

П.П. Григгал^{1,2}, Н.И. Хорсева³

¹ Московский физико-технический институт (государственный университет)

² Институт возрастной физиологии РАО

³ Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН

Десятипальцевый хаотичный теппинг: возрастные особенности мелкой моторики руки детей

Описан разработанный нами метод компьютерной диагностики мелкой моторики руки (Патент РФ №2314743, приоритет от 11.04.2006): «десятипальцевый хаотичный теппинг», его ретестовая надёжность и валидность (соответствие показателей теста (психодиагностической методики) тем показателям, которые получаются при помощи других тестов [1]). С помощью данного метода были выявлены и количественно описаны возрастные особенности мелкой моторики руки детей 5–14 лет и взрослых. В частности, впервые количественно оценены уровни ригидных зажимов и синкинезий.

Ключевые слова: компьютерная диагностика, свойства мелкой моторики руки, десятипальцевый хаотичный теппинг, тестирование, возрастные группы.

1. Введение

Свойства мелкой моторики руки (ММР) у каждого человека индивидуальны. К проявлениям ММР относятся письмо (почерк) и рисование, манера работы на клавиатуре или игры на музыкальных инструментах, манипуляции с различными мелкими предметами и т. п.

В настоящее время диагностика мелкой моторики руки основана на сборе и анализе фактов, отражающих уровень развития различных аспектов мануальной деятельности [1, 2, 6]. В процессе выполнения мануальных заданий — рисования, копирования, дорисовывания объектов и т. д. — испытуемый выполняет движения рукой, которые оценивает сам экспериментатор, фиксируя показатели выполнения заданий в опросных листах. К сожалению, в данном случае оценки параметров (неровность линий, скорость проведения линий и т. п.) носят субъективный качественный характер и дают адекватный результат только при наличии значительного опыта у использующего их специалиста.

Применение компьютерных технологий позволяет снизить роль субъективного фактора.

Известен способ диагностики нервно-психического развития детей [5], включающий тестирование мелкой моторики руки. В процессе тестирования использует-

ся различный диагностический материал (игрушки, карандаши, пластилин, ножницы). Оценку качества выполнения тестов проводят по семибальной шкале с последующей компьютерной обработкой результатов тестирования с использованием программы, позволяющей определять состояние испытуемого на основе количественных оценок. Однако и в этом случае на этапе тестирования присутствует субъективная оценка, поскольку качество выполняемых тестов и балльную оценку осуществляет экспериментатор.

Компьютерный унимануальный вариант теппинг-теста для определения скоростных характеристик двигательного аппарата и устойчивости моторных функций с целью оценки ряда нейропсихологических параметров (сила/слабость нервной системы, тип моторной асимметрии мозга) [8] является одним из распространённых вариантов автоматизированных теппинг-тестов [10, 12]. Данный метод позволяет регистрировать частоту (скорость) движений, равномерность, ритмичность, изменение этих показателей за установленные интервалы времени, «эффект ускорения», то есть отношение частоты движений в ускоренном режиме к частоте движений в оптимальном режиме, и на основе однофакторного дисперсионного анализа определять скоростные характеристики двигательного аппарата и устойчивость

моторных функций. Однако теппинг-тест не даёт возможность получить комплексную информацию о движении пальцев, поскольку основное движение, совершаемое испытуемым, — это движение кисти.

Отдельные элементы диагностики мелкой моторики руки входят в качестве составной части способов оценки и контроля особенностей нейропсихологического статуса человека. Объём информации о состоянии мелкой моторики руки, получаемый при проведении таких исследований, определяемый конкретной задачей и методическими подходами к его осуществлению, как правило, ограничен.

Большое разнообразие методов, позволяющих в той или иной мере оценить уровень развития двигательных навыков и, в частности, уровень развития мелкой моторики руки, обусловлено тем, что он напрямую связан с развитием межполушарной специализации и межполушарного взаимодействия, и, как следствие, с развитием речи, памяти, внимания и других когнитивных показателей. Известно, что формирование в онтогенезе различных когнитивных и моторных функций связано между собой [7, 11] и определяется уровнем развития структур головного мозга человека, поэтому представляется актуальным вопрос о том, какие качественные и количественные изменения происходят с ней в процессе роста и развития ребёнка.

