

# Тренировка когнитивных функций: перспективные исследования в России

Б. Б. Величковский, С. А. Козловский, А. В. Вартанов



**Величковский Борис Борисович**  
кандидат психологических наук,  
доцент кафедры методологии психологии  
МГУ им. М.В. Ломоносова.



**Козловский  
Станислав Александрович**  
кандидат психологических наук,  
научный сотрудник лаборатории  
психологии труда МГУ им. М.В. Ломоносова.



**Вартанов Александр Валентинович**  
кандидат психологических наук,  
старший научный сотрудник кафедры  
психофизиологии МГУ им. М.В. Ломоносова.

Одним из первых, кто обратил внимание на пластичность нервной системы, был русский физиолог Иван Петрович Павлов, который в своей классической работе «Двадцатилетний опыт объективного изучения высшей нервной деятельности животных» писал: «Главнейшее, сильнейшее и постоянно остающееся впечатление от изучения высшей нервной деятельности нашим методом — это чрезвычайная пластичность этой деятельности, ее огромные возможности: ничто не остается неподвижным, неподатливым, а все всегда может быть достигнуто, изменяться к лучшему, лишь бы были осуществлены соответствующие условия» (Павлов И.П., 1973, с. 395). Позже, благодаря работам профессора факультета психологии МГУ Александра Романовича Лурия было доказано, что способность одних отделов мозга брать на себя функции других мозговых отделов может быть успешно применена в клинике для разработки психологических методик восстановления утраченных психических функций у людей с поражениями различных отделов головного мозга (Лурия А.Р., 1959).

С конца XX века после открытия стволовых клеток и нейротрофических факторов различные широко применяемые на практике нейропсихологические и педагогические методики получили физиологическое обоснование. Стало

ясно, что могут быть разработаны психологические методики активации (тренировки), которые улучшают когнитивные функции человека. Возможность изменения последних путем целенаправленных тренировочных воздействий представляется важной, так как самые разные популяции людей характеризуются более или менее выраженными нарушениями в когнитивной сфере. Такие нарушения, например, сопровождают случаи патологического развития (синдром гиперактивности и дефицита внимания) и многочисленные психиатрические расстройства (шизофрения). Кроме того, проблематика компенсации когнитивных нарушений актуальна для людей пожилого возраста, у которых после 50–60 лет наблюдаются существенные ухудшения в работе ряда этих функций (Craik F.I.M., Bialystock E., 2006).

Эффективность когнитивных функций является важной предпосылкой высокого качества жизни современного человека. Широкое распространение их нарушений, вызванных различными причинами, ставит вопрос о способах преодоления и компенсации этих нарушений. Одним из методов, позволяющих приблизиться к решению данной важной проблемы, является целенаправленная тренировка когнитивных функций (или когнитивная трениров-

Поддержано грантами РФФИ 09-06-00293-а и РФФИ 09-06-12007офи\_м

ка). Под ней понимается систематическое и регулярное выполнение заданий, активирующих отдельные когнитивные функции, с целью устойчивого улучшения их функционирования. В последние годы такая тренировка пользуется растущей популярностью как метод компенсации когнитивных нарушений при различных заболеваниях и нормальном старении (Величковский Б.Б., 2009).

тивной тренировки как в популяции молодых людей, так и в популяции людей среднего и пожилого возраста. Мы затрагиваем два вопроса, которые существенно выходят за рамки стандартных работ по когнитивной тренировке и могут расширить имеющиеся сегодня представления об этой методике. Во-первых, рассматривается проблема оптимизации режима тренировки. Во-вторых, разра-

ответ (воспринимает стимул), то интенсивность следующего стимула уменьшается ( $i_{t+1} = i_t - \delta$ ). В результате интенсивность предъявляемых стимулов сходится к значению, для которого вероятность снижения примерно равна вероятности повышения. Это значение, очевидно, соответствует сенсорному порогу, определяемому как медиана психометрической функции.

Другие варианты данной процедуры ориентируются на схождение к пороговому значению, определяемому через другую вероятность положительного ответа, но сохраняют представленную только что основную идею. Например, широко используемый метод (1-вверх, 3-вниз) (повышает интенсивность стимула при одной единственной ошибке и понижает интенсивность стимула только после трех данных подряд положительных ответах) ориентирован на определение порога, соответствующего точке психометрической кривой с 77%-ной вероятностью положительного ответа. Преимуществом этого класса адаптивных методов является то, что они позволяют выяснить значение порога существенно быстрее, чем классические методы, ориентированные на определение психометрической кривой путем многократного предъявления стимулов из всего диапазона интенсивности.

