

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

**А. Ю. Шварц, О. Б. Обухова, Т. В. Ахутина**

### **ПСИХОГЕНЕТИКА И НЕЙРОПСИХОЛОГИЯ: АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ РАЗЛИЧИЙ КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ В ЗРЕЛОМ ВОЗРАСТЕ**

В статье обсуждается возможность использования нейропсихологического метода анализа в психогенетических исследованиях. Предлагается применять нейропсихологические показатели в качестве эндофенотипа — промежуточного звена между генотипом и фенотипом. Излагаются результаты экспериментального исследования моно- и дизиготных близнецов в возрасте 43—62 лет. Рассмотрение фактора программирования и контроля в качестве эндофенотипа показало, что нейропсихологические факторы могут стать основой качественного анализа структуры интеллекта.

*Ключевые слова:* нейропсихологические факторы, психогенетика, эндофенотип, коэффициент наследуемости, неравномерность развития когнитивных функций, близнецовый метод.

The article discusses the question of application of the neuropsychological method in psychogenetic research. It is suggested to use neuropsychological indexes as endophenotype — an intermediate part between genotype and phenotype. Results of experimental study of mono- and dizygotic 43—62 year old twins are reported. Consideration of programming and control index (executive functions index) as an endophenotype has demonstrated that neuropsychological indexes may become a basis for the qualitative analysis of the intelligence structure.

*Key words:* neuropsychology, executive functions, psychogenetics, endophenotype, heritability coefficient, uneven development of cognitive functions, twin method.

---

**Шварц Анна Юрьевна** — аспирантка ф-та психологии МГУ. *E-mail:* tiger-small@yandex.ru

**Обухова Ольга Борисовна** — канд. психол. наук, доцент кафедры дифференциальной психологии ф-та клинической и специальной психологии МГППУ. *E-mail:* s1342075@gmail.com

**Ахутина Татьяна Васильевна** — докт. психол. наук, профессор, зав. лабораторией нейропсихологии ф-та психологии МГУ. *E-mail:* akhutina@mail.ru

# 1. Теоретическое введение

## 1.1. Психогенетические исследования интеллектуальных способностей

Изучение вопроса о биологической и социальной природе умственных способностей имеет длинную историю, в ходе которой высказывались полярные мнения: от того, что практически у любого человека можно развить любые способности, до того, что интеллектуальные способности в значительной мере заданы уже при рождении. Этот вопрос, актуальный для многих областей психологического знания, стал предметом *психогенетики*, изучающей относительную роль и взаимодействие факторов наследственности и среды в формировании индивидуальных различий по психологическим и психофизиологическим признакам.

На данный момент около 80% всех работ в области психогенетики посвящено изучению интеллекта. На основе данных, полученных путем сравнения степени сходства разных пар родственников, можно утверждать, что вариативность интеллекта в популяции определяется генетическими источниками на 44—52% (Егорова и др., 2004). Однако эти цифры различаются в разных возрастах и популяциях. Исследования показывают, что при переходе от дошкольного к юношескому возрасту *коэффициент наследуемости* (КН) интеллекта увеличивается от 40 до 60%, а в выборках взрослых и пожилых людей еще более возрастает. Так, в Норвежском (возраст испытуемых 30—57 лет), Шведском (54—80 лет) и Миннесотском (60—88 лет) исследованиях КН достигают 80% (Tumbs et al., 1984; Pedersen et al., 1992; McGue et al., 1993 — см.: Егорова и др., 2004, с. 52). *Общая среда* (показатели среды, которые ведут к формированию семейного сходства) перестает играть какую-либо роль к зрелому возрасту. Влияние *индивидуальной среды* (показатели среды, которые приводят к возникновению различий у членов одной семьи) на вариативность интеллекта отмечается на уровне 12—20%. В лонгитюдных исследованиях также обнаруживается рост КН интеллекта с возрастом. В Техасском исследовании (Loehlin et al., 1997 — см.: Егорова и др., 2004, с. 56) показано, что в молодости и ранней зрелости этот коэффициент достигает 78%, что явно свидетельствует о возрастании роли генотипа в вариативности интеллекта в ходе онтогенеза. Есть отдельные данные о зависимости КН интеллекта от культурно-социальной среды: для популяций, проживающих в обедненной среде, характерны более низкие показатели, чем для популяций, живущих в среде обогащенной. Кроме того, обнаружено, что коэффициенты, полученные на североамериканских выборках, немного выше, чем соответствующие данные по американским выборкам. Это также может объясняться различиями среды (Егорова и др., 2004).

В современных работах имеется тенденция рассматривать не только интегральный показатель интеллекта, но и разные психические про-

цессы, входящие в интеллектуальные способности. Так, обнаружено, что КН вербального и невербального интеллекта сильно варьируются в разных исследованиях, но стабильно отмечается большее значение КН вербального интеллекта (Равич-Щербо и др., 1999). Однако результаты анализа когнитивных способностей, стоящих за интегральным показателем интеллекта, к сожалению, крайне противоречивы. Например, КН пространственных способностей у детей 7 лет в одних работах соответствует 12—30%, а в других — 97% (Егорова и др., 1995).

