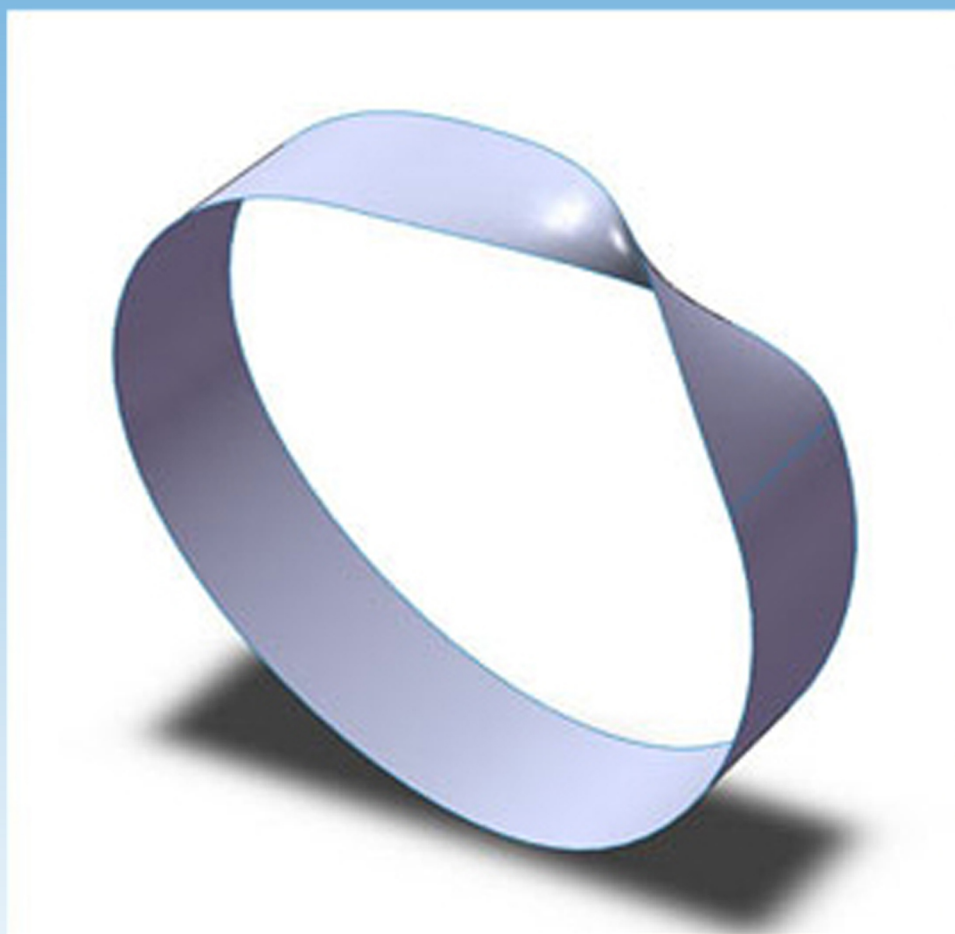


# АСИММЕТРИЯ

## Journal of asymmetry

Том 2

№ 1, 2008



*рецензируемый научно-практический журнал*

# АСИММЕТРИЯ

## Journal of asymmetry

(выпускается с 2007 года)

Том 2

№1, Март 2008

*Научно-практический рецензируемый журнал*

**«Асимметрия»**

Journal of asymmetry  
(выпускается с 2007 года)

**Учредители:**

Фокин В.Ф.,  
Червяков А.В.  
Отдел исследований мозга  
ГУ НЦ Неврологии РАМН,  
Адрес: Россия, Москва,  
ул. Б. Николоворобинский переулок, 7.  
Телефон: +7 (495) 9170765  
E-mail: mail@j-asymmetry.com  
Cerebral-asymmetry@yandex.ru

**«Asimmetria»**

Journal of asymmetry  
(issue from 2007 year)

**Publishers:**

Fokin V.F.  
Cherviakov A.V.  
Research department of a brain,  
National Science Center of Neurology by  
Russian Academy of Medical Sciences  
Address: Russia, Moscow,  
Bolshoj Nikolo-Vorobinskij  
side street, 7  
Tel: +7 (495) 9170765  
E-mail: mail@j-asymmetry.com  
Cerebral-asymmetry@yandex.ru

ISSN 1999-6489

УДК 612.82:611.8

URL: [www.j-asymmetry.com](http://www.j-asymmetry.com)

**Главный редактор – В.Ф. Фокин**

**Редакционный совет:**

В.В. Абрамов (Россия),  
В.В. Аршавский (Латвия),  
И.Н. Боголепова (Россия),  
В.А. Геодакян (Россия),  
Б. Гутник (Новая Зеландия),  
Л.Р. Зенков (Россия),  
В.И. Кобрин (Россия),  
В.М. Кроть (Россия),  
В.П. Леутин (Россия),  
М.Н. Русалова (Россия),  
Н.В. Пономарева (Россия),  
В.М. Полонский (Россия),  
В.С. Ротенберг (Израиль),  
А.П. Чуприков (Украина)

*Секретарь редакции – Червяков А.В.*

Выпускается на сайте:

[www.j-asymmetry.com](http://www.j-asymmetry.com)

## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

К читателям и авторам журнала	3
Геодакян В.А. «Системные корни эволюции человека: роль половых гормонов и асимметрия»	4
Гутник Б., Кобрин В., Йелдер П. «Биомеханические особенности латерализации»	9
Извеков Е.И., Непомнящих В.А., Медянцева Е.Н., Чеботарева Ю.В., Изюмов Ю.Г. «Асимметрия направления движения и морфологических признаков у плотвы ( <i>Rutilus rutilus</i> )»	21
Николаева Е. И., Борисенкова Е.Ю. «Сравнение разных способов оценки профиля функциональной сенсомоторной асимметрии у дошкольников»	32
Сазонов В.Ф. «Асимметрия моторики рук у школьников в эксперименте»	40
Челяпина М.В., Шарова Е.В., Зайцев О.С., Коротаева М.В., Лифшиц М.Ю. «Сравнительный анализ влияния ипидакрина и пиридоксина на функциональную активность мозга здорового человека (двойное слепое исследование на двух испытуемых)»	55

АНАОНС СТАТЕЙ В ЖУРНАЛЕ LATERALITY  
(VOLUME 13, ISSUE 2, 2008)

1. Marian Annett  
«Tests of the right shift genetic model for two new samples of family handedness and for the data of McKeever» (p. 105 – 123)
2. Canan Kalaycolu, Cengiz Kara, Cem Atbaolu, Erhan Nalçac  
«Aspects of foot preference: Differential relationships of skilled and unskilled foot movements with motor asymmetry»(p. 124 – 142)
3. Vanessa Schmitt, Sandra Melchisedech, Kurt Hammerschmidt, Julia Fischer  
«Hand preferences in Barbary macaques (*Macaca sylvanus*)» (p. 143 – 157)
4. Georg W. Alpers  
«Eye-catching: Right hemisphere attentional bias for emotional pictures» (p. 158 – 178)
5. Anne-Lise Doyen, Thierry Dufour, Xavier Caroff, Améziene Cherfouh, Michèle Carlier  
«Hand preference and hand performance: Cross-sectional developmental trends and family resemblance in degree of laterality» (p. 179 – 197)

## Глубокоуважаемые коллеги!!!

*Перед Вами свежий номер научно-практического журнала "Асимметрия". Журнал выпускается с конца 2007 года на сайте [www.j-asymmetry.com](http://www.j-asymmetry.com). Журнальные статьи посвящены различным вопросам асимметрии в живой и неживой природе. В Журнале публикуются оригинальные статьи, литературные обзоры, клинические случаи, лекции, краткие сообщения, информация о научных конференциях и симпозиумах.*

*Журнал не реферруется ВАК и выпускается только в электронном виде. Преимущества интернет-журнала перед печатным: неограниченный объем материалов, возможность помещения цветных иллюстраций, удобная навигация. Статьи, помещенные в Журнале, считаются полноценными печатными работами и могут быть использованы, например, для отчетов по грантам.*

*Редакция Журнала приглашаем к сотрудничеству всех, кто в своих исследованиях сталкивается с проблемой асимметрии: нейрофизиологов, биологов, врачей, фармакологов, математиков, физиков, химиков, философов и многих других. Свои работы в Журнале также могут помещать студенты ВУЗов и молодые учёные, поскольку предполагается создать специальный раздел "Работы молодых ученых".*

*Все вопросы и пожелания по работе Журнала, а также статьи для публикации, Вы можете направлять на электронную почту журнала [cerebral-asymmetry@yandex.ru](mailto:cerebral-asymmetry@yandex.ru) или [mail@j-asymmetry.com](mailto:mail@j-asymmetry.com).*

Главный редактор журнала «Асимметрия»  
доктор биологических наук,  
профессор

Фокин В.Ф.

Секретарь редакции

Червяков А.В.

Геодакян В.А.

## СИСТЕМНЫЕ КОРНИ ЭВОЛЮЦИИ ЧЕЛОВЕКА: РОЛЬ ПОЛОВЫХ ГОРМОНОВ И АСИММЕТРИЯ

Институт проблем экологии и эволюции РАН им. А.Н. Северцова

1. Как из 6 спичек составить 4 треугольника? Эта задача объемная и не решается в плоскости. Значит размерность решения д.б. **не меньше** размерности задачи. Это – аксиома. Тогда эволюционные 3-х мерные системы можно понять только в 4-х мерном пространстве (Т, х, у, z). При этом теряется наглядность. Но этот запрет часто игнорируют. Например, свойства организма или мозга пытаются понять в рамках зеркальной (одномерной) асимметрии, то есть с нехваткой 3-х координат! Значит, **все** такие теории заведомо неверны. Ведь человек, получив латеральную асимметрию, не утратил 2-х предыдущих (медузы и рыб). Поэтому учёт еще одной координаты, в эволюционных теориях пола (ЭП), или двух, в теориях асимметрии (ЭТА), позволили создать эволюционные теории, исключительного в биологии, объяснительного и предсказательного потенциала.

2. Половые гормоны (ПГ) – химические антагонисты, присутствующие у мужчин (М) и женщин (Ж) в разных пропорциях: у М в 100-130 раз больше андрогенов (А) и меньше, эстрогенов (Э), у Ж, наоборот. Можно считать, что их концентрации связаны между собой  $[Э]+[А]=1$ . При росте [А] от 0 до 1, [Э] падает от 1 до 0, то есть образуют сопряженную пару.

3. Рост дисперсии ( $\sigma$ ) элементов унитарных систем (УС) превращает их в бинарно-сопряженные дифференциации (БСД), состоящие из консервативной и оперативной подсистем,  $УС \Rightarrow [КП+ОП]$ . Разная  $\sigma$  ( $ОП > КП$ ) переводит мономодальную популяцию в бимодальную, непосредственную “экологию”, среда  $E \rightarrow УС$ , в опосредованную,  $E \rightarrow ОП \rightarrow КП$  ( $\rightarrow$  поток информации) и **синхронную** эволюцию в **асинхронную** – сначала ОП, потом КП, для проверки новой информации в ОП (карантин). Тогда за эволюцию “платят”, как бы, только ОП, а КП эволюционируют “бесплатно”, минуя отбор. Значит, асинхронная эволюция экономнее синхронной. В этом адаптивный смысл БСД.

4. **Все** теории биологии, включая главные парадигмы: генетику и дарвинизм, будучи по умолчанию для УС, не могут объяснить БСД. Поэтому, так много загадок. Эволюционный смысл фундаментальных дифференциаций: ДНК–белки, женский–мужской пол, аутосомы–гоносомы, левое–правое полушарие (ЛП–ПП), правши–левши (П–Л). Почему большинство мутаций в Y-хромосоме? Зачем и куда прыгают гены вдоль хромосом? Неравный Y→X кроссинговер? Аутосомная локализация “самых половых” генов: гамет, гонад, гениталий? Более высокая “генотипическая удойность” быков и “яйценоскость” петухов, чем у коров и кур тех же пород? Почему алкоголиков в потомстве отца-алкоголика 26%, а матери – 2%? Лучшие селекционные качества у М пола всех сельскохозяйственных животных и растений? Доминирование отца по дивергирующим, а матери по конвергирующим признакам? Высокая частота атавистических аномалий у Ж пола и “футуристических” – у М? Определение развития сугубо Ж органа – **плаценты**

**М** генами, а “общего” эмбриона – **Ж**? “Неандертальские” **Ж** и “кромоньёнские” **М** черепа пещер Схул и Табун? Один тип **Ж** черепов и 4 типа **М** у башкир? “Литовская” дерматоглифика болгарок и “турецкая” – болгар? Почему у крупных форм чаще, крупнее ♂♂, у мелких – ♀♀? Почему раньше стареют **Ж**, а умирают – **М**? Почему с 1 почкой чаще рождаются мальчики, а с 3-мя – девочки? Более крупная левая половина эмбрионов? Более асимметричный мозг **М**? Видовая праворукость и левоногость человека? Почему у человека сердце слева? Почему **Ж** думают белым веществом, **М** – серым? Поражение передних отделов мозга у **Ж** и задних – у **М** при афазии и апраксии? Почему хватательный рефлекс новорожденных сильнее слева? Левая рука хватает ладонью, правая – пальцами? А эмбрион сосет большой палец правой руки? Почему у бассетов и спаниелей самое длинное ухо д.б. правое у ♂♂, а самое короткое – левое у ♀♀? Почему обезьяны корм берут чаще левой рукой, а шпингалет открывают только – правой? Почему праворукость по “инструментальным” функциям выше, чем по “неинструментальным”? Почему у *Homo erectus* сначала жал правый ботинок, потом – левый? Почему средовые звуки лучше слышит левое ухо, а смысловые – правое? Почему самая чувствительная ноздря левая у **Ж**, а “нечувствительная” – правая у **М**? Число таких загадок можно умножить. Среди них – удивительные предсказания – доказательства дихронизма.

5. Согласно ЭТП, сначала были бесполое (**БП**) организмы, с появлением полового процесса возникли гермафродиты (**ГФ**), а с дифференциацией полов – раздельнополюе (**РП**). Их проекции в эмбриогенезе чередуются в том же порядке. Дальше, до конца онтогенеза, полом управляют ПГ.

6. Пол зиготы определяют при зачатии половые хромосомы (**ПХ**). У млекопитающих базовый пол, гомогаметный (**XX**) – **Ж**. Производный пол, гетерогаметный (**XY**) – **М**. Он запускается Y-хромосомой, превращающей “бесполое” зачатки гонад эмбриона в семенники, продуцирующие **А**. При отсутствии Y-хромосомы, те же ткани превращаются в яичники, продуцирующие **Э**. И, каким будет гормональный статус (**ГС**) взрослого организма, решают ПГ в утробе матери. У птиц базовый пол тоже гомогаметный (**ZZ**), но – **М**. Производный пол, гетерогаметный (**ZW**) – **Ж**. Он запускается W-хромосомой, превращающей зачатки в яичники, продуцирующие **Э**. При отсутствии W-хромосомы, те же ткани превращаются в семенники, продуцирующие **А**. Значит, согласно ЭТП, у млекопитающих **А** удаляют ♂♂ от ♀♀ к среде, а у птиц **Э** удаляют ♀♀ от ♂♂ от среды, то есть и там, и там **М** пол – “средовой”, а **Ж** – “системный”. Следовательно, (1) пол более фундаментальное явление, чем гаметность, (2) половой диморфизм (**ПД**), как системно-средовой вектор, создают **Э** и **А**.

7. Кроме того, в ЭТА и левшества, было показано, что ПГ создают и регулируют и латеральный диморфизм. Поэтому можно предложить новую обобщенную трактовку **Э**, как веществ, которые действуют центростремительно, расширяют **НР**, удаляют от среды и замедляют эволюцию, **А**, наоборот, действуют центробежно, сужают **НР**, приближают к среде и ускоряют эволюцию.

8. На многоплодных животных (МПЖ): крыс, песчанки, мышей, в двурогой матке которых Ж и М эмбрионы сидят, как горошины в стручке в случайном порядке, было показано, что многие, связанные с полом признаки, взрослых особей – не только первично-половые – зависят от гормональной среды в утробе матери. Оказалось, что на развитие этих признаков влияют ПГ соседних эмбрионов: самки, между двух братьев ( $\delta \ominus \delta$ ), подвергаются действию более высокой дозы А и более низкой Э, чем самки, между двух сестер ( $\ominus \ominus \ominus$ ). После рождения у первых более маскулинная анатомия, позже наступает половая зрелость, короче длительность жизни и репродуктивного периода, меньше пометы. Они были более агрессивны к другим самкам и сексуально менее привлекательны для самцов, чем вторые. Эти важные регуляторные функции, в том числе и предсказанные экологическим правилом дифференциации полов ЭТП, рост соотношения полов рождаемости ( $СП_2$ , взрослых –  $СП_3$ ) в *extr* среде и падение – в *ort* осуществляют ПГ соседних эмбрионов.

9. Высокая частота dizygotic близнецов, передающаяся по Ж линии и сверхнормативные молочные железы, возникающие иногда у человека и приматов по ходу "молочных линий", говорят о том, что далекими предками человека были, МПЖ. С переходом к одноплодию, человек утратил источник регуляторных А. Вряд ли, потерял при этом адаптивные регуляции. Так как он перешел к всесезонному размножению, то, скорее всего, нашел, другой источник А. Выдвигается гипотеза, что эту роль взяли на себя А спермы сексуальных партнеров матери. Ведь у полигамов их концентрация в утробе прямо связана с  $СП_3$ . Содержащийся в сперме тестостерон (Т), убивает сперматозоиды и при длительном хранении, для искусственного оплодотворения, приходится отмывать их и держать в другой среде. Совершенно непонятно, для чего в сперме яд для сперматозоидов?

10. Для создания на основе ЭТП изоморфной теории гормонального пола, нужно перейти от дискретного хромосомного диморфизма (XX–XY) в филогенезе к непрерывному гормональному полиморфизму в онтогенезе. Чтобы не утратить простоту и наглядность, введем два упрощения. 1. Перейдем не к полиморфизму, а к гексаморфизму, то есть внутри М и Ж пола выделим по три градации "дробного пола": модальную, феминную, и маскулинную. 2. Так как у человека тон голоса (высоту) определяют ПГ, то представим гексаморфизм, средними частотами голосов в герцах. У Ж: сопрано (340 *гц*, аналог  $\ominus \ominus \ominus$  у МПЖ), меццо сопрано (250 *гц*,  $\ominus \ominus \delta$ ), контральто (160 *гц*,  $\delta \ominus \delta$ ). У М: тенор (200 *гц*,  $\ominus \delta \delta$ ), баритон (140 *гц*,  $\delta \delta \delta$ ), бас (80 *гц*,  $\delta \delta \delta$ ).

11. Рассмотрим действие роста ( $\uparrow$ ) [Э] и [А] на М и Ж пол. Оно может быть 1. **Одинаково** на оба пола. Например, НР, определяющая пластичность в онтогенезе, способность покинуть зоны отбора и дискомфорта, то есть "удалиться" от среды, среднюю длительность жизни, стабильность и другое, и у Ж, и у М они **растут** с  $\uparrow$ [Э], а  $\sigma_f$ , социальный ранг, физическая сила, агрессивность, лабильность, авангардная эволюция и другое, и у Ж, и у М **растут** с  $\uparrow$ [А]. 2. **Разное** действие на Ж и М пол. Репродуктивный ранг, определяющий сексуальную привлекательность для противоположного пола, плодовитость, длительность репродуктивного периода, раннее наступление половой зрелости и другое, у Ж

растут с  $\uparrow[\text{Э}]$ , а у **М** – с  $\uparrow[\text{А}]$ . А интеллект (и группа производных: альтруизм, гуманизм, терпимость и др.), наоборот, у **Ж** растет с  $\uparrow[\text{А}]$ , а у **М** с  $\uparrow[\text{Э}]$ . Так как **общее** действие на оба пола более основательно, чем **разное**, то именно оно определяет обобщенную трактовку **ПГ**, опять приходим к нашей трактовке.

**12.** Гексаморфизм образует 15 разных пар: 9 гетеро-, 6 гомо-. Если эволюционный половой диморфизм (**ЭПД**) – потенциал, который определяет **все** половые признаки, то производные от него, в том числе и сексуальные **влечения**, и **вкусы**, тоже потенциалы. Тогда можно ранжировать разности средних частот голосов. Это позволяет предложить новую **концепцию гомосексуальности**. Гомо-пары занимают отнюдь не последние места в этом списке! Гомосексуальные отношения достоверно описаны, по крайней мере, у 450 видов животных, даже у **БП** ящериц, у которых лесбиянство повышает плодовитость ♀♀! Значит, 1. Это природное адаптивное явление, возникающее в *extr* среде (перенаселение, стрессы); 2. Пол, возникнув сначала, как репродуктивное, рекомбинационное явление, потом стал эволюционным, а с дальнейшим отчужденным от размножения, становится самостоятельным социокультурным феноменом.

**13.** Так как фенотипы **Ж** и **П** создают **Э**, а **М** и **Л** – **А**, то разница  $\sigma$  между двойными фенотипами: **П<sub>3</sub>Ж<sub>3</sub>**, и **Л<sub>а</sub>М<sub>а</sub>** растет, а **П<sub>3</sub>М<sub>а</sub>** и **Л<sub>а</sub>Ж<sub>3</sub>**, – падает. Подвижное равновесие **[ПЖ]↔[ЛМ]** сдвигается в *opt* среде влево, в *extr* – вправо, то есть в *opt* среде система переходит на режим экономной, но медленной эволюции, в *extr*, наоборот, на дорогой, но быстрой. Это позволяет вскрыть биологические предпосылки терроризма. Становится ясно, что войны в Афганистане, Израиле, Ираке и Чечне – тушение огня маслом. Они умножают число террористов, так как любой стресс беременной женщины повышает рождаемость **ЛМ**.

**14.** Логика действия **Э** и **А** на **Ж** и **М** приводит к выводу, что рак молочной железы у **Ж** (на первом месте по смертности >500 тыс. в год) и предстательной у **М** (~ 300 тыс.) надо лечить не по паспортному полу (всех "чужими" гормонами), а по "дробному" полу (50% – "чужими", 50% – "своими").

**15.** О паре Центробанк (**ЦБ**)–коммерческие банки (**КБ**), как **БСД**, изоморфной **Ж–М** полу, я писал в 70–80 гг. В июне 2004 г. Ассоциации Российских банков (**АРБ**) удалось предотвратить банковский кризис, применив "модель известной в генетике теории диморфизма полов" (**ЭТП**). Так как за считанные дни **ЦБ** снизил норматив обязательных резервов с 14% до 9%, 7%, потом до 3,5% и вернул **КБ** около 120 млрд рублей, можно думать, что, не зная **ЭТП**, вел себя как жена, отбирающая все деньги у мужа, и мешающая ему зарабатывать, выполнять свою миссию – рисковать и обеспечивать прогресс.

\* \* \*

Резюмируя сказанное можно сделать вывод о плодотворности применения описанной версии системного подхода при анализе самых различных социальных и культурных феноменов, включая прогнозирование их развития.

#### Литература:

1. Геодакян В.А. Эволюционные хромосомы и эволюционный половой диморфизм //Изв. РАН, сер. биол. 2000. № 2.
2. Геодакян В.А. Конвергентная эволюция фенотипа асимметрии и сексуальности к культуре



//Сексология и сексопатология. 2003. № 6, 7, 8.

3. Геодакян В.А. Эволюционные теории асимметрии организмов, мозга и тела //Усп. Физиол. Наук. 2005. Т. 36. №1.
4. Геодакян В.А. Роль полов в передаче и преобразовании генетической информации //Пробл. передачи инф. 1965. Т. 1, № 1.
5. Геодакян В.А. О структуре эволюционирующих систем.//Пробл. киберн. 1972. Вып. 25.
6. Геодакян В.А. Асинхронная асимметрия //ЖВНД. 1993. Т. 43, № 3.
7. Годовой отчет Ассоциации Российских Банков 2004.
8. [www.geodakian.com](http://www.geodakian.com).
9. [www.gordon.ru](http://www.gordon.ru).

Гутник Б.<sup>1</sup>, Кобрин В.<sup>2</sup>, Йелдер П.<sup>1</sup>

## БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАТЕРАЛИЗАЦИИ

<sup>1</sup> School of Health Science, UNITEC, Auckland, New Zealand

<sup>2</sup> Государственная классическая академия им.Маймонида, Москва, Россия,

---

### БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАТЕРАЛИЗАЦИИ

*Гутник Б., Кобрин В., Йелдер П.*

В работе изучалась значение угла прикрепления мышцы FDI к костным сегментам на развитие силы изометрического напряжения у праворуких субъектов. Показано, что использование показателя максимальной изометрической силы мышцы не может считаться оправданным в тестировании руки.

