



Ю. Б. ГИШЕНРЕЙТЕР

Движения
человеческого
глаза



Ю. Б. ГИППЕНРЕЙТЕР

Движения
человеческого
глаза



ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
1978

399
Г-506

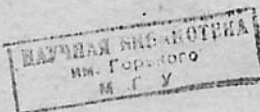
21

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Московского университета

Рецензенты:

доктор психологических наук
В. В. Давыдов

доктор психологических наук
В. П. Зинченко



3841-5-78

Юлия Борисовна Гиппенрейтер.
Движения человеческого глаза. М., Изд-во Моск.
ун-та, 1978.
256 с.

Монография основана на теоретико-экспериментальном исследовании произвольных и произвольных движений глаз человека при решении зрительных, ручных (двигательных), умственных и других задач. Последовательно рассматривается связь внешних характеристик и механизмов организации движений глаз с их местом в структуре деятельности. Приводятся оригинальные методы исследования оперативного поля зрения, зрительного внимания, «единиц» графической деятельности и др.

Книга предназначена для специалистов, работающих в области физиологии и психологии зрения, психофизиологии двигательных актов, инженерной психологии, бионики, а также для широкого круга читателей, интересующихся организацией движений и деятельности человека.

Г 10508-002 6-77
077(02)-78

© Издательство Московского университета, 1978 г.

Моему учителю
Алексею Николаевичу
Леонтьеву

В этой книге обобщаются экспериментальные исследования, проводившиеся на отделении и затем факультете психологии Московского университета автором вместе с руководимой им группой аспирантов, сотрудников и студентов. Эти исследования были начаты в 1962 г. и продолжаются по настоящее время. Все они посвящены одной большой теме — движениям глаз человека.

В различные периоды работы движения глаз выступали для нас с различных сторон: то они оказывались самостоятельным предметом исследования, то рассматривались как непосредственные проявления зрительной деятельности, то использовались как объективные индикаторы других психических процессов.

Отдельные исследования, вошедшие в настоящую работу, были проведены в порядке выполнения прямого заказа со стороны учреждений или служб, заинтересованных в изучении зрительной системы оператора.

Постоянная связь с практической тематикой была для нас чрезвычайно плодотворной. Она расширяла рамки лабораторных исследований, вводя в них нетрадиционные объекты и задачи, помогая ставить новые вопросы, пересматривать или «заземлять» старые.

В одном отношении эта связь была также крайне поучительна: с самого начала обнаружилось, что действенная помощь практике со стороны психологии может быть оказана только в том случае, если в практически ориентированном исследовании в должной мере соблюдаются интересы теории. В соответствии с этим выводом мы старались не прерывать линию

«собственно академических» исследований.

На протяжении многих лет работа нашего коллектива пользовалась неизменным вниманием со стороны моего учителя проф. А. Н. Леонтьева. Его вклад в нашу работу выражался в весьма разнообразных формах: от общих теоретических идей до практических советов и моральной поддержки. Мы приносим ему глубокую благодарность.

Автор искренне благодарит товарищей, принимавших участие в работе, особенно своих ближайших сотрудников — Л. В. Бородину, Т. М. Буякас, В. В. Любимова, В. Я. Романова, С. Д. Смирнова, Л. П. Щедровицкого, которые не только внесли существенный вклад в экспериментальную и теоретическую разработку излагаемых здесь вопросов, но и были незаменимыми помощниками в организации всей жизни лаборатории.

Мы благодарим А. Л. Ярбуса за помощь, которую он оказал нам, когда-то новичкам, в овладении его превосходным фотооптическим методом регистрации движений глаз, и за добрые напутствия.

Очень хочется отметить большую работу инженеров лаборатории — В. И. Чернышева, В. А. Обоева, Н. Ю. Вергилеса, А. К. Левко, В. Б. Минеса, К. В. Чекарева, чьи знания, мастерство и изобретательность помогали нам удовлетворять постоянную потребность в усовершенствовании старых и создании новых экспериментальных установок.

Автор благодарит В. В. Лучкова, сделавшего много ценных редакторских замечаний, а также Н. В. Белову, С. В. Жигалко, И. М. Ковину, Н. В. Обоеву и Т. М. Федорову за большую помощь при подготовке текста и рисунков.

Движениям глаз принадлежит исключительное место в деятельности человека: благодаря непосредственной связи с ведущим дистанторецептором — зрением они включены в процессы отражения внешнего мира и в управление поведением.

По образному высказыванию Р. Грегори, глаза — это окна, через которые не только мозгу открывается внешний мир, но и внешнему миру — внутренние процессы самого мозга. На протяжении многих десятилетий физиологи и психологи пытались «заглянуть внутрь мозга» методом регистрации и анализа движений глаз. Исследования движений глаз — их видов, механизмов, свойств, нарушений — составляют важные ветви офтальмологии, нейрофизиологии, физиологии зрения, психологии зрительного восприятия.

Как во всякой усиленно разрабатываемой экспериментальной области, в исследованиях движений глаз существует много различных целей, задач и подходов. Многочисленные исследования, накопившиеся к настоящему времени, можно разбить на три большие категории.

К первой относятся работы, в которых движения глаз выступают как *самостоятельный предмет* исследования. Обширные серии работ посвящены описанию и анализу видов движений глаз: фиксационных, саккадических, следящих, вергентных и других, их кинематических свойств; их временных характери-

стик; пределов скоростей, амплитуд, частот; их точности; зависимости от параметров зрительной стимуляции и т. п. (см. обзоры: Ярбус, 1965; Гуревич, 1971; Robinson, 1968; Lévy-Schoen, 1969; Bach-y-Rita, Collins, 1971). Сюда же можно отнести исследования физиологических механизмов глазных движений: физиологии экстраокулярных мышц, центральных механизмов управления, мозговых нарушений окуломоторных функций (Бинг и Брюкнер, 1959; Матюшкин, 1972; Holmes, 1938; Walsh, 1957; Whitteridge, 1960; Kestenbaum, 1961; Granit, 1971; Bach-y-Rita, 1971). В последнее время к ним присоединились многочисленные кибернетические модели управления движениями глаз (Westheimer, 1954; Robinson, 1964, 1965; Young, 1962; Young, Stark, 1962; Cook, Stark, 1968; Young et al., 1968; Clark, Stark, 1974).

Ко второй категории относятся работы, рассматривающие *роль движений глаз в процессах зрения*. Это направление исследований исторически возникло раньше других, что имеет глубокие основания. Ведь двигательный аппарат глаз составляет часть зрительной системы, и он возник в ходе развития последней для обслуживания ее основных функций. Поэтому анализ движений глаз невозможен без учета их отношения к процессам зрения; с другой стороны, анализ зрительных процессов неизбежно подводит к обсуждению роли и участия в них движения глаз.

Значение движений глаз для процессов зрения обнаруживается в очень различных формах и на различных уровнях. В последние десятилетия широкое распространение получили исследования непосредственного влияния движений глаз на зрительные функции: эффекты образования «пустого поля» при стабилизации объектов относительно сетчатки (Ditchburn, Ginsborg, 1952; Riggs et al., 1953; Ditchburn, Fender, 1955; Pritchard, 1961), эффекты «саккадического подавления зрения» (Latour, 1962; Volkman, 1962; Zuber, Stark, 1966; обзоры: Луук, Романюта, 1972; Митрани, 1973). При обсуждении этих влияний приходится включать в рассмотрение условия функционирования самого низкого уровня работы зрительной системы — рецепторов сетчатки.

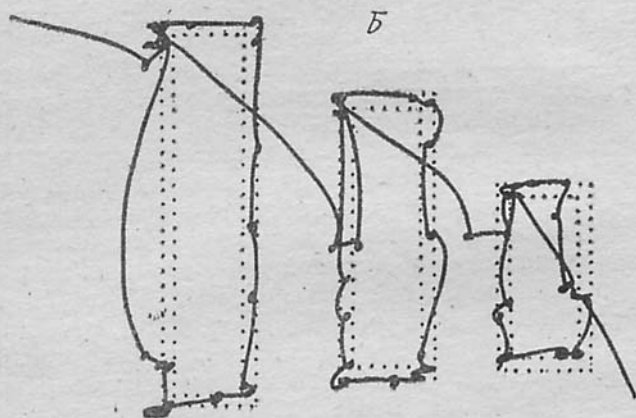
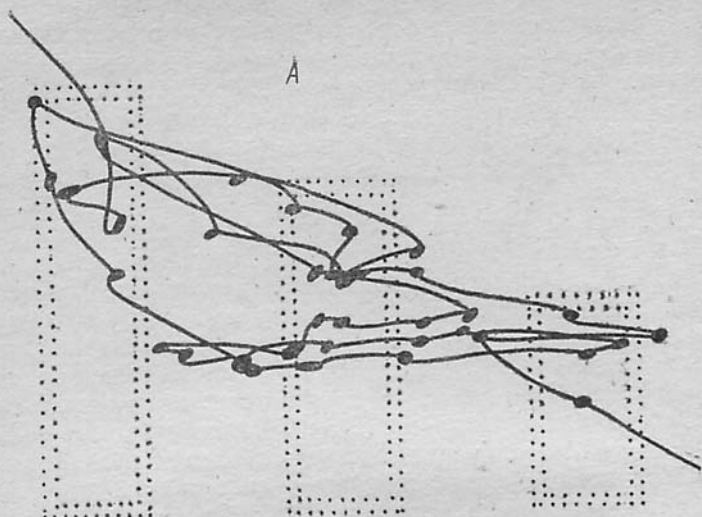
Традиционной темой собственно психологических исследований в рамках этой категории является участие движений глаз в формировании зрительных образов, т. е. включение их в центральные механизмы восприя-

тия. Экспериментальные исследования и теоретическое обсуждение этих вопросов насчитывают по меньшей мере столетие и восходят к работам Г. Гельмгольца, Э. Геринга, И. М. Сеченова и др. Они легли в основу различных вариантов современных «моторных» теорий восприятия и продолжают дискутироваться по сей день.

Наконец, к третьей категории относятся работы, в которых анализ движений глаз используется как *метод исследования* более сложных форм деятельности, в которых зрительное восприятие выступает лишь в качестве компонента, *различных состояний* человека и т. п. Число таких работ стало особенно увеличиваться со второй четверти нашего века с внедрением в психологию объективных методов. Этому способствовало развитие новых методов регистрации движений глаз. Были детально исследованы движения глаз при рассматривании сложных картин (Buswell, 1935; Ярбус, 1965), чтении (Paterson, Tinker, 1944, 1947; Tinker 1947, 1958; Poulton, 1962; Taylor, 1965; Ярбус, 1965; McLaughling, 1969), зрительном поиске (Epoch, Wild, 1957; Epoch, 1959; Ford et al., 1959; White, Ford, 1960; Shackel, 1961), работе с экраном радиолокаторов (Gerathewohl, 1952; Baker, 1967; Williams, 1967) и т. п.

Регистрация движений глаз составила основу специальных методов и экспериментальных процедур. Среди них — измерение длительности зрительного сосредоточения на объекте, которое широко используется при изучении перцептивных функций доречевых младенцев (Hackman, Guilford, 1936; Brandt, 1940, 1945; Fantz, 1964; Leckart, 1966; Венгер, 1969; Блок, 1970), регистрация изменений ширины зрачка как показателя умственной нагрузки и функциональной напряженности (Hess, Polt, 1964; Kahneman, Beatty, 1966; Kahneman et al., 1969; Goldwater, 1972) и др.

Понятно, что работы последней категории имеют более общий психологический смысл, поскольку выводят психологическое исследование за пределы только окуломоторной или только зрительной системы в область разнообразных форм деятельности человека. Однако именно благодаря большим надеждам, возлагаемым на метод регистрации и анализа движений глаз и его растущей популярности, стали выявляться серьезные трудности и проблемы. Результаты слишком многих таких



исследований ограничиваются простым описанием внешней «картины» движений глаз, т. е. данными о длительности, частоте, распределении фиксаций, об амплитуде и количестве скачков, об общей траектории осмотра и т. п. Создается впечатление, что внешние параметры движений глаз приобрели самостоятельный смысл, что, иными словами, не метод работает на исследователя, а исследователь — на метод. Редкие выводы о внутренних

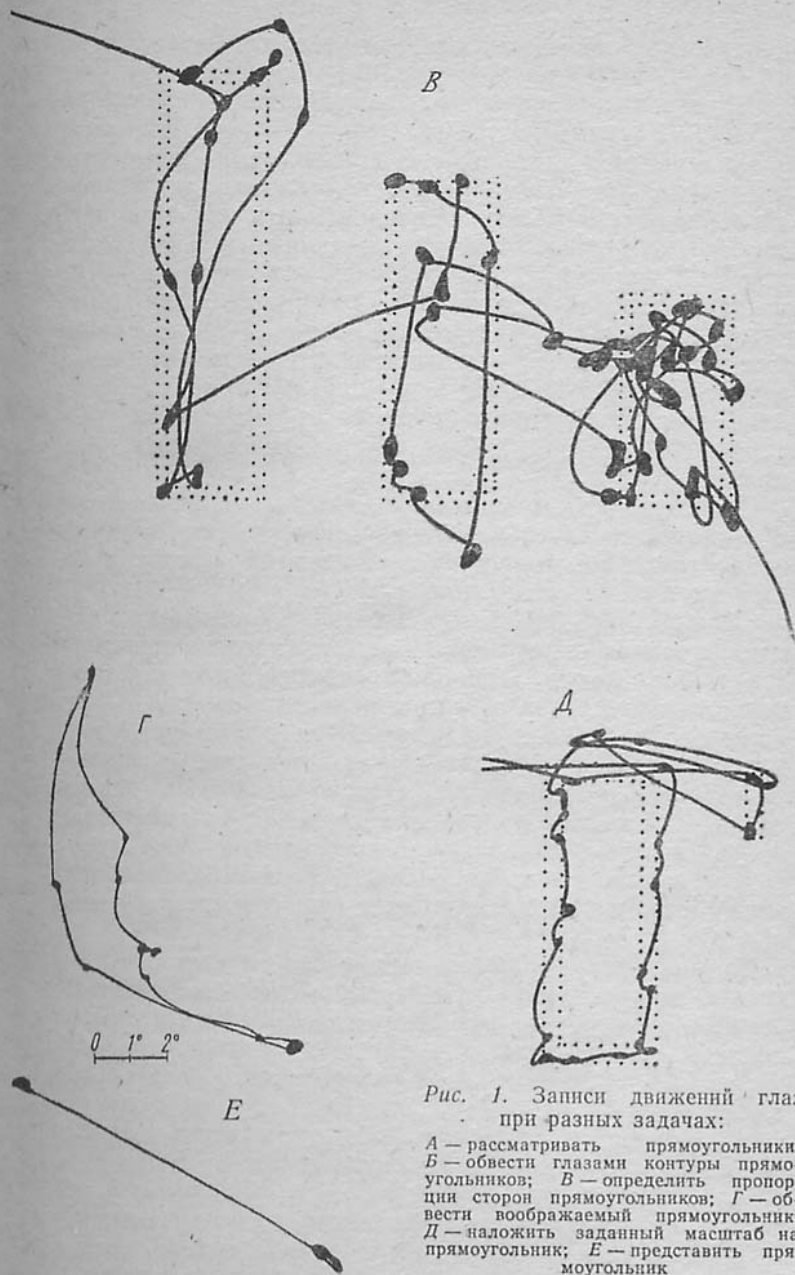


Рис. 1. Записи движений глаз при разных задачах:

А — рассматривать прямоугольники;
 Б — обвести глазами контуры прямоугольников;
 В — определить пропорции сторон прямоугольников;
 Г — обвести воображаемый прямоугольник;
 Д — наложить заданный масштаб на прямоугольник;
 Е — представить прямоугольник

психических процессах оказываются, как правило, недостаточно глубокими или плохо обоснованными.

Причина, на наш взгляд, имеет принципиальный характер. Глазные движения могут быть индикаторами сложных форм деятельности, только если учитываются многообразные и многоуровневые процессы, которые «проецируются» на эти движения или в них отражаются. Это возможно, однако, при наличии единой теоретической концепции, позволяющей объединить в достаточно стройную систему такие различные аспекты деятельности, как ее сознательный контроль и произвольные механизмы; афферентное обеспечение действий и эффекторные механизмы перцепции и др.

В настоящей работе делается попытка рассмотреть движения глаз под углом зрения такой общей концепции.

Для того чтобы подойти к систематизации сведений о движениях глаз, нам представлялось необходимым найти ответ на вопрос: каков главный фактор, который определяют эти движения?