Для характеристики ММР нами был предложен компьютеризированный вариант десятипальцевого хаотичного теппинг-теста (Патент РФ № 2314743, приоритет от 11.04.2006), позволяющий регистрировать более 20 показателей. В отличие от традиционных разновидностей теппинга, наш метод предусматривает работу всех пальцев. В настоящей статье приводятся результаты исследования некоторых из этих показателей и оценка возрастных норм для них.

II. Материалы и методы

Метод компьютерной диагностики мелкой моторики руки (десятипальцевый хаотичный теппинг) реализуется на обычном персональном компьютере с качественной клавиатурой (клавиши не должны залипать или нажиматься со значительным усилием) и специальным программ-

ным обеспечением. Испытуемому помогают принять комфортное положение, так чтобы клавиатура тестирующего устройства находилась на уровне локтевого сгиба на горизонтальной поверхности без наклона, руки свободно лежали на столешнице, а ноги касались опоры. Комфортная поза испытуемого во время тестирования является важным условием, поскольку позволяет адекватно определить количественные характеристики движения пальцев и кистей рук, не искажённые возможными напряжениями, связанными с неудобным положением рук или туловища.

Тестируемому предлагают положить руки свободно на клавиатуру и выбрать такое расположение пальцев на клавишах, при котором его руки наиболее расслаблены (возможен также выбор из ряда предложенных вариантов), причём каждому пальцу должна соответствовать отдельная клавиша. Выбранный алгоритм расположения пальцев вводят в программу, присваивая каждому пальцу номер (i), который сохраняют неизменным во время диагностики. Пальцы нумеруют от 1 до 10, начиная с мизинца левой руки и кончая мизинцем правой (мизинец левой руки — 1, безымянный палец левой руки — 2, ... большой палец левой руки — 5, большой палец правой руки — 6... и т. д.). Повышение информативности предложенного нами метода диагностики мелкой моторики руки обеспечивается специальным выбором субтестов. Испытуемый поочередно выполняет следующие субтесты — каждой рукой отдельно, двумя руками одновременно — при обычном и перекрещенном положениях. Продолжительность каждого субтеста составляет 30 секунд. Последовательность выполнения тестов определяет сам испытуемый, но наиболее предпочтительной оказывается последовательность, представленная на рис. 1: сначала обе руки в обычном положении, затем каждая по отдельности, и в конце теста — обе руки в перекрещенном положении. При выполнении субтестов экспериментатор может зафиксировать вспомогательную информацию — относительное расположение рук при перекрещенном положении (какая рука сверху), изменение позы испытуемого во время выполнения заданий, наличие статических и динамиче-

ских синкинезий, вербальное сопровождение и пр.

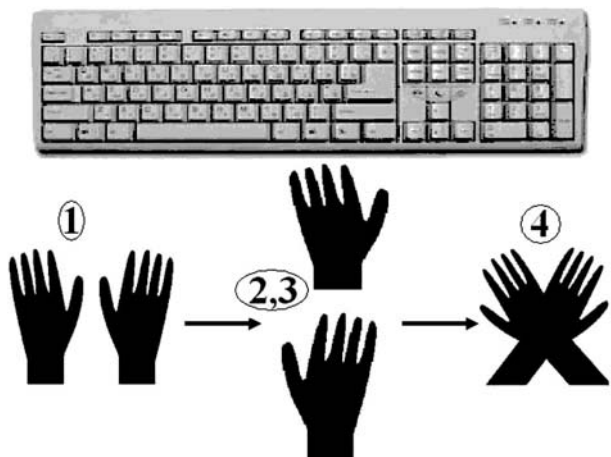


Рис. 1. Схема положения рук при работе на клавиатуре в четырёх субтестах. 1 — работа руками в нормальном положении, 2 и 3 — работа каждой рукой по отдельности (порядок определяет сам испытуемый, экспериментатор лишь фиксирует его), 4 — работа руками в перекрещенном положении

