

УДК 531/534: [57+61]

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗРИТЕЛЬНОЙ И ПРОПРИОЦЕПТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ВОСПРИЯТИИ ПОЛОЖЕНИЯ РУКИ

Т.Б. Киреева*, Ю.С. Левик*, Н. В. Холмогорова**

* Институт проблем передачи информации РАН, Россия, 127994, Москва, ГСП-4, Большой Каретный пер. 19, Территориальное управление «Тверское» Центрального административного округа, e-mail: lab9@iitp.ru

** Московский государственный педагогический университет, Россия, Москва

Аннотация. В настоящей работе изучали восприятие положения руки у взрослых и детей в ситуациях, различавшихся по условиям зрительного контроля. Цель исследования состояла в оценке влияния лево-правой инверсии зрительного пространства на точность внутреннего представления руки у человека. В экспериментах приняли участие взрослые и дети 6 – 7 лет. В течение 24 – 30 минут испытуемые показывали положение характерных точек руки. Инверсия достигалась с помощью специальных призматических очков. Установлено, что у детей сенсорный конфликт вызывает более значительные затруднения в показе характерных точек руки, чем у взрослых. Поскольку формирование внутренней модели конечности у детей 6–7 лет не завершено, то во время выполнения проб они в большей степени, чем взрослые, зависят от проприоцептивных и зрительных обратных связей. В этой ситуации конфликт проприоцептивной и зрительной информации приводит к более существенному ухудшению качества выполнения задачи.

Ключевые слова: схема тела, рука, дети 6-7 лет, инверсия зрительного пространства.

Введение

Вопрос о взаимодействии зрительной и проприоцептивной информации всегда привлекал внимание исследователей. Дело в том, что и проприоцепция, и зрение являются источниками информации о положении тела и его звеньев в пространстве. В связи с этим необходимо, чтобы данные этих двух источников согласовывались друг с другом. Поэтому в литературе часто дискутировался вопрос о том, какой из этих источников информации более важен. Иногда предполагалось, что зрение является калибрующим для проприоцепции, другие авторы, наоборот, считали, что «мышечное чувство» калибрует зрение. В пользу обеих точек зрения приводились данные опытов с переворачивающими и смещающими призмами, по-разному интерпретируемые сторонниками различных точек зрения. Как бы то ни было, поставленный вопрос пока остается нерешенным. Мало известно и о том, как формируются механизмы взаимодействия зрения и проприоцепции в онтогенезе.

В настоящей работе исследовали восприятие положения руки у взрослых и детей в ситуациях, различавшихся по условиям зрительного контроля. Цель

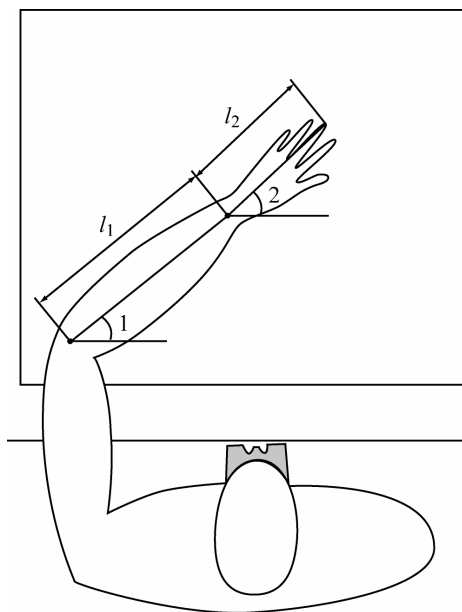


Рис. 1. Схема эксперимента. Вид сверху. Рука испытуемого находится на столе под прозрачным экраном: l_1 – длина предплечья, l_2 – длина кисти, 1 – угол, образованный предплечьем с фронтальной плоскостью, 2 – угол, образованный кистью с фронтальной плоскостью

исследования состояла в оценке влияния лево-правой инверсии зрительного пространства на точность внутреннего представления руки у человека. Инверсия достигалась с помощью специальных призматических очков.

Методика

В исследовании приняло участие 24 человека: 12 взрослых (18 – 25 лет) и 12 детей (6 – 7 лет). Обследуемый сидел за столом, на котором под прозрачным плексигласовым экраном лежала его левая или правая расслабленная рука (рис. 1). По команде экспериментатора указательным пальцем другой руки через каждые 2 минуты он показывал положение лучезапястного сустава и конца среднего пальца. У одних и тех же обследуемых изучали особенности восприятия положения руки в случае лево-правой инверсии зрительного пространства призматическими очками и без зрительного контроля (при закрытых глазах). Продолжительность исследования для каждой руки составляла 24 – 30 минут, что соответствовало 13 – 16 измерениям.

