

## КОГНИТИВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ НИЗКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ СЕНСОМОТОРНЫХ ЗАДАЧ ПРИ ШИЗОФРЕНИИ

*М.В. Зотов, К.А. Долбеева, Н.Е. Андрианова, В.М. Петрукович*

Целью исследования являлось изучение механизмов нарушений умственной работоспособности при шизофрении на примере выполнения сенсомоторных задач. 26 больных шизофренией в дефицитарных состояниях и 26 здоровых лиц выполняли задачи мониторинга «Мультифакторной тестовой батареи» (МАТВ). В процессе обследования осуществлялась регистрация параметров глазодвигательной активности, динамики сердечного ритма и диаметра зрачка. Установлено, что низкая эффективность выполнения сенсомоторных задач у больных шизофренией связана с избыточной и неэффективной глазодвигательной активностью, обусловленной трудностями произвольного торможения саккадических движений глаз. Результаты рассматриваются с позиций предложенной ранее концепции когнитивной регуляции.

*Ключевые слова:* умственная работоспособность, сенсомоторные процессы, когнитивный контроль, движения глаз, шизофрения.

В настоящее время шизофрения является одним из наиболее инвалидирующих психических заболеваний. Катамнестические исследования показывают, что до 80 % всей численности больных шизофренией нуждаются в мероприятиях по реадaptации и восстановлению трудоспособности. Стойкие нарушения социально-трудовой адаптации у больных шизофренией в период после перенесенного психоза вызываются целым комплексом различных факторов, прежде всего – нарушениями умственной работоспособности. Многолетние наблюдения за больными в процессе трудовой реабилитации показали, что для них характерны лабильность, неустойчивость целенаправленной когнитивной активности, а также высокая умственная утомляемость и истощаемость [4, 9]. Как в повседневной жизни, так и в условиях патопсихологического эксперимента нарушения умственной работоспособности при шизофрении наиболее ярко проявляются при выполнении видов познавательной деятельности, требующих активного произвольного внимания, в том числе решении задач сенсомоторного типа, требующих непрерывного наблюдения и распределения внимания между различными источниками информации [3, 9].

Между тем, механизмы, лежащие в основе вышеотмеченных нарушений, остаются неясными. В настоящее время можно выделить три влиятельных теоретических концепции, объясняющих причины нарушений умственной работоспособности у больных шизофренией в дефицитарных состояниях.

Согласно первой концепции, нарушения умственной работоспособности при шизофрении вызваны дефицитом волевых усилий. Предполагается, что больные шизофренией обнаруживают сниженную способность к субъективному переживанию умственного напряжения и, в результате, демонстрируют слабость, лабильность или быструю истощаемость усилий, требующихся для выполнения когнитивной деятельности [3, 4].

Согласно второй концепции, нарушения умственной работоспособности при шизофрении связаны с дефицитом ресурсов внимания. Утверждается, что при выполнении когнитивных задач больные шизофренией демонстрируют такие же стратегии распределения ресурсов внимания, что и здоровые лица, но, вследствие общего недостатка этих ресурсов, обнаруживают низкую продуктивность деятельности [8].

Наконец, согласно третьей концепции,

## Экспериментальные психологические исследования

нарушения умственной работоспособности при шизофрении связаны с расстройством способности к когнитивному (эксекутивному) контролю, под которым понимается совокупность функций, обеспечивающих произвольную регуляцию познавательных процессов [12]. Однако расстройство данной способности рассматривается в качестве конечного пункта объяснения, без уточнения лежащих в его основе конкретных механизмов.

Исходя из сказанного, целью настоящего исследования явилось выяснение возможных механизмов нарушений умственной работоспособности у больных шизофренией в дефицитарных состояниях на примере решения сенсомоторных задач.

**Выборка.** В исследовании приняли участие 26 больных шизофренией в возрасте от 22 до 57 лет с умеренной и выраженной дефицитарной симптоматикой. Длительность заболевания находилась в пределах от 1,5 до 32 лет и в среднем составила  $10,5 \pm 8,3$  года. На момент обследования все больные находились в состоянии устойчивой ремиссии и не обнаруживали признаков острого психотического состояния, таких как бред и галлюцинации. В качестве контрольной группы было обследовано 26 здоровых лиц в возрасте от 19 до 52 лет.

