и число правильных ответов. В качестве показателя точности умственной деятельности используется процентная доля правильных ответов. СД оценивается с помощью теста «Реакция на движущийся объект» (РДО). Основным показателем точности реакции служит средний модуль ошибки реакции за время тестирования. Наряду с этим показателем регистрируется средняя величина ошибки, что позволяет оценить соотношение опережающих и запаздывающих реакций, которое, в свою очередь, может служить характеристикой соотношения процессов возбуждения и торможения. В качестве показателя надежности СД используется максимальный модуль ошибки реакции за время тестирования.

В целях изучения связи работоспособности с психофизиологическим состоянием система была дополнена рядом тестов, позволяющих определить объективный психологический статус и субъективную оценку обследуемыми своего состояния. Субъективная оценка обеспечивается с помощью тестовых методик САН (самооценка самочувствия, активности и настроения) и Спилбергера—Ханина, объективная оценка состояния — с помощью 8-цветового теста Люшера. Все перечисленные тесты отличаются простотой и малой продолжительностью выполнения, обладают высокой информативностью, давно используются в области исследования профессиональной и спортивной медицины [Кудряшов А. Ф., 1992; Маришук В. Л. и др., 1984; Иоселиани К. К. и др., 1991]; кроме того, имеется обширная литература по их применению и интерпретации.

Для определения оптимального режима тестирования был использован опыт контроля ПР и психофизиологического мониторинга в космических полетах и наземных модельных исследованиях [Иоселиани К. К. и др., 1991; Виноходова А. Г., Быстрицкая А. Ф., Смирнова Т. М., 1997; Ларина И. М., Быстрицкая А. Ф., Смирнова Т. М.; 1999; Быстрицкая А. Ф., Виноходова А. Г., Смирнова Т. М., 2002]. Методы, аппаратура и компьютерные диагностические системы в этой области рассчитаны на исследования в широком диапазоне разнообразных внешних воздействий на человека при жестких требованиях к информативности, надежности и минимальной продолжительности психофизиологических исследований. В версии системы «СОПР-мониторинг», предназначенной для исследований в условиях обычной, но не экстремальной трудовой деятельности, продолжительность тестов НСАТ и РДО была определена в 3 минуты. В ходе теста

РДО за это время необходимо 30 раз отметить совпадение метки, движущейся по окружности, с неподвижной меткой.

Тестовые методики выполняются в следующем порядке: тест Люшера, САН, НСАТ, РДО, тест Спилбергера—Ханина, тест Люшера. Двукратное выполнение теста Люшера позволяет определить показатель вариабельности цветового выбора (ВЦВ). Этот показатель представляет собой сумму сдвигов позиций всех цветов при выполнении умеренной умственной и эмоциональной нагрузки, обусловленной тестовыми процедурами. Проведенные нами ранее исследования работоспособности и механизмов ее обеспечения в различных условиях жизнедеятельности [Быстрицкая А. Ф., Смирнова Т. М., 1994; Быстрицкая А. Ф., Виноходова А. Г., Смирнова Т. М., 2002] показали, что индивидуальная ВЦВ имеет значимые корреляционные связи с активностью регуляторных систем организма (нейромедиаторных, гормональных, иммунной), а также с качеством операторской деятельности. В силу этого метод цветового выбора позволяет получить объективную информацию о психо-вегетативном тоне, психоэмоциональном состоянии и работоспособности оператора, зависящих как от устойчивых личностных характеристик, так и от актуального психического состояния. В рамках системы «СОПР-мониторинг» оценку личностных характеристик обеспечивает традиционный метод интерпретации результатов теста Люшера, а оценка актуального состояния производится по показателю ВЦВ.