С.Б. Малых и коллеги обнаружили, что в результате целенаправленного обучения КН может изменяться по-разному. Если при решении задач на предугадывание генетическое влияние на вариативность показателей уменьшается по мере обучения, то для двигательных навыков оно возрастает. Авторы связывают это с изменением психологической структуры видов деятельности. Также было показано, что генотип-средовое соотношение меняется при изменении инструкции и при различной степени новизны задания (Малых и др., 1998). Становится понятно, что процедуры оценки когнитивных способностей недостаточно стандартны, а КН слишком чувствителен даже к небольшим трансформациям процедуры и к возрастным изменениям, и на его основе нельзя делать определенные выводы об общем КН различных умственных способностей (Малых и др., 1993).

### **1.2. Эндофенотип как промежуточный уровень между генотипом и фенотипом**

Большой разброс КН разных способностей вызывает необходимость обращения к промежуточному уровню между генотипом и фенотипом. Если *генотип* — это сумма всех генов организма, то *фенотип* — это любые проявления живущего организма, «продукт реализации данного генотипа в данной среде» (Равич-Щербо и др., 1999, с. 68). Между геном (генотипом) и поведением (фенотипом) нет прямого соответствия, а есть только неоднократно опосредованная связь. Фенотипически одинаковые признаки, измеренные по одной и той же методике, могут иметь разную психологическую структуру в зависимости от возраста и индивидуальных особенностей индивида и соответственно могут быть связанными с разными генами (там же; см. также: Лурия, 2002; Марютина, 2003). Наличие, отсутствие, степень выраженности одного фенотипического признака определяются многими генами, результат действия которых зависит не только от имеющихся вариантов генов, но и от множества других факторов. «Непосредственное биохимическое проявление гена и его влияние на психологические особенности разделены “горным хребтом” промежуточных биомолекулярных событий» (Равич-Щербо и др., 1999, с. 67). Поэтому одним из способов, облегчающих прослеживание пути от генов к поведению, стало нахождение *эндофенотипов* — промежу-

точных звеньев, опосредующих влияние генотипа на фенотипические переменные.

Понятие эндофенотипа, введенное И. Готтесманом в 1972 г. (подробнее см.: Gottesman, Gould, 2003) при изучении психических расстройств, получило широкое распространение и при анализе психологических и психофизиологических характеристик. Признак, или показатель, может быть признан эндофенотипом когнитивных способностей, если он удовлетворяет следующим критериям (De Geus et al., 2001): 1) он устойчив и надежно определяется; 2) выявлена его генетическая обусловленность; 3) он коррелирует с изучаемой когнитивной способностью (фенотипическая корреляция); 4) связь между ним и когнитивной способностью частично выводится из общих генетических источников (генетическая корреляция). А если ставится задача прослеживания биологического пути от генов к когнитивной способности, то важно выполнение еще одного критерия: 5) наличие теоретически осмысленной (в том числе причинной) связи между показателем и когнитивной способностью.

В качестве эндофенотипов интеллекта принято рассматривать (1) частные когнитивные характеристики или (2) индивидуальные особенности функционирования мозга, его анатомии и физиологии (Plomin, 2002).

(1) Из частных когнитивных характеристик используется время реакции выбора. Известно, что индивидуальные различия во времени реакции выбора объясняют около 20% дисперсии значений интеллекта. Было установлено (Posthuma, De Geus, Boomsma, 2001), что связи между временем реакции выбора и значениями вербального и невербального интеллекта объясняются генетическими факторами: обнаружено 22 и 10% общих генов соответственно. Предполагается, что среди общих генов есть отвечающие за миелинизацию аксонов ЦНС (как известно, покрытый миелиновой оболочкой аксон проводит нервный импульс быстрее). К частным когнитивным характеристикам, рассматриваемым в качестве эндофенотипов интеллекта, относится и рабочая память (Wright et al., 2001). Однако отметим, что ни время реакции выбора, ни рабочая память, ни другие психологические параметры, важные для понимания природы интеллектуальных различий, все же не раскрывают путь от генотипа к интеллекту через устройство и функционирование мозга, поскольку не являются непосредственными показателями работы мозга. Кроме того, при использовании этих показателей мы вновь сталкиваемся с упомянутой выше высокой чувствительностью КН к изменению условий эксперимента.

(2) Возможными эндофенотипами считают также параметры функционирования мозга на разных уровнях физиологии, морфологии и биохимии мозга, включая структурные белки, ферменты, гормоны, метаболиты и т.п. (Малых и др., 1998). Исследуются ЭЭГ, скорость проведения нервных импульсов, степень миелинизации нервных волокон

и т.д. Было показано, что с интеллектом коррелирует скорость периферической нервной проводимости (СПНП), размеры мозга (Рийсдийк, Бумсма, 2001). В качестве промежуточных фенотипов интеллекта исследовались амплитудно-временные и топографические характеристики вызванных потенциалов (Марютина, 2007). Однако теоретические обоснования связей этих характеристик с интеллектом, как правило, не вскрывают специфики интеллектуальных способностей. Так, размер мозга соотносится с толщиной миелиновой оболочки, которая может хуже или лучше защищать клетки от влияния соседних нейронов, что, как утверждается, влияет на интеллект. СПНП определяет количественные характеристики трансмиссии белков, а ее ограничение приводит к ограничению скорости переработки информации, что ведет к снижению показателей интеллекта.