**Метод.** Участники выполняли задачи мониторинга мультифакторной тестовой батареи МАТВ [7], которые требовали от испытуемых непрерывно наблюдать за шестью визуальными индикаторами (два цветовых и четыре шкальных) и реагировать нажатием клавиш на отклонения их значений (рис. 1).

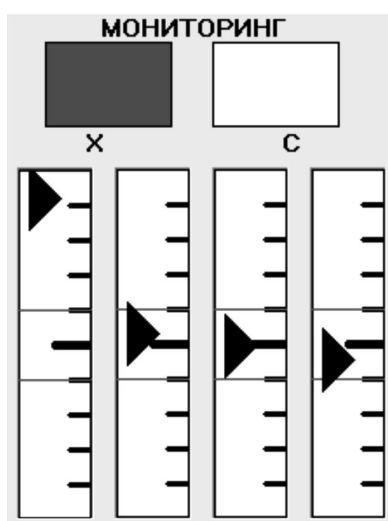


Рис. 1. Пример стимульного материала задачи мониторинга

В частности, испытуемые должны были реагировать нажатием клавиши «X» в том случае, если пропадает зеленый цвет на верхнем индикаторе слева; нажатием клавиши «C», если загорается красным цветом верхний индикатор справа и нажатием клавиши «Z», если стрелка любой из четырех нижних шкал отклоняется от центрального деления, пересекая горизонтальную метку (см. крайнюю слева шкалу на рис. 1).

Перед началом эксперимента все испытуемые проходили курс тренировки и допускались к исследованию при условии удовлетворительного выполнения тренировочной пробы. Эксперимент начинался с односторонней регистрации значений сердечного ритма и диаметра зрачка испытуемых в состоянии покоя. После этого участники выполняли трехминутную задачу мониторинга, сложность которой возрастала: на первом этапе эксперимента сигналы предъявлялись с частотой один раз в 5-6 с, на втором этапе – с частотой один раз в 3-4 с. С использованием компьютерного электрокардиографа «Kardi2NP» (MCS Inc., Россия) осуществлялась непрерывная регистрация сигналов сердечного ритма испытуемых в процессе тестирования. При помощи системы бесконтактной регистрации движений глаз Tobii X120 (Tobii Inc., Швеция) осуществлялась непрерывная регистрация движений глаз и диаметра зрачка участников в ходе эксперимента. Также регистрировались субъективные оценки затраченных усилий и умственного напряжения испытуемых при выполнении задачи.

**Результаты исследования.** Были сопоставлены показатели успешности выполнения мониторинга на первом и втором этапах эксперимента. В качестве зависимой переменной использовался показатель суммарного количества ошибочных реакций (по типу «пропусков» и «ложных тревог»). Дисперсионный анализ показал, что больные шизофренией при выполнении мониторинга обнаруживают достоверно большее количество ошибочных реакций, чем здоровые лица ( $F = 28,5$ ;  $p < 0,001$ ) (рис. 2).

Установлено достоверное влияние на количество ошибочных реакций фактора «этап эксперимента» ( $F = 18,3$ ;  $p < 0,001$ ) и взаимодействия факторов «группа» и «этап эксперимента» ( $F = 14,9$ ;  $p < 0,001$ ). По данным рис. 2, в отличие от здоровых лиц больные шизофренией обнаруживают выраженное возрастание количества ошибочных реакций на втором

этапе эксперимента, что обусловлено как трудностями адаптации к усложнению условий задачи, так и нарастающим утомлением.

В ходе исследования не было выявлено достоверных различий между испытуемыми экспериментальной и контрольной групп в значениях показателей субъективно переживаемых усилий и умственного напряжения при выполнении задачи.

С целью выявления факторов, обуславливающих низкую эффективность выполнения задачи больными шизофренией, был проведен

сравнительный анализ показателей глазодвигательной активности. Выявлены выраженные различия между результатами исследования стратегий распределения зрительного внимания при выполнении задачи мониторинга здоровыми лицами и больными шизофренией (рис. 3).