Перенос данного метода в область адаптивной когнитивной тренировки осуществляется достаточно просто. Предполагается, что порог соответствует текущему уровню развития тренируемой когнитивной функции, а интенсивность стимула — уровню сложности задания. Тогда метод (3-вверх, 1-вниз) заключается, например, в том, что после каждой ошибки, совершенной испытуемым, сложность следующего задания снижается на определенную величину  $\delta$ , а после трех последовательных правильных ответов — повышается на ту же величину. За счет адаптивной конвергенции использование данного метода позволяет предъявлять испытуемому задания, сложность которых через некоторое время после начала тренировки примерно соответствует уровню развития у него целевой когнитивной функции. Кроме того, такой алгоритм адаптивности без каких-либо дополнительных модификаций обеспечивает постоянную настройку сложности предъявляемых заданий на изменение уровня развития тренируемой функции (которые являются основной целью тренировки).

Несмотря на широкое распространение описанного выше метода, может быть поставлен вопрос о дальнейшем повышении эффективности адаптивных методов когнитивной тренировки. Нам

## Мы затрагиваем два вопроса, которые существенно выходят за рамки стандартных работ по когнитивной тренировке и могут расширить имеющиеся сегодня представления об этой методике.

Результаты экспериментальных исследований показывают, что программы когнитивной тренировки могут приводить не только к кратковременному, но и к долговременному улучшению тренируемых функций. Кроме того, иногда удается добиться переноса положительного эффекта на другие когнитивные функции (схожие с тренируемыми функциями, но не идентичные им). Когнитивная тренировка может также влиять на физиологические и структурные изменения мозга (McNab F. et al., 2009). Однако факторы, определяющие ее эффективность, все еще не полностью понятны, и в целом теоретически обоснованный выбор состава тренировочных заданий и режима их предъявления остается, скорее, идеалом для большинства исследователей и практиков, использующих этот метод. Несмотря на это, разработка программ когнитивной тренировки и оценка их эффективности является перспективной областью психологических исследований, имеющей важное прикладное значение (Величковский Б.Б., 2009).

В настоящее время на базе факультета психологии МГУ имени М.В. Ломоносова и Института когнитивных исследований РНЦ «Курчатовский институт» нами проводятся исследования в области когнитивной тренировки, программа которых ориентируется на активизацию таких когнитивных функций, как когнитивный контроль, внимание и память. Их выбор обусловлен тем, что именно данные функции в наибольшей степени угасают при нормальном и патологическом старении, а это в значительной мере снижает качество жизни пожилых людей.

Проводимая нами работа направлена на изучение эффективности когни-

батываются объективные методы неинвазивной оценки интенсивности вызванных ею мозговых изменений.

Центральную роль в определении эффективности тренировочных воздействий играет выбор их режима. Исходя из опыта наиболее известных исследований последних лет (например, Jaeggi S.M. et al., 2008), можно полагать, что тренировочные процедуры являются особенно эффективными, если они носят *адаптивный* характер. Целью адаптивной настройки режима тренировки, прежде всего, является поддержание уровня сложности заданий в оптимальном диапазоне. Оптимальным считается уровень сложности, при котором тренирующийся выполняет задания, соответствующие имеющемуся у него уровню развития когнитивной функции. Это, в частности, означает, что он вынужден прилагать некоторое усилие для успешного выполнения задания, однако способен делать это без значительного количества ошибок.

