

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

МЕЖПОЛУШАРНЫЕ И ВНУТРИПОЛУШАРНЫЕ
МЕЖМОДАЛЬНЫЕ ПЕРЕШИФРОВКИ
КАК ФАКТОР ВЫРАЖЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ
СПОСОБНОСТЕЙ В ЮНОШЕСКОМ ВОЗРАСТЕ

Н.А. ХОХЛОВ, М.С. КОВЯЗИНА

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Статья посвящена исследованию межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок, эффективность которых обуславливает вариативность математических способностей в юношеском возрасте. Предыдущие исследования авторов показали, что сочетание показателей асимметрий, отражающих неравнозначность полушарий головного мозга в реализации моторных и сенсорных функций, сильнее связано с математическими способностями, чем отдельные латеральные признаки. Это позволило предположить, что математические способности связаны с межполушарным и внутриполушарным межмодальным взаимодействием, на произвольном уровне проявляющемся в способности перешифровывать информацию из одной модальности в другую. В исследовании участвовали 78 здоровых человек в возрасте от 15 до 25 лет ($18,2 \pm 2,9$), из них 24 юноши и 54 девушки с образованием не ниже основного общего (девять классов). Для измерения эффективности межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок использовалась авторская методика, описываемая в статье. Диагностика математических способностей проводилась с помощью теста на математические (арифметические, алгебраические, геометрические способности) «ММАГС-2015». Обнаружено, что компоненты математических способностей связаны с эффективностью межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок. Вариативность нескольких (от двух до четырех) перешифровок позволяет объяснить около четверти дисперсии математических способностей. Для математических способностей в целом наиболее существенной является эффективность перешифровок внутри правого полушария и из правого полушария в левое. Арифметические и алгебраические способности связаны с межполушарными и внутриполушарными межмодальными перешифровками сильнее, чем геометрические. При построении моделей бинарного выбора, предсказывающих наличие высоких или низких математических способностей, вероятность правильного решения составляет от 70 до 84% для разных компонентов математических способностей.

Ключевые слова: математические способности, межмодальное взаимодействие, межполушарные отношения, дифференциальная нейропсихология.

Изучение математической деятельности выявляет множество компонентов математических способностей, которые могут быть выделены на основе разных подходов и классификаций (Крутецкий, 1968; Geary, 1996; Sternberg, Ben-Zeev, 1996). В рамках дифференциальной нейропсихологии предпринимаются попытки выявить различия в мозговом обеспечении психических функций, объясняющие вариативность выраженности этих компонентов.

В наших предыдущих работах (Хохлов, Ковязина, 2013, 2016а) показана связь математических способностей с латеральными признаками и показателями асимметрий, отражающими неравнозначность полушарий головного мозга в реализации моторных и сенсорных функций. Выяснилось, что сочетание асимметрий сильнее связано с математическими способностями, чем асимметрии отдельных анализаторов. Продемонстрировано негативное влияние пе-

рекрестных моторных и сенсорных асимметрий на математические способности (Khokhlov, Kovyazina, 2016). Результаты исследований позволили предположить, что математические способности связаны с межполушарным и внутриполушарным межмодальным взаимодействием. Межмодальное взаимодействие осуществляется на разных уровнях протекания психических процессов и сопровождает всю познавательную деятельность человека. На произвольном уровне оно проявляется в способности перешифровывать информацию из одной модальности в другую. Мы отмечали, что «эффективность определенных межмодальных взаимодействий может стоять за выраженностью тех или иных компонентов математических способностей и обуславливать успешность решения соответствующих типов математических задач» (Хохлов, Ковязина, 2016б, с. 65).

Вариативность элементарных математических представлений создает индивидуальные различия в эффективности обработки числовой информации. Выделяют практогностическую, вербальную, лексическую, графическую, идеогностическую и операциональную формы дискалькулии (Ньюки-ттен, 2010; Рысина, Грибанов, 2011). Все эти расстройства приводят к затруднениям при работе с математической информацией, но механизмы нарушений неодинаковы. В работах Л.С. Цветковой (2003, 2005) показано, что нарушения разных компонентов арифметических действий зависят от локализации мозгового поражения. «Разнообразие клинических проявлений акалькулии при патологии головного мозга определяется прежде всего сложностью нейрофизиологических механизмов обработки количественной информации и осуществления вычислений. Даже способов репрезентации числовой информации известно несколько. Числа могут быть выражены в виде цифр или слов, в устной и письменной форме, а операции с числами включают как их узнавание и непосредственное представление количества, так

и осуществление вычислений» (Григорьева, Ковязина, Тхостов, 2013, с. 211). При отсутствии специфических расстройств успешность способов представления и обработки числовой информации также различается, хотя и не выходит за пределы нормативных значений. Эффективность определенных межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок может выступать благоприятным условием, позволяющим человеку оперировать абстрактной информацией, опираясь на разные анализаторные системы. Некоторые из этих перешифровок могут быть специфичны в отношении математических способностей.

