

УДК 612.84

ИНВЕРСИЯ СЕТЧАТКИ И ПЕРЕКРЕСТЫ ЗРИТЕЛЬНЫХ ВОЛОКОН КАК НЕЙРОАНАТОМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ЗЕРКАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Г.С. Воронков

(кафедра высшей нервной деятельности; e-mail: av13675@yandex.ru)

В результате анализа литературных данных получены свидетельства о том, что известные анатомо-физиологические феномены, перекресты зрительных волокон и инверсия сетчатки, хорошо изученные в нейроанатомическом плане, но остающиеся до сих пор без общепринятого объяснения в функциональном плане, являются механизмами зеркальных преобразований. Благодаря этим механизмам обеспечивается формирование такой нейронной модели (карты, проекции), оси координат которой на воспринимающей стороне направлены незеркально (а на отдающей — зеркально) таковым исходного оригинала — “лица” единого поля зрения и “лица” его составляющих, полей зрения. Без этих преобразований оси координат на воспринимающей стороне нейронной модели были бы направлены зеркально, как это имеет место у оптической проекции.

Ключевые слова: инверсия сетчатки, перекресты зрительных волокон, зеркальные преобразования (соответствия), проекции полей зрения.

Инверсия сетчатки (ИС) и перекрест в хиазме (ПХ) позвоночных — хорошо известные морфофизиологические феномены. Однако какой цели они служат, до сих пор остается неизвестным (Хьюбел, 1990). У беспозвоночных сетчатка, как правило, не инвертирована. В то же время у них имеет место перекрест рецепторных аксонов на ипсилатеральной глазу стороне (Sajal, 1917; Заварзин, 1950), отсутствующий у позвоночных. Биологическая роль этого “ипсилатерального” перекреста (ИП) тоже не имеет удовлетворительного объяснения (Bullock, Horridge, 1965).

Целью данного сообщения является: 1) показать, что в последовательности экранных структур зрительного пути проекция (модель) поля зрения (ПЗ) после ИП (у беспозвоночных) или после ИС (у позвоночных), а также проекция единого поля зрения (ЕПЗ) после ПХ являются зеркальными¹ по отношению к непосредственно предшествующей модели ПЗ и ЕПЗ соответственно. Это будет свидетельствовать о том, что ИП, ИС и ПХ являются механизмами зеркальных преобразований (соответствий)², 2) показать, что эти механизмы — ПХ, а также ИП и ИС — направлены на формирование такой нейронной модели ЕПЗ и такой модели каждой его составляющей — ПЗ, отдающая сторона

каждой из которых была бы зеркальна (а воспринимающая — незеркальна) соответственно “лицу” исходного ЕПЗ и “лицу” исходного ПЗ.

Краткое описание феноменов

Инверсия сетчатки (ИС). У всех позвоночных сетчатка инвертирована. Это означает, что ее рецепторный слой обращен воспринимающей стороной от хрусталика, от света, а отдающей — навстречу свету. Такой слой можно сравнить (с точки зрения зеркальности его воспринимающей стороны) с фотопленкой, обращенной эмульсионной стороной от объектива, от света. У большинства беспозвоночных сетчатка не инвертирована, т.е. ее слой рецепторов обращен воспринимающей стороной к свету, а отдающей — от света. Такой слой можно сравнить с фотопленкой, обращенной эмульсионной стороной к объективу.

Ипсилатеральный перекрест (ИП). Наиболее известен перекрест зрительных волокон в хиазме позвоночных. Менее известно, что у большинства беспозвоночных (тех, сетчатка которых не инвертирована) имеет место еще перекрест, который можно назвать “ипсилатеральным”. Это перекрест аксонов фоторецепторов (фоторецепторы у беспозвоночных, в отличие от таковых у позвоночных, имеют длин-

¹ Зеркальные друг другу объекты, например двумерный объект и его отображение в зеркале, отличаются друг от друга направлением координатных осей на их “лицевых” сторонах. При сравнении “лиц” таких объектов видно, что при одинаковой направленности осей в одной паре одноименных осей в другой паре оси имеют обратные друг другу направления.

