

МЕТОДЫ ТОЧНЫХ НАУК В ИЗУЧЕНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НОРМАЛЬНО РАЗВИВАЮЩИХСЯ ДЕТЕЙ И ИХ СВЕРСТНИКОВ С РЕЧЕВЫМИ РАССТРОЙСТВАМИ

На группах нормально развивающихся первоклассников и их сверстников с клинически верифицированными речевыми нарушениями эмпирически проверялась роль темпоральной организации гетеромодальных сенсорных цепей, в структуре которых присутствует в разной степени детерминированный слабый хаос, в формировании скоростных сенсомоторных реакций. На этих же детях рассматривался вклад регуляторных процессов, управляющих ритмической активностью сердца, в обеспечение различной эффективности интеллектуальной деятельности. Результаты применения концепции динамических фракталов позволили обнаружить ряд инвариантных параметров сенсомоторного реагирования у всех испытуемых, что проявилось в положительной корреляции интеллектуальной продуктивности и стабильности сенсомоторных реакций. Теория самоорганизованной критичности позволила определить возрастные инварианты процессов регуляции когнитивной деятельности. К числу последних относится мобилизационный характер адаптации субъекта к интеллектуальной деятельности, более выраженный у первоклассников с речевыми нарушениями.

Интеллектуальная деятельность человека является пограничной научной областью, так как результаты экспериментирования с когнитивной сферой активно используются в системе психолого-педагогических и гуманитарных знаний и при разработке искусственного интеллекта и систем дальней связи. В свою очередь ни одна область психологии не впитала в себя такое количество моделей и исследовательских технологий, как когнитивная психология и психофизиология.

Однако, как показывает практика выполнения исследовательских тем, которые объединяют в себе подходы, категории и методы разных наук, существует определенная сложность адаптации языка

и экспериментальных подходов, разработанных в физике и химии, которые адресованы более простым в структурном отношении системам с относительно линейной динамикой, чем живые организмы, характеризующиеся наличием непредсказуемого поведения в связи с развитием субъективных факторов.

Психофизиология на современном этапе своего развития может быть яркой иллюстрацией объективных трудностей внедрения в исследовательскую практику идеологии точных наук. Психофизика и психофизиология имеет небольшое число эмпирических законов, сформулированных по канонам точных наук. В качестве примера можно привести законы Фехнера и Стивенса, которые отображают прин-

ципиальную нелинейность соотношения субъективного опыта и физических параметров внешних раздражителей. Ситуация изменилась в последние 10 лет с появлением в математике, физике и биологии способов описания нелинейных процессов в открытых интерактивных системах, к которым с полным правом относятся психофизиологические механизмы, обеспечивающие интеллектуальную деятельность человека.

На кафедре психофизиологии ребенка проводятся исследования когнитивной активности детей и взрослых, которые частично финансируются из фонда программы «Фундаментальные исследования высшей школы в области естественных и гуманитарных наук. Университеты России». Выполнение указанных разработок опиралось на включение в экспериментальные методы математических подходов, применяемых в физике нелинейных систем.

Проблема интеллектуального развития и деятельности, а также нормы-патологии функционирования интеллектуальной системы остается на современном этапе развития науки одной из наиболее интересных и разрабатываемых проблем. Несмотря на достаточно большое количество как отечественных, так и разработанных за рубежом моделей развития интеллекта¹, до сих пор нет единой точки зрения на природу формирования когнитивных способностей человека, на соотношение физиологических, психологических и социальных факторов в обеспечении интеллектуальной деятельности.

В отечественной психологии интеллектуальное развитие и когнитивная деятельность традиционно рассматриваются в русле идей, высказанных Л. С. Выготским² в контексте концепции культурно-исторического развития, согласно которой интеллектуальная деятельность формируется посредством интериоризации результатов общения и

усвоения предметно-практической системы операций.

Однако известно, что базой нормативно функционирующей интеллектуальной системы являются полноценные физиологические и психологические процессы³, природа которых остается до конца не выявленной.

В психологических и психофизиологических работах последних лет сложилось представление о том, что функционирование интеллектуальной системы человека опирается на несколько базовых принципов и механизмов, среди которых наиболее изучены скоростные возможности восприятия и обработки сенсорной информации и организации ответных реакций⁴⁻⁶. Однако вопрос о конкретных психофизиологических механизмах, выступающих в роли связующего звена между физиологическими процессами сенсорных взаимодействий и психическими процессами интеллектуальной деятельности остается открытым.

Опираясь на результаты ранее проведенных исследований⁷⁻⁹, можно предположить, что в качестве таких механизмов могут выступать свойства оперативной памяти, позволяющие удерживать динамические и пространственные характеристики внешних событий, имеющих определенную степень организации (от хаотической до фрактальной). Эффективность же интеллектуальной деятельности будет определяться как специфическими характеристиками оперативной памяти, интенсивно задействованной в осознанной, целенаправленной деятельности, так и оптимальностью функционирования общесистемных регуляторных процессов, управляющих функциями вегетативной нервной системы и отражающих качество адаптации человека к изменяющимся средовым условиям.

Предполагается, что нормальное развитие интеллектуальной системы опирается на оптимальное функционирование механизмов регуляции процессов адапта-

ции и достаточное развитие оперативной памяти. Серьезные отклонения в интеллектуальном развитии сопрягаются с другими, ненормативными режимами регуляции сердечно-сосудистой системы как важнейшего индикатора процессов адаптации¹⁰, а также с дефектным формированием системы оперативной памяти.