Для сравнения точности попадания в точки, принадлежащие телу, и в точку экстраперсонального пространства авторы провели эксперименты с попаданием в мишень. Мишенью служила точка, расположенная на экране по средней линии на расстоянии 20 – 25 см впереди от обследуемого. Человеку, сидящему с закрытыми глазами или в призматических очках, предлагалось попасть в эту точку указательным пальцем левой и правой руки. Призматические очки ограничивали поле зрения, обследуемый не видел локоть и предплечье, поэтому во время исследования оценивали восприятие длины и положения кисти.

По ходу обследования фиксировали воспринимаемые положения среднего пальца и запястья и измеряли реальные длину кисти, угол между линией, соединяющей кончик среднего пальца и запястья и прямой линией, перпендикулярной срединной

плоскости (рис. 1), характеризующий положение кисти. В дальнейшем для краткости изложения уменьшение этого угла будем называть сгибанием кисти, а увеличение – разгибанием.

Результаты и обсуждение

Предыдущие работы авторов [1, 2] были посвящены изучению формирования внутренней модели конечности в процессе созревания центральной нервной системы. Авторами также было показано [3], что у многих детей 6 – 7 лет сохранение зрительного входа не вызывает исчезновения кажущегося укорочения руки. Этот эффект уменьшается, но не полностью исчезает и в 11 лет.

Выключение зрения как у взрослых, так и у детей приводило к иллюзии укорочения руки и её смещения от реального положения (табл. 2, 4). От пробы к пробе наблюдались флуктуации воспринимаемой длины кисти и её фантомные движения то в сторону сгибания, то разгибания. В целом по ходу обследования при закрытых глазах у взрослых возникала иллюзия сгибания, а у детей – как сгибания, так и разгибания.

Таблица 1

Среднее восприятие длины кисти испытуемыми в призматических очках (в % к истинной длине)

| Испытуемые | Левая рука лежит, правая показывает | | Правая рука лежит, левая показывает | |
|------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| | С кажущимся укорочением кисти | Без кажущегося укорочения кисти | С кажущимся укорочением кисти | Без кажущегося укорочения кисти |
| Взрослые | $n = 8$ | $n = 4$ | $n = 4$ | $n = 8$ |
| | $76 \pm 13 \%$ | $103 \pm 6\%$ | $77 \pm 16 \%$ | $103 \pm 5 \%$ |
| Дети | $n = 9$ | $n = 3$ | $n = 4$ | $n = 8$ |
| | $77 \pm 18 \%$ | $101 \pm 9 \%$ | $75 \pm 13 \%$ | $115 \pm 10 \%$ |

Таблица 2

Среднее восприятие длины кисти испытуемыми с закрытыми глазами (в % к истинной длине)

| Испытуемые | Левая рука лежит, правая показывает | | Правая рука лежит, левая показывает | |
|------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| | С кажущимся укорочением кисти | Без кажущегося укорочения кисти | С кажущимся укорочением кисти | Без кажущегося укорочения кисти |
| Взрослые | $n = 8$ | $n = 1$ | $n = 8$ | $n = 1$ |
| | $74 \pm 14 \%$ | 113% | $79 \pm 14 \%$ | 105% |
| Дети | $n = 5$ | $n = 2$ | $n = 7$ | – |
| | $71 \pm 5 \%$ | $102 \pm 4 \%$ | $79 \pm 12 \%$ | – |

Призматические очки у всех обследованных также приводили к рассогласованию реального и воспринимаемого размера и положения руки. По ходу обследования у части взрослых появлялось ощущение разгибания на 6 – 83°, а у другой части – сгибания на 3 – 8° (истинное положение кисти не менялось, исходный угол

составлял от 30 до 60°). У всех детей без исключения в призматических очках возникала иллюзия сильного разгибания (табл. 3): соответствующий суставной угол увеличивался на 20 – 120°.