**Ключевые слова:** межполушарная асимметрия, праворукие, скелетная мышца

### BIOMECHANICAL FEATURES OF THE LATERALISATION

*Gutnik B., Kobrin V., Yelder P.*

Was shown that if the angle of attachment of the FDI is greater on the left hand then the magnitude of the rotary force is potentially greater and consequently the muscle tension produced is likely to be used more economically and/or with more effect. Therefore it follows that the magnitude of maximal isometric muscle force even when derived from a single muscle is perhaps inadvisably adopted as a valid predictor of handedness.

**Key words:** skeletal muscle, interhemispheric asymmetry, right handedness

---

**Введение.** Многие физиологические и клинические методы в качестве показателя рабочей (доминантной) руки используют дифференциальный анализ максимальной силы, развиваемой руками во время выполнения сжимающих или сдавливающих движений (17,23,29). В целом, эти тесты указывают на то, что существует тенденция к более сильному сжатию руки на доминантной стороне, однако, способ интерпретации обычно не объясняет индивидуальные и групповые статистические различия (41). Парадоксально, но некоторые праворукие люди демонстрировали способность развивать более значительную изометрическую силу недоминантной рукой (25). Когда это случается, такое явление обычно рассматривают как 10% нормы, чтобы стандартизировать возможное расхождение результатов. Однако, довольно странно, что в литературе не предлагается убедительного объяснения этого феномена (2,4,5,34,38).

В связи с этим в данном исследовании мы пытались выяснить, нельзя ли эти 10% нормы частично объяснить приспособлением анатомических компонентов области возвышения большого пальца, включающей первую тыльную межкостную мышцу (First Dorsal Interosseous muscle - FDI), к биомеханическим особенностям периферического компартмента. Оценка специфических биомеханических особенностей включала исследование угла проекции линии действия мышцы на места прикрепления к костям, и характеристику эластических тканей в пределах мышцы.

Анатомический и биомеханический анализ периферических влияний, которые вносят вклад в асимметрию дистальной части верхней конечности, проводится редко и данные по этому поводу не представлены в текущей научной литературе, хотя плодотворная работа Bernstein (8) открыла концептуальное и математическое обсуждение физиологической основы этой интересной проблемы. Клиническая литература, однако, содержит некоторые исследования, которые ассимилировали принципы этого подхода. Walters (48) и другие (41) сообщали о различиях костной массы и более высокой минеральной плотности локтевой кости доминантного предплечья в связи с данными о распространенности и частоте переломов верхних конечностей (в целом вдвое чаще на левой недоминантной, чем на правой доминантной стороне).

Хотя совершенно очевидно, что динамометрия силы сжатия обеспечивает важные клинически оценочные данные (17,23,25,41), по-видимому, динамометрический подход является ненадежным методом для обнаружения латерализации (2,9,25,22,30,31,37).

Текущим направлением в клинических исследованиях является развитие методов механической деятельности «целой мышцы» и ее оценки для изучения клинически значимых состояний мышечной функции. Значительная часть этих исследований не продиктована только изучением феномена преобладания силы мышц правой руки, но также содержит результаты, связанные с анализом архитектоники мышечной согласованности и прикрепления к скелету. Соответственно, эти исследования определяют рассмотрение вклада периферических элементов в пределах всего локуса мышечноскелетной деятельности, особенно, в связи с субъективными описаниями таких состояний как «ригидность» мышц. Соответственно, в случае верхних конечностей эти периферические элементы также отражают существенные влияния, вносящие свой вклад в асимметрию и рабочую руку (14,18,28,44).

**Цель исследования.** Целью настоящей работы явилось, во-первых, изучение взаимосвязи угла продольной оси первой тыльной межкостной мышцы относительно ее прикреплений на костных сегментах 1-го пальца, и во-вторых, определение вклада эластических элементов в развитие мышечной силы “*in vivo*”. Мы применили этот подход, поскольку функциональная важность этой особой взаимосвязи между костным и мышечным компартментами четко доминирует во время двигательной активности (13, 20), особенно, в отношении хватательных движений (42).

**Логическое обоснование исследования.** Тестирование скелетной мышцы при ее изометрическом напряжении в лабораторных условиях *in vivo* является обычным способом, используемым для количественной оценки мышечной силы (47). Изометрическое напряжение важно, главным образом, потому, что сила, развиваемая при этом виде сокращения, не зависит от скорости укорочения мышцы, т.е. не подчиняется принципу отношения «сила-скорость» (24). Метод изометрического тестирования (тест на силу сжатия) широко используется в клинической и неврологической практике, а также при тестировании ведущей руки (17,25). Следовательно, считается, что тесты на изометрическую силу обладают высокой надежностью при проверке и повторном тестировании (3).

Мы использовали отводящие мышцы большого пальца, точнее First Dorsal Interosseous muscle (FDI), поскольку эта дистальная мышца контролируется противоположным полушарием и широко участвует в каждодневной манипулятивной активности (осуществляя сжимающие и сдавливающие действия). Таким образом, FDI часто используется в качестве хорошо проверенной модели при анализе изометрической силы (42,44). Поскольку эта мышца непосредственно управляется мощными моторными сигналами от кортикоспинальных проекций, присущая ей активность является, по природе, отражением сравнительного различия, несомненно, существующего между правой и левой сторонами. Этот подход отражает широко принятую теорию доминирования полушарий, согласно которой у сильно праворукого человека и, соответственно, с доминированием левой моторной коры, автоматически прогнозируется и ожидается, что мышца правой руки должна генерировать более значительную силу. Достоверно установлено, что в выполнении хватательных движений участвуют, по крайней мере, двенадцать мышц запястья, предплечья и области кисти, причем связанные с ними кости вносят вклад, приводящий к развитию ряда вращательных моментов, которые могут и не быть совершенно синергичными для полного объема хватательных действий.

В связи с этим в данном исследовании с целью максимального профилирования принципа латеральности, мы сфокусировали наше внимание лишь на этой одиночной мышце.

**Допущение.** Мы приняли общее допущение, что подтвержденная праворукость у наших испытуемых должна соответственно проявляться большей мышечной силой для правой руки. На основании этого допущения была поставлена задача, получить ряд нормальных значений от высоко селективной группы из 25 строго сильно праворуких молодых нетренированных мужчин-европейцев, из студенческой популяции. Доминирование правой руки для всех участников подтверждалось с помощью обычно используемого Эдинбургского теста для определения рабочей руки (33). Этот тест позволяет вычислить коэффициент латеральности, где +100 представляет полное доминирование правой руки, а -100 полное доминирование левой руки (33).

**Методика.** Исследование состояло из двух экспериментов, в которых приняло участие 25 добровольцев. В нашем первом эксперименте (эксперимент 1) 25 сильно праворуких здоровых молодых мужчин в возрасте 18-49 лет ( $24,6 \pm 4,1$ ) выполняли традиционную динамометрическую задачу на силу нажатия. Все испытуемые ранее не выполняли эту задачу и классифицировались как сильно праворукие с уровнем доминирования правой руки не менее, чем 85% (33). Никто из участников не имел предварительных знаний о тестируемых гипотезах или предварительного опыта реагирования.

Позже из 25 участников первого эксперимента девятерым испытуемым из оригинальной группы, которые имели 95-100% оценку их ведущей руки, согласно Oldfield-тесту, предложили участвовать во втором эксперименте, в котором получали изображение структуры FDI мышцы с помощью магнитного резонанса.

От этих девять испытуемых был получен статистически достоверный набор данных из серии **860 изображений** для последующего анализа, итоговые результаты которого подверглись статистической обработке ANOVA.

**Эксперимент 1. Измерение изометрической силы FDI мышцы.** Каждого испытуемого просили надавливать на кнопку специального электронного динамометра как можно сильнее. Центральный локус ладонной поверхности дистальной фаланги большого пальца совмещался с центром нажимной кнопки. Начальный угол между осью большого пальца и осью сегментов указательного пальца был близок к 90 градусам (рис.1). В кинематической модели выполнения этой задачи главным источником развиваемой силы была FDI мышца (26,44). Эксперимент проводился со слуховыми стимулами. На испытуемого одевали наушники и просили реагировать на звуковой тон (1000 Гц) изометрически нажимая кнопку как можно сильнее, независимо от времени развития силы.

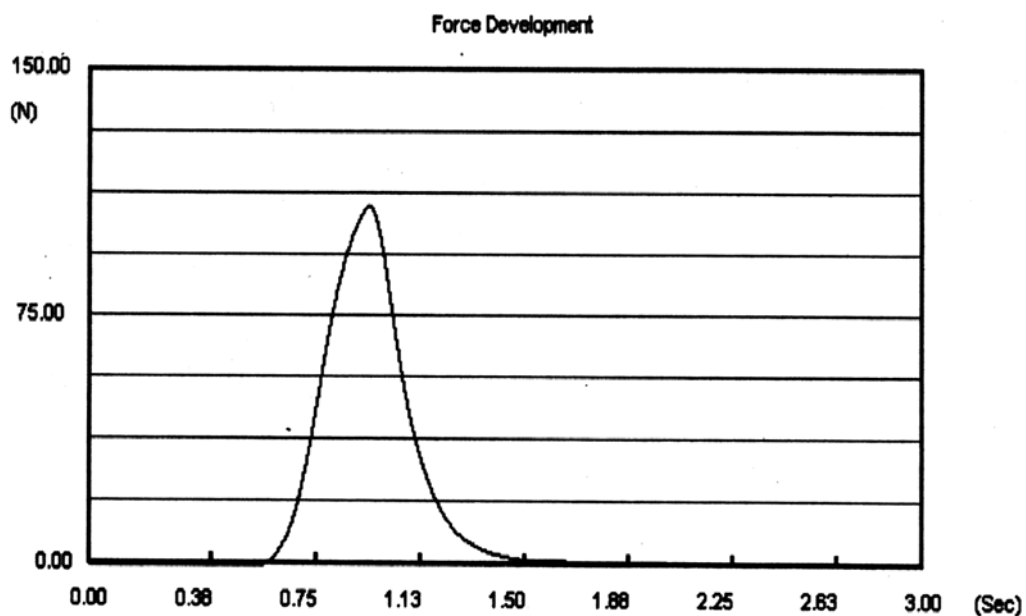


*Рис. 1 Внешний вид установки и эксперимента 1.*

Испытуемому не давали никакой обратной связи, и просили прекращать давление на кнопку, когда у него появится субъективное ощущение, что достигнута максимальная сила. По замыслу программы, образцом служит максимальная амплитуда силы давления за период три секунды, или когда достигнутая максимальная сила снижается на 10%. Во избежание утомления, каждый следующий стимул подавался через 10 секунд после расслабления мышцы. Эксперимент повторялся 20 раз для каждой руки. Для начального тестирования сам испытуемый выбирал сторону. Динамометр обеспечивал точное измерение сил ( $\pm 0.001$  N). Таким образом, произвольная максимальная сила (F) измерялась 20 раз и усреднялась (рис.2).

**Магниторезонансная визуализация структуры FDI мышцы.** Девять испытуемых, выбранных из первичной группы, состоявшей из 25 человек, по принципу высокой степени праворукости, были проверены для исключения травмы рук, предварительной операции, хронических повторных растяжений и компартментального синдрома (compartmental syndrome). Данные магниторезонансной визуализации были получены от сверхпроводящей

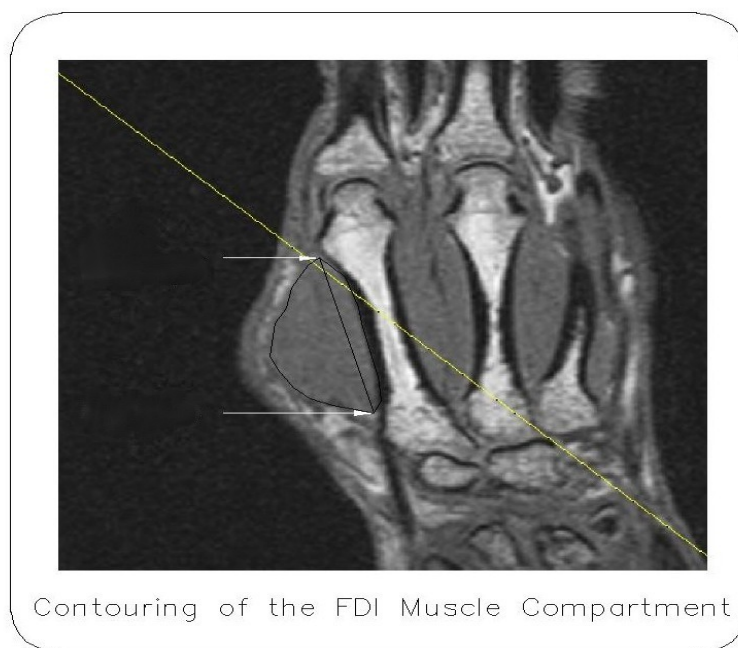
магниторезонансной клинической системы мощностью 1.5 Т, позволяющей восстанавливать изображение в 3-х проекциях.



*Рис.2. Усредненный результат эксперимента.*

## Эксперимент 2.

А. Были получены две серии получения изображений кисти, которая располагалась ладонью вниз (*dorsi palmar position*) с максимально отведенным большим пальцем (рис.3).



*Рис.3 Изображение кисти, полученное магниторезонансным методом.*

### Б. Обработка изображений - преобразование в цифровую форму и оконтуривание мышечного и костного компартментов.

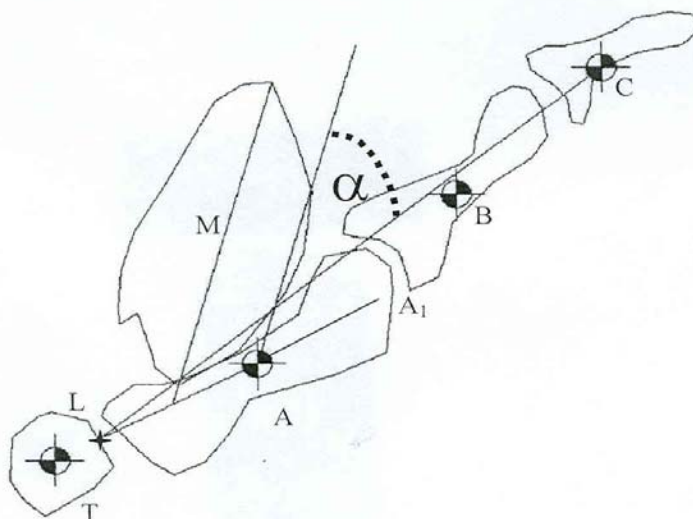
Первичные данные в форме изображений подвергались серии превращений, которые позволили осуществить цифровую обработку в пределах специализированного пакета программ - AutoCAD 2004. Однако, прежде чем этот процесс мог быть осуществлен, данные подвергались реконфигурации в "World File", чтобы установить унифицированное смотровое окно для всех 860 изображений. Затем выполнялись оцифровка и оконтуривание мышечного и костного компонентов в выбранных изображениях в пределах программы CAD, согласно (10,40).

### В. Создание линий действия мышц и костных сегментов

Анализировалась продольная ориентация компартмента FDI мышцы от ряда срезов изображений путем оконтуривания последовательности проекционных срезов мышечной ткани (с интервалами 2 мм). Геометрическая линия действия определялась на каждом срезе мышцы, создавая последовательность изогнутых линий, проецируемых на место прикрепления. Затем вычислялся средний угол наклона этих линий.

Вычислялись объемные центроиды всех мелких костей кисти, представленные на рис.4. Затем объемные центроиды наиболее дистальной фаланги С и трапецидальной кости Т соединялись прямой линией и обозначалась точка пересечения этой линии с краем кости трапеции (точка L). Затем центроид пястной кости А соединялся с точкой L прямой линией LA. Точка L представлялась как мгновенный центр вращения системы.

У FDI мышцы выбиралась наиболее длинная лонгитудинальная линия M.



*Рис.4* Определение линий действий мышц и суставов. (подробности в тексте).

Затем эта линия параллельно сдвигалась до нового положения с пересечением геометрического центра проксимальной фаланги А. Измерялся угол  $\alpha$ , который отражает угол прикрепления FDI мышцы ко второй фаланге

большого пальца (рис.4). Этот угол является углом действия силы мышцы FDI в описываемой ситуации.

Мы вычисляли среднюю величину и стандартное отклонение (SD) силы из 20 проб для каждого индивидуального испытуемого. Значимое различие величины силы правой и левой руки рассчитывалось с помощью метода спаренного (двойного) t-критерия.

Различие индивидуальных показателей усредненной силы, полученных при деятельности правой и левой рукой, рассчитывались с помощью однонаправленной ANOVA. Относительные различия между величинами сил от серии активности правой и левой рук и соответствующие различия между величинами углов проекции мышц рассчитывались с помощью формулы:

$$F_{\Delta\%} = \frac{F_{av. right} - F_{av. left}}{F_{av. right}} * 100\% \quad \alpha_{\Delta\%} = \frac{\alpha_{av. right} - \alpha_{av. left}}{\alpha_{av. right}} * 100\%$$

где  $F_{av. right}$  - средняя сила правой руки (примерно из 20 выполненных проб с нажатием кнопки)

$F_{av. left}$  - средняя сила левой руки (примерно из 20 выполненных проб с нажатием кнопки)

$\alpha_{av. right}$  - средний угол наклона продольной оси первой тыльной межкостной правой руки

$\alpha_{av. left}$  - средний угол наклона продольной оси первой тыльной межкостной левой руки

Мы также рассчитывали два точечных бисериальных коэффициента корреляции, чтобы установить:

1. Уровень вероятности для человека с доминированием силы FDI правой руки обладать более высоким относительным различием между углами проекций левой и правой FDI ( $r_{pb-\alpha}$ ).

2. Уровень возможности для человека, обладающего более высоким проецируемым углом FDI мышцы обладать более высоким относительным различием между силой левой и правой FDI ( $r_{pb-F}$ ).

## Результаты

### Эксперимент 1.

Только 8 участников из группы в 25 сильно праворуких людей проявили значительно большую силу от правой руки. У 3 участников из 25 проявили значительно сильнее была левая рука. У 10 участников проявилась лишь тенденция к большей силе правой руки, и 4 обладали тенденцией к большей силе левой руки (см. табл. 1).

Метод ANOVA не выявил значительного различия между силами и индивидуальными коэффициентами вариации сил, развиваемых левой и правой руками, во всей группе из 25 участников ( $Df = 1, F = 0.17, P = 0.685$  и  $Df = 1, F = 0.29, P = 0.593$ ) соответственно.



Табл. 1 Индивидуальные средние из 20-ти попыток

участник	Сила нажатия (N) левой рукой	Сила нажатия (N) правой рукой	t критерий между левой и правой руками
1	108.3	113.52	1.88
2	75.43	70.44	-3.29**
3	112.6	117.3	2.29*
4	109.7	107.3	0.76
5	110.12	108.3	-0.52
6	69.47	62.15	-3.05**
7	100.23	95.73	-1.38
8	58.51	57.12	-0.47
9	67.14	73.94	2.70*
10	75.11	79.43	1.52
11	80.6	72.54	-2.79**
12	69.21	73.41	1.37
13	40.48	42.45	0.62
14	80.25	86.74	2.17*
15	80.18	86.11	1.84
16	71.46	80.4	2.94*
17	72.6	74.3	0.67
18	42.97	50.14	2.80*
19	44.37	56.3	4.52*
20	70.09	75.96	2.16*
21	51.65	58.3	2.18*
22	70.54	74.76	1.60
23	46.15	51.03	1.84
24	104.56	109.54	1.55
25	52.31	50.46	-0.63
Среднее	<b>74.56</b>	<b>77.11</b>	

\* и \*\* - статистически достоверные результаты

**Эксперимент 2.** Не выявлено значительной разницы между углами прикрепления справа и слева внутри выделенной группы из 9 испытуемых ( $Df = 1$ ,  $F=0.54$ ,  $P= 0.475$ ). Однако, интересно, что у 6 человек из 9 проецируемый угол больше на левой руке.

Высокий показатель точечного бисериального коэффициента корреляции выявляется между относительным латеральным различием силы и относительным латеральным различием проецируемых углов ( $r_{pb-F} = 0.840$ ) и наоборот, между показателем относительного латерального различия проецируемых углов и относительным латеральным различием силы ( $r_{pb-\alpha} = 0.845$ ). Эти данные означают, что между латеральными различиями в углах

вектора работы мышц и между развиваемыми мышечными силами справа и слева проявляются сильные связи.

**Обсуждение.** Многие исследователи используют динамометр силы сжатия для исследования асимметрии между левой и правой руками (17,23,25,29,41). Один из недостатков этого подхода состоит в том, что разные мышцы и суставы вносят неодинаковый вклад в развитие силы (4,5,39). На реализацию мышечной силы могут влиять и такие дополнительные факторы как поза, утомление, мотивация и другие (7,25,39). Для того, чтобы свести к минимуму влияния этих переменных, мы использовали лишь одну из моделей реализации силы, так называемую максимальную изометрическую силу, развиваемую FDI мышцей как среднее из 20 эпизодов движения специфического типа.

Двойной экспериментальный подход не выявил значимого группового различия в силе мышцы FDI, когда испытуемый работал левой и правой руками. Отсутствие в нашем эксперименте латеральных различий поддерживает общую тенденцию, о которой сообщается в литературе (35,36), и укрепляет предположение о том, что тест на силу сжатия, вероятно, *ненадежен* при исследовании уровня латерализации, и что далеко не всегда мышцы с правой руки показывают себя более сильными, чем с левой руки у праворуких лиц.

Хотя существует много сообщений о том, что сила сжатия слабо латерализована (9,22,30,31,37), в недавней работе Incel с соавторами (25) сообщили, что 10,93% их праворукие испытуемых продемонстрировали, по крайней мере, равными изолатеральные силы при выполнении тестов на силу изометрического сжатия. Эти результаты противоречат широко распространенному допущению, что доминантная рука во многих случаях тестирования в разной степени сильнее, чем недоминантная, начиная примерно от 0-3% (2,38) и до 9.6% (17), 12.72% (34), 15.8% (6) и 22.6% (43) в разнице силы сжатия.

Асимметрия максимальной изометрической силы, развиваемой мышцами, вероятно, зависит как от центральных (действие кортикоспинальных нейронов от первичной моторной коры), так и от периферических (мышечных) факторов.

Текущая «центральная теория» мануальной асимметрии подчеркивает доминантность моторной области левого полушария, объясняя ее увеличенным размером области активации коры, связанной с доминантной рукой (15,46).

Однако, это предположение недостаточно, когда пытаются объяснить, почему у некоторых сильно праворуких людей сила левой руки больше. Наше исследование было сфокусировано на мышце FDI, в основном, потому, что эта дистальная мышца, находится под влиянием первичной моторной коры контрлатерального полушария. Поскольку хорошо известно, что моторная кора связана с регуляцией дистальной мускулатуры на противоположной стороне тела (11,12,16), было бы разумно ожидать, что генерируемая мышечная сила должна быть выше от правой руки.

Наши результаты, поддержанные расчетами точечных бисериальных коэффициентов корреляции, свидетельствуют в пользу предположения о том, что асимметрия максимальных изометрических сил, развиваемых FDI мышцами, частично может быть связана с анатомической и структурной

асимметрией, подразумевающей проецируемые углы прикрепления массы FDI к пястному (костному) сегменту. Если признать влияние проецируемого угла прикрепления мышцы, можно было бы объяснить, почему иногда левосторонняя мышца может генерировать большую изометрическую силу, чем правосторонняя. Биомеханическое значение этого проецируемого угла представляет ось разрешения напряжения сил мышцы FDI, выводимая из двух векторов. Один из векторов перпендикулярен к месту костного прикрепления и связан с вращающей силой, которая в основном, отвечает за давящее действие на кнопку в нашем первом эксперименте (20,42). Другой вектор представляет так называемую «силу реакции сустава», которая осуществляет тип смещающего действия, проецируемого на трапезио-запястный сустав с суставными поверхностями, вовлеченными в движение, что впечатляюще демонстрируется клиническими данными, полученными с помощью магнитного резонанса.

Следовательно, в тех случаях, когда угол  $\alpha$  проецирования мышцы выше на левой руке, становится понятным, что момент вращающей силы также становится потенциально выше и, в результате, развиваемое мышечное напряжение (сила), вероятно, должно использоваться более экономно и/или с большим эффектом. Отсюда следует, что если угол  $\alpha$  имеет меньшие величины, то чтобы достичь величины требуемого момента вращения мышца FDI должна генерировать большую силу.

Таким образом, использование показателя максимальной изометрической силы мышцы *не может считаться оправданным* в тестировании рукости.

**Вывод.** Наше исследование, следовательно, пытается расширить концептуально узкое объяснение сложной и запутанной проблемы изолатерального поведения. Как предварительная работа, она предназначена внести вклад в область клинически важного исследования целой мышцы, помогая характеризовать клинические методы визуализации. Кроме того, работа предназначена стимулировать интерес к роли «периферических» факторов, которые влияют на механизмы выполнения движения, которые могут также проявляться в виде мануальной асимметрии.

