

УДК 612.821.7

© 2000 г. ДОРОХОВ В.Б., ДЕМЕНТИЕНКО В.В., КОРЕНЕВА Л.Г.,  
МАРКОВ А.Г., ШАХНАРОВИЧ В.М.

### ЭЛЕКТРОДЕРМАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СУБЪЕКТИВНОГО ВОСПРИЯТИЯ ОШИБОК В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ ДРЕМОТНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ СОЗНАНИЯ

Проведен анализ нарушений психомоторной деятельности, вызванных развитием дремоты. Показано, что после появления ошибки в деятельности регистрируется отставленная фазическая электродермальная реакция. Сравнение интервалов: 1) между началом ошибки и электродермальной реакцией, предшествующей появлению ошибки (И1), и 2) между началом ошибки и первой электродермальной реакцией после нее (И2) показало, что интервал И2 значительно меньше, чем И1:  $I1_{\text{ср}} = 69,8$  с;  $I2_{\text{ср}} = 10,1$  с ( $p < 0,001$ , t-тест для связанных событий). Опрос испытуемых после нарушения и восстановления деятельности, а также результаты статистического анализа дают возможность предполагать наличие взаимосвязи между субъективным восприятием ошибки и появлением электродермальной реакции. В этом случае интервал (И2) между началом ошибки и первой электродермальной реакцией после нее характеризует время осознания ошибки.

Предполагается, что появление электродермальной реакции после ошибки является вегетативным компонентом ориентировочного рефлекса, механизм которого активируется в момент субъективного восприятия ошибки как значимого стимула эндогенного характера и связано с осознанием ошибки.

Необходимым условием функционирования сознания является определенный уровень активации мозга. Для исследований нейрофизиологических механизмов сознания могут оказаться полезными концепции и подходы, хорошо разработанные для анализа операторской деятельности и регуляции уровня бодрствования [1, 5, 6, 8, 11–13, 15, 22–24, 26, 32].

Изменения физиологических показателей при снижении уровня бодрствования и появлении ошибок в деятельности в настоящее время хорошо изучены [2–5, 8–10, 20–27]. Однако существует проблема задержки и, в некоторых случаях, отсутствия субъективного восприятия своего дремотного состояния человеком-оператором, что является причиной различных инцидентов на транспорте и производстве [5, 13, 20]. В экспериментальных исследованиях показано [20], что при активации испытуемых через разное время после появления "дремотных паттернов" на электроэнцефалограмме (ЭЭГ) и электроокулограмме (ЭОГ) осознание своего состояния как дремотного наступало не ранее чем через 20 с, причем только у 30% испытуемых. Характер восприятия дремоты зависел от времени, прошедшего после появления "дремотных паттернов".

В нашей предыдущей работе [8] показано, что появлению ошибок в деятельности при выполнении психомоторного теста предшествовало появление медленных движений глаз (МДГ), характерных для дремоты, а начало ошибок совпадало с депрессией альфа-ритма и появлением тета-активности на ЭЭГ. Спонтанное восстановление деятельности сопровождалось восстановлением альфа-активности.

Исходя из существующих представлений [28, 32] о механизме ориентировочного рефлекса (ОР), можно предположить, что если появление ошибки в деятельности оценивается организмом как значимый стимул, то оно должно вызывать активацию ОР. Начиная с работ Е.Н. Соколова [32], считается [2, 7, 25], что одним из наиболее устойчивых компонентов ОР на новый или значимый стимул является фазическая составляющая электродермальной активности (ЭДА) – электродермальная реакция (ЭДР) или кожно-гальваническая реакция (КГР).

Регистрация ЭДР имеет ряд определенных преимуществ перед другими показателями активации вегетативной нервной системы (ВНС). Во-первых, надежное выделение ЭДР на одиночный стимул, не требующее большого числа суммаций, что особенно важно для психофизиологических экспериментов, связанных с исследованием редких ситуаций и появлением значимых стимулов эндогенного характера типа "инсайт" [7, 25, 30, 31, 33]. Во-вторых, показано, что появление ЭДР преимущественно связано с информационно-эмоциональными и другими несоматическими компонентами активации организма [7]. И, наконец, в-третьих, известно, что эккринотельные железы, определяющие генез ЭДР, имеют чисто симпатическую иннервацию в отличие от других органов, которые имеют смешанную симпатическую и парасимпатическую иннервацию [7].

Исходя из сказанного выше, мы предположили, что процессы определения значимости ошибки по механизму ОР и субъективное восприятие ошибки могут быть связаны между собой. Для проверки этого предположения было проведено настоящее исследование, в котором изучалась динамика ЭДР при выполнении непрерывно-дискретного психомоторного теста, разработанного нами ранее [8]. Монотонный характер этого теста, с одной стороны, ускоряет появление ошибок в деятельности, а с другой – дискретная структура этого теста облегчает самоконтроль и субъективное восприятие ошибок в его выполнении на ранних стадиях развития дремотного состояния. Предварительные результаты работы были представлены ранее [9, 10].