² Ниже в тексте термин “соответствие” часто опускается как пока малоупотребляемый в физиологической литературе. В то же время именно термин “механизм зеркального соответствия” наиболее адекватно отражает функциональную суть описываемых феноменов — ИС, ИП и ПХ.

ный аксон), он находится на той же стороне, где находится глаз. Особенность его состоит еще в том, что точки нейронного слоя, в которые проецируются вертикальные (у моллюска осьминога) или горизонтальные (в фасеточном глазу у насекомых) ряды точек рецепторного слоя располагаются в обратном (зеркальном) порядке, по сравнению с таковыми рецепторного слоя. При этом проекция по типу точка в точку сохраняется.

Перекрест в хиазме (ПХ) позвоночных. У ряда позвоночных (например, некоторые птицы) ПХ является полным (ПХп); у многих других позвоночных (например, приматы) он частичный — (ПХч). Позвоночные с полным перекрестом имеют неперекрывающиеся ПЗ, тогда как у позвоночных с частичным перекрестом ПЗ перекрываются. Другими словами, у позвоночных с полным ПХ ПЗ не пересекают (не “перехлестывают” за) вертикаль — ось симметрии ЕПЗ, по левую и правую стороны от которой симметрично располагаются ПЗ. Поэтому каждое ПЗ этих животных является полностью ипсилатеральным глазу. У позвоночных с частичным ПХ ПЗ пересекают (“перехлестывают” за) ось симметрии ЕПЗ. Поэтому каждое ПЗ этих позвоночных делится осью симметрии ЕПЗ на две, обычно неравные, ипси- и контралатеральную части. Перекрест, т.е. переход в контралатеральное полушарие, осуществляют волокна глаза, “видящие” только ипсилатеральную часть ЕПЗ, т.е. “видящие” либо полностью ипсилатеральное ПЗ (в случае ПХп), либо только его ипсилатеральную часть (в случае ПХч).

ИП, ИС и ПХ как механизмы зеркальных преобразований

ИП. На рис. 1 представлена схема проекций ПЗ на рецепторный и нейронный слои в зрительной системе осьминога *Octopus*. Она построена на основе нейроанатомических данных, суммированных в фундаментальном труде Баллока и Хорриджа (Bullock, Horridge, 1965).

Хрусталик создает на неинвертированном рецепторном слое, как на экране, оптическую проекцию ПЗ (и объекта в нем). Или, другими словами, устанавливает соответствие по типу точка в точку (но по законам оптики) всех точек ПЗ с точками рецепторного слоя. Оптическая проекция ПЗ (оптическая модель ПЗ) на воспринимающей стороне является повернутой “с ног на голову” и зеркальной в отношении оригинала (ПЗ). (В литературе зеркальный характер оптической проекции, как правило, не отмечается или ему не придается значения.) Поэтому создающаяся рецепторная модель ПЗ с воспринимающей стороны идентична оптической проекции: она повернутая и зеркальная.

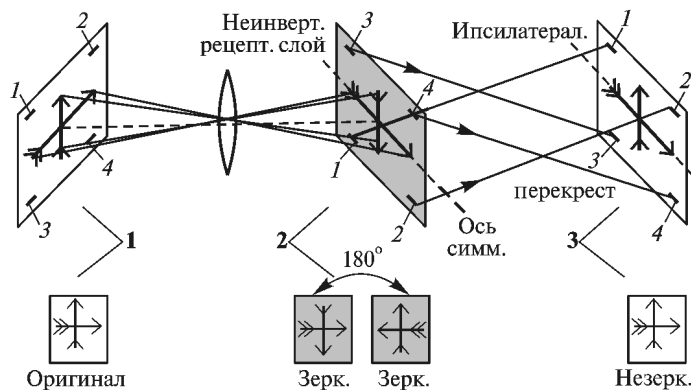


Рис. 1. Ипсилатеральный перекрест (ИП) в зрительной системе беспозвоночного (осьминог *Octopus*) как механизм зеркального преобразования:

1 — поле зрения (ПЗ). 2 — рецепторная модель ПЗ. Она рассматривается также как обычный экран. 3 — первая нейронная модель ПЗ. Стрелки в ПЗ и моделях — принятое направление осей координат в ПЗ и таковое, “создающееся” в моделях соответственно; они же — объект в ПЗ и в моделях.