При проведении теста САН в системе «СОПР-мониторинг» используются непрерывные шкалы показателей. При ответе на каждый пункт анкеты обследуемый определяет позицию, соответствующую его актуальному состоянию, на шкале с нанесенными делениями, соответствующими нейтральному, наилучшему возможному и наихудшему возможному состоянию. Диапазон оцифрованных значений — от  $-1$  до  $1$ , нейтральному состоянию соответствует нулевое значение. Результаты разнообразных исследований [Виноходова А. Г., Быстрицкая А. Ф., Смирнова Т. М., 1997; Ларина И. М., Быстрицкая А. Ф., Смирнова Т. М., 1999; Быстрицкая А. Ф., Виноходова А. Г., Смирнова Т. М., 2002] подтвердили, что такой вариант предъявления методики эквивалентен классическому варианту с 7-балльной дискретной шкалой ответов в пределах точности последнего и при этом обладает преимуществом большей точности как при непосредственной оценке индивидуального состояния, так и при определении различных производных показателей, в частности, групповых характеристик и прогностических величин. Помимо исходных показателей данного теста — самочувствия, активности и настроения, — вычисляется интегральный показатель САН, представляющий собой среднее арифметическое исходных показателей и характеризующий уровень интегральной самооценки состояния без выделения ее компонент. При проведении теста Спилбергера—Ханина используется только шкала реактивной тревожности (РТ).

Система «СОПР-мониторинг» реализована в виде программного продукта, работающего под управлением операционной системы Microsoft Windows-98 или любой из следующих версий. На каждом шаге работы с системой обеспечен вывод экранных подсказок, разъясняющих необходимые действия пользователя. Это позволяет даже неподготовленному пользователю проводить тестирование не только под управлением специалиста, но и самостоятельно.

Общая продолжительность одного сеанса тестирования составляет от 10 минут для обследуемых, уверенно работающих на компьютере и заранее ознакомленных с методиками тестирования, до 20 минут для обследуемых, нуждающихся в процессе тестирования в подсказках инструктора или чтении экранных подсказок.

Анализ данных исследований, в которых была использована система «СОПР-мониторинг», выполнен с помощью стандартных статистических процедур пакета Microsoft Excel. Вместе с усредненными оценками везде ниже приведены значения стандартной ошибки среднего. При анализе временных рядов использованы процедуры выделения тренда и центрирования, т. е. вычитания из исходных данных соответствующего значения тренда (в случае, если тренд данного показателя достоверен с  $p < 0,05$ ) или выборочного среднего (если тренд отсутствует). Поскольку для показателей самооценки состояния характерен очень высокий интериндивидуальный разброс, в целях выявления групповых закономерностей динамики к индивидуальным выборкам значений этих показателей применяли преобразование стандартизации, т. е. линейное преобразование, позволяющее перейти от выборки с произвольным средним и стандартным отклонением к выборке с нулевым средним и единичным стандартным отклонением за счет центрирования и деления на величину стандартного отклонения исходных данных. Для межгрупповых сравнений использовали t-критерий Стьюдента, для оценки интенсивности взаимосвязей между показателями — коэффициент корреляции Пирсона ( $r$ ) и коэффициент детерминации ( $r^2$ ), для оценки вариабельности показателей — коэффициент вариации ( $v$ ).

## **1. Исследование индивидуальных особенностей ПР в условиях привычной профессиональной деятельности**

Мониторинг ПР проводили путем многократного (140 раз на протяжении 1,5 лет) тестирования одного и того же обследуемого в условиях выполнения привычной профессиональной работы на компьютере в разное время суток. При этом были выявлены значительные различия в характере динамики отдельных показателей ПР. Существенно неоднородной

была вариабельность показателей ПР (табл. 1): наиболее стабильной была точность умственной деятельности, тогда как наибольший разброс был характерен для показателей СФ.

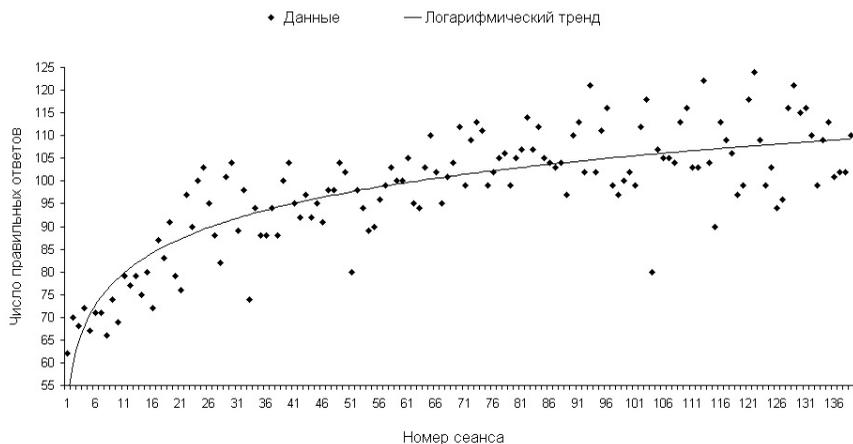
По мере увеличения числа тестов имел место систематический рост как числа правильных ответов, так и тесно коррелированного с ним ( $r = 0,996$ ) числа выполненных за время тестирования операций, т. е. обоих показателей продуктивности умственной деятельности. Систематическая компонента имела логарифмический вид зависимости от числа выполненных ранее тестов, и на ее долю приходилось 70 % вариации числа операций и 68 % вариации числа правильных ответов. В отличие от показателей продуктивности, точность счета и показатели СД не имели какой-либо закономерной связи с порядковым номером сеанса тестирования. Такие результаты свидетельствуют о неодинаковых способностях обследуемого к тренировке отдельных компонент ПР: если продуктивность умственной деятельности при многократном выполнении теста НСАТ увеличилась почти вдвое, то ни точность умственной деятельности, ни точность и надежность СД при этом не улучшились.