Таблица 3

Среднее восприятие углового положения кисти испытуемыми в призматических очках (в градусах)

| Испытуемые | Левая рука лежит, правая показывает | | Правая рука лежит, левая показывает | |
|------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|
| | Кисть разгибается | Кисть сгибается | Кисть разгибается | Кисть сгибается |
| Взрослые | $n = 6$ | $n = 6$ | $n = 7$ | $n = 5$ |
| | 40 ± 4 | 5 ± 1 | 35 ± 7 | 5 ± 1 |
| Дети | $n = 12$ | – | $n = 12$ | – |
| | 68 ± 3 | – | 49 ± 3 | – |

Таблица 4

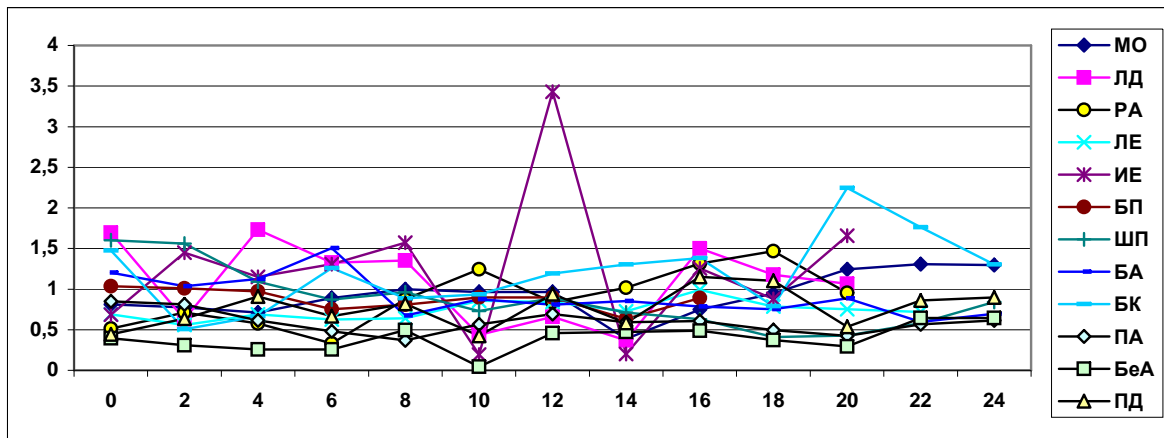
Среднее восприятие углового положения кисти испытуемыми с закрытыми глазами (в градусах)

| Испытуемые | Левая рука лежит, правая показывает | | Правая рука лежит, левая показывает | |
|------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|
| | Кисть разгибается | Кисть сгибается | Кисть разгибается | Кисть сгибается |
| Взрослые | – | $n = 7$ | $n = 2$ | $n = 5$ |
| | – | 6 ± 1 | 4 ± 1 | 7 ± 2 |
| Дети | $n = 5$ | $n = 2$ | $n = 2$ | $n = 5$ |
| | 18 ± 2 | $3 \pm 0,4$ | 22 ± 1 | 11 ± 2 |

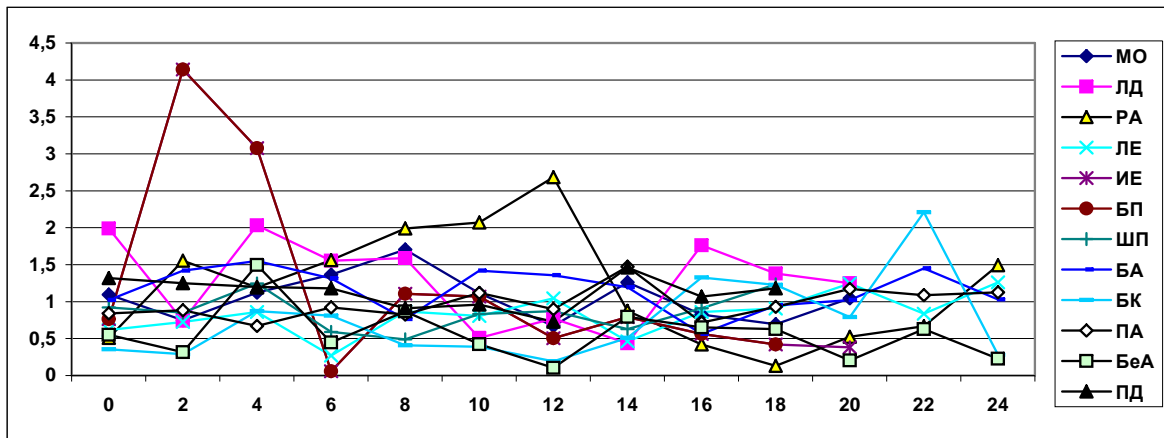
Левосторонняя инверсия зрительного пространства у взрослых влияла на восприятие длины кисти меньше, чем закрывание глаз. Так, лишь у 50 % обследованных в возрасте 18 – 25 лет наблюдалась иллюзия укорочения кисти, подобная её «укорочению» при закрытых глазах (табл. 1, 2). У остальных 50 % взрослых призматические очки практически не вызывали фантомного укорочения кисти.