Предлагаемый набор субтестов выбран таким образом, чтобы в максимальной степени отразить функциональное состояние моторных зон коры головного мозга. Выполнение субтестов каждой рукой отдельно даёт информацию о состоянии моторных зон коры правого и левого полушарий, а выполнение субтестов обеими руками одновременно, расположенными в обычном и перекрещенном положениях, — межполушарные взаимодействия, в частности, функциональное состояние мозолистого тела головного мозга. Таким образом, набор субтестов, используемых в осуществлении предлагаемого способа, комплексно отражает функциональное состояние моторной зоны коры головного мозга и межполушарных связей.

Перед началом тестирования в компьютер вводят личные данные испытуемого, после чего испытуемый, расположив пальцы в соответствии с выбранным алгоритмом, в произвольном порядке нажимает на выбранные клавиши в течение заданного времени тестирования. Испытуемый поочередно выполняет все субтесты — каждой рукой отдельно, двумя руками одновременно — при обычном и перекрещенном положениях.

Нажатия пальцев автоматически регистрируются в памяти компьютера в форме количественных характеристик двигатель-

ной активности, включающих время выполнения каждого нажатия (от начала эксперимента) и его длительность. Контроль за качеством выполнения теста осуществляется с помощью «коэффициента ошибок», равного отношению количества нажатий, сделанных по выбранным десяти клавишам, к общему количеству нажатий на все клавиши клавиатуры за время теста. Таким образом, равное 1 значение этого коэффициента соответствует выполнению теста без промахов, а чем чаще испытуемый попадал мимо выбранных клавиш, тем меньше становился коэффициент. Следует отметить, что в связи со сложностью выполнения теста для маленьких детей значения коэффициента ошибок различаются в разных возрастных группах.

Последующая компьютерная обработка характеристик двигательной активности позволяет представить полученные результаты в форме числовых значений диагностических параметров состояния мелкой моторики руки и в графическом виде. Диагностическое заключение делают по результатам сравнения полученных числовых значений диагностических параметров состояния мелкой моторики руки со значениями, соответствующими норме или разным степеням отклонения от нормы.

На основе зафиксированных количественных характеристик движений программой рассчитываются следующие показатели двигательной активности:

1) суммарное количество нажатий каждым i -м пальцем N_i и суммарное количество нажатий всеми пальцами N_0 ;

2) долевая активность пальцев α_i — отношение количества нажатий каждым пальцем к суммарному количеству нажатий всеми пальцами:

$$\alpha_i = \frac{N_i}{N_0};$$

3) частота нажатий для каждого пальца ν_i — количество нажатий за время всего эксперимента, делённое на всё время эксперимента T_0 :

$$\nu_i = \frac{N_i}{T_0};$$

4) суммарное количество нажатий пальцами правой и левой руки: $N_{\text{пр}}$ и $N_{\text{лев}}$;

5) доля нажатий, приходящаяся на каждую руку:

$$\beta_{\text{пр}} = \frac{N_{\text{пр}}}{N_0}, \quad \beta_{\text{лев}} = \frac{N_{\text{лев}}}{N_0};$$

6) количество ригидных зажимов Z_i , приходящееся на каждый палец;

7) максимальную продолжительность удерживания клавиши в нажатом состоянии для каждого пальца Tm_i ;

8) суммарную продолжительность удерживания клавиши в нажатом состоянии каждым пальцем Tz_i ;

9) количество синкинезий для каждой руки S_r и S_l , то есть количество «синхронных» нажатий различными пальцами.