#### **Литература:**

1. Amunts K, Schlaug G, Schleicher A, Steinmetz H, Dabringhaus A, Roland PE, Zilles K. Asymmetry in the human motor cortex and handedness// Neuroimage. 1996; 4 (3 Pt 1):216-22.
2. Armstrong CA, Oldham JA. A comparison of dominant and non-dominant hand strengths// J Hand Surg [Brit]. 1999; 24(4):421-5.
3. Bembien MG, Massey BH, Bembien DA, Misner JE, Boileau RA. Isometric muscle force production as a function of age in healthy 20- to 74-yr-old men// Med Sci Sports Exerc. 1991 Nov;23(11):1302-10.
4. Bohannon RW. Reference values for extremity muscle strength obtained by hand-held dynamometry from adults aged 20 to 79 years// Arch Phys Med Rehabil. 1997; Jan.78(1):26-32.
5. Bohannon RW. Hand-held dynamometry: factors influencing reliability and validity// Clin Rehabil. 1997; Aug.11(3):263-4.

6. Bohannon RW. Grip strength: a summary of studies comparing dominant and nondominant limb measurements. *Percept Mot Skills*. 2003; Jun.96(3 Pt 1):728-30.
7. Balogun JA, Akomolafe CT, Amusa LO. Grip strength: effects of testing posture and elbow position// *Arch Phys Med Rehabil*. 1991; Apr.72(5):280-3.
8. Bernstein NA. *The coordination and regulation of movement*. Oxford, UK: Pergamon 1967.
9. Borod JC, Caron HS, Koff E. Left-handers and right-handers compared on performance and preference measures of lateral dominance//*Brit J Psychol*.1984 ; May; 75 ( Pt 2):177-86.
10. Boissonnat J, Geuger B. Three dimensional; reconstruction of complex shapes based on the Delaunay triangulation. In *Proceedings. Biomedical Image Processing and Biomedical Visualisation*, in R.S. Acharya, D.B. Goldgof (Eds) San Jose C.A. International Society of Optical Engineering. 1993; Vol. 1905 pp 964- 975.
11. Brinkman, J. & H.G.J.M. Kuypers, Splitbrain monkeys: Cerebral control of ipsilateral and contralateral arm, hand and finger movements// *Science* 1972;., 176, 536 – 539.
12. Di Stephano M, Morelli M, Marzi C, Berlucchi, G. Hemispheric control of unilateral and bilateral movements of proximal and distal parts of the arms inferred from simple reaction time to the lateralized light stimuli in man// *Experimental Brain Research*, 1980; 38, 197 - 204.
13. Enoka, R.M, *Neuromechanical Basis of Kinesiology*. 1994; Human kinetics. Champaign, IL.
14. Fugl-Meyer A, Eriksson A, Sjostrom M, Soderstrom G. Is muscle structure influenced by genetic or functional factors? A study of three forearm muscles// *Acta Physiol Scand*.1982; Feb.11 4(2):277-81.
15. Gazzaniga, M.S., *The Bisected Brain*. New York: 1970; Appleton-Century –Clofts.
16. Geschwind N, Galaburda AM. 198;. *Cerebral lateralization*. M.I.T. Press, Cambridge, MA.
17. Gutnik BJ. Funkcional'naja asimetrija i vozmozhnye fiziologicheskie mekhanizmy ee aktivnogo otrazhenija v manual'noj dejatel'nosty rastushego organizma.(A functional asymmetry and mechanisms of its active reflection in manual activities of human organism during different epoques of onthogenesis.) 1990; Moscow, Academy of the Pedagogical Science of Russia.
18. Gutnik, BJ, Hyland B Lateralized spatial strategies in oscillating drawing movements// *Perceptual and Motor Skills*.1990; 84, 435 - 451.
19. Gutnik B, Yelder P, Leaver J, Kobrin V. The Viscoelastic behaviour of the distal hand muscle in lateral aspect. In *Proceedings of the conference “Auckland 2005, Movement Analysis”* Smith D, Walt S and Kersting U (eds) 2005:115-118
20. Hall, SJ. *Basic Biomechanics*. 1999; (3rd ed). New York: WCB McGraw-Hill.
21. Hamill J, Knutzen KM. *Biomechanical Basis of Human Movement*. The second Edition. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins 2003.
22. Hanten W, Chen W, Austin A, Brooks R, Carter H, Law C, Morgan M, Sanders D, Swan C, Vanderslice A. Maximum grip strength in normal subjects from 20 to 64 years of age// *J Hand Ther*. 1999; Jul-Sep;12(3):193-200.
23. Haywood KM. Strength and flexibility in gymnasts before and after menarche. //*Brit J Sports Med*. 1980; Dec;14(4):189-92.
24. Herzog W. Muscle. In: Nigg B.M. and Herzog W. (eds.) *Biomechanics of the muscular skeletal system*. Second Edition 1998; Pp.148-188.
25. Incel N, Ceceli E, Durukan P, Erdem H, Yorgancioglu Z. Grip strength: effect of hand dominance// *Singapore Med J*. 2002; May;43(5):234-7.
26. Lieber R. *Skeletal muscle, structure, function and plasticity*. Second ed. 2002; Lippincott Williams & Wilkins. Philadelphia.

27. Jaju DS, Dikshit MB, Purandare VR, Raje S. Heart rate and blood pressure responses of left-handers and right-handers to autonomic stressors//Indian journal of physiology and pharmacology 2004; 48(1):31-40.
28. Jozsa L, Demel S, Reffy A. Fibre composition of human hand and arm muscles// Gegenbaurs Morphol Jahrb. 1981; 127(1):34-8.
29. Lunde B, Brewer W, Garcia P. Grip strength of college women//Arch Phys Med Rehabil. 1972; Oct; 53(10):491-3.
30. Mathiowetz V, Weber K, Volland G, Kashman N. Reliability and validity of grip and pinch strength evaluations// J Hand Surg [Am]. 1984; Mar; 9(2):222-6.
31. Mathiowetz V, Kashman N, Volland G, Weber K, Dowe M, Rogers S. Grip and pinch strength: normative data for adults// Arch Phys Med Rehabil. 1985; Feb. 66(2):69-74.
32. Mortensson W, Thonell S. Left-side dominance of upper extremity fracture in children// Acta Orthop Scand. 1991; Apr; 62(2):154-5.
33. Oldfield, R.C. The assessment and analysis of handedness. The Edinburgh inventory// Neurophysiology 1971; 9:97-113.
34. Petersen P, Petrick M, Connor H, Conklin D. Grip strength and hand dominance: challenging the 10% rule// Am J Occup Ther. 1989; Jul. 43(7):444-7.
35. Provins KA, Cunliffe P. The reliability of some motor performance tests of handedness// Neuropsychologia. 1972; 10(2):199-206.
36. Provins KA, Cunliffe P. Motor performance tests of handedness and motivation// Percept Mot Skills. 1972; 35(1):143-50.
37. Province KA, Milner AD, Kerr P. Asymmetry in manual preference and performance// Percept Mot. Skills. 1982; 54, 179.
38. Reikeras O. Bilateral differences of normal hand strength// Arch Orthop Trauma Surg. 1983; 101(3):223-4.
39. Richards LG, Olson B, Palmiter-Thomas P. How forearm position affects grip strength// Am J Occup Ther. 1996; Feb; 50(2):133-8.
40. Rusinek H, Karp N, Cutting C. Three Dimensional Rendering of Medical Images : surface and volume approach. Proceedings Archive. Medical Imaging Capture and Display – SPIE. The International Society for Optical Engineering. . 1989;Vol 1091.
41. Russel A, Owies D. Protocol for physiological assessment of golfers In: Gore C.J. (Ed.) Physiological tests for elite athletes: Australian Sport commission Human Kinetics Champaign, Il. 2000; Pp278-285.
42. Smith L, Weiss E, Lehmkuhl L. *Brunstorm's Clinical kinesiology*. Fifth edition. 1996; F.A.Devis Co. Philadelphia.
43. Schmidt RT, Toews JV. Grip strength as measured by the Jamar dynamometer// Arch Phys Med Rehabil. 1970; Jun;51(6):321-7.
44. Tanaka M, McDonagh MJ, Davies CT. A comparison of the mechanical properties of the first dorsal interosseous in the dominant and non-dominant hand// Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1984; 53(1):17-20.
45. Viitasalo JT, Saukkonen S, Komi PV. Reproducibility of measurements of selected neuromuscular performance variables in man// Electromyogr Clin Neurophysiol. 1980; Oct-Dec; 20(6):487-501.
46. Volkmann J, Schnitzler A, Witte O, Freund H. Handedness and asymmetry of hand representation in human motor cortex// J Neurophysiol. 1998; Apr;79(4):2149-54.
47. Wilson G. Strength and power assessment. In: Bishop B., Huma P. Guidelines for Athlete Assessment in New Zealand sport. Sport Science, 2000;Wellington, Pp1-23.
48. Walters J, Koo W, Bush A, Hammami M. Effect of hand dominance on bone mass measurement in sedentary individuals// J Clin Densitom. 1998; Jan;1(4):359-68.

Извеков Е.И., Непомнящих В.А., Медянцева Е.Н., Чеботарева Ю.В.,  
Изюмов Ю.Г.

## АСИММЕТРИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ И МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ У ПЛОТВЫ (*RUTILUS RUTILUS*)

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия

### АСИММЕТРИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ И MORFOLOGICHESKIH ПРИЗНАКОВ У ПЛОТВЫ (*RUTILUS RUTILUS*)

Извеков Е.И., Непомнящих В.А., Медянцева Е.Н., Чеботарева Ю.В., Изюмов Ю.Г.

У плотвы *Rutilus rutilus* (Cyprinidae) обнаружена асимметрия выбора направления движения в кольцевом коридоре при инфракрасном освещении: индивидуальное предпочтение двигаться преимущественно по часовой стрелке или против нее. Установлена положительная корреляция этой поведенческой асимметрии с асимметрией площади парных лобных костей. Обсуждаются возможные причины связи между поведенческой и морфологической асимметрией.

**Ключевые слова:** поведенческая асимметрия, морфологическая асимметрия, рыбы, *Rutilus rutilus*

### ASYMMETRY OF MOVEMENT DIRECTION AND MORPHOLOGICAL ASYMMETRY IN THE ROACH, (*RUTILUS RUTILUS*)

Izvekov E.I., Nepomnyashchikh V.A., Medyantseva E.N., Chebotareva Yu.V.,  
Izyumov Yu.G.

The roach *Rutilus rutilus* (Cyprinidae) displays a lateralized movement direction in annular aquarium under infrared light: a preference to swim clockwise or counterclockwise. The positive correlation was found between the behavioral asymmetry and an asymmetry of surface area of paired frontal bones. Possible causal factors which could determine the correlation between these behavioral and morphological asymmetries are discussed.

**Keywords:** behavioral laterality, morphological asymmetry, fish, *Rutilus rutilus*

Для многих форм поведения позвоночных характерна билатеральная асимметрия (Бианки, 1985; Rogers, 2002; Behavioural and Morphological Asymmetries..., 2006). Эта асимметрия заключается в том, что животное предпочитает использовать органы чувств или эффекторы на определенной, правой либо левой, стороне тела, когда оно реагирует на внешнее воздействие. Поведенческая асимметрия проявляется и в тенденции двигаться в определенную сторону, вправо или влево, в отсутствие ориентиров, направляющих движение. В ряду позвоночных эта поведенческая асимметрия проявляется уже у рыб (Nepomnyashchikh, Izvekov, 2006; Непомнящих, Извеков, 2007). Как и у высших позвоночных, поведенческую асимметрию рыб связывают с функциональной асимметрией мозга. Было экспериментально показано, что у золотых рыбок *Carassius auratus* (Cyprinidae) асимметрия направления спонтанных поворотов определяется асимметрией размеров парных маутнеровских нейронов (Михайлова и др., 2005). Аналогичным образом, рыбы многих видов используют один глаз для слежения за другими особями, а контралатеральный – за потенциально опасным открытым пространством. Эта асимметрия может объясняться асимметрией функций зрительных анализаторов в правом и левом полушариях (см. обзоры: Bisazza *et al.*, 1998; Rogers, 2002; Vallortigara, Bisazza, 2002).

Как и у высших позвоночных, функциональная асимметрия у рыб имеет адаптивное значение. Так, *Girardinus falcatus* (Poeciliidae) ориентируются в аквариуме по его форме и по цвету находящихся в нем объектов. Особи с сильно выраженной асимметрией зрительных реакций быстрее восстанавливают правильную ориентацию после вращения аквариума, чем рыбы с незначительной асимметрией (Sovrano *et al.*, 2005). У этого же вида особи с хорошо выраженной асимметрией реакций на зрительные стимулы лучше справляются с одновременным выполнением двух разных задач, таких как добывание пищи и слежение за другими рыбами (Dadda, Bisazza, 2006a; 2006b), или слежение и спаривание (Dadda *et al.*, 2007). Наконец, будучи помещены в незнакомую обстановку, они лучше координируют свои передвижения с другими рыбами (Bisazza, Dadda, 2005). Особи *Brachyrhaphis episcopi* (Poeciliidae) из природных местообитаний с высокой численностью хищников отличаются большей степенью асимметрии использования глаз по сравнению с особями из местообитаний, где численность хищников меньше. Это указывает на возможное значение асимметрии для оборонительного поведения (Brown *et al.*, 2007). Адаптивную роль поведенческой асимметрии объясняют тем, что она отражает специализацию противоположных полушарий мозга рыб, а последняя, в свою очередь, обеспечивает ускорение обработки внешних сигналов (Vallortigara, 2000; 2006; Vallortigara, Rogers, 2005).

Поведенческая асимметрия рыб может быть эволюционным предшественником асимметрии высших когнитивных функций человека и поэтому ее происхождение заслуживает детального изучения. В частности, о возможном происхождении асимметрии той или иной поведенческой реакции рыб можно судить по наличию и характеру ее связи с асимметрией морфологических признаков. В некоторых случаях оба вида асимметрии связаны общей функцией, совместно обеспечивая эффективность определенного поведения. Примером могут служить *Neolamprologus fasciatus* (Cichlidae). У них ротовое отверстие несколько развернуто вправо или влево. Атакуя добычу, они проявляют тенденцию поворачиваться к ней той стороной тела, куда развернуто их ротовое отверстие, вследствие чего атаки оказываются более успешными (Takeuchi, Hori, 2007). Аналогичное соответствие между асимметрией ротового аппарата и ориентацией по отношению к пищевому объекту обнаружено у других цихловых рыб, *Perissodus microlepis* и *P. straeleni* (Takahashi *et al.*, 2007), а также у представителя семейства Centrarchidae, ушастого окуня *Micropterus salmoides* (Nakajima *et al.*, 2007). Наконец, у камбал, например *Paralichthys lethostigma* (Paralichthyidae), хорошо известно функциональное соответствие асимметрии поведения и ярко выраженной морфологической асимметрии (Schreiber, 2006). Можно предположить, что в этих случаях морфо-функциональная асимметрия сформировалась в результате отбора как целостное адаптивное приспособление.

С другой стороны, связь между асимметрией поведенческих реакций и морфологических признаков не всегда можно объяснить с функциональной точки зрения. У *Danio rerio* (Cyprinidae) обнаружена корреляция между асимметрией использования глаз и несколькими видами морфологической асимметрии, включая асимметрию строения эпителиума и расположения висцеральных органов: сердца,

кишечника и поджелудочной железы. Связь с асимметрией эпиталамуса может иметь функциональный характер: последний участвует в анализе зрительных сигналов. Однако корреляция с асимметрией висцеральных признаков объясняется действием общих генетических факторов, определяющих билатеральную асимметрию одновременно нескольких признаков, не обязательно связанных общей функцией (Barth *et al.*, 2005). Ранее мы обнаружили корреляцию асимметрии реакции избегания с асимметрией площадей лобных и теменных костей черепа у плотвы *Rutilus rutilus* (Cyprinidae) в возрасте 8–9 мес (Извеков и др., 2008). Эту корреляцию также трудно объяснить тем, что площадь костей черепа напрямую связана с избеганием. На основании подобных данных можно предположить, что асимметрия некоторых поведенческих реакций позвоночных первоначально могла и не иметь приспособительного значения, а появилась как побочный продукт морфологической асимметрии в силу действия общих причинных факторов. Однако сведения, которые могли бы подтвердить это предположение, пока немногочисленны и к тому же противоречивы. Так, у плотвы в возрасте 16–17 мес корреляцию асимметрии поведения и теменных костей обнаружить не удалось (Крылов и др., 2008). Следует отметить, что аналогичные данные для других позвоночных в целом также противоречивы (Malashichev, 2006).

Для выяснения возможных путей происхождения поведенческой асимметрии требуется исследование разных поведенческих реакций. С этой целью мы исследовали возможную связь морфологической асимметрии плотвы с асимметрией направления движения в кольцевом коридоре. Ранее было показано, что рыбы разных видов предпочитают двигаться в кольцевом коридоре или вдоль стенки аквариума в определенном направлении: по часовой стрелке или против нее (Непомнящих, Гремячих, 1993; Непомнящих, 2005; Levin, Gonzalez, 1994; Bisazza, Vallortigara, 1996, 1997). Наиболее детально данная форма асимметрии исследована у гамбузии *Gambusia holbrooki* (Poeciliidae). Рыб помещали в круглый аквариум на 15 минут ежедневно в течение нескольких дней и освещали его сверху точечным источником белого света. В первый день наблюдений самки, пойманные в природе, проявили групповую асимметрию: предпочитаемое направление у большинства из них совпадало, а движение относительно источника света (по часовой стрелке или против нее) соответствовало их ориентации относительно солнца в природных местообитаниях. Предположительно, ориентация по солнцу проявляется у самок при бегстве от хищников и является результатом обучения. У самок, выращенных в лаборатории, а также у самцов (менее подверженных нападениям хищников) не было выявлено направления, предпочитаемого на групповом уровне. Во второй и последующие дни групповая асимметрия у самок исчезла. Вместо этого у большинства особей, самцов и самок, обнаружилось предпочтение своего индивидуального направления (по часовой стрелке или против нее). Эта индивидуальная асимметрия проявилась в корреляции направления и величины асимметрии движения особи в повторных испытаниях. В то же время, корреляция между первым и последующими днями отсутствовала. Изменение асимметрии предположительно объясняется наличием у гамбузии двух видов вращательной асимметрии. Одна из них, групповая асимметрия самок, проявляется в первый день и объясняется страхом перед незнакомой обстановкой. Вторая, индивидуальная



асимметрия, сначала замаскирована, но проявляется по мере привыкания рыб к обстановке (Bisazza, Vallortigara, 1996). Это исследование послужило прототипом для наших экспериментов. Для анализа морфологической асимметрии плотвы были выбраны 14 признаков, уже использовавшихся нами при изучении асимметрии реакции избегания (Извеков и др., 2008; Крылов и др., 2008).

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

*Объект исследования и условия эксперимента.* Рыб для экспериментов получили в 2006 г. из оплодотворенной икры диких производителей, пойманных в Рыбинском водохранилище, и выращивали в пруду до середины сентября того же года. Затем плотву перенесли в лабораторию, где ее содержали в аквариуме с проточной водой и кормили рыбным фаршем. Опыты проводились на 21 особи с 1 декабря по 10 декабря 2007г. К началу исследования рыбы достигли возраста 6.5 месяцев (длина тела от 59 до 72 мм).

Эксперименты проводили при естественной продолжительности светового дня и температуре воды от 18.2 до 19.0°C, с каждой особью отдельно, в кольцевом коридоре из белого непрозрачного пластика (внешний диаметр – 30 см, внутренний диаметр – 15 см, высота – 15 см, уровень воды – 6 см). Воду меняли после эксперимента с каждой рыбой, чтобы избежать накопления сигнальных метаболитов.

Предварительные наблюдения показали, что при обычном освещении плотва двигалась в коридоре медленно, с частыми и длительными остановками. Небольшое расстояние, пройденное в коридоре, делало вычисление коэффициентов асимметрии ненадежным. Более активно рыбы двигались при инфракрасном освещении, которое мы и использовали в дальнейших экспериментах. Над центром установки, на высоте 65.5 см находилась инфракрасная видеокамера JMK WS-212AS (Китай, ChinaTronic), снабженная двенадцатью инфракрасными светодиодами, равномерно расположенными вокруг объектива камеры. Эти светодиоды были единственным источником освещения в помещении, где проводились эксперименты. Сигнал видеокамеры поступал на компьютер в соседнее помещение. Перед экспериментом рыбу помещали в коридор и, после 5 мин адаптации, начиналась запись ее движения, продолжавшаяся 15 мин. Эксперимент с каждой особью повторялся в течение трех дней подряд.

*Анализ данных.* Для автоматической обработки видеозаписей было разработано специальное программное обеспечение, позволяющее вычислить суммарное угловое расстояние (в градусах), пройденное рыбой по часовой стрелке ( $R$ ) и против нее ( $L$ ). Для каждой особи вычислялся индивидуальный показатель асимметрии, равный  $100 * (R - L) / (R + L)$ . Положительные значения показателя соответствуют преимущественному движению особи по часовой стрелке, отрицательные – против нее. Среднее значение этих показателей служило для характеристики групповой асимметрии плотвы в каждый из дней эксперимента. Кроме того, вычисляли среднее значение абсолютных величин индивидуальных показателей. Чем больше это значение, тем сильнее выражена асимметрия в группе рыб, независимо от ее знака. В дальнейшем мы будем называть эту величину «силой асимметрии».

Для характеристики морфологической асимметрии каждой особи служили величины следующих признаков, измеренных на правой и левой сторонах тела:

- длина чешуйного покрова от конца жаберной крышки до хвостового плавника;
- длина головы от ее переднего конца до конца жаберной крышки;
- длина грудных и брюшных плавников;
- число лучей в грудных и брюшных плавниках;
- площади парных костей черепа: лобных (*frontale*), теменных (*parietale*) и крышечных (*operculum*);
- число отверстий каналов сейсмодатчикной системы в лобных, теменных, зубных (*dentale*) и предкрышечных (*praeperculum*) костях;
- число прободенных чешуй боковой линии.

Для каждой особи вычисляли показатель асимметрии, равный  $100 \cdot (R - L) / (R + L)$ , где  $R$  – величина признака справа, а  $L$  – слева.

Определяли также среднюю величину этого показателя для всей исследованной группы рыб.

Так как у плотвы в возрасте нескольких месяцев определение пола возможно только по цитологическим признакам, мы анализировали данные по всем особям вместе. Поведение рыб в течение трех дней экспериментов сравнивали с помощью двухфакторного дисперсионного анализа (1-й фактор – особь, 2-й фактор – день). Для оценки связи между индивидуальными показателями поведенческой и морфологической асимметрии особей использовали коэффициент корреляции Спирмена  $r_s$ . Кроме того, для попарных сравнений показателей поведения рыб в разные дни применяли критерий Вилкоксона.

Важно отметить, что мы определяли корреляцию асимметрии поведения одновременно с асимметрией большого числа морфологических признаков. При таком множественном сравнении возрастает вероятность того, что корреляция, удовлетворяющая общепринятому уровню значимости ( $p = 0.05$ ), окажется ложной. Для того чтобы обеспечить надежность множественных сравнений, некоторые авторы используют так называемую поправку Бонферрони. В соответствии с этой поправкой, общепринятый уровень значимости должен быть разделен на число сравнений (Benjamini, Hochberg, 1995). В нашем случае проведено 14 сравнений, поэтому уровень значимости должен быть равен  $p = 0.0036$ . Аналогичным образом, при вычислении корреляции между показателями поведенческой асимметрии в разные дни эксперимента проведено три сравнения, поэтому уровень значимости должен составлять  $p = 0.017$ . В настоящее время не все исследователи используют поправку Бонферрони. Тем не менее, чтобы обеспечить надежность выводов, мы принимал во внимание результаты, оказавшиеся достоверными с учетом поправки.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В течение 15-минутного периода наблюдения рыбы, как правило, несколько раз меняли направление движения. Расстояние, пройденное за это период, индивидуальные показатели асимметрии, а также их абсолютные значения существенно различались у разных особей ( $p < 0.001$  для всех перечисленных

показателей). Средние значения этих показателей для каждого дня приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Изменения средних показателей ( $M \pm m$ ) поведения плотвы в ходе эксперимента.

Показатель поведения	1-й день	2-й день	3-й день	$F$	Вероятность ошибки ( $p$ )
Пройденное расстояние (в градусах)	14388 ± 679	12404 ± 622	11129 ± 921	9.86	0.0003
Показатель асимметрии	-3.10 ± 4.84	-7.98 ± 7.28	-10.59 ± 8.68	0.31	0.74
Сила асимметрии	17.72 ± 2.86	25.90 ± 4.76	31.79 ± 5.52	2.72	0.08

*Примечание.*  $df = 2$ ;  $F_{crit} = 3.23$ .