Установлена связь общего фактора интеллекта (g фактора) с количеством серого вещества (Thompson et al., 2001). Еще один возможный эндофенотип когнитивных способностей — специфическое расположение структур мозга. Выявляется, что КН структурных характеристик мозга очень высок, особенно во фронтальных, ассоциативных и традиционно речевых зонах (Вернике и Брока). Так, в области срединных лобных структур можно достоверно говорить о КН порядка 0.90—0.95.

Однако эндофенотипы, непосредственно отражающие морфофункциональные характеристики мозга, не учитывают способность к планированию деятельности, применяемые стратегии и другие особенности, существенно влияющие на успешность и скорость решения задач (Егорова и др., 2004), т.е. не учитывают психологическую организацию исследуемого фенотипа (когнитивных способностей). Между эндофенотипами такого рода и интеллектом существует опосредованная связь: эндофенотипы отражают далекий от интеллекта уровень анализа и поэтому не дают целостного представления о пути формирования интеллектуальных функций.

Е. Де Геус с соавторами (De Geus et al., 2001) считают весьма продуктивным использование в качестве эндофенотипов (помимо специальных когнитивных способностей) нейрофизиологических характеристик и результатов непосредственного измерения мозговых структур и их функционирования с помощью ЭЭГ, МРТ и др. (подробный обзор этих исследований см.: Plomin, 2002).

Однако использование нейрофизиологических показателей в исследованиях по генетике поведения приводит к необходимости адаптации методов нейронауки к требованиям психогенетики. Проблема заключается в том, как пишут Р. Пломин и С. Кослин, что нейронауку интересуют в первую очередь общие закономерности, вследствие чего данные, как правило, усредняются и анализируются только средние значения (Plomin, Kosslyn, 2001). Психогенетику, напротив, интересу

разброс индивидуальных показателей, который в ряде методов нейронауки отражает не только индивидуальные особенности, но и недостаточную точность аппаратуры. Это создает существенные трудности в получении достоверных данных. Кроме того, техническая сложность этих методов не позволяет исследовать достаточно большие выборки, необходимые для психогенетического анализа.

На наш взгляд, использование в качестве эндофенотипа нейропсихологических показателей позволит решить все три описанные проблемы: во-первых, подойти к изучению природы интеллекта с учетом его структуры; во-вторых, продвинуться на пути понимания многоуровневой системы мозговых событий, лежащих между экспрессией генов и когнитивными способностями; в-третьих, найти метод оценки функционирования мозговых структур, позволяющий исследовать именно индивидуальные различия. Рассмотрим более подробно, как эти проблемы могут быть решены при нейропсихологическом подходе.

### **1.3. Нейропсихологические факторы как эндофенотипы когнитивных процессов**

Основная теоретическая задача нейропсихологии — изучение мозговой организации психических функций (Лурия, 2008). Подходы к ее решению были заложены еще в начале 1930-х гг. Л.С. Выготским, который писал, что «проблема локализации есть, в сущности, проблема отношения структурных и функциональных единиц в деятельности мозга», и она может быть решена лишь при адекватном понимании «того, что локализуется» (Выготский, 1982, с. 168). Понимание формирования и функционирования ВПФ должно включать принципы социального происхождения, системного строения и динамической организации и локализации психических функций (Выготский, 1982; Лурия, 2008). Эти принципы стали основополагающими для отечественной нейропсихологии (Хомская, 1997, 1999).

Принцип системности заключается в следующем: «Высшая (т.е. прижизненно возникающая, опосредствованная, произвольно регулируемая) психическая функция представляет собой не “психическую способность” — целостное и неразложимое на составные части психологическое явление, а сложную форму психической деятельности, включающую в свой состав движущие мотивы, цели (программу), исполнительные звенья (действия и осуществляемые ими операции) и контролирующие механизмы. Это сложная психологическая система, состоящая из многих звеньев и характеризующаяся определенными параметрами (аспектами)» (Хомская, 1997, с. 80). При этом фенотипически одна и та же психическая функция может реализоваться разными функциональными системами и характеризоваться различными параметрами: в зависимости от стадии онтогенетического развития и конкретной задачи будут образовываться разные функциональные органы.

Анализ этих звеньев и параметров реализации психических функций может раскрыть причины значительного разброса данных психогенетических исследований специальных когнитивных способностей и помочь в понимании причин возрастных изменений КН. В исследованиях М.С. Егоровой с соавторами индивидуальные различия в пространственных способностях в 13 лет определялись генетическими причинами на 30%, а в 16 лет на 52% (Егорова и др., 1995). Это может объясняться не просто подключением новых генов, влияющих на вариативность пространственных способностей, или исключением некоторых источников средового влияния, а изменением самого способа выполнения предложенных задач, перестройкой функционального органа и в итоге перестройкой системы генов, влияющих на индивидуальные различия в успешности решения этих задач. Принципиальным здесь является разработанный в нейропсихологии качественный анализ выполнения задачи: например, неуспех в решении арифметического субтеста может быть обусловлен как невозможностью построения хода решения задачи, так и трудностью расшифровки логико-грамматической конструкции в ее условиях (Лурия, Цветкова, 1972). Понятно, что генетические источники возникновения упомянутых трудностей различны. Таким образом, нейропсихологический подход позволяет преодолеть сложности психогенетических исследований частных когнитивных способностей, которые мы обозначили выше.