Психофизиологические исследования показывают, что реализация разных компонентов математических способностей связана с ведущей ролью нескольких участков обоих полушарий, а для некоторых компонентов – с эффективностью межполушарного взаимодействия (Разумникова, 2004). Н.В. Дубровинская, Д.А. Фарбер, М.М. Безруких отмечают, что «решение арифметических задач сопровождается формированием функциональных объединений лобных областей с височными отделами левого полушария и теменными – правого, что связано с активизацией речевой памяти (левая височная область) и пространственных синтезов при операциях с цифрами (правая теменная зона)» (Дубровинская, Фарбер, Безруких, 2000, с. 53). Подобная активация наблюдается при исследовании динамики синхронизации значений электроэнцефалограммы в процессе выполнения математических задач (Aydarkin, Fomina, 2013).

Цель нашего исследования состояла в выявлении межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок, эффективность которых обуславливает вариативность математических способностей в юношеском возрасте (15–25 лет). Мы опирались на определение В.А. Крутецкого, предложившего разделять готовность к деятельности и способности. «Полностью соглашаясь с тем, что для успешного

осуществления деятельности совершенно необходимы определенные черты воли и характера, соответствующее отношение к деятельности (интересы, склонности) и т.д., мы вместе с тем пытаемся ограничить понятие собственно способностей в основном сенсорной, умственной и моторной сферами... Весь же “ансамбль”, синтез свойств личности, как значительно более широкое понятие, чем способности, мы предпочитаем называть пригодностью или готовностью к деятельности» (Крутецкий, 1968, с. 89–90). Поскольку профессиональные математики характеризуются не только высоким уровнем математических способностей, но и предрасполагающими к математической деятельности свойствами личности, мы исследовали людей, не занимающихся профессиональной математической деятельностью и не обучающихся по математическим специальностям. На наш взгляд, у таких людей успешность математической деятельности, не будучи сильно связанной с интересами, мотивацией и личностными чертами, в наибольшей степени будет определяться особенностями межанализаторных перешифровок.

ИСПЫТУЕМЫЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании участвовали 78 человек в возрасте от 15 до 25 лет ($18,2 \pm 2,9$), из них 24 юноши и 54 девушки с образованием не ниже основного общего (девять классов). На момент исследования испытуемые не имели неврологических или психиатрических заболеваний, черепно-мозговых травм, сотрясений мозга, нарушений слуха или нескорректированных нарушений зрения.

Для измерения эффективности межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок использовалась авторская методика (Хохлов, Ковязина, 2015, 2016в). Идея подобной методики была заложена А.Р. Лурией (1962), предложившим использовать прием оценки восприятия и воспроизведения ритмических

структур, подаваемых непосредственно или по речевой инструкции. В дальнейшем методика была модифицирована В.И. Насоновой (1979), добавившей в пробу зрительные схемы, графически изображающие требуемые ритмические структуры. Позднее методика была дополнительно модифицирована М.А. Безбородовой (2014), разработавшей систему количественной оценки выполнения заданий. Созданная нами методика предназначена для оценки эффективности внутриполушарных и межполушарных межмодальных перешифровок при участии трех анализаторов – слухового речевого (Р), слухового неречевого (С), зрительного (З). Отдавая себе отчет в том, что у человека существует единый слуховой анализатор, мы используем два различающихся понятия – «слуховой речевой анализатор» и «слуховой неречевой анализатор», учитывая тот факт, что «у человека имеются две относительно самостоятельные слуховые системы: неречевого и речевого слуха» (Хомская и др., 2011, с. 30). Всего измеряются 30 переменных (например, перешифровка из слуховой неречевой модальности с левой стороны в слуховую речевую с левой стороны, из зрительной модальности с правой стороны в слуховую речевую с левой стороны и т.д.). Далее для их обозначения мы используем сокращения из четырех букв, где первая буква обозначает входную модальность, вторая – сторону подачи исходного сигнала, третья – исходящую модальность, в которую производится перешифровка, четвертая – сторону перешифровки. Например, СЛЗП – перешифровка из слуховой неречевой модальности с левой стороны в зрительную с правой стороны. Активность полушарий головного мозга трактуется с учетом контралатерального расположения периферийной части анализатора, соответственно, СПЗЛ – перешифровка из слуховой неречевой модальности в правом полушарии в зрительную в левом полушарии.

Каждая переменная представлена тремя заданиями. Любое задание состоит из ключевого стимула и трех вариантов ответа. Все задания предъявляются последовательно, причем задания каждого типа распределены между началом, серединой и концом методики для нивелирования эффекта вработывания/утомления. Методика выполнена в формате презентации Microsoft Office PowerPoint 2007. Каждый стимул или вариант ответа – один слайд. Стимулы (варианты ответа) бывают трех типов. Первый – слуховая неречевая информация (ритмы), предъявляемая в правое или левое ухо; в другое ухо при этом подается фоновая мелодия для подавления ипсилатерального канала. Стимульный материал был создан в программе Arobas Music Guitar Pro 5.2, для записи ритмов использовался инструмент Side Stick, для записи фоновой мелодии – Acoustic Guitar (steel). Второй – слуховая речевая информация (слова-числительные, обозначающие число ударов в ритмической структуре), предъявляемая в правое или левое ухо; в другое ухо при этом подаются фоновые слова для подавления ипсилатерального канала. Аудиозаписи были созданы с помощью речевого синтезатора КооBAudio 2.1.2.3056, использовался мужской голос (тембр ELAN TTS Russian Nicolai 16Khz). Третий – зрительная информация (точки, расположенные вертикально сверху вниз и обозначающие число ударов в ритмической структуре), предъявляемая справа или слева экрана; с другой стороны при этом предъявляется вертикальная полоска зрительного шума для удаления иконического образа. Время предъявления каждого слайда четко определено и для разных слайдов варьирует от 5 до 8 с (для зрительных стимулов всегда 5 с, для звуковых – 6–8 с в зависимости от длительности аудиозаписи). Выполнение 90 заданий (360 слайдов) занимает около 40 мин.