Среднее расстояние, пройденное рыбами, статистически значимо уменьшалось во второй и третий день по сравнению с первым днем. Средние показатели асимметрии не отличались достоверно от нулевого значения. Это означает, что групповая асимметрия у плотвы не обнаружена ни в один из дней эксперимента. Сила асимметрии, согласно результатам дисперсионного анализа (табл. 1), лишь недостоверно увеличивалась с первого по третий день. Однако, дополнительное попарное сравнение разных дней показало, что сила асимметрии в третий день была достоверно выше, чем в первый.

**Таблица 2.** Морфологическая асимметрия плотвы.

Билатеральный признак	Средний показатель асимметрии ( $M \pm m$ )	Минимум	Максимум	Вероятность ошибки ( $p$ )
Длина чешуйного покрова	0.35 ± 0.12	-0.88	1.41	0.007
Длина головы	-0.24 ± 0.10	-1.00	0.65	0.027
Длина грудных плавников	-0.20 ± 0.26	-2.65	2.10	0.449
Длина брюшных плавников	0.14 ± 0.20	-1.52	1.71	0.487
Число прободенных чешуй боковой линии	-0.07 ± 0.35	-2.33	2.33	0.838
Число лучей в грудных плавниках	0.15 ± 0.46	-3.23	6.25	0.740
Число лучей в брюшных плавниках	-0.28 ± 0.28	-5.88	0	0.329
Число отверстий каналов сейсмодатчика системы:				
в лобных костях	-1.04 ± 1.36	-16.67	9.09	0.453
в теменных костях	3.49 ± 4.05	-33.33	33.33	0.399
в зубных костях	4.47 ± 3.64	-14.29	60.00	0.233
в предкрышечных костях	2.27 ± 1.85	-14.29	25.00	0.233
Площадь лобных костей	0.94 ± 0.46	-3.42	4.18	0.052
Площадь теменных костей	0.67 ± 0.35	-2.41	4.42	0.069
Площадь крышечных костей	-0.28 ± 0.33	-2.83	1.67	0.405

Не обнаружено статистически значимой корреляции индивидуальных показателей асимметрии особи между первым и вторым ( $r_s = 0.178$ ,  $p = 0.440$ ), а также первым и третьим днями ( $r_s = 0.413$ ,  $p = 0.063$ ). В то же время, выявлена достоверная положительная корреляция между вторым и третьим днями ( $r_s = 0.548$ ,  $p = 0.010$ ). Последнее означает, что у плотвы на второй–третий день проявляется индивидуальная асимметрия, отсутствовавшая или скрытая в первый день.

В таблице 2 представлены показатели асимметрии морфологических признаков. Эта асимметрия оказалась слабо выраженной для всех признаков и оказалась достоверной только для длины головы и длины чешуйного покрова на противоположных сторонах тела. Длина чешуйного покрова оказалась в среднем больше с правой стороны тела рыб, а длина головы – с левой.

В таблице 3 приведены коэффициенты корреляции поведенческой и морфологической асимметрии. В большинстве случаев достоверной корреляционной связи не обнаружено, за исключением проявившейся на третий день асимметрии площадей правой и левой лобных костей, а также крышечных. Однако, связь с асимметрией крышечных костей не может считаться надежной при использовании поправки Бонферрони.

*Таблица 3. Корреляция асимметрии направления движения с асимметрией морфологических признаков.*

Морфологический признак	Коэффициент Спирмена, $r_s$		
	1-й день	2-й день	3-й день
Длина чешуйного покрова	-0.02 (0.92)	-0.25 (0.27)	0.22 (0.33)
Длина головы	-0.03 (0.90)	0.42 (0.06)	0.23 (0.33)
Длина грудных плавников	-0.004 (0.99)	-0.02 (0.93)	-0.30 (0.18)
Длина брюшных плавников	0.14 (0.56)	-0.09 (0.70)	-0.09 (0.69)
Число прободенных чешуй боковой линии	0.47 (0.06)	0.05 (0.86)	0.35 (0.16)
Число лучей в грудных плавниках	0.27 (0.23)	-0.33 (0.15)	0.07 (0.78)
Число лучей в брюшных плавниках	0.30 (0.19)	-0.04 (0.87)	0.33 (0.14)
Число отверстий каналов сейсмодатчиковой системы:			
в лобных костях	0.10 (0.66)	-0.31 (0.17)	-0.11 (0.65)
в теменных костях	-0.28 (0.23)	-0.17 (0.47)	-0.22 (0.33)
в зубных костях	0.22 (0.34)	-0.04 (0.87)	0.09 (0.68)
в предкрышечных костях	-0.18 (0.43)	-0.09 (0.71)	-0.42 (0.06)
Площадь лобных костей	0.08 (0.73)	0.13 (0.56)	0.65 (0.001)
Площадь теменных костей	0.40 (0.07)	-0.25 (0.27)	0.10 (0.67)
Площадь крышечных костей	0.36 (0.19)	0.36 (0.19)	0.66 (0.01)

*Примечание. В скобках указана вероятность ошибки,  $p$ .*

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

*Поведенческая асимметрия.* Полученные результаты позволяют заключить, что у плотвы в кольцевом коридоре на второй и третий день экспериментов наблюдается поведенческая асимметрия – преимущественное движение особи по часовой стрелке либо в противоположном направлении. Эта асимметрия индивидуальна: ее направление различается у разных особей. На уровне всей группы рыб ни в одном из дней опыта не обнаружено предпочтения какого-либо одного из противоположных направлений.

Рыбы двигались медленнее с каждым днем эксперимента, а сила асимметрии несколько возрастала (табл. 1). Возможно, эти изменения вызваны привыканием рыб к обстановке эксперимента. Соответственно, можно предположить, что и проявление индивидуальной асимметрии направления движения лишь на второй–третий день эксперимента также связано с привыканием. В первый день эта асимметрия могла быть «замаскирована» вследствие страха перед незнакомой обстановкой. Ранее другие авторы (Bisazza, Vallortigara, 1996) выдвинули аналогичное объяснение отсутствия индивидуальной асимметрии у гамбузии в первый день ознакомления с экспериментальной обстановкой.

Как мы уже отмечали в начале статьи, эти же авторы обнаружили групповую асимметрию у самок гамбузии в первый день эксперимента. Они объяснили данный факт тем, что групповая асимметрия соответствует ориентации рыб по солнцу при бегстве от хищников: направление движения относительно солнца соответствует направлению от берега в море. Такое поведение объясняется опытом, приобретенным самками гамбузии в тех местообитаниях, где они были выловлены, так как у самок, выращенных в лаборатории, групповая асимметрия отсутствовала (Bisazza, Vallortigara, 1996). В наших экспериментах пол рыб не учитывался. Кроме того, плотва была выращена в прудах, в отсутствие хищников. Возможно, по этим причинам нам не удалось обнаружить групповую асимметрию у плотвы.

*Природа поведенческой асимметрии.* Мы использовали источник инфракрасного излучения, но это не обязательно означает, что асимметрия поведения плотвы не связана со зрением. Ранее считалось, что рыбы неспособны видеть в инфракрасном свете, т.е. свете с длиной волны 740–760 нм и больше. Этот вывод был сделан на основании измерений поглощения излучения с разной длиной волны светочувствительными пигментами в зрительных клетках рыб. В частности, было показано, что пигменты плотвы поглощают излучение с длиной волны 700 нм очень слабо (Downing *et al.*, 1986). Однако позднее выяснилось, что спектр поглощения пигментов не позволяет точно судить о способности рыб реагировать на инфракрасное излучение. У карпов *Cyprinus carpio* удается выработать условный рефлекс на излучение с длиной волны 865 нм, причем было экспериментально показано, что это излучение воспринимается глазами рыб (Matsumoto, Kawamura, 2005). Кроме того, оказалось, что поведенческие реакции на инфракрасный свет могут различаться у разных линий одного и того же вида рыб. Например, особи одной из линий нильской тиляпии *Oreochromis niloticus* (Cichlidae) реагируют на свет с длиной волны 780 нм, а рыбы из других линий – нет (Akobayashi *et al.*, 2002). Поэтому не исключено, что и плотва из использованной

нами выборки могла видеть источник инфракрасного излучения и предпочитала поворачиваться к нему определенным глазом, в результате чего и наблюдалась асимметрия направления движения в коридоре.

Альтернативным или, возможно, дополнительным фактором могла бы быть асимметрия сейсмодатчика системы плотвы. Ранее было показано, что слепые пещерные рыбы *Astyanax fasciatus* (Characidae) предпочитают поворачиваться к незнакомому объекту правой стороной тела. Слепые рыбы используют для восприятия объекта отраженные колебания воды, воспринимаемые сейсмодатчиком системы, что указывает на асимметрию этой системы (Burt de Perera, Braithwaite, 2005).

*Соотношение поведенческой и морфологической асимметрии.* Независимо от конкретной природы поведенческой асимметрии плотвы, она связана с морфологической асимметрией: обнаружена корреляция индивидуальной асимметрии направления движения, по крайней мере, с асимметрией площади лобных костей. Эта связь проявляется на третий день эксперимента (табл. 3). На наш взгляд, последнее обстоятельство можно объяснить тем, что свойственная рыбам индивидуальная асимметрия сильнее проявляется к концу эксперимента. Возможны разные объяснения связи между асимметрией поведения и лобных костей. Асимметрия костей черепа могла бы отражать асимметрию размеров соответствующих отделов мозга плотвы, а последние, в свою очередь, – определять поведенческую асимметрию. Это предположение предстоит проверить в дальнейших исследованиях. Если оно не подтвердится, то можно будет прийти к выводу, что обнаруженная нами асимметрия направления движения и асимметрия лобных костей плотвы определяются общими факторами, действующими в ходе онтогенеза. Соответственно, подтвердится и предположение о том, что асимметрия выбора направления могла возникнуть совместно с морфологической асимметрией в силу действия указанных общих факторов, как и ранее изученная нами асимметрия реакции избегания (Извеков и др., 2008).

Исследование поддержано РФФИ (грант № 05-04-48633).

Авторы благодарны А.О. Мострюкову (Институт физики Земли РАН), разработавшему основную часть программного обеспечения для анализа видеозаписей.

#### Литература:

1. Бианки В.Л. Асимметрия мозга животных. Л.: Наука, 1985. 295 с.
2. Извеков Е.И., Непомнящих В.А. Асимметрия начальной стадии реакции избегания у плотвы (*Rutilus rutilus*) при воздействии переменным электрическим током // Известия РАН. Сер. биологическая. 2008. № 1. С. 39–45.
3. Извеков Е.И., Чеботарева Ю.В., Изюмов Ю.Г. и др. // Поведенческая и морфологическая асимметрия сеголеток плотвы *Rutilus rutilus* (Cyprinidae: Cypriniformes) // Вопр. ихтиологии. 2008 (в печати).
4. Крылов В.В., Непомнящих В.А., Извеков Е.И. и др. Асимметрия реакции избегания у плотвы *Rutilus rutilus* (Cyprinidae, Cypriniformes): корреляция с морфологической асимметрией // Зоол. журн. 2008. Т. 87. № 3 (в печати).

5. Михайлова Г.З., Павлик В.Д., Тирас Н.Р., Мошков Д.А. Корреляция размеров маутнеровских нейронов с предпочтением золотых рыбок поворачиваться вправо или влево // *Морфология*. 2005. Т. 127. № 2. С. 16–19.
6. Непомнящих В.А. Модель асимметрии направления движения золотых рыбок // *Поведение рыб. Материалы докладов Международной конференции. 1–4 ноября 2005 г., Борок, Россия*. М: АКВАРОС, 2005. С. 370–374.
7. Непомнящих В.А., Гремячих В.А. Связь между структурой траектории и асимметрией выбора направления движения у тиляпии *Oreochromis mossambicus* Peters (Cichlidae) // *Журн. общей биологии*. 1993. Т. 54. № 5. С. 619–626.
8. Непомнящих В.А., Извеков Е.И. Асимметрия поведенческих реакций костистых рыб: наследование, адаптивное значение и морфо-функциональные корреляты // *Вопр. ихтиологии*. 2007. Т. 47. № 6. С. 827–836.
9. Akobayashi R., Endo M., Yoshizaki G., Takeuchi T. Sensitivity of tilapia to infrared light measured using a rotating striped drum differs between two strains // *Nippon Suisan Gakkaishi (Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries)*. 2002. V. 68. № 5. P. 646–651 (in Japanese).
10. Barth K.A., Miklosi A., Watkins J. et al. Fsi zebrafish show concordant reversal of laterality of viscera, neuroanatomy, and a subset of behavioral responses // *Current Biol*. 2005. V. 15. № 9. P. 844–850.
11. *Behavioural and Morphological Asymmetries in Vertebrates* / Eds. Malashichev Y., Deckel A.W. Austin, Texas, USA: Landes Bioscience, 2006. 193 pp.
12. Benjamini Y., Hochberg Y. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing // *J. Roy. Statistical Soc. Series B*. 1995. V. 57. № 1. P. 125–133.
13. Bisazza A., Dadda M. Enhanced schooling performance in lateralized fishes // *Proc. Roy. Soc. Series B*. 2005. V. 272. № 1573. P. 1677–1681.
14. Bisazza A., Dadda M., Cantalupo C. Further evidence for mirror-reversed laterality in lines of fish selected for leftward or rightward turning when facing a predator model // *Behav. Brain Res*. 2005. V. 156. № 1. P. 65–71.
15. Bisazza A., Rogers L.J., Vallortigara G. The origins of cerebral asymmetry: A review of evidence of behavioural and brain lateralization in fishes, reptiles and amphibians // *Neurosci. Biobehav. Rev*. 1998. V. 22. № 3. P. 411–426.
16. Bisazza A., Vallortigara G. Rotational bias in mosquitofish (*Gambusia holbrooki*): the role of lateralization and sun-compass navigation // *Laterality*. 1996. V. 1. № 2. P. 161–175.
17. Bisazza A., Vallortigara G. Rotational swimming preferences in mosquitofish (*Gambusia holbrooki*): Evidence for brain lateralization? // *Physiol. Behav*. 1997. V. 62. № 6. P. 1405–1407.
18. Brown C., Western J., Braithwaite V.A. The influence of early experience on, and inheritance of, cerebral lateralization // *Anim. Behav*. 2007. V. 74. № 2. P. 231–238.
19. Burt de Perera T., Braithwaite V.A. Laterality in a non-visual sensory modality – the lateral line of fish // *Current Biol*. 2005. V. 15. № 7. P. 241–242.
20. Dadda M., Bisazza A. Does brain asymmetry allow efficient performance of simultaneous tasks? // *Anim. Behav*. 2006a. V. 72. № 3. P. 523–529.
21. Dadda M., Bisazza A. Lateralized female topminnows can forage and attend to a harassing male simultaneously // *Behav. Ecol*. 2006b. V. 17. № 3. P. 358–363.
22. Dadda M., Zandonà E., Bisazza A. Emotional responsiveness in fish from lines artificially selected for a high or low degree of laterality // *Physiol. Behav*. 2007. V. 92. № 4. P. 764–772.
23. Downing J.E.G., Djamgoz M.B.A., Bowmaker J.K. Photoreceptors of a cyprinid fish, the roach: morphological and spectral characteristics // *Journal of Comparative Physiology, Series A*. 1986. V. 159. № 6. P. 859–868.
24. Levin L.E., Gonzalez O. Endogenous rectilinear guidance in fish – is it adjusted by reference to the sun? // *Behav. Proc*. 1994. V. 31. № 2–3. P. 247–345.
25. Malashichev Y. Is there a link between visceral and neurobehavioral asymmetries in development and evolution? // *Behavioural and Morphological Asymmetries in Vertebrates* / Eds. Malashichev Y., Deckel A.W. Austin Texas, USA: Landes Bioscience, 2006. P. 31–44.

26. Matsumoto T., Kawamura G. The eyes of the common carp and Nile tilapia are sensitive to near-infrared // *Fisheries Science*. 2005. V. 71. № 2. P. 350–355.
27. Nakajima M., Yodo T., Katano O. Righty fish are hooked on the right side of their mouths – observations from an angling experiment with largemouth bass, *Micropterus salmoides* // *Zoological Science (Japan)*. 2007. V. 24. № 9. P. 855–859.
28. Nepomnyashchikh V. A., Izvekov E. I. Variability of the behavioral laterality in Teleostei (Pisces) // *J. Ichthyol.* 2006. V. 46. Suppl. 2. P. S235–S242.
29. Rogers L.J. 2002. Lateralization in vertebrates: Its early evolution, general pattern and development // *Advances in the Study of Behavior* / Eds. Slater P.J.B., Rosenblatt J., Snowdon C., Roper T. V. 31. P. 107–162.
30. Schreiber A.M. Asymmetric craniofacial remodeling and lateralized behavior in larval flatfish // *J. Exp. Biol.* 2006. V. 209. № 4. P. 610–621.
31. Sovrano V.A., Dadda M., Bisazza A. Lateralized fish perform better than nonlateralized fish in spatial reorientation tasks // *Behav. Brain Res.* 2005. V. 163. № 1. P. 122–127.
32. Takahashi R., Moriwaki T., Hori M. Foraging behaviour and functional morphology of scale-eating cichlids from Lake Tanganyika // *J. Fish Biol.* 2007 V. 70. № 5. P. 1458–1469.
33. Takeuchi Y., Hori M. Behavioural laterality in the shrimp-eating cichlid fish *Neolamprologus fasciatus* in Lake Tanganyika // *Anim. Behav.* 2007 (in press).
34. Vallortigara G. The evolution of behavioural and brain asymmetries: bridging together neuropsychology and evolutionary biology // *Behavioural and Morphological Asymmetries in Vertebrates* / Eds. Malashichev Y., Deckel A.W. Austin Texas, USA: Landes Bioscience, 2006. P. 109–128.
35. Vallortigara G. Comparative neuropsychology of the dual brain: a stroll through animals' left and right perceptual worlds // *Brain and Language*. 2000. V. 73. № 2. P. 189–219.
36. Vallortigara G., Bisazza A. How ancient is brain lateralization? // *Comparative vertebrate lateralization. The evolution of brain lateralization* / Eds. Rogers L.J., Andrew R.J. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. P. 9–69.
37. Vallortigara G., Rogers L.J. Survival with an asymmetrical brain: Advantages and disadvantages of cerebral lateralization // *Behav. Brain. Sci.* 2005. V. 28. № 4. P. 575–633.



*Николаева Е. И., Борисенкова Е.Ю.*

## СРАВНЕНИЕ РАЗНЫХ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ ПРОФИЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СЕНСОМОТОРНОЙ АСИММЕТРИИ У ДОШКОЛЬНИКОВ

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,  
Санкт-Петербург, Россия

---

### СРАВНЕНИЕ РАЗНЫХ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ ПРОФИЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СЕНСОМОТОРНОЙ АСИММЕТРИИ У ДОШКОЛЬНИКОВ

*Николаева Е. И., Борисенкова Е.Ю.*

Задачей исследования было сопоставить результаты распределения детей дошкольного возраста по типам профиля функциональной сенсомоторной асимметрии, оцененным с помощью разных методов, встречающихся в литературе. В исследовании принимал участие 161 ребенок 4-7 лет (87 девочек и 74 мальчика). Показано, что распределение дошкольников по типам профиля функциональной сенсомоторной асимметрии в значительной мере определяется набором методов оценки латеральных показателей и способами их обработки. Манипулируя методами оценки и способами обработки можно получить любые варианты распределения латерального фенотипа у детей.

**Ключевые слова:** профиль функциональной сенсомоторной асимметрии, методы обработки, дошкольники.

### THE COMPARISON OF DIFFERENT METHODS OF FUNCTIONAL SENSORI-MOTOR ASYMMETRY PROFILE APPRITIATION FOR PRESCHOOL CHILDREN

*Nikolaeva E.I., Borisenkova E.Yu.*

The research problem was to compare the results of preschool children distribution on functional sensori-motor asymmetry profiles, estimated by means of different methods. 161 children (4-7 years) were participants (87 girls and 74 boys). It is found out, that distribution of preschool children on profiles depends on a set of lateral parameters estimations methods and the result processing methods. It is possible to receive any variants of lateral phenotypes distribution for children by using different set of methods and the results processing methods.

**Keywords:** functional sensori-motor asymmetry profile, methods of processing, preschool children.

---

**Введение.** Сопоставление результатов разных исследований, направленных на оценку профиля функциональной сенсомоторной асимметрии, обнаруживает факт крайнего разнообразия используемых в них наборов проб и ведущих показателей, включенных в профиль [1, 2, 4-8]. Не менее разнообразными являются и результаты оценки распределения людей с разными латеральными фенотипами.

Возникает предположение, что хотя бы частично это разнообразие может объясняться инструментарием, а не только воздействием используемого экспериментатором фактора.

Особенно значимыми для результатов, с нашей точки зрения, может быть несогласованность в методах, оценивающих профиль у детей, поскольку специфика обработки результатов может в большей мере сдвигать выборку в ту или иную сторону. Именно поэтому задачей данного исследования было сопоставить результаты распределения детей дошкольного возраста по типам профиля функциональной сенсомоторной асимметрии, оцененным с помощью методов, встречающихся в литературе.

### Материалы и методы

В исследовании принимал участие 161 ребенок 4-7 лет (87 девочек и 74 мальчика), посещающих муниципальные детские сады г. Санкт-Петербурга.

Для оценки профиля функциональной сенсомоторной асимметрии, состоящего из определения ведущих руки, ноги, глаза и уха, использовали наиболее часто встречающиеся в литературе пробы.

Для оценки ведущей руки применили пробы: динамометрия (рука, нажимающая на прибор с большей силой, считается ведущей, использовался динамометр кистевой ДК-25), сцепление пальцев рук (большой палец ведущей руки сверху), «Поза Наполеона» (ведущая рука первой ложится на грудь), плечевой тест (ребенок поднимает обе руки при закрытых глазах, рука, которая поднимается выше, считается ведущей), аплодирование (ведущая рука более активна), доставание предмета из «Чудесного мешочка» (ведущая рука достает предмет из непрозрачного мешочка, в котором находятся небольшие игрушки), рука, используемая при рисовании, рука, отвинчивающая крышку баночки (баночку держит экспериментатор), рисование круга и квадрата с закрытыми глазами по очереди каждой рукой (ведущая рука рисует с большим нажимом, рисунок меньшего размера с более точными формами), теппинг-тест.

При выполнении теппинг-теста ребенку предъявлялся двусторонний бланк, на котором на каждой стороне было начерчено шесть квадратов, размером 8,5X8,5 см. На одной стороне ребенок ставил точки с максимально возможной скоростью правой рукой, на другой – левой. Продолжительность выполнения точек в одном квадрате – 10 секунд. Общее время выполнения теста одной рукой 60 секунд. Подсчитывалось количество точек в каждом квадрате. Затем высчитывалось среднее арифметическое для каждой руки. Для дальнейшей статистической обработки результатов исследования использовался подсчет, соответствующий способу обработки.

Для определения ведущей ноги оценивали активность или положение ног в следующих движениях: нога на ногу (нога, находящаяся сверху), прыжок вверх на одной ноге (толчковая нога), наступить на предмет (нога, производящая движение), пнуть мяч (нога, ударяющая мяч), шаг назад (нога, производящая движение), встать на стул коленом (нога, производящая движение), прыжок вперед (толчковая нога), отклонение при движении вперед по прямой линии с закрытыми глазами (ребенок с закрытыми глазами двигался по прямой примерно около 7-10 м, оценивали направление отклонения, считалось, что ребенок отклоняется в сторону, противоположную ведущей ноге).

Для определения ведущего глаза использовали следующие пробы: гаплоскопия (гаплоскоп - прибор, направляющий в каждый глаз свою картинку, ребенок сообщает лишь о той, которая получена ведущим глазом), калейдоскоп (оценивается глаз, к которому подносится прибор), прицеливание (открытый глаз в процессе действия), подмигивание (открытый глаз считается ведущим).

Для определения ведущего уха проводилось дихотическое тестирование (стандартная компьютерная методика, разработанная на основе исследований D. Kimura [9, 10] коллективом авторов под руководством И.В. Королёвой; оценивался коэффициент правого уха по формуле), проба «Тиканье часов» (ребенку

предлагалось послушать тиканье часов, отмечалось, каким ухом он наклонялся к часам), повторение слов, произнесенных экспериментатором шепотом (одно ухо у ребенка закрывалось ватой, экспериментатор находился на расстоянии примерно 4 м и шепотом произносил цифры, которые ребенок должен был повторить. Ведущим считалось ухо, при прослушивании которым повторялось больше цифр. Если все слова повторялись успешно, уши считались симметричными).

Ребенку предъявлялась словесная инструкция по каждому методу с одновременным показом. Все три выполнения пробы ребенком фиксировались в специальном протоколе. Например, сцепление пальцев рук могло быть выполнено первый раз правой рукой, второй – правой, третий – левой. В протоколе фиксировалась последовательность первых букв от соответствующих слов - ППЛ (правый, правый, левый показатели).