На основании показателей двигательной активности 1–9 программа рассчитывает количественные оценки следующих диагностических параметров состояния мелкой моторики руки: вовлеченность пальцев (I_f) (характеризует участие в двигательной активности кисти руки всех пальцев); ригидность (R) (отражает функциональное состояние скелетных мышц и характеризует состояние их тонуса и сопротивляемость деформирующим усилиям — ригидные зажимы); количество синкинезий (S) (непроизвольные синхронные движения пальцев, которые являются признаком недостаточной дифференцированности движений, когда при выполнении требуемого движения включаются ненужные для него мышцы); вовлеченность рук (I_h) (характеризует участие в двигательной активности каждой руки и указывает на явные или скрытые латеральные предпочтения, в данном случае — мануальные [8]).

Дополнительно программа рассчитывает параметр «переключение», характеризующий уровень развития мелких мышц кисти руки и скоординированность движений пальцев. Этот параметр программа представляет в графической форме в виде ритм-диаграмм и матриц переключений.

Сравнение полученных величин со значениями, соответствующими возрастной норме или различным степеням отклонения от нормы, позволяет объективно оценить состояние мелкой моторики.

Параллельно с десятипальцевым хаотичным тепшингом проводилась комплексная диагностика психофизиологических

показателей каждого испытуемого с помощью автоматизированного рабочего места (АРМ) психофизиолога и оценён его нейропсихологический статус [9]. В дальнейшем эти данные были использованы для проверки валидности предложенного метода диагностики ММР.

Было обследовано более 300 детей в возрасте 4–14 лет и 30 взрослых. Для определения возрастных норм регистрируемых показателей ММР были отобраны результаты тех детей, у которых по данным комплексной диагностики не были зарегистрированы отклонения ни в психофизиологических показателях, ни в нейропсихологическом статусе.

Для выявления ретестовой надёжности метода было проведено ежедневное мониторинговое наблюдение показателей мелкой моторики руки 14 испытуемыми (10 человек — от 2 недель до месяца, 4 человека — от 3 месяцев и более).

III. Результаты и их обсуждение

Установлена высокая диагностическая достоверность предлагаемого метода диагностики ММР (валидность). При сопоставлении результатов, полученных с помощью предложенного нами метода, и результатов, полученных при проведении комплексной диагностики, осуществлённой с помощью автоматизированного рабочего места психофизиолога, получены достоверные корреляционные связи между следующими показателями:

— работоспособность (наличные или потенциальные возможности человека выполнять целесообразную деятельность на заданном уровне [1]) каждой руки (подвижности кисти), определённую с помощью тепшинг-теста на АРМ, с числом нажатий для каждой руки в тесте (для правой руки коэффициент корреляции $r = 0,88971 \pm 0,009$; для левой руки $r = 0,783 \pm 0,0127$);

— количество ригидных зажимов со средним временем длительного удерживания клавиши ($r = 0,6907 \pm 0,0179$);

— нарушение фонематического восприятия (уровень логопедических затруднений [4]), определённых с помощью АРМ [9], с числом ригидных зажимов ($r = 0,794 \pm 0,0159$);

— латеральных (мануальных) предпочтений, определённых данным методом (доля нажатий, пришедшихся на каждую руку) и в результате комплексной диагностики на АРМ и бланковых методов [6, 8, 9] ($r = 0,987 \pm 0,0102$).

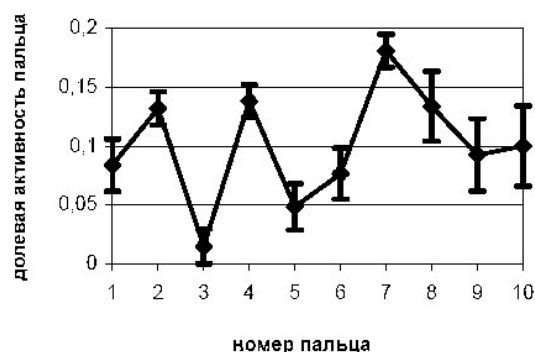
Показано, что предлагаемый способ диагностики мелкой моторики руки имеет высокую ретестовую надежность. Коэффициент константности для показателя «долевая активность» каждого пальца в повторных экспериментах, в том числе при проведении исследований разными экспериментаторами и на разных типах персональных компьютеров, в малом временном промежутке — неделя и более — колеблется в пределах 0,9–0,95, при ежедневном наблюдении в течение 4 месяцев и более — в пределах 0,7–0,8.