Перед выполнением методики испытуемый получает следующую инструкцию:

«Вам понадобится воспринимать и опознавать ритмы (ритмические структуры). Один и тот же ритм можно представить в звуковом, речевом и зрительном плане. Например, ритм можно отстукивать, называть (“один-два-один-три-один”) или изобразить точками (• •• ••• • – демонстрируется вертикально сверху вниз на листе бумаги). Вам будут предъявляться различные ритмы, которые сначала надо будет прослушать или просмотреть, а потом узнать среди трех вариантов ответа. Каждое задание будет состоять из четырех слайдов – первый с заданием и далее три варианта ответа, они пронумерованы. На первом слайде с заданием будет написано “СЛУШАЙТЕ” или “СМОТРИТЕ” в зависимости от того, в каком виде будет представлен исходный ритм. Как только вы поймете, какой вариант ответа соответствует исходному ритму, назовите его номер или укажите на него. Отвечать надо быстро, так как задания будут идти одно за другим без пауз. Звуковая информация будет предъявляться с помехами, на которые надо стараться не обращать внимание. Например, в одном наушнике будет звучать ритм, а в другом музыка (в одном наушнике – речевое обозначение ритма, а в другом – слова). Обращайте внимание только на ритм!»

Перед началом выполнения исследователь убеждается, что испытуемый правильно понял инструкцию, при необходимости показывает несколько заданий из разных частей методики в качестве примеров.

По каждой переменной может быть набрано от 0 до 3 баллов (правильных ответов). Результаты обрабатываются с помощью процентильной стандартизации и представляются в z-оценках. Это позволяет компенсировать неодинаковую сложность заданий. На основе получаемых данных вычисляются вторичные показатели, отражающие эффективность перешифровки информации слева направо (ЛП), справа налево (ПЛ), только слева (ЛЛ), только справа (ПП): ЛП: СЛРП + СЛЗП + РЛСП +

РЛЗП + ЗЛРП + ЗЛСП + СЛСП + ЗЛЗП + РЛРП; ПЛ: СПРЛ + СПЗЛ + РПСЛ + РПЗЛ + ЗПРЛ + ЗПСЛ + СПСЛ + ЗПЗЛ + РПРЛ; ЛЛ: СЛРЛ + СЛЗЛ + РЛСЛ + РЛЗЛ + ЗЛРЛ + ЗЛСЛ; ПП: СПРП + СПЗП + РПСП + РПЗП + ЗПРП + ЗПСП. Также вычисляются вторичные показатели, отражающие эффективность перешифровки из одной модальности в другую и в рамках одной модальности: РС: РЛСЛ + РЛСП + РПСЛ + РПСП; СР: СЛРЛ + СЛРП + СПРЛ + СПРП; РЗ: РЛЗЛ + РЛЗП + РПЗЛ + РПЗП; ЗР: ЗЛРЛ + ЗЛРП + ЗПРЛ + ЗПРП; СЗ: СЛЗЛ + СЛЗП + СПЗЛ + СПЗП; ЗС: ЗЛСЛ + ЗЛСП + ЗПСЛ + ЗПСП; РР: РЛРП + РПРЛ; СС: СЛСП + СПСЛ; ЗЗ: ЗЛЗП + ЗПЗЛ. Суммарный показатель эффективности выполнения методики (эффективности всех перешифровок в целом) вычисляется путем сложения значений по 30 первичным переменным. При вычислении вторичных показателей получаемые значения повторно подвергаются процентильной стандартизации и переводятся в z-оценки.

Для диагностики математических способностей использовался тест на математические (арифметические, алгебраические, геометрические) способности «МАОГС-2015» (Хохлов, 2015). Тест представляет собой психометрическую методику, предназначенную для диагностики уровня математических способностей у взрослых и подростков, имеющих образование не ниже основного общего (девять классов). Методика позволяет выявлять уровень развития компонентов математических способностей (арифметических, алгебраических и геометрических), а также определять степень развития математических способностей в целом (шкалы *арифметика*, *алгебра*, *геометрия* и суммарная шкала *математика*). В тест включена дополнительная шкала *внимание*, диагностирующая эффективность работы с информацией и текущую концентрацию на выполнении заданий. Внимание не является компонен-

том математических способностей, однако его измерение дает дополнительную информацию о познавательной деятельности тестируемого. Шкала внимания связана со всеми основными шкалами теста на уровне 0,2–0,3. В исследованиях эта шкала может использоваться как референт, позволяя оценить специфичность связи других характеристик с математическими способностями. Результаты теста по суммарной шкале *математика* коррелируют с успеваемостью по математическим дисциплинам (0,4–0,5), результатами выполнения ЕГЭ по математике (0,337), результатами теста структуры интеллекта Р. Амтхауэра (корреляция с математическим субтестом – 0,692). Шкала *внимание* коррелирует с показателями выполнения корректурной пробы (0,3–0,4). Результаты выполнения теста МАОГС-2015 переводятся в z-оценки на основании нормативов, полученных при его апробации ($N = 185$). Тестирование проводилось с помощью интернет-версии методики на базе платформы «Мастер-тесты» интегрированной системы интернет-сервисов «НТ-Line», предоставленной Инновационным центром «Гуманитарные технологии» (ООО).