Определение ведущих показателей проводилось с каждым ребенком в один экспериментальный день. Все пробы проводились трижды (кроме теппинг-теста и дихотического тестирования) для того, чтобы была возможность оценить устойчивость результата. Этот показатель – устойчивость выполнения проб – оценивался отдельно: находился процент детей для каждой пробы, ни разу не изменивших сторону выполнения пробы.

Для получения ведущего показателя и окончательного профиля использовали те методы, которые были выявлены нами в литературе, кроме одного. При использовании формулы  $K_{пр} = ((П - Л) / (П + Л)) * 100$ , в которой  $K_{пр}$  – показатель преимущества правой стороны для руки, ноги, глаза, уха, группы выраженной латеральности искусственно укрупняются за счет симметрично выполняемых проб (они в данной формуле вообще не используются). Поскольку в наших результатах не было детей, которые хотя бы в одной из проб не выполняли бы ее одинаково эффективно с использованием левой и правой сторон, мы посчитали неправомерным пользоваться методом, искусственно исключающим симметричный результат.

1 способ. Чаще всего исследователи применяют формулу, предложенную Т.А. Доброхотовой и Н.Н. Брагиной [2]:

$K_{пр} = ((П \text{ общ.} - Л \text{ общ.}) / (П \text{ общ.} + Л \text{ общ.} + С \text{ общ.})) \times 100 \%$ , где  $K_{пр}$  – коэффициент правой стороны (ноги, уха, глаза); П общ. – общее количество проб, выполненных с использованием правой стороны; Л общ. – общее количество проб, выполненных с преимуществом левой стороны; С общ. – общее количество проб, выполненных одинаково эффективно каждой рукой.

Спецификой этой формулы является то, что в числителе не учитывается число симметрично выполненных проб. Это ведет к тому, что искусственно завышается коэффициент правого показателя за счет симметрично выполненных проб. С большей вероятностью результат может быть искажен, когда экспериментальной выборкой являются дошкольники, которые весьма часто многие пробы выполняют симметрично.

При использовании данного метода разделение детей по параметрам ведущая рука, нога, глаз, ухо происходило на основании величины коэффициента правой стороны следующим образом: «левоногие» («левоглазые», «левоухие») находились в интервале коэффициента от – 5 до – 100, «смешанносторонние» от -5 до + 5,

«правосторонние» от +5 до + 100 [2]. С нашей точки зрения, при таком делении шкалы происходит искусственное сокращение числа детей с симметричными показателями за счет того, что диапазон для отнесения показателя к латеральному больше, чем для отнесения к симметричному. Доказательств справедливости именно такого деления диапазона коэффициента предпочтения правого мы не нашли.

2 способ. В соответствии с вышеописанными причинами мы внесли изменения в формулу и получили новую:

$$K_{\text{пр}} = ((\text{П общ.} - \text{Л общ.} - \text{С общ.}) / (\text{П общ.} + \text{Л общ.} + \text{С общ.})) \times 100 \%,$$

Обозначения в ней те же, что и в формуле, предложенной в первом способе.

Очевидно, что результат будет существенно отличаться в тех случаях, если будут использованы пробы, в которых возможен симметричный результат или в выборке будет много испытуемых, предпочитающих симметричное исполнение проб. Для разделения детей по группам, мы воспользовались шкальным методом, описанным выше.

3 способ. Мы предложили третий способ для максимального исключения субъективности исследователя и тех недостатков, которые были в первых двух. Результаты тестирования сразу же переводились из буквенного варианта в цифровой с помощью следующей схемы: правому результату присваивалось 2 балла, симметричному - 1 балл, левому - 0. Если ребенок одну пробу все три раза выполнял с преимуществом правой стороны, он получал 6 баллов, левой - 0. Соответственно смешанные варианты составляли промежуточные значения в баллах. Следовательно, не требовалось использование формулы для подсчета коэффициента. Для определения типа ведущего показателя применялась равномерная интервальная шкала, в которой и выраженные асимметричные, и симметричные показатели получали равную часть диапазона. Согласно ей дети, получившие 1,8 до 3,0 баллов, относились к группе левосторонних, 3,1 до 4,3 - симметричных, от 4,3 до 5,5 - правосторонних.

4 способ. Четвертый вариант получения ведущего показателя был качественным [6], то есть подсчитывалось, каких проб больше - левых или правых. Если больше было правых проб, то ребенок считался правосторонним по данному показателю, больше левых - левосторонним. Если были пробы, в которых одинаковым образом включались левая и правая стороны (например, левая и правая ноги), а выполненные левым и правым способом пробы были в равном числе, то показатель рассматривался как симметричный.

Очевидно, что данный способ обработки «огрубляет» результаты, занижая, прежде всего, число детей с левосторонними показателями, поскольку лишь немногие дети устойчиво все пробы выполняют только на левой стороне. На практике этот метод наиболее прост в использовании по сравнению с предыдущими методами. И если не будет найдено объективных свидетельств его неэффективности, он мог быть рекомендован практикам, задача которых состоит в том, чтобы выявить в максимальной степени тех, кто имеет неправые показатели.

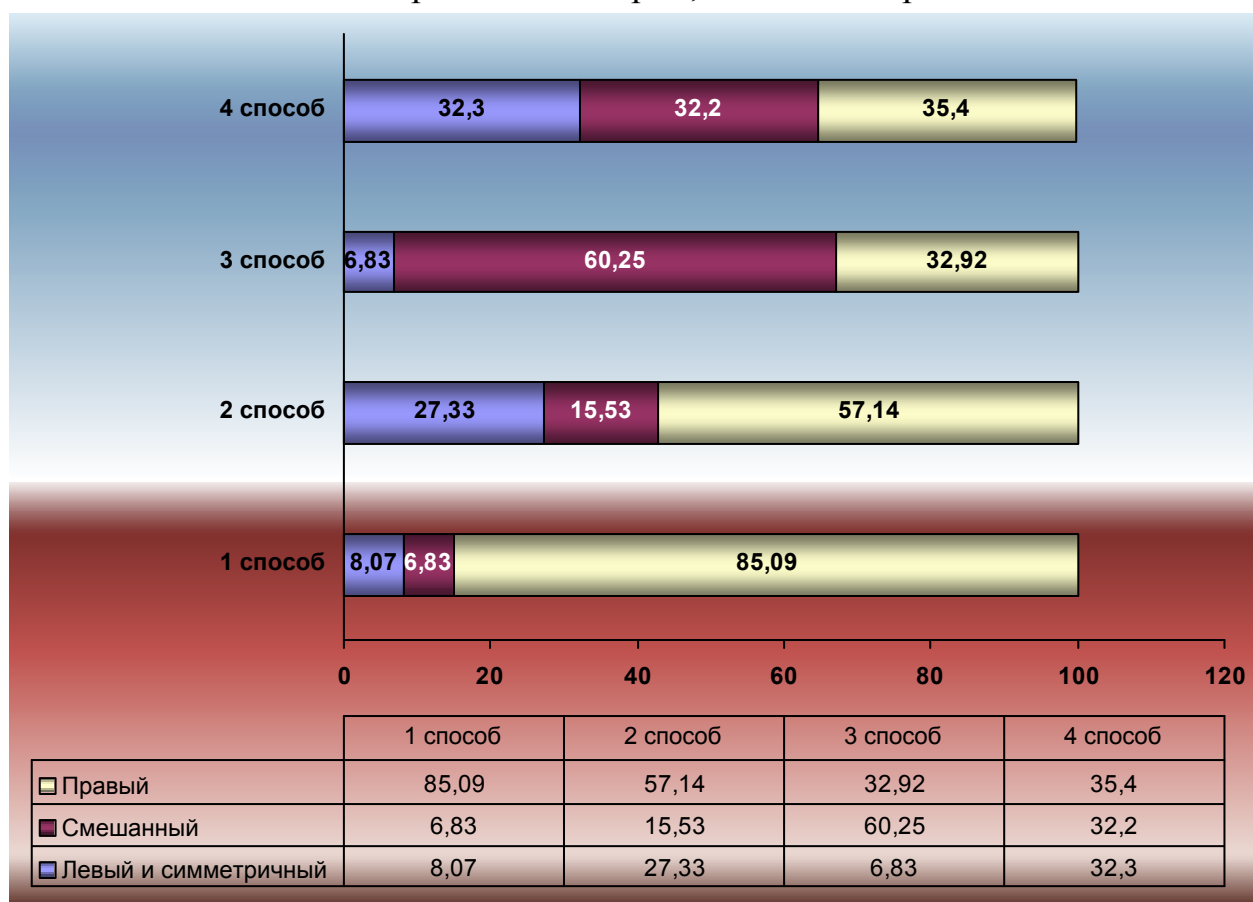
После определения 4 ведущих показателей, составлялся профиль функциональной сенсомоторной асимметрии по следующей схеме: если все 4 показателя (ведущие рука, ухо, нога, глаз) были правыми, или 3 из них (все равно

какие) правые, профиль рассматривался как правый; если 4 или 3 показателя левые – левый, если 4 или 3 симметричные – симметричный, все остальные варианты считались смешанным профилем. Поскольку детей с симметричным профилем крайне мало, а некоторыми способами они вообще не выделяются, мы объединили их с детьми, имеющими левый профиль, тем более что есть данные о том, что их способности к адаптации близки [6].

При статистической обработке данных использовались пакеты программ Excel и SPSS (версия 11.5).

**Результаты и их обсуждение**

На рис. 1 представлены результаты распределений детей по типам профиля функциональной сенсомоторной асимметрии, оцененного разными способами.



*Рис. 1. Сравнение распределений детей по типам профилей функциональной сенсомоторной асимметрии, полученных разными способами обработки (%)*

Из рисунка ясно, что метод в значительной мере определяет результат. Количество детей, имеющих правый профиль, согласно разным методам различается в два раза, смешанный – в 10 раз, левый и симметричный – в 4 раза. Очевидно, что эти результаты отражают разные мнения, обсуждаемые в научных публикациях: преобладание людей с правым профилем и незначительное количество с левым [2,5], большое число смешанных типов и одинаковое количество детей с разными типами профиля [6].

В таблице 1 представлены данные о распространенности отдельных проб, наиболее часто используемых в литературе для описания профиля. Из нее видно, что пробы можно разделить на несколько групп: те, которые делят выборку

примерно на две равные половины, пробы, в которых превалирует правостороннее исполнение, и пробы, в которых превалирует симметричное исполнение, пробы, делящие выборку примерно на три равные части. Неосторожно выбирая для анализа тот или иной набор, можно в существенной мере сдвинуть выборку в левую или правую стороны. Например, взяв для оценки ведущей руки пробы с 5 по 8, можно получить выраженный сдвиг вправо, а, выбрав 3, 4 и 8 пробы, доказать преимущество смешаннорукости. Аналогичные сдвиги можно получить для любого другого показателя.

Таблица 1.

Распространенность левых, правых и симметричных проб у дошкольников (выборка 161 ребенок)

Пробы, на оценку ведущего показателя	Проба		Левая	Симметричная	Правая
			%	%	%
Рука	1.	Сцепление пальцев рук.	53,4	0,6	45,9
	2.	Поза Наполеона.	39,7	9,9	50,3
	3.	Плечевой тест.	36,0	31,7	32,3
	4.	Аплодирование.	9,3	81,4	9,3
	5.	Рисование круга и квадрата.	29,2	5,6	65,2
	6.	Рука, берущая предмет.	25,5	0	74,5
	7.	Рука, используемая при рисовании, письме.	6,8	0	93,2
	8.	Отвинчивание крышки с бутылочки.	5,6	39,7	54,7
Глаз	1.	Калейдоскоп.	31,7	6,2	62,1
	2.	Прицеливание.	45,9	17,4	36,6
	3.	Подмигивание.	49,1	21,7	29,2
Ухо	1.	Прислушаться к тиканью часов.	36,6	6,8	56,5
	2.	Прислушаться к шепоту	17,4	40,9	41,6
Нога	1.	Положить ногу на ногу.	34,2	0	65,8
	2.	Подпрыгнуть на одной ноге.	45,3	0	54,7
	3.	Наступить на предмет одной ногой.	15,5	1,2	83,2
	4.	Ударить по мячу.	12,4	0,6	86,9
	5.	Отклонение при движении с закрытыми глазами.	31,1	29,2	39,7
	6.	Сделать шаг назад.	35,4	0	64,6
	7.	Опустить на стул коленом.	31,7	0	68,3
	8.	Прыжок вперед.	15,5	54	30,4
	9.	Наклон вперед с закрытыми глазами.	47,8	1,2	50,9

Однако подводные камни могут встретиться исследователю и еще в одном месте.

На таблице 2 представлена стабильность выполнения проб дошкольниками. Из нее видно, что есть пробы, выполняемые нестабильно. Следовательно, сделав, например, пробу «отвинчивание крышки» один раз, можно получить неадекватный результат.

**Таблица 2.**

*Устойчивость выполнения проб дошкольниками 4-7 лет (в %)*

Пробы, на оценку ведущего показателя	Проба		Устойчивое выполнение проб детьми (%)
Рука	1.	Сцепление пальцев рук.	96,9
	2.	Поза Наполеона.	87,6
	3.	Плечевой тест.	38,5
	4.	Аплодирование.	86,3
	5.	Рисование круга и квадрата.	62,7
	6.	Рука, берущая предмет.	59,0
	7.	Рука, используемая при рисовании, письме.	95,6
	8.	Отвинчивание крышки с бутылочки.	27,3
Глаз	1.	Калейдоскоп.	80,1
	2.	Прицеливание.	90,1
	3.	Подмигивание.	86,9
Ухо	1.	Прислушаться к тиканью часов.	71,4
	2.	Прислушаться к шепоту.	59,0
Нога	1.	Положить ногу на ногу.	83,8
	2.	Подпрыгнуть на одной ноге.	88,2
	3.	Наступить на предмет одной ногой.	83,2
	4.	Ударить по мячу.	86,3
	5.	Отклонение при движении с закрытыми глазами.	40,4
	6.	Сделать шаг назад.	77,0
	7.	Опустить на стул коленом.	88,8
	8.	Прыгнуть вперед.	65,2
	9.	Наклон вперед с закрытыми глазами.	50,9

Более того, работая с детьми, стоит иметь в виду, что дети часто, исполняя пробу «зажмурь глаз», закрывают ведущий глаз, поскольку лучше управляют его мышцами.

Полученные данные свидетельствуют о том, что выбор набора проб, подсчета окончательных результатов в значительной мере предопределяет полученный результат.

Как же быть исследователям в этом случае?

Безусловно, работая с дошкольниками, каждую пробу нужно выполнять три раза, а если видна неустойчивость ее исполнения, можно увеличить число исполнений, чтобы убедиться, что оно симметрично.

С нашей точки зрения, стоит использовать третий способ обработки результатов с равномерной шкалой для оценки левых, симметричных и правых показателей. Это обусловлено уменьшением влияния собственных предпочтений исследователя. Возможно, работая со взрослыми, можно применять первый или второй способы, поскольку число симметричных исполнений у взрослых падает. На практике психологи могут пользоваться последним способом, поскольку их задача состоит в выявлении максимального числа детей с неправыми признаками: показано, что обучение сложным навыкам в начальной школе труднее дается детям со смешанными показателями [3].

В любом случае, предпринимая оценку профиля функциональной сенсомоторной асимметрии, исследователь должен внимательно отнестись к подбору методов обработки данных и набора проб.

#### **Выводы:**

1. Методы обработки результатов оценки профиля функциональной сенсомоторной асимметрии у дошкольников в существенной мере предопределяют особенности распределения детей по типам профиля.

2. Набор проб для оценки ведущих руки, глаза, уха, ноги в существенной мере предопределяет конечный результат.

#### **Литература:**

1. Безруких М.М. К вопросу о функциональной межполушарной асимметрии и латерализации моторных функций. Актуальные вопросы функциональной межполушарной асимметрии. – М.: НИИ мозга РАМН, 2003. – С. 27-28.
2. Брагина Н.Н., Доброхотова Т.А. Функциональные асимметрии человека. 2-е изд. перераб и доп. – М.: Медицина, 1988.
3. Верещагина Н.В. Специфика межполушарной асимметрии у детей 6-7 лет с трудностями в письме / Автореф. диссертации на соискание степ. канд. психол. наук. СПб, 2006.
4. Вильдовский Б.Ю., Князева М.Г. Метод определения и характеристика мануальной асимметрии в онтогенезе // Физиология человека. – 1989. – №1. – С.112-125.
5. Доброхотова Т.А., Брагина Н.Н. Методологическое значение принципа симметрии в изучении функциональной организации человека. Функциональная межполушарная асимметрии. Хрестоматия. – М.: Научный мир, 2004. – С. 15-46.
6. Леутин В.П., Николаева Е.И. Функциональная асимметрия мозга: мифы и действительность. – СПб: Речь, 2005.
7. Лурия А.Р. Мозг человека и психические процессы. – М.: Изд-во МГУ, 1963.
8. Хомская Е.Д., Ефимова И.В., Будыка Е.В., Ениколопова Е.В. Нейропсихология индивидуальных различий. – М., 1997.
9. Kimura D. Cerebral dominance and the perception of verbal stimuli.— Canadian Journal of Psychology.— 1961.— V. 15.—P. 166-171.
10. Kimura D. Functional asymmetry of the brain in dichotic listening // Cortex. – 1967. – V.3. – P.163-168.



*Сазонов В.Ф.*

## АСИММЕТРИЯ МОТОРИКИ РУК У ШКОЛЬНИКОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Рязанский Государственный Университет им. С.А. Есенина, Рязань, Россия

В обучении школьников младших классов моторика руки имеет важное и даже решающее значение. Общеизвестным является положение, что хорошо развитая моторика способствует более успешной учебе. С практической точки зрения исследование моторики рук у школьников является важной и актуальной задачей педагогики, психологии и физиологии. Ответы на вопросы, как формируются моторные навыки, как их развивать и какое значение имеет для детей асимметрия рук, имеют большое значение как для теории, так и для практики.

Давно известно, что функциональная асимметрия полушарий головного мозга проявляется как в сенсорной, так и в моторной сфере. Феномены праворукости и леворукости, отражающие разную моторную специализацию полушарий, в последнее время исследуется достаточно интенсивно. Но нас больше заинтересовал вопрос о развитии моторики руки и связи этого процесса с латерализацией полушарий. Особый интерес представляет работа субдоминантного правого полушария, которому долгое время уделяли значительно меньше внимания, чем левому. Под контролем правого полушария находится левая сторона тела, и этим определяется связь правого полушария с леворукостью и с использованием левой руки. Можно обоснованно предполагать, что показатели левой руки в определенной степени отражают работу правого полушария. Поэтому мы считаем важным в исследовании моторики изучать деятельность обеих рук: как правой, так и левой. К настоящему времени известно, что повреждения правого полушария приводят к игнорированию левой половины пространства и собственного тела, появлению локальных ощущений движений слева, нарушению внимания, нарушению ориентации в пространстве, ухудшению художественных и конструктивных способностей, нарушению способностей к узнаванию и т.д. (Алейникова Т.В. и др., 2000). Все эти характеристики имеют большое значение для учебной деятельности школьников. И если левое полушарие доминирует в восприятии письменного изображения букв и слов и в логической обработке информации, то правое полушарие – в локализации предметов в пространстве и работе с образами, и этим определяется его значительная роль в учебной деятельности.

Учебная деятельность построена, как правило, таким образом, что у детей преимущественно развиваются функции левого полушария. Правое полушарие при этом остается «недогруженным». Мы полагаем, что вследствие этого в учебной деятельности школьников недостаточно используются резервы правополушарного способа обработки информации и не обеспечивается гармоничное развитие обоих полушарий. Введение в учебную деятельность школьников упражнений, способствующих развитию правополушарной активности и упражнений, улучшающих межполушарные взаимодействия, представляется нам перспективным направлением в педагогике, непосредственно связанным с возрастной физиологией мозга.

Аналитико-синтетическая дихотомия полушарий предполагает, что левое полушарие характеризуется преимущественно аналитическим восприятием, обрабатывая информацию последовательно, дискретно, а правое – синтетическим, холистическим, целостным восприятием в виде «гештальта», или целостного образа (Zaidel D., Sperry R.W., 1973; Dimond S., Farrington L., Johnson P., 1976; Nebes R., 1978; Bradshaw J., Nettleton N., 1981; Янсон В.Н., Крауклис А.А., 1982; Черниговская Т.В., 1989; Efron R., 1990; Eviatar Z. et al., 1990 и др.). Мы считаем, что умение работать с образами, и не только зрительными, но и моторными, обеспечивает творческий подход и повышает обучаемость. Образ действия, за который отвечает правое полушарие, имеет огромное значение для выполнения моторных программ. Правое полушарие имеет преимущество в одновременной (параллельной) обработке большого количества элементов, что обеспечивает образный охват ситуации (Geffen G. et al., 1971; Rizzolatti G. et al., 1971; Sergent J., 1982; Костелянц Н.Б. с соавт., 1988). По мнению Дж. Леви (1969) существуют две стратегии мышления: дискретная и аналоговая (аналитическая и холистическая), которые находятся в антагонистических взаимоотношениях и разнесены у правшей в разные полушария. У левшей и амбидекстров стратегии оказываются совмещенными, из-за чего страдает одна из них. Развитие взаимодействия полушарий, на наш взгляд, должно сказаться на учебе положительным образом. Для этого предлагается использовать упражнения, включающие в работу левое и правое поля зрения, левосторонние и правосторонние движения (Brain Gym, 1989; Деннисон П.И., Деннисон Г.И., 1997, 1998; Деннисон П.И., Деннисон Г.И., 1998; Масгутова С.К., Гончарова С.М., 1998; Вайтсайд Д., Стокс Г., 1996; Decker F., 1995; Ендролов В.В., Сазонов В.Ф., 1994; Сазонов В.Ф. и др., 1998; Сазонов В.Ф. и др., 2000а; Сазонов В.Ф. и др., 2000б).

### **1. Асимметрия в моторной координации кисти.**

Мы решили проверить возможности развития моторики у школьников на относительно простой модели двигательного акта: перемещение по ладони шаров за счет движения пальцев, без помощи другой руки. При таких условиях требуется координированная работа пальцев, которая получается не сразу. Подобные движения известны на Востоке как упражнения с «шарами здоровья» и широко рекомендуются для разработки кистей рук и для успокоения нервной системы. Нас интересовали вопросы, можно ли количественно оценить изменения в моторике рук у школьников с помощью этой модели, и насколько будет изменяться моторика кисти за счет тренировок с шарами. Естественно, мы предполагали наличие правосторонней моторной асимметрии у детей-правшей, т.е. более успешные действия правой рукой.

Исследование моторики кисти с помощью шаров проводилось под нашим руководством у школьников 5 класса Л.А. Талановой (1999), представившей основные фактические материалы в своей дипломной работе. В материалах, приведенных ниже, мы опираемся на полученные в этой работе данные. Моторика оценивалось по скорости перемещения на одной ладони без помощи другой руки двух резиновых шаров одинакового диаметра (3 см) таким образом, чтобы поменять их местами. Подсчитывали количество перемещений шаров (взаимной смены положения на ладони) за 1 минуту. На протяжении 4 проб, проводимых один раз в неделю, прослеживали динамику моторики правой и левой руки по мере тренировки школьников в

выполнении упражнений с шарами. В каждой пробе проводили по 3 испытания подряд.

Класс был разделен на 2 группы – контрольную и экспериментальную. С участниками обеих групп параллельно было проведено 2 опыта по 4 пробы в каждом, по 3 испытания подряд в каждой пробе. В первом опыте исследовали только работу правой руки, чтобы исключить влияние левой руки на динамику моторики. Во втором опыте исследовали моторику как правой, так и левой руки.

Чем отличались контрольная и экспериментальная группы? Они отличались применением дополнительных воздействий на моторику за счет специальных несложных координационных упражнений. Как уже говорилось, в каждой пробе проводили подряд по 3 испытания на скорость перемещения шаров. В экспериментальной группе, в отличие от контрольной, проводили специальные упражнения в каждой пробе после первых двух испытаний перед третьим, последним. Упражнения представляли собой рисование в воздухе указательными пальцами вытянутой руки фигуры «знака бесконечности», в математике эта фигура известна под названием «лемниската». Детям предлагали нарисовать «восьмерку, лежащую на боку». В таком своеобразном направлении целительства, как кинезиология, считается, что выполнение этих упражнений способствует улучшению связи между двумя полушариями головного мозга (см.: Dennison P., Dennison G., 1987; Деннисон П.И., Деннисон Г.И. 1997, 1998а, 1998б; Масгутова С.К., Гончарова С.М., 1998). Мы описали ранее несколько вариантов выполнения данного упражнения, рекомендованные для профилактики школьной дезадаптации (Сазонов В.Ф. и др., 2000а, б). Мы считаем, что фигура «знака бесконечности», которую изображают испытуемые, сама по себе достаточно информативна и может отражать различные аспекты межполушарной асимметрии и межполушарных взаимодействий (Сазонов В.Ф. и др., 1998; Сазонов В.Ф., Ладохина И.Ю., 2001).