Анализ рис. 3 показывает, что при выполнении задачи мониторинга здоровый индивид преимущественно фиксирует взгляд в области шкальных индикаторов #2. Больной шизофренией также фиксирует взгляд в области #2,

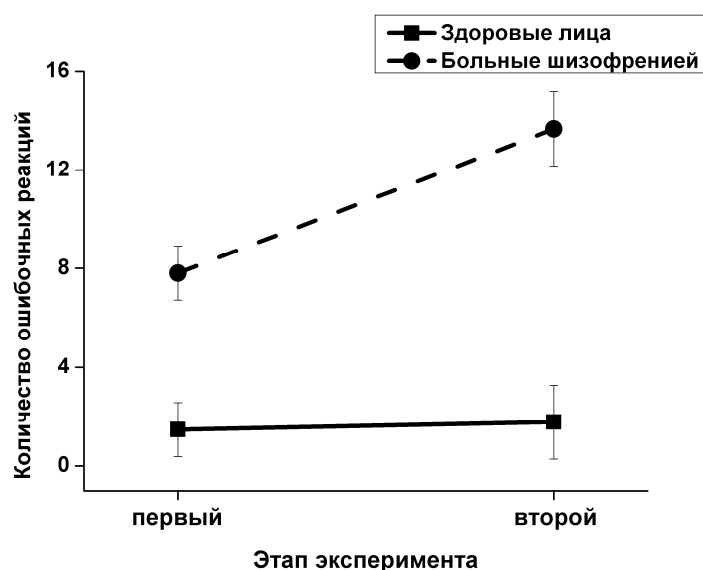


Рис. 2. Показатели ошибочных реакций при выполнении мониторинга у больных шизофренией и здоровых лиц

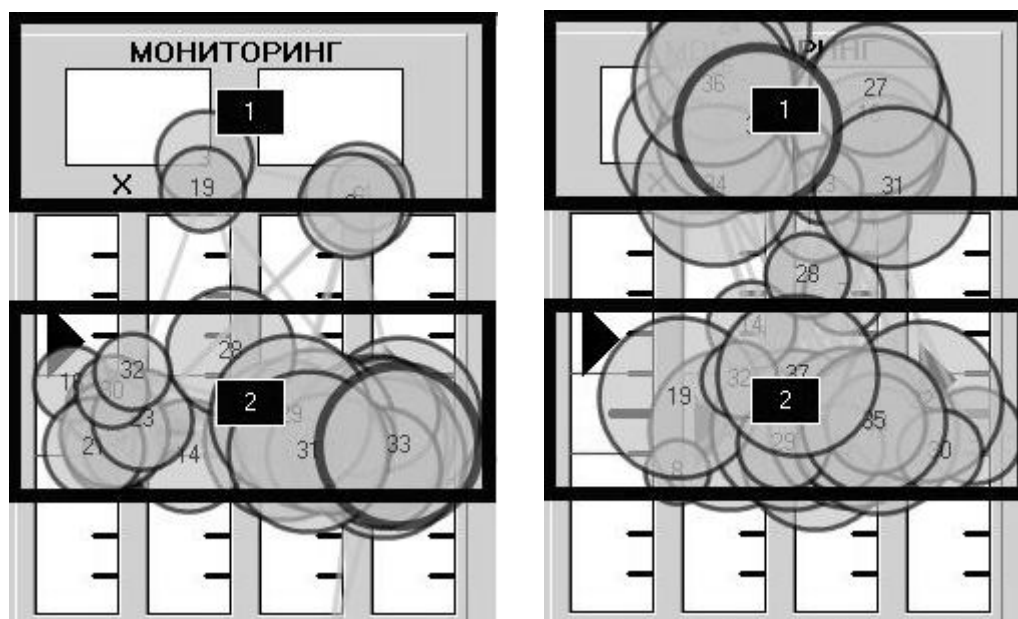


Рис. 3. Примеры распределения зрительных фиксаций здорового индивида (слева) и больного шизофренией (справа) при выполнении задачи мониторинга

## Экспериментальные психологические исследования

но часто переводит его на область #1, где расположены индикаторы цветowych сигналов.