В целях исследования суточной динамики ПР из показателей продуктивности УР была исключена систематическая компонента, а для доли правильных ответов произведено преобразование центрирования, т. е. вычитание среднего значения за период наблюдения. После усреднения преобразованных таким образом показателей УР по 2-часовым временным интервалам была выявлена выраженная зависимость показателей продуктивности от времени суток (рис. 2). В суточной динамике этих показателей можно выделить 4 фазы: фазы высокой продуктивности с 8 до 16 час. и с 20 до 2 час. и фазы низкой продуктивности с 2 до 8 час. и с 16 до 20 час. (рис. 3). Точность счета почти не менялась в течение суток, за исключением выраженного снижения в период с 2 до 4 час. Иной характер имела суточная динамика СФ: она распадалась на 2 фазы, в течение каждой из которых происходило плавное нарастание ошибки реакции с последующим кратковременным снижением (рис. 4). Полученные результаты демонстрируют возможности системы «СОПР-мониторинг» в целях оптимального планирования режимов профессиональной деятельности с учетом индивидуальных особенностей суточного ритма различных видов деятельности.

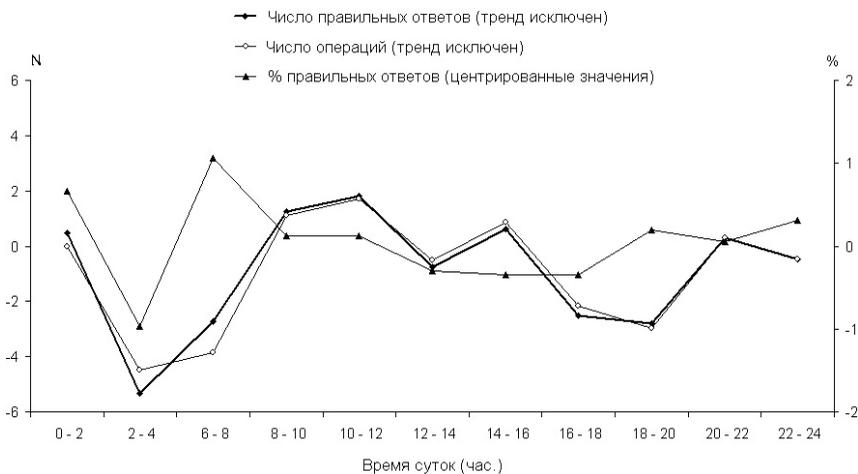
Таблица 1

Коэффициент вариации ( $v$ ) показателей ПР при многократном тестировании

Методика	НСАТ			РДО		
	Число правильных ответов	Число операций	% правильных ответов	Средний модуль ошибки	Средняя величина ошибки	Максимальный модуль ошибки
$v$ (%)	14	13	1	44	73	72