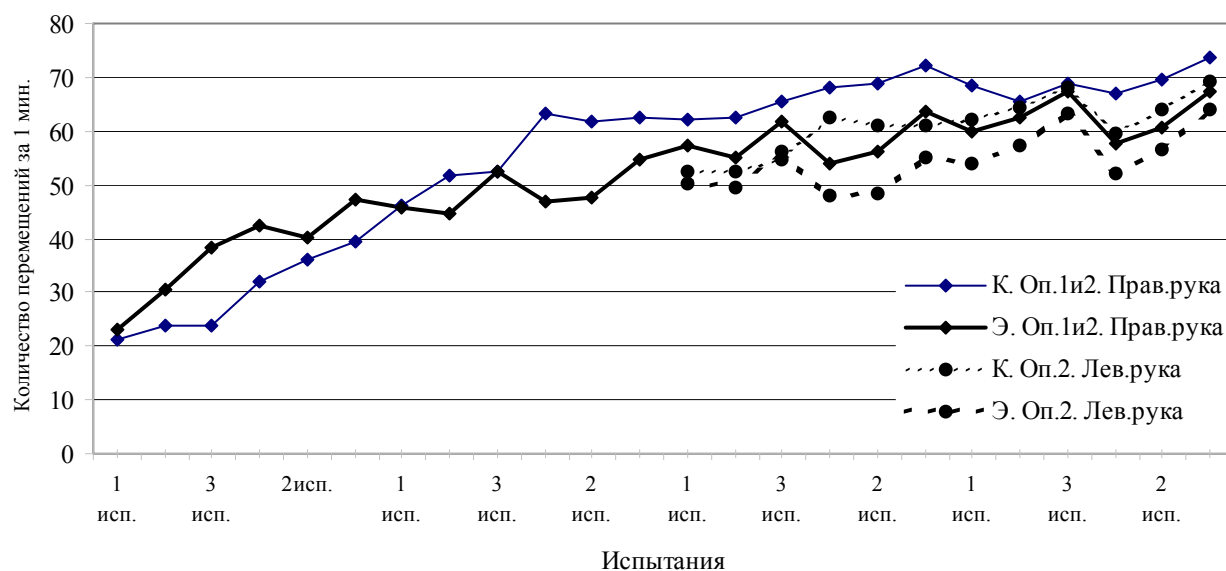
Итак, в качестве психофизиологических упражнений, развивающих координацию и межполушарные связи, мы выбрали комплекс из 10 повторов каждой рукой изображения «знака бесконечности» с постоянной фиксацией взгляда на кончике пальца, рисующего в воздухе данную фигуру с размахом 0,5-1 м, и 10 повторов сначала «перекрестных», а затем «параллельных» шагов с касанием ладонями коленей (см. Сазонов В.Ф. и др., 2000а, б).

Положительный эффект рисования «знака бесконечности» в комплексе с «перекрестно-параллельными шагами» был доказан в кандидатской диссертации Н.А. Куликовой (2000). Исследовалось влияние на функциональное состояние детей простого комплекса психофизиологических упражнений: 10 «параллельных движений» (5 пар); 10 «перекрестных движений»; 10 «задних перекрестных движений» («ладонно-пяточных»); 8 фигур «знака бесконечности» («лежащей восьмерки»), выполняемых каждой рукой. В контрольной группе в те же сроки проводились обычные физические упражнения: шаги, прыжки, бег на месте, наклоны в стороны. Упражнения проводились 2 раза в неделю во время урока в виде физкультминутки. Одним из выводов диссертации был следующий: выполнение психофизиологических упражнений сохраняет у праворуких детей 10–12 лет преобладающую левополушарную активность (характерную для нормы), сдерживает нарастание интерференционной правополушарной тормозной активности (характерной для утомления), активи-

визуирует интерференционную тормозную активность левого полушария (характерную для нормы), что сопровождается повышением умственной работоспособности. В контрольной группе наблюдалось возрастание активности правого полушария, что согласуется с данными ряда авторов о возрастании активности правого полушария при утомлении. В отличие от экспериментальной группы в контрольной не происходило увеличения скорости выполнения умственной работы в корректурных пробах.

В диссертационном исследовании Н.А. Куликовой подтверждается положение о том, что психофизиологические упражнения стимулируют умственную работоспособность и сдерживают нарастание умственного утомления.

Наше с Л.А. Талановой исследование дало интересные и неожиданные для нас результаты. Они графически представлены на диаграмме 1.



**Диаграмма 1.** Перемещение шаров на ладони. Опыты 1 и 2: по 4 пробы (по 3 испытания в каждой). Группы: К - контрольная ( $n=8$ ); Э - экспериментальная (упражнения перед каждым 3-м испытанием) ( $n=8$ )

В частности, нас поразило резкое улучшение моторики обеих рук в обеих группах 10-летних детей в результате проводимых упражнений с шарами. Скорость перекачивания шаров в течение всего эксперимента неуклонно возрастала и много повысилась за время эксперимента у всех испытуемых в обеих группах. И в контрольной, и в экспериментальной группах наблюдалась в основном положительная динамика в скорости перекачивания шаров как от испытания к испытанию в каждой пробе, состоящей из трех испытаний, так и от пробы к пробе. Различия между скоростью перекачивания шаров в разных пробах были достоверными по t-критерию Стьюдента. Представляет большой научный и практический интерес отмеченный нами скачок положительных результатов (скорости перемещения шаров) после проведения психофизиологических упражнений в экспериментальной группе. Он выразился в том, что в экспериментальной группе в пределах одной пробы наблюдал-

ся резкий прирост скорости от второго испытания к третьему после проведения психофизиологических коррекций между вторым и третьим испытаниями. Достоверность различий в этих случаях была очень высокой ( $p < 0,0001-0,00005$ ). Мы отметили также положительное влияние упражнений с шарами на учебную деятельность испытуемых.

Итак, в моторике обеих рук в обеих группах произошло резкое улучшение. Такой значительный прирост скорости перемещения шаров, который мы получили за столь короткое время, трудно объяснить простой физической тренировкой мышц. Скорее всего, речь должна идти о разблокировании функциональных моторных возможностей кисти и моторных структур мозга. Скорость перемещения шаров в течение всего нашего эксперимента последовательно возрастала у всех испытуемых. К концу всего эксперимента, состоящего из 2-х опытов, 8 проб и 24 отдельных испытаний, общий прирост скорости в контрольной группе в восьмой пробе по сравнению с первой составил 204% ( $70,08 \pm 17,63$  перемещений шаров против  $23,0 \pm 6,97$ ), а в экспериментальной группе – 102% ( $61,96 \pm 13,74$  перемещений шаров против  $30,63 \pm 12,73$ ).

Во втором опыте, в котором в работу включали кроме правой руки и левую руку, по сравнению с первым опытом скорость повысилась в контрольной группе на 58%, а в экспериментальной – на 41%. И в контрольной и в экспериментальной группах наблюдалась в основном положительная динамика в скорости перекачивания шаров как от испытания к испытанию, так и от пробы к пробе. Еженедельный прирост скорости от пробы к пробе был примерно в тех же пределах, что и прирост скорости от испытания к испытанию внутри отдельной пробы. Различия между пробами были достоверны:  $p < 0,0001-0,01$ .

В контрольной группе прирост скорости в пределах одной пробы от испытания к испытанию был значительным в промежуточных пробах, а в начале и в конце эксперимента он был равен нулю. Различия между испытаниями были достоверны:  $p < 0,002-0,05$ .

Влияние психофизиологических упражнений («восьмерки» и «перекресты») на моторику проявилось совершенно явным образом. В экспериментальной группе в пределах одной пробы наблюдался резкий прирост скорости от второго испытания к третьему (см. диаграмму 1). Мы связываем этот скачок скорости с проведением психофизиологических упражнений между вторым и третьим испытаниями. Достоверность различий в этих случаях была очень высокой ( $p < 0,0001-0,00005$ ).

Моторика правой руки во всех испытаниях и в контрольной и в экспериментальной группах была лучше по сравнению с левой рукой в среднем на 18%. Представляет интерес то, что линии на графиках, отражающие скорость перекачивания шаров на правой и на левой руках, практически повторяли друг друга. Т.е. динамика изменений моторики правой и левой руки была очень сходной в обеих изучаемых группах.

Нас поразило то, что успехи в перекачивании шаров соответствовали успехам в учебе. Наблюдалось совпадение между уровнем успешности учеников в скорости перекачивания шаров в нашем эксперименте и педагогическими характеристиками учителя. Эта закономерность была справедлива по отношению как к контрольной, так и к экспериментальной группе. Например: быстрее всех перекачивала шары А-

ва (среднее значение по всем испытаниям  $68,83 \pm 20,6$ ). По характеристике учителя русского языка и литературы у девочки «способности высокие, легко усваивает материал, на уроках активна и внимательна». Медленнее всех перекатывал шары С-кин (среднее значение  $22,58 \pm 13,94$ ). По характеристике того же учителя у этого ученика «способности низкие, он трудно усваивает материал, на уроках рассеян, невнимателен». Со средней скоростью перекатывала шары Ф-на (среднее значение  $41,74 \pm 18,6$ ). По характеристике учителя у девочки «способности средние, сообразительна, очень активна на уроках, но знания часто поверхностные». В первом опыте, где мы проводили перекатывание шаров только правой рукой, в обеих группах было полное соответствие средней скорости выполнения упражнения и педагогической характеристики учителя. Т. е., зная среднюю скорость перекатывания шаров правой рукой, можно было предсказать успеваемость и успешность учебной деятельности ученика. Во втором опыте, где шары перекатывали по очереди в обеих руках, это соответствие было нарушено. Можно предположить, что моторика правой руки в определенной мере отражает работу левого логического полушария, хорошее развитие которого обеспечивает успешность школьной учебной деятельности. Хорошая моторика правой руки свидетельствует о хорошо развитом левом полушарии и, следовательно, о высоких школьных способностях. Эту закономерность можно использовать в тестировании, после того, как будут собраны достаточные доказательства ее валидности.

#### **Моторика рук в контрольной группе.**

В контрольной группе (без психофизиологических упражнений между испытаниями) были получены следующие результаты. Скорость перекатывания шаров в контрольной группе постоянно и значительно возрастала, по-видимому, за счет самих упражнений с шарами - за счет тренировки или разблокировки моторной сферы.

В первом опыте, включавшем в себя 12 испытаний с перекатыванием шаров, был получен неожиданный для нас большой прирост в результатах для каждого испытуемого. Общий средний прирост скорости по всей группе составил 172% ( $62,38 \pm 18,2$  в последней пробе против  $23,0 \pm 6,97$  в первой). Такое быстрое и значительное повышение результатов, на наш взгляд, трудно объяснить простой мышечной тренировкой.

Прирост скорости в отдельной пробе от первого испытания к последнему в некоторых пробах также был значительным - 24% (различия достоверны:  $p < 0,05 - 0,01$ ).

Еженедельно скорость перекатывания шаров достоверно нарастала. Прирост скорости от пробы к пробе был в пределах от 24% до 56% ( $p < 0,0001$ ). За весь опыт средняя скорость перекатывания шаров в группе на правой руке составила  $42,85 \pm 21,14$  в мин. Минимальная индивидуальная скорость встретила во втором испытании и составила 13 в мин., а максимальная - в 9-м и 10-м испытаниях и составила 90 в мин.

Во втором опыте общий прирост скорости за время опыта был намного меньше, чем в первом опыте. Общий прирост скорости во втором опыте от первой к четвертой пробе составил на правой руке - всего 10,5% ( $70,08 \pm 17,61$  против  $63,42 \pm 18,45$ ), на левой - 20,33% ( $64,17 \pm 18,43$  против  $53,33 \pm 18,98$ ). Он был заметно

меньше, чем в первом опыте, а именно в 17 раз (данные получены по правой руке). Прирост скорости в отдельной пробе от первого испытания к последнему был незначительным – 6,5% (различие недостоверно:  $p > 0,16$ ). Но еженедельно скорость достоверно нарастала - с приростом от пробы к пробе в пределах от 3% до 11% ( $p < 0,001-0,0001$ ). За весь опыт для всей группы средняя скорость перекачивания шаров на правой руке составила  $67,71 \pm 17,02$  в мин. Минимальная индивидуальная скорость встретилась в первом испытании – 33 в мин., а максимальная в последнем испытании – 94 в мин. Для левой руки средняя скорость перекачивания шаров для всей группы составила  $60,99 \pm 19,62$  в мин.. Минимальная индивидуальная скорость встретилась в первом испытании – 22 в мин., максимальная - в последнем испытании – 99 в мин.

В среднем различия в моторике правой и левой руки составляли 11% в пользу правой руки. Различия в скорости работы правой и левой руки в первой пробе второго опыта составляли 19% ( $63,42 \pm 18,45$  против  $53,33 \pm 18,98$ ). Различия были достоверны ( $p < 0,005$ ). Удивительно, что к концу нашего эксперимента правая и левая рука сблизилась по моторным показателям до разницы всего в 9% ( $70,08 \pm 17,61$  против  $64,17 \pm 18,43$ ). Такие различия были уже недостоверными ( $p > 0,1$ ). За время второго опыта моторика правой руки дала прирост на 6,66 единиц, или на 10,5%, а левой – почти в 2 раза больше - на 10,84 единицы, или на 20,3%.

*Этот факт можно интерпретировать как более высокую обучаемость левой руки в моторной сфере. Это означает, что правое полушарие обучается моторным навыкам более успешно, чем левое.*

#### **Моторика рук в экспериментальной группе.**

В экспериментальной группе (где еженедельно проводились психофизиологические упражнения перед каждым третьим испытанием) были получены следующие данные.

В первом опыте, где использовали только правую руку, скорость перекачивания шаров возрастала не так существенно, как в контрольной группе. Общий прирост скорости в первом опыте от первой пробы к четвертой на правой руке составил 62,42% ( $49,75 \pm 19,75$  против  $30,63 \pm 12,73$ ). По сравнению с контрольной группой этот прирост был в 2,8 раза ниже. Конечный результат в скорости перекачивания шаров в экспериментальной группе был на 24% хуже, чем в контрольной группе ( $49,75 \pm 19,75$  против  $62,38 \pm 18,2$  соответственно). Хотя в то же время непосредственно после выполнения психофизиологических упражнений показатели явно улучшались. В экспериментальной группе в каждой отдельной пробе наблюдался достоверный ( $p < 0,002-0,02$ ) прирост скорости от второго к третьему испытанию после проведения психофизиологических упражнений, что свидетельствует о непосредственном положительном влиянии на моторику руки этих упражнений. Упражнения увеличивали скорость перекачивания шаров в среднем на 17% в следующем за ними испытании. За счет этого прироста скорости в отдельных испытаниях, следующих после упражнений, динамика улучшения моторики в экспериментальной группе резко отличалась от контрольной. Это явление хорошо иллюстрируют графики на диаграмме 1.

За время проведения исследования прирост скорости между соседними пробами в экспериментальной группе все время убывал: он составлял 13 единиц в на-

чале, 5 единиц в середине и всего 2 единицы в конце. Для контрольной группы была характерна совершенно другая динамика: там прирост скорости от пробы к пробе был относительно постоянным (13; 14; 12 единиц соответственно). Средняя скорость перекачивания шаров за весь опыт для всей группы составила на правой руке –  $42,79 \pm 18,66$  в мин. Минимальная индивидуальная скорость встретилась в первом испытании – 13 в мин. Максимальная - в 9-м и 11-м испытаниях – 80 в мин.

Во втором опыте в экспериментальной группе прирост скорости был заметно ниже, чем в первом. Общий прирост скорости от первой к четвертой пробе на правой руке составил всего 6,68% ( $61,96 \pm 13,74$  против  $58,08 \pm 13,35$ ). Различия достоверны:  $p < 0,032$ . Складывается впечатление, что скорость перекачивания шаров в этой группе во втором опыте достигла плато, и результаты перестали повышаться. На левой руке общий прирост скорости от первой к четвертой пробе составил 10,73% ( $57,58 \pm 17,29$  против  $52,00 \pm 14,69$ ). *Т.е. моторика левой руки улучшилась относительно больше, чем правой.*

В каждой отдельной пробе наблюдался высоко достоверный ( $p < 0,0001 - 0,00005$ ) прирост скорости от второго к третьему испытанию после проведения упражнений, что свидетельствует о положительном влиянии на моторику руки этих упражнений. Упражнения увеличивали скорость перекачивания шаров. За время проведения второго опыта средний прирост скорости между соседними пробами составил в экспериментальной группе всего около 2% (различия достоверны только между пробами 2 и 3:  $p < 0,0004$ ). Средняя скорость перекачивания шаров составила на правой руке –  $60,29 \pm 14,19$  в мин. Минимальная индивидуальная скорость встретилась в первом испытании – 38 в мин. Максимальная индивидуальная скорость встретилась в 9-м испытании – 94 в мин. На левой руке средняя скорость перекачивания шаров составила  $54,54 \pm 13,27$  в мин. Минимальная индивидуальная в 4-м испытании – 30 в мин., максимальная индивидуальная в 9-м испытании – 93 в мин.

В среднем различия в моторике правой и левой руки составляли 10,5% в пользу правой руки. Различия в скорости работы правой и левой руки в первой пробе второго опыта составляли 11,7% ( $58,08 \pm 13,35$  против  $52,0 \pm 14,69$ ). Различия были достоверны ( $p < 0,005$ ). К концу этого опыта правая и левая рука сблизилась по моторным показателям до разницы в 7,6% ( $61,96 \pm 13,74$  против  $57,58 \pm 17,29$ ). Эти различия были уже недостоверными ( $p > 0,1$ ). За время второго опыта моторика правой руки дала прирост на 3,88 единиц, или на 6,7%, а левой – почти в 1,5 раза больше - на 5,58 единицы, или на 10,7%.

*Таким образом, в экспериментальной группе подтвердился обнаруженный в контрольной группе факт более высокой обучаемости левой руки в моторной сфере.*

### **Учебная деятельность.**

Учебная успеваемость в обеих группах была выше именно в первой четверти, когда проводились упражнения с шарами. В контрольной группе успеваемость в первой четверти была выше, чем во второй: по русскому языку - на 3,3%, по математике - на 6,9%, по литературе - на 0,4%; ниже: по развитию речи - на 0,6%, по рисованию - на 0,4%. В экспериментальной группе успеваемость была выше в первой четверти: по литературе - на 0,2%, по математике - на 1,4%, по рисованию - на 6,6%; без изменений - по русскому языку и развитию речи.



Анкетирование показало, что благоприятные изменения в учебе отметили для себя 62,5% испытуемых (10 человек из 16). Дети называли следующие изменения: улучшился почерк, возросла скорость письма, скорость счета, улучшилось определение падежей по русскому языку, улучшилась грамотность письма, решение задач по математике, сообразительность. Благоприятные изменения в себе отметили 75% испытуемых (12 человек из 16): улучшилась подготовка к урокам, произошло развитие памяти и внимания.

Особенно ценным для нас является наблюдение учителя. Опираясь на свой 20-летний опыт, учительница этого класса могла давать экспертные педагогические оценки высокой степени достоверности. По отзывам учительницы, после проведенной нами работы с перекачиванием шаров, у учащихся действительно произошли благоприятные изменения в учебной деятельности: повысилась активность и уровень внимания на уроках, улучшилось понимание вопросов учителя, возросла скорость письма. Как неблагоприятные изменения можно отметить ухудшение в аккуратности письма у нескольких человек.

Положительную оценку проведенным нами занятиям с перекачиванием шаров дали 93,75% испытуемых (15 человек из 16). Безразлично отнесся к ним 1 испытуемый (6,25%).

На основании полученных нами данных можно рекомендовать упражнения по перекачиванию шаров для коррекционных занятий со школьниками. Они способствуют значительному улучшению моторики кисти и вызывают благоприятный эмоциональный отклик у учащихся. Наблюдаются также улучшения в учебной деятельности.

## **2. Асимметрия в зрительно-моторной координации.**

После сравнительной проверки моторики правой и левой руки на модели относительно простых двигательных действий пальцев и кисти мы решили сравнить действия правой и левой руки в более сложных зрительно-моторных актах.

Обратимся к теории двигательного акта Н.А. Бернштейна (1961, 1966, 1990). В ней предполагается несколько уровней организации движения. Фундаментальную роль в модели Н.А. Бернштейна играет сенсорный синтез. Состав образующих его афферентаций, т.е. прямых и обратных связей, и принцип их объединения служит главным критерием, отличающим один уровень построения движений от другого. Каждая двигательная задача находит себе, в зависимости от содержания и смысловой структуры, тот или иной ведущий уровень. Уровни различаются между собой не только видом сенсорного синтеза, но и анатомическим субстратом, т.е. совокупностью органов нервной системы, без которых функция этого уровня невозможна (Бернштейн Н.А., 1961). Первый уровень «А» регуляции движений называется уровнем палеокинетических регуляций. С его помощью осуществляются простейшие, чисто рефлекторные движения. Сенсорным звеном этого рефлекторного кольца служат мышечно-суставные компоненты проприоцепции, замыкающиеся в спинном мозге и в стволе головного мозга. Второй уровень «В» синергий, т.е. стереотипных движений, в которых участвуют большие группы мышц (например, гимнастические упражнения, улыбка и т.д.), требуют сенсорных коррекций со стороны суставно-пространственных компонентов проприоцепции и контактной экстероцепции. Для выполнения движений следующего в иерархии уровня «С» простран-

ственного поля необходимы вестибулярная афферентация, осязание, зрение и слух. Это движения, приспособленные к внешнему пространству, такие, как метание мяча или печатание на машинке. Значительно более сложные движения выполняются на уровне «Д» предметного действия. Основным регулятором движения здесь выступает сам предмет, в соответствии с логикой употребления которого и строится действие. Движения этого уровня представляют собой смысловые акты, решающие определенную задачу. В подобном цепном процессе вырабатываются ведущие и вспомогательные движения. Вариативность здесь выражается в широкой заменяемости одних элементарных операций другими при условии выполнения конечной цели всего акта. Выше уровня предметного действия лежит уровень «Е» - уровень высших символических координации, к которому относятся координации письма, речи, музыкальных фраз.

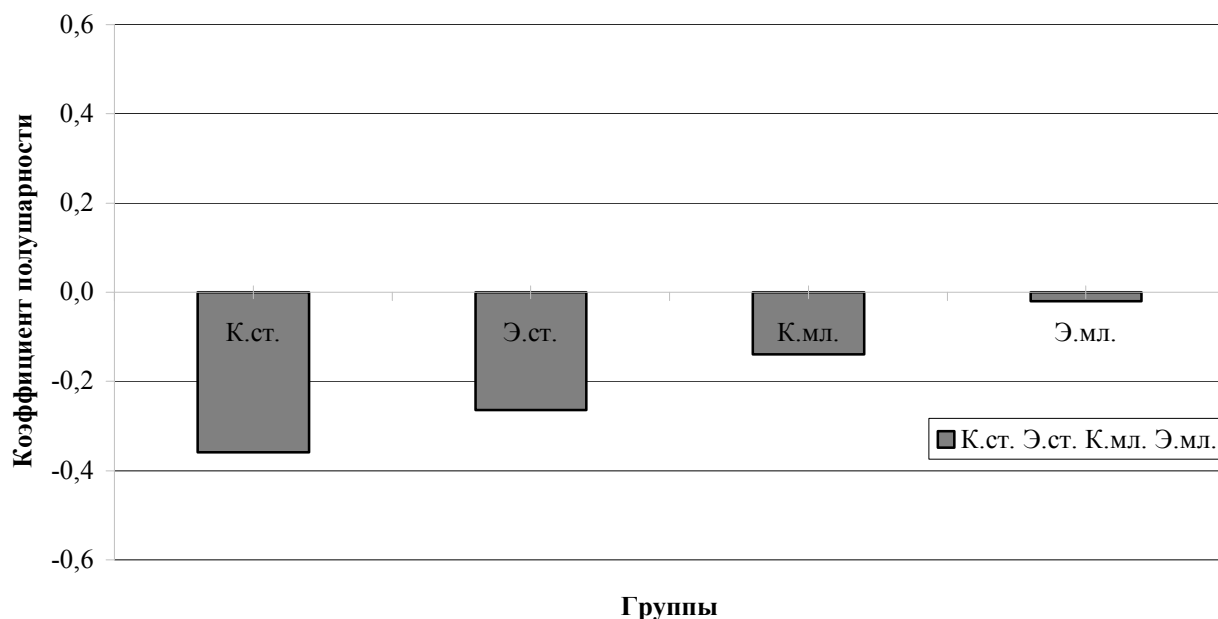
Проведя исследование моторики на уровне «В», мы решили перейти на более сложный уровень организации движений – «С», где используется, если можно так выразиться, многоканальная обратная афферентация, и влияние межполушарной асимметрии должно захватывать не одну, а несколько сенсорных систем.