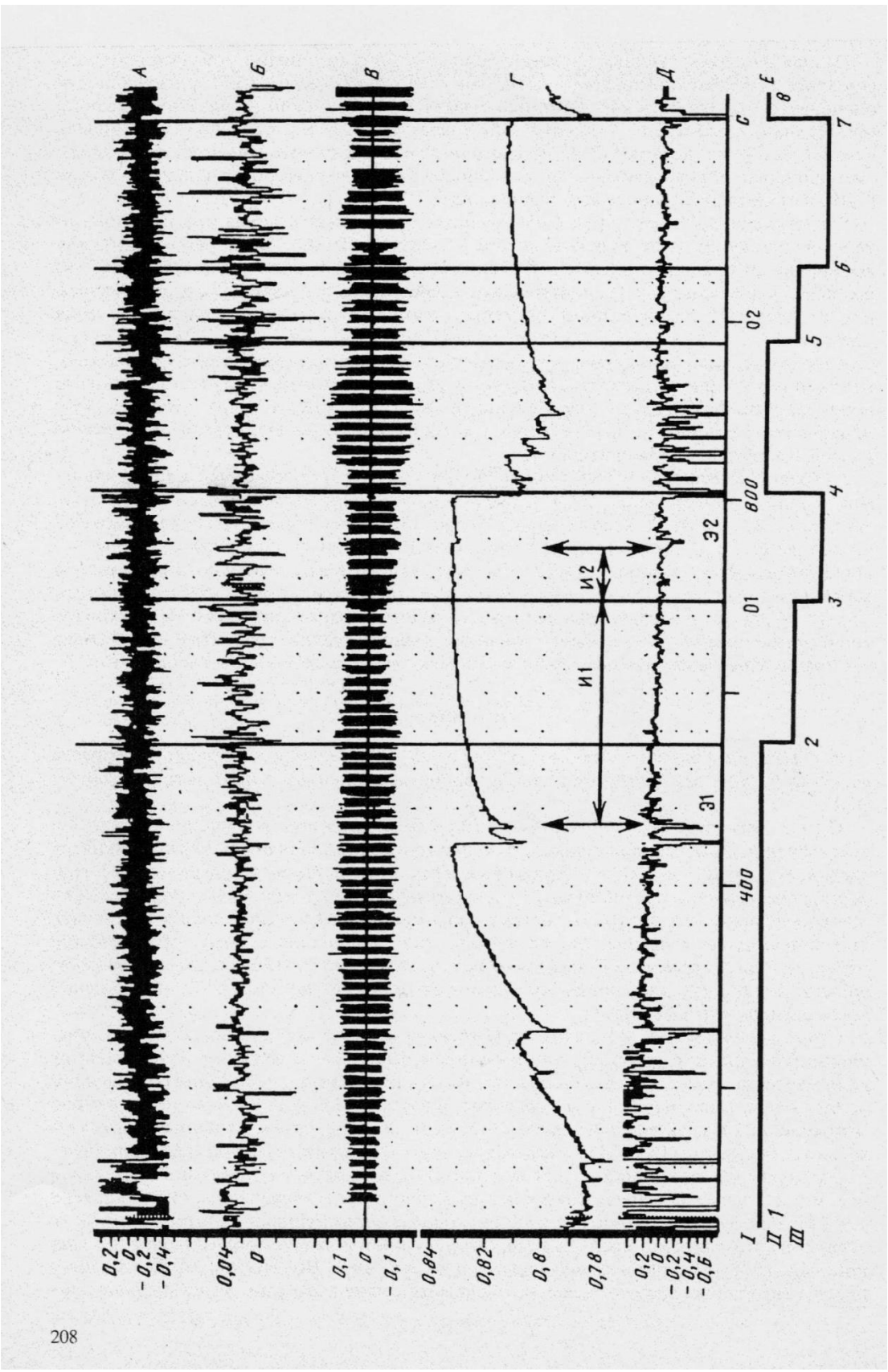
#### МЕТОДИКА

Испытуемыми были 64 здоровых добровольца (29 мужчин и 35 женщин) в возрасте от 17 до 69 лет, без депривации сна, с хорошо выраженной альфа-активностью на ЭЭГ.

Испытуемые сидели в удобной позе с закрытыми глазами в затемненной комнате и выполняли психомоторный тест, состоявший из двух последовательно чередующихся частей: 1) счет от 1 до 10 с нажатиями на кнопку, помещенную между большим и указательным пальцами правой руки; 2) только устный счет от 1 до 5 без нажатий. Перед опытом испытуемые получали инструкцию максимально расслабиться и выполнять описанные выше действия. Монотонность теста приводила к тому, что признаки перехода к дремотному состоянию появлялись уже через 10–15 мин. Этому способствовало также и вечернее время проведения экспериментов (от 18 до 20 ч). Длительность эксперимента 40–50 мин.

Схема эксперимента: 0 – исходная активация испытуемых при включенном освещении (устный счет, разговор, компьютерные игры); 1 – глаза открыты, кнопка не нажимается (1–5 мин); 2 – глаза закрыты, кнопка не нажимается (1–5 мин); 3 – выключение света и выполнение теста с закрытыми глазами (15 мин); 4 – включение света и открывание глаз, активация, опрос (1–5 мин); 5 – повторное выполнение теста с закрытыми глазами (15 мин); 6 – активация, опрос (1–5 мин), окончание эксперимента.

Эксперимент проводили в двух модификациях. В первой серии методист сидел рядом и наблюдал за испытуемым и полиграфической регистрацией, а при появлении ошибки дождался ее окончания и активировал его инструкцией ("откройте глаза") и звуковой стимуляцией, после чего проводил опрос испытуемого о характере восприятия им своей ошибки: осознавал он ее или нет. Во второй серии методист инструктировал испытуемого, затем, убедившись, что тест выполняется правильно,



выходил из комнаты на 15 мин. Активацию и опрос проводили после возвращения методиста в комнату.

Испытуемые, как правило, неоднократно участвовали в экспериментах. После нескольких экспериментов они очень быстро впадали в дремотное состояние, так что за 15 мин у некоторых наблюдался дальнейший переход от дремоты ко сну.

**Полиграфическая регистрация:** характер деятельности (сила нажатий на кнопку и интервалы между ними) регистрировали по потенциалу, генерируемому пьезодатчиком, соединенным с кнопкой. Одновременно регистрировали электрофизиологические параметры. Для оценки тонической и фазической составляющих электродермальной активности проводили три независимых измерения сопротивления кожи с внешним источником напряжения порядка 0,9 В [14]. В качестве "сухих" электродов для измерения сопротивления использовали две пары медных колец на пальцах левой руки и браслет на запястье левой руки. Площадь электродов 1 см<sup>2</sup>.

Монополярно, относительно левой мастоидной кости, регистрировали: ЭОГ – горизонтальные и вертикальные движения глаз (левый глаз – стандартные отведения), электрокардиограмму (ЭКГ, запястье левой руки), а ЭЭГ (Cz) регистрировали относительно правой мастоидной кости. Для регистрации использовали хлорсеребряные электроды и электродную пасту (сопротивление менее 5 кОм).

Регистрацию проводили на восьмиканальном компьютерном полиграфе MacLab 8E (Австралия) с дополнительными внешними усилителями постоянного тока. Частота опроса по всем каналам 100 Гц, с 12-битным аналого-цифровым преобразователем. Полосы пропускания фильтров: для ЭЭГ – 0,7–50 Гц, для ЭОГ, ЭКГ и одного из каналов ЭДР (фазическая составляющая) на пальцах – 0,7–20 Гц. В двух каналах регистрации ЭДР (тоническая составляющая) использовались только высокочастотные фильтры (0–20 Гц).