В настоящее время реализация адаптивного режима тренировки основывается на использовании достаточно простой *лестничной* (staircase) процедуры, получившей также название (n-вверх, m-вниз) (Levitt H., 1971). Процедура заимствована из психофизиологии, где используется для определения величины сенсорных порогов. Например, при определении абсолютных порогов суть процедуры (1-вверх, 1-вниз) заключается в том, что испытуемому в пробе  $t$  предъявляется стимул интенсивности  $i_t$ , и если испытуемый дает отрицательный ответ (не воспринимает стимул), то интенсивность следующего стимула увеличивается на некоторую заранее определенную величину  $\delta$  ( $i_{t+1} = i_t + \delta$ ). Если же испытуемый дает положительный

представляется, что эффективность тренировки критически зависит от того, насколько точно адаптивный алгоритм позволяет определить текущий уровень развития тренируемой функции. Ведь при значительном отклонении оцененного уровня развития функции от «истинного» значения алгоритм теряет способность подбирать такой уровень сложности тренировочных заданий, который был бы адекватен возможностям тренирующегося. Формально можно предположить, что существует убывающая зависимость между тренировочным эффектом, вызываемым выполнением того или иного задания, и его «трудностью». Под трудностью задания мы понимаем разность между его объективной сложностью и истинным уровнем развития тренируемой функции<sup>2</sup>. Представляется очевидным, что большие ошибки при определении актуального уровня развития когнитивной функции приводят к завышению абсолютного значения трудности тренировочных заданий и, как следствие, к снижению эффективности тренировки в целом.

В настоящее время в психологической литературе полностью отсутствуют исследования, посвященные изучению формы зависимости между трудностью тренировочного задания и вызываемым им тренировочным эффектом (эту зависимость в дальнейшем мы будем обозначать термином «функция трудности»).

Очевидно, что использование адаптивных методов, позволяющих определить истинный уровень развития тренируемой когнитивной функции за *меньшее количество шагов и с большей точностью*, чем традиционные адаптивные методы, крайне желательно. В том случае, если наши представления о форме функции трудности в принципе верны, высокие скорость и точность определения текущего уровня развития должны приводить к росту эффективности когнитивной тренировки, так как меньшее количество тренировочных заданий будет отличаться завышенной абсолютной трудностью. Чтобы показать принципиальную возможность повышения эффективности тренировочных воздействий, мы провели вычислительный эксперимент, в котором смоделировали влияние различий в точности определения текущего уровня развития тренируемой функции на конечную эффективность гипотетической программы когнитивной тренировки.

В рамках проведенного вычислительного эксперимента были сделаны

следующие допущения. Функция трудности моделировалась в виде П-образной функции, симметричной относительно 0. Важным параметром функции трудности является ее *дискриминативность* ( $d$ ). Этот параметр определяет, в какой мере прирост в уровне развития тренируемой функции чувствителен к увеличению трудности заданий. При высоких значениях  $d$  даже задания с высокой трудностью приводят к увеличению уровня развития тренируемой когнитивной функции. При низких значениях  $d$  задания только задания с относительно невысокой абсолютной трудностью приводят к росту уровня развития тренируемой функции.

### Эффективность тренировки критически зависит от того, насколько точно адаптивный алгоритм позволяет определить текущий уровень развития тренируемой функции.

Кроме того, мы предполагали, что идеальный алгоритм адаптивности способен безошибочно определять актуальный уровень развития тренируемой функции и, следовательно, предъявлять тренируемому заданию нулевой трудности. Соответственно, при моделировании реальных алгоритмов адаптивности мы исходили из того, что каждый алгоритм характеризуется определенным разбросом оценок текущего уровня развития тренируемой функции относительно его истинного значения. Упрощая, мы предположили, что распределение отклонений оценок уровня развития тренируемой функции относительно его истинного значения подчиняется нормальному распределению с центром в 0 и стандартным отклонением  $q$ . Параметр  $q$  является (обратным) показателем *качества* конкретного алгоритма в том смысле, что при увеличении  $q$  снижается точность определения актуального уровня развития тренируемой функции.

В ходе эксперимента для различных значений дискриминативности функции трудности и различных значений параметра качества адаптивных алгоритмов было реализовано 100 симулированных программ тренировки. Каждая программа состояла из 100 тренировочных заданий, трудность которых определялась путем выбора случайного значения из соответствующего распределения

ошибок, совершаемых адаптивными алгоритмами при оценке актуального уровня развития тренируемой функции. Подставляя трудность каждого тренировочного задания в соответствующую функцию трудности, мы имели возможность оценить величину тренировочного эффекта, возникающего в результате выполнения этого задания<sup>3</sup>.