С целью подтверждения данного наблюдения у испытуемых контрольной и экспериментальной групп были проанализированы показатели среднего количества (за 1 мин) и длительности зрительных фиксаций в визуальных областях (Areas of Interest, AI) #1 и #2 (рис. 3) на обоих этапах эксперимента. Проводился трехфакторный дисперсионный анализ ANOVA с межгрупповым фактором «группа» (экспериментальная, контрольная) и внутригрупповыми факторами «этап эксперимента» (первый, второй) и «визуальная область» (AI #1 и 2). Для показателя количества фиксаций (рис. 4) установлено достоверное влияние взаимодействия факторов «группа» и «визуальная область» ( $F = 35,7$ ;  $p < 0,001$ ), а также взаимодействия факторов «группа», «визуальная область», «этап эксперимента» ( $F = 4,9$ ;  $p < 0,05$ ). Межгрупповые различия в количестве фиксаций оказались не значимыми ( $F = 1,3$ ;  $p > 0,05$ ).

По данным рис. 4, здоровые лица на обоих этапах эксперимента преимущественно фиксируют взгляд на области шкальных индикаторов #2, демонстрируя незначительное количество зрительных фиксаций в области

цветовых сигналов #1. Напротив, у больных шизофренией отмечается большое количество зрительных фиксаций в области #1, и эта тенденция возрастает при усложнении требований задачи на втором этапе эксперимента.

Не было выявлено достоверных межгрупповых различий в значениях показателя средней длительности фиксаций ( $F = 2,5$ ;  $p > 0,05$ ). Выявлено значимое влияние фактора «визуальная область» ( $F = 7,5$ ;  $p < 0,01$ ): как здоровые лица, так и больные шизофренией обнаруживают более низкую длительность зрительных фиксаций в области #1, чем в области #2. Влияние на длительность фиксаций фактора «этап эксперимента» и взаимодействия комбинаций факторов оказалось не значимым.

Анализ характеристик саккадических движений глаз при выполнении задачи показал, что больные шизофренией обнаруживают достоверно большую амплитуду ( $p < 0,05$ ) и длительность ( $p < 0,01$ ) саккад, чем здоровые лица. Также установлено (см. рис. 5), что на обоих этапах эксперимента больные шизофренией совершают достоверно больше саккадических движений с амплитудой свыше  $6^\circ$  (угловых градусов), чем здоровые лица ( $p < 0,05$ ).