Можно было бы думать, что таким фактором является зрительная стимуляция. Так, неожиданное появление зрительного стимула в поле зрения приводит к установочному скачку глаз; движущийся зрительный объект вызывает следящие движения глаз; существует также мнение, что и форма объекта может «диктовать» глазу траекторию его движения. Однако в действительности свойства зрительного объекта не являются определяющим фактором. Уже первое знакомство с движениями глаз показывает, что при одном и том же объекте траектории их движений могут быть существенно различными (рис. 1).

Другим ответом может быть указание на морфологическую и функциональную неоднородность сетчатки: наличие в центре сетчатки лишь небольшой по размерам области ясного видения — фовеа. Функцией наведения фовеа на рассматриваемый предмет и определяются движения глаз. Однако и этот ответ опровергается непосредственными записями. Известно, что во многих случаях глаза остаются неподвижными в пределах поля зрения, значительно превосходящего размеры области ясного видения, и тем не менее информация в этом поле оказывается воспринятой; с другой стороны, глаза совершают многочисленные движения при оперировании

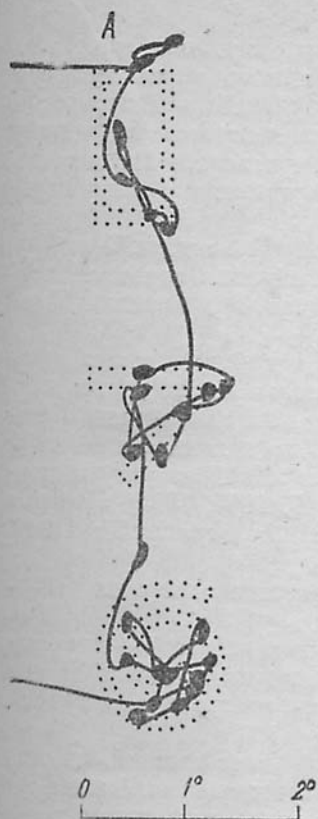
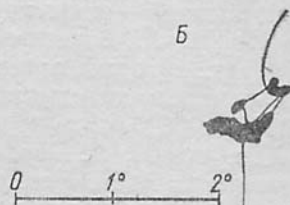


Рис. 2. Записи движений глаз:

А — при оперировании с объектами, уместающимися в фовеа (задачи: определить пропорции сторон прямоугольника, величину угла и число витков спирали); Б — при фиксации точки (дана для сравнения в том же масштабе)



с объектами, целиком уместающимися в поле фовеального зрения (рис. 2).

Анализ многочисленных фактов позволяет прийти к выводу, что главным и безусловным фактором, определяющим движения глаз — их формы, способы, траектории, пространственно-временные свойства и т. п., — является решаемая субъектом задача. Заметим, что именно вариация задачи определила различный характер записей, приведенных на рис. 1.

Этот вывод имеет принципиальное значение. Он говорит о том, что, несмотря на специализацию функций глазных движений, на особенности их свойств, сущест-

венно отличающих их от других движений организма, несмотря на существование большого количества специальных глазодвигательных рефлексов и произвольных механизмов, движения глаз являются элементами целенаправленной деятельности человека, и на них должны распространяться законы организации и динамики этой деятельности.

Общей методологической основой настоящей работы и явилось рассмотрение движений глаз как компонентов и механизмов целенаправленной деятельности человека.

Как общее направление, так и конкретные проблемы настоящего исследования во многом определились двумя теоретическими концепциями, на наш взгляд, близкими и в то же время существенно дополняющими друг друга. Это концепция психологической структуры деятельности А. Н. Леонтьева (1947, 1965, 1975) и теория уровней построения движений Н. А. Бернштейна (1947, 1966).

Обе концепции вводят в качестве одного из основных понятий — понятие *задачи*.

По Н. А. Бернштейну, задача действия — это «результат, который организм стремится достигнуть»; она же определяет ведущий уровень построения движения (1966, с. 307).

То, что Н. А. Бернштейн называет задачей, по терминологии А. Н. Леонтьева, является целью. Задача же для него — это «цель, данная в определенных условиях» (1965, с. 298). Согласно концепции А. Н. Леонтьева, задача определяет состав деятельности, ее основные «образующие».

В настоящей книге мы будем придерживаться следующих определений основных «образующих» деятельности (см., например, Леонтьев, 1965, с. 512—517; 1975, с. 247, 267).

Действие — это целенаправленный процесс, или процесс, отвечающий сознательной цели субъекта.

Содержание всякого действия представляют *операции*. Они определяются как способы выполнения действия. Операции зависят от условий, в которых дана цель, т. е. от задачи.

Механизмом действий и операций являются *психофизиологические* функции. Соответствующие физиологические процессы — реализаторы деятельности — пред-

ставляют собой наиболее низкие уровни структуры деятельности.

В настоящей работе рассматриваются *три* больших класса задач: глазодвигательные, зрительные и незрительные, или «общие». Задачи каждого класса объединены по характеру определяющих их целей. Им соответствует различная функциональная роль движений глаз в структуре деятельности.

Глазодвигательные задачи содержат прямое указание произвести то или иное движение глаз. В соответствии с этим движения глаз организуются и осуществляются как целесообразные (соотнесенные с целью) акты, т. е. как действия в указанном значении этого слова.

Зрительные задачи возникают в связи с постановкой зрительных перцептивных целей. Работа собственно зрительных механизмов наполняет содержанием основные, зрительные, действия. Движения глаз составляют конкретные способы осуществления этих действий, т. е. оказываются в ранге их операций.

Наконец, решение *незрительных (общих) задач* происходит благодаря работе таких функциональных систем, в которых зрительная система выступает в роли одного из функциональных «блоков» или подсистем. Основными действиями здесь являются мыслительные, мнемические, двигательные и др. Зрительные процессы входят в состав действий как вспомогательные операции. Движения глаз, сохраняя свое основное назначение обслуживать зрительные процессы, выступают здесь, следовательно, в роли операций операций, или операций второго порядка.

Определение функционального места движений глаз в структуре конкретных видов деятельности было для нас отправным моментом и в то же время связующим звеном в исследовании столь различных аспектов глазных движений, как отражение их в сознании, их участие в процессах зрения, их физиологическое обеспечение и др.

Книга содержит пять глав. Первые три главы посвящены анализу фазических движений глаз в контексте задач трех названных классов: соответственно глазодвигательных, зрительных и незрительных. В четвертой главе излагаются результаты исследования фиксационных движений глаз при решении задач тех же основ-

ных классов. По существу, параграфы четвертой главы повторяют логику первых трех глав, только применительно к тоническим формам моторной активности глаз. В пятой главе излагаются теоретические итоги работы.

Как уже говорилось, в экспериментальной работе участвовала большая группа товарищей. Укажем соавторов конкретных исследований: Л. В. Бороздина (§ 2.2), Т. М. Буякас (§ 1.4, 3.1, 3.2), М. Д. Густяков, М. И. Заика (§ 2.4), В. В. Любимов (§ 1.2, 1.3, 3.3), Г. Л. Пик (§ 4.5), В. Я. Романов (§ 1.6, 4.1, 4.2, 4.4, 4.6), И. С. Самсонов (§ 4.6), Л. Б. Седакова (§ 2.3), С. Д. Смирнов (§ 1.6, 4.3), В. А. Уразаева, Л. П. Щедровицкий (§ 1.5, 2.1).

●

ГЛАВА I
Работа
глаза
как
двигательного
органа

В деятельности человека можно выделить класс задач, при которых двигательная система глаз принимает на себя основную функциональную нагрузку. Обычно в них содержится прямое указание произвести то или иное движение глазами. Примерами могут служить инструкции, используемые в лабораторных или клинических исследованиях, такие, как: «отведите глаза в сторону», «фиксируйте точку», «переведите взгляд с одной точки на другую», «следите за движущимся объектом» и т. д.

Сюда же нужно отнести самоинструкции, возникающие иногда в более сложных ситуациях и заставляющие нас нарочито изменять положение взора или задерживать его в определенной позиции.

Глазами мы можем указывать на предметы, и это движение вполне сравнимо с аналогичным жестом руки. Еще одним ярким примером могут служить некоторые фигуры индийских танцев, например «восьмерка», которую исполнитель должен уметь «выписать» глазами. Наконец, следует вспомнить о «стрельбе глазами». Этот кокетли-

вый жест в наши дни приобрел грозный буквальный смысл: появились технические системы, рассчитанные на наведение орудия глазами (Merchant, 1968).

Задачи, содержащие специальную цель произвести глазами определенное движение, мы называем *глазодвигательными*. При их решении глаз выступает как *двигательный орган*.

Наряду с прямыми глазодвигательными задачами существуют их «замаскированные» варианты, например «найти глазами выход из лабиринта», «определить пункт на карте по заданным координатам» и т. д. В таких задачах наблюдатель должен сначала пройти глазами по маршруту или по линии и лишь затем зрительно оценить содержание того места, в которое «пришел» глаз.

Наконец, организованные перемещения взора входят в решение некоторых глазомерных задач. Обычно в таких задачах содержится (в явной или скрытой форме) указание на способ, которым должны перемещаться глаза, например «наложить» масштаб на отрезок, двигаясь вдоль него, сосчитать глазами предметы, «перебирая» их по одному, и т. д. Чтобы отличить эти задачи от непосредственных зрительных оценок, назовем их *двигательно-метрическими*.

Попытаемся охарактеризовать структурное место и функциональные особенности движений глаз в задачах описываемого класса.

Если задача предполагает одно более или менее простое движение глаз, то это движение выступает как самостоятельное действие: оно возникает в результате постановки цели и ведет к ее реализации. В других случаях, когда решение задачи требует серии движений (например, при обведении контура, при поиске числа в таблице), отдельные движения глаз оказываются уже частными действиями: ведь каждое из них ведет к промежуточной цели (прослеживанию части контура, переводу глаза в ячейку таблицы и т. д.). Легко предположить, что при овладении действиями и, следовательно, укрупнении промежуточных целей отдельные глазные движения могут превращаться в операции. Становясь относительно автоматизированными, менее сознаваемыми актами, эти операции вместе с тем несут печать своего происхождения. В любой момент они могут стать предметом осознания, т. е. вернуться на раннюю

функционально-генетическую ступень и снова превратиться в действия.

Итак, для всего описываемого класса задач характерно, что в них движения глаз *сознательно контролируются* (актуально или потенциально).

Подход к глазу как к двигательному органу позволил очертить круг специальных вопросов, рассмотренных в настоящей главе. Среди них и такие традиционные темы, как пространственные, временные, точностные характеристики произвольных движений глаз, возможности их проприоцептивного и зрительного контроля, центральные механизмы управления, и такие менее изученные вопросы, как взаимодействие произвольных и непроизвольных микродвижений глаз, двигательные координации глаз и руки и др.

Эту главу мы начинаем с кратких обзоров литературных данных, касающихся функционально-динамических характеристик и возможных механизмов движений глаз: в задачах фиксации (§ 1.1), слежения (§ 1.2) и перевода взора (§ 1.3).

Остальные параграфы главы (1.4—1.6) посвящены изложению собственных экспериментальных исследований, которые группируются вокруг двух больших тем. Первая из них — решение глазодвигательных задач в особых условиях, создаваемых зрительной однородностью объектов. Использование однородных объектов оказалось чрезвычайно ценным в методическом отношении: оно позволило «обнажить» некоторые аспекты управления глазными движениями, обычно скрытые в естественных условиях. Вторая тема относится к изучению двигательного взаимодействия глаз и руки.

Хотя функционированию глаза в качестве двигательного органа специально посвящена вся первая глава, мы будем и далее неоднократно обращаться к этой теме, поскольку соответствующие вопросы «выходили на поверхность» в связи с обсуждением других задач (§ 3.1, 4.1, 4.3).

Итоговый обзор этих вопросов мы даем в последней, теоретической главе (§ 5.1), к которой и отсылаем читателя, желающего познакомиться с проблемой в целом.

§ 1.1.

ЗАДАЧИ ФИКСАЦИИ НЕПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА

Фиксации являются основной формой глазодвигательной активности, ведь именно во время фиксаций происходит прием зрительной информации. Может быть поэтому фиксационные движения глаз изучены достаточно подробно.

Большинство авторов в интересах создания «строго контролируемых условий» предлагали испытуемым фиксировать светящуюся точку в полной темноте. Эта ситуация далека от реальных условий работы зрительной системы и в некоторых отношениях прямо противоположна ей: фиксации глаз обычно происходят на свете, на гораздо более сложном и более содержательном объекте, со зрительными, а не двигательными целями.

Ниже (см. настоящий параграф, а также § 4.1, 4.3) мы неоднократно увидим, что вариация каждого из этих факторов (характер фона, объект, цель) влияет на функционально-динамические характеристики фиксационных движений, и иногда — решающим образом. Следовательно, результаты, полученные в лабораторных экспериментах описанного типа, имеют ограниченное значение. Вместе с тем постоянное их условие — *прямая инструкция фиксировать неподвижную точку* — позволяет рассмотреть известные данные по фиксационным движениям глаз как раз в настоящей главе.

Давно известно, что при задаче фиксировать точку глаза совершают ряд произвольных микродвижений. К ним относятся: тремор, дрейф, маленькие скачки. В совокупности эти движения называются иногда спонтанным, или *физиологическим, нистагмом* (ФН).

Одно из первых упоминаний о фиксационных микродвижениях встречается у Г. Гельмгольца (Helmholtz, 1866). Р. Додж (Dodge, 1907) провел довольно тонкие измерения этих движений, «метая» сетчатку послеобразом и наблюдая движения последнего относительно внешней точки фиксации. На протяжении последующих десятилетий многие авторы обращались к исследованию

фиксационных движений глаз, совершенствуя методы регистрации и ставя различные вопросы (Marx, Trendelenburg, 1911; Adler, Fliegelman, 1934; Lord, Wright, 1948; Rattliff, Riggs, 1950; Ditchburn, Ginsborg, 1953; Higgins, Stults, 1953; Fender, 1960; Ярбус, 1956; Dreischel, 1961, 1965). Полученные количественные данные для каждого вида микродвижений глаз приведены в табл. 1—1.

Тремор из всех видов фиксационных движений является наименее изученным. Это связано с его высокой частотой и малой амплитудой: минимальные абсолютные смещения глаза при треморе составляют 1 μ . Регистрация таких колебаний требует очень точной техники и больших усилений.

В нашей лаборатории были разработаны две методики регистрации микродвижений глаз (Гиппенрейтер и др., 1964). На записях, полученных с их помощью, нами отчетливо наблюдались частоты до 200 Гц (что совпадает с данными Fender, 1960) и амплитуды колебаний до 5'' (угловых секунд).

Тремор обоих глаз независим (Ditchburn, Ginsborg, 1953). Зрительные оси глаз при треморе движутся по конусообразным поверхностям (Ярбус, 1965). Предполагается, что тремор представляет собой неполный гладкий тетанус, вызванный разрядами активных моторных единиц глазных мышц (Бернс, 1969).

Более детальное изучение тремора — дело будущего. Судя по другим видам фиксационных движений (см. главу IV), он может оказаться чувствительным показателем важных характеристик зрительных перцептивных процессов.

Дрейф представляет собой относительно медленные плавные смещения глаз. Средняя скорость дрейфа — 5—6 ' /с (угловых минут в 1 секунду), максимальная — 30 ' /с (Ярбус, 1965). Максимальной скорости *дрейф* достигает несколько раз в секунду. Как и тремор, дрейфы обоих глаз совершаются независимо. Часть дрейфов может быть отнесена на счет конвергенции и дивергенции (Ditchburn, Ginsborg, 1953; Riggs, Niehl, 1960). Причиной дрейфа считается общая нестабильность двигательного аппарата глаз. По мнению большинства авторов, направление дрейфов случайно (Rattliff, Riggs, 1950; Ярбус, 1965; Бернс, 1969). Однако встречаются указания на преобладание у практически здоровых испытуе-

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОДВИЖЕНИЙ ГЛАЗ
ПРИ ЗАДАЧЕ ФИКСИРОВАТЬ ТОЧКУ
(по Levy-Schoen, 1959)

Автор	Дата	Метод регистрации	Тремор		Скачки		Дрейфы	
			Амплитуда	Частота (в гц)	Амплитуда	Интервал (в сек)	Амплитуда	Частота (в гц)
Dodge	1907	Послеобраз			30'		<10'	
Adler—Fitegelman	1934	Зеркало на глазу	1—2'	50—100	8'	1	2'	5
Lord—Wright	1948	Отражение от роговицы + фотоэлемент	не обнаружен		3—4'	0,6—1		
Ratliff—Riggs	1940—1949	Зеркало на глазу	17,5"	30—70	3—5'	0,2—4	1—5'	2—5
Ditchburn—Ginsborg	1953	»	10—30"	30—80	1—20'	0,03—5	<6'	
Fender	1956	» + фотоэлемент	12"	200				
Higgins—Stultz	1953	Фотографирование кровеносных сосудов на склере	1'	50—100				
Ярбус	1956	Зеркало на глазу	20—40"	80—90	5'			

мых одного направления фиксационных дрейфов (Nachmias, 1959, 1960, 1961; А. Р. Шахнович, 1966).