У детей 6–7 лет левосторонняя инверсия зрительного пространства влияла на представление о положении и размере руки в большей степени, чем у взрослых. У детей, в отличие от взрослых, часто наблюдались резкие колебания воспринимаемой длины кисти по ходу обследования как в сторону укорочения, так и в сторону удлинения (рис. 2).

В среднем за 24 – 30 минут обследования у 75% из них в призматических очках относительно стабильно отмечалась иллюзия укорочения левой руки. Подчеркнём, что речь идёт об усреднении данных отдельно по правой и левой руке. У остальных 25 % восприятие длины левой руки практически не менялось. Треть детей воспринимала правую руку укороченной, остальные – удлинённой (табл. 1). Сходная картина наблюдалась и у взрослых (табл. 1 и рис. 3). Так же, как и у детей, иллюзия укорочения имела место в 2/3 случаев на левой руке и в 1/3 случаев – на правой. Однако при отсутствии эффекта укорочения кажущегося удлинения руки у взрослых практически не наблюдалось.



а

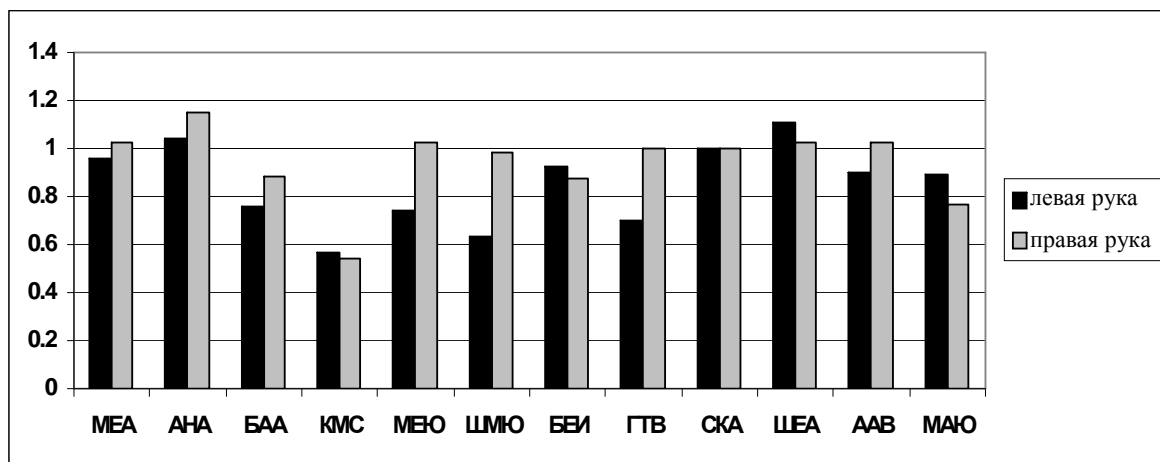


б

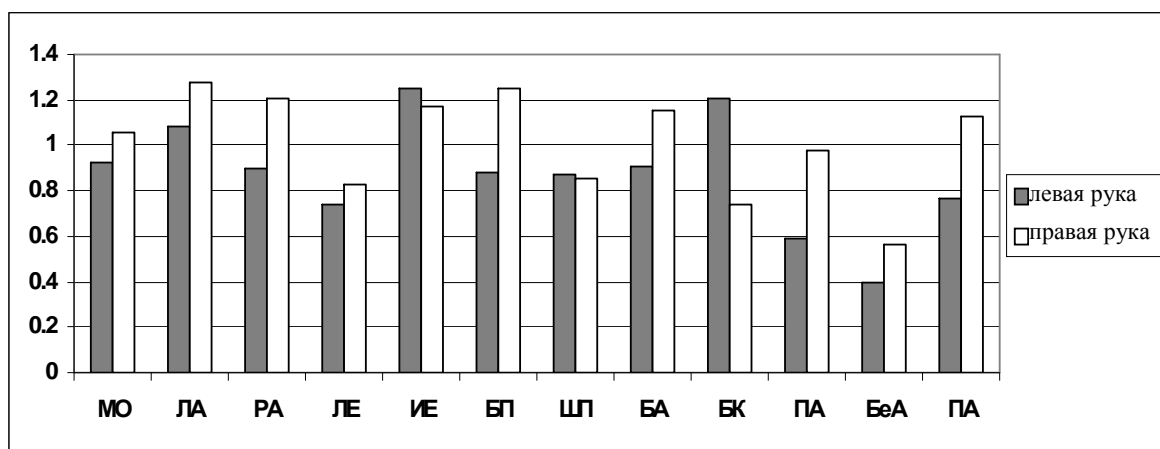
Рис. 2. Представление о длине кисти левой (а) и правой (б) руки у детей 6 – 7 лет в призматических очках. По оси абсцисс время по ходу эксперимента в минутах, по оси ординат воспринимаемая длина кисти в % от истинной длины