Таким образом, общей целью работы является исследование специфических свойств нервно-психических процессов регуляции интеллектуальной активности как системы жизнеобеспечения и адаптации к изменениям среды, а также способности ребенка извлекать определенные динамические признаки из сенсорных событий для формирования адекватных реакций.

Подобная постановка цели выдвигает две основные задачи исследования, одна из которых заключается в экспериментальном изучении соотношения эффективности интеллектуальной деятельности нормально развивающихся детей и их сверстников с вербальной патологией и системных критериев оптимизации нервно-психической регуляции. Другая — связана с разработкой метода изучения свойств оперативной памяти в условиях ее активного использования.

В основу подхода к решению экспериментальных задач были положены принципы теории самоорганизованной критичности (СОК)¹¹⁻¹³, современное развитие которых позволяет использовать количественные способы оценки динамических режимов управления и регуляции, а также концепция динамических фракталов¹⁴⁻¹⁷, практическое применение которой дает возможность моделировать различную степень временной упорядоченности сенсорных событий и, в конечном итоге, — исследовать фрактальные свойства распределения моторных реакций человека в ответ на различную степень динамической организации сенсорных потоков.

В мировой литературе, анализ которой проведен на основании банка данных крупнейших библиотек Санкт-Петербурга и Лос-Анжелеса, не существует экспериментальных разработок по исследованию роли свойств оперативной памяти, связанных с бессознательными механизмами обработки информации и функционированием интеллектуальной системы. Следует заметить, что нормальное и девиантное формирование интеллекта у детей рассматривается только в русле психолого-педагогических подходов без попыток определения психофизиологического основания нормы и патологии функционирования интеллектуальной системы. Относительно изучения соотношений интеллектуальной продуктивности и специфики функционирования адаптационных механизмов имеются отдельные работы, выполненные на взрослых испытуемых, в которых подчеркивается важное участие перестроек кардиоритма в ситуации интеллектуальной деятельности¹⁸⁻²⁰.

Полученный нами экспериментальный материал характеризуется высокой валидностью в связи с применением стандартных способов измерения времени реакции испытуемых и регистрации электрокардиограммы (ЭКГ) с помощью отечественного прибора ЭКСП-03, обработки результатов измерения с помощью метрологически обеспеченных инженерами Физико-технического НИИ им. Иоффе РАН компьютерных программ для Pentium-122, а также Pentium-Celeron. Единицы измерения приведены в соответствии с ГОСТ 8.417.

Оценка достоверности полученных данных проводилась с помощью известных статистических приемов: t — критерия Стьюдента, непараметрического критерия И. Манна—Уитни, корреляционный анализ проводился с использованием пакета статистических программ (ARM-статистика).

Изменения кардиоритма и его стохастических параметров при выполнении интеллектуальных заданий

М е т о д и к а

Работа проводилась с двумя группами детей, обучающихся в первых классах школ Санкт-Петербурга, в октябре–декабре 1999 г. Первую группу, в которой было 16 девочек и 13 мальчиков в возрасте (в среднем) $7,4 \pm 0,4$, составили учащиеся гимназии № 205. Во вторую группу вошли ученики специализированной «речевой» школы № 6, из 29 детей (6 девочек), средний возраст этой группы — $7,9 \pm 0,6$. Первоклассники специализированной школы имели определенный анамнез, в структуре которого наблюдаются развивающиеся симптомы, сформировавшиеся на основе минимальной мозговой дисфункции (ММД). Клинические диагнозы, зафиксированные у всех детей, посещающих «речевую» школу, были связаны с теми или иными речевыми и интеллектуальными нарушениями. Наиболее часто встречались дизартрии и общее недоразвитие речи.

Все обследованные дети участвовали в психофизиологическом эксперименте, выполненном по одной и той же схеме, принципиальной особенностью которой была регистрация ЭКГ во время трех различных серий вербальной деятельности ребенка. Вербальная активность школьников направлялась с помощью ассоциативного эксперимента (АЭ) согласно строгой инструкции. Участники ассоциативного эксперимента должны были в ответ на слово-стимул отреагировать также словом с максимально возможной скоростью, но с противоположным смыслом, т. е. антонимом. В предыдущих работах нами было установлено, что направленный ассоциативный эксперимент является адекватным способом оценки вербальных способностей и уровня развития вербального интеллекта как в норме,

так и в случае нарушений формирования интеллектуальной системы^{21,22}. В работе использовались три стимульных списка идентичных по составу и количеству слов-стимулов. Каждый из таких списков включал 45 слов: существительных — 14, прилагательных и глаголов — по 12 и наречий — 7.

Направленный АЭ проходил в трех объективно и субъективно различных ситуациях. Первая серия, фоновый АЭ (АЭ=), проводилась на основе собственной мотивации ребенка; результаты его интеллектуальной деятельности определялись индивидуальным уровнем развития мотиваций и вербального мышления. Вторая серия АЭ включала положительное мотивационное воздействие в виде награды-конфеты за каждые пять правильных ответов в течение всего эксперимента. Таким образом поддерживалась заинтересованность первоклассника в своих результатах в ходе всей серии, которая называлась положительным мотивационным АЭ (АЭ+). Завершалось обследование отрицательной мотивационной серией (АЭ-), смысл которой заключался во введении своеобразного «штрафа» за ошибки. Если ребенок допускал одну ошибку в пяти ответах, то он должен был вернуть экспериментатору одну конфету из тех, что были им заработаны в предыдущей серии. Эксперимент всегда завершался тем, что экспериментатор хвалил ребенка за участие в эксперименте и за успехи в нем независимо от числа ошибок, допущенных ребенком в последней серии. Дети всегда уходили после проведения эксперимента довольными, что побуждало остальных, еще не принимавших участия в эксперименте, стремиться к работе в нем. Указанный мотивационный подход был успешно апробирован на дошкольниках старшего возраста²³.

