

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОЗРЕВАНИЕ МОЗГА. ВНИМАНИЕ, ОБУЧЕНИЕ.

Наталья Дубровинская

В повседневной жизни мы мало задумываемся о том, каким образом осуществляются те или иные функции организма, и обращаем на это внимание лишь в случае их нарушения. Наука нейрофизиология посвящает свои исследования этому вопросу, концентрируясь на проблеме структурно-функциональной основы осуществления психических функций – восприятия, внимания, памяти, речевой деятельности. Лаборатория нейрофизиологии когнитивной деятельности Института возрастной физиологии РАО, в которой я проработала более 30 лет, изучает мозговое обеспечение психических функций в процессе формирования в широком возрастном диапазоне – от 3 до 17 лет и у взрослых. Результаты исследования были опубликованы в книге /1 /, суммированы в /2/ и кратко представлены в настоящем сообщении.

Основной и неинвазивный метод исследования, используемый в лаборатории, - многоканальная регистрация биоэлектрической активности накладными поверхностными электродами с включением основных зон коры обоих полушарий. Анализируются (визуальный и компьютерный анализ) электроэнцефалограмма (ЭЭГ), образно называемая «зеркалом мозга», в покое и при различных функциональных нагрузках, и так называемые «Связанные с событиями потенциалы» (ССП, ERP в англоязычной литературе), возникающие в ответ на предъявление определенных заданий. В работе участвуют математики и программисты. Исследование осуществляется с ЭВМ на линии, обработка материала - по специально разработанным программам. Данные подвергаются статистической оценке – групповая статистика и статистическая оценка индивидуальных показателей. Сравнение ЭЭГ-картин деятельности и состояния покоя, различных видов деятельности друг с другом, правильных и неправильных решений с определением достоверности различий позволяет выявить мозговое обеспечение различных когнитивных операций. Электрофизиологические показатели сопоставляются с результатами психологического тестирования, поведенческих наблюдений, педагогическими характеристиками, полученными от «думающих» учителей-профессионалов. Междисциплинарный подход к исследованию оказался чрезвычайно информативным и целиком оправдал себя. Принципиальная позиция лаборатории, основанной в 1964 г. Д.А.Фарбер, сложилась на базе накопленных экспериментальных данных и с опорой на теоретические разработки отечественной науки /3-5/.

Мозговое обеспечение психических функций – это система взаимосвязанных мозговых структур (компонентов), объединенных жесткими и, в большей степени, гибкими связями. В зрелом мозге работа этой системы характеризуется не диффузным, а избирательным вовлечением компонентов, экономичностью, а не избыточностью реагирования, а, главное, соответствием складывающейся мозговой организации поставленной задаче, предложенной инструкции, что свидетельствует об эффекте регуляции в системе. Формирующаяся система напоминает временный творческий коллектив (ВТК), в который «призываются» специалисты-профессионалы для решения определенной задачи. В качестве компонентов не обязательно выступают целые структуры мозга. Речь может идти о «локусах», «модулях» в их составе, разнесенных в пространстве как по горизонтали, так и по вертикали мозга (распределенные нейронные сети), но объединенных целью деятельности (функциональная интеграция).

Эффект деятельности системы при выполнении различных когнитивных заданий проявляется в регистрируемых биоэлектрических феноменах. В настоящем сообщении речь пойдет об ЭЭГ и ее анализе. Надежным индикатором формирующейся системы

является функция когерентности (КОГ) биоэлектрической активности. Эта функция характеризует степень сходства процессов в сопоставляемых пунктах коры. При этом синхронность не обязательна, но обязательно постоянство фазового сдвига. Функция КОГ изменяется от 0 до 1, и ее рост в парах тестируемых областей указывает, как показали многочисленные исследования /6, 7/, на их объединение в систему (рис.1) на основе определенного ритма, который рассматривается как системообразующий фактор. Ритмические компоненты ЭЭГ разной частоты, выступая как системообразующие факторы, могут формировать системы из сходных элементов. Но, благодаря участию частотного фактора, эти системы могут выполнять различные когнитивные операции.