Эти результаты согласуются с особенно-

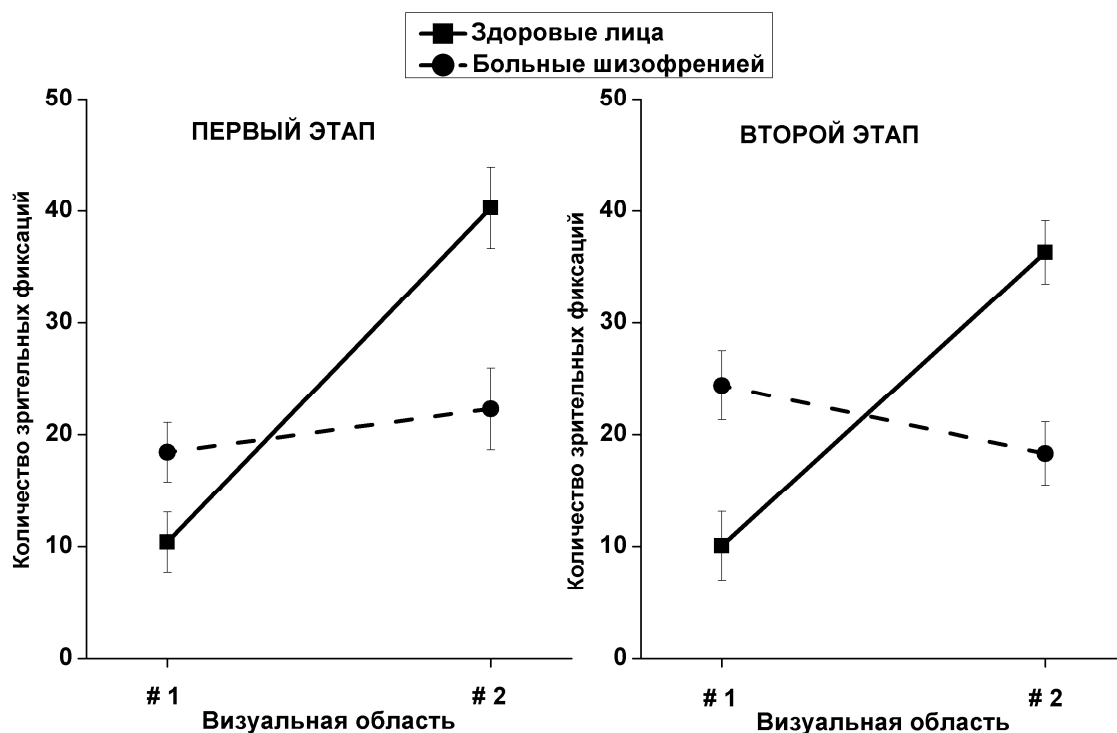


Рис. 4. Количество зрительных фиксаций в областях #1 и #2 у больных шизофренией и здоровых лиц на различных этапах эксперимента

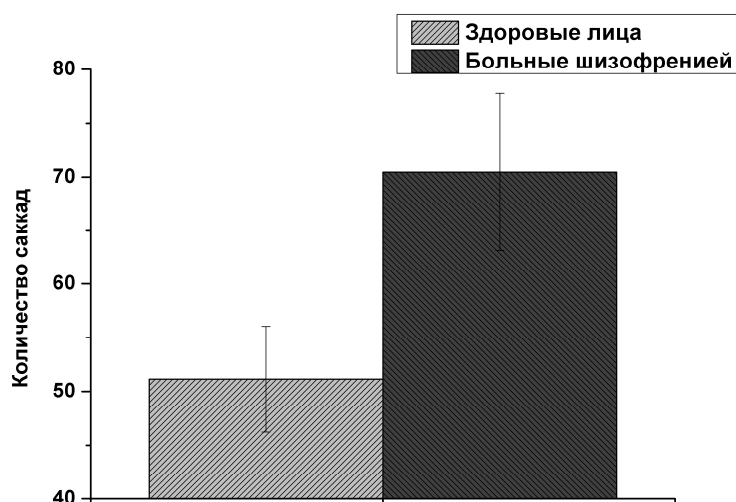


Рис. 5. Количество саккадических движений глаз с амплитудой свыше 6° при выполнении задачи мониторинга у больных шизофренией и здоровых лиц

стями распределения зрительных фиксаций у больных шизофренией и объясняются отмечающейся у пациентов тенденцией часто переводить свой взгляд на область расположения цветowych индикаторов #1.

Как объяснить вышеприведенные результаты? Детекция цветowych сигналов может осуществляться на основе периферического зрения в отличие от детекции отклонений шкал, предполагающей одновременный учет нескольких визуальных признаков и поэтому требующей фокального внимания [13]. В связи с этим здоровые лица для детекции отклонений шкал постоянно удерживают свой взгляд на области #2, обнаруживая цветowych сигналы в области #1 за счет периферического внимания. Такая стратегия является оптимальной, поскольку минимизирует количество необходимых саккад и редуцирует стоимость доступа к визуальной информации. Напротив, больные шизофренией постоянно переводят взгляд с области #2 на область расположения цветowych индикаторов #1, то есть демонстрируют избыточную глазодвигательную активность. Такая стратегия является не только энергозатратной, повышающей риск развития утомления, но и неэффективной, поскольку перевод фокального внимания в область #1 снижает вероятность обнаружения отклонений шкал в области #2, то есть приводит к возрастанию числа ошибочных реакций по типу «пропуска сигнала». Действительно, установлено, что суммарное количество зрительных фиксаций в области #1 значимо взаимосвязано с числом ошибок при выполнении теста ( $r = 0,48$ ;  $p < 0,001$ ).