Перед проведением этих трех серий АЭ регистрировалась фоновая запись ЭКГ в течение такого же времени, что и

при выполнении вербальных заданий (5 мин). Таким образом съемку ЭКГ производили четыре раза: один раз — фоновая ЭКГ покоя и еще три — регистрации, сопровождающие три серии с АЭ. В качестве контрольного измерения уровня общего и невербального интеллекта использовались цветные прогрессивные матрицы Дж. Равена, которые испытуемые решали вне рамок ассоциативного эксперимента.

Регистрация ЭКГ проводилась с помощью стандартного способа отведения с запястий рук на кардиомониторе ЭКСП-03 (отечественного производства). Кардиосигнал обрабатывался с помощью разработанного В. М. Урицким пакета программ, апробированном на взрослых (см. примеч., п. 12) и дошкольниках (см. примеч., п. 13).

Параметрами ЭКГ, на основании которых делались заключения о степени адекватности перестроек кардиоритма в изменяющихся условиях интеллектуальной деятельности, и в конечном счете — о качестве регуляции активности ССС, были следующие характеристики: средняя длительность и стандартная ошибка кардиоинтервала (RR и σ RR), а также индекс вегетативного баланса (ИВБ), который отражает отношение спектрального эквивалента активности симпатического и парасимпатического звеньев вегетативной нервной системы. Кроме этих достаточно хорошо известных в экспериментальной практике характеристик кардиоритма для решения поставленных задач использовались интегральные стохастические характеристики, которые в настоящее время рассматриваются как параметры, отражающие функциональные состояния центральной нервной системы: фрактальный индекс β и индекс кортиколизации (S_0) (см. примеч., п. 13). В теории самоорганизованной критичности (СОК) интерактивных систем величина параметра β , равная или близкая к значению $\beta + 1,0$, служит критерием оптимума динамиче-

ской регуляции. Отклонения в сторону меньших значений ($\beta < +1,0$) отражают нарастание хаотизации динамических режимов и, как следствие этого, — снижение общей устойчивости. Увеличение фрактального индекса ($\beta > +1,0$) согласно теории интерпретируется как признак формирования обширных кластеров регуляционных связей в системе и утраты динамической пластичности.

Применительно к флуктуациям кардиоритма значения фрактального индекса β , рассчитанного в области ультранизких частот, являются мерой функциональной интеграции и иерархической организованности экстракардиальных регуляционных механизмов ЦНС. При этом комплексно с параметром σ RR величина фрактального индекса определяет адапционный резерв самоорганизующейся системы.

Расчет величины β производится с помощью регрессионного анализа значений спектра мощности в диапазоне 0,004...0,04 Гц, величина индекса кортиколизации (S_0) вычисляется как отношение спектральной мощности на самой низкой из частот спектра к общей дисперсии последнего. Индекс кортиколизации может быть представлен в виде меры функциональной активности высшего звена регуляции во фрактальной иерархии системы.

Результаты

Все дети, принимавшие участие в эксперименте, успешно справились с трудной для них ситуацией обследования — с двигательной иммобилизацией, которая необходима для качественной регистрации ЭКГ. При этом интеллектуальная продуктивность у детей двух обследуемых групп была различной (табл. 1).

В таблице представлены среднегрупповые величины и доверительные интервалы выполнения теста Равена и коэффициента вербальной продуктивности (КВП), который рассчитывался на основе

общего процента ответных словесных реакций и числа качественных вербальных реакций. Критерием качества вербальных ответов ребенка в данном случае была продукция антонимов, связанных по смыслу со словом-стимулом.

Материалы, представленные в табл. 1, свидетельствуют о достоверно более низком качестве интеллектуальной деятельности первоклассников с речевыми нарушениями ($P = 0,05$), что связано со снижением результатов выполнения теста Равена на 12,2 балла и на 16,5 — нейтральном АЭ по сравнению с их нормативно развивающимися сверстниками.

Введение мотивационного подкрепления по-разному влияет на результаты вербальной деятельности детей двух обследуемых групп: у первоклассников обычной школы включение дополнительного внешнего мотива — награды — привело к незначительному снижению среднегрупповой величины КВП, а у первоклассников с речевыми нарушениями — к его увеличению. В последней серии АЭ введение «штрафа» за ошибочные действия отразилось на успешности выполнения вербальных заданий детьми этих экспериментальных групп одинаковым образом: в ситуации со стрессогенным воздействием фиксируются самые низкие показатели выполнения АЭ. Кроме того, обращает на себя внимание различие в ситуации, в которой первоклассники показали максимальную вербальную успешность: группа нормально развивающихся школьников имеет самые высокие результаты в нейтральном АЭ, в котором они действуют на основании собственных мотиваций. Дети с речевыми нарушениями наиболее успешны в мотивационном эксперименте с положительным подкреплением. Тем не менее, во всех сериях АЭ вербальная продуктивность первоклассников с нормальным интеллектуальным развитием достоверно выше. В нейтральном АЭ ($AЭ=$) эмпирическое расчетное значение U -критерия ($Uэм.$)

составляет 192, в АЭ + $Uэм$ равно 227, в АЭ – $Uэм.$ = 239 ($Uкр.$ = 249, $P = 0,05$).