Из понимания системности строения ВПФ вытекает, что «с определенными мозговыми структурами следует соотносить не психическую функцию как единое целое, а ее отдельные звенья, параметры (аспекты), реализация которых осуществляется с помощью соответствующих физиологических процессов» (Хомская, 1997, с. 81). Принцип динамической организации и локализации проявляется в описанных выше перестройках функционального органа под влиянием онтогенетических и структурных изменений.

Ключевым для такого анализа является понятие *нейропсихологического фактора*, позволяющее соотнести психологический и морфофизиологический уровень анализа. Нейропсихологический фактор, согласно представлениям А.Р. Лурии, определяется как «морфофункциональная единица деятельности мозга, которая характеризуется определенным принципом работы (*modus operandi*)» (Хомская, Гиндина, 2002, с. 46). «Каждый фактор, составляя звено соответствующей функциональной системы (или нескольких систем одновременно), ответственен за определенное звено (параметр) психических функций, также являющихся системными образованиями» (Хомская, 1999, с. 31). Эта ключевая идея нейропсихологии позволяет говорить одновременно о психологической и физиологической составляющих психической функции. Информация о функционировании некоторого фактора может быть проанализирована на *трех уровнях*: 1) морфологическом — как инфор-

мация о задействованных структурах мозга; 2) физиологическом, или функциональном, — как информация о физиологических процессах, протекающих в данных структурах и объединяющихся в функциональную систему; 3) психологическом — как выделение той роли, которую данный фактор может играть в осуществлении различных психических функций (там же).

Таким образом, исследование нейropsychологических факторов в качестве эндофенотипов позволит одновременно приблизиться и к пониманию структуры интеллектуальных функций, и к пониманию их мозговых основ, опосредующих влияние генотипа на индивидуальные показатели интеллекта.

Важно отметить, что задача изучения социальных и биологических основ нейropsychологических факторов стоит перед нейropsychологией вне зависимости от психогенетических исследований. Е.Д. Хомская приводит ряд оснований для предположения о том, что «нейropsychологические факторы отражают генетические механизмы психической деятельности, т.е. что генотип влияет на психические явления через морфофункциональные образования мозга» (Хомская, 1999, с. 33), и генетический уровень может выступать как *четвертый уровень* анализа факторов. Тогда нейropsychологические факторы становятся единицей анализа не только взаимосвязи мозга и психики, но и генотипа и фенотипа.

Можно предположить, что разные факторы соотносятся с генотипом неодинаково. Л.С. Выготский видел принципиальное отличие в организации специфически человеческих областей мозга (лобных и зон, находящихся на стыке теменно-височно-затылочных областей мозга). Эти зоны более других подвержены социальным влияниям, «экстрацеребральные связи играют ключевую роль в их формировании. «Первоначально все эти функции выступают как тесно связанные с внешней деятельностью и лишь впоследствии как бы уходят внутрь, превращаясь во внутреннюю деятельность» (Выготский, 1982, с. 174). Можно было бы думать, что эти функции зависят в большей степени от среды, и в период формирования это действительно так (см.: Лурия, 2002). Но по мере интериоризации они становятся все более зависимыми от генотипа, поскольку высшие психические функции — многокомпонентные функциональные системы, и возможность их поддержания может быть в значительной мере генетически задана (данные о повышении КН см. выше).

#### **1.4. Нейropsychология нормы: неравномерность развития функций**

Качественный синдромный нейropsychологический анализ, применяемый изначально для исследования больных в клинической практике, успешно адаптируется и используется разными авторами для исследо-



вания индивидуальных различий взрослых и детей (Ахутина, 1998б; Ахутина и др., 2006; Манелис, 1999; Хомская, 2003). Нейропсихология индивидуальных различий, или нейропсихология нормы, становится в настоящее время одним из полноправных разделов нейропсихологии (Хомская, 2003). Базовым для нейропсихологии нормы является понятие *неравномерности развития структурно-функциональных компонентов ВПФ* (факторов).

Из опыта всем известно, что у одного человека (взрослого или ребенка) хорошо развиты зрительное восприятие и память, у другого — слуховые процессы, у третьего — тактильные или двигательные. Эти различия возникают не случайно. Типичная для людей последовательность созревания мозговых структур, обусловленная видовой генетической программой, варьируется под влиянием индивидуальной генетической программы, социальных (средовых) факторов и активности субъекта (Ахутина, 1998а; Ахутина, Пылаева, 2003; Егорова, Марютина, 1992). На основе вероятностного взаимодействия этих факторов происходит структурно-функциональная самоорганизация ВПФ. При этом формирование каких-то групп функций идет более интенсивно, других — менее, что в результате ведет к неравномерности развития отдельных компонентов ВПФ.

Неравномерность развития компонентов ВПФ — явление нормальное, а не патологическое. Высокая внутрииндивидуальная вариативность состояния психических процессов (*uneven development*) отмечается и у взрослых и у детей. Так, Д. Шретлен, исследуя выборку из 197 здоровых испытуемых в возрасте 20—92 лет с помощью 15 нейропсихологических проб, оцениваемых по 32 параметрам, обнаружил, что разница между самой высокой и самой низкой оценкой каждого испытуемого составляла в среднем 3.4 стандартного отклонения при разбросе от 1.6 до 6.1 (Schretlen et al., 2003). Анализ неравномерности функционирования нейропсихологических факторов стал основой нашего экспериментального исследования.