Математико-статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью программ IBM SPSS Statistics 22.0.0.0 и RStudio 0.99.903 (использовались пакеты ROCr, gplots, psych).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При обработке результатов сначала были построены регрессионные модели, в которых в качестве независимых переменных выступают первичные 30 переменных, а в качестве зависимых – результаты выполнения теста МАОГС-2015. Во всех случаях отбор значимых предикторов производился путем пошагового отбора в обратном направлении (backward).

Для внимания значимыми предикторами выступают две переменные: 0,313СПСЛ +

0,33РЛРП – 0,105 ($R^2 = 0,211$, скорректированный $R^2 = 0,19$, $p < 0,001$). Для арифметических способностей значимыми предикторами выступают четыре переменные, причем одна из них является негативным предиктором: 0,305СЛЗЛ + 0,296СПРЛ + 0,286СПРП – 0,401РЛЗП + 0,073 ($R^2 = 0,29$, скорректированный $R^2 = 0,251$, $p < 0,001$). Для алгебраических способностей значимыми предикторами выступают три переменные: 0,337РЛСП + 0,313РЛРП + 0,22СЛРЛ + 0,017 ($R^2 = 0,28$, скорректированный $R^2 = 0,25$, $p < 0,001$). Для геометрических способностей значимыми предикторами выступают две переменные: 0,286СЛРЛ + 0,281РЛСП + 0,095 ($R^2 = 0,144$, скорректированный $R^2 = 0,121$, $p = 0,003$). Для математических способностей в целом значимыми предикторами выступают три переменные: 0,315СЛРЛ + 0,279РЛСП + 0,233СЛЗП + 0,064 ($R^2 = 0,28$, скорректированный $R^2 = 0,251$, $p < 0,001$).

Альтернативный способ анализа предполагает использование вторичных показателей выполнения методики в качестве предикторов. Из-за того, что первые четыре показателя (ЛП, ПЛ, ЛЛ, ПП) включают те же переменные, что и последние девять показателей (РС, СР, РЗ, ЗР, СЗ, ЗС, РР, СС, ЗЗ), между ними существуют довольно сильные корреляции. Это создает проблему коллинеарности (параллельности) независимых переменных, поэтому целесообразно проводить раздельный анализ для каждой группы показателей.

При использовании в качестве предикторов показателей эффективности перешифровки информации между полушариями и внутри полушарий были получены следующие результаты. Внимание: 0,333ПЛ – 0,133 ($R^2 = 0,147$, скорректированный $R^2 = 0,136$, $p < 0,001$). Арифметические способности: 0,363ПЛ + 0,066 ($R^2 = 0,142$, скорректированный $R^2 = 0,131$, $p < 0,001$). Алгебраические способности: 0,268ЛП – 0,015 ($R^2 = 0,092$, скорректированный $R^2 = 0,08$, $p = 0,007$). Геометрические способности: 0,247ПП + 0,091 ($R^2 = 0,057$,

скорректированный $R^2 = 0,045$, $p = 0,03$). Математические способности в целом: 0,305ЛП + 0,046 ($R^2 = 0,11$, скорректированный $R^2 = 0,098$, $p = 0,003$).

При использовании в качестве предикторов показателей эффективности перешифровки информации между разными модальностями и внутри одной модальности были получены следующие результаты. Внимание: 0,405РР – 0,115 ($R^2 = 0,165$, скорректированный $R^2 = 0,154$, $p < 0,001$). Арифметические способности: 0,419СР + 0,067 ($R^2 = 0,189$, скорректированный $R^2 = 0,178$, $p < 0,001$). Алгебраические способности: 0,335РР + 0,001 ($R^2 = 0,109$, скорректированный $R^2 = 0,097$, $p = 0,003$). Геометрические способности: 0,259РС + 0,09 ($R^2 = 0,065$, скорректированный $R^2 = 0,052$, $p = 0,02$). Математические способности в целом: 0,325СР + 0,047 ($R^2 = 0,123$, скорректированный $R^2 = 0,112$, $p = 0,002$).

Кроме этого, в качестве предиктора можно использовать суммарный показатель эффективности перешифровок (S). Внимание: 0,294S – 0,136 ($R^2 = 0,12$, скорректированный $R^2 = 0,109$, $p = 0,002$). Арифметические способности: 0,392S + 0,063 ($R^2 = 0,175$, скорректированный $R^2 = 0,164$, $p < 0,001$). Алгебраические способности: 0,262S – 0,017 ($R^2 = 0,092$, скорректированный $R^2 = 0,08$, $p = 0,007$). Геометрические способности с суммарным показателем эффективности выполнения методики не связаны. Математические способности в целом: 0,342S + 0,043 ($R^2 = 0,144$, скорректированный $R^2 = 0,133$, $p < 0,001$).

