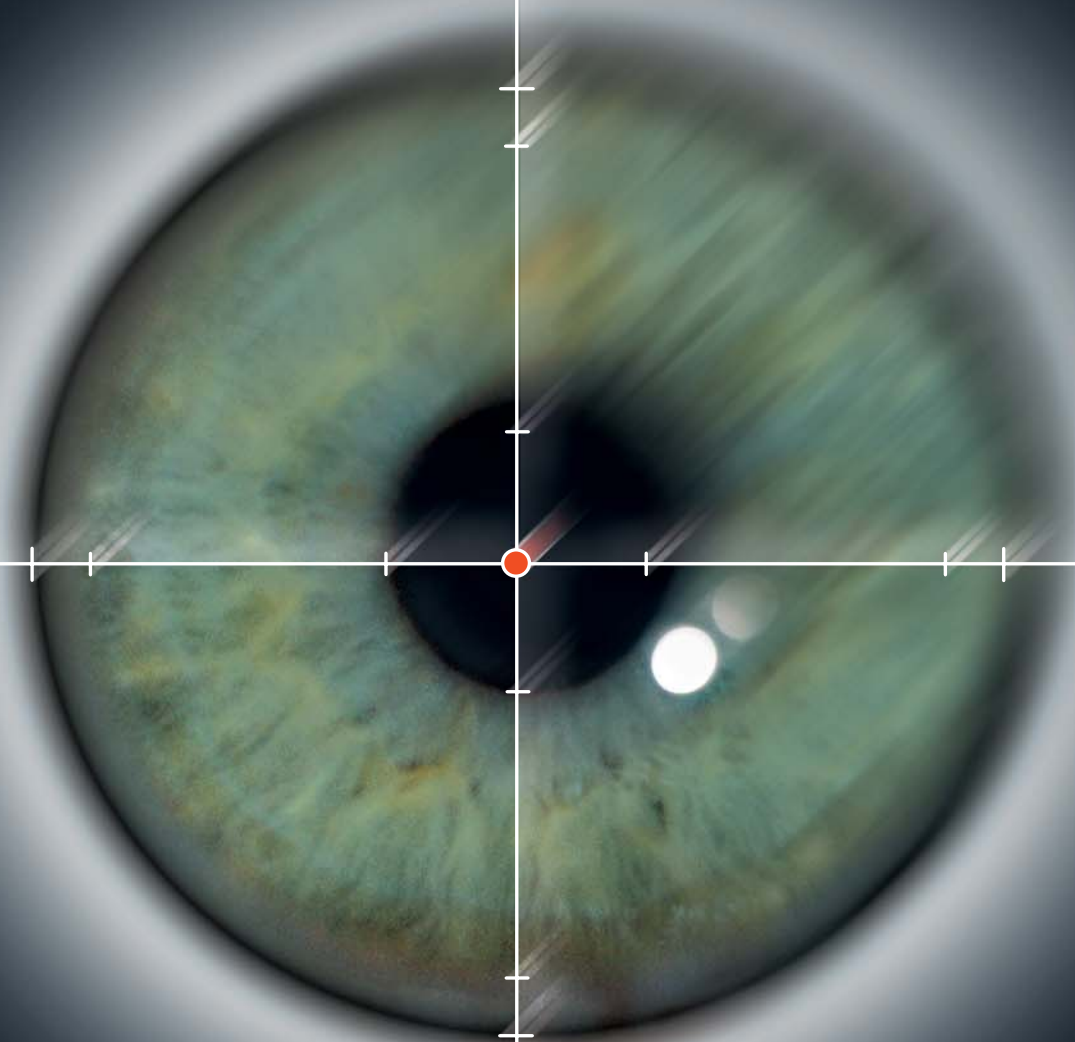


Сусана Мартинес-Конде и Стивен Мэкник



ОКНО В НАШИ МЫСЛИ

Бессознательные
подергивания глаз
способны многое
рассказать
о нашем зрении.
Эти движения
могут даже
выдавать
подсознательные
мысли человека

Когда мы читаем, наши глаза быстро перемещаются слева направо маленькими скачками, так что каждое следующее слово последовательно оказывается в фокусе. Немного понаблюдав за собой, мы сможем уловить частые сокращения глазных мышц.