Нижний ряд изображений — “лицо” ПЗ и виды на воспринимающую сторону его моделей.

1—4 — точки ПЗ и поставленные им в соответствие точки в рецепторной (2) и нейронной (3) моделях. Точечной заливкой окрашена та сторона модели, со стороны которой модель зеркальна “лицу” ПЗ

В свою очередь с помощью аксонов точки отдающей стороны рецепторной модели устанавливаются однозначное соответствие с точками следующего, нейронного слоя. Однако благодаря ИП вертикальная ось координат нейронной модели ПЗ меняет, как можно видеть на рис. 1, свое направление на обратное, зеркальное (в сравнении с таковой у рецепторной модели). Таким образом, нейронная модель ПЗ (и нейронная модель изображения в нем) является зеркальной в отношении рецепторной модели. Из этого следует вывод, что ИП есть механизм зеркального преобразования. Кроме того, можно также видеть, что нейронная модель ПЗ (и нейронная модель изображения в нем) является зеркальной в отношении рецепторной модели. Из этого следует вывод (наблюдение), что механизм ИП направлен на формирование нейронной модели ПЗ, воспринимающая сторона которой незеркальна оригиналу.

На рис. 2 представлена схема проекций ПЗ на рецепторный и нейронный слои в зрительной системе насекомого. Она построена на основе известных нейроанатомических данных (Мазохин-Поршняков, 1983).

Поскольку фасеточный глаз насекомого не имеет для рецепторных единиц-омматидиев общего хрусталика, “составное” ПЗ глаза как бы “отпечатывается” на омматидиевом (рецепторном) слое. Как можно видеть, создаваемая при этом рецепторная модель ПЗ оказывается неперевернутой, но тоже (как и у осьминога) зеркальной (с воспринимающей стороны) своему оригиналу — ПЗ. Благо-

³ Оригинал всегда обращен “лицом” (источником света) к воспринимающей системе, а модель, рецепторная или нейронная, всегда здесь, кроме оговоренных случаев, рассматривается с ее воспринимающей (дендритной) стороны.

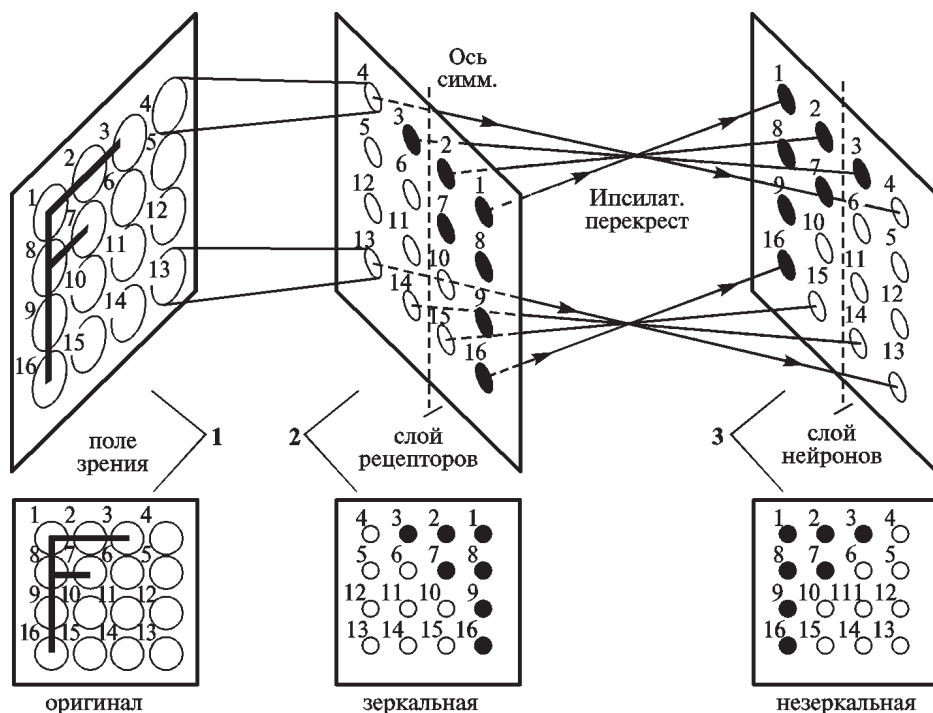


Рис. 2. Ипсилатеральный перекрест (ИП) в зрительной системе беспозвоночного (насекомое с фасеточными глазами) как механизм зеркального преобразования:

1 — поле зрения (ПЗ), составленное из полей зрения отдельных омматидиев. F — объект в ПЗ. 2 — рецепторная модель ПЗ и объекта в нем. 3 — первая нейронная модель ПЗ и объекта в нем. 1–16 — точки-участки ПЗ и поставленные им в соответствие точки-омматидии рецепторной и точки-участки нейронной моделей ПЗ. Изображению F (в ПЗ) соответствует изображение из темных (активированных) точек в рецепторной и нейронной моделях. Внизу — “лицо” ПЗ и виды на воспринимающую сторону его моделей

даря ИП следующая, нейронная модель оказывается, как можно видеть, зеркальной предшествующей, рецепторной, модели и незеркальной исходному оригиналу — ПЗ. Таким образом, как и у осьминога, у насекомых механизм ИП является механизмом зеркального преобразования, и направлен этот механизм на формирование нейронной модели ПЗ, незеркальной оригиналу с воспринимающей стороны.

ИС позвоночных. На рис. 3 представлена схема рецепторной и нейронных проекций ПЗ в глазу позвоночных (в том числе человека). Как и у осьминога, хрусталик создает на рецепторном слое, как на экране, оптическую проекцию ПЗ, повернутую и зеркальную в сравнении с оригиналом. С обратной стороны экрана эта оптическая проекция, хотя и остается повернутой “с ног на голову”, является, естественно, зеркальной той, что создается на воспринимающей его стороне⁴. Однако именно эта, обратная, сторона экрана является воспринимающей стороной инвертированного рецепторного слоя. Поэтому создаваемая рецепторная модель (с ее воспринимающей стороны) является зеркальной (а с отдающей — незеркальной) в отношении оптической модели на воспринима-

ющей стороне экрана. Таким образом, благодаря ИС рецепторная модель (с ее воспринимающей стороны) в инвертированной сетчатке оказывается сформированной сразу как незеркальная (а с отдающей — как зеркальная) в отношении исходного оригинала, ПЗ.

Таким образом, рецепторная модель до инверсии (такая модель характеризует большинство беспозвоночных) и рецепторная модель после инверсии (такая модель характеризует всех позвоночных) зеркальны друг другу. Это свидетельствует о том, что ИС есть механизм зеркального преобразования (точнее, механизм, эквивалентный механизму зеркального преобразования — см. ниже, сноска 5).

Известно, что вследствие плотного прилегания друг к другу каждый предшествующий слой сетчатки как бы отпечатывается на следующем слое и что отпечаток всегда зеркален в отношении печати. В силу того, что

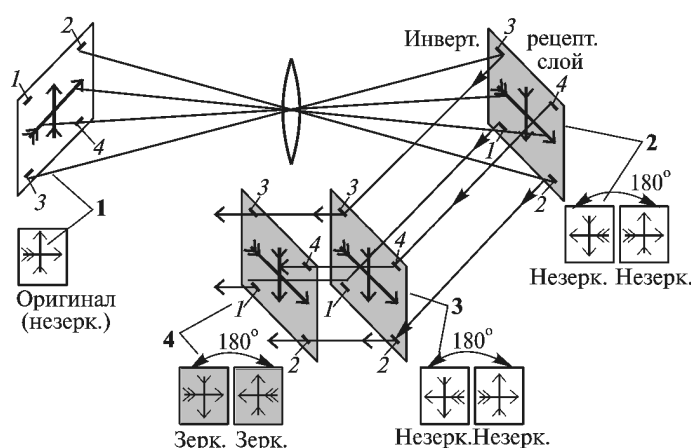


Рис. 3. Инверсия сетчатки (ИС) позвоночных животных как механизм зеркального преобразования:

1 — поле зрения (ПЗ). Внизу — “лицо” ПЗ. 2 — рецепторная модель ПЗ в инвертированной сетчатке. Внизу — вид на воспринимающую сторону модели. 3 и 4 — нейронные модели ПЗ (биполярная и ганглиозная соответственно). Внизу — вид на отдающую сторону модели. Остальные обозначения те же, что на рис. 1

отдающая сторона рецепторной модели ПЗ у позвоночных зеркальна исходному ПЗ (как показано выше), и что она “отпечатывается” на воспринимающей стороне нейронного биполярного слоя

⁴ Зеркальность сторон плоскости — атрибутивное свойство любой плоскости.

сетчатки, последний с воспринимающей стороны оказывается зеркальным в отношении отдающей стороны рецепторной модели и, следовательно, незеркальным в отношении исходного оригинала, “лица” ПЗ. Очевидно, что то же справедливо и по отношению к слою ганглиозных клеток: ганглиозная модель ПЗ также незеркальна (с ее воспринимающей стороны) исходному оригиналу. Таким образом, можно видеть, что ИС, как и ИП, тоже направлена на формирование незеркальной нейронной модели ПЗ.

Здесь можно отметить, что механизм ИС является, очевидно, более экономным и продуктивным механизмом, чем ИП. Ибо, как и ИП, направленный на формирование незеркальной модели ПЗ, он решает еще, по крайней мере, две задачи: 1) устраняет необходимость в сложном, громоздком ИП и 2) благодаря ИС становится незеркальной уже самая первая физиологическая (не оптическая), рецепторная модель ПЗ. (Есть основания предполагать, что незеркальность самой первой физиологической (рецепторной) модели могла быть важным фактором, способствующим эволюции зрительной системы у позвоночных.)

Полученные здесь данные о направленности ИС и ИП на формирование незеркальной (с воспринимающей стороны) физиологической модели каждого ПЗ в отдельности позволили сформулировать еще более широкое предположение, своего рода **постулат** — что незеркальной своему оригиналу должна быть и модель поля зрения в целом (единого поля зрения — ЕПЗ). Из **постулата** вытекает следствие о необходимости в зеркальном преобразовании модели ЕПЗ в отношении полей зрения (ПЗ) как единичных элементов, составляющих ЕПЗ. Естественно было предположить, что механизмом этого преобразования является перекрест зрительных волокон в хиазме — ПХ. Приводимые ниже результаты анализа в отношении ПХ подтверждают это предположение.

Полный ПХ позвоночных (ПХп). Отметим два важных момента в описании известных данных о ПХп. 1) ПЗ у животных с полным перекрестом являются полностью ипсилатеральными — они не пересекают ось симметрии ЕПЗ; другими словами, точка бификсации взора у этих животных отсутствует (является мнимой). 2) При переходе волокон в контралатеральное полушарие имеет место прямая (не зеркальная) топическая проекция выходных нейронов сетчатки на нейронные слои НКТ, т.е. пространственные отношения между внутренними элементами (точками) модели ПЗ сохраняются в НКТ такими же, как между таковыми в выходном слое сетчатки (при рассматривании обеих моделей с воспринимающей стороны). Другими словами, полный ПХ обеспечивает преобразование ЕПЗ в отношении всего двух его элементов — двух ПЗ, выступающих как единичные элементы.

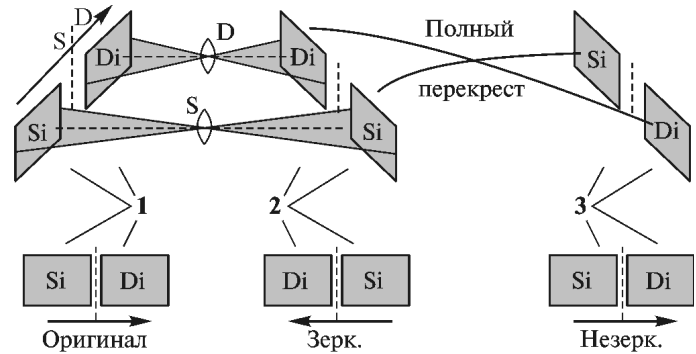


Рис. 4. Полный перекрест в хиазме (ПХп) позвоночных как механизм зеркального преобразования:

1 — единое поле зрения (ЕПЗ), состоящее из двух ПЗ (непересекающихся, симметрично расположенных относительно оси симметрии ЕПЗ). 2 — модель ЕПЗ, состоящая из моделей ПЗ, на уровне сетчаток. Изображены только выходные слои обеих сетчаток. 3 — модель ЕПЗ, состоящая из моделей ПЗ, на уровне НКТ. Изображен только первый нейронный слой НКТ.