В связи с этим вопрос о физиологической цене успешной интеллектуальной деятельности в ситуации мотивационного воздействия является интересным и значимым в практическом отношении. Он может быть решен при сравнении изучаемых стохастических показателей кардиоритма в разных экспериментальных условиях регистрации. Запись фоновой ЭКГ, которая проводилась непосредственно перед когнитивной деятельностью, позволила получить показатели регуляции состояний ССС в ситуации оперативного покоя. Различия в параметрах регуляции сердечной активности удалось обнаружить при статистическом анализе индивидуальных спектров флуктуаций кардиоинтервалов. Статистические параметры регуляции сердечного ритма покоя, приведенные в табл. 2, позволяют обнаружить специфические черты активности этой важнейшей системы адаптации и жизнеобеспечения у детей с нервно-психической патологией.

Во-первых, средняя величина кардиоинтервалов (RR) у детей с речевыми нарушениями несколько меньше, чем у их нормально развивающихся сверстников, при этом у них обнаруживается большая групповая вариативность. Во-вторых, величина стандартного отклонения RR-интервалов (σRR) в группе девиантно развивающихся детей достоверно меньше по сравнению с группой нормы ($Uэм.$ = 299, $Uкр.$ = 302, $P = 0,05$). В-третьих, фрактальный индекс β в фоновой записи также не имеет достоверных отличий, но на уровне тенденции его положительная величина меньше у детей с патологией ($Uэм.$ = 200,5, $Uкр.$ = 180, $P = 0,05$).

В целом рассмотренные показатели процессов нервно-психической регуляции ССС позволяют сделать заключение о более благоприятном ее состоянии у нормально развивающихся школьников, так как им свойствен более медленный пульс

с достоверно более высокой вариативностью, что может рассматриваться в пользу больших адаптационных резервов у этих детей. Значения фрактального индекса у нормально развивающихся детей (+0,79) ближе к оптимуму динамической устойчивости процессов регуляции ССС по сравнению с их сверстниками с речевой патологией (+0,66). Таким образом, это сочетание параметров у нормально развивающихся детей соответствует более высокому потенциалу самоорганизации системы регуляции состояний ССС.

Интеллектуальная нагрузка меняет показатели регуляционных механизмов ССС в той и другой группе. Динамика различных проявлений регуляционных механизмов имеет как сходные, так и отличительные черты, что отражено в табл. 3.

Обращают на себя внимание практически одинаковые изменения частоты пульса у детей сравниваемых групп при интеллектуальной нагрузке, которая является величиной, обратной значениям кардиоинтервалов. В ситуации когнитивной

деятельности частота пульса у большинства детей возрастает. Величина ИВБ также возрастает в той и другой выборках по сравнению с фоновыми значениями записи ЭКГ покоя во всех случаях интеллектуальной деятельности. Мотивационное воздействие приводит к увеличению этого показателя, который у нормально развивающихся школьников отражает баланс воздействий со стороны симпатического и парасимпатического отделов регуляции даже в ситуации стрессогенного воздействия. Группа школьников с речевой патологией характеризуется выходом ИВБ за границы этого баланса уже в положительном мотивационном АЭ и дальнейшим увеличением вклада симпатoadреналового звена в АЭ с отрицательным эмоциональным подкреплением. Рост индекса вегетативного баланса у детей с речевой патологией в стрессогенных обстоятельствах более выражен и достоверно превышает аналогичный показатель в группе нормативно развивающихся детей в отрицательно окрашенном АЭ (Уэм. = 288,5, Укр. = 290, P = 0,05).

Таблица 1

Среднегрупповые показатели и доверительные интервалы результатов выполнения интеллектуальных заданий (%)

Группы	Признаки			
	Равен	АЭ=	АЭ+	АЭ-
Норма	78,6 ± 2,8	71,0 ± 5,4	70,4 ± 4,8	65,4 ± 5,6
Речевые нарушения	66,4 ± 4,5	54,5 ± 5,8	57,8 ± 6,4	52,2 ± 4,0

Таблица 2

Среднегрупповые показатели со значениями стандартного отклонения регуляции сердечно-сосудистой системы в фоновой ЭКГ

Группы	Признаки			
	RR	CO RR	β	ИВБ
Норма	700 ± 14,6	61,6 ± 6,1	0,79 ± 0,18	0,64 ± 0,17
Речевые нарушения	669 ± 26,0	47,5 ± 6,8	0,66 ± 0,13	0,80 ± 0,14

Изменения параметров регуляции сердечно-сосудистой системы при интеллектуальной нагрузке в сопоставляемых группах детей

Группы	Признаки	АЭ=	АЭ+	АЭ-
Норма	СО RR	60,0 ± 5,0	59,4 ± 4,3	56,9 ± 5,7
Патология		48,5 ± 4,1	52,0 ± 4,7	48,9 ± 4,3
Норма	ИВБ	0,85 ± 0,11	0,96 ± 0,09	1,01 ± 0,09
Патология		0,89 ± 0,08	1,15 ± 0,12	1,32 ± 0,12
Норма	RR	693 ± 28,1	689 ± 23,5	683 ± 28,2
Патология		657 ± 26,4	646 ± 32,2	641 ± 30,0

Примечание. АЭ= — нейтральная серия АЭ, проводимая без мотивационного подкрепления; АЭ+ и АЭ- — серии АЭ, проводимые с положительным и отрицательным мотивационным подкреплением.