На рисунке 1 представлены тренировочные кривые, полученные на основе аккумуляции усредненных тренировочных эффектов для различных значений  $d$  и  $q$ . Как видно из представленных графиков, использование алгоритмов с более высоким качеством стабильно приводит к заметно лучшему трени-

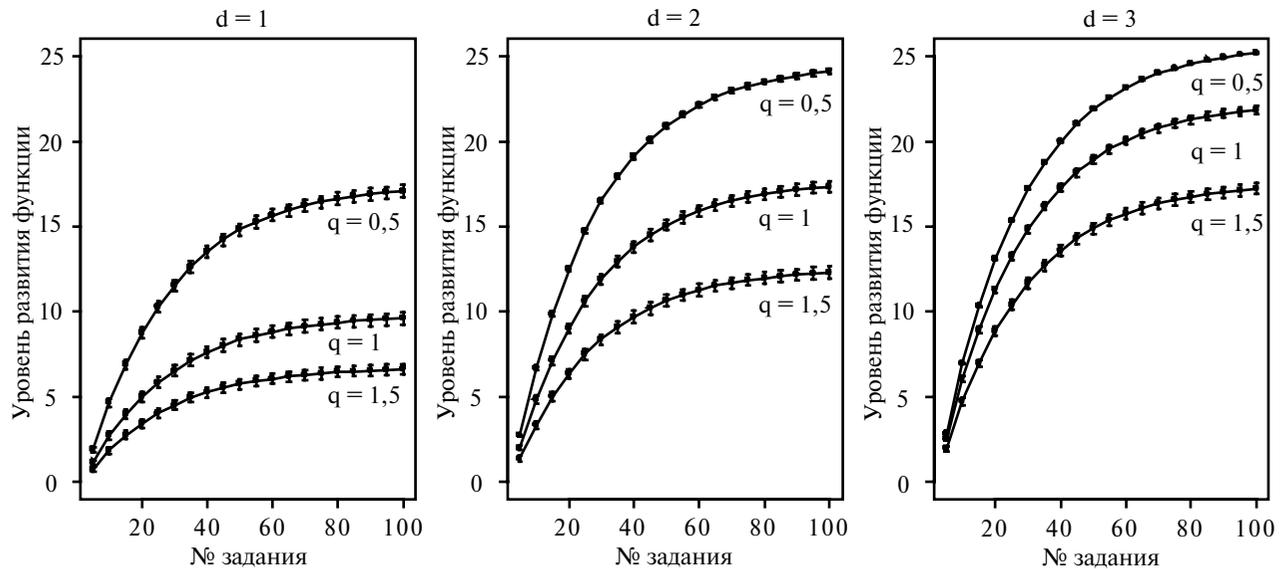
ровочному эффекту. Например, можно видеть, что тренировочная кривая, соответствующая алгоритму с наивысшим качеством ( $q = 0,5$ ) во всех случаях лежит выше тренировочных кривых, полученных для алгоритмов с менее высоким качеством. Как и ожидалось, это различие особенно ярко выражено при самом низком значении дискриминативности ( $d = 1$ ), т. е. когда тренировочный эффект особенно чувствителен к трудности предъявляемых заданий. Следует отметить, что преимущество точных алгоритмов сохраняется (хотя и в меньшей степени) и тогда, когда значения  $d$  существенно увеличиваются (т. е. когда тренировочный эффект в меньшей степени зависит от трудности предлагаемых заданий).

Представленные выше результаты были получены на основе существенных допущений и упрощений, и реальные эмпирические соотношения между показателями эффективности тренировочных воздействий и параметрами адаптивных алгоритмов не будут полностью соответствовать описанной выше модели. Однако приведенные данные свидетельствуют о заметном преимуществе адаптивных алгоритмов, обладающих высокой точностью определения актуального уровня развития тренируемой функции, в широком диапазоне значений параметра дискриминативности. Это позволяет обосновать дальнейшие

<sup>2</sup> Трудность может быть отрицательной, когда задание является легким относительно текущего уровня развития когнитивной функции.

<sup>3</sup> С целью симуляции типичной для тренировочных кривых логарифмической формы величина прироста уровня развития тренируемой функции в ходе тренировки убывала согласно отрицательной экспоненциальной зависимости.