В наших экспериментах при регистрации горизонтальной составляющей фиксационных движений глаз у большинства испытуемых также была обнаружена латеральная асимметрия дрейфов, одинаковая для обоих глаз (Гиппенрейтер, Романов, 1969, 1973). По преобладающему направлению дрейфов испытуемых можно было, таким образом, разделить на «левых» и «правых»; некоторые испытуемые оказались «центристами» — у них асимметрия дрейфов отсутствовала (рис. 3). Убедительное подтверждение факта асимметрии фиксационных дрейфов получил в исследованиях фиксационного оптикинетического нистагма (ФОН — см. § 4.1), где попутно обнаружилось, что многие «центристы» являются скрытыми асимметристами.

Физиологическая природа асимметрии дрейфов пока не известна. По нашим данным, она не связана с праворукостью (или леворукостью) испытуемых. Дж. Нахмайес показал также, что ее причиной не может быть неоднородность остроты зрения различных половин сетчатки (Nachmias, 1960).

Скачки, или *саккадические движения* (саккады), обоих глаз при фиксации в отличие от тремора и дрейфа строго согласованы; они происходят одновременно и в одном направлении, обычно противоположном пред-

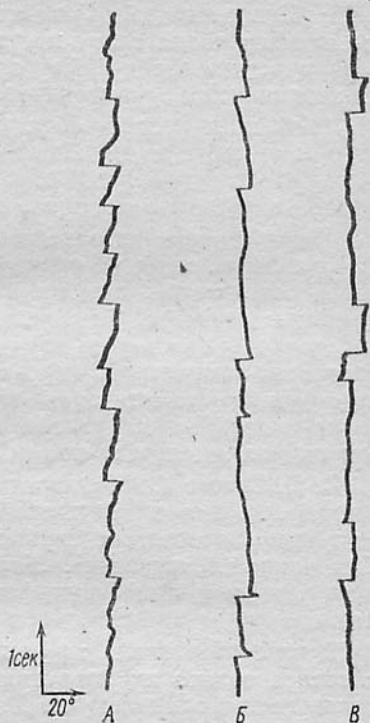


Рис. 3. Записи ФН у трех различных испытуемых:

А — «правосторонний» (исп. Р. М.);
Б — «левосторонний» (исп. М. Л.); В —
«центрист» (исп. И. М.)

шествующему дрейфу. Если в дрейфах преобладает какое-нибудь одно направление, скачки имеют также преимущественно однонаправленный характер (см. рис. 3) (см. также Nachmias, 1959, 1960, 1961; А. Р. Шахнович, 1966; Гиппенрейтер, Романов, 1969, 1973). Амплитуды скачков обоих глаз могут несколько различаться, если в результате дрейфа зрительные оси сместились на неодинаковое расстояние (Krauskopf et al., 1960).

Дрейфы и скачки образуют чередующиеся циклы, которые состоят из медленной и быстрой фаз, что и послужило основанием назвать фиксационные движения физиологическим *нистагмом*.

Широкое распространение получила точка зрения Т. Корнсуита, согласно которой основная функция скачков — исправление ошибки фиксации, наступившей в результате дрейфа. Чем дальше смещается изображение точки относительно центра фовеа, тем больше вероятность наступления коррекционного скачка. При искусственной стабилизации изображения фиксируемой точки относительно центра фовеа происходит резкое сокращение числа скачков (Cornsweet, 1956).

В. Д. Глезер (1959) произвел измерения зоны фовеа, в пределах которой блуждание проекции цели не вызывает поправочного скачка. Он назвал ее «зоной нечувствительности сетчатки». Полученные значения оказались близкими к величине фовеальных рецептивных полей.

В последнее время коррекционная функция скачков, а точнее только их коррекционная функция, все чаще подвергается сомнению. В. Д. Глезер нашел, что значительная часть скачков имеет большую амплитуду, чем это требуется для возвращения точки в зону нечувствительности. Дж. Нахмайес показал, что коррекция положения глаз может осуществляться с помощью дрейфа и что увеличение скорости дрейфа не приводит к увеличению частоты скачков. На этом основании он заключил, что время, прошедшее с момента предыдущего скачка, — более надежный критерий для предсказания момента наступления следующего скачка, чем величина отклонения линии взора от цели (Nachmias, 1959).

А. Л. Ярбус (1965) отмечал возникновение скачков в тех случаях, когда изображение фиксируемой точки находилось в центре фовеа, т. е. отсутствовал повод для

коррекции. П. Р. Бойс нашел, что только 30% скачков компенсируют отклонение, вызванное предыдущим дрейфом (Bouse, 1967). Н. Г. Проскурякова и А. Р. Шахнович (1968) сообщили аналогичные данные. Р. Стайнман и др. показали, что при произвольной установке испытуемого сдерживать движения глаз во время фиксации скачки тормозятся и успешная фиксация осуществляется за счет одних дрейфов (Steinman et al., 1967). Аналогичные результаты получили А. Фиорентини, А. Эрколес (Fiorentini, Ercoles, 1966) и В. А. Филин, Т. П. Мишинова (1969).

Существует несколько попыток объяснить перечисленные факты, не вписывающиеся в модель Т. Корнхита. В. Д. Глезер (1959) считает, что назначение некоторых скачков — смена рецептивного поля, которым осуществляется фиксация точки. По мнению А. Л. Ярбуса, конец всякого мигания и скачка, в том числе произвольного скачка при фиксации, является «началом нового процесса видения», поэтому скачки (так же, как и мигания) могут совершаться с целью «обновления зрения» (Ярбус, 1965, с. 93).

Интересную интерпретацию фиксационных скачков дают Р. Стайнман и др. (Steinman et al., 1973). Они обращают внимание прежде всего на то, что задача фиксировать точку достаточно искусственна и ограничивается условиями лабораторных экспериментов. В обычных же условиях глаза регулярно сканируют зрительное поле с целью осмотра, восприятия, поиска зрительных объектов, и это осуществляется с помощью скачков. При фиксации испытуемый с той же регулярностью организует проверку непосредственно примыкающей к точке области, чтобы удостовериться, действительно ли линия зора направлена на точку. Таким образом, скачки при фиксации, по мнению авторов, можно рассматривать как «автоматизированный моторный навык», происшедший от «зрительных» саккад (там же, с. 814). Одно из доказательств этого предположения — обнаруженное Р. Кунитцем и Р. Стайнманом хорошее соответствие частоты микроскачков при фиксации и макросаккад при чтении (Cunitz, Steinman, 1969).

Перечисленные точки зрения на природу и функции фиксационных микроскачков не противоречат друг другу. Более поздние из них содержат лишь более общие формулировки. Действительно, «обновление зрения» не

исключает «смену рецептивного поля», а «возобновление контроля» вполне может включать также «обновление зрения». Наконец, регулярные проверки направления линии зрения вполне могут сопровождаться коррекциями положения глаз, хотя эти коррекции, вообще говоря, не обязательны.

Исследования фиксационных движений глаз при решении различных (не только фиксационных) задач позволили увидеть в микроскачках проявление еще более общего процесса — периодического возобновления произвольного контроля в ходе решения любой задачи. Наши эксперименты привели к выводам, сходным с высказанными Р. Стайнманом и др. Однако на этом мы подробно останавливаться ниже (в гл. IV).

Рядом авторов исследовалось *влияние физических характеристик точки* на фиксационные движения глаз. По данным Г. Хартриджа (1952), изменение цвета цели ведет к изменению локализации фиксирующей точки в фовеа. Он связывает это с «гипотезой гроздьев» — неравномерным расположением красных, зеленых и других рецепторов в центральной области сетчатки. В прочих отношениях изменение цвета на фиксационные движения глаз не влияет (Bouse, 1967).

При фиксации плохо видимой точки увеличивается количество скачков (Higgins, Stults, 1953). Хартридж (1952) считает, что в этих условиях происходит смещение фиксирующей точки по направлению к парафовеальным участкам сетчатки, содержащим более чувствительные палочковые рецепторы, причем наблюдатель делает это произвольно. Р. Кунитц и Р. Стайнман описали периодические появления и исчезновения плохо видимой цели при задаче фиксировать ее. Они объясняют это явление тем, что испытуемый старается центрировать цель в фовеа и... теряет ее из-за слабой чувствительности колбочек; произвольные же дрейфы выводят ее из фовеальной области — и видимость восстанавливается (Cunitz, Steinman, 1967; Steinman, Cunitz, 1968).

При увеличении диаметра фиксируемого объекта частота микроскачков значительно уменьшается (Steinman, 1965). В специальных опытах мы предъявляли испытуемому светящиеся кольца различного диаметра с задачей найти и фиксировать центр кольца. Оптический центр ничем не был выделен, кольца предъявлялись в

полной темноте. Оказалось, что при фиксации центров колец циклический характер движений глаз сохраняется, однако увеличивается амплитуда дрейфов и возвратных скачков. В кольце диаметром 12° она достигала $30'$, в кольце диаметром 5° — $15'$.

Фиксации глаз в полной темноте или в условиях гомогенного поля оказываются малоэффективными. По данным Р. Дичборна и Б. Гинзборга, амплитуда дрейфов и скачков при отсутствии зрительной опоры увеличивается примерно в четыре раза (Ditchburn, Ginsborg, 1953). А. Скейвенски и Р. Стайнман зарегистрировали отклонение глаз от заданной точки на 2° в течение двухминутного пребывания в темноте (Skavensky, Steinman, 1970). По нашим данным, эти значения могут быть гораздо больше. На рис. 4 приводится запись при инструкции фиксировать в полной темноте место погашенной точки. На записи видно, что в течение 15—17 с общее отклонение глаза от заданного положения достигло $5,5^\circ$. Хотя в этот период и происходили поправочные скачки, они не возвращали глаз в исходное положение.

В литературе широко обсуждаются неврологические механизмы фиксационных движений глаз. Обычно эти движения связывают с затылочным (17, 18, 19 поля, по Бродману) и лобным (8 поле, по Бродману) глазодвигательными центрами (Holmes, 1938; Walsh, 1957; Бинг, Брюкнер, 1959; Kestenbaum, 1961). Первый рассматривается как центр рефлекторной, или автоматической, фиксации, называемой также оптомоторным статическим рефлексом; второй — как центр произвольной, или «волевой», фиксации. Однако к этим традиционно описываемым механизмам следует, на наш взгляд, добавить еще один, ответственный за возникновение однонаправленных фиксационных дрейфов. Им может быть подкорковый нистагмогенный центр (Rademaker, Ter-

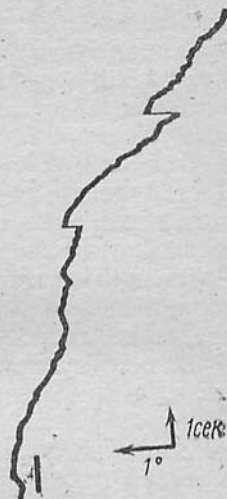


Рис. 4. Запись движений глаз при фиксации места погашенной точки в полной темноте

Начало записи — фиксация реальной точки, период предъявления которой отмечен чертой справа

Вгаак, 1948); известно, например, что при электрическом раздражении ядер передних двухолмий фиксационные дрейфы в темноте усиливаются (Bergmann et al., 1964; Wolfe, 1969).

Сколько-нибудь подробные сведения о морфологии и функциональных связях указанных центров в настоящее время отсутствуют. Тем не менее делаются попытки описать их взаимодействие на макрофизиологическом уровне. Факты показывают, что центры фиксационных движений глаз образуют иерархическую систему. Дестабилизирующая по своему эффекту активность самого низшего, субкортикального центра дрейфов тормозится затылочным центром рефлекторной фиксации. Последний, в свою очередь, находится в подчинении у лобного центра, который санкционирует начало или прекращение его работы.

Если регулирующее влияние лобного центра отсутствует или нарушено, то фиксация протекает в крайне ригидной форме. Так, у младенцев первого месяца жизни с еще несформированными центрами произвольных действий наблюдается своеобразная прикованность глаз к объекту (Gesell, 1950); сходная картина, называемая «спастической фиксацией», описана у больных с поражением фронтальных центров (Бинг, Брюкнер, 1959). При отключении затылочного центра, например в полной темноте, картину фиксации начинает определять субкортикальный центр. Мы видели, что в результате происходит непрерывный «спływ» глаз с заданной позиции (см. рис. 4). Интересно, что лобный центр не имеет «прямого доступа» к центру произвольных дрейфов: никакими усилиями испытуемому не удается остановить сплывы глаз. Только включение зрительной стимуляции, вводящее в игру затылочный центр, делает эти усилия эффективными. Затылочный центр определяет также точность фиксации: изменения амплитуды фиксационного нистагма, частоты корректирующих скачков и т. п. являются автоматическими следствиями изменений физических характеристик цели — ее яркости, размеров и т. п. — и не поддаются произвольному контролю.

Итак, фиксация неподвижного объекта человеком при специальной инструкции проходит в режиме своеобразного динамического равновесия, а не в идеальной статической форме, как того требует задача. Такой вид

фиксационного действия является результатом комбинации сознательных усилий субъекта и активности низкоуровневых центров. Они, как и всякие другие автономные физиологические системы, включенные в решение задачи, реализуют наши сознательные усилия и в то же время диктуют свои нормы.

§ 1.2.

ЗАДАЧИ СЛЕЖЕНИЯ ЗА ДВИЖУЩИМСЯ ОБЪЕКТОМ

При наблюдении за движущимся объектом возникают плавные движения глаз. Глаза сопровождают объект, следят за ним. Отсюда название — *следящие*, или *прослеживающие, движения глаз*. В результате этих движений фовеальная область сетчатки постоянно удерживается, или фиксируется на объекте, поэтому иначе они называются *динамической фиксацией*.

Как и статические фиксации, прослеживающие движения совершаются прежде всего в интересах зрения. Однако человеку можно поставить прямую задачу: проследить глазами движущийся объект. Именно в условиях таких лабораторных задач получены основные характеристики следящих движений глаз. Как правило, объектом в них служит световая точка.

Начнем рассмотрение процесса решения глазоувеличительной задачи слежения с наиболее простого ее варианта, когда наблюдатель получает инструкцию следить за точкой, равномерно движущейся по горизонталю. Затем остановимся на других разновидностях той же задачи, определяемых скоростью объекта, направлением его движения, законом или траекторией его движения, характером фона и т. п. Единственное, что во всех случаях будет предполагаться неизменным, — это задача следить глазами за целью. Организация прослеживающих движений глаз при других задачах будет рассмотрена в IV главе (§ 4.3).

При задаче следить за точкой, движущейся горизонтально с равномерной скоростью, регистрируются плавные движения, перемежающиеся мелкими скачками. Скачки носят произвольный характер. Функция скач-

ков — ликвидировать позиционное рассогласование между глазом и целью, накапливающееся в результате не совсем точного совпадения скорости глаза и цели.

Степень отклонения проекции точки от центра фovea, иначе говоря точность слежения, составляет в среднем $5-6'$ и совпадает с точностью статической фиксации (Глезер, 1959).

Если скорость цели больше $5-6'/с$, прослеживающие движения выделяются из фиксационного дрейфа. Указанное значение составляет нижнюю границу скорости прослеживающих движений глаз. По данным А. Л. Ярбуса (1965), при слежении начиная со скорости $10-15'/с$ неупорядоченный дрейф становится практически незаметным.

Верхняя граница скорости глазного прослеживания различна в зависимости от критерия, который кладется в основу ее определения. Длительное непрерывное прослеживание возможно при скоростях, не превышающих $30-40^\circ/с$ (Dodge et al., 1934; Westheimer, 1954; Ярбус, 1965). Если одновременно с глазами движется голова, то верхняя граница поднимается до $60^\circ/с$. При этом величина позиционного рассогласования глаза и цели не превышает 1° (Sampson et al., 1960). В течение коротких отрезков времени и соответственно на коротких участках глаз может проследить цель со скоростью $100-200^\circ/с$. Однако для этого траектория цели должна быть достаточно протяженной, чтобы глаз успел подстроиться под скорость и положение цели (Crawford, 1960; Ярбус, 1965). Наконец, максимальные скорости, которые может развивать глаз, достигают $400-500^\circ/с$. Это происходит во время скачка; если объект движется с той же скоростью и в том же направлении, то на очень короткое время глаз стабилизируется относительно объекта и в этот момент может его отчетливо увидеть (Ярбус, 1965).