## **2. Экспериментальное исследование индивидуальных различий когнитивных функций в зрелом возрасте**

Нейропсихологический метод в психогенетическом исследовании в нашей стране был впервые применен Е.Д. Хомской и Е.Д. Гиндиной (2002). Анализ соотношения интеллекта и нейропсихологических показателей дан в работе: Diaz-Asper, Schretlen, Pearlson, 2004. Генетические и средовые корреляции интеллекта с показателями нейропсихологических тестов на чтение анализировались в работе М. Уайнрайта с коллегами (Wainwright et al., 2004), однако в ней нейропсихологические показатели никак не соотносились с функционированием мозга.

Мы предприняли попытку реализовать описанные выше принципы и показать, что нейропсихологические факторы могут выступать в ка-

честве эндофенотипов когнитивных процессов, отражая одновременно психологический и морфофизиологический уровень функционирования мозга.

## 2.1. Методика

Использовался близнецовый метод, основанный на сопоставлении сходства монозиготных близнецов со сходством дизиготных близнецов. Такое сопоставление позволяет вычислить влияние генотипа ( $h^2$ ), индивидуальной ( $e^2$ ) и общей ( $c^2$ ) среды на вариативность фенотипической характеристики.

В методику входило: 1) исследование интеллекта (тест Векслера для взрослых) и 2) нейропсихологическое обследование. Последнее осуществлялось с помощью батареи из 20 проб, разработанной в лаборатории нейропсихологии факультета психологии МГУ на основе батареи А.Р. Лурии (Ахутина и др., 1996, 2008).

Оценка *функций программирования и контроля произвольных действий и серийной организации* (III блок, по А.Р. Лурии) осуществлялась с помощью следующих проб (приводятся в порядке предъявления):

1. Ориентировка в месте и времени. 2. Вербальные ассоциации, свободные, направленные (действия, растения). 3. Реакция выбора, две серии: 1) в ответ на один стук стучать два раза, на два стука — один раз; 2) в ответ на один стук стучать два раза, на два стука вообще не стучать. 4. Серийный устный счет (вычитание из 100 по 7). 5. Проба на реципрокную координацию. 6. Проба на динамический праксис. 7. Графическая проба. 8. Графомоторная проба (запись данного предложения и ФИО).

На оценку *функций приема, переработки и хранения информации* (II блок) были направлены следующие пробы:

9. Праксис позы пальцев. 10. Тактильный гнозис. 11. Проба на оценку, повторение, выполнение по инструкции ритмов, серийных и акцентированных. 12. Проба на понимание слов, близких по звучанию (6 стандартных картинок). 13. Проба на понимание семантически близких слов (6 изображений действий). 14. Слухоречевая память (две группы по три слова предъявлялись три раза), отсроченное воспроизведение проверялось после гетерогенной интерференции. 15. Слухоречевая память (5 слов предъявлялись по 5 раз), отсроченное воспроизведение проверялось после гомогенной интерференции. 16. Пробы на зрительный гнозис: а) недорисованные предметы, б) наложенные изображения, в) перечеркнутые предметы, г) слепые часы (без примера с циферблатом). 17. Проба на зрительно-пространственную память (запоминание невербализуемых фигур), отсроченное воспроизведение после пробы на тактильный гнозис. 18. Проба на зрительно-моторную интеграцию (*УМТ*), предъявлялись 5 последних фигур теста.

Для оценки *нейродинамических характеристик* (I блок) использовались таблицы Шульте (5 таблиц по 25 цифр).

Для оценки *латерализации* проводилась проба на определение ведущего глаза, уха и руки.

*Испытуемые.* В исследовании приняли участие 29 пар монозиготных (*MZ*) и 25 пар дизиготных (*DZ*) близнецов в возрасте 43—62 лет (средний возраст 50.3 года). Зиготность определялась по опроснику зиготности (Талызина и др., 1991). Половой состав выборки: женщин *MZ*— 22 пары, *DZ*— 14 пар, мужчин соответственно 7 и 11 пар. Образовательный статус — от неполного среднего до высшего (63% выборки) образования.

*Обработка.* Выполнение каждой нейропсихологической пробы оценивалось по нескольким параметрам в соответствии с принципами качественного анализа. Результаты испытуемых по каждому параметру ранжировались. На основе приведенных в литературе сведений о нейропсихологических факторах (Ахутина и др., 2006; Ахутина, Яблокова, Полонская, 2000; Лурия, 2008) из 117 параметров было отобрано 66, составивших 9 индексов, отражающих функционирование 9 нейропсихологических факторов (нейрофакторов): программирования и контроля, серийной организации, зрительный, зрительно-пространственный, кинестетический, слухоречевой, нейродинамический, левополушарный и правополушарный. Также вычислялся интегральный нейропсихологический показатель.

По результатам теста Векслера вычислялись показатели общего (*IQ*), вербального (*VIQ*) и невербального (*NIQ*) интеллекта. Нормальность их распределений, как и распределений нейроиндексов, проверялась с помощью теста Колмогорова—Смирнова. Далее вычислялись коэффициенты корреляции (по Пирсону) нейроиндексов с показателями интеллекта.