**Рис. 1.** Тренд продуктивности умственной деятельности при многократном выполнении методики НСАТ



**Рис. 2.** Индивидуальная суточная динамика показателей УР

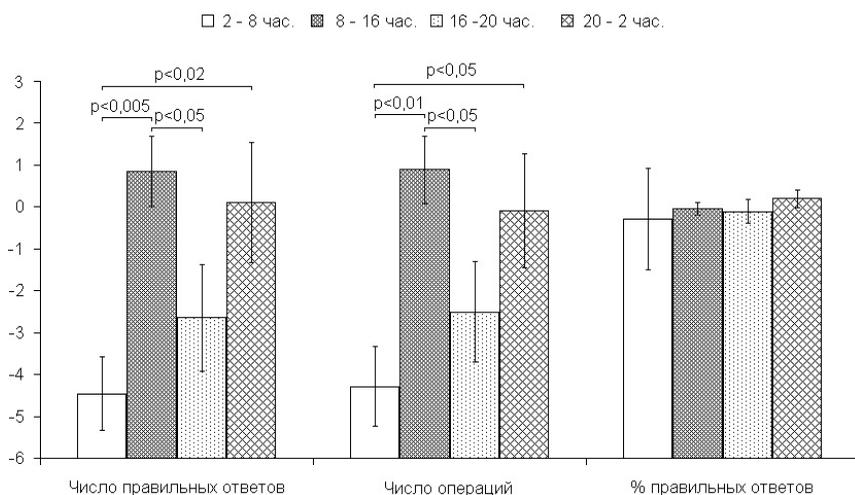


Рис. 3. Индивидуальная динамика показателей УР по фазам суточного цикла

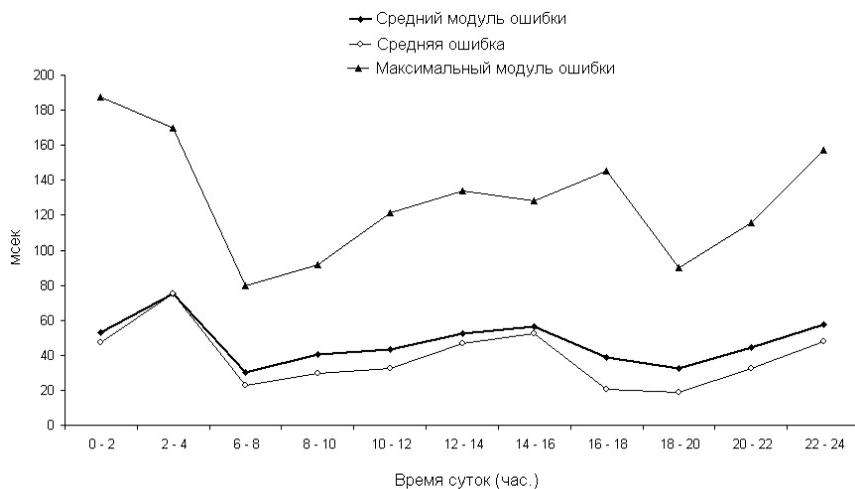


Рис. 4. Индивидуальная суточная динамика показателей СД

## 2. Сравнение групповых характеристик ПР и психоэмоционального состояния в условиях привычной профессиональной деятельности

Анализ выполнен на основе данных, зарегистрированных с помощью компьютерной системы «СОПР-мониторинг» у членов одного производственного коллектива — 7 мужчин и 6 женщин в возрасте 20–60 лет, практически здоровых, имеющих высшее или среднее специальное образование, опытных пользователей персонального компьютера, но не профессионалов в области компьютерных технологий. Тестирование проводили в течение рабочего дня на фоне выполнения обычных профессиональных обязанностей. Каждый из обследуемых выполнял тесты несколько раз. Для анализа были использованы усредненные индивидуальные значения показателей ПР. Полученные данные позволили сравнить уровни ПР и психоэмоционального состояния у мужчин и женщин, а также оценить возрастную динамику исследованных показателей.

По показателям УР достоверных различий не было отмечено, хотя у мужчин все показатели теста были НСАТ немного выше. Качество СД у мужчин было достоверно выше, чем у женщин (за исключением средней ошибки реакции, по которой различия отсутствовали), Уровень тревожности был достоверно ниже у мужчин (табл. 2).

С возрастом у мужчин снижалась продуктивность счета, тогда как у женщин такой тенденции не было (табл. 3). Снижение качества СД не было достоверным, хотя у женщин оно было несколько более выражено. Возрастная динамика РТ была противоположна: у мужчин этот показатель с возрастом имел тенденцию к росту, тогда как у женщин он снижался. По показателям самооценки состояния ни половых различий, ни возрастных изменений не было выявлено.