Если неподвижная точка, находящаяся в поле зрения, начинает двигаться неожиданно для наблюдателя, то в первый момент глаза отстают от нее, затем с запаздыванием на $150-300$ мс (в среднем 200 мс) совершают поправочный скачок на цель. Иногда установка глаз на цели достигается за несколько скачков (Westheimer, 1954; Crawford, 1960). Вместе со скачками возникают плавные движения, переходящие в собственно прослеживание. Они также начинаются с запаздыва-

нием в среднем на 150 мс. Переходный период, в течение которого скорость плавных движений, вначале незначительная, достигает скорости объекта, по данным различных авторов, колеблется от 100 до 400 мс (Rashbass, 1961; Лаурингсон, Щедровицкий, 1966). Моменты возникновения плавного движения и скачка не связаны жестко. Первое может начаться раньше, быть прервано скачком и затем продолжиться с той же скоростью. С другой стороны, плавное движение часто начинается только после окончания установочного скачка. Несвязанность во времени начал плавного и саккадического движений явилась одним из оснований для предположения о независимости соответствующих механизмов (Rashbass, 1961).

При неожиданном исчезновении объекта глаза продолжают двигаться по экстраполируемой траектории в течение 200—300 мс, затем постепенно останавливаются (А. Р. Шахнович, В. Р. Шахнович, 1964). Если просить наблюдателя продолжать прослеживание внезапно остановившейся или исчезнувшей цели, то плавные движения уступают место скачкам (Хомская, 1962; Lévy-Schoen, 1965).

Слежение за объектом может осуществляться в любом направлении. Однако по данным, полученным в нашей лаборатории В. В. Любимовым¹, в случае асимметрии фиксационных дрейфов небезразлично, в каком именно из двух горизонтальных направлений движется объект. Если направления объекта и произвольного дрейфа совпадают, то на более длинных участках скорость плавных движений оказывается близкой к цели и поправочные скачки возникают реже. Если направления дрейфов ФН и объекта противоположны, то скорость следящих движений систематически ниже требуемой: произвольный фиксационный дрейф как бы тормозит активные прослеживающие движения. Соответственно поправочные скачки наступают чаще. Описанный факт был подвергнут статистической обработке, результаты которой представлены на рис. 5. Обращают на себя внимание сдвиги графиков относительно нуля в сторону, совпадающую с направлением дрейфов ФН.

¹ См.: Любимов В. В. О произвольных компонентах следящих движений глаз. — В сб.: Новое в психологии, вып. 2. М., Изд-во МГУ, 1977.

Прослеживание вертикально движущейся цели изучалось О. Батей. Он зарегистрировал вертикальные плавные движения, перемежающиеся вертикальными

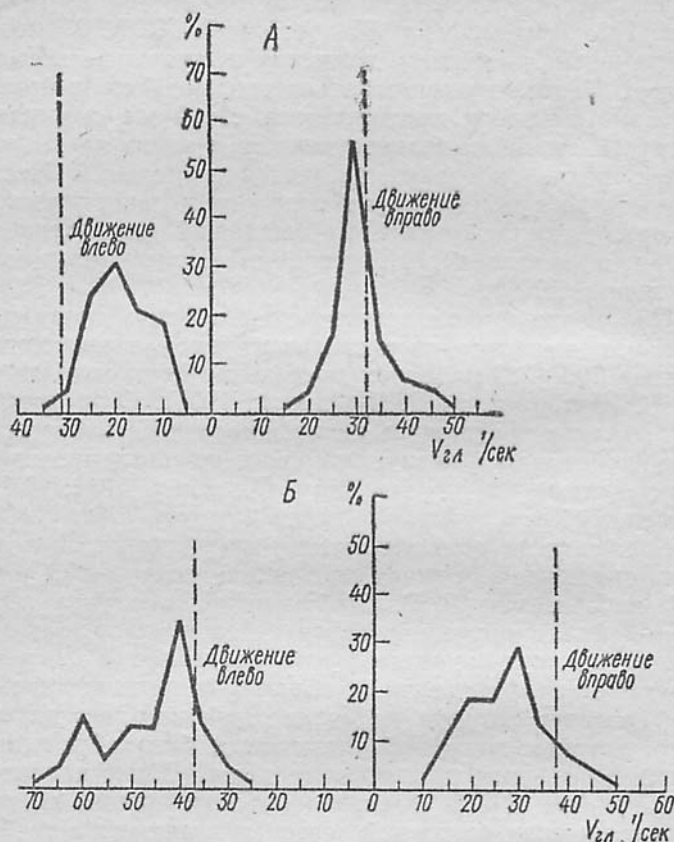


Рис. 5. Кривые распределения скорости плавных движений глаз при слежении за целью на гомогенном фоне: А — «правосторонняя» испытуемая (Р. А.); Б — «левосторонняя» испытуемая (Л. Т.). Вертикальные штриховые линии указывают скорость цели. Надписи — направление ее движения

саккадами (Bhatia, 1957). Цель, движущаяся по окружности, также может быть плавно прослежена, если время полуоборота не меньше 1 секунды. При частоте 1,25 Гц следящие движения полностью нарушаются (Lévy-Schoen, 1969).

Глаза при изменении скорости прослеживаемого объекта меняют свою скорость либо плавно, либо дискретно. А. И. Лаурингсон и Л. П. Щедровицкий (1965) зарегистрировали участки равноускоренных движений глаз при равноускоренном движении цели. Резкое изменение скорости движения глаз всегда связано с компенсирующим скачком и происходит сразу после его окончания (Ярбус, 1965). Время задержки дискретных подстроек скорости глаза составляет в среднем 150 мс (Alpern, 1962).

В ряде работ рассматривалось глазное слежение при движении цели по сложным траекториям. Возвратно-поступательные движения, дающие на временной развертке правильную синусоиду, интересны тем, что, с одной стороны, при них постоянно меняются скорость и направление движения, с другой стороны, эти изменения регулярны и, следовательно, предсказуемы. В этих условиях через короткий промежуток времени глаза подстраиваются под движение цели и начинают вместе с ней плавно менять скорость и направление, хотя время от времени наблюдаются также поправочные скачки. Хорошее согласование движений глаз и цели возможно, однако в небольших частотных пределах, когда колебания цели не превышают 1—1,5 Гц (Sunnderhauf, 1960; Хомская, 1962; Lévy-Schoen, 1965). На этой частоте фазовый сдвиг составляет всего 10° , а на более низких частотах — 5° (Sunnderhauf, 1960). При возрастании частоты амплитуда колебаний глаз становится меньше амплитуды цели, а вслед за этим нарушается их частота (Fender, Nye, 1961; Хомская, 1962).

Если цель движется так, что на временной развертке получается не синусоидальная, а периодическая прямоугольная форма, то глаза переходят от плавного слежения к скачкам со статическими фиксациями в крайних позициях. При этом латентный период скачков уменьшается с каждым периодом цели, а спустя 4—5 периодов глаза движутся синхронно с целью или даже опережая ее (Dallos, Johns, 1963).

При непредсказуемых колебательных движениях цели запаздывание глаз по фазе достигает 90° (Stark et al., 1962); так же резко снижается точность отработки глазом скорости цели. Если цель движется в трехмерном пространстве, то на согласованные прослеживающие движения глаз накладываются движения кон-

вергенции и дивергенции, механизмы которых, по мнению некоторых авторов, независимы (Rashbass, Westheimer, 1961).

При периодически повторяющемся движении цели в одну сторону возникают характерные движения глаз, называемые *оптокинетическим нистагмом (ОКН)*. Традиционным объектом для исследования ОКН служат вертикальные черно-белые полосы, движущиеся в горизонтальном направлении. ОКН состоит из медленных фаз, в течение которых осуществляется собственно прослеживание, и возвратных скачков в исходную позицию.

В нашей лаборатории в опытах В. Я. Романова² было показано, что при *двигательной* инструкции: «проследить полосы от одного края экрана до другого» и *зрительной* инструкции: «смотреть на движущиеся полосы так, чтобы они все время воспринимались отчетливо», ОКН различается по ряду параметров. В первом случае медленные фазы ОКН имеют регулярную амплитуду; по их ходу совершаются поправочные скачки; началу каждой из них предшествуют своеобразные «зубцы», в которых дискретно увеличивается скорость медленных фаз вплоть до скорости полос (рис. 6,А). Во втором случае амплитуда медленных фаз короче и менее регулярна, поправочные скачки и настроечные «зубцы» в медленных фазах отсутствуют (рис. 6,Б).

В контексте данной главы нас интересует ОКН при двигательной задаче, или «двигательный ОКН». Если исключить «зубцы», которые, как выяснилось позже, связаны с ожиданием удобного момента для начала прослеживания и «сдергиваниями» глаз появляющимися в этот период на экране границами контрастов, то в остальном плавные фазы «двигательного ОКН» практически ничем не отличаются от прослеживания равномерно движущейся цели. Они имеют тот же предел скорости, до которого возможно точное прослеживание, т. е. порядка $20-30^\circ/\text{с}$ (Ter-Braak, 1936; Rademaker, Ter-Braak, 1948; А. Р. Шахнович, В. Р. Шахнович, 1964); характеризуются той же точностью, содержат поправочные скачки, случающиеся примерно с той же частотой, и т. п.

При изучении ОКН были получены факты, касаю-

² См.: Романов В. Я. Фиксационный оптокинетический нистагм как метод исследования уровней работы зрительной системы. Дипломная работа. М., 1967.

шие влияния на глазное прослеживание размеров движущегося объекта. В частности, при помещении испытуемого внутрь вращающегося барабана с вертикальными черно-белыми полосами создавались условия, когда движущийся объект занимает все поле зрения. Оказалось, что в этих условиях прослеживающие движения возникают с неизбежностью, даже если задача прослеживания не ставится; более того, усилия испытуемого затормозить их оканчиваются неудачей. Обсуждая эти движения, Тер-Браак предположил, что здесь мы имеем дело с низкоуровневой, субкортикальной формой нистагма (Ter-Braak, 1936). Позднее его точка зрения получила подтверждение в

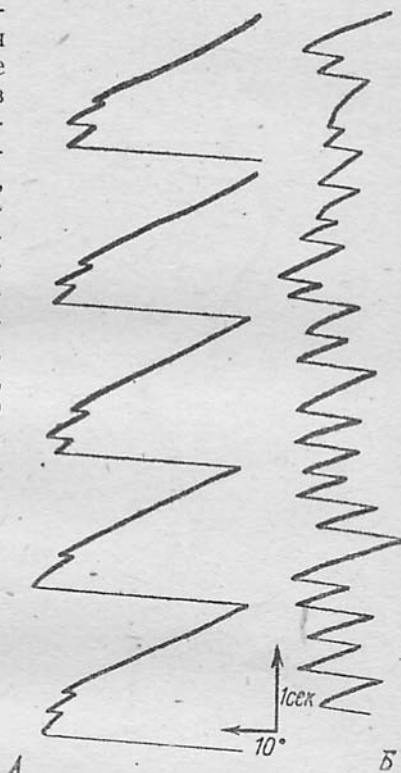


Рис. 6. Оптикинетический нистагм при двух различных инструкциях:

А — «проследить движущиеся полосы от одного края экрана до другого»; Б — «смотреть на движущиеся полосы так, чтобы они воспринимались отчетливо»

острых опытах на обезьянах: в случае двустороннего удаления полушарий мозга нистагм при движении всего поля зрения сохранялся и даже приобретал более регулярный характер (Pasik et al., 1959; Handerson, Crosby, 1959; Davson, 1963).

Еще один способ введения глаз в режим произвольного прослеживания путем предъявления большой части движущегося поля описан А. Л. Ярбусом (1965). Автор помещал на глаз испытуемого присоску с зеркальцем, повернутым так, что испытуемый мог видеть окружающее только через зеркальце. При этом движения глаз вызывали смещение видимых изображений в

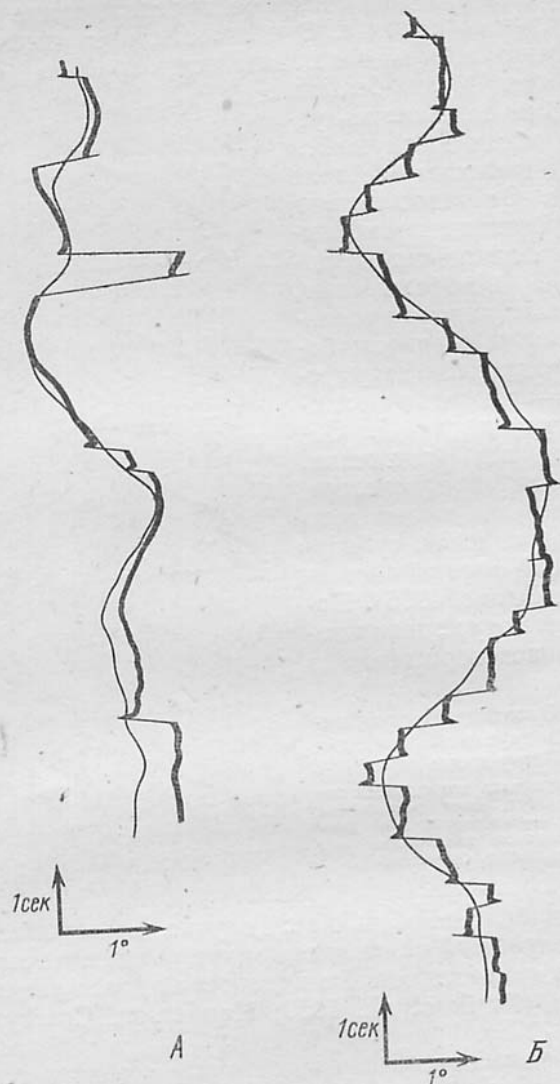


Рис. 7. Записи движений глаз при слежении за целью, совершающей непредсказуемые возвратно-поступательные движения по горизонтали (исп. Л. Т.):

А — на гомогенном фоне; Б — на гетерогенном фоне

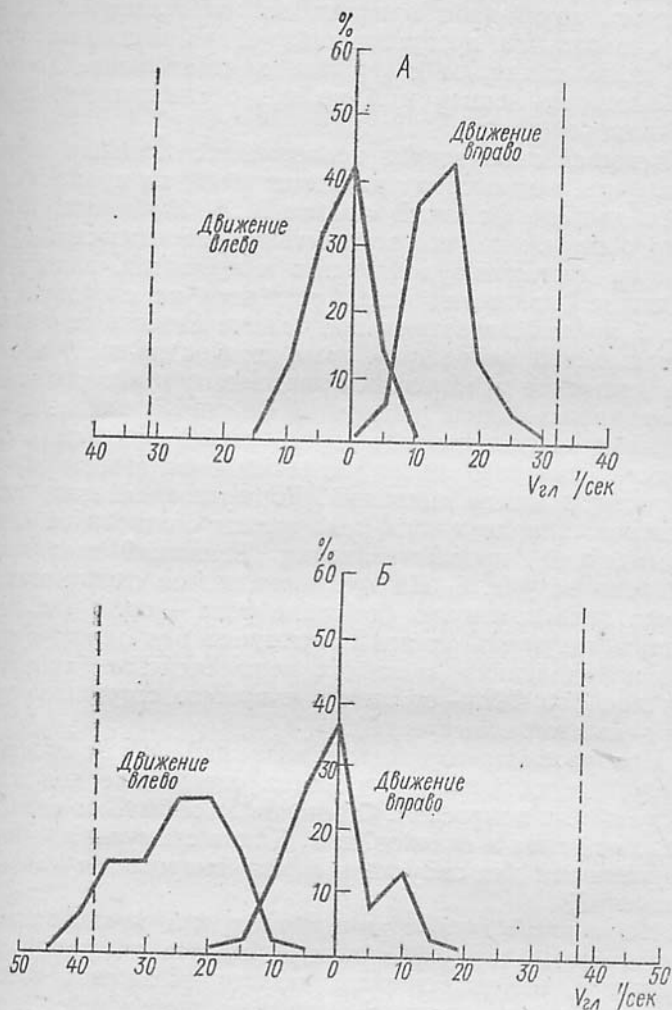


Рис. 8. Кривые распределения скорости плавных движений при слежении за целью, движущейся на гетерогенном неподвижном фоне:

А — «правосторонняя» испытуемая (Р. А.); Б — «левосторонняя» испытуемая (Л. Т.).

Вертикальные штриховые линии указывают скорость цели, надписи — направление ее движения

непривычную сторону. Если испытуемый старался рассмотреть какой-либо предмет, то включалась система произвольного прослеживания. Дело кончалось тем, что глаза начинали совершать колебательные движения, которые испытуемый не мог остановить, пока не прекращался опыт.