Анализ данных заключался в измерении интервалов между началом ошибки и ЭДР до и после ошибки. Наличие и характер ошибки оценивали по поведенческим, физиологическим и субъективным критериям [11, 12, 17, 29]. Поведенческим критерием наличия ошибки служили: 1) достоверное изменение величины интервала между сериями нажатий по сравнению с предыдущими интервалами; 2) изменение числа нажатий на одно и более нажатий в серии. Для того чтобы отличить "случайную" ошибку от ошибки, вызванной развитием дремотного состояния, в качестве физиологического критерия использовали общепринятые критерии дремоты, в которой по показателям ЭОГ и ЭЭГ выделяют три стадии [30]. Для первой и второй стадий характерно появление на ЭОГ высокоамплитудных низкочастотных колебаний. По показателям ЭЭГ в первой стадии дремоты наблюдается увеличение амплитуды альфа-ритма, а во второй стадии его угнетение и появление тета-волн. Электрофизиологические показатели третьей стадии дремоты совпадают с первой стадией сна. За ошибку принимали только такие отклонения в выполнении теста, которые удовлетворяли обоим критериям, а за начало ошибки условно принимали момент наибольшей вы-

Рис. 1. Схема измерения интервалов между началом ошибки и ЭДР до и после ошибки. Полиграфическая регистрация появления "обратимых" ошибок в выполнении психомоторного теста при наступлении дремотного состояния (масштаб 100:1). По оси абсцисс – время, с. По оси ординат – напряжение: А, Б, В – мВ; Г, Д – В. А – ЭЭГ (Cz); Б – ЭОГ горизонтальных движений глаз; В – нажатия на кнопку (напряжение на пьезодатчике); Г – тоническая составляющая ЭДА (напряжение на кольцах с внешним источником напряжения 0,9 В и высокочастотным фильтром > 20 Гц); Д – фазическая составляющая ЭДА (регистрация с полосовым фильтром 0,7–20 Гц); Е – гипнограмма стадий бодрствования и дремоты: I – бодрствование (1–2, 4–5, 7–8); II – дремота без ошибок в деятельности (2–3, 5–6); III – дремота с ошибками в деятельности (3–4, 6–7); вертикальные линии – границы стадий; 2, 5 – участки с увеличением и 4, 7 – с уменьшением амплитуды медленных движений глаз; 3(О1), 6(О2) – начало первой и второй ошибок (для анализа всегда бралась только первая ошибка). Вертикальными двусторонними стрелками на Г и Д отмечены: Э1 – последняя ЭДР перед ошибкой и Э2 – первая ЭДР после нее. И1 и И2 – интервалы между началом ошибки О1 и этими ЭДР: И1 = Э1–О1; И2 = О1–Э2

раженности тета-активности. Для анализа брались данные из первой и второй серий, причем во второй серии для упрощения интерпретации данных учитывали только первую ошибку. На рис. 1 приведена процедура определения ошибки и гипнограмма ( $E$ ) определения стадий дремоты соответственно принятым нами критериям. Субъективным критерием служил отчет испытуемого о характере осознания им своей ошибки.

Момент появления ЭДР и их величину определяли по каналу без низкочастотного фильтра, при обработке данных специальной программой анализа формы ЭДР на компьютере IBM PC Pentium. Канал с полосовыми фильтрами использовали только для визуального контроля результатов обработки. При анализе формы учитывали значения логарифма проводимости, а также производные от этой величины по времени. Полагают [7], что процедура выделения ЭДР по логарифму проводимости дает более надежные результаты, чем при измерении амплитуды проводимости. Главными характеристиками формы, сохраняющимися во всех экспериментах, являются: наличие участка падения проводимости после ее первоначального роста – "обратного хода"; асимметрия – отношение максимальной скорости роста проводимости к скорости ее последующего падения больше единицы. Величину реакции характеризовали производной от логарифма проводимости по времени, которая для выбранных сигналов находилась в пределах от 0,4 до 15%.

Характеристики выполнения теста, параметры ЭДР, а также ряд других данных заносились в компьютер IBM Pentium и обрабатывались программным пакетом StatWin-6.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Монотонная деятельность во время выполнения теста довольно быстро вызывала у испытуемых снижение уровня бодрствования и желание занять более удобную позу. Движения, сопровождающие изменение позы, отвлекали испытуемых от выполнения теста и часто вызывали "случайные" ошибки в выполнении теста. Эти ошибки легко дифференцировались от ошибок, связанных с углублением дремотного состояния. При повторных экспериментах испытуемые адаптировались к обстановке и быстро занимали удобную, расслабленную позу, и ошибки, вызванные состоянием дремоты, появлялись через 5–10 мин после начала эксперимента.

В первой серии в 80% случаев в момент восстановления деятельности после ошибки регистрировалась ЭДР, которая обычно сопровождалась активационными движениями типа вздрагивания и поднятия головы. При опросе испытуемые говорили о внезапном осознании ошибки, перед которой они "...погрузились в собственные мысли, отвлеклись, задумались", и что их мысли довольно часто сопровождалось сноподобными зрительными образами, но это состояние не оценивалось ими, как засыпание. В 20% случаев ЭДР не возникали и опрос испытуемых после восстановления деятельности показал отсутствие ясного восприятия ошибки, т.е. они не могли точно сказать, была ошибка или нет.

Во второй серии экспериментов число ошибок за 15 мин эксперимента, определяемых по полиграфической записи, варьировало от 0 до 5. Испытуемые в своих отчетах после окончания эксперимента затруднялись назвать точное число ошибок и эта оценка была занижена. Появление зрительных образов часто объяснялось возможностью кратковременного засыпания. Иногда нажатия прекращались на некоторое время, чему на ЭЭГ соответствовало кратковременное появление активности, характерной для 1-й стадии сна (микросон). Спонтанное восстановление деятельности и появление альфа-ритма на ЭЭГ только в 54% случаев сопровождалось появлением ЭДР.