СХЕМА ОТВЕДЕНИЙ И ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИИ КОГЕРЕНТНОСТИ

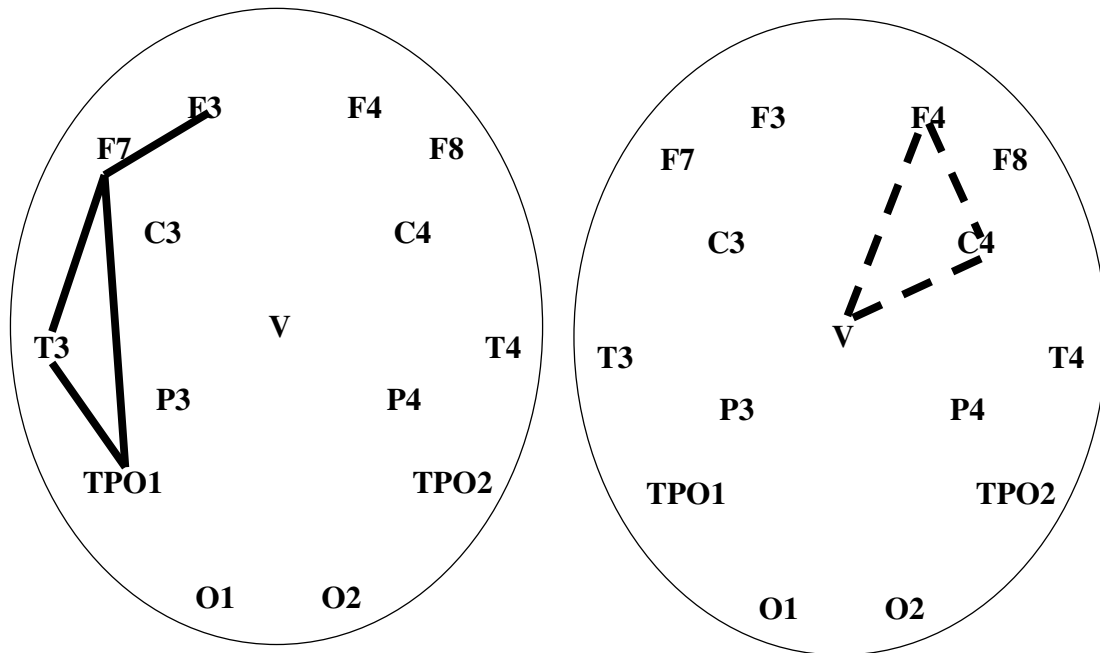


Рис.1. Схематически показана локализация отводящих поверхностных электродов для регистрации ЭЭГ. Латинские буквы – области коры: F - лобные, С -центральные, Р - теменные, Т - височные, ТРО – теменно-височно-затылочные, О – затылочные левого (четные) и правого (нечетные) полушария. V – вертекс.

Сплошными линиями соединены области коры, в электрической активности которых наблюдается рост значений функции КОГ, формирование системы. Пунктир – падение значений КОГ, распад системы. Так иллюстрируется корковая организация деятельности.

Топография роста значений функции КОГ по коре как бы визуализирует стратегию мозговой деятельности (рис.2).