Исследование зрительно-моторной координации у младших и старших школьников проводилось под нашим руководством Н.А. Костиковой (2000), представившей полученные материалы в своей дипломной работе. В материалах, приведенных ниже, мы опираемся на полученные в этой работе данные.

Исследование проводилось с 4 группами: старшая контрольная ( $n=12$ ) – 8 класс; старшая экспериментальная ( $n=14$ ) – 9 класс; младшая контрольная ( $n=12$ ) – 2 класс и младшая экспериментальная ( $n=12$ ) – тот же 2 класс. С участниками экспериментальных групп, в отличие от контрольных, проводили упражнения, развивающие координацию. Упражнения проводили в течение длительного времени (1 год в младшей экспериментальной группе и 5 лет в старшей экспериментальной группе) 1-2 раза в неделю. Основными упражнениями являлись: (1) рисование в воздухе фигуры «знак бесконечности» (8-10 раз каждой рукой) с фиксацией взгляда на кончике рисующего пальца; (2) перекрестные и параллельные шаги (10-12 шагов) с прикосновением ладони к колену при подъеме ноги; (3) парная игра в «ладушки» в течение нескольких минут, в которой также используются перекрестные и параллельные движения, но уже не для ног, а для рук.

У всех детей проводили определение ведущего полушария по тестам Т.А. Доброхотовой и И.Н. Брагиной (1988). Полученные по предлагаемой авторами формуле коэффициенты межполушарной асимметрии (КМПА) мы не переводили в проценты, а оставляли в долях единицы для последующего статистического анализа.

Групповые данные определения КМПА представлены на диаграмме 2. В контрольных группах преобладала правополушарная асимметрия (средний КМПА =  $-0,359$  в старшей группе и  $-0,14$  в младшей). В экспериментальных группах показатели межполушарной асимметрии были ниже (в старшей группе:  $-0,265$ , в младшей группе:  $-0,021$ ). Таким образом, в старших группах нашего исследования были только правополушарные дети, а в младших группах был смешанный тип доминирования.



*Диаграмма 2. Коэффициенты межполушарной асимметрии обследованных групп.  
Группы: К.ст. - контрольная старшая; Э.ст. - экспериментальная старшая;  
К.мл. - контрольная младшая; Э.мл. - экспериментальная младшая*

Пробы попадания в цель выполнялись индивидуально. На доске испытуемый ставил мелом точку на уровне своей вытянутой вперед руки: эта точка являлась мишенью. Участникам давалась предварительная тренировка с открытыми глазами: 5-10 попыток каждой рукой. После тренировки начинали тесты с закрытыми глазами. Ученикам давалось 10 попыток для попадания в мишень указательным пальцем правой и левой рук. Отклонения от цели фиксировали и измеряли в сантиметрах, а количество попыток заносили в протокол. После каждой попытки испытуемый открывал глаза, чтобы увидеть свое отклонение от цели.

Были проведены две серии опытов. В первой серии опытов все пробы начинали с *правой* руки, а затем проверяли левую. Во второй серии, наоборот, пробы начинали с *левой* руки, а затем проверяли правую.

#### **Пробы нацеливания, начинающиеся с правой руки.**

Рассмотрим данные по младшим группам.

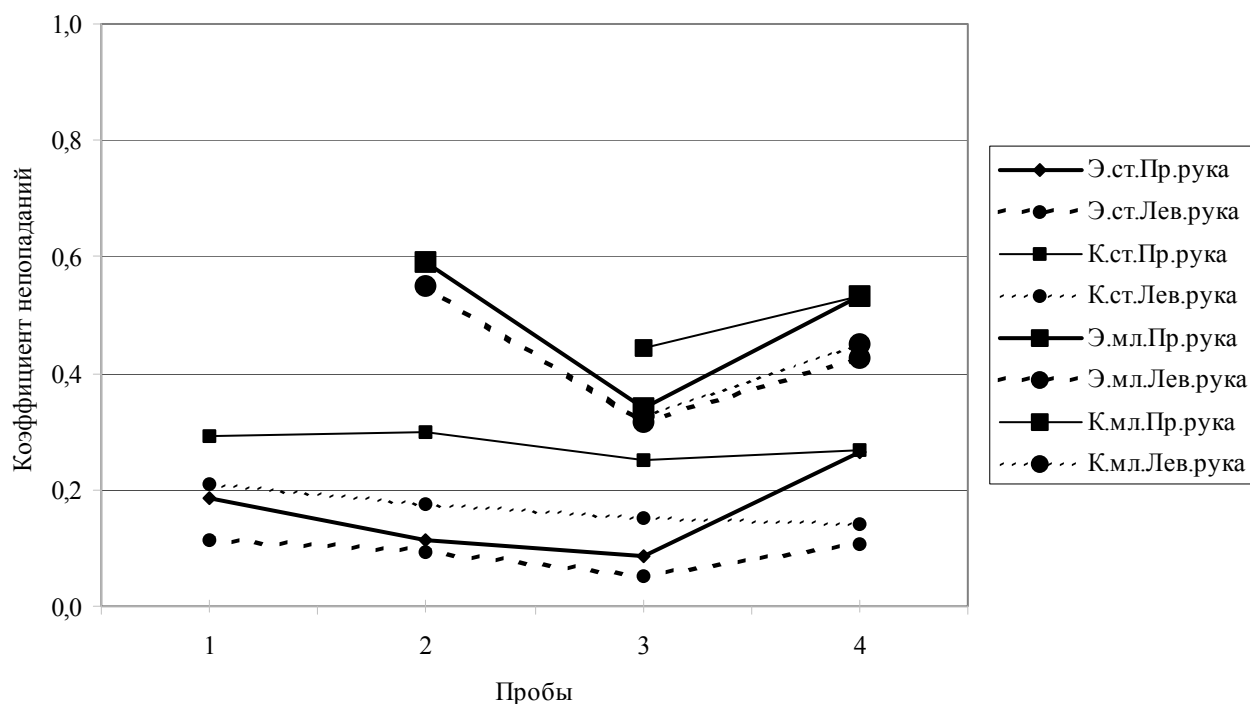
На диаграмме 3 сплошная линия обозначает правую руку, а прерывистая – левую. Жирными линиями обозначены экспериментальные группы, а тонкими – контрольные. Показатели тем лучше, чем ниже находятся точки на графике.

По количеству попыток попадание в цель были практически одинаковым у контрольной и экспериментальной групп. Но в одной пробе (проба №3 для правой руки) данные различались: показатели были лучше в экспериментальной группе (правда, различия недостоверны).

Проводя пробы нацеливания, мы заметили, что некоторые дети попадают в цель правой рукой хуже, чем левой. Но ведь все дети в наших группах пишут правой рукой. Почему же они правой рукой хуже попадают в цель? По результатам тестирования оказалось, что эти дети были правополушарными, в отличие от остальных членов группы. На общегрупповой диаграмме 3 видно, что в среднем

левая рука попадает в цель лучше, чем правая. Мы решили сравнить попадания в мишень правой и левой рукой в старших возрастных группах, которые состояли целиком из правополушарных детей.

Рассмотрим данные по старшим группам (диаграмма 3).



**Диаграмма 3.** Динамика попаданий в мишень (из 10 попыток).

Группы: экспериментальная старшая (9 А) и контрольная старшая (8 А), экспериментальная младшая (2 Б) и контрольная младшая (2 Б). Пробы 1-3: начинаются с правой руки, проба 4: с левой руки.

В обеих старших группах прослеживалась одна и та же закономерность: оказалось, что левая рука действует явно точнее правой. Например, в контрольной группе в первой пробе 2,1 попытки левой рукой против 2,9 правой ( $p < 0,05$ ). Во второй пробе: 1,75 левой рукой против 3,0 правой ( $p < 0,001$ ). В экспериментальной группе также левая рука показывала более хорошие результаты, чем правая, хотя различия были недостоверными. Измерение коэффициентов межполушарной асимметрии показало, что большинство испытуемых в старших группах (62,2%) были скрытыми левшами. Это отражалось и в большом значении коэффициента межполушарной асимметрии (КМПА).

Сравнение между собой экспериментальной и контрольной группы показало, что обе руки в экспериментальной группе действовали заметно точнее, чем в контрольной. Это проявлялось и в меньшем количестве попыток, необходимых для попадания в мишень, и в меньшем отклонении от цели. Например, в первой пробе для левой руки отклонение составило 1,11 см в экспериментальной группе против 2,1 в контрольной ( $p < 0,01$ ).

Можно сделать вывод, что упражнения на координацию, которые проводили в экспериментальных группах, приводят к улучшению попадания в мишень, т.е. к улучшению моторики обеих рук (особенно в старшей группе).

Особый интерес представляет разница в моторике правой и левой руки. По нашим данным можно вполне обоснованно сделать вывод о том, что в пробе попадания в мишень с закрытыми глазами *левая рука действует точнее правой*. В наших опытах 73% детей во всех 4 группах лучше попадали в мишень левой рукой, чем правой.

Нас удивил этот результат, и мы задумались: почему это происходит? Можно предположить, что предшествующие попытки попадания в мишень правой руки приводят к скрытой тренировке и автоматическому обучению левой руки. В литературе описано, что подобным образом можно наращивать силу обеих рук, тренируя только одну руку. Вторая рука тренируется даже без нагрузки (Ильин Е.П., 2001).

Мы решили проверить это предположение и изучить, будет ли, наоборот, правая рука учиться у левой, если начинать пробы не с правой, а с левой руки. Если одна рука действительно учит другую, то в этом варианте исследования левая рука будет обучать правую и правая рука начнет действовать точнее, чем левая. Но это предположение не подтвердилось. Левая рука все равно попадала в мишень лучше правой. Мы проверили такой вариант тестирования в 4-й пробе. Оказалось, что правая рука стала попадать даже хуже, чем раньше, в предыдущих пробах. Например, в старшей контрольной группе 1,4 попытки левой рукой против 2,7 правой ( $p < 0,05$ ), в старшей экспериментальной 1,07 попыток левой против 2,64 правой ( $p < 0,001$ ). Такая же картина была в младших группах, хотя различия были недостоверными.

Таким образом, предварительные испытания левой руки не приводили к улучшению деятельности другой руки. Левая рука, даже если начинала первой, все равно действовала лучше правой.

Мы проанализировали индивидуальные результаты попадания в цель участников эксперимента и сопоставили их с КМПА. Оказалось, что всего 27% детей из всех 4 групп левой рукой попадали в мишень хуже, чем правой. И все они оказались левополушарными, в отличие от остальных. Кроме этого мы обнаружили еще один очень интересный факт: КМПА коррелировал с таким показателем как разность попадания правой и левой рукой. Коэффициенты корреляции указывали на среднюю и тесную связь моторики с межполушарной асимметрией и достигали самых высоких значений в младших группах, особенно в экспериментальной. Максимальный коэффициент корреляции составлял -0,841 (в последней пробе, когда начинала левая рука). Корреляция была статистически значима с высоким уровнем значимости ( $\alpha = 0,001$ ).

Таким образом, в нашем исследовании было показано, что моторная асимметрия рук статистически значимо коррелирует с коэффициентом межполушарной асимметрии (КМПА). КМПА коррелировал с моторной асимметрией, т.е. разной точностью выполнения пробы попадания в цель для правой и левой руки.

В физиологической и психологической литературе утвердилось мнение, что пространственная точность движений правой рукой выше, чем левой (Е. Делабарре [E. Delabarre, 1891] – цит. по: Ильин Е.П., 2001; Богданова Д. Я., 1962 и др.). Однако имеются и другие данные. Например, Г. М. Гагаева (1959), нашла, что если для обеих рук задавать для воспроизведения одинаковые амплитуды, то точнее бывает то

правая рука, то левая. Считается, что устойчивая функциональная асимметрия, имеющая регионарно-специфический характер, формируется в 9–10-летнем возрасте. В этот период происходит становление функциональной асимметрии двигательных реакций, когда левая рука по своим потенциальным свойствам начинает превосходить правую (Бондарь А.Т., Соболева С.И., 1990). Исследования С. Уайтлсон (Witelson S.F., 1976) с дигаптической стимуляцией (ощупывание предметов одновременно двумя руками) у детей 6–13 лет обнаружили, что у мальчиков показатели для левой руки значительно лучше, чем для правой руки, а у девочек показатели обеих рук не различались.

Можно сделать вывод, что окончательно вопрос о точности рук к настоящему времени не решен, и существует непознанная область, нуждающаяся в новых исследованиях. Наши исследования показывают, что в определенных условиях левая рука, действительно, действует лучше правой. Левая рука контролируется правым полушарием, которому свойственно образное мышление. Пространственные образы, формирующиеся в правом полушарии, видимо, легче передаются на левую руку. Уместно вспомнить, что Н.А. Бернштейн (1961) наряду с принципом сенсорных коррекций важное значение придавал образу, функция которого состоит в осмысливании двигательной задачи и предвосхищении результата ее решения. Образ или представление результата рассматриваются Н.А. Бернштейном в качестве инварианта, который определяет программу реализации и корригирования действия. Эту программу, судя по нашим данным, лучше выполняет «более близкая» правому полушарию левая рука.

#### **Выводы:**

1. Упражнения на координацию, которые проводили в экспериментальных группах, приводили к улучшению моторики обеих рук в пробе нацеливания (особенно в старшей группе), что проявлялось в улучшении попадания в мишень по сравнению с контрольными группами.
2. В пробе попадания в мишень с закрытыми глазами левая рука действовала достоверно точнее правой.
3. Первоочередные испытания левой руки, предшествующие испытанию правой и фактически тренирующие зрительно-моторную координацию, не приводили к улучшению деятельности правой руки по нацеливанию. Левая рука, даже если начинала первой, все равно действовала лучше правой, а правая действовала хуже левой, даже если начинала второй.
4. Моторная асимметрия рук в пробе нацеливания коррелировала с коэффициентом межполушарной асимметрии (КМПА).
5. В старшей экспериментальной группе в трех пробах с интервалом в 1 месяц, начинавшихся с правой руки, точность попадания в цель незначительно улучшалась от одного обследования к другому: уменьшалось количество непопаданий (с 1,9 до 0,9 для правой руки и с 1,1 до 0,5 для левой руки; различия достоверны только для правой руки:  $p < 0,05$ ). В то же время дистанция отклонения от цели практически не изменялась (для правой руки 1,29 см в первой пробе против 1,31 в третьей, и для левой 1,06 см против 1,12; различия недостоверны).

6. Сравнение правой и левой руки в динамике показало резкое нарастание различий в точности между ними, если испытания начинали с левой руки.
7. Старшие группы имели более высокие показатели попадания в цель по сравнению с младшими группами. Это можно объяснить возрастным улучшением зрительно-моторной координации.

#### Литература:

1. Brain Gym Handbook. L.; N.Y., 1989.
2. Decker F. Die neuen Methoden des Lernens und der Veranderung. Munchen, 1995.
3. Dennison P., Dennison G. Edu-K For Kids. Edu-Kinesthetics, 1987.
4. Алейникова Т.В., Думбай В.Н., Кураев Г.А., Фельдман Г.Л. Физиология центральной нервной системы: Учеб. пособие. Ростов н/Д: Феникс, 2000.
5. Бернштейн Н. А. Очередные проблемы физиологии активности. М.: Проблемы кибернетики. Вып. в М.: 1961.
6. Бернштейн Н. А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М.: Медицина, 1966.
7. Бернштейн Н. А. Физиология движений и активность. М.: Наука, 1990.
8. Брагина Н. Н., Доброхотова Т. А. Функциональные асимметрии человека. М.: Медицина, 1988.
9. Вайтсайд Д., Стокс Г. Единый мозг. Коррекция дислексических нарушений способности к обучению и интеграция головного мозга. М.: Диалог-МГУ, 1996.
10. Деннисон П.И., Деннисон Г.И. Гимнастика мозга. М.: Восхождение, 1997, 1998.
11. Деннисон П.И., Деннисон Г.И. Образовательная кинестетика для детей: Базовое пособие по Образовательной Кинесиологии для родителей и педагогов, воспитывающих детей разного возраста: Пер. с англ. М.: Восхождение, 1998.
12. Ендолов В.В., Сазонов В.Ф. Использование нефармакологических методов психофизиологической коррекции для воздействия на эмоциональную сферу человека // Материалы 3-го (16-го) съезда физиол. об-ва при РАН. Успехи физиол. наук. 1994. Т. 25. № 1. С. 134.
13. Ильин Е. П. Дифференциальная психофизиология. С-Пб: Питер, 2001.
14. Костикова Н.А. Зрительно-моторная асимметрия у школьников при нацеливании. На правах рукописи. Дипломная работа. Рязань: РГПУ, 2000.
15. Куликова Н.А. Исследование связей межполушарных взаимодействий с некоторыми показателями эмоционально-личностной сферы детей 10–12 лет: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ульяновск, 2000.
16. Масгутова С.К., Гончарова С.М. Образовательная кинесиология. М.: Восхождение, 1998.
17. Сазонов В.Ф., Кириллова Л.П., Мосунов О.П. Кинезиологическая гимнастика против стрессов: Учебно-методическое пособие. Рязань: РГПУ, 2000а.
18. Сазонов В.Ф., Ладохина И.Ю., Муравьева М.С. Практическая коррекционно-развивающая работа со школьниками: Методические рекомендации. Рязань: РГПУ, 2000б.
19. Сазонов В.Ф., Ладохина И.Ю. Графическая моторная асимметрия в рисовании симметричной фигуры у первоклассников // Актуальные вопросы функциональной межполушарной асимметрии: Материалы конф., М., 13-17 декабря 2001 г. М.: РХТУ, 2001. С. 155-156.
20. Сазонов В.Ф., Ширей А.М., Варнавская Т.Я. Простой психофизиологический метод оценки функционального состояния младших школьников // Образование и здоровье: 4-я Всерос. науч.-практ. конф. Калуга, 1998. С. 230–231.
21. Спрингер С., Дейч Г. Левый мозг, правый мозг. М.: Мир, 1983.
22. Таланова Л.А. Показатели психомоторной координации у младших школьников. На правах рукописи. Дипломная работа. Рязань: РГПУ, 1999.
23. Шульговский В.В. Основы нейрофизиологии: Учеб. пособие для студентов вузов. М.: Аспект Пресс, 2000.

Челяпина М.В.<sup>1</sup>, Шарова Е.В.<sup>1</sup>, Зайцев О.С.<sup>2</sup>, Коротаева М.В.<sup>1</sup>,  
Лифшиц М.Ю.<sup>2</sup>

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИПИДАКРИНА И ПИРИДОКСИНА НА ФУНКЦИОНАЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ МОЗГА ЗДОРОВОГО ЧЕЛОВЕКА (ДВОЙНОЕ СЛЕПОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НА ДВУХ ИСПЫТУЕМЫХ)

<sup>1</sup>ИВНД и НФ РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>НИИ НХ им. Н.Н.Бурденко РАМН, Москва, Россия

---

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИПИДАКРИНА И ПИРИДОКСИНА НА ФУНКЦИОНАЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ МОЗГА ЗДОРОВОГО ЧЕЛОВЕКА (ДВОЙНОЕ СЛЕПОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НА ДВУХ ИСПЫТУЕМЫХ)**

*Челяпина М.В., Шарова Е.В., Зайцев О.С., Коротаева М.В., Лифшиц М.Ю.*

Проведен сравнительный анализ психофизиологических эффектов препаратов нейромидин и пиридоксин у двух испытуемых – добровольцев. Нейромидин (в отличие от неспецифического влияния пиридоксина) вызывает: а) сходное в обоих наблюдениях влияние на корково-подкорковые структуры мозга и б) индивидуальные (кортикальная латерализация) изменения, зависящие от исходного состояния коры больших полушарий.

**Ключевые слова:** антихолинэстеразные препараты, нейромидин, ЭЭГ

**THE COMPARATIVE ANALYSIS OF IPIDACRIN AND PIRIDOXIN INFLUENCE ON THE BRAIN FUNCTIONAL ACTIVITY OF HEALTHY PERSON (DOUBLE BLIND RESEARCH ON TWO EXAMINEES)**

*Sharova E.V., Zaitsev O.S., Cheliapina M.V., Korotaeva M.V., Lifshits M.Yu.*

The comparative analysis of neuromedin and piridoxin psychophysiological effects at two examinees - volunteers is lead. Neuromedin (unlike nonspecific influence piridoxin) causes: A) similar influence in both supervision on cortical-subcortical brain structures and B) individual changes (cortical lateralization), dependent on an initial condition of the cortex.

**Key words:** anticholinesterase drug, neuromedin, electroencephalography (EEG)

---

В фармакотерапии церебральной патологии различного генеза (черепно-мозговая травма, сосудистые поражения, нейродегенеративные заболевания) наиболее эффективным представляется индивидуальный, патогенетически и физиологически обоснованный подбор лекарственных препаратов. Это в первую очередь касается нейрометаболических средств (НМС), среди которых особое место занимают антихолинэстеразные препараты синаптического действия, проникающие через гематоэнцефалический барьер. Одним из таких наиболее широко используемых НМС является ипидакрин (нейромидин, амиридин) – препарат с двойным механизмом действия в виде блокады медленных калиевых каналов и обратимого ингибирования холинэстеразы. В литературе описаны поведенческие и ЭЭГ-эффекты ипидакрина у здоровых испытуемых [3, 11] и у больных – в частности, с черепно-мозговой травмой [8, 9], цереброваскулярной деменцией и болезнью Альцгеймера [2, 4, 10]. Вместе с тем ряд данных, касающихся нейрофизиологических механизмов воздействия на отдельные церебральные образования, включая большие полушария, а также зависимости



целостного эффекта препарата от исходного функционального состояния мозга противоречивы и требуют уточнения.

**Цель исследования** состояла в изучении влияния препарата ипидакрин на психофизиологические характеристики человека с уточнением механизмов формирования системных церебральных реакций в ответ на его применение.

### **Методика**

Исследования проводились у двух здоровых испытуемых (женщины С. 22 лет и мужчины Ч. 28 лет) с неотягощенным анамнезом, с их согласия, исходя из принципов Хельсинской декларации о правах человека, федерального закона “О лекарственных средствах” (22.08.2004 N 122-ФЗ), а также правил качественной клинической практики.\*

В работе был использован прием двойного слепого тестирования.

Основным был препарат «нейромидин» (таблетки по 20 мг) производства АО Олайнфарм (Латвия). Роль плацебо выполнял пиридоксина гидрохлорид (витамин В<sub>6</sub>) - таблетки, идентичные с основным средством по размеру и цвету.

Испытуемая С. в течении первых двух недель получала В<sub>6</sub>, а следующие две недели – нейромидин. У испытуемого Ч. последовательность приема была обратной. При этом испытуемые не знали о том, что они получали, а тестирующие их экспериментаторы не были информированы о последовательности приема препаратов.