Нижний ряд изображений — “лицо” ЕПЗ и виды на воспринимающую сторону моделей ЕПЗ.

S и D — левая и правая стороны пространства относительно оси симметрии ЕПЗ, а также левый и правый глаз соответственно.

Si и Di — полностью ипсилатеральные левое и правое ПЗ и их модели. Стрелки — принятое направление горизонтальной оси координат в ЕПЗ (слева направо) и таковое, “создающееся” в его моделях

Схема на рис. 4 построена с учетом этих моментов. На этом рисунке можно видеть, что после полного ПХ нейронная модель ЕПЗ, состоящего двух ПЗ, зеркальна таковой до перекреста, а также что после полного ПХ она становится незеркальной исходному оригиналу, ЕПЗ. Из этого следуют два вывода: 1) полный ПХ есть механизм, обеспечивающий зеркальное преобразование в отношении элементов ЕПЗ — его ПЗ как целых единиц; 2) направленность этого механизма отвечает **постулату**.

Частичный ПХ позвоночных (ПХч). У ряда позвоночных (например приматы и человек) оба ПЗ перекрываются почти полностью (т.е. наполовину “перехлестываются” за ось симметрии ЕПЗ), и поэтому каждое их ПЗ состоит из двух почти равных частей, ипси- и контралатеральной (а все ЕПЗ — из четырех частей). Эти части разделяет ось симметрии ЕПЗ, проходящая вертикально через точку бификсации взора (рис. 5). Модели этих четырех частей так же, как и модели ПЗ в случае с ПХп, выступают в преобразованиях, связанных с ПХч, как единичные элементы.

Теоретически в согласии с **постулатом**, а так же как это следует из сделанного ранее (выше) описания полного ПХ, в контралатеральное полушарие должны проецироваться только ипсилатеральные части — элементы ЕПЗ, тогда как контралатеральные должны проецироваться в ипсилатеральное полушарие. Именно такая нейроанатомическая организация частичного ПХ имеет место в действительности (Хьюбел, 1990). Таким образом, рис. 5 отражает одновременно и теоретические, и экспериментальные данные. Они полностью совпадают.

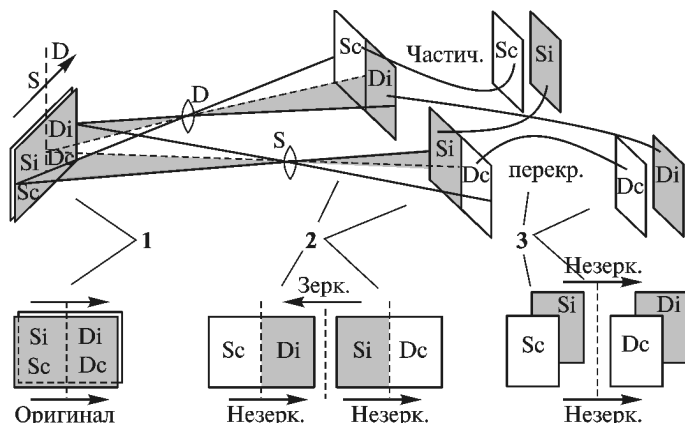


Рис. 5. Частичный перекрест в хиазме (ПХч) позвоночных как механизм зеркального преобразования.