В отличие от среднегрупповых величин кардиоинтервалов и индекса вегетативного баланса остальные показатели имеют различающуюся динамику в обследуемых группах. Стандартное отклонение (σ_{RR}) у детей нормативной группы постепенно снижается по мере возрастания субъективной сложности выполнения вербальных заданий. У школьников с речевой патологией наблюдается тенденция увеличения дисперсии флуктуации кардиоинтервалов в ситуации интеллектуальной активности, причем максимум ее достигается в АЭ с положительным подкреплением, в котором эти дети наиболее успешны. Следует сказать, что из-за противоположных динамических тенденций достоверные различия между среднегрупповыми значениями σ_{RR} в ЭКГ покоя утрачиваются в сериях с интеллектуальными нагрузками.

Фрактальный индекс β характеризует сложную картину перестроек в случае вербальной деятельности. У нормально развивающихся детей его положительные значения приближаются к таковым, характерным для выборки у взрослых в нейтральном АЭ (+0,99), немного снижаются в положительном мотивационном АЭ (+0,88) и падают до минимальной величины в условиях отрицательного мотивационного воздействия (+0,73). У детей с речевыми проблемами абсолютные величины фрактального индекса — мень-

шие во всех случаях регистрации ЭКГ и имеют максимальные и достоверные отличия в положительном мотивационном АЭ (Уэм. = 213,5; Укр. = 214, $P = 0,05$).

Последний среднегрупповой показатель функционирования механизмов регуляции ССС — индекс кортиколизации (S_o) в двух исследуемых группах имеет диаметрально противоположный характер изменений по сравнению с фоновой записью. У детей нормативной группы он возрастает с 6,1 мс до 10,5 мс в нейтральном АЭ, немного уменьшается в условиях мотивационного подкрепления, но не снижается до исходной величины. В группе школьников с речевыми проблемами индекс кортиколизации во всех сериях АЭ меньше по величине по сравнению с фоновой записью ЭКГ покоя, в которой он равен 7,6 мс. Максимальные различия в величине индекса кортиколизации зафиксированы в нейтральном АЭ, в котором они достоверны (Уэм. = 288,5; Укр. = 290, $P = 0,05$). В остальных измерениях индекс кортиколизации не достоверно различается в обследуемых группах детей.

Статистические характеристики сенсомоторных реакций у детей на стимульные цепи с разной степенью динамической организации

В исследованиях, выполненных в русле генетической психологии, основанной Ж. Пиаже и П. Жане (см. примеч., п. 3),

большое внимание уделяется механизмам адаптации и ассимиляции, нейродинамическая основа которых до сих пор недостаточно изучена и остается в известной степени гипотетической. Можно предположить, что нейродинамической базой этих механизмов являются свойства оперативной памяти, позволяющей удерживать динамические и пространственные признаки внешних событий. Эффективность интеллектуальной деятельности при этом будет связана с качеством функционирования оперативной памяти.

Подобная постановка проблемы выдвигает задачу поиска метода психофизиологического изучения оперативной памяти, наиболее полно задействованной в осознанной, целенаправленной деятельности (см. примеч., п. 7), решение которой возможно с применением современных способов формализации экспериментальных результатов, позволяющих количественно оценить динамические свойства оперативной (рабочей) памяти. В основу экспериментального подхода положена концепция динамических фракталов, практическое применение которой позволяет моделировать различную степень временной упорядоченности сенсорных событий, а также исследовать фрактальные свойства распределения моторных реакций человека в ответ на различную степень динамической организации сенсорных цепей.

М е т о д и к а

В исследовании приняли участие те же школьники, которые были субъектами вербальных испытаний.

В экспериментах, задача которых — исследование способности оперативной памяти извлекать и фиксировать временной порядок динамических событий, испытуемые принимали участие в компьютерном рефлексометрическом обследовании. От каждого требовалось нажимать на клавишу «probel» Pentium-122 в ответ на зрительные и акустические стимулы, организованные в отдельные серии

(число стимулов в сериях постоянно и равно 64) с максимально возможной скоростью. Зрительные раздражители были представлены кругами сине-фиолетового, зеленого и красного цветов с выравненной яркостью. В качестве акустического стимула использовался гудок с частотой заполнения приблизительно в 900 Гц, громкостью 60 дБ и длительностью в 100 мс. Каждый из типов стимулов повторялся по 16 раз при условии их случайного чередования в каждой серии.

В данном эксперименте применялись четыре стимульных серии, различающиеся временной структурой, которые в остальных отношениях были идентичными. Средние межстимульные интервалы во всех сериях были равны 1,5 с. Пары стимульных цепей с одинаковыми межстимульными паузами различались степенью упорядоченности этих интервалов: одна серия, хаотическая, характеризовалась наличием коротких и сильных корреляционных связей, по структуре была близка к броуновскому шуму. Другая, называемая фрактальной, имела фрактальную размерность, близкую к значению 1,34, и отличалась наличием длинных корреляционных связей в разных масштабах времени, что формировало более полную определенность и предсказуемость появления конкретных межстимульных интервалов. Фрактальные и хаотические серии являлись фрагментами более длинных временных рядов с числом членов, превышающим 1000. Средняя длительность экспериментальных серий колебалась от 1,5 до 2,0 мин. Порядок предъявления серий во всех экспериментах был одинаковым. Опыт начинался с реакций на фрактально организованную серию с модуляцией 20, затем следовала фрактальная серия с более глубокой модуляцией (80), определяющей большую неравномерность межстимульных интервалов и большую субъективную сложность. Третья и четвертая серии имели хаотическую структуру межстимульных интервалов и такую же последователь-

ность серий с указанными значениями модуляций: сначала — более легкая с модуляцией 20, а затем — более трудная с модуляцией 80.