Психофизиологическая оценка проводилась перед началом приема каждого препарата и после его окончания. Она включала: 1) субъективную оценку действия препарата испытуемыми; 2) психологическое тестирование с использованием словесно-цветового теста Струпа, субтеста “Числовая последовательность” шкалы памяти Векслера, пробы поиска чисел по таблицам Шульте и корректурной пробы Бурдона; 3) оценку спонтанной биоэлектрической активности мозга на основе 18-канальной регистрации ЭЭГ с последующим визуальным и спектрально-когерентным анализом на базе Нейрокартографа фирмы МБН (Россия). Спектры мощности рассчитывали для каждого отведения ЭЭГ, а спектры когерентности – для всех возможных сочетаний пар отведений по диапазонам основных физиологических ритмов (дельта, тета, альфа, бета1), а также в полосе 0,5-20 Гц (средний уровень когерентности). ЭЭГ-характеристики сравнивали с нормативными данными (53 здоровых испытуемых). Для статистической оценки изменений параметров

ЭЭГ привлекали пакет программ В.Г.Воронова-О.М.Гриндель [6], основанный на непараметрическом критерии Манна-Уитни

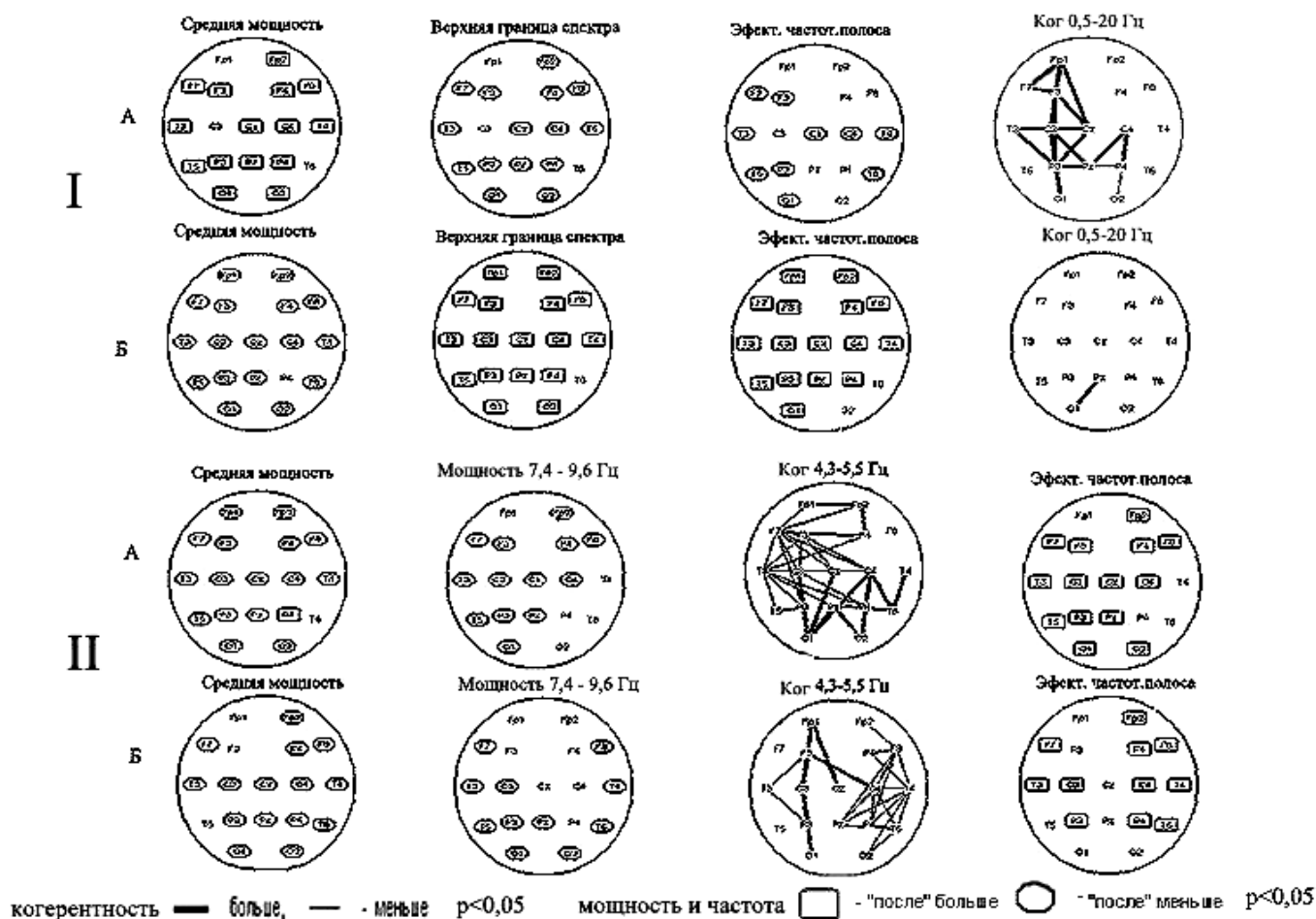
Для изучения генеза отдельных видов ЭЭГ-активности применяли метод трехмерной локализации эквивалентных источников в его однодипольной модификации [5], с представлением результатов на схемах со стандартными срезами головного мозга в соответствии с анатомическим атласом [15].

---

\* Исследование выполнено на базе НИИ нейрохирургии им. Акад. Н.Н.Бурденко РАМН

**Результаты исследования**

Курсовой прием пиридоксина в обоих наблюдениях сопровождался сходными функциональными феноменами. При отсутствии каких-либо субъективных изменений, а также значимых изменений показателей психологического тестирования, обнаружены значимые изменения в ЭЭГ. В частности, при статистическом анализе выявлен ряд достоверных ( $p < 0,05$ ) изменений количественных интегральных характеристик ЭЭГ в диапазоне 0,5-20 Гц по сравнению с фоном (до курсового приема “плацебо”) (рис.1, I А).



**Рис.1** Значимые изменения спектрально-когерентных показателей ЭЭГ двух испытуемых (относительно фона) после курсового приема препаратов.

I – усредненные данные по двум испытуемым:

A – эффект пиридоксина, B – эффект нейромидина.

II – индивидуальные изменения под влиянием нейромидина:

A- исп. С., B – исп. Ч.

Средняя мощность диффузно нарастала – преимущественно за счет активности тета- и альфа-диапазонов. Эффективная частотная полоса сужалась, что свидетельствовало о стабилизации паттерна ЭЭГ. Верхняя частотная граница спектра снижалась, отражая уменьшение корковой ирритации. Это совпадало с однонаправленным изменением рисунка ЭЭГ в виде увеличения регулярности альфа-ритма (рис 2,3-А). Кроме того, отмечалось усиление значительного числа

когерентных связей, выраженное практически во всех частотных диапазонах, кроме бета, преимущественно в левой гемисфере (рис.1, I А).

Описанные нейродинамические сдвиги могут быть объяснены нейрохимией “плацебо”: витамин В6 вызывает неспецифические изменения энергетического метаболизма [9], коррелирующие, по-видимому, преимущественно с мощностными параметрами ЭЭГ [13]. Следствием этого является повышение “тонуса коры”, отражаемого в характеристиках когерентности ЭЭГ [12] и определяющее нарастание уровня ее функциональной активности. Изменения ЭЭГ-показателей были несколько более акцентированными в левом полушарии мозга.

При приеме **нейромидина** совокупные изменения спектрально-когерентных ЭЭГ-показателей диаметрально отличались от неспецифического эффекта пиридоксина, выполнявшего в данном исследовании роль “плацебо” (рис. 1, I Б). Динамика на фоне приема нейромидина заключалась в диффузном снижении средней мощности спектра ЭЭГ, повышении его верхней частотной границы и расширении эффективной частотной полосы. В совокупности эти изменения указывали на вероятную десинхронизацию спонтанной корковой активности и усиление выраженности в ней ирритативных знаков. Обращало на себя внимание практическое отсутствие общих для испытуемых достоверно измененных показателей среднего уровня когерентности (1 пара) при наличии значимых разнонаправленных изменений этого показателя по отдельным диапазонам физиологических ритмов ЭЭГ. Одной из причин данного феномена могла быть вариативность (неоднозначность) нейродинамики испытуемых на фоне приема препарата. Это побудило провести индивидуальный (для каждого испытуемого) анализ психофизиологических эффектов нейромидина.

**Субъективно** обоими испытуемыми на фоне приема нейромидина отмечено облегчение концентрации внимания. При этом испытуемая С. подчеркивала нормализацию цикла сон-бодрствование (раньше была сонлива днем, плохо спала ночью и мучили кошмары), улучшение качества сна, исчезновение характерной для неё головной боли, хорошее общее самочувствие. Испытуемый Ч. обратил внимание на повышение «агрессивности», снижение настроения, некоторое «беспокойство», появление головных болей в лобно-височной области с двух сторон.

**При психологическом тестировании** у обоих испытуемых выявлены тенденции к повышению показателей произвольного внимания, а также рабочей памяти. Однако, у испытуемой С. улучшение касалось преимущественно функции внимания, а изменения рабочей памяти были сопоставимы с эффектом плацебо. У испытуемого Ч. улучшения всех показателей памяти и внимания были выражено более отчетливо.

При **визуальном анализе паттерна ЭЭГ** (рис 2,3– I,В) у обоих испытуемых отмечено нерезкое уменьшение альфа-индекса с появлением отдельных альфа-вспышек, диффузное усиление бета-активности. Эти изменения носили, скорее, неспецифический общеактивационный характер с чертами эраузал-реакции. Сходным было также уменьшение в ЭЭГ выраженности медленных потенциалов

немозгового происхождения, что косвенно указывало на снижение вегетативной лабильности.

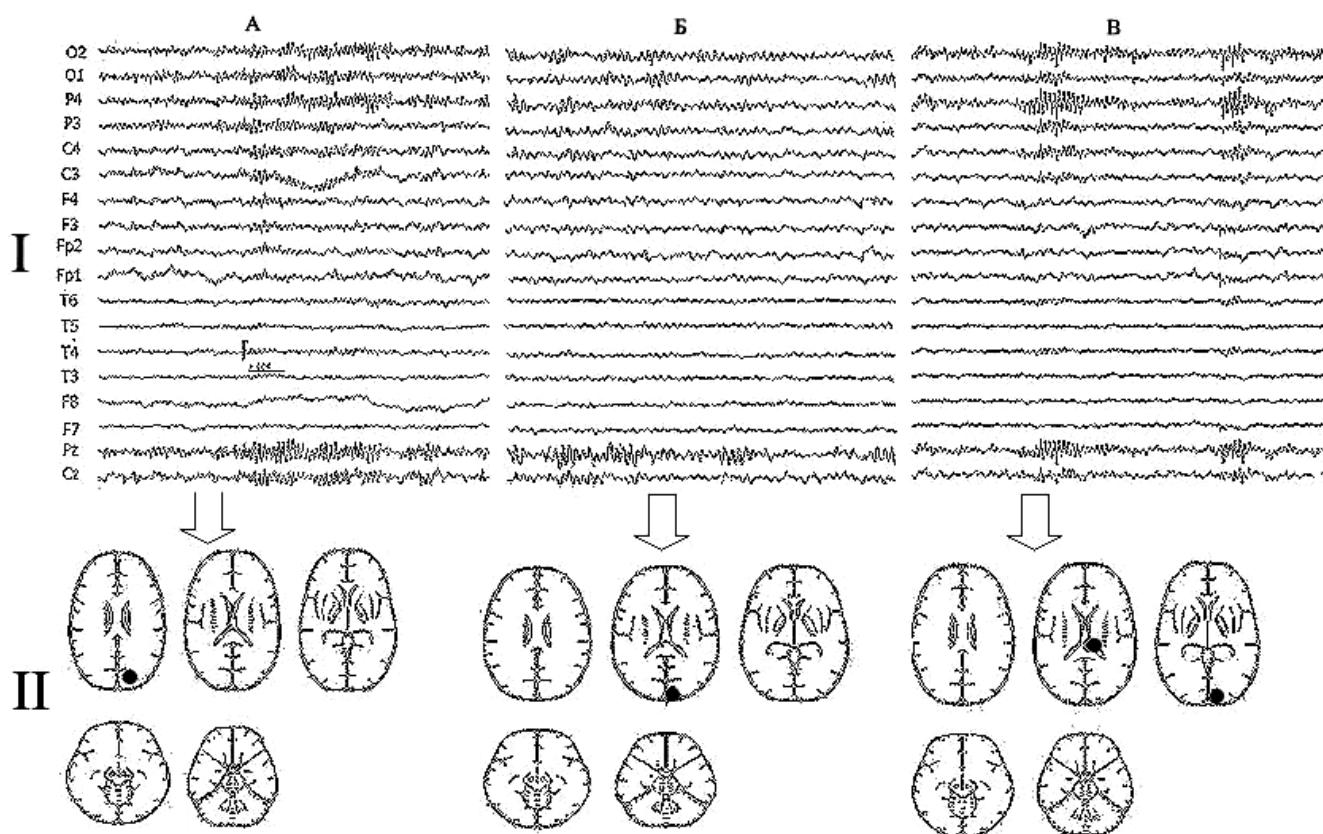


Рис.2 ЭЭГ (I) и локализация эквивалентных дипольных источников альфа-высышек (II) в динамике наблюдения исп. С.

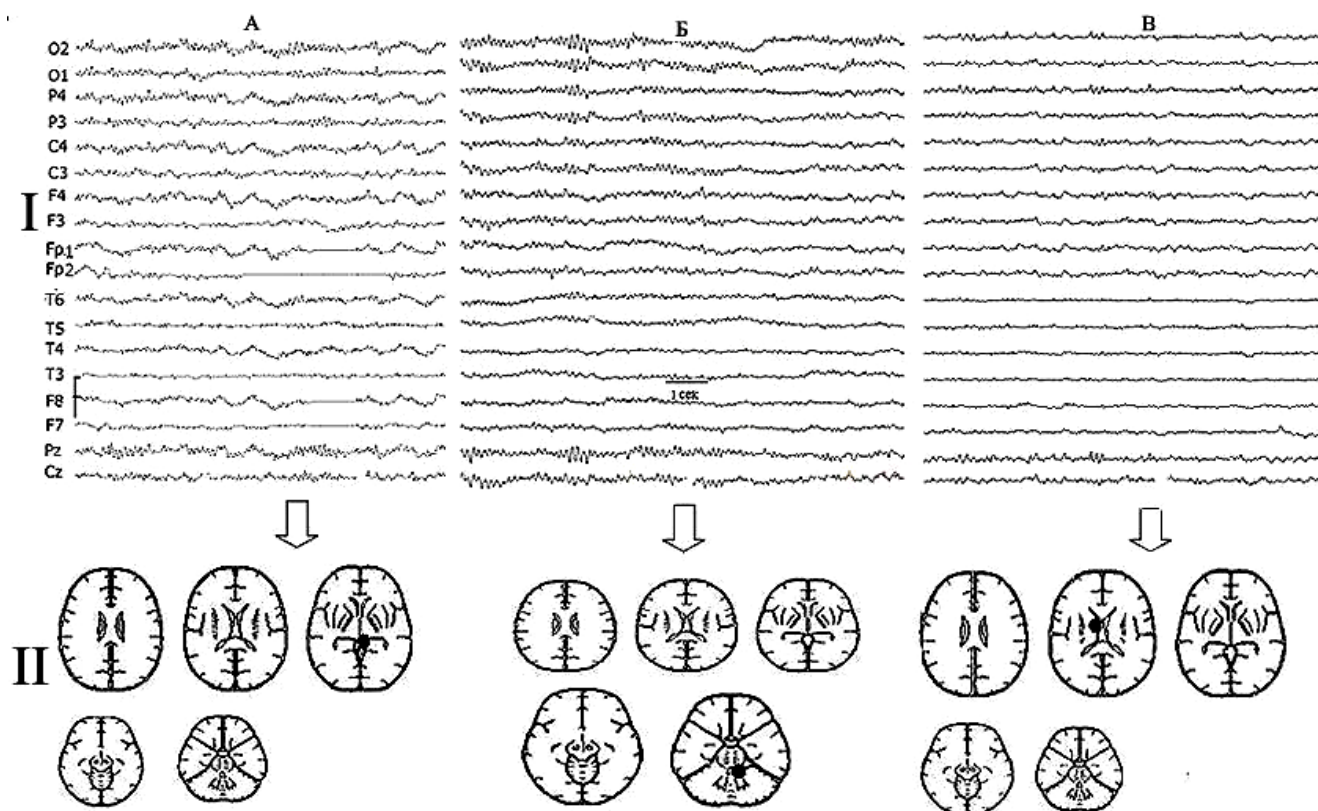
А- фон, Б- после курсового приема пиридоксина, В- после курсового приема нейромидина.

При этом у испытуемой С. с регулярным альфа-ритмом в фоновой ЭЭГ выявилось локальное усиление раздражения корково-подкоркового характера с негрубым эпилептиформным компонентом (увеличенные по амплитуде заостренные потенциалы в ряду альфа-активности) в правой теменно-центральной области (рис.2,IV). А у испытуемого Ч. с исходно десинхронным типом ЭЭГ отмечена тенденция к нарастанию регулярности альфа-ритма (особенно в правом полушарии), временами пароксизмального характера (рис.3,I A-B).

**Анализ локализации эквивалентных дипольных источников** атипичных паттернов раздражения ЭЭГ, появившихся при приеме нейромидина, показал, что у обоих испытуемых они располагались на уровне диэнцефальных и подкорковых отделов мозга. Однако, латерализация источников была различной. У испытуемой С., при наличии характерных для всех исследований источников в задних областях правой затылочной доли, они выявлялись также в подкорковых отделах правого полушария (рис.2, II В) - с признаками вовлечения в генерацию гиппокампа. А у испытуемого Ч. на фоне нейромидина подкорковые эквивалентные источники располагались преимущественно слева (рис 3, II, В).

При сравнительном анализе динамики спектрально-когерентных показателей ЭЭГ каждого испытуемого под влиянием нейромидина было выявлено три

варианта изменений: 1) однонаправленные (как например диффузное снижение мощности – средней и тета1-диапазона (рис.1, IIА, Б); 2) смешанного типа с чертами сходства и различия; 3) реципрокные изменения: ослабление когерентных связей тета-активности и расширение эффективной частотной полосы ЭЭГ преимущественно слева у испытуемой С. (рис.1, II А), но больше справа у испытуемого Ч.) (рис. 1, II Б)



**Рис. 3. ЭЭГ (I) и локализация эквивалентных дипольных источников заостренных всплесков (II) в динамике наблюдения исп. Ч.**

*А- фон, Б- после курсового приема пиридоксина, В- после курсового приема нейролепта.*

### **Обсуждение**

Основным результатом настоящего исследования является обнаружение как общих, так и индивидуально-специфических психофизиологических изменений в ответ на курсовой прием ипидакрина в сравнении с плацебо.

К **общим** следует отнести характер изменения состояния корковых отделов полушарий (ирритация с чертами эраузала-реакции, более отчетливая слева; альфа-всплески, акцентированные справа). К числу однонаправленных ЭЭГ-изменений относится также локальное усиление правосторонних затылочно-теменных когерентных связей альфа-диапазона. Все эти нейродинамические сдвиги характерны для активации функции внимания [14]. Они связаны, очевидно, с изменениями состояния не только коры, но и регуляторных (стволовых, диэнцефальных, лимбических) систем мозга [1]. На последнее указывают в том числе и изменения в сфере внимания с характерными особенностями структуры когерентности ЭЭГ; усиление подкорковых

(гипокампальных и таламических) эквивалентов ЭЭГ-феноменов раздражения с соответствующей локализацией их дипольных источников.

Полученные данные соответствуют современным представлениям о церебральной организации холинэргической нейромедиаторной системы, к которой “адресовано” действие ипидакрина (рис.4). К ней относятся ацетилхолиновые рецепторы периферической (мотонейроны спинного мозга и ядер черепных нервов) и центральной нервной системы. В ЦНС тела холинэргических нейронов находятся в ядре перегородки, ядре диагонального пучка (Брока) и базальном гигантоклеточном ядре РФ, а также ядрах моста. Аксоны этих нейронов проецируются на гиппокамп и проходят через кору больших полушарий [16].

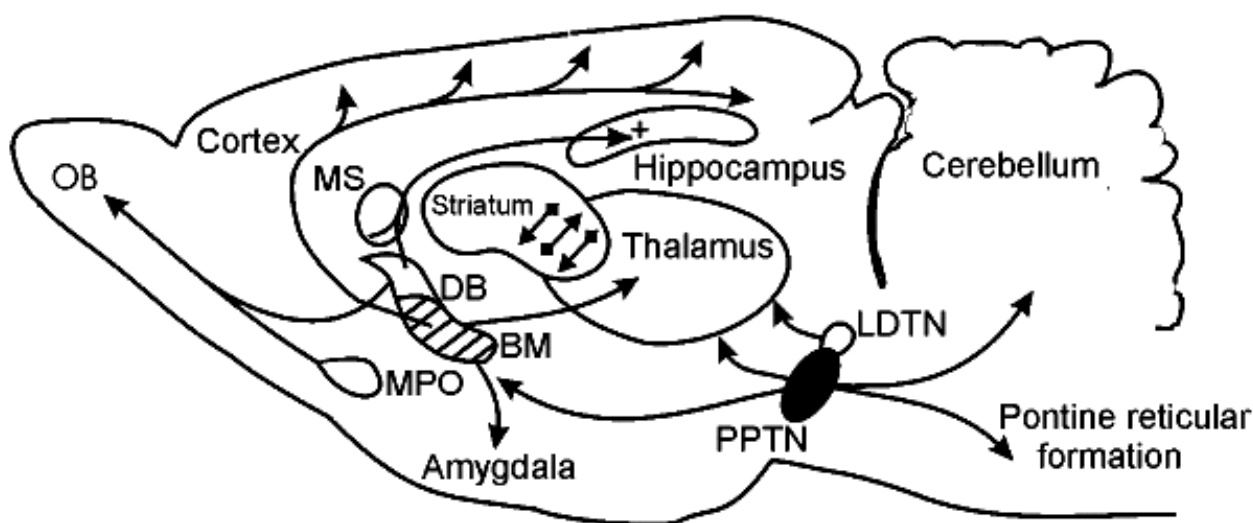


Рис.4. Схематическое изображение холинэргической системы (по R.A.Webster, 2001).

Условные обозначения: BM – базальное гигантоклеточное ядро;

MS – медиальная перегородка; DB - диагональный пучок; OB – обонятельная луковица;

MPO – гигантоклеточное преоптическое ядро; PPTN – парамедианное понто-тегментальное ядро; LDTN – латеральное и дорзальное покрышечные ядра.

**Индивидуально-специфической** является, прежде всего, разная латерализация поведения ряда характеристик ЭЭГ (рис.1, II), отражающая большую десинхронизацию (активацию) левого или правого полушарий. По нашему мнению, особенности функционального состояния полушарий могут быть связаны с исходным состоянием как коры больших полушарий, так диэнцефальных и стволовых отделов мозга, неидентично связанных функционально с гемисферами мозга [1, 7]. Эти различия находят отчетливое выражение в особенностях фоновой ЭЭГ обследованных здоровых испытуемых, что коррелирует с выявленными у них субъективными и психофизиологическими особенностями реагирования на препарат. Полученные результаты согласуются с имеющимися в литературе данными о неидентичности лечебного эффекта нейромидина при разной латерализации травматического поражения головного мозга и лучших результатах в случаях левостороннего повреждении [8].

Таким образом, анализ индивидуальной вариативности церебральных реакций на ипидакрин (с оценкой полушарной специфичности ответа) в связи с особенностями исходного функционального состояния мозга представляется перспективным направлением исследований, которое может способствовать большей индивидуализации в подборе препаратов для лечения больных.

Поддержано грантом РФФИ N 07-04-1246а

#### Литература:

1. Болдырева Г.Н., Шарова Е.В., Добронравова И.С. Роль регуляторных структур в формировании ЭЭГ человека. // Физиология человека. – 2000. – № 5 – с.19-34.
2. Букатина Е.Е., Смирнов О.Р., Григорьева И.В. Применение амиридина при ослабляющих заболеваниях позднего возраста. Пособие для врачей. – Московский НИИ Психиатрии Росздрава. – Москва. – 1995.
3. Буров Ю.В., Каплан А.Я. Влияние амиридина на спектральные характеристики ЭЭГ человека. // Экспериментальная и клиническая фармакология. – Т.56. – №5. – 1993. – С.5-8.
4. Гаврилова С.И. Фармакотерапия болезни Альцгеймера. – Москва. – 2004.
5. Гнездицкий В.В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография. – Таганрог. – 2000.
6. Гриндель О.М., Воронов В.Г., Романова Н.В. и др. Межцентральные отношения ЭЭГ при регрессирующем и хроническом посттравматическом Корсаковском синдроме // ЖВНД. – 2001. – Т.51. – № 5. – С.572-582.
7. Доброхотова Т.А., Брагина Н.Н. Функциональная асимметрия и психопатология очаговых поражений головного мозга. – М. – Медицина. –1977.
8. Жаворонкова Л.А. Правши-левши (Межполушарная асимметрия электрической активности мозга человека). Москва, Наука, 2006 г., с. 121-130
9. Зайцев О.С., Доброхотова Т.А. Психиатрическая реабилитация больных с черепно-мозговой травмой.// Клиническое руководство по черепно-мозговой травме. – Т.3. / под ред. А.Н.Коновалова, Л.Б.Лихтермана, А.А.Потапова. – «Антидор». – Москва. – 2002. – Глава 30. –С.499-515.
10. Захаров В.В., Головкова М.С., Лифшиц М.Ю., Яхно Н.Н. Применение нейромидина в терапии сосудистых когнитивных нарушений разной выраженности. // Журнал неврологии и психиатрии. – Т.107. – №9. – 2007. – с.20-26.
11. Лаврецкая Э.Ф. Амиридин – Новый тип лекарственных препаратов-стимуляторов нервной и мышечной систем. – Москва. – Медэкспорт. – 1989.
12. Русинов В.С.(ред.), Гриндель О.М., Болдырева Г.Н., Вакар Е.М. Биопотенциалы мозга человека. Математический анализ. – М. – Медицина. – 1987.
13. Шарова Е.В., Куликов М.А., Потапов А.А. Особенности стабильности параметров пространственно-временной организации ЭЭГ у больных с черепно-мозговой травмой. // Физиология человека. – 1990. – Т.16 – №4 – с.13-20.
14. Шарова Е.В., Болдырева Г.Н., Рабчун М.А., Коротаяева М.В. ЭЭГ- корреляты внимания человека в норме и при очаговом поражении височных отделов полушарий. // Тезисы докладов 3-го Международного Междисциплинарного Конгресса “Нейронаука для медицины и психологии”–, Судак. – 2007. – С.261-262.
15. Gambarelli J., Guerinel G., Chevrot L., Mattei M. Computerized axial tomography (an anat. atlas of serial sections of the human body anatomy-radiology-scanner). – Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg- New York, –1977.
16. Webster R.A. (Ed.). Neurotransmitters, drugs and brain function. John Wiley and Sons Ltd, 2001, p.131.