Таблица 2

Показатели ПР и РТ у мужчин и женщин ( $M \pm m$ )

Показатель	Мужчины	Женщины	Значимость различий
Число правильных ответов	48,0 ± 5,3	37,0 ± 4,4	—
Число выполненных операций	50,2 ± 5,1	40,2 ± 4,1	—
% правильных ответов	95,1 ± 1,4	88,6 ± 2,2	—
Средний модуль ошибки (мс)	52,3 ± 5,4	72,1 ± 3,8	p < 0,01
Средняя величина ошибки (мс)	37,7 ± 9,8	35,8 ± 10,0	—
Максимальный модуль ошибки (мс)	122,3 ± 11,3	160,1 ± 7,4	p < 0,02
РТ	26,4 ± 3,3	35,0 ± 2,6	p < 0,05

Необычная возрастная динамика тревожности у женщин, по-видимому, может быть объяснена личностными особенностями и климактерическими изменениями. Не исключена также роль социального фактора, поскольку старшие в данной группе являются работающими пенсионерами, т. е. имеют более надежный статус, чем более молодые, в особенности женщины старшего трудоспособного возраста, наименее востребованные на рынке труда.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции показателей ПР и РТ с возрастом у мужчин и женщин

Показатель	Мужчины	Женщины	Значимость различий
Число правильных ответов	-0,803**	0,298	$p < 0,05$
Число выполненных операций	-0,779*	0,321	—
% правильных ответов	-0,599	-0,284	—
Средний модуль ошибки	0,205	0,514	—
Средняя величина ошибки	0,132	0,339	—
Максимальный модуль ошибки	0,04	0,126	—
РТ	0,480	-0,753**	$p < 0,05$

*Примечание:*

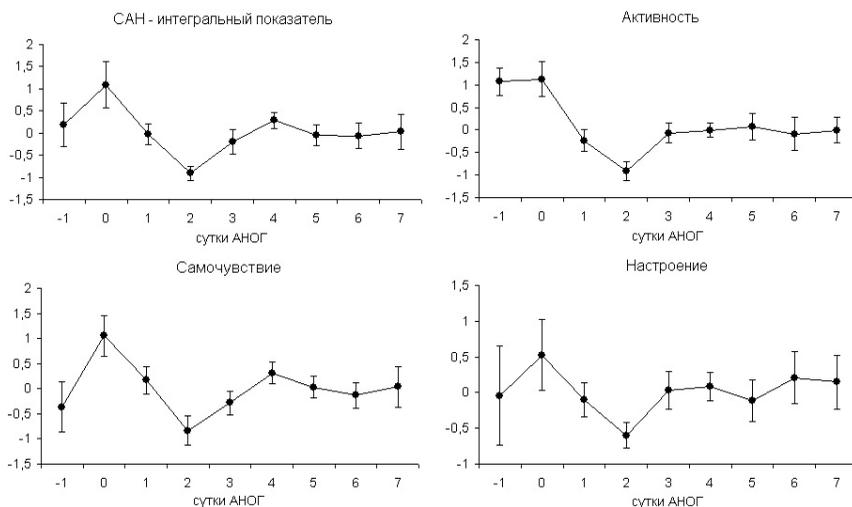
\* — коэффициент корреляции достоверно отличен от 0 ( $p < 0,05$ );

\*\* —  $p < 0,01$ .

### 3. Исследование ПР и психоэмоционального состояния в сложных условиях

Исследования проведены в эксперименте, организованном на базе Наземного экспериментального комплекса ГНЦ РФ — ИМБП РАН, с участием 9 мужчин-добровольцев, прошедших медицинский отбор для участия в экспериментах по моделированию факторов космического полета. Обследуемые находились в течение 8–9 суток в замкнутом объекте, моделирующем российский сегмент Международной космической станции (МКС) по параметрам окружающей среды. Одновременно в объекте находились 2–4 человека. Моделирование физиологических эффектов невесомости обеспечивали с помощью стандартной модели — антиортостатической гипокинезии (АНОГ). В течение 7 суток обследуемые находились в положении лежа, угол наклона головного конца кровати составлял  $-8^\circ$ . Эта модель позволяет

наиболее адекватно воспроизвести комплекс физиологических реакций, пусковым механизмом которых является перераспределение жидких сред организма в краниальном направлении при отсутствии земной гравитации. В целях моделирования деятельности экипажа МКС обследуемые выполняли на специальном имитаторе операции по стыковке и управлению космическим кораблем, а также ряд медико-психологических исследований. Тестирование с помощью системы «СОПР-мониторинг» было использовано в качестве элемента системы контроля состояния испытуемых. Для целей данного эксперимента система «СОПР-мониторинг», как и другие компьютерные методики мониторинга здоровья, была реализована на ноутбуке, что позволяло выполнять исследования в положении лежа.