Оказалось, что большие произвольные движения глаз, называемые саккадами, составляют лишь незначительную часть физической нагрузки, ложащейся на глазные мышцы. Глаза никогда не останавливаются, даже если нам кажется, что мы непрерывно смотрим на собеседника или на парусник у горизонта. Когда взор зафиксирован (на это состояние приходится 80% времени нашего бодрствования), глаза все равно продолжают незаметно подергиваться. Если бы нам удалось остановить их в момент фиксации взора, то статичная сцена просто перестала бы нами восприниматься.

Как ни странно, но ученые лишь недавно начали осознавать огромное значение так называемых фиксационных движений глаз. На протяжении полувека бушевали споры о том, какую роль играют самые большие из этих произвольных движений — микросаккады. Некоторые специалисты даже полагали, что они мешают видеть, делая воспринимаемую картину нечеткой. Однако результаты недавнего исследования, проведенного в лаборатории одного из авторов статьи (Мартинес-Конде) в Неврологическом институте Барроу в Финиксе, США, показали, что без миниатюрных движений глаз мы бы слепли при взгляде на неподвижные изображения.

Микросаккады помогают нейробиологам разгадать мозговой код, рождающий сознательное восприятие зрительного мира. В последние годы мы обнаружили примеры нейронной активности, коррелирующие с этими микродвижениями, которые, как мы полагаем, главным образом определяют, что зрительно воспринимается человеком. Более того, микросаккады могут стать окном в наши мысли. Такие смещения глаз вовсе не случайны: они указывают, на чем мы втайне фокусируем внимание (даже если взгляд направлен совсем в другую сторону), раскрывая тем самым наши скрытые мысли и желания.

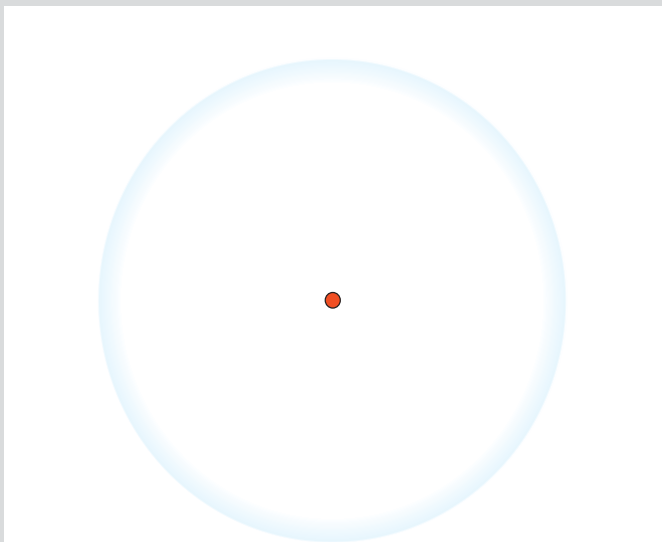
Утомленные однообразием

Важнейшим фактором, определяющим эволюцию нервной системы животных, была необходимость обнаруживать изменения в окружающей среде, поскольку такая способность обеспечивает выживание. Движение в поле зрения может сигнализировать о том, что приближается хищник или же уходит добыча, заставляя зрительные нейроны реагировать электрическими импульсами. Неподвижные объекты обычно не несут в себе никакой угрозы, поэтому мозг животных и их зрительная система изначально не предназначены для того, чтобы их замечать. Например, муха, сидящая неподвижно на стене, невидима для лягушки, как и другие статичные объекты. Но стоит мухе взлететь, как лягушка сразу же заметит и схватит ее.