Известно, что наличие и количество синкинезий и ригидных мышечных зажимов могут служить патологическими знаками «подкоркового» происхождения, указывающими на нарушение развития ребёнка и в первую очередь его речевой деятельности [6]. Выявление и регистрация синкинезий в настоящее время осуществляется только с помощью теста, предусматривающего визуальное наблюдение за его выполнением и который может осуществляться только высококвалифицированным специалистом [3], а диагностирование ригидных зажимов — с помощью рисуночных тестов, которые могут только выявить наличие ригидных зажимов без качественной и количественной оценки.

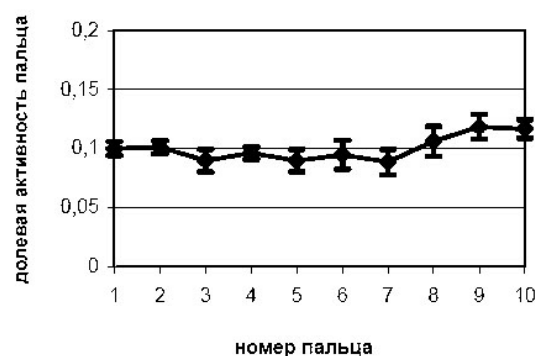
Впервые с помощью разработанного нами способа диагностики мелкой моторики руки были количественно охарактеризованы показатели ригидных зажимов и синкинезий.

Поскольку показатель ригидность R отражает функциональное состояние скелетных мышц и характеризует состояние их тонуса и сопротивляемость деформирующим усилиям (ригидные зажимы), определено время (t) максимального удерживания клавиши в нажатом положении при выполнении теста, после которого программно регистрируется наличие ригидного зажима. Чем выше параметр «ригидность», тем выше вероятность наличия у ребенка нарушения фонематического восприятия и, как следствие, логопедических затруднений как в устной речи, так и на

письме, что и было подтверждено при сопоставлении данных компьютерной диагностики ММР и комплексного обследования с помощью АРМ психофизиолога.



а)



б)



в)

Рис. 2. Усреднённые моторные профили (долевые) для троих испытуемых: а) и б) — мужчины, 27 и 22 года, период мониторингования — январь–май 2005 года, в) — девушка, 15 лет, период мониторингования — август–октябрь 2005 года

Синкинезии являются признаком недостаточной дифференцированности движений, когда при выполнении требуемого движения включаются ненужные для него мышцы. Программа позволяет регистрировать синкинезии как практически одновременные нажатия разных клавиш пальцами одной руки. Критерий «одновременности» — временной порог — это минимальное время (в миллисекундах) между последовательными нажатиями, превыше-

ние которого программно регистрируются синкинезии.

Итак, впервые нами определены возрастные критерии допустимого наличия ригидных зажимов и синкинезий для детей разных возрастных групп (табл. 1).

Результаты ежедневного мониторинга мелкой моторики руки показывают высокую стабильность моторного профиля у взрослых (рис. 2), чётко сохраняет форму, что делает усреднённые за некоторый период времени профили сугубо индивидуальными. При длительном мониторинге мелкой моторики руки ребенка профиль менее стабилен, что может быть связано с процессами становления моторных навыков у детей.

Подтверждением этого могут служить возрастные изменения числа нажатий при выполнении всех четырёх субтестов. В частности, установлено ежегодное увеличение общего числа нажатий в 1,5–3 раза при выполнении субтеста обеими руками в нормальном положении и в 1,2–2,3 раза при выполнении субтеста обеими руками в перекрещенном положении для детей 5–10 лет. Затем прирост числа нажатий несколько снижается и к 14–15 годам достигает уровня взрослого человека. При выполнении субтестов каждой рукой отдельно наблюдалась другая закономерность. Так, в группе дошкольников

(5,5–6 лет) число нажатий одной рукой (как правило, ведущей рукой) в 40% случаев превосходило число нажатий обеими руками, у детей 7–7,5 лет (первоклассники) — этот процент был существенно ниже — 17,6% и полностью отсутствовал в группе детей старше 8 лет. Можно предположить, что данная динамика отражает формирование бимануальных навыков: маленькому ребёнку гораздо легче выполнять хаотичный теппинг одной рукой, чем двумя. Кроме того, нередко при выполнении субтеста обеими руками усиливается визуальный контроль со стороны ребенка (особенно это характерно для детей 5–7 лет) за правильностью выполнения задания, что нередко приводит к снижению числа нажатий.