В нашей лаборатории исследовалось влияние характера фона, по которому движется цель, на прослеживающие движения глаз. В опытах В. В. Любимова (1973) было обнаружено, что гетерогенный неподвижный фон, если он достаточно контрастен и протяжен, влияет на следящие движения глаз, замедляя их скорость. На рис. 7 приведены записи при задаче следить за целью, совершающей непредсказуемые возвратно-поступательные движения в условиях гомогенного и гетерогенного неподвижных фонов (последний был представлен неподвижными вертикальными черно-белыми полосами). На записях отчетливо видно уменьшение во втором случае скорости плавных движений. Тормозное действие гетерогенного неподвижного фона вместе с описанной выше асимметрией прослеживающих движений глаз представлено на рис. 8. На графиках видны сдвиги максимумов кривых к нулю (действие фона — ср. с рис. 5) и несимметричность сдвига максимумов при левом и правом направлениях движения цели (действие асимметрии дрейфов ФН — ср. левую и правую стороны графиков у каждой испытуемой).

При рассмотрении *механизмов следящих движений* в литературе обычно обсуждаются следующие два взаимосвязанных вопроса: 1. Одинаков ли механизм плавных движений глаз и скачков? и 2. Какие стимулы являются адекватными для запуска и функционирования плавных движений?

На первый вопрос существуют два противоположных ответа. Согласно одному, плавные движения возникают в результате непрерывного погашения глазом минимальных отклонений проекции движущейся точки от центра фовеа, которое осуществляется тем же механизмом, что и макроскачки. Так, например, Лейдер считает, что плавные движения состоят из огромного числа маленьких скачков. Чередования скачков и остановок имеют такую высокую частоту, что они регистрируются как слитное движение (по Kestenbaum, 1961). В качестве аргумента в пользу такого взгляда А. Кес-

тенбаум приводит так называемые зубчатые движения глаз у детей до трехмесячного возраста, наблюдаемые при сопровождении глазом плавно движущегося объекта. Этот тип движений предшествует возникновению плавных движений, что дает Кестенбауму основание рассматривать его как переходный от макроскачков к плавному слежению.

Вторая точка зрения состоит в том, что глаз при прослеживании работает не по принципу компенсации уже возникших отклонений, а как бы предупреждает их путем воспроизведения скорости объекта. Согласно этому представлению погашение отклонений проекции точки от центра фовеа, происшедшее в результате непредсказуемого движения объекта, осуществляется при помощи скачков, а для обеспечения плавных движений существует самостоятельный механизм, в основе которого лежит оценка скорости и направления движения объекта. В пользу этой точки зрения, которой, кстати, придерживаются большинство авторов (Bhatia, 1960; Rashbass, 1961; А. Р. Шахнович, В. Р. Шахнович, 1964; Ярбус, 1965; Лаурингсон, Щедровицкий, 1965; Кропман, 1966), говорят экспериментальные данные и факты из области патологии.

В качестве дополнительного аргумента в пользу различия механизмов скачков и плавных движений К. Рэшбасс указывает на независимые флуктуации времени скачка и плавного движения, имевшие место в его опытах, а также на избирательное действие различных медикаментов на скачки и плавные движения, полагая, что в основе этих механизмов лежат различные нервные субстраты.

В клинике локальных поражений мозга, так же как и для случая статистической фиксации, выделены различные глазодвигательные центры для плавных и скачкообразных движений. При поражении лобных областей (8 поле) нарушаются произвольные скачки и сохраняются следящие движения (Бехтерев, 1907; Holmes, Norrах, 1919; Хорошко, 1921; Kleist, 1934; Foerster, 1936; Бинг, Брюкнер, 1959; Хомская, 1963). При поражении заднего глазодвигательного центра, напротив, наблюдается нарушение оптически вызываемых плавных движений (Бехтерев, 1907; Holmes, Norrах, 1919, 1936; Foerster, 1936). Мнение о функциональной автономии лобных и затылочных глазодвигательных центров под-

крепляется данными морфологии о отдельных проекционных путях от передних и задних глазодвигательных центров к окуломоторным ядрам (Poliak, 1932).

Вопрос о том, что является стимулом, адекватным для запуска следящих движений, был предметом специального исследования в экспериментах К. Рэшбасса (Rashbass, 1961). С помощью остроумной методики он показал, что плавные движения глаз вызываются самим фактом движения объекта, а не нарастающим рас-согласованием положения объекта и центра фовеа.

Суммируя сказанное, можно следующим образом представить себе работу системы прослеживания. Динамическая фиксация обеспечивается работой двух различных механизмов: плавных движений и скачков. Плавные движения возникают на основе оценки направления и скорости смещения проекции объекта на сетчатке; данные направление и скорость (или ускорение) поддерживаются до тех пор, пока не наступит рассогласование между движением глаз и объекта. Отклонение проекции объекта от центра фовеа в начале движения объекта или накопившееся за время несогласованного движения объекта и глаз компенсируется скачком глаз. Если во время слежения объект меняет направление или скорость, новые характеристики его движения оцениваются и воспроизводятся системой плавных движений через стандартное время реакции (150 мс).

§ 1.3.

ЗАДАЧИ ПЕРЕВОДА ВЗОРА ИЛИ НАВЕДЕНИЯ ГЛАЗ НА ОБЪЕКТ

Если человеку предлагается перевести взгляд в заданную точку, то он решает эту задачу с помощью скачка. При поиске, чтении, рассматривании сложных объектов скачки обеспечивают перемещение фовеального зрения. В зрительных задачах они практически не осознаются. Так, отойдя от картины, которую рассматривали в течение некоторого времени, мы не можем сказать, сколько скачков произвел наш глаз, какова была амплитуда каждого скачка, в каких именно точках объекта завершился каждый скачок, какова была общая траектория движений глаз и т. п. Осознавалась картина и ее детали, а не движения глаз. Однако при

специальной двигательной задаче скачки осознаются и контролируются значительно лучше.

Рассмотрим основные характеристики скачков, производимых в условиях двигательной задачи: их амплитуду, скорость, длительность, точность, латентный период. Охарактеризуем также возможность произвольного управления каждым из этих параметров.

Амплитуда скачков в контексте двигательной задачи определяется локализацией точки, в которую, согласно инструкции, должен быть переведен взор. Минимальная амплитуда произвольных скачков, по данным А. Л. Ярбуса (1965), соизмерима с величиной произвольных скачков при фиксации. Максимальная амплитуда скачков достигает 60° . При больших амплитудах скачки, как правило, сопровождаются поворотом головы, если нет специальной инструкции, запрещающей это движение. При отстоянии точки более чем на $15-20^\circ$ более типичны повороты глаз, состоящие из двух и более скачков. Промежуточные фиксации между ними длятся в среднем $0,174 \pm 0,002$ с (Гуревич, 1971). Субъектом эти фиксации в составе сложного поворота не осознаются.

Продолжительность и скорость скачков исследовались многими авторами (Dodge, Cline, 1901; Tinker, 1947; Westheimer, 1954; Mackensen, 1958; Bartz, 1962; White et al., 1962; Robinson, 1964). Было установлено, что эти параметры определяются амплитудой скачка (углом поворота глаз) и не зависят ни от его направления, ни от положения глаз перед скачком, ни от субъективной установки наблюдателя на замедление или ускорение скачка. Зависимость продолжительности скачка от его амплитуды выражается эмпирической

формулой: $T = 0,021 \alpha_0^{\frac{2}{5}}$ (Ярбус, 1965), где T — продолжительность скачка в секундах, α_0 — амплитуда скачка в градусах.

Таким образом, продолжительность скачка изменяется сотыми долями секунды: от $0,01-0,02$ с для минимальных скачков до $0,07$ с для скачков порядка 20° . В процессе скачка скорость глаз постепенно нарастает, примерно в средней части достигает максимума и затем плавно убывает. Максимальная скорость глаз при амплитуде скачка 5° достигает $200^\circ/\text{с}$, при амплитуде $20^\circ - 450^\circ/\text{с}$. Скорость глаз при скачке не поддается произвольному управлению. Инструкция произвести

скачок быстрее лишь укорачивает длительность промежуточных фиксаций, если они имели место, скорость же скачков остается прежней (Ярбус, 1956; Гуревич, 1971). Большие скорости и малые продолжительности скачков создают благоприятные условия для зрения: на скачки приходится около 5% времени, остальные 95% времени глаз находится в состоянии фиксации.

Латентный период скачка глаз — время, проходящее с момента появления сигнала, на который должен быть переведен взор, до начала скачка, — колеблется в пределах от 150 до 300 мс и в среднем составляет 200—250 мс. Индивидуальные различия латентных периодов довольно велики (Hackman, 1940; Bartz, 1962). Средний латентный период у двух испытуемых может отличаться на 50 мс (White et al., 1962). Лезевр (Lesevre, 1964, 1967) показал, что скачки вправо и вверх в среднем на 40 мс совершаются быстрее, чем влево и вниз. Латентный период скачка зависит также от степени периферичности сигнала: чем менее периферичен сигнал, тем меньше латентный период (Bartz, 1962; White et al., 1962; Гиппенрейтер, 1964). По данным Уайта и др. (White et al., 1962), латентный период скачка на стимул, расположенный в 10° от точки фиксации, в среднем составляет 245 мс, а на стимул, расположенный в 40° от точки фиксации, — 285 мс.

За время, соответствующее латентному периоду, в нервных центрах завершается формирование команд о направлении, амплитуде и соответственно скорости скачка. Скачок имеет баллистический характер: начавшись, он не может изменить направление или амплитуду. Если в момент начала скачка или за некоторое время до его начала (в пределах 50 мс) изменить положение сигнала, то глаз все равно совершает скачок на прежнее место сигнала, а затем с обычным латентным периодом производит второй скачок на новое место (Bartlett et al., 1961).

Точность зрительно афферентируемых скачков имеет порядок 4,5—6 угл. мин (Лаурингсон, Щедровицкий, 1965). В ряде случаев основной скачок сопровождается маленьким поправочным скачком, но и тогда амплитуда первого скачка отклоняется от заданной не более чем на 18—30 угл. мин (те же авторы). Если глаза совершают скачок в темноте — на место исчезнувшего сигнала или на заданный, предварительно заученный

угол, то в этих случаях скачок афферентируется сигналами, приходящими из самой глазодвигательной системы: либо проприоцептивным, либо иннервационным образом движения. В этих случаях точность скачка становится существенно ниже и характеризуется величиной порядка 1° (Вергилес и др., 1966).

Вопрос о возможности произвольного управления микроскачками глаз представляет специальный интерес в связи с проблемой «собственных двигательных шумов» глаз (см. ниже § 1.5—1.6). Впервые он был поставлен А. Ландольтом. Ландольт считал, что, уменьшая угловые расстояния между объектами, можно найти предел, дальше которого произвольные движения глаз невозможны. Автор предлагал испытуемым считать равномерно расположенные вертикальные штрихи, постепенно удаляя их от глаз испытуемых. Расстояние, начиная с которого испытуемые не могли считать штрихи, хотя и хорошо их различали, он считал показателем наименьшей возможной амплитуды произвольных движений глаз. Однако А. Ландольт не производил регистрации движений глаз, и его предположение долгое время оставалось непроверенным (Landolt, 1891).

Выше мы приводили точку зрения А. Л. Ярбуса, что наименьшая амплитуда произвольных скачков глаз соизмерима с амплитудой непроизвольных скачков при фиксации. Автор приводит результаты своих экспериментов, в которых он предлагал испытуемым поочередно фиксировать пару точек, находившихся на расстоянии 8 угл. мин. Скачки регистрировались не во всех случаях. Часто решение задачи проходило, по словам автора, лишь в форме «движения внимания». Внешнее поведение глаз при этом совпадало с тем, которое наблюдается при фиксации одной неподвижной точки.

Нами были повторены эксперименты А. Л. Ярбуса. Задачей опытов было выяснить, при каком минимальном расстоянии между точками будет происходить объективное изменение позиций глаза, связанное с поочередной субъективной фиксацией точек. Набор расстояний между точками был расширен от наименьших до наибольших значений непроизвольных фиксационных скачков, т. е. от 2 до 20 угл. мин³.

³ Две угловые минуты между центрами точек были практически минимально возможным расстоянием, так как сами точки имели диаметр порядка одной угловой минуты.

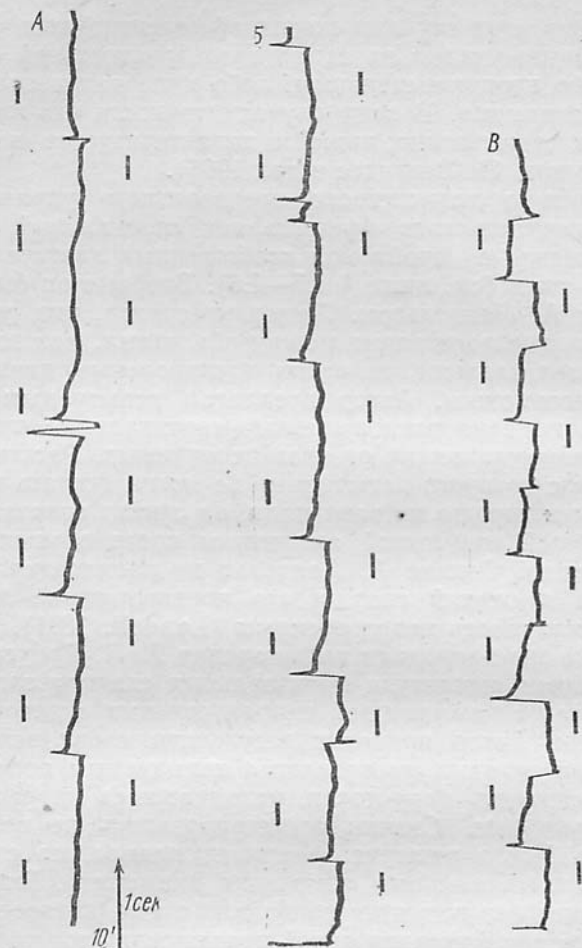


Рис. 9. Движения глаз при предъявлении пары точек и инструкции «переводить взгляд с точки на точку»: А — расстояние между точками 2'; Б — расстояние между точками 5'; В — расстояние между точками 8'.

По обеим сторонам записей — отметки испытуемой о переводе взгляда в соответствующую сторону. Испытуемая «правосторонняя» (М. М.)

Испытуемому предлагалось переводить взгляд с одной точки на другую и при каждом переводе нажимать на кнопку световой отметки.

На рис. 9 приведены записи движений глаз, полученные при отстоянии центров точек на 2, 5 и 8 угл. мин.

Обращает на себя внимание несимметричность переходного процесса при переводе взгляда на правую и на левую точки, отстоящие на $2'$ (рис. 9, А): на правую точку глаз переходит, как правило, плавным движением, на левую — чаще скачком. Такие различия сохраняются, хотя и не во всех случаях, при расстоянии $5'$ (рис. 9, Б); наконец, они практически исчезают при расстоянии $8'$: здесь перевод взгляда в обе стороны сопровождается скачком (рис. 9, В).

Мы предположили, что описанная несимметричность перевода взгляда связана с асимметрией фиксационного нистагма (см. § 1.1). Данная испытуемая была «правосторонней», т. е. у нее преобладало «правое» направление фиксационных дрейфов. Для проверки этого предположения та же задача была предложена «левосторонней» испытуемой. Записи показали, что у этой испытуемой дрейфы и скачки поменялись местами: в зоне минимальных расстояний между точками при переводе взгляда влево наблюдались преимущественно дрейфы, при переводе взгляда вправо — скачки.

На рис. 10 приведены индивидуальные графики процентов случаев, в которых у «право-» и «левосторонней» испытуемых (соответственно А и Б) перевод взгляда сопровождался скачком. Графики показывают, что, во-первых, описанная асимметрия в способе перевода взгляда подтверждается статистически; во-вторых, в направлении, противоположном дрейфам ФН, скачки имеют место в значительном проценте случаев (50 и 70%) даже при самом минимальном расстоянии между точками; в-третьих, что в том же, противоположном, направлении скачки происходят в 100% случаев, начиная с расстояния $6-8'$, а в направлении, совпадающем с дрейфами ФН, — начиная с расстояния $12'$.