Выявленные особенности глазодвигательной активности больных шизофренией могут быть связаны с двумя возможными механизмами. Во-первых, по данным некоторых авторов, у больных шизофренией отмечается сужение функционального поля зрения (*useful visual field*), проявляющееся в трудностях обнаружения стимулов, предъявляемых на периферии зрительного поля [6]. Отсюда можно предположить, что больные неспособны обнаруживать цветowych сигналы при помощи периферического зрения и, в результате, вынуждены периодически концентрировать фокальное внимание на области их вероятного появления. Если данная гипотеза верна, то саккадические движения глаз в область #1 у больных шизофренией носят «проактивный» или случайный характер, то есть предшествуют обнаружению цветowych сигналов либо непосредственно не связаны с моментами их появления. Во-вторых, литературные данные свидетельствуют, что у больных шизофренией отмечаются нарушения произвольного торможения саккадических движений глаз, что проявляется, например, в трудностях выполнения антисаккадного теста, требующего от индивида удерживать взгляд в центре экрана и не переводить его на визуальные сигналы, предъявляемые на периферии зрительного поля, либо перемещать взгляд в противоположную сторону при их появлении [10, 11]. Отсюда можно предположить, что больные способны успешно обнаруживать появление цветowych сигналов на периферии зрительного поля, но не способны подавлять произвольные движения взора в их направле-

нии. Если данная гипотеза верна, то саккадические движения глаз в область #1 у больных шизофренией носят «реактивный» характер, то есть возникают сразу после появления цветových сигналов.

С целью проверки вышеописанных гипотез был проведен анализ временных характеристик саккадических движений глаз, который показал, что свыше 90 % отмечающихся у больных шизофренией саккад по направлению к области #1 носят «реактивный характер», то есть возникают непосредственно сразу после появления цветových сигналов. Таким образом, экспериментальные данные свидетельствуют в пользу второй гипотезы, объясняющей особенности распределения зрительных фиксаций у больных шизофренией нарушениями произвольной регуляции движений глаз.

Исследования показывают, что успешное выполнение заданий, требующих произвольного контроля движений глаз, нуждается в подготовительной когнитивной активности, направленной на формирование перцептивно-моторной преднастройки («*preparatory set*»). Эта подготовительная когнитивная активность обеспечивается преимущественно структурами префронтальной коры и отражается в возрастании показателей симпатической активации [1, 5, 11]. Можно предположить, что больные шизофренией испытывают трудности когнитивной преднастройки, что проявляется в менее выраженном по сравнению со здоровыми лицами возрастании сим-

патической активации в подготовительном и начальном периодах выполнения задания. Результаты исследования полностью подтвердили это предположение (рис. 6).

Установлено, что в момент начала выполнения задачи больные шизофренией по сравнению со здоровыми лицами демонстрируют достоверно меньшее расширение диаметра зрачка ( $F=14,1$ ;  $p<0,001$ ) и возрастание регистрируемой частоты сердечных сокращений ЧСС ( $F=16,01$ ;  $p<0,001$ ). Также выявлены значимые взаимосвязи между степенью возрастания показателей диаметра зрачка и регистрируемой ЧСС в начальном периоде и количеством последующих зрительных фиксаций в области цветových сигналов #1 ( $r = -0,29$  и  $r = -0,34$ ,  $p<0,05$ ), а также общим количеством допущенных ошибок ( $r = -0,35$  и  $r = -0,27$ ,  $p<0,05$ ).

**Обсуждение результатов.** Результаты исследования противоречат первой концепции, в соответствии с которой в основе нарушений умственной работоспособности при шизофрении лежит дефицит волевых усилий [3,4]. Ключевой характеристикой волевого усилия является субъективное чувство внутреннего напряжения [2]. Между тем, субъективные оценки умственного напряжения и затраченных усилий при выполнении задачи у пациентов не отличались от соответствующих оценок здоровых лиц.

Полученные результаты также опровергают вторую теоретическую концепцию, согласно которой нарушения умственной рабо-