**Рис. 5.** Субъективная оценка состояния в сложных условиях (стандартизованные величины)

Результаты эксперимента показали, что в условиях АНОГ резко изменялись показатели самооценки состояния испытуемых (рис. 5). Наихудшие оценки имели место на 2-е сутки АНОГ, что соответствует пику развития гемодинамических реакций в условиях реального космического полета и моделирующих его экспериментах. К 4-м суткам происходила адаптация основных систем организма к перераспределению жидких сред. В эти же сроки имела место стабилизация показателей самооценки состояния, причем на уровне более низком, чем непосредственно перед началом АНОГ. Уровни самочувствия и настроения на этом этапе не отличались от 1-х суток эксперимента, когда обследуемые испытывали значительные

эмоциональные нагрузки в связи с началом сложного эксперимента в условиях изоляции. Уровень активности на этапе стабилизации был достоверно ниже ( $p < 0,01$ ), чем до начала АНОГ.

Методика НСАТ выявила тенденцию к росту УР как по числу выполненных операций, так и по числу правильных ответов (рис. 6). Достоверный ( $p < 0,05$ ) тренд этих показателей, по-видимому, как и в описанной выше ситуации с индивидуальной динамикой, связан со способностью к повышению продуктивности при систематическом выполнении данного вида деятельности. В остром периоде адаптации к АНОГ показатели УР снижались, однако в значительно меньшей степени, чем показатели субъективной оценки состояния. Минимальный уровень УР имел место на 2-е сутки АНОГ.

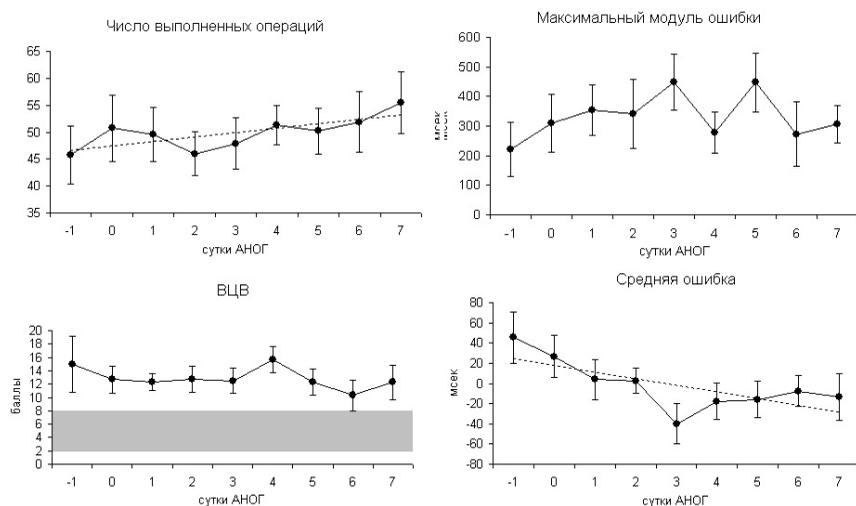
Из всех показателей СД, оцениваемых с помощью методики РДО, наименее чувствительным к факторам эксперимента оказался средний модуль ошибки, который на протяжении всего эксперимента колебался около среднего уровня, что свидетельствует об устойчивости СД при исследованных воздействиях. Однако для более тонких показателей СД эффект условий эксперимента был выражен сильнее. На протяжении 5 суток имело место систематическое снижение надежности СД, что проявилось в наличии достоверного ( $p < 0,02$ ) тренда максимальной ошибки реакции в сторону повышения. Средняя ошибка реакции в целом за время эксперимента имела тенденцию к снижению ( $p < 0,05$ ), причем диапазон снижения приходился также на первые 5 суток (значимость тренда для этого периода —  $p < 0,02$ ). Начиная с 5-х суток, средняя ошибка была устойчивой, а максимальный модуль ошибки имел колебательный характер около средней величины, не отличавшейся статистически значимо от начального уровня этого показателя. Величина средней ошибки за первые 5 суток эксперимента изменяла свое значение с положительного до практически равного по абсолютной величине отрицательного, что можно рассматривать как признак перехода в новое состояние с преобладанием возбуждения над торможением. Устойчиво высокий уровень ВЦВ, типичный для состояния стресса, также позволяет предположить, что на всем протяжении эксперимента обследуемые испытывали сильный стресс.