На записях рис. 9 обращают на себя внимание еще два факта. Первый состоит в том, что амплитуда скачков в направлении, противоположном дрейфам ФН, существенно превосходит расстояние между точками. В противоположную же сторону (по ходу дрейфов ФН) завышения амплитуды скачков не наблюдаются. К сожалению, мы не можем пока объяснить этот факт и вынуждены ограничиться его констатацией. Вторым фактом является закономерно больший наклон (т. е. латеральная скорость) дрейфов при фиксации левой точки по сравнению с правой. Второй факт, по-видимо-

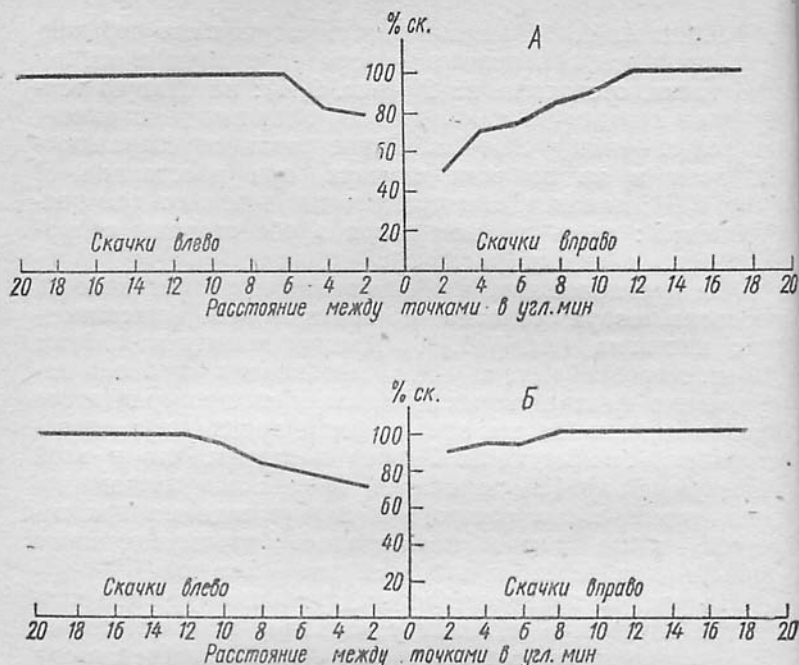


Рис. 10. Количество скачков при переводе взора с точки на точку в зависимости от расстояния между точками.

А — «правосторонняя» испытуемая (М. М.); Б — «левосторонняя» испытуемая (Л. Т.)

му, связан с первым: избыточная амплитуда скачка приводит к «перелету» взора через точку, в результате чего возникает необходимость в коррекции его положения. Эта коррекция осуществляется в режиме дрейфа по направлению, совпадающему с естественными дрейфами ФН у данной испытуемой. В противоположную сторону ошибки скачка нет, поэтому нет необходимости в коррекции.

Л. Старк высказал мнение, противоположное традиционному взгляду на роль фиксационных дрейфов и скачков. Обычно считается, что дрейфы «сносят» глаз с фиксируемой точки, а микроскачки корректируют его положение. По мнению Л. Старка, имеет место прямо противоположное отношение: скачки «выбивают» глаз с исходной позиции, а дрейфы возвращают его в заданное положение (Stark, 1971).

Мы не имеем пока оснований столь решительно сменить точку зрения, имеющую целый ряд фактических обоснований. Однако должны заметить, что описанные опыты отчетливо показали способность фиксационных дрейфов производить коррекцию положения взора, по крайней мере, если величина этой коррекции имеет порядок нескольких угловых минут и по направлению совпадает с направлением дрейфов ФН.

Подводя итоги, можно сказать, что и в диапазоне произвольных микродвижений возможно произвольное управление движением глаз. При этом минимальная величина произвольных движений приближается к значениям разрешающей способности остроты зрения (1—2'). Менее произвольной в этом диапазоне является форма движения глаз: субъективно скачкообразному переводу взора объективно может соответствовать плавный дрейф.

§ 1.4.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛАЗНОГО СЛЕЖЕНИЯ ЗА РАБОЧЕЙ ТОЧКОЙ РУКИ

В деятельности человека часто встречаются ситуации, когда приходится осуществлять одновременно два движения. Наиболее типичный пример — это работа двумя руками. Легко представить случаи, когда движение одной руки затрудняет одновременное движение другой и, наоборот, когда две руки взаимно дополняют друг друга в решении общей задачи, как это имеет место при осязании предметов и почти при всех трудовых операциях (см., например, Ананьев и др., 1959).

Не менее типичным, хотя и гораздо менее изученным, является одновременное осуществление движений руки и глаз. Могут ли глаз и рука вступать в те же отношения, например затруднять или облегчать движения друг друга, делить между собой двигательные функции, объединяться в решении общей задачи?

Заметим, что именно подход к глазу как к двигательному органу дает возможность поставить все эти вопросы.

Одним из типичных случаев совместных движений глаз и руки является слежение за движущейся рабочей точкой руки. Как организуются в этом случае движения глаз? Испытывают ли они влияние со стороны движения руки?

Ответить на эти вопросы можно было путем изучения эффективности и свойств глазного слежения за рабочей точкой руки и сопоставления его со слежением за внешней целью (Буякас, Гиппенрейтер, 1973).

Общая схема наших экспериментов состояла в следующем. Испытуемому предлагалось движением рукоятки вызвать смещение световой цели на экране и одновременно проследить глазами за целью. Рукоятка и цель были жестко связаны между собой, и испытуемый предварительно осваивал метрику их связи.

Ввиду освоенной связи рукоятки с целью всю техническую систему можно было рассматривать как своеобразное орудие, «надставляющее» руку испытуемого, а зрительную цель — как «рабочую точку» руки, вынесенную на конец этого орудия.

Очевидно, что в условиях наших экспериментов глазодвигательная система испытуемых могла получать информацию о движении цели из двух источников: *внешнего*, зрительного, и *внутреннего*, двигательного. Двигательный источник, в свою очередь, был представлен сигналами двух различных типов: эффекторными командами к руке и проприоцептивными сигналами обратной связи от ее движений.

Таким образом, общая задача исследования могла быть конкретизирована в следующих частных вопросах: 1. Вносят ли сигналы из «двигательного» источника вклад в организацию следящих движений глаз и если вносят, то каким сигналам принадлежит ведущая роль: эффекторным или проприоцептивным? 2. Как строятся следящие движения глаз при отсутствии зрительной информации, т. е. на основе только двигательных (либо эффекторных, либо проприоцептивных) сигналов от руки?

Уже в ходе исследования мы встретили сходную постановку некоторых из перечисленных вопросов в работах Стейнбаха и Хелда (Steinbach, Held, 1968; Steinbach, 1969). Сравнивая качество глазного слежения за целью, активно перемещаемой самим испытуемым, и за целью, приводимой в движение извне, эти авторы обна-

ружили, что в первом случае слежение лучше по ряду параметров: глазом воспроизводятся большие частоты (до 2 Гц по сравнению с 1—1,5 Гц в первом случае), уменьшается количество саккад в единицу времени, сокращается время запаздывания глаза за целью (30 мс по сравнению с 150—200 мс). Перемещения же зрительной цели пассивными движениями испытуемых таких улучшений не дали. На основании этих фактов авторы делают вывод о том, что двигательная система глаз, по-видимому, использует информацию, заключенную в эффекторных командах к движению руки.

Наши опыты отличало большее разнообразие методических вариантов, что позволило исследовать влияние на следящие движения глаз сигналов всех трех типов: зрительных, эффекторных и проприоцептивных — как при изолированном действии каждого из них, так и при различных их сочетаниях. Это достигалось изменением «режимов» работы испытуемого.

В первом режиме испытуемый производил активное движение рукояткой и следил за смещаемой зрительной целью. Очевидно, что этот режим содержал смешанный тип афферентации: в нем существовали одновременно зрительный (вид цели на экране), эффекторный (активные команды к движению руки) и проприоцептивный (сигналы обратной связи от движения руки) источники сигналов о движении цели.

Во втором режиме устранялась зрительная информация путем отключения световой цели. Как и в первом режиме, испытуемый должен был рукояткой приводить в движение цель на экране, которая, однако, отсутствовала. Ему предлагалось следить глазами за «целью», как если бы она оставалась на экране. Эта инструкция имела смысл для испытуемых потому, что ей всегда предшествовали пробы первого режима.

В третьем режиме были исключены эффекторные команды при сохранении зрительной и проприоцептивной афферентации. Достигалось это тем, что рукоятку, задающую движение цели, перемещал экспериментатор; испытуемый же пассивно держался за нее.

В четвертом режиме оставалась одна проприоцепция руки: испытуемый держался за рукоятку, перемещаемую экспериментатором; зрительная цель на экране отсутствовала.

В пятом режиме оставался, наоборот, один зрительный источник: испытуемый снимал руку с рукоятки и следил за целью, приводимой в движение экспериментатором.

Изолировать с помощью какого-либо методического приема эффекторные команды мы не могли, поскольку любое активное движение сопровождается проприоцептивной импульсацией. Однако вклад этого источника информации можно было определить с помощью обработки — путем вычитания эффекта проприоцептивных сигналов (четвертый режим) из суммарного эффекта проприоцептивных и эффекторных сигналов (второй режим).

В опытах использовались простые и сложные формы движения сигнала (и соответственно глаз). Первые обеспечивались инструкцией «сдвиньте рукоятку вправо в любой момент времени с произвольной скоростью и амплитудой» (I форма), вторые — инструкцией «совершайте любые возвратно-поступательные движения рукояткой с произвольной скоростью и амплитудой» (II форма). Как уже говорилось, во всех опытах давалась дополнительная инструкция «следить глазами за целью».

Эксперименты проводились на установке, позволявшей регистрировать одновременно движение цели (рукоятки) и горизонтальную составляющую движений глаз.

Таблица 1—2
РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ПАРАМЕТРА t_d ГЛАЗ ДЛЯ ВСЕХ РЕЖИМОВ

№ режима	Вид информации, доступной в данном режиме	Форма движения цели	Математическое ожидание t_d глаза (мс), «—» отставание глаз от цели, «+» опережение цели	Область дисперсии (мс)
1	Зрительные сигналы + эффекторные команды к руке + проприоцептивные сигналы руки	II I	— 25 +100	25÷(—50) 250÷25
2	Эффекторные команды к руке + проприоцептивные сигналы руки	I	+100	250÷0
3	Зрительные сигналы + проприоцептивные сигналы руки	II	—150	—(125÷175)
4	Проприоцептивные сигналы руки	I	—300	—(159÷500)
5	Зрительные сигналы	I II	—175 —150	—(125÷200) —(125÷175)

При анализе результатов учитывались показатели временного и пространственного соответствия движений глаз и цели. В табл. 1—2 приведены средние значения времени запаздывания глаз относительно цели (t_d глаза), а также области дисперсии для каждого режима. На рис. 11 даны образцы записей движения

цели и глаз в разных режимах при одноактном движении руки (простая форма движения цели) и на рис. 12 — то же при сложном движении руки.

Первый факт, который позволяют констатировать полученные результаты, состоит в том, что глазное слежение за активно управляемой целью является более совершенным, чем слежение за целью, приводимой в движение извне. Это выражается в опережающих движениях глаз (в ср. на 100 мс при одиночном скачке) или в сокращении их запаздывания (в ср. на 25 мс при непрерывном прослеживании), в улучшении координатной привязки глаз к цели, в более качественной отработке глазом скорости цели.

Перечисленные особенности видны на записях, относящихся к первому режиму, а также при сравнении записей в первом и пятом режимах (см. рис. 11 и 12).

Описанный факт свидетельствует о заметном вкладе сигналов из «двигательного» источника в организацию глазного прослеживания. Развести при этом роль эффекторной и проприоцептивной информации позволяет сравнение результатов прослеживания в первом и третьем режимах (см. те же рисунки). На записях видно, что в третьем режиме, где отсутствовали команды к активным движениям руки при сохранении зрительных и проприоцептивных сигналов, исчезают опережающие движения глаз. Их латентный период оказывается таким же, как и в пятом режиме, где функционирует один зрительный источник (в среднем 150 мс). При выключении же зрительной цели и сохранении одной проприоцептивной информации (четвертый режим) время запаздывания глаз становится еще большим (в среднем 300 мс).

Таким образом, можно заключить, что проприоцептивные сигналы не участвуют в построении следящих движений глаз. По-видимому, они приходят для этого слишком поздно. Движение руки облегчает решение глазодвигательной задачи только за счет активных, эффекторных сигналов.

Можно думать, что моторные импульсы посылаются к мышцам руки и глаз одновременно из некоторого общего координационного центра. Тем не менее ведущую роль следует признать за иннервацией руки: именно она определяет момент, направление, скорость и амплитуду смещения цели, которую «отслеживает» глаз.

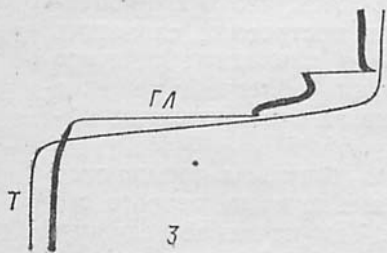
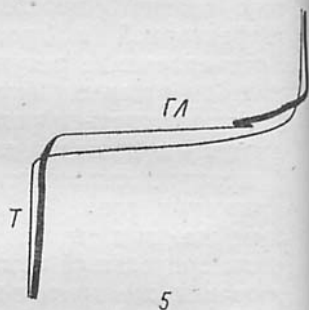
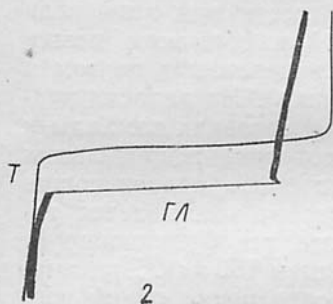
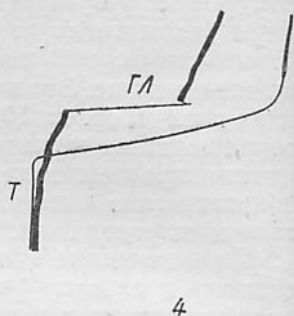
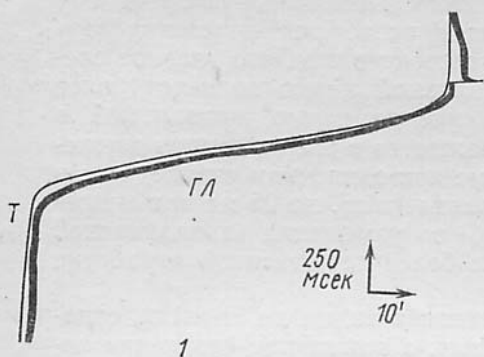


Рис. 11. Глазное слежение (ГЛ) за точкой (Т) при сдвиге ее вправо — простая форма движения. Цифрами обозначены режимы работы

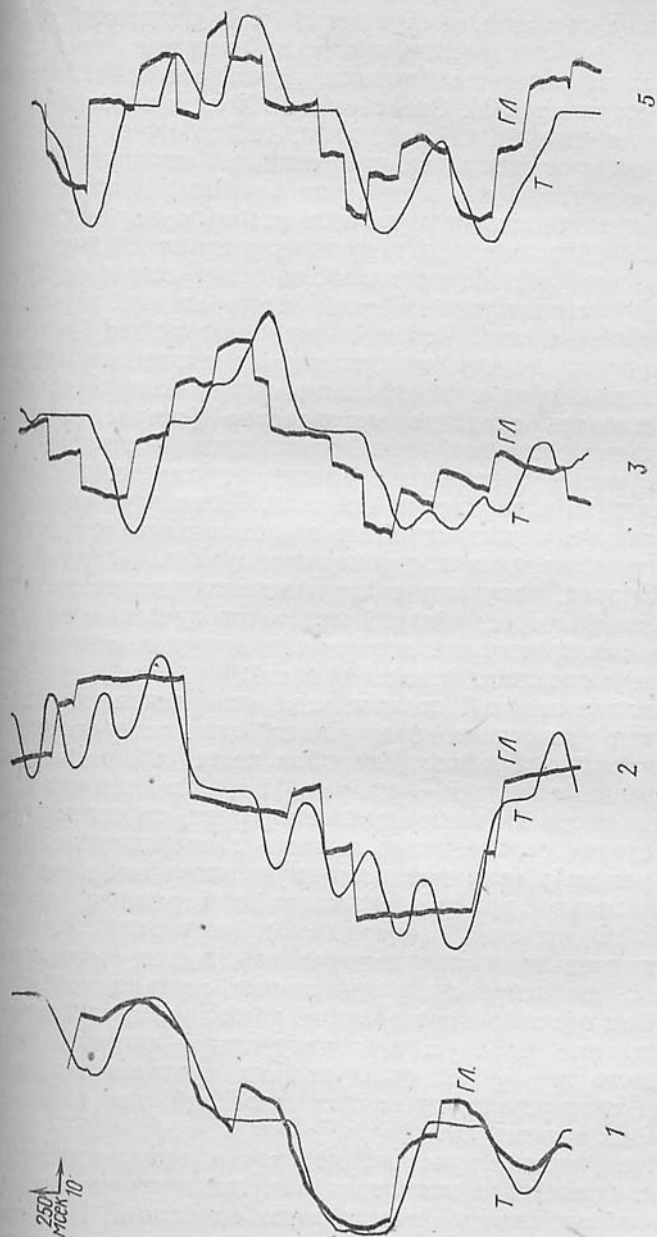


Рис. 12. Глазное слежение (ГЛ) за точкой (Т) — сложная форма движения.
Цифрами обозначены режимы работы

Поэтому команды, поступающие к двигательной системе глаз, можно считать неким дубликатом или копией ручных эффекторных команд. Такой же точки зрения придерживаются М. Стейнбах и Р. Хелд в цитированных выше работах (Steinbach, Held, 1968; Steinbach, 1969).