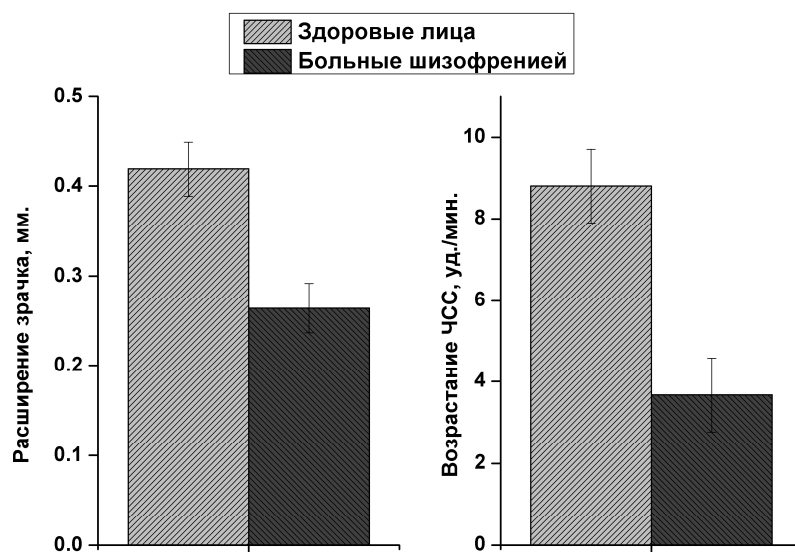


Рис. 6. Возрастание показателей диаметра зрачка и сердечного ритма в момент начала выполнения задачи у больных шизофренией и здоровых лиц

тоспособности связаны с общим дефицитом ресурсов внимания, в то время как стратегии распределения ресурсов (*resource allocation strategy*) у пациентов и здоровых лиц не различаются [8]. Показано, что при выполнении сенсомоторных задач больные шизофренией обнаруживают принципиально иную стратегию распределения внимания, чем здоровые лица.

Результаты исследования согласуются с концепцией нарушений когнитивного контроля [12] и могут быть объяснены с позиций теории, рассматривающей систему когнитивной регуляции как временное функциональное образование, обеспечивающее избирательное и целенаправленное протекание когнитивных процессов для достижения конкретной задачи [1]. Предполагается, что в подготовительный и начальный периоды выполнения задачи пациенты испытывают трудности формирования данного функционального образования, обеспечивающего избирательную преднастройку перцептивно-моторных процессов, что проявляется в слабо выраженном по сравнению со здоровыми лицами возрастании показателей симпатической активации. В результате они неспособны подавить рефлекторные саккады по направлению к периферическим цветовым сигналам, демонстрируют избыточную и неэффективную глазодвигательную активность, что является основной причиной низкой продуктивности их деятельности. Таким образом, вследствие трудностей формирования динамической системы когнитивной регуляции больные шизофренией неспособны эффективно организовывать свою познавательную активность, совершают избыточные, нерелевантные и энергозатратные когнитивные операции, что является одним из факторов снижения их умственной работоспособности и повышенной утомляемости. Данное положение, в случае подтверждения на моделях других видов когнитивной деятельности, раскрывает новые перспективы нейрокогнитивной диагностики и реабилитации больных.

#### Литература

1. Зотов, М.В. Механизмы регуляции когнитивной деятельности при воздействии стрессогенных факторов (в норме и патологии): автореф. дис. ... д-ра психол. наук / М.В. Зотов. – СПб., 2011. – 52 с.

2. Ильин, Е.П. Психология воли / Е.П. Ильин. – СПб.: Питер, 2000. – 288 с.

3. Критская, В.П. Патология психической деятельности при шизофрении / В.П. Критская, Т.Д. Мелешко, Ю.Ф. Поляков. – М.: МГУ, 1991. – 256 с.

4. Мелехов, Д.Е. Клинические основы прогноза трудоспособности при шизофрении / Д.Е. Мелехов. – М.: Медгиз, 1963. – 198 с.

5. Boxer, A.L. Principles of motor control by the frontal lobes as revealed by the study of voluntary eye movements / A.L. Boxer // In B.L. Miller, J.L. Cummings (Ed.) *The human frontal lobes: functions and disorders*. – New York: Guilford Press, 2007. – P. 262–276.

6. Cegalis, J.A. Attention in schizophrenia – signal-detection in the visual periphery / J.A. Cegalis, D. Deptula // *Journal of Nervous and Mental Disease*. – 1981. – № 169. – P. 751–760.

7. Comstock, J.L. The Multi-attribute Task Battery for human operator workload and strategic behavior research / J.L. Comstock, R.J. Arnegard. – Technical Report 104174. – Hampton, VA. 1992.