В целом результаты данного эксперимента подтвердили хорошо известный в космической медицине факт, что у лиц, удовлетворяющих требованиям медицинского отбора, при моделировании воздействия комплекса факторов космического полета не наблюдается значительного снижения работоспособности, несмотря на выраженные физиологические изменения и субъективное ощущение ухудшения состояния. В условиях, моделирующих перераспределение жидких сред организма, УР, непосредственно зависящая от состояния мозгового кровотока, реагирует сильнее, чем СД.

Использование же системы «СОПР-мониторинг» позволило оценить особенности изменений ПР в модельных условиях, т. е. фактически «цену» поддержания ПР в этих условиях.

С помощью системы «СОПР-мониторинг» могут быть исследованы индивидуальные особенности стиля деятельности и его устойчивости к сложным условиям. На рис. 7 приведены примеры динамики среднего модуля ошибки реакции на протяжении выполнения теста РДО у 4 испытуемых (средние величины за время эксперимента по каждому из 30 кругов). Испытатель А в сложных условиях сохранял крайне высокое и устойчивое качество СД; испытатель Б удерживал высокое качество СД только на протяжении 1 минуты; испытатель В после небольшого периода неустойчивости СД в конце 1-й минуты восстанавливал качество СД; для испытуемого Г были характерны сравнительно низкий средний уровень и неустойчивый характер СД.

Рисунок 8 иллюстрирует возрастные особенности ПР в сложных условиях. Из 9 испытуемых, принимавших участие в данном эксперименте, 4 человека были в возрасте 20–21 года, 4 — в возрасте 27–31 и 1 — старше 50 лет. Приведенные результаты свидетельствуют, что и среди отобранных в соответствии со специальными требованиями испытуемых в сложных условиях наблюдается достоверное снижение ПР с возрастом (табл. 4).



**Рис. 6.** Динамика ПР и ВЦВ в сложных условиях (изоляция + АНОГ). Пунктир — достоверные тренды групповых показателей. Заштрихованная область — диапазон нормальных значений ВЦВ