Другой метод анализа предполагает выделение крайних групп по переменным, соответствующим шкалам теста МААГС-2015, и исследование различий между ними по эффективности межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок. Крайние группы выделялись по критерию выхода за пределы 0,5 стандартного отклонения. При разделении на группы по шкале *внимание* значимые различия отмечались (здесь и

далее по U-критерию Манна–Уитни) по переменным СЛРЛ ($p = 0,045$), СПСЛ ($p = 0,001$), РЛРП ($p = 0,017$), ЛП ($p = 0,045$), ПЛ ($p = 0,001$), ЛЛ ($p = 0,005$), СЗ ($p = 0,031$), РР ($p = 0,004$) и общей эффективности выполнения методики ($p = 0,002$). При разделении на группы по шкале *арифметика* значимые различия отмечались по переменным СЛРЛ ($p = 0,01$), СЛЗЛ ($p = 0,014$), СПРЛ ($p = 0,041$), СПЗЛ ($p = 0,047$), СПРП ($p = 0,009$), РПСЛ ($p = 0,007$), ЛП ($p = 0,015$), ПЛ ($p = 0,001$), ЛЛ ($p = 0,006$), ПП ($p = 0,007$), СР ($p = 0,001$), СЗ ($p = 0,001$), СС ($p = 0,038$) и общей эффективности выполнения методики ($p < 0,001$). При разделении на группы по шкале *алгебра* значимые различия отмечались по переменным СЛРЛ ($p = 0,004$), СЛЗЛ ($p = 0,042$), СЛЗП ($p = 0,007$), СПЗП ($p = 0,034$), РЛСП ($p = 0,002$), ЛП ($p = 0,004$), ЛЛ ($p = 0,03$), ПП ($p = 0,021$), РС ($p = 0,019$), СР ($p = 0,022$), СЗ ($p = 0,002$), РР ($p = 0,017$) и по общей эффективности выполнения методики ($p = 0,004$). При разделении на группы по шкале *геометрия* значимые различия отмечались по переменным СЛРЛ ($p = 0,024$), РЛСП ($p = 0,04$). При разделении на группы по суммарной шкале *математика* значимые различия отмечались по переменным СЛРЛ ($p = 0,003$), СЛЗЛ ($p = 0,014$), СЛЗП ($p = 0,033$), РЛСП ($p = 0,016$), ЛП ($p = 0,02$), ЛЛ ($p = 0,031$), СР ($p = 0,011$), СЗ ($p = 0,004$), РР ($p = 0,031$) и общей эффективности выполнения методики ($p = 0,006$). Во всех случаях преимущество было в высокой группе. Неполное соответствие результатам регрессионного анализа объясняется неодинаковой выраженностью выявляемых связей при разном уровне математических способностей. Сопоставление результатов альтернативных способов анализа данных дает более полную картину исследуемых закономерностей.

Еще один метод анализа предполагает предсказание вероятности попадания в высокую или низкую группу по переменным, получаемым при выполнении теста

МАОГС-2015, путем подгонки данных к логистической кривой. Построенный таким образом линейный классификатор позволяет оценивать апостериорные вероятности принадлежности людей к высокой или низкой группе. При построении моделей логистической регрессии в качестве предикторов подбирались переменные, по которым имелись значимые различия при разделении испытуемых на высокую и низкую группы по соответствующим шкалам теста МАОГС-2015. Далее строились графики зависимости специфичности, чувствительности и общей эффективности классификатора от пороговой вероятности принятия решения. В окрестности точки пересечения графиков выбиралось оптимальное значение вероятности, принимаемое в качестве порога принятия бинарного решения. После этого оценивалось, с какой вероятностью предсказываемые значения совпадают с реальными. Полученные модели приведены в табл.

Полученные результаты указывают на то, что компоненты математических способностей связаны с эффективностью межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок. Некоторые связи носят специфический характер, другие проявляются в отношении нескольких шкал теста МАОГС-2015. Эффективность перешифровки из слуховой неречевой модальности в слуховую речевую в правом полушарии является неспецифическим предиктором и связана со всеми шкалами теста МАОГС-2015, включая внимание. Перешифровка из левого полушария в правое в рамках слуховой неречевой модальности выступает специфичным предиктором внимания. Перешифровки из слуховой неречевой модальности в левом полушарии в речевую и зрительную модальности в правом полушарии, из слуховой неречевой модальности в слуховую речевую модальность в рамках левого полушария и из речевой модальности в левом полушарии в слуховую