Нужно отметить важное свойство глазных эффекторных копий. Дело в том, что линейные движения руки могут приводить к любым угловым перемещениям ее рабочей точки, особенно если рука надставлена механическим или более сложным техническим орудием. Угловым смещениям рабочей точки отвечают угловые перемещения глаз. Чтобы слежение за целью было эффективным, между моторными командами-копиями к движениям глаз и их ручными «оригиналами» должны существовать сложные метрические (скоростные, амплитудные) перешифровки, отвечающие объективно существующим отношениям между параметрами движущейся руки и рабочей точки-цели. Такие перешифровки, несомненно, отлаживаются в процессе овладения и оперирования орудием под контролем зрения.

Наконец, полученные данные позволяют ответить на последний вопрос: в какой мере одни двигательные сигналы, без зрительной стимуляции, могут обеспечить построение следящих движений глаз?

Анализ записей показывает, что исключение зрительного источника превращает плавное прослеживание в скачкообразное (второй и четвертый режимы по сравнению с первым — см. рис. 11 и 12). Если при этом имеют место активные движения руки, то скачки глаз происходят своевременно и даже с опережением (второй режим); если движения руки пассивны и поставляют только проприоцептивную информацию, скачки глаз существенно запаздывают (четвертый режим). Следовательно, и при наличии помощи со стороны активных движений руки зрительные сигналы необходимы. Они обеспечивают плавный компонент глазного прослеживания, плавную отработку глазом скорости цели. На долю же эффекторных команд приходится организация своевременного начала движений глаз и, может быть, их амплитуды.

Итак, глаз и рука действительно могут вступать в непосредственные отношения как двигательные органы, т. е. образовывать *двигательную синергию*. Под последней, как известно, понимается временное объедине-

ние ряда согласованно работающих мышц, являющихся, вообще говоря, независимыми (Гельфанд и др., 1970). Основу синергии глаз—рука составляет одновременная посылка моторных команд к мышечным системам руки и глаз, причем оба ряда импульсов могут накладываться в сложных метрических соотношениях.

Нетрудно понять высокую целесообразность описанной двигательной синергии между рукой и глазом. Синхронное движение глаз и рабочей точки руки является идеальным условием для зрительного контроля за рабочими действиями руки. Другой вопрос: всегда ли необходим такой «неотступный» зрительный контроль? В действительности, как мы увидим ниже (см. гл. III), формы совместных движений глаз и руки очень разнообразны. Но если необходимость в строгом слежении возникает, оно всегда может быть обеспечено за счет описанной синергии.

Нужно заметить, что координация движений глаз и руки в данной задаче не ограничивалась двигательным каналом. Последний обеспечивал согласование движений глаз и руки по времени, направлению и амплитуде. Окончательно же акт глазного слежения оформлялся за счет зрительных сигналов от движущейся цели. Как показали опыты, эти сигналы необходимы для появления плавного компонента движений глаз, для отработки глазом скорости цели. В последнем факте проявилась специфика глаза, отличающая его от других двигательных систем. Это — *самоафферентирующийся* двигательный орган, для организации качественных движений которого необходима зрительная информация, воспринимаемая им же самим.

§ 1.5.

«СОБСТВЕННЫЕ ДВИГАТЕЛЬНЫЕ ШУМЫ» ГЛАЗ

Выше (см. § 1.3) были описаны результаты наших опытов, которые показали, что произвольные движения глаз могут быть соизмеримы с произвольными микродвижениями, т. е. иметь амплитуду порядка нес-

кольких угловых минут. Это, в свою очередь, позволило поставить следующий вопрос: могут ли произвольные движения оказать сбивающее действие на произвольные движения, т. е. выступить в роли «собственных двигательных шумов» глаз?

Для ответа на этот вопрос была выбрана задача, содержащая потенциальную возможность «столкновения» обоих видов движений глаз, — задача по организации малоамплитудных движений в зоне произвольных фиксационных движений глаз.

В предварительных экспериментах (Гиппенрейтер, 1964) мы воспроизвели процедуру опытов А. Ландольта (1891), уже описанную выше: испытуемому предъявлялись объекты, состоящие из однородных вертикальных черных штрихов, с инструкцией сосчитать их по одному.

В опытах применялись два варианта таких объектов. В первом варианте расстояние между центрами соседних штрихов составляло 35', во втором оно было уменьшено почти в четыре раза и равнялось 9'. С целью уравнивания объектов по параметру остроты зрения просвет между штрихами в обоих вариантах был одинаковым, равным 4,5'.

В предварительных пробах определялась степень точности выполнения задания с обоими вариантами объектов. Оказалось, что при подсчете частых штрихов ошибки возникают в 10 раз чаще, чем при подсчете редких штрихов.

Регистрация движений глаз показала, что затруднения и ошибки совпадают с нарушениями упорядоченного хода движений глаз. На записях наблюдались дрейфы и мелкие скачки, не приуроченные к переводу взора на следующий штрих; были видны пропуски, возвраты назад, нарушения ритма движений. Таким образом, результаты записей как будто подтверждали предположение о том, что произвольные микродвижения глаз могут отрицательно повлиять на ход решения задачи.

Вместе с тем они показали, что не всякое отклонение глаз от упорядоченного движения приводит к зрительной ошибке. Так, на записях можно было видеть, что не все быстрые скачки, совершавшиеся во время фиксации, «сбивали» глаз со штриха: некоторые из них заканчивались возвратом глаза точно в исходное положение. Имелись также факты, свидетельствовавшие о

полезной роли некоторых микродвижений. Например, движение глаз по штрихам могло происходить в форме не только отдельных скачков, но и в форме активного дрейфа.

Таким образом, анализ записей показал невозможность в условиях описанной задачи точно разделить «полезные» и «вредные» микродвижения глаз, так как отдельные их виды могли выступать и как средство выполнения зрительной задачи, и как помеха к этому выполнению. Ввиду этого обозначалась необходимость более жесткого параллельного учета внешней — двигательной и внутренней — зрительной сторон процесса решения задач.

В основных экспериментах зрительный счет был заменен более простыми задачами: фиксацией неподвижной точки и прослеживанием линий.

В опытах с фиксацией испытуемый помещался перед однородным точечным объектом с задачей длительно фиксировать одну из точек⁴. Обычно задаваемая точка находилась в центральной области объекта. В руках у испытуемого имела кнопку, соединенная с «маркирующим» осветителем и электромиллисекундомером. Осветитель помещался сзади полупрозрачного экрана-объекта, и включение его приводило к высвечиванию задаваемой точки. Нажимая на кнопку, испытуемый включал осветитель и тем самым «указывал» себе точку, которую он должен был фиксировать. При отпускании кнопки выключался осветитель и включался электромиллисекундомер, который начинал отсчитывать время фиксации с того момента, когда точка становилась неотличимой от окружающих. Согласно инструкции, испытуемый должен был фиксировать указанную точку до тех пор, пока не потеряет ее или не утратит уверенность в том, что фиксирует именно ее. Потеряв точку, он должен был нажать на кнопку: при этом загорался осветитель, обозначая заданную точку, и останавливался секундомер. По высвеченной точке испытуемый определял направление и величину смещения взора, причем «шкалой отсчета» служили точки, непосредственно окружающие заданную. Таким образом, в описываемых опытах отдельные элементы однородного множественного объекта выступали и как объекты зрительного действия, и как помехи, и как шкала отсчета ошибок.

Опыты проводились в условиях меняющейся плотности объекта⁵. Изменение плотности достигалось изменением расстояния между объектом и испытуемым. Всего в опытах применялись четыре

⁴ Фактически это были круги малого углового размера (объектом служил материал в «мелкий горошек»).

⁵ Под плотностью однородного множественного объекта мы понимаем расстояние между центрами его соседних элементов.

градации плотности: 10, 20, 40 и 60' (объект представлялся соответственно с расстояний 2; 1; 1,5; 0,3 м). Общий размер объекта при всех расстояниях сохранялся постоянным: диаметр 12°.

В опытах с прослеживанием линий использовался однородный штриховой объект с горизонтальным (или вертикальным) расположением штрихов. Методика в основном была та же, что и в опытах с фиксацией. Испытуемому ставилась задача проследить указанный ему штрих в направлении слева направо (или снизу вверх). Окончив прослеживание, он нажимом на кнопку высвечивал маркирующую метку, расположенную в конце указанной линии. Одновременно с зажиганием метки останавливался миллисекундомер, запущенный испытуемым в момент начала прослеживания. По высвеченной метке испытуемый определял или факт безошибочного прослеживания, или величину и направление смещения взгляда: на одну, две, три... линии вверх, вниз (или вправо, влево). Как и в опытах с фиксацией, переменным было расстояние между испытуемым и объектом. Исследовались градации плотности: 7, 10, 20, 40 и 60'. Размер всего объекта оставался постоянным на всех дистанциях: $20^\circ \times 15^\circ$.

Часть опытов с фиксацией и прослеживанием сопровождалась регистрацией движений глаз. В случае фиксации точки велась регистрация горизонтальной составляющей на движущейся фотопленке; в случае прослеживания линий обе составляющие записывались на неподвижной фотобумаге. Наблюдение осуществлялось монокулярно, регистрировались движения открытого глаза.

В опытах участвовали 8 испытуемых. С большинством из них было проведено по несколько сеансов в разные дни. В течение одного опыта предъявлялись объекты всех четырех значений плотности. На каждое значение делалось по 8—10 проб (фиксаций или прослеживаний). Опыты начинались с объектов самой большой плотности и кончались наименьшей.

В опытах с фиксацией главный результат состоял в том, что спустя некоторое время после начала фиксации испытуемые, как правило, сбивались с заданной точки (исключение составили пробы при плотности объекта 60').

Время, предшествующее ошибке фиксации, менялось в зависимости от плотности объекта. Оно было наименьшим при плотности 10' (5—10 с), возрастало с увеличением плотности (при 40' — порядка 35 с) и было практически бесконечно большим при плотности 60'.

Наиболее частой ошибкой у всех испытуемых было смещение на соседнюю точку, хотя при плотности 10' случались отклонения на 2, 3 и даже 4 точки. При разных плотностях наиболее типичное смещение взгляда на одну точку означало разную величину ошибки фиксации: соответственно 10, 20 и 40'.

В отношении направлений смещения взгляда испытуемые дали разные результаты. У двух испытуемых обна-

ружилось преобладающее направление ошибок: соответственно вниз и влево вверх; у остальных такого преобладающего направления не было.

Рассмотрим записи движений глаз, полученные в ходе этих опытов.

На рис. 13, А, Б представлены записи, относящиеся соответственно к случаям безошибочной фиксации и к фиксации с ошибкой на две точки вправо (плотность объекта для случая данной записи составляла 7').

Анализ записей показывает, что глаз во время фиксации находится в непрерывном движении, при котором отчетливо выделяются дрейфы и скачки. Эти два вида движений обеспечивают удержание глаза в области 14' (оказалось, что размер этой области не зависит от плотности объекта). Поскольку плотность объекта составляла 7', то колебания глаз заводили зрительную ось на соседние точки примерно на половину их диаметра. В записи на рис. 13, Б можно видеть причину возникновения ошибки: она связана с дрейфующим «сползанием» глаза, которое не было в достаточной мере выправлено скачками.

Важно отметить, что направление и величина ошибки фиксации по данным регистрации движений глаз и по самоотчету испытуемых совпадали. Так, если после высвечивания маркирующей точки испытуемый указывал, что его взор сместился на одну точку влево от заданной, то на записи глаз оказывался по своему по-

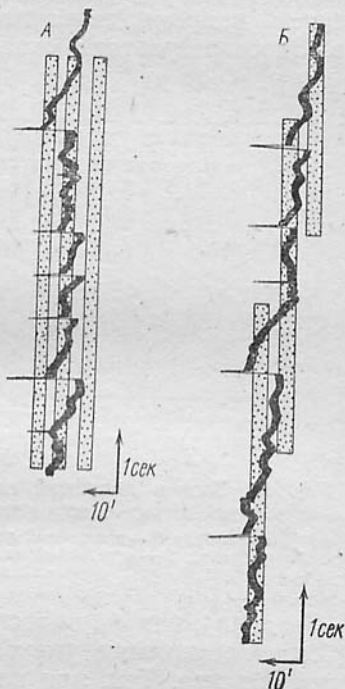


Рис. 13. Записи движений глаз при фиксации отдельного элемента точечного объекта:

А — безошибочная фиксация; Б — фиксация с ошибкой на две точки вправо. Вертикальные столбики соответствуют фиксируемой и ближайшим к ней точкам

ложению сдвинутым в ту же сторону и на то же расстояние.

В опытах с прослеживанием показателями служили точность и время, затрачиваемое на одно прослеживание. Здесь результаты оказались следующими.

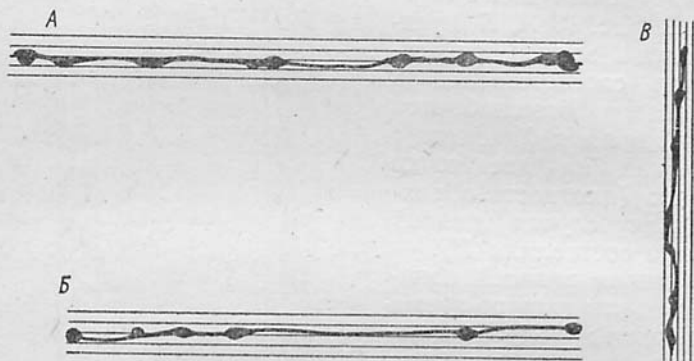


Рис. 14. Записи движений глаз при задаче проследить отдельный штрих однородного множественного объекта:

А — без ошибки; Б — с ошибкой на один штрих вверх (прослеживание слева направо); В — с ошибкой на два штриха вверх (прослеживание снизу вверх)

Средняя ошибка прослеживания (смещение глаза на соседние штрихи) уменьшалась с уменьшением плотности объекта. Так, при плотности $10'$ средняя ошибка составляла $6,5'$, при плотности $20'$ — $2,2'$, при плотностях $40'$ и $60'$ ошибок не было ни у одного испытуемого.

Время прослеживания также менялось в зависимости от плотности штрихового объекта: при плотности $10'$ оно в среднем составляло 14 с, при плотности $60'$ — менее секунды. Преимущественного направления ошибки (вверх, вниз) здесь, как правило, не наблюдалось. Исключение составила одна испытуемая, у которой явно преобладали ошибки со смещениями вверх.

На рис. 14, А, Б, В приведены записи движений глаз при горизонтальном (А, Б) и вертикальном (В) прослеживании штрихов. Как видно из записей, несмотря на субъективное впечатление плавного прослеживания, глаз испытуемого двигался скачками с промежуточными остановками (фиксациями) — факт, уже описанный выше в § 1.3. Запись на рис. 14, А соответствует безошибочному прослеживанию; на рис. 14, Б, В — прослежи-

ванию с ошибкой соответственно на один штрих вверх и на два штриха вправо. Здесь, как и в случаях с фиксацией, показания испытуемых совпадали с величиной и направлением смещений глаз.

Характерной особенностью всех записей, содержащих ошибки прослеживания (в наших опытах более 50), является то обстоятельство, что смещение глаза с заданного штриха никогда не происходило в начале прослеживания, на протяжении его первых «шагов». Ошибка как бы накапливалась к концу работы.

Анализ записей показал далее, что длина прослеживающих «шагов» зависит от плотности объекта: при плотности 5' она составляла 1—2°; при плотности 10'—2—5°; при плотности 20' 7—10°.

Важным фактом, полученным в ходе описываемых опытов, явилось субъективное переживание испытуемыми одномоментности видения, или «схватывания», всей линии от начала до конца. Оно имело место в тех случаях, когда, по данным регистрации, прослеживание осуществлялось за 1—2 скачка.

Отметим два дополнительных факта, наблюдавших-ся как в опытах с фиксацией, так и в опытах с прослеживанием.

Первый относится к явлению «ложных тревог». В процессе работы испытуемый иногда терял уверенность в том, фиксирует ли он заданную точку (штрих) или «съехал» на другую точку («пришел» в конец соседнего штриха). Он высвечивал маркирующую метку и обнаруживал правильность фиксации (прослеживания). При плотностях 20' и 40' таких случаев было больше, так как при плотности 10' «чувство ошибки» или «неуверенности», как правило, сопровождалось реальной ошибкой.