В этой серии экспериментов можно было выделить два типа ошибок: "обратимые" и "необратимые". При "обратимых" ошибках после кратковременного периода нарушения деятельности (7–60 с) наблюдалось спонтанное восстановление правильного выполнения теста. При "необратимых" ошибках, связанных с углублением дремотного состояния, после первой ошибки следовала серия повторных ошибок, иногда до пол-

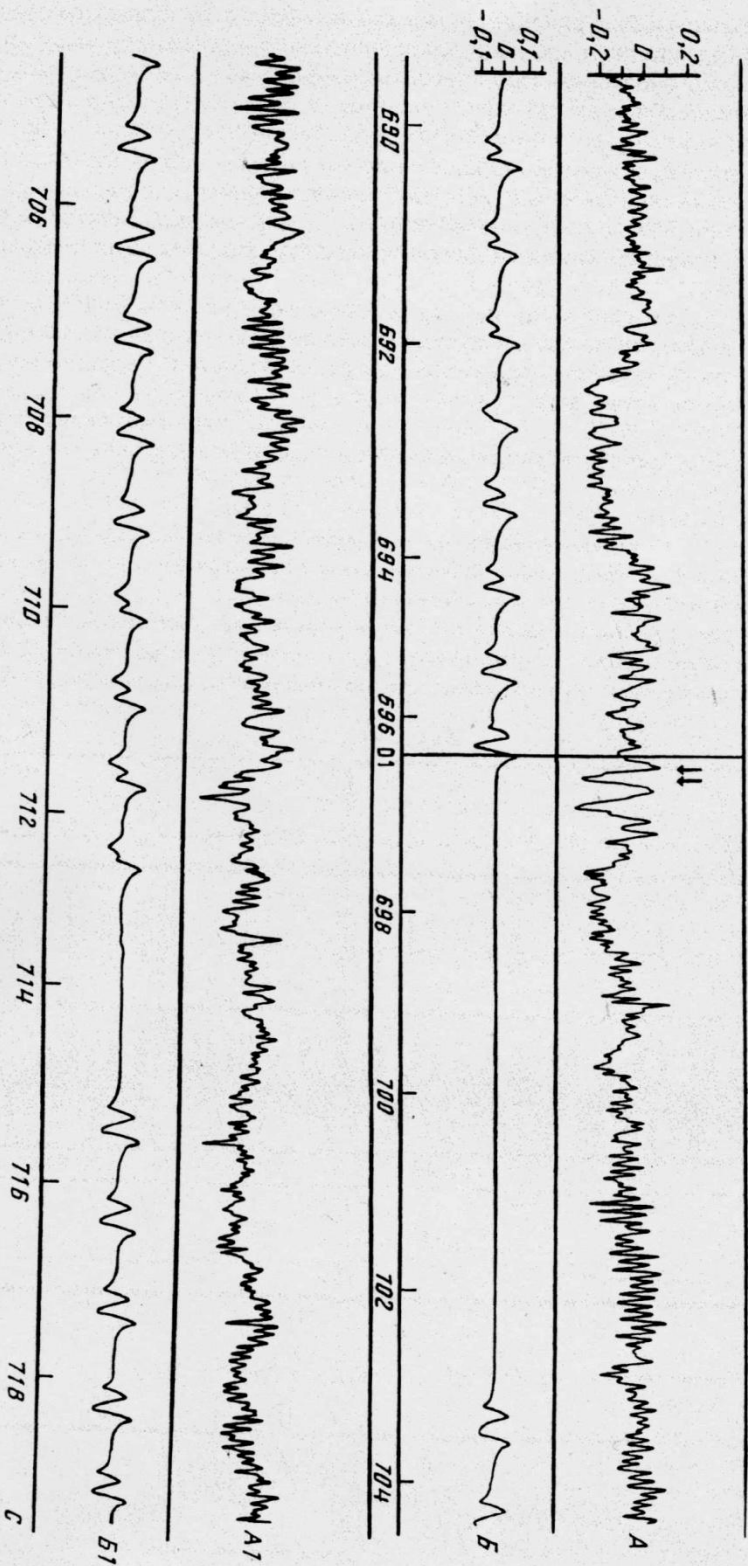


Рис. 2. Определение момента начала ошибки в выполнении теста по появлению тета-волн на ЭЭГ. Та же запись, что на рис. 1 (масштаб 1:1). А - ЭЭГ (С2); Б - нажатия на кнопку (напряжение на пьезодатчике). А1, Б1 - продолжение А и Б. О1 - начало ошибки, двумя вертикальными стрелками отмечено появление высокоамплитудных тета-волн с последующей альфа-экзальтацией на ЭЭГ. Критерий ошибки - достоверное удлинение интервала между нажатиями и увеличение числа нажатий до 11 в последующей серии