Ожидание задачи и решение у взрослых

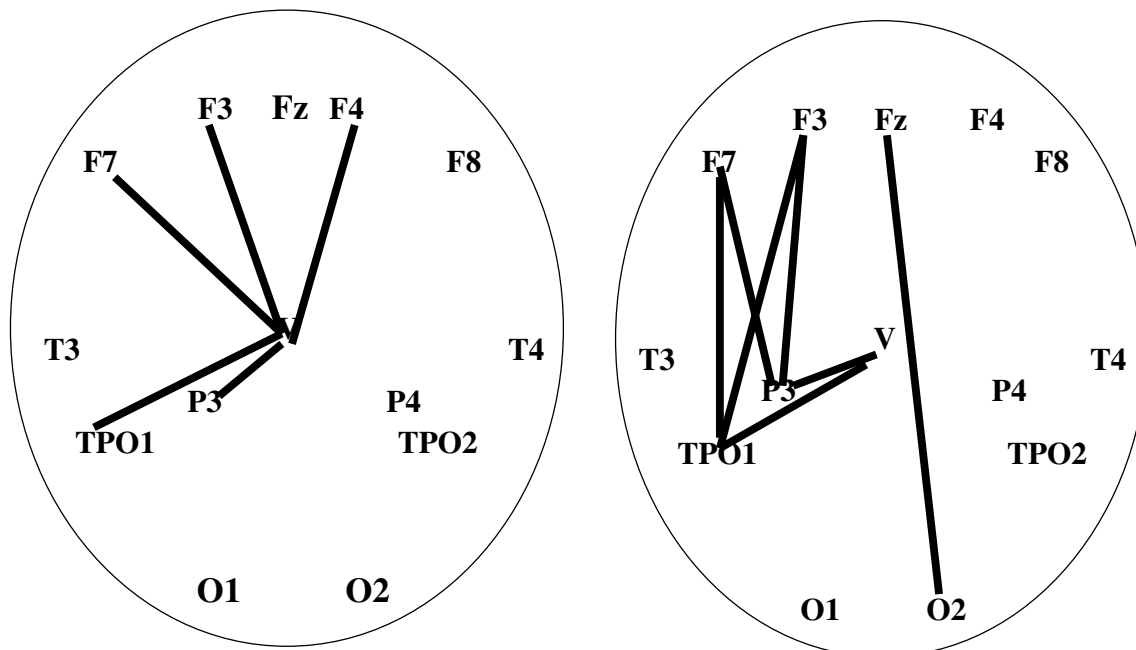


Рис.2. В качестве примера показано функциональное объединение областей коры (обозначения как на рис.1) при ожидании (слева) и решении (справа) анаграмм (зрительное предъявление задачи на дисплее) с последующим словесным отчетом испытуемого. Групповые данные.

На рисунке видны функциональные объединения, специфичные для задачи, предъявленной испытуемому. На экране в течение 5 сек высвечивался ряд из 5 букв, из которых надо было составить слово. Испытуемый знал о характере задания и после предупреждающего сигнала внимательно ожидал его появления. В это время в подготовку к вербальной деятельности адекватно включились ее будущие участники - речевые зоны (ТРО1, F7) и другие отделы лобной коры, в основном, левого, речевого полушария. Во время решения участники деятельности взаимосвязанно включились в функциональное объединение другого типа, обеспечившее правильные решения задачи.

Состав формирующейся системы, в силу зависимости от задания, изменчив. Однако, если осуществляется неавтоматизированное действие, в ее состав непременно включаются «представители» трех взаимосвязанных функциональных блоков мозга, выделенных еще А.Р.Лурия /5/. Это мотивационный блок, в котором формируется побуждающий стимул при актуализации потребности, связанной с целью деятельности, активационный блок, где генерируются активирующие влияния на функционирование вовлеченных нейронных сетей (аппарат осуществления внимания), и информационный блок, занимающийся анализом и обработкой информации, – адресат и источник активирующих влияний. Высшим центром информационного блока являются лобные доли коры больших полушарий, завоевание эволюции, сформировавшей специфическую организацию мозга человека. Лобные доли, включающие в себя многочисленные модули с различными частными функциями, уникальны по организации их афферентных и эфферентных связей. Они располагают исчерпывающей информацией о ситуации, уже обработанной на нижележащих уровнях мозга, и обладают возможностью посылать «приказы» широкому кругу исполнителей, постоянно имея дело с обратной связью /5,8/. Поэтому структурно-функциональная организация мозга представляет собой не голую «вертикаль власти», а образец грамотного руководителя. В результате управляемая активация, дозированная по

интенсивности (ее избыточность, так же как и недостаточность, нарушает эффективность деятельности), направляется в нужное место и в соответствующий момент времени, что и оптимизирует функционирование системы мозгового обеспечения поведения.

Основная направленность созревания этой системы в ходе индивидуального развития (онтогенеза) состоит в постепенном переходе от генерализованного избыточного вовлечения компонентов к их избирательному специализированному участию в деятельности, к экономичному пластичному функционированию, адекватному целям и задачам. Структурно-функциональное развитие мозга характеризуется значительной длительностью, определяющейся поздним созреванием лобной коры, которое продолжается и в подростковом возрасте. Другой важной характеристикой является неодновременность (гетерохронность) созревания мозговых структур, что приводит к отличающимся друг от друга системным эффектам на разных этапах развития – возрастной специфике функционирования системы. И, наконец, в силу неодинаковых темпов и характера созревания компонентов системы у детей, возникает выраженная индивидуальная специфика работы мозга. И это не недоразумение, а закономерность. Результатом ее являются различия паспортного возраста и возраста биологического, который определяет реальные функциональные возможности данного организма на том или ином этапе пути к формированию организации зрелого типа. Отсюда следует настоятельная необходимость учета этой закономерности в практике педагогики.