**Рисунок 1.** Графики прироста уровня развития тренируемой функции для различных значений дискриминативности ( $d = 1, 2, 3$ ) и качества адаптивных алгоритмов ( $q = 0,5, 1,0, 1,5$ ). Результаты 100 симулированных экспериментов



исследования путей замены используемых сегодня в программах когнитивной тренировки простых адаптивных процедур подбора тренировочных задания другими, более качественными процедурами. В частности, речь может идти об утилизации в программах когнитивной тренировки вычислительно более сложных адаптивных процедур определения сенсорных порогов, основанных на подгонке психометрической кривой методом максимального правдоподобия (Leek M.R., 2001).

Симуляционные исследования (например, Linschoten M.R. et al., 2001) показывают, что методы подгонки психометрической кривой могут превосходить простые лестничные методы по точности определения истинного значения порога (при этом наблюдается примерно двукратное различие в величине типичного разброса оценок), а также по скорости достижения заданного уровня точности оценки. Применительно к задаче обеспечения эффективного режима когнитивной тренировки это означает, что использование более сложных адаптивных методов позволяет добиться большего прироста тренируемой способности за отведенное для тренировки время или сократить время, необходимое для получения аналогичного тренировочного эффекта. Последнее особенно важно при работе со специальными популяциями, которые часто являются основными «потребителями» программ когнитивной тренировки: дети с синдромом гиперактивности и дефицита внимания, пожилые люди с когнитивными нарушениями и люди с различного рода психиатрическим нарушениями.

Во всех перечисленных случаях возможность сокращения длительности тренировки и уменьшения частоты излишне простых/сложных тренировочных заданий (способных вызывать негативную реакцию со стороны тренирующихся) за счет более точного определения уровня развития тренируемой функции, безусловно, представляет большой интерес. Это позволяет снизить негативные эффекты, связанные с демотивированностью тренирующихся, их утомлением и т. п. В этом смысле дальнейшие исследования в направлении повышения эффективности тренировочных воздействий путем оптимизации режимов адаптивности представляются нам крайне перспективными.

Возникновение устойчивых во времени позитивных изменений уровня когнитивного функционирования возможно, в первую очередь, тогда, когда когнитивная тренировка приводит к функциональным и структурным изменениям мозга. Исследование нейрогенеза взрослого мозга — одно из наиболее интенсивно развивающихся направлений современной нейробиологии. Получены данные о принципиальной возможности искусственного модулирования нейрогенеза. В экспериментах на лабораторных мышах и крысах описано несколько способов такого воздействия. Один из них — блокада фермента синтеза оксида азота — NO-синтазы, при которой уменьшается продукция NO и, как следствие, интенсифицируется нейрогенез (возможно в связи с интенсификацией экспрессии BDNF и других нейротрофинов) (Kato S.R. et al., 1997). Кроме того, существуют многочисленные кор-

реляционные исследования, косвенно свидетельствующие, что продолжительные психологические воздействия могут приводить к структурным изменениям мозга взрослого человека (Вартанов А.В. и др., 2009). В частности, показано, что продолжительное (15 месяцев) обучение игре на музыкальных инструментах приводит к структурным изменениям головного мозга (Hyde K.L. et al., 2009).

Вместе с тем, используемые в настоящее время в мировой практике методы обнаружения подобных изменений имеют ряд ограничений. Волюметрический метод недостаточно точен для выявления слабых структурных изменений (Vullo T. et al., 1996). Биохимические и гистологические методы, хотя и чрезвычайно точно диагностируют процесс нейрогенеза, являются инвазивными и поэтому применимы лишь в экспериментах на животных. Диагностика изменения содержания нейромедиаторов в различных отделах мозга до и после тренировки, выявляемого методом позитронно-эмиссионной томографии, является лишь косвенным методом и не может служить доказательством процесса нейрогенеза. Аналогичный недостаток имеют и исследования влияния когнитивной тренировки на потребление кислорода различными областями коры головного мозга на основе функциональной магниторезонансной томографии.

На наш взгляд, наиболее перспективными неинвазивными методами выявления нейрогенеративных и нейродегенеративных изменений мозга взрослого человека в настоящее время являются два специально разработанных нами метода — метод визуализации локальных

структурных изменений головного мозга (Vartanov A.V., Kozlovsky S.F., Velichkovsky V.B., 2009) и метод выявления смешанных сигналов в магниторезонансной спектроскопии (МРС).