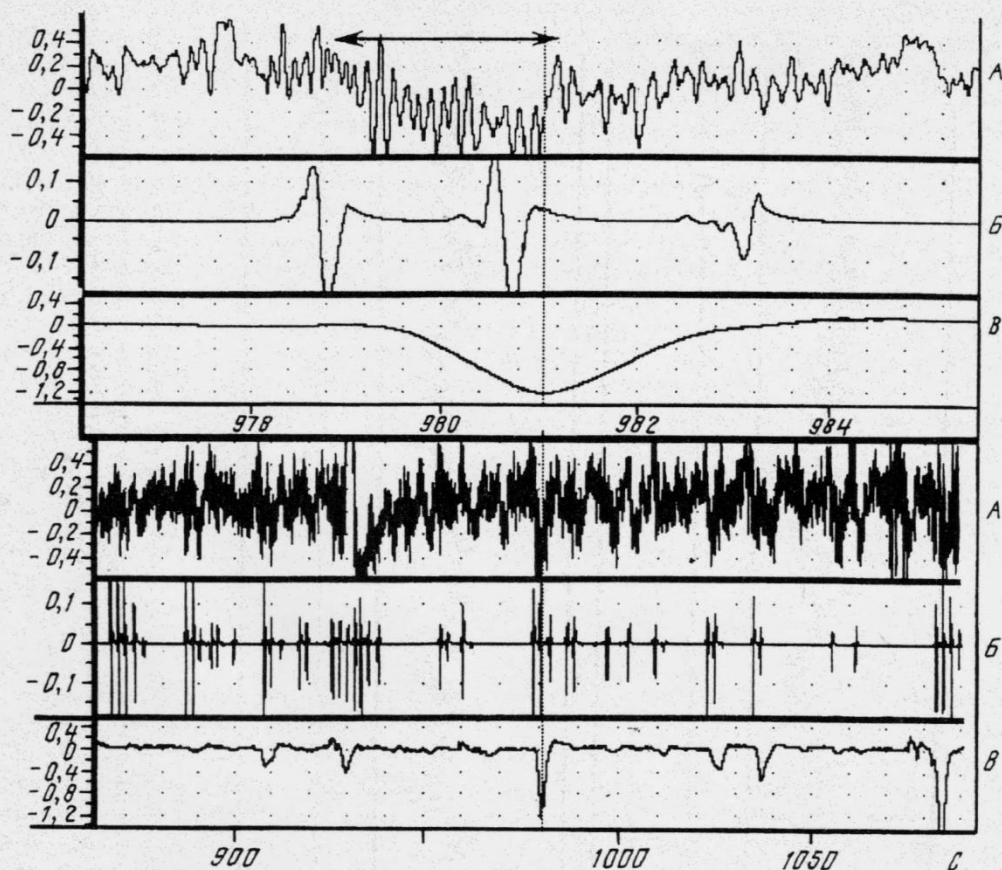


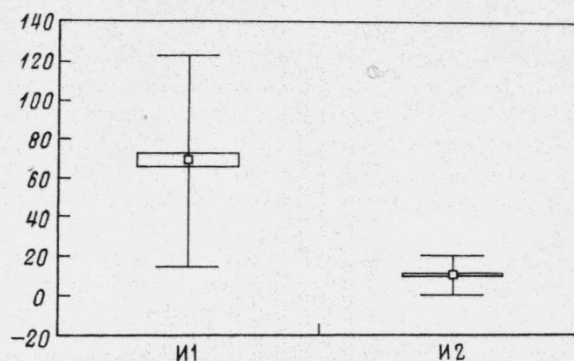
Рис. 3. Корреляция между появлением ЭДР, временным возобновлением нажатий на кнопку и появлением альфа-ритма на ЭЭГ (пример "необратимой" ошибки). А – ЭЭГ (Cz); Б – нажатия на кнопку (напряжение на пьезодатчике); В – физическая составляющая ЭДА (регистрация с полосовым фильтром 0,7–20 Гц). Внизу масштаб 50:1, вверху увеличенный фрагмент – масштаб 1:1. Вертикальной линией (на верхнем и нижнем фрагментах) отмечена одна из ЭДР, наблюдавшихся на нижнем канале. Горизонтальная стрелка – участок альфа-ритма в области появления ЭДР и торможение предшествующей тета-активности

ного прекращения деятельности. В обоих случаях при анализе данных учитывалась только первая ЭДР после ошибки.

Следует отметить, что в тех случаях, когда в первой 15-минутной части эксперимента было много ошибок, во второй части их было значительно меньше или они отсутствовали. В отчете после завершения эксперимента испытуемые говорили, что в первой половине эксперимента они выспались и во второй половине были в состоянии бодрствования.

Процедура определения ошибки и интервалов между началом ошибки и ЭДР до и после ошибки представлена на рис. 1 и 2. Это фрагмент записи из второй серии, на котором видно две последовательные ошибки: O1 и O2 со спонтанным восстановлением деятельности. На нижней кривой (E) приведена гипнограмма стадий дремотного состояния, определяемых по комплексному критерию (см. методику). За начало ошибки взят момент кратковременной депрессии альфа-ритма и появления высокоамплитудных тета-волн (рис. 2), за которым следовали восстановление альфа-ритма, удлинненный (ошибочный) интервал и серия с ошибочным числом нажатий (11 нажатий). Начало дремотного состояния (E, 2) определено как появление высокоамплитудных

Рис. 4. Уменьшение интервала между началом ошибки и первой ЭДР после ошибки (И2) по сравнению с интервалом между началом ошибки и ЭДР, предшествующей ошибке (И1). По вертикали – величина интервала, с. Квадрат – среднее значение, вертикальная линия – стандартное отклонение и прямоугольник – стандартная ошибка



движений глаз по кривой *Б*. Полное восстановление правильного выполнения теста (*Е*, 4) наступило через 18 с после появления ЭДР, сопровождалось значительным увеличением амплитуды альфа-активности на ЭЭГ (*А*) и торможением медленных движений глаз (*Б*).

В большинстве случаев последняя перед ошибкой ЭДР регистрировалась до появления медленных движений глаз, как на рис. 1 (Э1). При этом сопротивление кожи (*Г*) продолжало увеличиваться до момента спонтанной активации испытуемого (*Е*, 4) и полного восстановления теста, после чего оно уменьшалось.

Анализ взаимоотношений между появлением после ошибки ЭДР и полным восстановлением деятельности показал несколько возможных вариантов. Два из них представлены на рис. 1 (ошибки О1 и О2). Первый вариант – восстановление правильного выполнения теста (*Е*, 4) происходило после появления ЭДР, при этом амплитуда ЭДР обычно была уменьшена, как на рис. 1 (Э2). Второй вариант – восстановление теста и появление ЭДР происходило одновременно (*Е*, 7). Третий вариант, когда наблюдалось восстановление деятельности, но при этом ЭДР и значительного падения сопротивления кожи не регистрировалось. При четвертом варианте с "необратимой" ошибкой, когда полного восстановления деятельности не наблюдалось, ЭДР после ошибки иногда регистрировались, но чаще всего они отсутствовали (рис. 3). Отсутствие ЭДР после ошибки чаще всего наблюдалось в случаях, когда до ошибки ЭДР не регистрировались в течение 2–3 мин.

При "обратимой" ошибке появление тета-ритма было кратковременным и альфа-активность, а также выполнение теста быстро восстанавливались (рис. 2), при "необратимой" ошибке – появлению тета-ритма соответствовали более значительные нарушения деятельности, а альфа-активность появлялась только вместе с нажатиями (рис. 3). В обоих случаях необходимым условием восстановления эффекторной деятельности после ошибки было наличие альфа-активности и торможение тета-волн, что хорошо видно из рис. 2 и 3.