Второй факт состоял в отмечавшемся всеми испытуемыми сильным сбивающем действии мигания. С контрольной целью в ходе опытов с фиксацией была произведена одновременная запись миганий (электроокулографическим методом) и сигналов о «потере» точки, даваемых испытуемым. Записи показали, что при плотности 10' ошибки происходили не только после каждого мигания, но и в промежутках между ними; при плотности 20' ошибки наступали преимущественно только после мигания и при плотности 40' не всякое мигание сопровождалось ошибкой.

Одним из основных результатов описанных экспериментов является установление закономерного эффекта возникновения ошибки — «потери» точки (штриха) при определенных плотностях объектов. Примененная в исследовании методика с использованием множественных объектов и световой маркировки, самоотчета испытуемых и регистрации движений глаз позволяет обсудить вопрос о *механизме ее возникновения*.

Наша предварительная гипотеза состояла в том, что в условиях работы с объектами большой плотности происходит интерференция активных движений глаз малой амплитуды с непроизвольными микродвижениями, при которой последние выступают в роли помех или «собственных двигательных шумов». Изложенные эксперименты позволяют уточнить и развить это представление.

Если причину возникновения ошибки видеть только в непроизвольных движениях глаз, то механизм потери заданной точки следовало бы представить себе так, что глаз в результате непроизвольного движения смещается на соседнюю точку и вследствие этого «принимает» ее за исходную. В случае правильности этого объяснения появление ошибки фиксации следовало бы ожидать каждый раз, как только зрительная ось попадала на соседнюю точку. Однако, обращаясь к записям на рис. 13, мы видим, что моментам потери точки предшествуют периоды безошибочной фиксации, в течение которых глаз не теряет заданную точку, несмотря на постоянно совершающиеся «заходы» на соседние точки.

Для обсуждения полученных фактов целесообразно использовать понятие *взора* как установки зрения, отличающейся от установки глаза. Если первая установка означает как бы внутреннюю функциональную направленность зрения (направление линии взора), то вторая — внешнее положение глаза (направление зрительной оси) относительно объекта. Можно привести случаи заметного расхождения линии взора и зрительной оси. Это бывает, например, при так называемом рассматривании объекта «краем глаза». В лабораторных условиях то же явление наблюдается при измерении

поля зрения, когда, фиксируя центральную точку, испытуемый должен давать отчет о появлении сигнала на периферии. В естественных условиях более часты случаи совпадения линии взора и зрительной оси (что является причиной их частого отождествления). Однако микроанализ позволяет увидеть, что и здесь всегда имеется некоторое рассогласование между взором, устойчиво направленным на фиксируемую точку, и зрительной осью, постоянно меняющей свое направление вследствие произвольных движений глаз. Интерпретировать это можно таким образом, что проекция «взора» на объекте имеет некоторую площадь. Взор проявляет «нечувствительность» к небольшим смещениям зрительной оси, лишь бы они не уводили ее полностью за пределы этой площади.

Другой важной характеристикой функционирования взора во времени является периодическое прерывание его. Оно вызывается, по крайней мере, двумя причинами: миганием и мелкими саккадическими движениями, сопровождающими фиксацию или перевод взора при прослеживании: известно, что во время скачка, а также за некоторое время до него происходит снижение зрительных функций и ухудшение восприятия (феномен «саккадического подавления») (Volkman, 1962; Zuber, Stark, 1966 и др.).

Возвращаясь к вопросу о причинах ошибки фиксации, можно предположить, что в результате очередного прерывания взора испытуемый «теряет» заданную точку, а при восстановлении зрения — направляет взор на другую, от нее неотличимую. Это сопровождается новой центрацией глаза. Одним из главных обстоятельств, свидетельствующих в пользу такого механизма, является описанный выше факт сбивающего действия мигания.

Ошибочные установки глаза на другую точку, происходящие вследствие мигания или скачка, можно объяснить, исходя из представления о глазе как следящей системе с двойной регуляцией: зрительной и проприоцептивной (Глезер, 1959; Гуревич, 1971). После прерыва взора, вызванного скачком или миганием, фиксационный механизм не может возобновить свое действие на основе зрительной афферентации: ввиду полной однородности объекта он не несет никакой зрительной информации о заданной точке. В результате

установка глаза осуществляется лишь на основе проприоцептивных сигналов от глазных мышц, сохраняющих «память» о положении глаза до перерыва. Ввиду недостаточной тонкости «мышечного чувства» установка взора на его основе может осуществиться лишь в пределах определенной зоны. В случае большой плотности объекта в этой зоне оказывается несколько точек, непосредственно окружающих заданную, и взор с равной вероятностью устанавливается на любой из них.

Таким образом, размер зоны, в пределах которой в наших опытах происходили ошибки фиксации, является величиной, характеризующей точность мышечного чувства глазодвигательного аппарата, участвующего в механизме фиксации. По аналогии с «зоной нечувствительности» сетчатки, характеризующей ее «моторное разрешение» (Глезер, 1959), мы имеем здесь другую «зону нечувствительности», характеризующую разрешающую способность проприоцепции глазных мышц. По данным наших опытов радиус этой зоны составляет 40'.

Сказанное в равной степени применимо к результатам опытов с прослеживанием штрихов при одном дополнительном замечании. Поскольку прослеживание осуществлялось рядом произвольных скачков с промежуточными фиксациями, то помимо описанных выше причин возникновения перерыва взора во время фиксации — миганий и произвольных скачков — здесь имела место еще одна, а именно: произвольные саккадические движения глаз. Напомним, что произвольные скачки при смене точек фиксации, как правило, сопровождаются небольшими дополнительными движениями, осуществляющими более точную установку глаз на новую точку (см. § 1.3). В условиях наших опытов такая «доводка» глаз после очередного макроскачка не могла осуществляться на основе зрительной информации опять-таки по причине отсутствия последней в однородном объекте, и прослеживание штриха могло производиться лишь в меру точности проприоцепции глазных мышц. Исключение составляли один или два первых скачка, в результате которых центр фовеа оказывался на достаточно близком расстоянии от метки, обозначающей заданный штрих, так что она еще могла афферентировать правильную установку глаз. Этим и объясняется отмеченное выше отсутствие ошибки в начале прослеживания.

Изложенное представление позволяет объяснить также и ряд других полученных фактов. В частности, учащение ошибок фиксации и прослеживания при увеличении плотности объектов объясняется возрастанием количества помех (соседних точек и штрихов) в зоне «проприоцептивной нечувствительности» и в связи с этим — увеличением вероятности смещения на них взора.

Отсутствие преимущественного направления ошибок у большинства испытуемых, по-видимому, указывает на случайный выбор точки (штриха) из той же зоны «нечувствительности». Преобладание же определенно направленных ошибок у отдельных испытуемых можно объяснить наличием у них тенденции к направленному пассивному смещению глаз: в результате такого смещения зона «выбора» точки (штриха) оказывается сдвинутой в соответствующем направлении.

Что касается ощущения ошибки, систематически возникавшего у наших испытуемых, то оно, по-видимому, являлось субъективным отражением самого факта перехода установочного механизма глаз со зрительной на менее точную, проприоцептивную, афферентацию. Именно поэтому испытуемые сообщали о подобном ощущении и в тех случаях, когда не было реальной ошибки (ситуация «ложных тревог»). С этих же позиций можно объяснить отсутствие сбивающего действия мигания (или скачка) в естественных условиях. Обычный зрительный объект никогда не представляет собой однородного поля, а всегда содержит большое количество характерных деталей, обеспечивающих надежное «восстановление» зрительной афферентации движений глаз. Вот почему в естественных условиях функциональные перерывы взора не только не нарушают процесса зрения, но, как правило, субъективно не замечаются.

Итак, произвольные микродвижения могут оказывать сбивающее действие на произвольные движения глаз и в этом смысле выступать в роли собственных двигательных шумов глаза. Однако действие это непосредственное; оно опосредствовано нарушением зрительной афферентации произвольных движений.

Функционирование зрительной системы характеризуется сложным взаимодействием ее зрительного и дви-

гательного компонентов. Движение глаз перемещает и устанавливает взор; зрение на основе сигналов от объекта обеспечивает точность движения или поддержание фиксации. Хорошо отлаженная, безошибочная работа кольца управления может быть нарушена созданием необычных условий. Одна из разновидностей таких условий — однородные множественные объекты. При фиксации точки произвольные скачки, как известно, совершаются в интересах коррекции положения глаз и «обновления» зрения (см. § 1.1). Однако в результате скачка временно прерывается поток зрительной стимуляции от фиксируемого объекта. Этот поток должен быть восстановлен, чтобы афферентировать продолжение фиксации. Обычно это обеспечивается благодаря «узнаванию» свойств и деталей фиксировавшегося объекта. Однако если этот объект окружен другими, от него неотличимыми, то зрительная система вынуждена прибегнуть к гораздо менее совершенному средству — памяти «мышечного чувства». Если в зоне проприоцептивной нечувствительности находится несколько одинаковых объектов, то возникает опасность принятия ложного сигнала-близнеца за истинный. Наряду с произвольными движениями источником ошибок служат мигания, а при активных перемещениях глаз по однородному объекту — сами произвольные движения.

Итак, причиной ошибок глазодвигательных действий в рассмотренных задачах является не столько «вхождение» произвольных движений глаз в зону произвольных микродвижений, сколько *попадание зрительно однородных деталей объекта в зону нечувствительности глазной мышечной проприоцепции.*

§ 1.6.

ГЛАЗ И РУКА. ВЗАИМНАЯ ПЕРЕДАЧА ФУНКЦИЙ

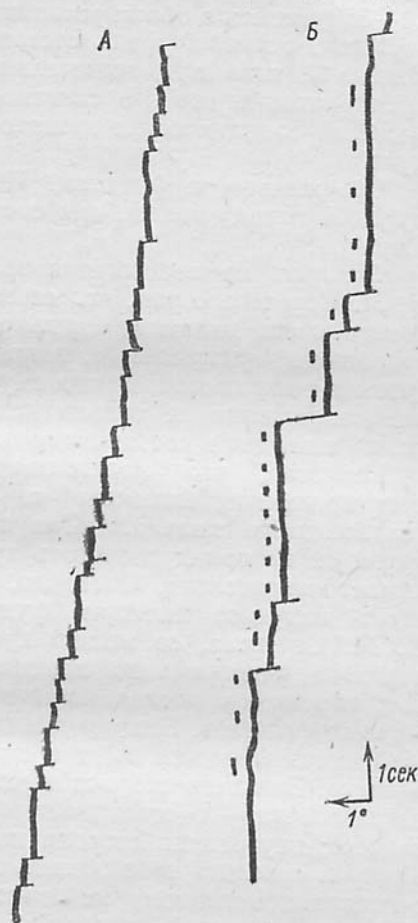
В этом параграфе мы снова возвращаемся к теме двигательного взаимодействия глаз и руки. На этот раз, однако, речь пойдет не о прямом согласовании дви-

жений обоих органов — согласовании, составляющем непосредственную цель для испытуемого (см. § 1.4), — а о более сложном и, на наш взгляд, более интересном феномене. Он был получен нами в задаче зрительного счета предметов (Гиппенрейтер и др., 1969); первоначально — при изменении экспериментальной процедуры — испытуемого просили не просто считать глазами вертикальные штрихи (см. § 1.5), а одновременно отмечать каждый штрих нажатием на кнопку.

Анализ записей показал, что включение руки, которое не имело, казалось бы, никакого отношения к счету глазами и служило лишь для двигательного отчета испытуемого, систематически приводило к заметному сокра-

Рис. 15. Записи движений глаз при счете вертикальных штрихов большой плотности:

А — одними глазами; Б — с одновременным нажатием рукой на кнопку (отметки слева)



щению скачков глаз. В результате вместо отдельных фиксаций, приходящихся по одной на каждый штрих, на записях появлялись укрупненные дрейфы, т. е. продолжительные фиксации, во время которых испытуемый сосчитывал по несколько штрихов (против таких фиксаций оказывалось по две, три и больше отметок руки) (рис. 15, А и Б).

Описанные изменения в движениях глаз наблюда-

лись только в опытах с объектами большой плотности (7—10'); при счете же редких штрихов (плотность 20—35') записи в обоих условиях были идентичны.

Итак, основной факт состоял в изменении способа движений глаз при включении в действие руки. Мы предположили, что это связано с частичной передачей функций саккадических движений глаз — движениями руки.

Что же это за функции? Почему они передавались руке? И почему только при счете часто расположенных штрихов?

Ответить на первый вопрос нам помогает мысль И. М. Сеченова о том, что естественной основой порядкового счета являются сигналы ритмичных мышечных сокращений (получаемые, например, при ходьбе). Выступая в роли своеобразного внутреннего метронома, такие сокращения не только подготавливают идею счета, но и входят в состав этого действия.

Известно, что маленький ребенок, осваивающий счет предметов, включает в этот процесс движения указательного пальца. При запрещении действовать рукой он не может сосчитать предметы, хотя и воспринимает их зрительно. Очевидно, что указательный жест несет какую-то важную функцию. Согласно идее И. М. Сеченова, ее можно представить как функцию перевода одновременно предъявленного ряда зрительных объектов в последовательный ряд дискретных мышечных сигналов. Это возможно потому, что указательный жест имеет как бы две стороны: внешнюю и внутреннюю. Внешняя сторона жеста — направление пальца на объект — обеспечивает оптическое выделение последнего; внутренняя сторона как бы обращена к организму и «вводит» этот объект в систему счета в форме сигналов к активному мышечному сокращению.

Когда взрослый человек считает предметы «глазами», то в роли указательных жестов руки выступают указательные движения глаз. «Внешняя» сторона этих движений состоит в направлении взгляда на очередной объект, «внутренняя» — в производстве дискретных мышечных сигналов. Такие сигналы формируются в результате скачков, производящих установку взгляда на объект, и «сообщают» о каждом следующем объекте.

Однако при счете штрихов большой плотности наряду с полезной функцией у скачков появляется также

«вредная» функция: каждый раз, прерывая взор, они оказываются потенциальным источником его ошибочной установки (более подробный анализ см. в предыдущем параграфе). В этих условиях зрительная система заинтересована в подавлении скачков. Однако это возможно лишь при условии, если их полезную функцию возьмет на себя другой двигательный орган. В наших опытах таким органом и оказывалась рука. Ритмичные сокращения пальца, нажимающего на кнопку, перенимали внутреннюю функцию движений глаз.

Итак, отвечая на второй вопрос, мы можем сказать, что функция скачков глаз частично передавалась руке потому, что сами скачки начинали выступать в роли помех. Возможность такой передачи обеспечивалась благодаря организации дополнительного канала моторных дискретных сигналов, своего рода «моторного дрейжа» через движения руки.

Как же осуществлялась сохранившаяся внешняя (указательная) функция движений глаз при менее дискретном способе их движения? Вполне возможно, что взор направлялся сразу на 3—4 штриха, а рука последовательно «вводила» их соответствующим числом нажатий. Возможно также, что взор (или зрительное внимание) переходил с одного штриха на другой, но из-за тенденции к подавлению скачков это движение принимало форму «активного дрейфа».

Говоря об активном дрейфе, мы должны заметить, что он иногда наблюдался при счете и без явного участия руки. Однако на основе рассмотренных фактов можно предположить, что в таких случаях активировалась какая-то внутренняя моторика. Дискретные идеомоторные акты могли осуществляться в двигательной системе головы, корпуса, артикуляционного аппарата.

Совсем легко ответить на последний вопрос: почему функция скачков не переходила к движениям руки при счете редких штрихов? Потому, что в этих условиях скачки не приобретали отрицательной роли и проблема их «вытеснения» и передачи их функции другому органу вообще не вставала.

В заключение этого параграфа мы хотим сделать два замечания общего характера.

Первое касается значения описанного феномена. Мысль И. М. Сеченова о том, что «рука учит глаз»,

стала убеждением не одного поколения психологов. Эта общая мысль имеет много аспектов. Главный из них касается передачи глазу как органу зрения гностического опыта руки как органа осязания. Совсем другой аспект представляет передача двигательного, практического опыта руки глазу, также выступающему как двигательный орган.

Изложенные результаты имеют отношение именно к этому второму аспекту. Наблюдавшийся нами частичный переход функций движений глаз к движениям руки можно интерпретировать как возврат функциональной системы счета к ее онтогенетическому прошлому. Мы видим в этом возврате одно из доказательств *природы и пути* формирования глазодвигательных действий.

Второе замечание совсем другого рода. Описанные опыты ощутимо показали, как экспериментальная процедура может вмешиваться в исследуемый процесс и существенно менять его. То, что было запланировано как деталь методики эксперимента (двигательный отчет испытуемого), вошло в способ действия испытуемого. В дальнейших исследованиях мы стали очень осторожно относиться «к двигательному отчету» с помощью руки, который мог внести существенные изменения в исследовавшиеся движения глаз.