Таким образом, с помощью разработанного нами способа удалось выявить возрастные изменения мелкой моторики руки и количественно их описать: впервые описаны особенности формирования бимануальных навыков, моторного профиля и количественно оценены уровни ригидных зажимов и синкинезий.

В настоящее время данный метод используется как составная часть комплексной диагностики психофизических показателей и нейропсихологического статуса детей и подростков.

Т а б л и ц а 1

Возрастные нормы значений временных порогов для синкинезий, ригидных зажимов (ригидность) и максимально допустимого числа синкинезий

Возрастной диапазон, лет	Синкинезии		
	Ригидность Порог, мс	Порог, мс	Количество синкинезий по 4-м субтестам
От 4 лет до 4 лет 11 мес	500	25	30
От 5 лет до 5 лет 11 мес	450	20	20
От 6 лет до 6 лет 11 мес	400	15	15
От 7 лет до 7 лет 11 мес	350	10	10
От 8 лет до 8 лет 11 мес	300	7	4
от 9 до 11 лет	250	5	0
от 11 до 14 лет	200	5	0
старше 14 лет	100	5	0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анастаси А., Урбина С. Психологическое тестирование. — СПб.: Питер, 2001. — С. 688.

2. Борисова Е.М. Современные тенденции развития психодиагностики // Прикладная психология. — 1997. — № 1. — С. 65–67.

3. Винтаева Т.С. Коррекция мелкой моторики в связи с развитием сенсомо-

торного компонента речи у первоклассников с нарушениями интеллекта // Автореферат диссертации на соискание степени к. п. н. — М.: Моск. Гос. Открытый пед. Ун-т им. М.А. Шолохова, 2002.

4. *Надёжина Н.В.* Методика совершенствования координационных способностей у детей 5–6 лет с общим недоразвитием речи // Автореферат диссертации к. п. н. — Волгоград, 2007.

5. Патент РФ 2171625 на изобретение «Способ диагностики отклонений нервно-психического развития детей».

6. *Семенович А.В.* Нейропсихологическая диагностика и коррекция в детском возрасте. — М.: Академия. — 2002.

7. *Фотекова Т.А., Ахутина Т.В.* Диагностика речевых нарушений школьников с использованием нейропсихологических методов: Пособие для логопедов и психологов. — М.: АРКТИ, 1999.

8. *Хомская Е.Д., Ефимова И.В., Будыка Е.В., Ениколопова Е.В.* Нейропсихология индивидуальных различий. — М.: Российское педагогическое агентство, 1997.

9. *Хорсева Н.И.* Экологическое значение естественных электромагнитных полей в период внутриутробного развития человека // Диссертация к. б. н. — М., 2004.

10. *Andres F.G., Mima T., Schulman A.E., Dichgans J., Hallett M., Gerloff C.* Functional coupling of human cortical sensorimotor areas during bimanual skill acquisition // *Brain*. — 1999. — V. 122. — P. 855–870.

11. *Nagarajan S., Mahncke H., Salz T., Tallal P., Roberts T., Merzenich M.M.* Cortical auditory signal processing in poor readers // *PNAS*. — 1999. — V. 96. — P. 6483–6488.

12. *Rhodes B.J., Bullock D., Verwey W.B., Averbach B.B., Page M.P.A.* Learning and production of movement sequences: Behavioral, neurophysiological, and modeling perspectives // *Human Movement Science*. — 2004. — V. 23. — P. 699–746.

Поступила в редакцию 27.01.2008.