Результаты измерения интервалов между началом ошибки и появлением ЭДР до и после ошибки показали достоверное уменьшение интервала между началом ошибки и первой ЭДР после нее (рис. 4). Среднее значение интервала до ошибки И1 было 69,8 с, после ошибки И2 = 10,1 с. Различия в величине интервалов достоверны ( $p < 0,001$ ; *t*-критерий для связанных событий). Взаимоотношения величины интервалов до и после ошибки хорошо видны на гистограммах распределения И1 и И2 (рис. 5, А, 1, 2) и их отношений И1/И2 (рис. 5, Б).

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Основным результатом наших экспериментов является обнаружение связи между появлением ЭДР и осознанием ошибки, что было показано в первой серии экспериментов при опросе испытуемых после каждой ошибки. Наличие причинно-следственной



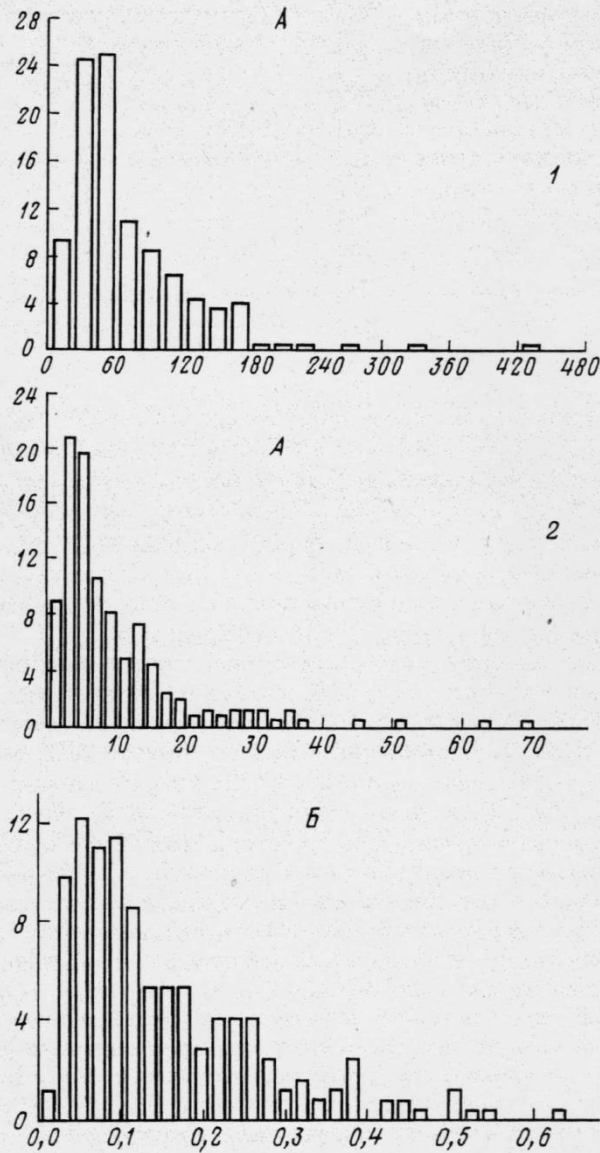


Рис. 5. Гистограммы распределения интервалов. А: 1 – между началом ошибки и последней ЭДР, предшествующей ошибке (И1); 2 – между началом ошибки и первой ЭДР после ошибки (И2); Б – отношение этих интервалов. По горизонтали: А – величина интервала, с; Б – величина отношения И1/И2; по вертикали – относительная частота появлений указанных выше величин, %

связи между ошибкой и появлением после нее ЭДР доказывается также достоверным уменьшением этого интервала в несколько раз по сравнению с интервалом между ошибкой и ЭДР, предшествующей ее возникновению. Основываясь на этом результате, можно предположить, что интервал между началом ошибки и первой ЭДР после нее характеризует время осознания ошибки, средняя величина которого равнялась 10,1 с.

Мы предполагаем, что появление ошибки является значимым для субъекта стимулом эндогенного характера, который должен вызывать активацию нервной системы по

механизму ориентировочного рефлекса согласно концепции, предложенной Е.Н. Соколовым [31]. При этом появление ЭДР в момент осознания ошибки является одним из компонентов ОР. Согласно гипотезе [28] ОР является переключателем внимания с уровня автоматического анализа информации на уровень волевой (сознательной) обработки информации, полученной на стадии предварительного анализа новизны или значимости стимула, что вызывает необходимость подключения дополнительных ресурсов мозга. При угашении ОР процесс обработки информации снова автоматизируется.

По мнению В.Т. Либерсона [20], при развитии дремоты происходит изменение состояния сознания, при котором внимание от внешней среды переключается на внутренние информационные процессы.

На основании этих представлений наши результаты можно объяснить следующим образом. На начальных стадиях развития дремотного состояния происходит угашение ОР на окружающую обстановку [25], сопровождаемое торможением ЭДР и увеличением сопротивления кожи. Автоматизированная психомоторная деятельность некоторое время остается сохранной, что можно объяснить гетерохронией развития "сонного торможения" в разных отделах мозга. Показано [15, 16, 18, 19, 30], что в первую стадию дремоты синхронизированная ЭЭГ-ритмика в альфа-диапазоне, отражающая отключение сенсорных входов к определенным корковым зонам, усиливается и распространяется от затылочных областей к лобным. Таким образом, автоматизированная психомоторная деятельность, связанная с передними отделами мозга, нарушается в последнюю очередь. При этом внимание переключается на внутренние информационные процессы, что субъективно воспринимается, как состояние "погрузился в собственные мысли, задумался" [20]. Однако при углублении дремоты баланс возбужденных и тормозных процессов в центральной нервной системе сдвигается в сторону тормозных [12, 26, 28], что вызывает нарушение автоматизированной деятельности, появление ошибок [8, 23, 24], а также депрессию альфа-ритма и появление тета-волн [8]. С другой стороны, циклический характер возбуждения и торможения [11, 12] служит стабилизирующим фактором, поддерживающим определенный уровень активации мозга и препятствующий быстрому переходу к сонному состоянию [26, 27]. Можно предположить, что циклическая активация мозга, которая выражается в периодическом усилении альфа-ритма, способствует активации механизмов ОР и соответственно появлению ЭДР. Это в свою очередь может вызвать переход деятельности на осознаваемый уровень и субъективно, по словам испытуемого, восприниматься как "... неожиданное осознание ошибки".