Таблица

Модели логистической регрессии

Зависимая переменная (число людей в высокой / низкой группе)	Предикторы			
	Первичные переменные	Вторичные переменные (направление)	Вторичные переменные (модальности)	Общий балл (S)
Внимание (10 / 21)	СЛРЛ, СПСЛ, РЛРП 0,87 $\chi^2 = 12,341$ ($p < 0,001$)	ЛП, ПЛ, ЛЛ 0,84 $\chi^2 = 10,069$ ($p = 0,002$)	СЗ, РР 0,74 $\chi^2 = 5,307$ ($p = 0,02$)	0,81 $\chi^2 = 8,1943$ ($p = 0,004$)
Арифметика (30 / 19)	СЛРЛ, СЛЗЛ, СПРЛ, СПЗЛ, СПРП, РПСЛ 0,73 $\chi^2 = 8,5809$ ($p = 0,003$)	ЛП, ПЛ, ЛЛ, ПП 0,73 $\chi^2 = 8,5809$ ($p = 0,003$)	СР, СЗ, СС 0,71 $\chi^2 = 6,6641$ ($p = 0,009$)	0,84 $\chi^2 = 19$ ($p < 0,001$)
Алгебра (27 / 27)	СЛРЛ, СЛЗЛ, СЛЗП, СПЗП, РЛСП 0,83 $\chi^2 = 21,437$ ($p < 0,001$)	ЛП, ЛЛ, ПП 0,69 $\chi^2 = 6,0082$ ($p = 0,01$)	РС, СР, СЗ, РР 0,72 $\chi^2 = 9,075$ ($p = 0,003$)	0,76 $\chi^2 = 12,536$ ($p < 0,001$)
Геометрия (17 / 20)	СЛРЛ, РЛСП 0,68 $\chi^2 = 3,6049$ ($p = 0,06$)	ПП 0,65 $\chi^2 = 1,9778$ ($p = 0,1596$)	РС 0,62 $\chi^2 = 1,2503$ ($p = 0,26$)	0,7 $\chi^2 = 4,3958$ ($p = 0,04$)
Математика (21 / 18)	СЛРЛ, СЛЗЛ, СЛЗП, РЛСП 0,82 $\chi^2 = 13,413$ ($p < 0,001$)	ЛП, ЛЛ 0,74 $\chi^2 = 7,5269$ ($p = 0,006$)	СР, СЗ, РР 0,77 $\chi^2 = 9,1316$ ($p = 0,003$)	0,69 $\chi^2 = 4,1388$ ($p = 0,04$)

Примечание. В ячейках таблицы сверху вниз – независимые переменные, вероятность правильного бинарного решения, мера связи реальных и предсказанных значений.

неречевую модальность в правом полушарии являются специфичными предикторами арифметических способностей. Перешифровка из слуховой неречевой модальности в зрительную в рамках левого полушария является специфичным предиктором алгебраических способностей. Перешифровка из правого полушария в левое в рамках речевой модальности выступает предиктором внимания и алгебраических способностей. Перешифровка из слуховой неречевой модальности в правом полушарии в зрительную модальность в левом полушарии выступает предиктором алгебраических способностей и математических способностей в целом. Перешифровка из речевой модальности в правом полушарии в слуховую неречевую модальность в левом полушарии является пре-

диктором алгебраических, геометрических и математических способностей в целом. Перешифровка из слуховой неречевой модальности в зрительную в рамках правого полушария имеет значение для арифметических, алгебраических и математических способностей в целом.

В наибольшей степени с межполушарными и внутриполушарными межмодальными перешифровками связаны арифметические и алгебраические способности, в наименьшей – геометрические. На наш взгляд, это связано с большей вариативностью операционального обеспечения геометрической деятельности. Большинство геометрических задач можно решить алгебраическими средствами или с помощью теорем, хранящихся в памяти. Задачи можно решать по-разному в зависимости

от того, какие способы решения наиболее привычны. Альтернативные способы решения обеспечиваются разными компонентами психических функций, соответственно, выявление общих закономерностей становится затруднительным.

Интересно, что для арифметических способностей наиболее значимыми являются перешифровки с участием слуховой речевой модальности, а для алгебраических — с участием речевой модальности. Как для арифметических, так и для алгебраических способностей важны перешифровки информации между полушариями и внутри каждого полушария. При этом для алгебраических способностей не важна перешифровка из левого полушария в правое. Для математических способностей в целом наиболее существенной является эффективность перешифровок внутри правого полушария и из правого полушария в левое.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволило выявить межполушарные и внутриполушарные межмодальные перешифровки, эффективность которых обуславливает вариативность арифметических, алгебраических, геометрических и математических способностей в целом в юношеском возрасте.

Вариативность всего нескольких (от двух до четырех) перешифровок позволяет объяснить около четверти дисперсии математических способностей, причем арифметические и алгебраические способности связаны с межполушарными и внутриполушарными межмодальными перешифровками сильнее, чем геометрические. При использовании в качестве предикторов обобщенных показателей эффективности перешифровки информации между разными модальностями и внутри одной модальности, между двумя полушариями и внутри одного полушария предсказательная способность регрессионных моделей

почти вдвое ниже. Это позволяет говорить о специфичности определенных перешифровок в отношении соответствующих компонентов математических способностей. Наряду с этим существуют неспецифические перешифровки, связанные с несколькими компонентами математических способностей и вниманием.

При построении моделей бинарного выбора, предсказывающих наличие высоких или низких математических способностей, средняя вероятность правильного решения составляет примерно 75%. Арифметические и геометрические способности наиболее успешно предсказываются по общей эффективности межполушарных и внутриполушарных межмодальных перешифровок (84 и 70% соответственно), алгебраические — по пяти перешифровкам (83%), а математические способности в целом — по четырем перешифровкам (82%). Очевидно высокое прикладное значение полученных моделей. Например, для принятия вероятностного решения о том, обладает ли определенный человек высокими или низкими математическими способностями в целом, нужно измерить эффективность четырех межмодальных перешифровок, что занимает не более 10 минут.

Таким образом, межполушарные и внутриполушарные межмодальные перешифровки могут рассматриваться в качестве нейропсихологических показателей развития математических способностей. Для разных компонентов математических способностей вклад различных перешифровок неодинаков.