Набор отдельных значений времени реакции (ВР) на каждый стимул обрабатывался по компьютерной программе, разработанной В. М. Урицким и В. Г. Каменской и апробированной на разных выборках испытуемых (см. примеч., п. 8, 9). Подсчитывался процент моторных реакций, опережающих стимул, — так называемых фальстартов, среднее значение ВР с учетом знака реакции (dt) и среднее значение моды ВР, т. е. абсолютных величин ВР безотносительно его знака ($|dt|$). Рассчитывалось отношение этих величин $dt/|dt|$, которые в случае точных реакций приближаются к значениям, равным единице. Помимо этих статистических способов оценки качества сенсомоторного реагирования, использовался расчетный параметр распределения отдельных значений ВР у каждого участника экспериментов — так называемый индекс Херста (см. примеч., п. 15–17), оценивающий самоподобие процесса в разных масштабах времени с помощью расчета накопленного отклонения. При значении индекса Херста, укладывающегося в диапазон от $-0,55$ до $-0,72$, можно говорить о наличии скоррелированного во времени процесса. Меньшие значения, чем $-0,55$, свидетельствуют о случайном характере появления во времени отдельных событий.

Результаты

Анализ выполнения данной программы детьми показал, что у младших школьников примерно половина детей имеет более высокий индекс Херста во фрактальных сериях, а другая половина — в хаосе. Однако общим принципом является наличие индивидуального предпочтения, причем значения индекса Херста в целом по выборке укладываются в диапазон от $-0,38$ до $-0,78$ при фиксации большого числа фальстартов. В связи с

этим среднегрупповые значения индекса Херста в детских группах достоверно не отличаются друг от друга в сериях с разным типом распределения межстимульных интервалов. В речевой и в нормативной группе есть тенденция к снижению индекса Херста в последней серии, в которой был представлен хаотический вариант последовательности межстимульных интервалов с модуляцией 80 (субъективно наиболее сложной) до $0,55$.

Особое внимание хотелось бы уделить состоянию тормозных регуляторных процессов у детей с речевыми отклонениями и нормативной группы, показателями которых служит величина, отражающая количество фальстартов в каждой из серий. Как и следовало ожидать, общее количество фальстартов достоверно выше в речевой группе по сравнению с нормативной: среднегрупповые величины фальстартов во всех сериях равны $15,7$ и $13,9$ соответственно. Любопытно, что в нормативной группе количество опережений возрастает по мере усложнения заданий (т. е. больше фальстартов в сериях, где модуляция 80), тогда как в «речевой» группе различий между всеми четырьмя сериями по количеству опережений нет. Данные факты только подтверждают недифференцированный и более слабый уровень развития тормозных регуляторных процессов у детей с речевыми нарушениями.

Сравнительный анализ показал, что среднегрупповые значения времени реакции (ВР) на сенсорные стимулы разной модальности детей в нормативной и «речевой» группах как на зрительные, так и на акустические сигналы не имеют достоверных отличий, что можно увидеть в табл. 4. В «речевой» группе ВР на акустические сигналы также короче в хаотических сериях по сравнению с фрактальными. В нормативной группе — обратная тенденция: ВР на акустический стимул во фрактальных сериях короче, чем в хаотических. Среднегрупповые значения ВР на стимулы разной модальности приведены в табл. 4.

Среднегрупповые значения ВР у младших школьников

Группы	Фракталы		Хаос		Стимулы
	Модуляция				
	20	80	20	80	
Речевая	335	336	306	324	Зрительные
Речевая	163	118	89	176	Слуховые
Норма	346	344	324	340	Зрительные
Норма	211	132	345	193	Слуховые

Показатель К во всех сериях несколько выше в нормативной группе по сравнению с «речевой» группой, т. е. в нормативной группе выше относительная точность сенсомоторных реакций. Обращает на себя внимание то, что в целом значения К не велики: в группе нормально развивающихся школьников его величина укладывается в диапазон от 0,43 (фрактал с модуляцией 80) до 0,61 (хаос с модуляцией 20). У их сверстников, имеющих речевые нарушения, минимальная величина К (0,30) фиксируется также во фрактальной серии с модуляцией 80, максимальное значение (0,44) К имеет во фрактально организованной серии с модуляцией, равной 20.

Наши экспериментальные материалы позволили обнаружить определенную содержательную связь показателей выполнения рефлексометрического теста и эффективности интеллектуальной деятельности в АЭ. Младшие школьники обеих выборок были разделены на две подгруппы каждая — в зависимости от результатов выполнения фонового АЭ: первая подгруппа — дети с высокими значениями количественно-качественного показателя, вторая подгруппа — дети с низкими значениями количественно-качественного показателя.

Оказалось, что в группе нормально развивающихся школьников обе подгруппы характеризуются тенденцией сокращения ВР на акустический стимул в наиболее сложных сериях, а также одинаковой величиной индекса Херста в хаотических и фрактальных сериях. Однако в

первой группе детей наблюдались достоверно более короткие сенсомоторные реакции в наиболее сложных сериях, которые следовали за более легкими. Этот факт свидетельствует о том, что школьники с исходно высоким вербальным интеллектом успешно обучаются в программе независимо от динамической структуры сенсорного потока. Кроме того, в этой же подгруппе выше коэффициент К, отражающий степень точности сенсомоторных реакций по сравнению с подгруппой детей с менее развитым вербальным интеллектом.

У всех детей с речевой патологией показатель К ниже, чем в нормативной выборке, при этом независимо от уровня выполнения фонового АЭ не происходит обучение по ходу выполнения сенсомоторных задач.