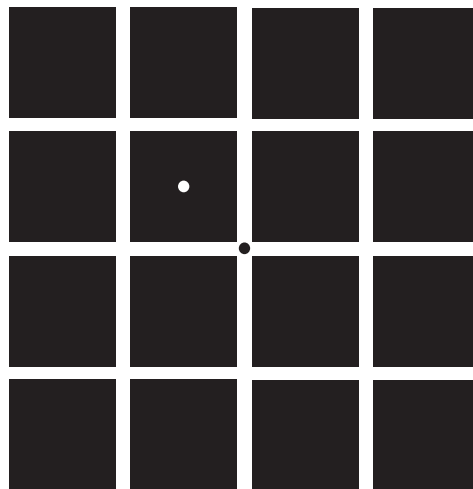
Лягушки не способны видеть неподвижные объекты, т.к. неизменный стимул ведет к адаптации ►

ВЫЯВЛЕНИЕ МИКРОДВИЖЕНИЙ ГЛАЗ

С помощью этих трех иллюзий вы сможете наблюдать различные зрительные эффекты фиксационных движений глаз, которые обычно остаются вне вашего сознания



ТЕСТ ТРОКСЛЕРА. В 1804 г. швейцарский философ Игнац Трокслер (Ignaz Paul Vital Troxler) обнаружил, что если сознательно фиксировать на чем-нибудь свой взгляд, то неподвижное окружение точки фиксации исчезает. Чтобы в этом убедиться, смотрите на красную точку и внимательно следите за бледно-голубым кольцом. Вскоре кольцо исчезнет, и вы будете видеть только точку на белом фоне. Переместите взгляд, и кольцо снова появится



ЗАМЕТИТЬ ДВИЖЕНИЯ ГЛАЗ. С помощью этого рисунка вы сможете «увидеть» фиксационные движения своих глаз. Смотрите на черную точку в центре изображения в течение минуты, затем посмотрите на белую точку внутри черного квадрата. Обратите внимание на то, что темный послеобраз белого перекреста находится в непрерывном движении. Это и есть фиксационные движения глаз

нейронов, при которой они постепенно перестают реагировать на объект. Адаптация нейронов экономит энергию, но одновременно и ограничивает сенсорное восприятие. Нейроны человека также адаптируются при неизменности стимула. Однако наша зрительная система намного лучше справляется с восприятием неподвижных объектов, т.к. глаза создают собственное движение. Фиксационные

движения перемещают всю зрительную сцену по сетчатке, заставляя зрительные нейроны постоянно работать, и противодействуют тем самым адаптации. Таким образом, они не позволяют неподвижным объектам становиться невидимыми.

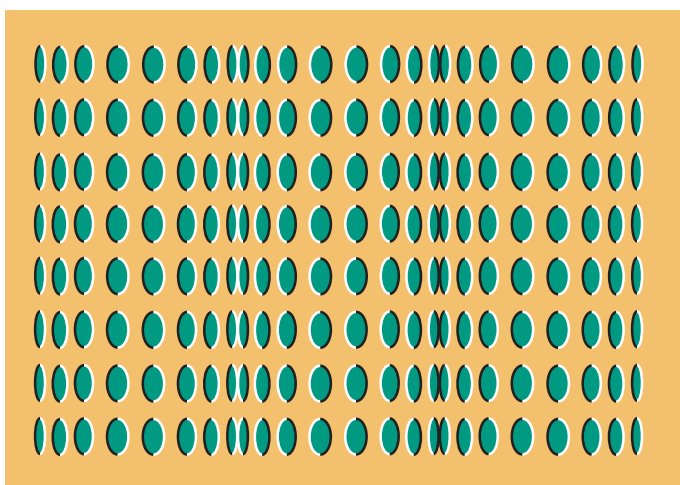
В 1804 г. швейцарский философ Игнац Трокслер (Ignaz Paul Vital Troxler) впервые описал феномен исчезновения, возникающий у че-

ловека при подавлении фиксационных движений глаз. Он отметил, что если сознательно удерживать на чем-нибудь взгляд, то неподвижное изображение окружающей области постепенно исчезает (*илл. вверху*). Сознательное фокусирование на любом объекте кратковременно замедляет или делает более редкими фиксационные движения глаз, к тому же за пределами центральной области взгляда их эффективность снижается. Таким образом, даже незначительное снижение частоты и амплитуды движений глаз сильно ухудшает зрительное восприятие.