Периоды наибольшей вариабельности функциональных возможностей организма и мозга, в особенности, - это 7-8-летний возраст и подростковый. Первый связан с воздействием начала систематического обучения в школе; его стрессующий эффект существенно увеличивает свойственный этому возрасту межиндивидуальный разброс, доводя различия биологического и паспортного возраста до 1.5 лет. Это проявляется, в первую очередь, в характеристиках внимания, о чем речь впереди. К 9-10 годам («золотой возраст») многие показатели приближаются к зрелому уровню, но вступление в подростковый период смыкает эти достижения могучим ураганом (половое созревание) и увеличивает несходство функциональных возможностей ровесников, мальчиков и девочек, учащихся одного класса. Сроки начала полового созревания различаются не только у мальчиков и девочек, но и внутри половых групп. Перестройки и повышенная активность гипоталамо-гипофизарной системы – центрального звена регуляции желез внутренней секреции, изменяют установившийся характер функционального взаимодействия структур мозга, ослабляя корковый контроль деятельности системы и адаптационные возможности. Наряду с этими изменениями, идут прогрессивные сдвиги – окончательная реструктуризация нейронного аппарата коры, совершенствование ее функциональной организации, приводящие к дальнейшему развитию когнитивных функций. Дестабилизирующие влияния полового созревания на функциональную организацию мозга особенно выражены на его начальных стадиях и преодолеваются ко времени завершения пубертатного периода, в основном, к 16-17 годам. Все эти особенности и противоречивые тенденции изменений определяют подростковый период как критический этап развития.

Дети 7-8-летнего возраста, посещающие обычную общеобразовательную школу, которую курировал Институт, были обследованы более подробно в связи с жалобами родителей на трудности обучения, а учителей – на плохую успеваемость и дефекты воспитания /9/. У 23 из 42 обследованных детей был выявлен синдром дефицита внимания с гиперактивностью (СДВГ). У всех детей была проведена регистрация ЭЭГ в состоянии покоя и ее визуальный анализ (система ЭЭГ-эксперт /10/). На основе выделенных критериев функциональной зрелости мозга было обнаружено, что состояние коры больших полушарий соответствует возрасту у всех обследованных, но дети с СДВГ достоверно ($p < 0.05$) отличались от возрастной нормы по функциональному состоянию регулирующих систем мозга, принадлежащих к активационному блоку и являющихся основным механизмом реализации внимания. Дальнейший анализ показал, что они

отличаются функциональной незрелостью двух типов. Один из них (рис.3) – это дефицит неспецифической активации (ДНА), второй – (рис.4) - незрелость фронто-таламической системы мозга (ФТС).

59% детей с СДВГ имели низкую успеваемость, что в целом соответствовало представлению о зависимости эффективности деятельности первоклассников, главным образом, от состояния внимания. Далее было показано, что достоверно хуже учатся дети с незрелостью ФТС и что в выборке с трудностями обучения достоверно преобладают дети с этим типом незрелости регулирующих структур. Распределение обследованных гиперактивных детей на две группы по этим двум признакам достоверно.