8. Granholm, E. Processing resource limitations in schizophrenia: Implications for predicting medication response and planning attentional training / E. Granholm // In D.I. Margolin (Ed.). *Cognitive neuropsychology in clinical practice*. – New York: Oxford University Press, 1992. – P. 43–69.

9. Huber, G. Schizophrene Basisstorungen / G. Huber, L. Sullwold. – Berlin: Springer Verlag, 1986. – 177 p.

10. Antisaccade performance in patients with schizophrenia and affective disorder / J. Katsanis, S. Kortenkamp, W.G. Iacono, W.M. Grove // *Journal of Abnormal Psychology*. – 1997. – № 106. – P. 468–472.

11. Neural correlates of refixation saccades and antisaccades in normal and schizophrenia subjects / J.E. McDowell, G.G. Brown, M.P. Paulus et al. // *Biological Psychiatry*. – 2002. – № 51. – P. 216–223.

12. Posner, M.I. Research on attention networks as a model for the integration of psychological science / M.I. Posner, M.K. Rothbart // *Annual Review of Psychology*. – 2007. – Vol. 58. – P. 1–23.

13. Treisman, A. A feature integration theory of attention / A. Treisman, G. Gelade // *Cognitive Psychology*. – 1980. – № 12. – P. 97–136.

## Экспериментальные психологические исследования

---

**Зотов Михаил Владимирович**, доктор психологических наук, профессор кафедры медицинской психологии и психофизиологии факультета психологии, Санкт-Петербургский государственный университет, mvzotov@mail.ru

**Долбеева Клара Арленовна**, ассистент кафедры медицинской психологии и психофизиологии факультета психологии, Санкт-Петербургский государственный университет, kdolbeeva@gmail.com

**Андрианова Наталия Евгеньевна**, аспирант кафедры медицинской психологии и психофизиологии факультета психологии, Санкт-Петербургский государственный университет, natalia-andrianova@mail.ru

**Петрукович Владимир Михайлович**, кандидат медицинских наук, доцент кафедры эргономики и инженерной психологии факультета психологии, Санкт-Петербургский государственный университет, petrukov\_vm@mail.ru

---

## COGNITIVE MECHANISMS OF SENSORIMOTOR DYSFUNCTION IN SCHIZOPHRENIA

*M.V. Zotov, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russian Federation, mvzotov@mail.ru*

*K.A. Dolbeeva, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russian Federation, kdolbeeva@gmail.com*

*N.E. Andrianova, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russian Federation, natalia-andrianova@mail.ru*

*V.M. Petrukovich, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russian Federation, petrukov\_vm@mail.ru*

The research is aimed at studying the cognitive mechanisms of sensorimotor dysfunction in schizophrenia. 26 patients with schizophrenia and 26 healthy subjects performed the monitoring task of the Multi-Attribute Task Battery (MATB). Participants had to distribute attention between several sources of information and respond to appearing visual signals. Indicators of task performance and parameters of eye movements, heart rate and pupil diameter were recorded during the research. The results of the study showed that patients with schizophrenia demonstrate significantly lower indicators of monitoring task performance than healthy subjects. Low success of task performance in schizophrenia is associated with excessive and ineffective eye movements. Compared with healthy participants, patients with schizophrenia make more high-amplitude saccades and more often look at visual signals, detection of which doesn't require a focal attention. There was concluded that excessive eye movements in schizophrenia are determined by a deficit of voluntary oculomotor activity. The study also showed that healthy subjects exhibit an abrupt increase of indicators of physiological arousal such as heart rate and pupil diameter during a primary period of performance. This finding reflects a mobilization of cognitive resources and formation of preparatory set for a coming activity. In contrast, patients with schizophrenia demonstrate a low increase of indicators of arousal, which evidences difficulties in resource mobilization and formation of preparatory set during a primary period of performance. Thus, a degree of increase of heart rate and pupil diameter indicators during a primary period of performance is significantly associated with the characteristics of oculomotor activity and efficiency of the monitoring task performance overall. The results are explained from the standpoint of the previously developed theory of cognitive regulation.

*Keywords: executive control, sensorimotor dysfunction, eye movements, schizophrenia.*

*Поступила в редакцию 14 августа 2013 г.*