Для показателей интеллекта и нейрофакторов вычислялся КН на основе коэффициента Игнатъева:  $h^2=2(rMZ-rDZ)$ , где  $h^2$  — коэффициент наследуемости,  $rMZ$ ,  $rDZ$  — внутриспарные корреляции. Вычислялась также средовая дисперсия с помощью формул, предложенных Р. Пломином (Равич-Щербо и др., 1999). Влияние общей среды:  $c^2=rMZ-h^2$ . Влияние индивидуальной среды:  $e^2=1-h^2-c^2$ .

## 2.2. Анализ и обсуждение результатов

Проверка с помощью теста Колмогорова—Смирнова обнаружила, что все показатели теста Векслера и все нейроиндексы нормально распределены.

Все корреляции нейроиндексов с *IQ* получились значимыми, хотя и не очень высокими (0.62—0.24) (табл. 1). Это означает, что все нейрофакторы участвуют в формировании показателей интеллекта. Максимальная связь с *IQ* обнаружена у фактора программирования и контроля.

Процент дисперсии вербального и невербального интеллекта, объясняемый каждым из нейрофакторов, представлен в табл. 2. В целом

**Результаты корреляционного анализа (по Пирсону) нейропсихологических индексов и показателей интеллекта**

	III.1	III.2	II.1	II.2	II.3	II.4	I	П	Л	И
<i>VIQ</i>	-.59**	-.25**	-.16	-.30**	-.36**	-.28**	-.21*	-.27**	-.45**	-.49**
<i>NIQ</i>	-.52**	-.32**	-.33**	-.12	-.42**	-.37**	-.42**	-.43**	-.48**	-.61**
<i>IQ</i>	-.62**	-.32*	-.24*	-.25**	-.40**	-.35*	-.31**	-.35**	-.50*	-.59**

*Примечание.* Цифры в шапке таблицы означают нейропсихологические индексы, где первая цифра — блок мозга (по А.Р. Лурии), вторая — его подраздел: III.1 — программирование и контроль, III.2 — серийная организация; II.1 — переработка кинестетической информации, II.2 — слуховой, II.3 — зрительной, II.4 — зрительно-пространственной; I — энергетический блок. Буквами П и Л обозначены право- и левополушарный индексы. И — интегральный индекс.

\*\* — корреляция значима на уровне 0.01; \* — корреляция значима на уровне 0.05.

Таблица 2

**Процент дисперсии показателей вербального (*VIQ*) и невербального (*NIQ*) интеллекта, объясняемый каждым из нейропсихологических факторов**

	III.1	III.2	II.1	II.2	II.3	II.4	I	П	Л
<i>VIQ</i>	34.8	6.3	2.4	9.2	7.8	12.9	4.5	7.1	20.0
<i>NIQ</i>	27.0	10.2	10.9	1.3	13.7	17.8	18.0	18.8	22.6

*Примечание.* Расшифровку обозначений нейропсихологических индексов см. в примечании к табл. 1.

можно отметить, что дисперсия *NIQ* в большей степени объясняется нейрофакторами, чем дисперсия *VIQ*. Это верно для зрительного, зрительно-пространственного, кинестетического факторов и для фактора серийной организации. Фактор программирования и контроля, а также слухоречевой фактор в большей степени определяют дисперсию *VIQ*. Описанные различия в нейропсихологической структуре вербального и невербального интеллекта полностью соответствуют ожиданиям.

Вклады в дисперсию интеллекта полушарных факторов также соответствуют нейропсихологическим представлениям: левополушарный фактор принимает участие в реализации задач на оба вида интеллекта, а правополушарный в первую очередь играет роль в задачах, требующих актуального выполнения пространственных, арифметических или других действий. Возможно, это связано с тем, что данные задачи предъявляют большие требования к симультанному охвату ситуации. Таким образом, нам удалось выявить различия в структурах вербального и невербального интеллекта, и эти различия соответствуют представлениям о роли нейрофакторов в осуществлении психических функций.

**Генетические и средовые компоненты фенотипической дисперсии  
нейропсихологических индексов и показателей структуры интеллекта**

	Компоненты				
	$rMZ$	$rDZ$	$h^2$	$c^2$	$e^2$
<b>А. Нейропсихологические индексы</b>					
Программирование и контроль (III.1)	.60	.45	.30	.30	.40
Серийная организация (III.2)	.59	.06	(.59)	.00	.41
Кинестетический (II.1)	.37	.37	.00	.37	.63
Слухоречевой (II.2)	.36	.10	(.36)	.00	.64
Зрительный (II.3)	.24	.34	—	—	—
Зрительно-пространственный (II.4)	.53	.49	.08	.45	.47
Нейродинамический (I)	.30	.18	.24	.06	.70
<b>Б. Показатели структуры интеллекта</b>					
Вербальный интеллект	.81	0.55	.50	.30	.20
Невербальный интеллект	.75	0.37	.75	.00	.25
Общий интеллект	.84	0.54	.60	.24	.16

*Примечание.* В тех случаях, когда внутриспарное сходство  $MZ$  превышает внутриспарное сходство  $DZ$  более чем в два раза, в качестве показателя наследуемости указывается корреляция  $MZ$ , которая дается в скобках. В тех случаях, когда сходство  $MZ$  меньше сходства  $DZ$ , расчет по приведенным выше формулам производиться не может, и ставится прочерк.