Эксперименты с попаданием в точку–мишень были предназначены для выяснения того, в какой мере обследуемый пользовался иллюзорным представлением о положении движущейся руки в планировании и осуществлении задания. При определении точности показа точки–мишени и точек руки испытуемых авторы рассматривали горизонтальное и вертикальное направление отдельно, исходя из предположения Беркенблита и др. [4] о том, что информация о расстоянии до точки–мишени, её «широте» и «долготе» поступает по относительно независимым каналам.

На рис. 4 представлены результаты показа точки–мишени взрослыми и детьми 6–7 лет в призматических очках и с закрытыми глазами. Как видно из рисунка, наименьшие ошибки наблюдались при показе точки–мишени взрослыми в призматических очках. Они достоверно отличались от ошибок при показе точки–мишени с закрытыми глазами. Достоверность отличий по горизонтали для правой руки составляла 0,037, а для левой – 0,033, по вертикали – 0,006 и 0,055 соответственно. Однако топография представлений о расположении точки-мишени у взрослых при закрытых глазах и в призматических очках была однотипной, а распределение точек попадания вписывалось в круг. У детей призматические очки вызывали иллюзию смещения точки–мишени вправо при показе ее правой рукой и влево при показе левой рукой (рис. 4). Подобная картина наблюдалась и при выполнении задания с закрытыми



а



б

Рис. 3. Восприятие взрослыми (а) и детьми 6 – 7 лет (б) в призматических очках длины кисти (в % от истинного значения)

глазами. Достоверных различий при показе точки–мишени детьми в призматических очках и с закрытыми глазами не наблюдалось. В целом, дети показывали точку–мишень в призматических очках хуже, чем взрослые.

На основании полученных результатов можно предположить, что механизмы переработки пространственной информации, поступающей по проприоцептивным (о движении руки) и зрительным (о положении точки–мишени) входам относительно независимо формируются с возрастом.

Источниками ошибок при показе точки–мишени могут быть неточное запоминание положения мишени, неточности выполнения двигательной программы и неправильные представление о размерах и положении руки, осуществляющей движение.

Ранее было показано, что эффективность использования зрительной информации для коррекции внутреннего представления о положении конечности у детей 6 – 7 лет значительно ниже, чем у детей старших возрастов и у взрослых [1, 2].

Показывают:

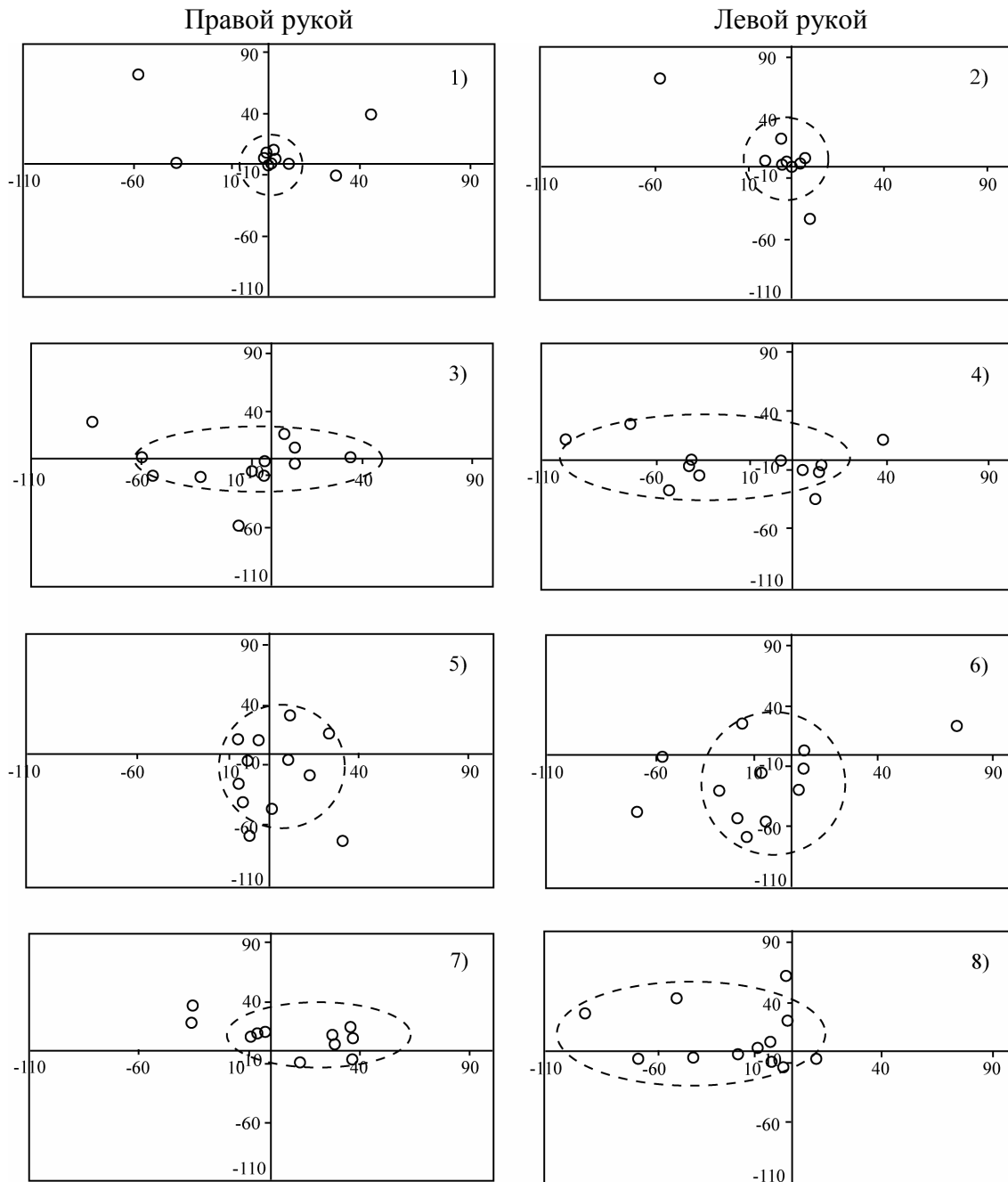


Рис. 4. Восприятие точки-мишени в призматических очках (1 – 4) и с закрытыми глазами (5 – 8) взрослыми и детьми 6 – 7 лет. За точку отсчёта принято реальное положение точки-мишени на плоскости. Горизонтальная и вертикальная оси соответствуют отклонению воспринимаемого положения точки-мишени от реального (в мм) вправо и вверх (+), влево и вниз (-). Внутри очерченной области располагается 68 % воспринимаемых точек. Для каждой экспериментальной ситуации $n = 11$. Взрослые – 1, 2, 5, 6; дети – 3, 4, 7, 8

Как взрослые, так и дети с закрытыми глазами показывали палец и запястье точнее, чем в призматических очках. У взрослых достоверные отличия наблюдались только по оси Y (для пальца $p=0,0002$ и $0,07$ при показе правой и левой рукой, для запястья $p=0,006$ и $0,003$). У детей достоверные отличия наблюдали и по оси Y ($p=0,02$

и 0,006 для показа правой и левой рукой) и по оси X ($p=0,10$ и $0,02$), а для пальца достоверно отличались только показания по оси Y ($p=0,001$ и $0,09$).

В призматических очках как взрослые, так и дети показывали точку–мишень точнее, чем палец и запястье.

С закрытыми глазами достоверных различий в точности оценки местоположения точек руки (конца среднего пальца и запястья) и точки–мишени не наблюдалось.

По-видимому, ведущим каналом при оценке положения точки–мишени является зрительный. Запомненное пространственное положение мишени может быть представлено в других областях мозга, нежели непосредственно видимое [4].