Задача идентификации небольших морфологических изменений, возникающих в результате нейродегенеративных и нейрогенеративных процессов, является достаточно сложной. При решении этой задачи (возникающей не только в рамках оценки эффективности когнитивной тренировки, но и при необходимости ранней диагностики различных болезней, таких, как болезнь Альцгеймера и шизофрения) эксперт — специалист по медицинской радиологии — на настоящий момент располагает только возможностью «ручного» сопоставления нескольких томографических изображений. При этом возникают следующие проблемы.

1. Затруднено точное пространственное соотношение этих изображений — даже при небольшом изменении пространственной ориентации головы пациента по отношению к приемным датчикам томографического аппарата при повторном обследовании возникают ложные локальные различия в яркости, особенно на границе разделения мозговых тканей, которые можно легко спутать со структурными изменениями.

2. Магнитно-резонансные томограммы головного мозга человека получаются в относительных единицах — яркость разных вокселей получаемых в разных обследованиях изображений существенно различается, поскольку она зависит от многих параметров съемки сигнала, а прибор калибруется заново при каждом новом обследовании. Поэтому нельзя прямо соотносить яркость отдельных вокселей разных изображений.

3. Многие мозговые структуры не имеют четко очерченных границ, позволяющих выделить их на томограмме в виде бинарного черно-белого контрастного изображения. В частности, переход между белым и серым веществом коры происходит плавно — концентрация серого вещества постепенно убывает на некотором протяжении (несколько миллиметров), в то время как концентрация белого вещества также постепенно возрастает, что, например, соответствует на T-1 томографическом изображении переходу от низкой к высокой относительной яркости. В связи с этим небольшие структурные изменения мозга, связанные с увеличением количества нейронов и нервных путей, могут проявляться в пространственном сдвиге всей линии

изменения яркости изображения, а не только в смещении четко очерченных границ. Такие небольшие изменения практически невозможно заметить «на глаз» при сопоставлении двух (зашумленных) изображений.

цессов нейрогенеза на уровне морфологических изменений дополняются исследованиями в области магнитно-резонансной спектроскопии. В литературе могут быть найдены свидетельства того, что процессы нейрогенеза обнаружива-

---

## В психологической литературе полностью отсутствуют исследования, посвященные изучению формы зависимости между трудностью тренировочного задания и вызываемым им тренировочным эффектом.

---

Предлагаемый нами метод автоматического выявления слабых локальных структурных изменений головного мозга позволяет решить вышеуказанные проблемы. В основе метода лежит эффект изменения яркости отдельных вокселей МРТ-изображения при локальных изменениях соотношения серого/белого вещества в результате любых процессов, приводящих к структурным изменениям головного мозга (нейрогенез, апоптоз, канцерогенез, гематомы и пр.). Благодаря комплексному сочетанию и модификации ряда известных приемов анализа различных изображений и переходу к анализу полных трехмерных томографических изображений головного мозга новый метод позволяет решить проблему корректной ориентации полученных при повторных обследованиях томографических изображений (сравниваются инвариантные к сдвигу и повороту представления данных), а также проблему устранения «шума».

Таким образом, при использовании предлагаемого метода для сравнения томографических изображений, сделанных до и после изменяющего процессы нейрогенеза воздействия, становится возможным не только выявить наличие/отсутствие эффекта воздействия, но и определить его интенсивность и точно локализовать отделы мозга, в которых произошли изменения. Эти свойства разрабатываемого метода делают его важным инструментом для объективной оценки того влияния, которое различные программы когнитивной тренировки могут оказывать на головной мозг человека.

Проводимые нами исследования в области разработки методов сопоставления структурных томографических изображений с целью регистрации про-

ют характерные признаки на магниторезонансном спектре (Manganas L.N. et al., 2007). Выявление этих слабых признаков (интенсивность которых уменьшается с возрастом) может стать еще одним способом диагностики эффектов влияния тренировочных воздействий на процессы нейрогенеза у взрослого человека *in vivo*. В недавно опубликованной серии экспериментов (Enikolopov G. et al., 2007) был представлен новый подход к неинвазивному выявлению нейрогенеза в живом мозге животных и человека. Этот подход, основанный на применении МРС, выявил биомаркер нейрогенеза со спектральной частотой 1.28 ppm. Изменения в количестве этого биомаркера коррелируют с изменениями в нейрогенезе при развитии и при старении, а также с наличием модулирующих нейрогенез экспериментальных воздействий. В этой серии экспериментов выделение пика 1.28 ppm производилось с использованием высокочувствительного метода Singular Value Decomposition (SVD). На этом пути, однако, возникают существенные технические проблемы, связанные с тем, что этот сигнал очень слаб и практически не отличается от шумов, сопровождающих МРС исследования<sup>4</sup>.