1. *Безбородова М.А.* Развитие психомоторных способностей младших школьников в учебной деятельности: монография. М.: ФЛИНТА, Наука, 2014. 176 с.
Bezborodova M.A. Razvitie psihomotornykh sposobnostej mladshih shkolnikov v uchebnoj deyatel'nosti: monografiya [Development of psychomotor abilities of younger schoolchildren in educational activity: a monograph]. M.: FLINTA, Nauka, 2014. 176 s.

2. Григорьева В.Н., Ковязина М.С., Тхостов А.Ш. Когнитивная реабилитация больных с инсультом и черепно-мозговой травмой: монография. Н. Новгород: Изд-во Нижегородской государственной медицинской академии, 2013. 324 с.
Grigorieva V.N., Kovязina M.S., Tkhostov A.Sh. Kognitivnaya reabilitatsiya bolnyh s insultom i cherepno-mozgovoј travmoј: monografiya. 2-e izd. [Cognitive rehabilitation of patients with stroke and cranioscerebral trauma: a monograph. 2nd edition]. N. Novgorod: Izd-vo Nizhegorodskoj gosudarstvennoј medicinskoј akademii, 2013. 324 s.
3. Дубровинская Н.В., Фарбер Д.А., Безруких М.М. Психофизиология ребенка: Психофизиологические основы детской валеологии: Учеб. пособ. для студ. высш. учеб. заведений. М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2000. 144 с.
Dubrovinskaya N.V., Farber D.A., Bezrukhikh M.M. Psihofiziologiya rebyonka: Psihofiziologicheskie osnovy detskoј valeologii. Ucheb. posobie dlya stud. Vyssh. Ucheb. zavedenij [Psychophysiology of the child: Psychophysiological foundations of children's valeology: A textbook for universities]. М.: Gumanit. Izd. Tsentр VLADOS, 2000. 144 s.
4. Крутецкий В.А. Психология математических способностей школьников. М.: Просвещение, 1968. 432 с.
Krutetskij V.A. Psihologiya matematicheskikh sposobnostej shkolnikov [Psychology of mathematical abilities of schoolchildren]. М.: Prosveshchenie, 1968. 432 s.
5. Лурия А.Р. Высшие корковые функции и их нарушения при локальных поражениях мозга. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1962. 431 с.
Luria A.R. Vysshie korkovye funkcii i ih narusheniya pri lokalnyh porazheniyah mozga [Higher cortical functions and their disturbances in people with local brain lesions]. М.: Izd-vo MGU, 1962. 431 s.
6. Насонова В.И. Особенности межанализаторных связей и их роль в усвоении навыков чтения и письма детьми с задержкой психического развития // Дефектология. 1979. № 2. С. 17–25.
Nasonova V.I. Osobennosti mezhanalizatornyh svyazej i ih rol v usvoenii navykov chteniya i pisma detmi s zaderzhkoј psihicheskogo razvitiya [Peculiarities of interanalyzer relationships and their role in mastering the skills of reading and writing in children with mental retardation]. // Defektologiya, 1979. N. 2. S. 17–25.
7. Ньюкиктъен Ч. Детская поведенческая неврология: В 2 т. Т. 2 / Под ред. Н.Н. Заваденко. М.: Теревинф, 2010. 336 с.
Njioiktjien C. Detskaya povedencheskaya nevrologiya: V 2 t. T. 2 / Pod red. N.N. Zavadenko [Childhood behavioral neurology]. Moscow: Terevinf, 2010. 336 s.
8. Разумникова О.М. Мышление и функциональная асимметрия мозга. Новосибирск: Изд-во СО РАМН, 2004. 272 с.
Razumnikova O.M. Myshlenie i funktsionalnaya asimmetriya mozga [Thought and the functional asymmetry of the brain]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAMN, 2004. 272 s.
9. Рысина Н.Н., Грибанов А. Понятие о дискалькулии: психофизиологические аспекты (обзор) // Вестн. Северного (Арктического) федерального ун-та. Серия: Естественные науки. 2011. № 1. С. 77–88.
Rysina N.N., Gribanov A. Ponyatie o diskalkulii: psihofiziologicheskie aspekty (obzor) // Vestn. Severnogo (Arkticheskogo) federalnogo un-ta. Seriya: Estestvennyye nauki. 2011. № 1. S. 77–88.
10. Хомская Е.Д. и др. Нейропсихология индивидуальных различий: Учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. образования / Хомская Е.Д., Ефимова И.В., Будыка Е.В., Ениколопова Е.В. М.: Изд. центр «Академия», 2011. 160 с.
Khomsкая E.D., Efimova I.V., Budyka E.V., Enikolopova E.V. Neiropsikhologiya individualnykh razlichij: ucheb. posobie dlya stud. uchrezhdenij vyssh. prof. obrazovaniya / Homskaya E.D., Efimova I.V., Budyka E.V., Enikolopova E.V. M.: Izd. tsentr "Akademiya", 2011. 160 s.
11. Хохлов Н.А. Тест на математические (арифметические, алгебраические, геометрические) способности «МААГС-2015». М.: Генезис, 2015. 80 с.
Khokhlov N.A. Test na matematicheskie (arifmeticheskie, algebraicheskie, geometricheskie) sposobnosti "MAAGS-2015" [Test of mathematical (arithmetic, algebraic, geometric) abilities "MAAGA-2015"]. М.: Genesis, 2015. 80 s.
12. Хохлов Н.А., Ковязина М.С. Латеральные признаки, структурно-уровневые характеристики интеллекта и математические способности // Асимметрия. 2013. Т. 7. № 3. С. 32–52.
Khokhlov N.A., Kovязina M.S. Lateral'nye priznaki, strukturno-urovnevye harakteristiki intellekta i matematicheskie sposobnosti [Lateral signs, structural-level characteristics of intelligence, and mathematical ability] // Asimmetriya. 2013. T. 7. N 3. S. 32–52.
13. Хохлов Н.А., Ковязина М.С. Нейропсихологическая методика оценки эффективности межполушарного и внутриполушарного межмодального взаимодействия в норме и патологии // Мат-лы VII международного конгресса «Нейрореабилитация – 2015». Москва, 2–3 июня 2015 г. М., 2015. С. 435–438.