Вывод о наличии в центральной нервной системе модели или схемы собственного тела был впервые сделан на основе клинических наблюдений фантома ампутированных, известного с глубокой древности. Человек, утративший конечность, в течение длительного времени субъективно продолжает ощущать её присутствие [5, 6].

Большой вклад в изучение внутренней модели тела внесли клинические исследования больных с синдромом игнорирования половины зрительного пространства (геминеглект) и симптомами агнозии [7]. Однако в настоящее время нет единого объяснения наблюдаемым нарушениям схемы тела. Рамачандран [8] объяснял искажения восприятия своего тела, в частности, ампутационного фантома, с позиции пластичности и перестройки рецептивных полей.

В 80-е гг. Гурфинкелем и Левиком [9] была выдвинута концепция внутренней модели тела, согласно которой в центральной нервной системе существует сложный многоуровневый сенсомоторный интегратор, формирующий представления о собственном теле, предвидящий все возможные нарушения его стабильного положения и характер предстоящего движения.

Вопрос о том, как и когда у человека появляется представление о собственном теле, относится к числу базовых, но остается малоизученным. Имеются данные о том, что чем раньше утрачена конечность, тем реже отмечается фантом ампутированных [10]. Однако описаны случаи фантома у детей и при врождённом отсутствии конечностей [11]. Таким образом, определённый интерес представляет изучение организации схемы тела у детей разного возраста.

В процессе онтогенеза центральные, сенсорные и эфферентные системы созревают гетерохронно. Основываясь на положениях Бернштейна и Анохина, можно предположить, что внутренняя модель тела является иерархически организованной многоуровневой функциональной системой. Такая система на каждом этапе онтогенеза может иметь свой ведущий афферентный вход и эфферентный выход. Тогда процесс развития можно рассматривать как переход от одного к другому ведущему уровню афферентации.

В целом сенсорные и моторные системы ребёнка действуют с момента рождения. Новорождённый связывает между собой зрительные и тактильные ощущения. После пяти месяцев у ребёнка стремительно нарастает координация зрения и действия руки. Окончательное формирование первичных сомато-сенсорных полей завершается к 2, а вторичных – к 7 годам. Первичные зрительные поля достигают уровня взрослых к 4 годам, а вторичные – к 7 годам. В то же время функциональные межполушарные взаимодействия, а также области коры, обеспечивающие синтез гностической информации и сложную интерсенсорную организацию, развиваются значительно медленнее и окончательно созревают лишь к 11 – 15 годам.

У детей 6 – 7 лет ещё сохраняется диктат зрительного поля или «действия не туда», по определению Бернштейна [12]. Одной из наиболее характерных ошибок у детей является реверсия – зеркальное переворачивание изображения при рисовании,

копировании, написании цифр и букв [13]. Подобные реверсии, присущие детям 6 – 7 лет в норме, связывают с несовершенством межполушарных взаимодействий и рассматривают как закономерный этап онтогенеза [14]. Инверсия зрительного входа усиливает это несовершенство и тем самым создаёт экспериментальную модель патологического состояния, связанного с нарушением нормального взаимодействия правого и левого полушария [14].

На основании имеющихся литературных данных и результатов авторов можно говорить о том, что межполушарная интеграция имеет существенное значение для организации нормального восприятия собственного тела. По мере созревания, специализации межполушарных взаимодействий и становления стабильного вектора системы координат реверсии исчезают. У детей дефицит координатных представлений является закономерным этапом развития. Он обусловлен хранением и длительным существованием в мозге двойных перцептивных, двигательных и мнестических энграмм [13].

Выводы

В целом можно констатировать, что у детей сенсорный конфликт вызывает значительно большие затруднения в показе характерных точек руки, чем у взрослых. Вероятно, это связано с тем, что формирование внутренней модели конечности у детей 6 – 7 лет не завершено, и во время выполнения проб они в большей степени зависят от проприоцептивных и зрительных обратных связей. В этой ситуации конфликт проприоцептивной и зрительной информации приводит к более существенному ухудшению качества выполнения задачи.

Благодарности

Работа была поддержана грантом РФФИ 05-04-49401 и программой ОБН «Интегративные механизмы регуляции функций в организме».