1 — единое поле зрения (ЕПЗ), состоящее из двух ПЗ (полностью перекрывающихся и каждое из которых разделено осью симметрии ЕПЗ пополам). 2 — модель ЕПЗ (состоящая из моделей ипси- и контралатеральной частей ПЗ) на уровне сетчаток. 3 — модель ЕПЗ (состоящая из моделей ипси- и контралатеральной частей ПЗ) на уровне НКТ. Изображены только первые слои НКТ, получающие проекции из сетчаток. Si — ипсилатеральная глазу часть ПЗ левого глаза (она находится в левой части ЕПЗ) и ее модели. Di — ипсилатеральная глазу часть ПЗ правого глаза (она находится в правой части ЕПЗ) и ее модели. Sc — контралатеральная глазу часть ПЗ правого глаза (она находится в левой части ЕПЗ) и ее модели. Dc — контралатеральная глазу часть ПЗ левого глаза (она находится в правой части ЕПЗ) и ее модели. Заливкой окрашены ипсилатеральные глазу части каждого ПЗ и их модели. Остальные обозначения такие же, как на рис. 4

Можно видеть (рис. 5), что модель доли ЕПЗ, состоящей из его ипсилатеральных частей, после ПХч зеркальна таковой до перекреста, и что вся модель ЕПЗ после ПХч становится полностью незеркальной исходному оригиналу, ЕПЗ. Отсюда следуют два вывода: 1) переход волокон в частичном ПХ является механизмом зеркального преобразования (в отношении доли ЕПЗ, состоящей из двух ипсилатеральных частей ПЗ); 2) в целом же весь механизм частичного ПХ направлен на формирование модели, незеркальной исходному оригиналу — ЕПЗ, состоящему из четырех (2 ипси- и 2 контралатеральных) частей ПЗ, выступающих как единичные элементы.

Заключение

Таким образом, результаты проведенного анализа свидетельствуют, что ИС, ИП и ПХ являются механизмами зеркальных преобразований⁵. ИС (у позвоночных) и ИП (у беспозвоночных) осуществляют зеркальные преобразования моделей ПЗ в отношении их элементов, соответствующих точкам ПЗ. Полный ПХ и частичный ПХ осуществляют зеркальные преобразования модели ЕПЗ, соответ-

ственно в отношении двух и четырех составляющих его частей, выступающих как единичные элементы. В итоге формируется единая нейронная модель ЕПЗ, которая с отдающей стороны становится полностью (в целом и во всех ее частях) зеркальной (а с воспринимающей — незеркальной) “лицу” исходного оригинала. Без этих преобразований “зеркальность” сторон модели была бы обратной — такой, как у оптической проекции.

Естественно задать вопрос: “Зачем и почему мозгу нужно это сложное зеркальное преобразование?” Ответ-гипотеза на заданный вопрос возможен, на наш взгляд, с самых общих позиций. Мозг и среда (мир) взаимодействуют: зрительная среда воздействует на мозг, мозг воздействует (в итоге) на зрительную среду. По А.А. Заварзину (1950), мозг состоит, по большому счету, из последовательности проекционных экранных структур (сенсорных и эффекторных). Каждая из них имеет, естественно, зеркальные друг другу, воспринимающую и отдающую стороны. Среда всегда обращена “лицом” к экранным структурам — как при воздействии ее на мозг, так и при воздействии мозга на среду. Другими словами, она всегда “одинаковая”, незеркальная по определению. Ответ на вопрос появляется, если принять, что по направленности координатных осей среда находится всегда в отношениях “комплементарности” с входной и выходной экранными структурами, т.е. в отношениях принципиальной совместимости — подобно тому, как это имеет место, например, в отношениях гомотетических фигур, “лицевой” стороны печати с ее оттиском или объекта с его отображением в зеркале. Действительно, для выполнения этого условия необходимо, чтобы и воспринимающая сторона первой входной экранной структуры (модели)⁶, и отдающая сторона последней выходной экранной структуры были бы зеркальны “лицу” мира. Это в свою очередь требует, как очевидно, чтобы где-то в последовательности экранных структур имело место зеркальное преобразование. Именно это и обнаруживается в действительности, что показано в настоящей работе.

Поскольку в литературе ИС, ИП и ПХ и обеспечиваемые ими преобразования не были ранее идентифицированы в качестве механизмов зеркальных преобразований, а зеркальные преобразования не были идентифицированы в ЦНС именно как вид функционально значимого преобразования, их можно, по-видимому, рассматривать соответственно как новый вид механизмов и новый вид преобразований в зрительной системе и мозге в целом.