В связи с этим нами был разработан новый метод разделения смешанных сигналов, получаемых при магнитно-резонансной томографии и спектроскопии мозга. Новый метод разделения смешанных сигналов является более эффективным по сравнению с такими известными и широко используемыми в различных областях методами, как метод усреднения и частотной фильтрации. Обычно предполагается, что при усреднении ряда реализаций сигнала, с которыми смешаны другие сигналы (шумы), неизменно повторяющаяся составляю-

---

<sup>4</sup> Даже при использовании мощных томографов (7 Тесла).

щая сохраняется, в то время как шум уменьшается пропорционально числу реализаций. В результате такой процедуры подавления шума общее соотношение сигнал/шум улучшается. Однако такой подход дает хорошие результаты лишь при больших выборках и слабом, гомогенно распределенном по отношению к сигналу шуме. При частотной фильтрации необходимо априорное знание характера шума, в частности, его частотного диапазона. Однако при подавлении шума также происходит и искажение нужного сигнала.

Новый метод базируется на противоположной идее — не на подавлении, а на выделении варьирующего сигнала с последующим вычитанием его из усредненного сигнала. В простом случае в результате работы алгоритма удается эффективно разделить варьирующую и константную части, содержащиеся в анализируемых образцах, по небольшому числу случаев. Исходный уровень варьирующего шума по отношению к константному сигналу может быть очень большим, также отсутствуют ограничения на характер шума — возможны значительные отдельные выбросы или «помехи». Однако предлагаемый метод позволяет решать и более сложную задачу, когда необходимо кроме выделения константной части по набору реализаций также найти отдельные типы вариаций. Это важно в тех случаях, когда в реализациях, кроме шума, смешаны несколько разных сигналов с заранее неизвестными параметрами. Единственным условием является то, что в анализируемых образцах неизвестные сигналы должны быть смешаны в разных пропорциях.

Анализ вариаций позволяет статистически оценить число смешанных сигналов и выделить каждый из них в отдельности. Устойчивость решения, однако, зависит не только от работы алгоритма, но и от набора анализируемых данных. Повысить устойчивость и эффективность работы предлагаемого метода можно путем простого добавления к набору вновь анализируемых данных некоторого стандартного (эталонного) набора заранее прокалиброванных образцов. Нами были разработаны программные средства, реализующие предложенный метод, на основе которых было проведено тестирование его эффективности. Показано, что его применение позволяет осуществить декомпозицию одновременно по нескольким (пока используются 8 известных) пикам ЯМР спектра и выделять слабые, низкоамплитудные пики, сравнимые с шумом, в частности, искомый пик на частоте 1.28 ppm. Вычислительные экспе-

рименты оказывают, что добавление шума в 20% от максимума наибольшего пика существенно затрудняет процесс выделения слабых компонентов. Тем не менее, возможности нового алгоритма позволяют осуществить его специальную настройку для выделения пиков в отдельной области, где, как можно ожидать, уровень шума будет не столь значительным и удастся выделить пик 1.28 ppm. Кроме того, разработанный алгоритм носит универсальный характер, так как позволяет выделять и другие пики ЯМР спектра, свидетельствующие о наличии альтернативных биомаркеров нейрогенеза.

Таким образом, проводимые нами исследования направлены не только на составление программ когнитивной тренировки и доказательство их эффективности. Исследования такого рода сегодня достаточно распространены в мировой психологии и, к сожалению, часто осуществляются путем «проб и ошибок». В рамках данного исследовательского проекта нам представляется важным сконцентрироваться на расширении теоретических представлений о механизмах действия этого метода компенсации когнитивных нарушений, а также на разработке новых процедур диагностики вызываемых когнитивной тренировкой объективных изменений нейрофизиологического субстрата. Это позволит ближе подойти к возможности более полного теоретического описания процессов, обеспечивающих восстановление и функциональное развитие когнитивной сферы человека в результате направленных тренировочных воздействий. В целом мы видим значительные перспективы практического применения методов когнитивной тренировки при работе со специальными популяциями и «нормой». Не умаляя достоинства других методов компенсации когнитивных нарушений (прежде всего, фармакологических), мы считаем, что именно метод тренировки лучше всего соответствует выдвинутому И.П. Павловым тезису о возможности достижения позитивных изменений в психике человека благодаря биологически заложенному в нее потенциалу пластичности.