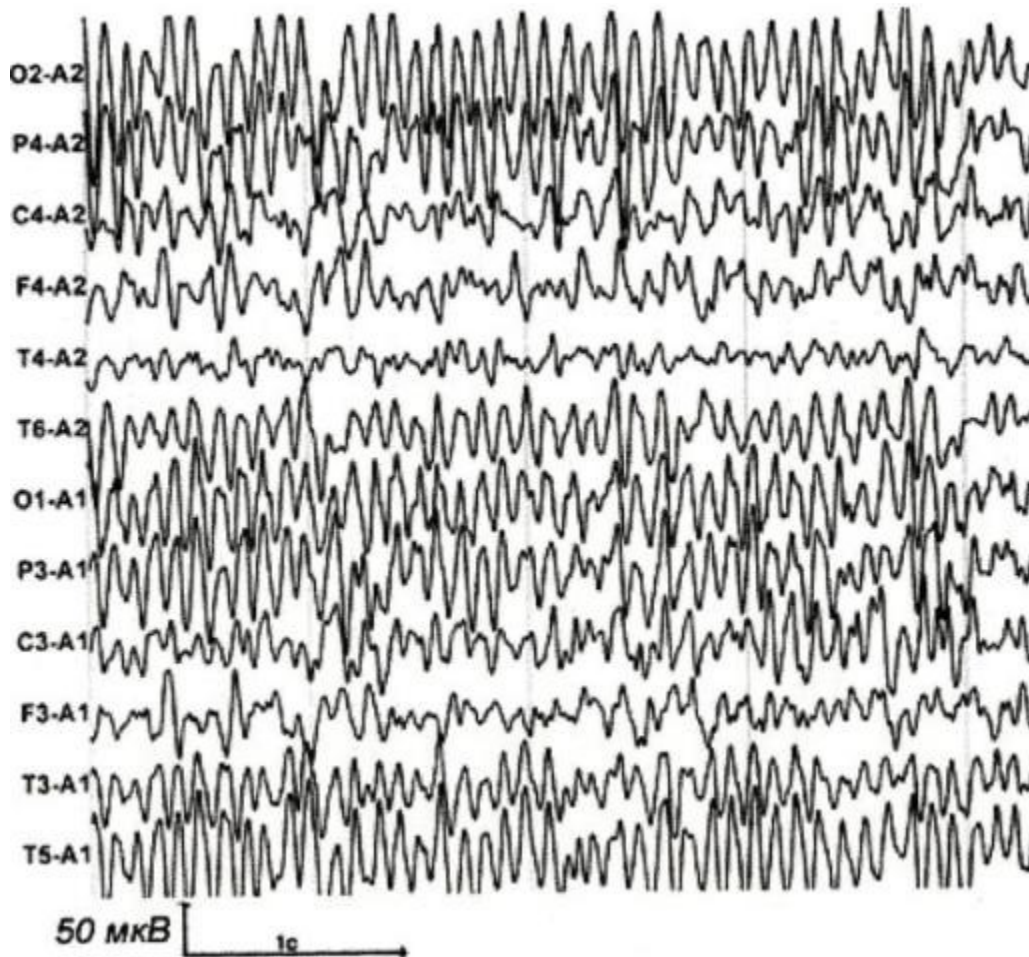


Рис.3. Представлен пример ДНА. В отличие от возрастной нормы, которая характеризуется основным ритмом (альфа-ритм) с частотой для этого возраста 9 Гц и амплитудой 50-70 мкВ, при данном типе незрелости ритм приобретает гиперсинхронный характер, а его амплитуда достигает 100 и более мкВ (см отведения O1,2-A1,2; P1,2-A1,2 – от затылочных и теменных областей обоих полушарий). ДНА приводит к замедленному реагированию на стимулы, недостаточной концентрированности внимания, легкой отвлекаемости и импульсивности. Сопровождающая это состояние гиперактивность непроизвольно направляется на компенсацию дефицита.