КН общего интеллекта (табл. 3, Б) равен 0.60, что хорошо согласуется с мировыми данными. КН невербального интеллекта (0.75) существенно выше, чем вербального (0.50). Здесь наши данные противоречат усредненным показателям других исследований, что может быть обусловлено следующим. Возраст испытуемых (в среднем 50 лет) расценивается как поздняя зрелость, однако уже в этом возрасте проявляются первые признаки старения. По некоторым данным, старение начинается со сферы невербального интеллекта (Reuter-Lorenz, 2000), тогда как вербальные навыки (чаще используемые и упроченные) сохраняются дольше. Кроме того, показано, что процессы старения затрагивают в первую очередь правополушарные структуры, которые, по общему мнению и по нашим данным, принимают большее участие в выполнении невербальных субтестов.

Для дальнейшего психогенетического анализа был выбран только фактор программирования и контроля (фПК), поскольку он объясняет существенно больший процент дисперсии интеллекта, чем другие факторы. КН этого фактора не очень высок — 0.30 (табл. 3, А). Возможно, это связано с узкой направленностью фПК по сравнению с более интегральными показателями вербального и невербального интеллекта.

Наибольшее влияние на данный фактор оказывает индивидуальная среда (0.40).

Генетические корреляции между нейропсихологическими и интеллектуальными показателями говорят о наличии общей системы генов, которая детерминирует и *нейропсихологический фенотип*, и *некоторую латентную нейрофизиологическую переменную*, включенную в психологический фенотип (интеллект). Согласно нашим расчетам, генетическая корреляция фПК с вербальным интеллектом — 0.87, а с невербальным намного ниже — 0.36, что свидетельствует о значительной роли генотипа в фенотипических связях нейропсихологических факторов с показателями интеллекта.

**3. Заключение.** Итак, нами была теоретически обоснована и эмпирически показана целесообразность использования нейропсихологических показателей в психогенетических исследованиях интеллекта. Рассмотрев фактор программирования и контроля в качестве эндофенотипа, мы нашли различия в структурах вербального и невербального интеллекта. На основе наших данных можно говорить о большей генетической общности этого фактора с вербальным интеллектом, чем с невербальным.

Нейропсихологические показатели представляются нам наиболее подходящими кандидатами на роль эндофенотипов высших психических функций. Мы полагаем перспективным дальнейшее применение нейропсихологического анализа в контексте выявления генетических основ индивидуальных различий когнитивных функций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Ахутина Т.В.* Нейропсихология индивидуальных различий детей как основа использования нейропсихологических методов в школе // I Международная конференция памяти А.Р. Лурия (Москва, 24—26 сентября 1997 г.): Сб. докл. / Под ред. Е.Д. Хомской, Т.В. Ахутиной. М., 1998а. С. 201—208.

*Ахутина Т.В.* Нейролингвистика нормы // I Международная конференция памяти А.Р. Лурия (Москва, 24—26 сентября 1997 г.): Сб. докл. / Под ред. Е.Д. Хомской, Т.В. Ахутиной. М., 1998б. С. 289—298.

*Ахутина Т.В., Бабаева Ю.Д., Корнеев А.А., Кричевец А.Н.* Вариативность письма у первоклассников: системный нейропсихологический анализ // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 14. Психология. 2006. № 3. С. 58—69.

*Ахутина Т.В., Игнатъева С.Ю., Максименко М.Ю. и др.* Методы нейропсихологического обследования детей 6—8 лет // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 14. Психология. 1996. № 2. С. 51—58.

*Ахутина Т.В., Полонская Н.Н., Пылаева Н.М., Максименко М.Ю.* Методики нейропсихологической диагностики детей // Нейропсихологическая диагностика, обследование письма и чтения младших школьников / Под ред. Т.В. Ахутиной, О.Б. Иншаковой. М., 2008. С. 11—75.

*Ахутина Т.В., Пылаева Н.М.* Методология нейропсихологического сопровождения детей с неравномерностью развития психических функций // А.Р. Лурия и психология XXI века: Докл. Второй Международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения А.Р. Лурия / Под ред. Т.В. Ахутиной, Ж.М. Глозман. М., 2003. С. 181—189.

*Ахутина Т.В., Яблокова Л.В., Полонская Н.Н.* Нейропсихологический анализ индивидуальных различий у детей: параметры оценки // Нейропсихология и психофизиология индивидуальных различий / Под ред. Е.Д. Хомской, В.А. Москвина. М.; Оренбург, 2000. С. 132—152.

*Выготский Л.С.* Психология и учение о локализации функций // Выготский Л.С. Собр. соч.: В 6 т. Т. 1. М., 1982. С. 168—174.

*Егорова М.С., Зырянова Н.М., Пьянкова С.Д.* Возрастные изменения генотип-средовых соотношений в показателях интеллекта // Генетика поведения: количественный анализ психологических и психофизиологических признаков в онтогенезе / Под ред. С.Б. Малыха. М., 1995. С. 105—118.