Таким образом, можно предположить, что механизм ОР является связующим звеном между нейрофизиологическими процессами циклического взаимодействия возбуждения и торможения в ЦНС и психологическим процессом переключения внимания с автоматического уровня деятельности на осознаваемый уровень и обратно.

Исходя из развиваемых представлений, интервалы более 10 с между началом ошибки и первой ЭДР после нее, характеризующие задержку в осознании ошибки при углублении дремоты, по-видимому, определяются длительностью активационных циклов при дремоте, которые имеют близкое значение – 15–20 с [11, 12]. Примечательно, что при пробуждении испытуемых через разное время после появления "дремотных паттернов" осознание своего состояния, как дремотного, наступало у них не ранее 20 с [20], что также близко к длительности активационных циклов [11, 12]. Короткие интервалы 3–5 с, большинство из которых зарегистрированы в первой серии экспериментов при легкой дремоте, соответствуют обычной латентности ЭДР на значимые стимулы в состоянии бодрствования [2, 4, 25, 31].

На сложные взаимоотношения между осознанием ошибки и активацией мозга указывают результаты, свидетельствующие о появлении во время ошибки ЭДР с уменьшенной амплитудой (рис. 1, Э2), после которых полное восстановление деятельности наступало с задержкой или не происходило вообще (рис. 3) – "необратимая

ошибка". По-видимому, уменьшенная амплитуда ЭДР означает, что, несмотря на осознание ошибки, симпатическая активация физиологических систем организма, вызванная ОР, оказывается недостаточной для преодоления наличного уровня сонного торможения. Можно думать, что подобная ситуация имеет место, когда утомленный человек утверждает, что он полностью контролирует ситуацию, несмотря на то, что сонное торможение ("микросон") на короткое время блокирует его сознание, что часто приводит к трагическим последствиям [5].

Особый интерес представляют случаи полного восстановления выполнения теста без возникновения ЭДР. С одной стороны, исходя из развиваемых нами представлений, это может означать отсутствие осознания ошибки. Такое заключение не противоречит данным литературы [5], где приводится множество инцидентов при различных видах деятельности, когда люди не могли объяснить истинную причину допущенных ими ошибок, а действительной причиной являлись кратковременные эпизоды дремотного состояния, вызванные утомлением или монотонной деятельностью. С другой стороны, возможно, что в ряде случаев осознание ошибки происходит, но ее появление не оценивается как значимое событие, и механизм ОР не запускается. Соответственно ЭДР при этом не возникает. Также, по-видимому, нельзя исключить вероятности блокирования механизмов генерации ЭДР при глубокой дремоте, когда они исчезают за 2–3 мин до появления ошибки.

Таким образом, полученные результаты показывают, что наличие ЭДР может служить объективным критерием для разделения процессов регуляции ошибочной деятельности на осознаваемые и неосознаваемые компоненты, что представляет интерес как для фундаментальных исследований механизмов сознания, так и для анализа практической операторской деятельности.

#### ВЫВОДЫ

1. Показано, что появление эффекторных ошибок в выполнении монотонного психомоторного теста вызывает достоверное уменьшение интервала между началом ошибки и первой электродермальной реакцией после нее. Средний интервал между началом ошибки и последней электродермальной реакцией до ошибки был  $И1_{cp} = 69,8$  с, а интервал между началом ошибки и первой электродермальной реакцией после нее –  $И2_{cp} = 10,1$  с ( $p < 0,001$ ; t-тест для связанных событий).

2. Опрос испытуемых после появления ошибки с последующим восстановлением деятельности после нее показал наличие связи между осознанием ошибки и возникновением электродермальной реакции в этот момент. При отсутствии этой реакции после ошибки ясного осознания ошибки не отмечалось.

3. Полученные результаты дают возможность предполагать наличие определенной взаимосвязи между осознанием ошибки и появлением электродермальной реакции в этот момент, а интервал  $И2_{cp} = 10,1$  с между началом ошибки и первой электродермальной реакцией после нее характеризует время осознания ошибки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Симонов П.В. Светлое пятно сознания // Журн. высш. нерв. деят. 1990. Т. 40. № 6. С. 1040.
2. Barcelo F., Hall M., Gale A. A psychophysiological inquiry into the nature of the Sokolovian orienting response comparator model: skin conductance and EEG data // Biol. Psychol. 1995. V. 41. № 2. P. 147–166.
3. Broughton R., Hasan J. Quantitative topographic electroencephalographic mapping during drowsiness and sleep onset // J. Clin. Neurophysiol. 1995. V. 12. № 4. P. 372–386.
4. Collet C., Roure R., Rada H. et al. Relationships between performance and skin resistance evolution involving various motor skills // Physiol. and Behav. 1996. V. 59. № 4–5. P. 953–963.