## Литература

1. Вартанов А.В., Козловский С.А., Скворцова В.Б., Созинова Е.В., Пирогов Ю.А., Анисимов Н.В., Куприянов Д.А. Память человека и анатомические особенности гиппокампа // *Вестник Моск. ун-та.* — Серия 14. «Психология». — 2009. — №4. — С. 3–16.
2. Величковский Б.Б. Возможности когнитивной тренировки как средства коррекции возрастных изменений когнитивно-

- го контроля // *Экспериментальная психология.* — 2009. — Т. 2. — №4. — С. 67–91.
3. Лурия А.Р. Высшие корковые функции человека. — М., 1959.
4. Павлов И.П. Двадцатилетний опыт объективного изучения высшей нервной деятельности (поведения) животных. — 5-е издание / Под ред. чл.-корр. АН СССР Э.А. Асратяна. — М.: Наука, 1973.
5. Craik F.I.M., Bialystock E. Cognition through the lifespan: mechanisms of change // *Trends in Cognitive Science.* — 2006. — V. 10. — №3. — P. 131–138.
6. Enikolopov G., Maletic-Savatic M. Identifies Neural Progenitor Cells in the Live Human Brain // *Science.* — 2007. — V. 318. — P. 980–985.
7. Hyde K.L., Lerch J. et al. The effects of musical training on structural brain development: a longitudinal study // *Annals New York Academy of Sciences.* — 2009. — V. 1169. — P. 182–186.
8. Jaeggi S.M., Buschkuhl M., Jonides J., Perrig W.J. Improving fluid intelligence with training on working memory // *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA.* — 2008. — V. 105. — P. 6829–6833.
9. Katoh S.R., Takeuchi I.K., Semba R., Kato K. Distribution of brain derived neurotrophic factor in rats and its changes with development in the brain // *Journal of Neurochemistry.* — 1997. — V. 69. — №1. — P. 34–42.
10. Leek M.R. Adaptive procedures in psychophysical research // *Perception & Psychophysics.* — 2001. — V. 63. — №8. — P. 1279–1292.
11. Levitt, H. Transformed up-down methods in psychoacoustics // *Journal of the Acoustical Society of America.* — 1971. — V. 49. — P. 467–477.
12. Linschoten M.R., Harvey L.O., Eller P.M., Jafek B.F. Fast and accurate measurement of taste and smell threshold using a maximum-likelihood adaptive staircase procedure // *Perception & Psychophysics.* — 2001. — V. 63. — №8. — P. 1330–1347.
13. Manganas L.N., Zhang X., Li Y., Hazel R.D., Smith S.D., Wagschul M.E., Henn F., Benveniste H., Djuric P.M., Enikolopov G., Maletic-Savatic M. Magnetic resonance spectroscopy identifies neural progenitor cells in the live human brain // *Science.* — 2007. — V. 318. — P. 980–985.
14. McNab F., Varrone A., Farde L., Jucaite A., Bystritsky P., Forssberg H., Klingberg T. Changes in cortical dopamine D1 receptor binding associated with cognitive training // *Science.* — 2008. — V. 323. — P. 800–802.
15. Vartanov A.V., Kozlovsky S.A., Velichkovsky B.B. The scMRI method for assessment of neurogenesis in human brain // *Methodology of psychophysiological research in Russia and China: Theoretical and applied aspects. Joint Russian-Chinese Scientific Seminar. 7th–11th December 2009. Book of abstracts.* — М: Проект-Ф, 2009. — P. 110–112.
16. Vullo T., Deo-Narine V., Stallmeyer M.J., Gomez D.G., Cahill P.T. Quantitation of normal canine hippocampus formation volume: correlation of MRI with gross histology. // *Magn. Reson. Imaging.* — 14 (6). — 1996. — P. 657–662.