*Егорова М.С., Зырянова О.В., Паришкова О.В. и др.* Генотип, среда, развитие. М., 2004.

*Егорова М.С., Марютина Т.М.* Развитие как предмет психогенетики // Вопр. психологии. 1992. № 5—6. С. 3—14.

*Лурия А.Р.* О природе психологических функций и ее изменчивости в свете генетического анализа // Вопр. психологии. 2002. № 4. С. 4—17.

*Лурия А.Р.* Высшие корковые функции человека. СПб., 2008.

*Лурия А.Р., Цветкова Л.С.* Нейропсихологический анализ решения задач. М., 1972.

*Малых С.Б., Егорова М.С., Мешкова Т.А.* Основы психогенетики. М., 1998.

*Малых С.Б., Егорова М.С., Пьянкова С.Д.* Детерминанты индивидуальных особенностей когнитивных характеристик и психологическая структура деятельности // Психол. журн. 1993. Т. 14. № 5. С. 62—76.

*Манелис Н.Г.* Нейропсихологические закономерности нормального развития // Школа здоровья. 1999. Т. 6. № 1. С. 8—25.

*Марютина Т.М.* Психологические факторы как регуляторы генотип-средовых соотношений // А.Р. Лурия и психология XXI века: Докл. Второй Междунар. конференции, посвященной 100-летию со дня рождения А.Р. Лурия / Под ред. Т.В. Ахутиной, Ж.М. Глозман. М., 2003. С. 331—336.

*Марютина Т.М.* Промежуточные фенотипы интеллекта в контексте генетической психофизиологии // Психология. Журнал ВШЭ. 2007. Т. 4. № 2. С. 22—47.

*Равич-Щербо И.В., Марютина Т.М., Григоренко Е.Л.* Психогенетика. М., 1999.

*Рийсдijk Ф.В., Бумсма Д.И.* Генетическая связь между проводимостью центральной и периферической нервной системы и интеллектом // Иностран. психология. 2001. Вып. 14. С. 24—34.

*Тальзина Н.Ф., Кривцова С.В., Мухаматулина Е.А.* Природа индивидуальных различий: опыт исследования близнецовым методом. М., 1991.

*Хомская Е.Д.* Нейропсихологическая школа А.Р. Лурия // Вопр. психологии. 1997. № 5. С. 79—100.

*Хомская Е.Д.* Изучение биологических и социальных основ психики с позиции нейропсихологии // Вопр. психологии. 1999. № 3. С. 27—37.

*Хомская Е.Д.* Нейропсихологический подход к изучению типологии нормы (современное состояние и перспективы) // А.Р. Лурия и психология XXI века: Доклады Второй Междунар. конференции, посвященной 100-летию со дня рождения А.Р. Лурия / Под ред. Т.В. Ахутиной, Ж.М. Глозман. М., 2003. С. 75—80.

*Хомская Е.Д., Гиндина Е.Д.* Изучение «близнецовой модели» с позиций нейропсихологии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 14. Психология. 2002. № 4. С. 45—60.

*De Geus E.J.C., Wright M.J., Martin N.G., Boomsma D.I.* Genetics of brain function and cognition // Behavior Genetics. 2001. Vol. 31. N 6. P. 489—495.

*Diaz-Asper C.M., Schretlen D.J., Pearlson G.D.* How well does IQ predict neuropsychological test performance in normal adults? // J. of Intern. Neuropsychol. Soc. 2004. Vol. 10. N 1. P. 82—90.

*Gottesman I.I., Gould F.R.C.* The endophenotype concept in psychiatry: etymology and strategic intentions // *Amer. J. of Psychiatry*. 2003. Vol. 160, N 4. P. 636—645.

*Plomin R.* (Ed.) Behavioral genetics in the postgenomic era. Washington, DC, 2002.

*Plomin R., Kosslyn S.M.* Genes, brain and cognition // *Nature Neurosci*. 2001. Vol. 4. N. 12. P. 1153—1154.

*Posthuma D., De Geus E.J.C., Boomsma D.I.* Perceptual speed and IQ are associated through common genetic factors // *Behavior Genetics*. 2001. Vol. 31. N 6. P. 593—602.

*Reuter-Lorenz P.A.* Cognitive neuropsychology of the aging brain // *Cognitive aging: A primer* / Ed. by D.C. Park, N. Schwartz. Philadelphia, PN, 2000. P. 93—114.

*Thompson P.M., Cannon T.D., Lönngqvist J. et al.* Genetic influences on brain structure // *Nature Neurosci*. 2001. Vol. 4. N 12. P. 1253—1258.

*Schretlen D.J., Munro C.A., Anthony J.C., Pearlson G.D.* Examining the range of normal intraindividual variability in neuropsychological test performance // *J. of Intern. Neuropsychol. Soc*. 2003. N 6. P. 864—870.

*Wainwright M., Wright M.J., Geffen G.M.* Genetic and environmental sources of covariance between reading tests used in neuropsychological assessment and IQ subtests // *Behavior Genetics*. 2004. Vol. 34. N 4. P. 365—376.

*Wright M.L., Smith G.A., Geffer G.M. et al.* Genetic of cognition: Outline of a collaborative twin study // *Twin Research*. 2001. Vol. 4. P. 48—56.

Поступила в редакцию

14.12.08