5. *Coren S.* Sleep Thieves. 1996 (цит. по: *Стенли Корен.* Тайны сна. М.: Вече, Аст., 1997. 368 с.)
6. *Corsi-Cabrera M., Arce C., Ramos J. et al.* Time course of reaction time and EEG while performing a vigilance task during total sleep deprivation // *Sleep.* 1996. V. 19. № 7. P. 563.
7. *Dawson M.E., Shell A.M., Filion D.N.* The electrodermal system // *Principles of Psychophysiology / Ed. J.T. Cacioppo, L.G. Tassinary.* Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1990. P. 295–324.
8. *Dorokhov V.B., Hiroshige E.* Phasic EEG activation, performance and drowsy stages of consciousness // *Forth IBRO World congress of neuroscience.* Kyoto, 1995. P. 118.
9. *Dorokhov V.B., Dementienko V.V., Koreneva L.G. et al.* Elektrodermal correlations of errors appearing in performance during drowsy changes of consciousness // *XXXIII International Congress of Physiological Sciences.* St.-Petersburg, 1997. P. 090.16.
10. *Dorokhov V.B., Dementienko V.V., Koreneva L.G. et al.* Estimation of the time delay between performance error and its subjective perception during drowsiness // *Intern. J. Psychophysiol.* 1998. V. 30. № 1–2. P. 95.
11. *Evans B.M.* Periodic activity in cerebral arousal mechanisms – the relationship to sleep and brain damage // *EEG a. Clin. Neurophysiol.* 1992. V. 83. P. 130–137.
12. *Evans B.M.* Cyclical activity in non-rapid eye movement sleep: a proposed arousal inhibitory mechanism // *EEG a. Clin. Neurophysiol.* 1993. V. 86. P. 123–131.
13. *Foulkes D., Vogel G.* Mental activity at sleep onset // *J. Abnorm. Psychol.* 1965. V. 70. P. 231–243.
14. *Fowles D.C., Chritie M.J., Edelberg R. et al.* Publication recommendations for electrodermal measurements // *Psychophysiology.* 1981. V. 18. № 2. P. 232.
15. *Hiroshige Y., Dorokhov V.B., Gaidarenko T.V.* EEG dynamics of alpha activity at a transition from wake to sleep // *2<sup>nd</sup> International Congress of Brain Electromagnetic Topography.* Toronto, Canada, 1991. P. 134.
16. *Hiroshige Y., Dorokhov V.B.* Hemispheric asymmetry and regional differences in electroencephalographic alpha activity at the wake-sleep transition // *Japan. Psychol. Res.* 1997. V. 39. № 2. P. 75–86.
17. *Hoddes E., Zarcone V., Smythe H. et al.* Quantification of sleepiness: a new approach // *Psychophysiology.* 1973. V. 10. P. 431–439.
18. *Hori T.* Electrodermal and electrooculographic activity in a hypnagogic state // *Psychophysiology.* 1982. V. 19. P. 668–672.
19. *Hori T.* Spatiotemporal changes of EEG activity during waking-sleeping transition // *Intern. J. Neurosci.* 1985. V. 27. P. 101–114.
20. *Liberson W.T., Liberson C.W.* EEG records, reaction times, eye movements, respiration and mental content during drowsiness // *Rec. Advances. Biol. Psychiatry.* 1965. V. 8. P. 295–302.
21. *Lindsley D.B.* Attention, consciousness, sleep and wakefulness / Eds. J. Field, H.W. Magoun, V.E. Hall. *Handbook of Physiology. Sect. 1. Neurophysiology.* Washington DC: Amer. Physiol. Soc., 1960. P. 1553–1593.
22. *Lutz T., Roth T., Kramer M., Felson J.* The relationship between sleepiness and performance // *Sleep Res.* 1976. V. 5. № 104. P. 127–132.
23. *Makeig S., Inlow M.* Lapses in alertness: coherence of fluctuations in performance and the EEG spectrum // *EEG a. Clin. Neurophysiol.* 1993. V. 86. P. 23–35.
24. *Makeig S.* Tonic, phasic, and transient EEG correlation of auditory awareness in drowsiness // *Cogn. Brain Res.* 1996. V. 4. P. 15–25.
25. *McCarthy M.E., Waters W.F.* Decreased attentional responsivity during sleep deprivation: orienting response latency, amplitude, and habituation // *Sleep.* 1997. V. 20. P. 115–123.
26. *Ogilvie R.D., McDonagh D.M., Stone S.N., Wilkinson R.T.* Eye movements and the detection of sleep onset // *Psychophysiology.* 1988. V. 25. № 1. P. 81–91.
27. *Ogilvie R.D., Wilkinson R.T., Allison S.* The detection of sleep onset: behavioral, physiological and subjective convergence // *Sleep.* 1989. V. 12. № 5. P. 458–474.
28. *Ohman A.* The orienting response, attention and learning: An information processing perspective // *The orienting reflex in humans / Eds H.D. Kimmel, E.N. van Olst, J.F. Orlebeke.* Hillsdale, NJ; Erlbaum, 1979. P. 443–471.
29. *Roth T., Roehrs T., Zorick F.* Sleepiness: its measurement and determinants // *Sleep.* 1982. V. 5. P. 128–134.
30. *Santamaria J., Chiappa K.H.* The EEG of drowsiness. N.Y.: Demos Publ., 1987. 202 p.

31. Sokolov E.N. Perception and the conditioned reflex. N.Y.: Macmillan, 1963. 378 p.  
32. Spinks J.A., Blowers G.H., Daniel N.L. The role of the orienting response in the anticipation of information: A skin conductance response study // *Psychophysiology*. 1985. V. 22. № 4. P. 385–394.  
33. Tranel D., Fowles D.C., Damasio A.R. Electrodermal discrimination of familiar and unfamiliar faces: a methodology // *Psychophysiology*. 1985. V. 22. № 4. P. 403–406.

Институт высшей нервной деятельности  
и нейрофизиологии РАН,  
ЗАО "Нейроком", Москва

Поступила в редакцию  
26.X.1998  
Принята в печать  
19.V.1999

### ELECTRODERMAL INDICATORS OF SUBJECTIVE PERCEPTION OF PERFORMANCE ERRORS DURING DROWSINESS

DOROKHOV V.B., DEMENTIENKO V.V., KORENEVA L.G., MARKOV A.G.,  
SHAKHNAROVICH V.M.

*Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology,  
Russian Academy of Sciences,  
"Neurocom" Joint-Stock Company, Moscow*

The study was aimed at searching for objective criteria of subject's perception of errors in performance due to drowsiness and estimating the time between the onset of errors and the moment of their awareness. Healthy subjects ( $n = 64$ ) with the pronounced EEG alpha were examined under conditions without sleep deprivation. Experiments ( $n = 280$ ) lasted for 40 min. During the experiments, the EEG, EOG, EDR, EKG, and button pressings were recorded and subject's reports were registered. The subjects were waken up after the onset of errors or 20 min after the beginning of the performance independently of errors.

The error onset was shown to be preceded by the EEG "drowsy pattern" and decrease in the rate of spontaneous EDR. The performance reappearance after the error was accompanied by alpha-rhythm independently from error awareness. The interrogation of subjects after the error and activity revival demonstrated a correlation between the error subjective perception and appearance of the EDR. The interval between the error and the first following EDR (mean 10.1s) was significantly ( $p < 0.001$ , t-test for dependent samples) shorter than the interval between the error and the last preceding EDR (mean 69.8 s). It is suggested that the subjective perception of an error is a significant endogenous stimulus, which evokes the orienting response and accompanying sympathetic activation.

Дорохов В. Б. и др. Электродермальные показатели субъективного восприятия ошибок в деятельности при наступлении дремотного состояния // *Журн. высш. нерв. деят.* – 2000. – Т. 50. – №. 2. – С. 206-218.