⁵ Будет правильнее именовать механизм ИС, в отличие от ИП и ПХ, *эквивалентным* механизму зеркального преобразования, ибо в случае с ИС не происходит зеркального перемещения точек ни в самой плоскости, ни в следующей за ней проекционной плоскости (что имеет место в случае с ИП и ПХ). Случай с ИС аналогичен, в принципе, случаю с обращением фотопленки обратной (неэмульсионной) стороной к объективу, в результате чего “негатив” с эмульсионной стороны оказывается незеркальным “лицу” мира.

⁶ Первой моделью ПЗ является оптическая модель. С воспринимающей стороны экрана она зеркальна оригиналу.

Отметим еще один момент, связанный с механизмами зеркальных преобразований. Возможно, знание о них имеет отношение к волнующей, но еще совершенно не разработанной проблеме “субъективного” — с какими структурами непосредственно связано ощущение видения. Действительно, если принять, что ощущение предметного видения есть проявление активности нейронов нейронной ЕПЗ-модели (что общепринято), то, по причине очевидного сходства (по параметру “зеркальность”, по крайней мере), зрительного ощущения (= образа видимого мира) и “лица” видимого мира, следует, по-видимому, признать, что субъективный образ (ощущение) сходен с “картиной”, “видимой” на *воспринимающей* стороне нейронной модели.

Зеркальные преобразования имеют, видимо, достаточно широкое представительство в мозге — их механизмы (по крайней мере перекресты) характеризуют помимо зрительной также некоторые другие

мозговые системы. Так, среди сенсорных систем перекресты имеют место, например, в соматосенсорной и слуховой системах (в тех системах, стимул которых имеет пространственные характеристики, но не в тех системах, стимул которых имеет только качественные характеристики, например в обонятельной системе).

Кроме того, известны функциональные проявления “зеркальности” в мозговой деятельности в норме и при мозговых расстройствах. Например, зеркальное письмо и рисование, а также некоторые феномены мышления. В теоретическом аспекте важным моментом, по-видимому, является также уже сама нейроанатомическая природа механизмов зеркальных преобразований, указывающая по сути на способ (нейроанатомический) мозгового представительства и обработки информации о пространственных координатах зрительного мира.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Заварзин А.А. 1950. Избранные труды. Т. 3. Очерки по эволюционной гистологии нервной системы. М.; Л. С. 420.

Мазохин-Поршняков Г.А. 1983. (Ред.). Руководство по физиологии органов чувств насекомых. М. С. 261.

Хьюбел Д. 1990. Глаз, мозг, зрение. М. С. 240.

Bullock T.H., Horridge G.A. 1965. Structure and function in the nervous systems of invertebrates. Vol. 2. San Francisco; London. P. 801—1719.

Cajal S.R. 1917. Contribucion al conocimiento de la retina y centros opticos de los Cefalopodos // Trab. Lab. Invest. biol. Univ. Madr. 15. 1—82.

Поступила в редакцию
31.03.09

RETINA INVERSION AND VISUAL FIBER CROSSINGS AS NEUROANATOMICAL MIRROR TRANSFORMATION MECHANISMS

G.S. Voronkov

The visual fiber crossings and the retina inversion are the neurophysiological phenomenon well studied in neuroanatomical but not in functional aspects. From analysis of literature data, the author has shown that the crossings and the inversion are the mirror transformation mechanisms, providing the shaping of such neuron model (map, projection), with the coordinate axes directions on the perceiving side are non-mirror (and mirror on the giving side) to those of the source original — the united vision field “face” and the “face” of its components, the vision fields. If these transformations were absent, the directions of the coordinate axes on the model perceiving side would be mirror to those of the original as in optical projection.

Key words: *retina inversion, visual fiber crossings, mirror transformations, vision field projections.*

Сведения об авторе

Воронков Геннадий Сергеевич — докт. биол. наук, вед. науч. сотр. кафедры высшей нервной деятельности биологического факультета МГУ. Тел. (495) 939-13-42; e-mail: av13675@yandex.ru