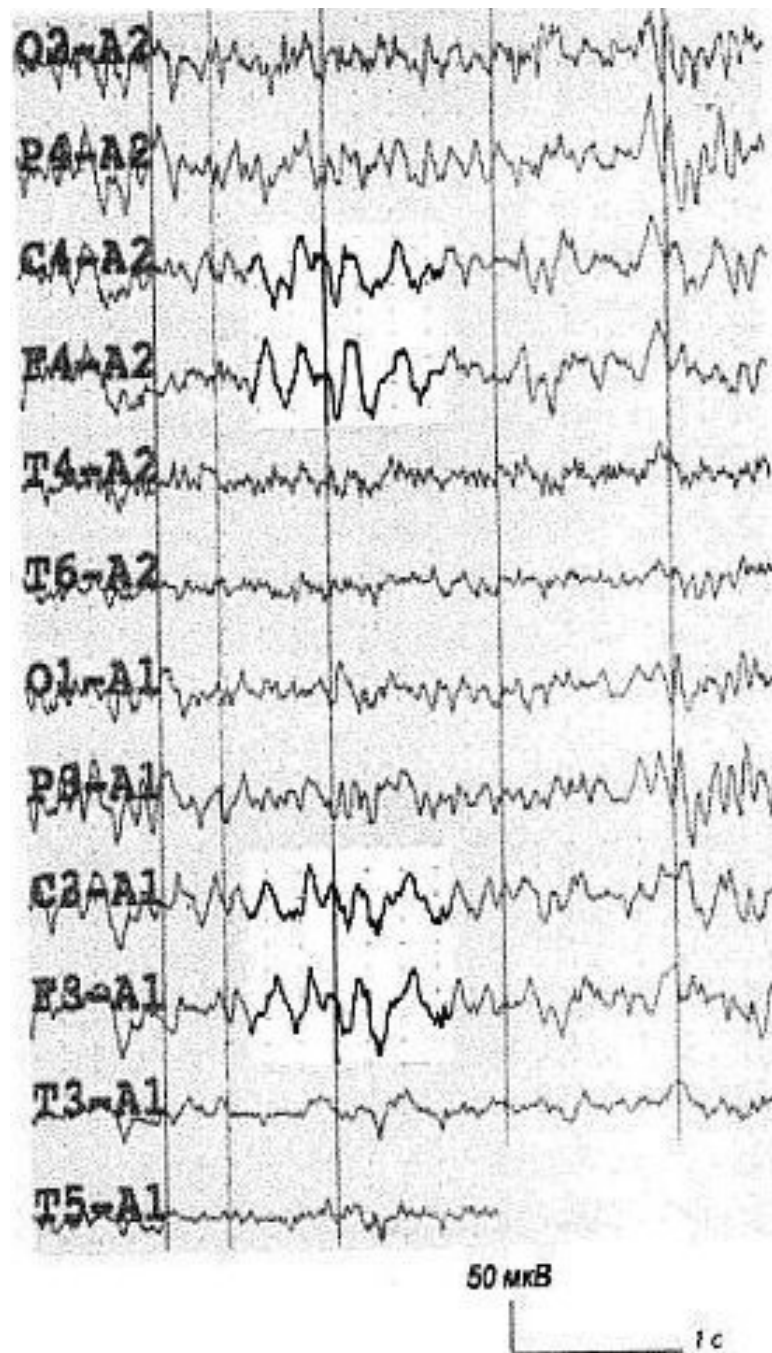


Рис.4. Пример структурно-функциональной незрелости ФТС, проявляющийся в наличии групп медленных волн (4-6 Гц) в центральных и лобных отведениях (С3,4-А1,2; F3,4-А1,2). В данном случае проявляется дефицит избирательного внимания – выделение главного, планирование, организация деятельности. Эти проявления компенсируются с большим трудом.

Представленные данные указывают на неоднородность синдрома дефицита внимания с гиперактивностью. При сходных поведенческих проявлениях в его составе можно выделить, по крайней мере, два типа, различающиеся нейрофизиологическими механизмами. Это требует дифференцированного подхода к диагностике и коррекции детей с СДВГ.

Источники

1. Developing Brain and Cognition. Pediatric Behavioral Neurology. Vol. 4. Amsterdam: Suyi Publ. 1993. 221 pp.
2. Farber D.A. Principles of Structural and Functional Brain Organization in Ontogenesis. In: Developing Brain and Cognition. Amst. 1993. P.156-169.
3. Anokhin P.K. Biology and Neurophysiology of Conditioned Reflex and its Role in Adaptive Behavior. 1973. Oxford: Pergamon Press.
4. Бернштейн Н.А. Физиология движений и активность. М.:Наука, 1990.
5. Luria A.R. The working Brain: An Introduction to neuropsychology. New York: Basic Books, 1973.
6. Thatcher R., Krause P., Hrybyk M. Cortico-cortical associations and EEG coherence: A two compartment model. Electroenceph. and Clin. Neurophysiol., 1986. Vol.64. P.123-143.
7. Petsche G., Etlinger S. EEG and Thinking. Power and Coherence Analysis of Cognitive Processes. Wien. Verlag der Osterreichischen Akademie der Wissenschaften. 1998. 383 pp.
8. Stuss D., Benson F. The frontal lobes. New York: Raven Press. 1986.
9. Machinskaya R.I., Krupskaya E.W. EEG-analysis of the functional state of deep regulatory structures of the brain in hyperactive 7-8-year-old children. Hum. Physiol. 2001. Vol.27. N3. P.368-370.
10. Лукашевич И.П., Мачинская Р.И., Фишман М.Н. Автоматизированная система «ЭЭГ-эксперт». Мед. Техника. 1999. N 6. С.29