- Khokhlov N.A., Kovyazina M.S.* Nejropsihologicheskaya metodika ocenki ehffektivnosti mezhpolusharnogo i vnutripolusharnogo mezhmodalnogo vzaimodejstviya v norme i patologii [Neuropsychological method for assessing the effectiveness of interhemispheric and intra-hemispheric intermodal interaction in norm and pathology] // Mat-ly VII mezhdunarodnogo kongressa "Nejroreabilitaciya – 2015". М., 2–3 iyunya 2015 g. М., 2015. S. 435–438.
14. *Хохлов Н.А., Ковязина М.С.* Латеральные признаки и их взаимодействие как фактор выраженности математических способностей в юношеском возрасте // Нац. психол. журн. 2016а. № 3 (23). С. 98–114.
Khokhlov N.A., Kovyazina M.S. Lateralnye priznaki i ih vzaimodejstvie kak faktor vyrazhennosti matematicheskikh sposobnostej v yunosheskom vozraste [Lateral signs and their interaction as a factor in the severity of mathematical abilities in adolescence] // *Nac. Psihol. Zhurn.* 2016. N 3 (23). S. 98–114.
15. *Хохлов Н.А., Ковязина М.С.* Роль межмодального взаимодействия в психологической и мозговой организации математических способностей // Нац. психол. журн. 2016б. № 4 (24). С. 59–70.
Khokhlov N.A., Kovyazina M.S. Rol' mezhmodalnogo vzaimodejstviya v psihologicheskoy i mozgovoj organizacii matematicheskikh sposobnostej [The role of crossmodal interaction in psychological and brain organization of mathematical abilities] // *Nac. Psihol. Zhurn.* 2016. N 4 (24). S. 59–70.
16. *Хохлов Н.А., Ковязина М.С.* Разработка и апробация методики диагностики эффективности межполушарного и внутриполушарного межмодального взаимодействия // Мат-лы Второй Всероссийской конференции с международным участием «Фундаментальные и прикладные проблемы нейронаук: функциональная асимметрия, нейропластичность и нейродегенерация». М.: ФГБНУ НЦН, 2016в. С. 303–312.
Khokhlov N.A., Kovyazina M.S. Razrabotka i aprobaciya metodiki diagnostiki ehffektivnosti mezhpolusharnogo i vnutripolusharnogo mezhmodalnogo vzaimodejstviya [Development and approbation of the methodology for diagnosing the effectiveness of interhemispheric and intra-hemispheric intermodal interaction] // *Mat-ly Vtoroj Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem "Fundamentalnye i prikladnye problemy nejronauk: funkcionalnaya asimmetriya, nejroplastichnost i nejrodegeneraciya"*. М.: FGBNU NTSN, 2016с. S. 303–312.
17. *Цветкова Л.С.* Нарушение и восстановление счета при локальных поражениях мозга: Учеб. пособ. М.: Изд-во Моск. психолого-социального ин-та; Воронеж: МОДЭК, 2003. 112 с.
Tsvetkova L.S. Narushenie i vosstanovlenie schyota pri lokalnyh porazheniyah mozga: Uchebnoye posobie. [The impairment and restoration of counting in people with local brain lesions: A textbook. 2nd edition]. М.: Izd-vo Mosk. psihologo-socialnogo in-ta; Voronezh: MODEK, 2003. 112 s.
18. *Цветкова Л.С.* Нейропсихология счета, письма и чтения: нарушение и восстановление: Учеб. пособ. М.: Изд-во Моск. психолого-социального ин-та; Воронеж: МОДЭК, 2005. 360 с.
Tsvetkova L.S. Nejropsihologiya schyota, pisma i chteniya: narushenie i vosstanovlenie: Ucheb posob. [Neuropsychology of counting, writing and reading: impairment and restoration: A textbook]. М.: Izd-vo Mosk. psihologo-socialnogo in-ta; Voronezh: MODEK, 2005. 360 s.
19. *Aydarkin E.K., Fomina A.S.* Neurophysiological mechanisms of complex arithmetic task solving // *J. Integrative Neurosci.* 2013. V. 12 (1). P. 73–89.
20. *Geary D.C.* Children's mathematical development: Research and practical applications. Washington, DC: American Psychological Association, 1996. 315 p.
21. *Khokhlov N.A., Kovyazina M.S.* The discrepancy of the asymmetries of different analyzers reduces mathematical abilities in adolescence // *Acta Neuropsychol.* 2016. V. 14 (3). P. 231–240.
22. *Sternberg R.J., Ben-Zeev T.* (eds). The nature of mathematical thinking. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1996. 352 p.