В целях определения наиболее значимых для эффективной интеллектуальной деятельности психофизиологических механизмов нами был выполнен корреляционный анализ на всем массиве результатов.

Особенностями корреляционных соотношений выполнения экспериментальных заданий испытуемыми группы «норма» является то, что интеллектуальные способности у них оказались менее связанными между собой, так как достоверность коэффициентов корреляции между результатами выполнения теста Дж. Равена и показателями качества вербальных ассоциаций не высока ($P=0,06$). Кроме того, результаты выполнения теста АЭ в различных мотивационных ситуациях так-

же слабо соотносятся друг с другом (коэффициенты корреляции Пирсона не превышают 0,29). Все это может свидетельствовать об относительной индивидуализации развития вербального интеллекта у детей нормативной группы и об индивидуальных способах влияния мотиваций на когнитивную продуктивность.

Эффективность выполнения нормально развивающимися школьниками интеллектуальных заданий имеет небольшое число достоверных связей. Максимум приходится на соотношение когнитивной результативности и характеристик сенсомоторной деятельности: для фонового АЭ с величинами dt в хаотической и фрактальной сериях с модуляцией 20 и для теста Дж. Равена с величинами dt также в хаотической и фрактальной сериях но с модуляцией 80. Эти факты свидетельствуют о высокой валидности гипотезы о значительном вкладе в организацию интеллектуальных функций скоростных характеристик восприятия и переработки сенсорной информации.

Анализ корреляционных соотношений между выполнением вербальных заданий и стохастическими параметрами регуляции кардиоритма позволил обнаружить только два ряда достоверных коэффициента корреляции, указывающих на соотношение интеллектуальной продуктивности с величинами кардионтервалов и их дисперсий во всех случаях регистрации фоновой ЭКГ. Эти результаты подчеркивают роль конституционально-типологических свойств нормально развивающихся школьников в интеллектуальной деятельности.

Обнаружено незначительное число межтестовых связей: например, параметры выполнения сенсомоторных заданий в случае предъявления фрактальных серий коррелирует с характеристиками процесса адаптации и регуляции ССС, а также с продуктивностью интеллектуальной деятельности. Этот факт может обсуждаться с точки зрения специфики организации оперативной памяти нормально разви-

вающихся школьников, так как известно, что во фрактально организованных потоках на каждый конкретный интервал между стимулами оказывают влияние все предыдущие временные величины. Дети с нормальным интеллектом на уровне подсознания запоминают эти корреляционные соотношения прошлого и настоящего времени и используют в своих относительно гомогенных в статистическом смысле моторных ответных реакциях, а также, вероятно, в любой адаптивной активности, в том числе при выполнении интеллектуальных заданий.

У школьников с речевыми проблемами были обнаружены иные корреляционные соотношения. Обнаружено, что между результатами выполнения вербальных заданий в разных экспериментальных ситуациях существует сильная положительная связь, которая свидетельствует об общей психофизиологической базе развития и компенсации дефектной вербальной сферы детей. Одним из компонентов этой психофизиологической базы, очевидно, является специфика организации скоростного восприятия сенсорной информации. Устойчивые корреляционные связи отражают непротиворечивые соотношения качества вербальной продукции и стабильности процессов сенсомоторной координации по принципу: чем выше устойчивость сенсомоторных реакций в стимульных сериях, имеющих временную структуру, тем выше вербальная продуктивность.

Обращают на себя внимание исключительно редкие связи интеллектуальной эффективности с исходными характеристиками психофизиологических механизмов адаптации, так как вербальная продуктивность детей с нарушенным речевым развитием только в АЭ с положительным подкреплением положительно коррелирует с величиной кардиоинтервала и его дисперсией в фоновых записях ЭКГ. Кроме того, каждая регистрация ЭКГ детей группы «речевая патология», связанная со специфическими функцио-

нальными состояниями, определяет свой спектр корреляционных соотношений, что может отражать относительную независимость функциональных перестроек в ситуациях по-разному эмоционально окрашенной вербальной активности.

Характерной особенностью корреляционных межгестовых связей первоклассников с речевыми расстройствами является значительно меньшее их число по сравнению с нормально развивающимися детьми. Если у нормально развивающихся детей 7–8 лет регуляционные процессы, обеспечивающие адаптацию к изменяющимся условиям деятельности, сопрягаются с механизмами сенсомоторной интеграции и свойствами оперативной памяти, то у их сверстников с речевыми нарушениями эти процессы и механизмы не связаны между собой. Каждая система — система адаптации к среде через перестройку регуляционных механизмов ССС и система сенсомоторной интеграции — действуют по относительно независимым сценариям. Это, возможно, определяет низкую интеллектуальную результативность, обнаруженную в эксперименте, и определяющую школьную неуспешность детей с речевой патологией.

Итак, мы имеем ряд сходных особенностей механизмов регуляции физиологических систем (в частности ССС), сенсомоторной активности и процессов адаптации к сложным условиям деятельности. Сквозной характеристикой про-

цессов регуляции школьников обеих групп является отрицательная связь частоты пульса со значениями временных параметров восприятия и переработки информации, что свидетельствует о значительном вкладе у детей этого возраста в скорость сенсомоторной интеграции как конкретного механизма адаптации к средовым изменениям конституционально-типологических влияний вегетативной нервной системы. Общей для когнитивной деятельности первоклассников является связь интеллектуальной продуктивности с параметрами сенсомоторной деятельности: для группы нормы — в виде абсолютных значений dt и их дисперсий только фрактальных серий, у детей с патологией — тех же характеристик сенсомоторной активности но в равной степени фрактальных и хаотических программ.