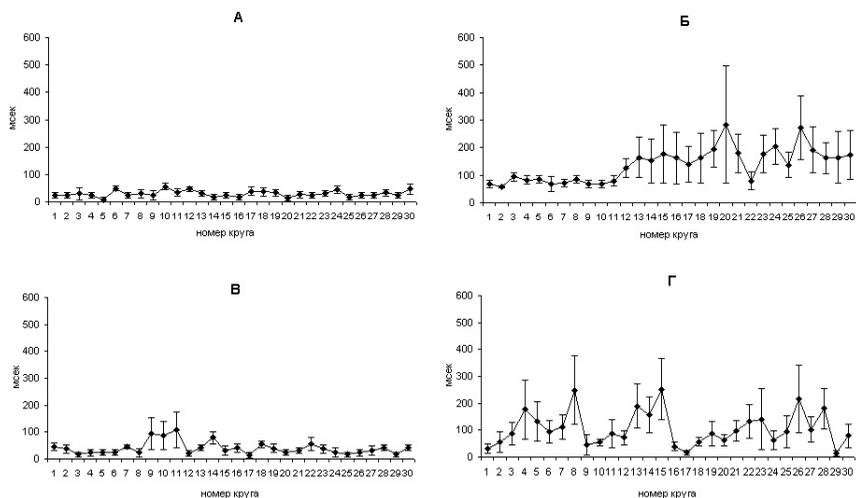


Рис. 7. Индивидуальные особенности выполнения теста РДО в сложных условиях

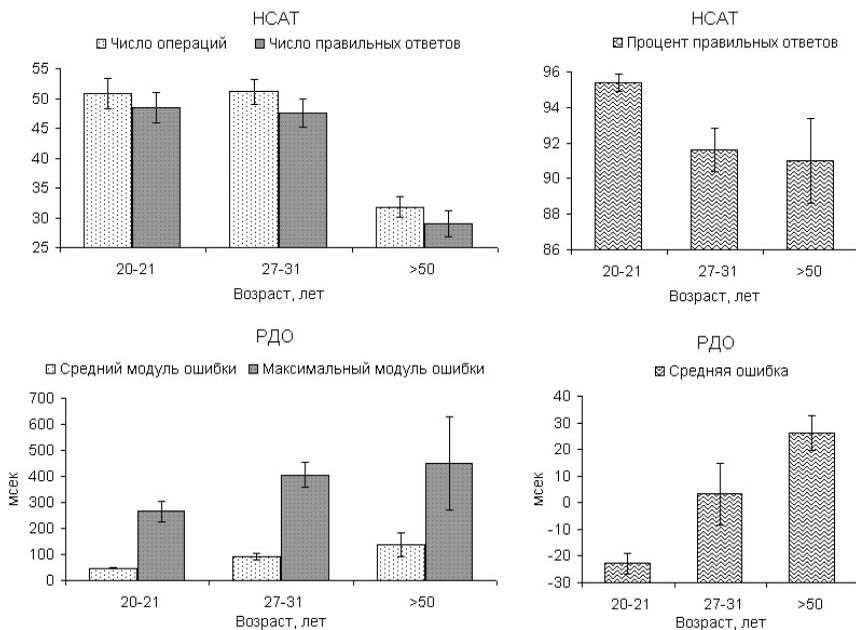


Рис. 8. Возрастные различия ПР в сложных условиях

Таблица 4

Значимость возрастных различий ПР в сложных условиях

Показатель	Возраст испытуемых в сравниваемых группах, лет		
	20–21 / 27–31	27–31 / > 50	20–21 / > 50
Число правильных ответов	—	$p < 0,05$	$p < 0,02$
Число выполненных операций	—	$p < 0,01$	$p < 0,05$
% правильных ответов	$p < 0,01$	—	$p < 0,02$
Средний модуль ошибки	$p < 0,01$	—	$p < 0,05$
Средняя величина ошибки	$p < 0,05$	—	$p < 0,05$
Максимальный модуль ошибки	$p < 0,05$	—	$p < 0,0001$

В целом результаты эксплуатации системы «СОПР-мониторинг» свидетельствуют о широких возможностях ее использования в области исследования ПР и оптимального планирования трудовой деятельности в различных условиях. Кроме того, эта система представляет собой простое в применении и информативное средство для оценки влияния неблагоприятных факторов окружающей среды, а также контроля эффективности любых профилактических и лечебных мероприятий по показателям ПР.

## Литература

1. Быстрицкая А. Ф., Виноходова А. Г., Смирнова Т. М. Оценка индивидуальной стресс-устойчивости космонавтов // Материалы XII конференции по космической биологии и авиакосмической медицине. М., 2002. С. 76–77.
2. Быстрицкая А. Ф., Смирнова Т. М. Перспектива использования теста цветового выбора в системе психофизиологического мониторинга // Космическая биология и авиакосмическая медицина. Тезисы докладов X конференции, Москва, 7–10 июня 1994 г. М.: Слово, 1994. С. 80–81.
3. Виноходова А. Г., Быстрицкая А. Ф., Смирнова Т. М. Комплексная психологическая оценка функционального состояния и прогнозирование работоспособности оператора при моделировании сложных условий космического полета // Гипокинезия. Медицинские и психологические проблемы. Тезисы докладов конференции, Москва, 26–28 ноября 1997 г. М., 1997. С. 22–24.
4. Иоселиани К. К., Наринская А. Л., Хисамбеев Ш. Р., Радковски Г. Исследование психической работоспособности космонавтов во время полетов на орбитальной станции «Мир» // Космическая биология и авиакосмическая медицина. 1991. Т. 25. № 6. С. 8–11.

5. Кудряшов А. Ф. (отв. ред.). Лучшие психологические тесты для профотбора и профориентации. Петрозаводск: Петроком, 1992. 318 с.
6. Ларина И. М., Быстрицкая А. Ф., Смирнова Т. М. Психофизиологический мониторинг в условиях реальной и моделируемой микрогравитации // Физиология человека. 1999. Т. 25. С. 86–91.
7. Марищук В. Л., Блудов Ю. М. и др. Методики психодиагностики в спорте. М.: Просвещение, 1984. 189 с.
8. Смирнова Т. М., Быстрицкая А. Ф., Крутько В. Н., Морозов В. С. Система оценки психической работоспособности как важного показателя здоровья // Труды ИСА РАН. 2005. Т. 13. С. 170–194.