Список литературы

1. *Киреева, Т.Б.* Точность внутреннего представления длин звеньев в процессе созревания двигательной системы / Т.Б. Киреева, Ю.С. Левик, Н.В. Холмогорова // VI Всероссийская конференция по биомеханике «Биомеханика-2002», Нижний Новгород. – 2002. – С.142.
2. *Киреева, Т.Б.* Формирование и калибровка внутренней модели конечности в процессе созревания центральной нервной системы / Т.Б. Киреева, Ю.С. Левик, Н.В. Холмогорова // Физиология мышц и мышечной деятельности. Материалы II Международной конференции. Москва, 29 января – 1 февраля 2003 г. – М.: Фирма «Слово», 2003. – С. 83.
3. *Киреева, Т.Б.* Повышение точности оценки длины руки с возрастом: роль периферической информации и схемы тела / Т.Б. Киреева, Ю.С. Левик, Н.В. Холмогорова // Фундаментальные и клинические аспекты интегративной деятельности мозга: Материалы Межд. чтений, посвященных 100-летию со дня рождения чл.-корр. АН СССР, акад. АН Арм. ССР Эзраса Асратовича Асратяна. Москва, ИВНД и НФ РАН, 27-30 мая 2003 г. – М.: МАКС Пресс, 2003. – С. 127 – 129.
4. *Berkinblit, M.B.*, The interaction of visual and proprioceptive inputs in pointing to actual and remembered targets / M.B. Berkinblit, O.I. Fookson, B.N. Smetanin, S.V. Adamovich, H. Poizner // Exp. Brain Res. – 1995. – V. 107. – P. 326-330.
5. *Head, H.* Sensory disturbances from cerebral lesions / H. Head, G. Holms // Brain. – 1911-1912. – V. 34. – P. 102 – 254.

6. Шмидт, Е.В. Фантом ампутированных / Е.В. Шмидт. – М.: Медгиз, 1948.
7. Гурфинкель, В.С. Концепция схемы тела и моторный контроль. Схема тела и управление позными автоматизмами / В.С. Гурфинкель, Ю.С. Левик //Интеллектуальные процессы и их моделирование. Пространственно-временная организация. – М.: Наука, 1991. – С. 69 – 105.
8. Ramachandran, V.S. Phantoms in the Drain. Probing the Mysteries of the Human Mind / V.S. Ramachandran, S. Blakeslee // New York: William Morrow and Company, 1998. – 328 pp.
9. Гурфинкель, В.С. Сенсомоторные комплексы и сенсомоторная интеграция / В.С. Гурфинкель, Ю.С. Левик // Физиология человека, 1979. – Т. 5, № 3. – С. 399 – 414.
10. Simmel, M.L. /M.L. Simmel // Child. Developm. – 1966. – V. 37. – P. 83.
11. Scatena, P. Phantom Representations of congenitally absent limbs /P. Scatena // Perceptual and Motor skills. – 1990. – V. 70. – P. 1227 – 1232.
12. Бернштейн, Н.А. О построении движений / Н.А. Бернштейн. – М.: Медгиз, 1947.
13. Цехмистренко, Т.А. Структурные преобразования в коре большого мозга в постнатальном онтогенезе / Т.А. Цехмистренко, В.А. Васильева, Н.С. Шумейко // Физиология развития ребёнка (теоретические и прикладные аспекты) / под ред. М.М. Безруких, Д.А. Фарбер. – М., 2000. – С. 60-68.
14. Сименович, А.В. Нейропсихологическая диагностика и коррекция в детском возрасте / А.В. Сименович. – М., 2002. – 227 с.

INTERACTION OF VISUAL AND PROPRIOCEPTIVE INFORMATION IN CASE OF THE HAND POSITION PERCEPTION

T.B. Kireeva, Yu.S. Levik, N.V. Kholmogorova
(Moscow, Russia)

The hand position perception by adults and children was studied in different visual control cases. The purpose of the study was to evaluate the influence of the left-right visual space inversion on the precision of the human inner hand representation. The adults and children of 6 – 7 took part in the experiments. The subjects were showing the characteristic points of the hand during 24 – 30 minutes. The inversion was obtained by means of prismatic spectacles. It was established that the sensory conflict led to larger difficulties in showing the characteristic points of the hand for the children than for adults. Since the formation of inner limb model was not complete for children of 6 – 7, they depended on the proprioceptive and visual feedbacks in the higher degree than adults. In that case the proprioceptive and visual information conflict led to more deterioration of task carrying-out quality.

Key words: body scheme, hand, children of 6-7, visual space inversion.

Получено 11 апреля 2005