Краткое изложение полученных результатов изучения адаптационных механизмов и характеристик сенсомоторной деятельности в сериях с определенной динамической структурой как вероятных психофизиологических механизмов развития интеллекта у нормальных детей и их сверстников с речевыми нарушениями подтверждают не только возможность, но и необходимость использования подходов и моделей, разработанных в предметных областях физики нелинейных систем, в частности, концепции динамических фракталов.

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ Buss D. M. Evolutionary psychology. Boston. 2000. P. 456.

² Выготский Л. С. Развитие речи и мышления // История развития высших психических функций. М., 1960. С. 254–289.

³ Пиаже Ж. Избранные психологические труды. М., 1969. С. 312.

⁴ Deary J., Stough C. Intelligence and inspection time // American Psychologist. 1996. V. 51. P. 599–608.

⁵ Vernon P. A., Wickatt J., Stelmack R. The neurophysiology and Psychobiology of human intelligence // The hand book of intelligence. Cambridge. 2000. P. 245–267.

⁶ Каменская В. Г., Томанов Л. В., Зверева С. В., Шапиро Е. И. Готов ли Ваш ребенок к школе?: Метод. рекомендации, СПб., 1993. С. 64.

⁷ Hitch J. J. Developments in the concept of working memory // Neuropsychology. 1994. V. 8. P. 485–493.

⁸ Каменская В. Г. Психофизиологические механизмы регуляции интеллектуальной деятельности // Мат-лы Всероссийской конф. «Природные и социальные основания интеллектуального развития и деятельности». СПб., 2000. С. 15–17.

⁹ Каменская В. Г., Попова Т. Ю. Стохастические признаки распределения сенсомоторных реакций дошкольников как критерий успешной интеллектуальной деятельности // Мат-лы Всероссийской конф. «Природные и социальные основания интеллектуального развития и деятельности». СПб., 2000. С. 17–19.

¹⁰ Баевский Р. М., Берсенёва А. П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. М., 1997. С. 235.

¹¹ Бак П., Чен К. Самоорганизованная критичность // В мире науки. 1991. № 3. С. 16–24.

¹² Музалевская Н. И., Урицкий В. М. Стохастические методы диагностики и коррекции в медицине // Телемедицина. Новые информационные технологии на пороге 21 века. СПб., 1998. С. 203–243.

¹³ Музалевская Н. И., Урицкий В. М. Фрактальные принципы гомеостатической саморегуляции // Проблемы нейрогенетики, ангионеврологии, нейротравматологии. Иваново, 1999. С. 260–263.

¹⁴ Голдбергер Э. Л., Риччи Д., Уэст Б. Хаос и фракталы в физиологии человека // В мире науки. 1990. № 4. С. 24–32.

¹⁵ Федер Ф. Фракталы. М., 1991. С. 191.

¹⁶ Bak P. *Paczuski M.* The dynamic of fractals // *Fractals*. 1995. V. 3. P. 415–429.

¹⁷ Lowen S. B., Teich M. B. Estimational simulation of fractal stochastic point processes // *Fractals*. V. 3. P. 183–210.

¹⁸ Баевский Р. М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. М., 1979. С. 298.

¹⁹ Данилова Н. Н., Астафьев С. Г. Изменения variability сердечного ритма при информационных нагрузках // Журнал высшей нервн. деят. 1999. Т. 49. № 1. С. 28–37.

²⁰ Kettunen J., Ravaja N. A comparasion of different time serias techniques to analyze phase coupliny // *Psychophysiology*. 2000. V. 37. P. 395–408.

²¹ Зверева С. В. Специфика отражения времени и нарушений речемыслительных функций у детей 7–9 лет с расстройствами речи в сравнении с нормативным вариантом развития: Автореф. дис. ... канд. психол. наук. СПб., 1998.

²² Каменская В. Г., Зверева С. В. Полоопределяемая стратегия развития интеллекта у нормально развивающихся первоклассников и их сверстников с речевыми нарушениями // Психофизиологические основы социальной адаптации ребенка. СПб., 1999. С. 48–59.

²³ Каменская В. Г., Зверева С. В., Музалевская Н. И., Томанов Л. В. Дифференциальные психофизиологические признаки мотивационного влияния на эффективность интеллектуальной деятельности // Психолог. журнал. 2001. Т. 27. № 2. С. 33–42.

V. Kamenskaya

EXACT SCIENCES METHODS IN THE STUDY OF THE COGNITIVE ACTIVITY OF NORMALLY DEVELOPING CHILDREN VERSUS CHILDREN WITH SPEECH DISORDERS

Cognitive development is being investigated on the basis of mathematical models of the nonlinear interactive systems. The influence of temporal determinated chaos of sensory flow with the auditory and visual stimuli on the speed features of sensory motor reaction (reaction time and its fluctuation, fractal index by Herst) has been tested on two groups: a group of normally developing children, and a group of children with speech disorders. The same groups participated in the investigation of the effect of regulatory processes on the intellectual activity.

The results of applying the concept of the dynamical fractal allowed to find out the set of invariant indexes of sensory motor reactions of all the subjects. There is positive correlation between intellectual efficiency and stability of the reaction time. The 1/f-like behavior of Fourier power spectrum fluctuation of RR-intervals principle was analyzed to determine maturational signs of the cognitive activity regulation: particularly mobilization character of child adaptation processes in cognitive activity that is more marked for children with speech disorders.