Полностью «обездвижить» глаз можно только в лаборатории. В начале 1950-х гг. некоторые исследователи добились эффекта неподвижности, поместив крошечный слайд-проектор на контактную линзу и прикрепив ее к глазу испытуемого. С помощью такого при-

ОБЗОР: МИКРОСАККАДЫ

- Когда взгляд зафиксирован на определенном объекте, глаза продолжают незаметно двигаться. Такие микродвижения чрезвычайно важны для значительного восприятия.
- На протяжении нескольких десятилетий ученые спорили о том, каково назначение и есть ли оно вообще у фиксационных движений глаз, самые большие из которых — микросаккады. Они дают возможность видеть в те моменты, когда взгляд человека неподвижен.
- Микросаккады могут выдавать подсознательные мысли человека. Недавние исследования показали, что их направленность отклоняется в сторону объектов, к которым человек неосознанно направляет свое внимание, куда бы он ни смотрел на самом деле.



ИЛЛЮЗОРНОЕ ДВИЖЕНИЕ. Позвольте своим глазам «блуждать» по изображению вверх, и вскоре вы увидите, как по нему катятся три «волны». Но если вы зафиксируете взгляд на одном из зеленых пятен в центре картинке, то иллюзорное движение замедлится или даже прекратится. Авторы предполагают, что фиксационные движения глаз необходимы для восприятия данной иллюзии, хотя они еще не знают, как именно это происходит

способления человек видит проецируемое изображение через линзу, движущуюся вместе с глазом. В результате изображение остается неподвижным по отношению к глазу, вызывая адаптацию зрительных нейронов, и постепенно исчезает. В наше время специалисты достигают того же результата, регистри-

щения глаз и включая произвольные саккады, искусственно заставляли глаз двигаться примерно так же, как и при микросаккадах, что позволило восстановить зрительное восприятие. Однако был получен и противоположный результат. Установить истину было не просто, поскольку ни одна из существовавших в то

Крошечные неосознаваемые движения глаз помогают специалистам по нейронауке разгадать мозговой код сознательного зрительного восприятия

руя движения с помощью направленной камеры. Сведения передаются в проекционную систему, которая перемещает изображение вместе с глазом.

В конце 1950-х гг. роль микросаккад была установлена: в лаборатории исследователи, подавляя все переме-

ремя методик стабилизации сетчатки не была совершенной. Например, контактная линза могла соскользнуть, делая возможными остаточные движения глаз. В результате никто не мог точно определить, был ли экспериментальный результат обусловлен ▶

остаточными движениями глаза или же искусственными микросаккадами.

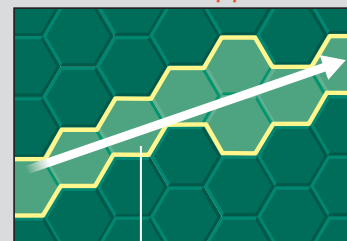
Нервный тик?

Приблизительно в то же время ученые выявили еще две разновидности фиксационных движений: дрейф и тремор. Дрейф представляет собой медленное движение, с извилистой траекторией, наблюдающееся между быстрыми линейными микросаккадами. Тремор же — микроскопические быстрые колебания, накладывающиеся на

ДВИЖУЩИЕСЯ ЦЕЛИ

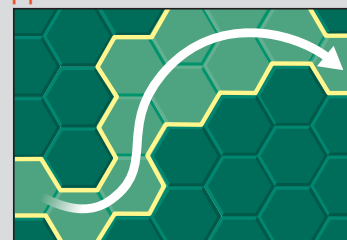
Фиксационные движения глаз, включая микросаккады (прямые линии), дрейф (волнистые линии) и тремор (зигзаги, наложенные на дрейф), перемещают зрительное изображение по мозаике фоторецепторов сетчатки

МИКРОСАККАДА



Активированный фоторецептор

ДРЕЙФ



ТРЕМОР



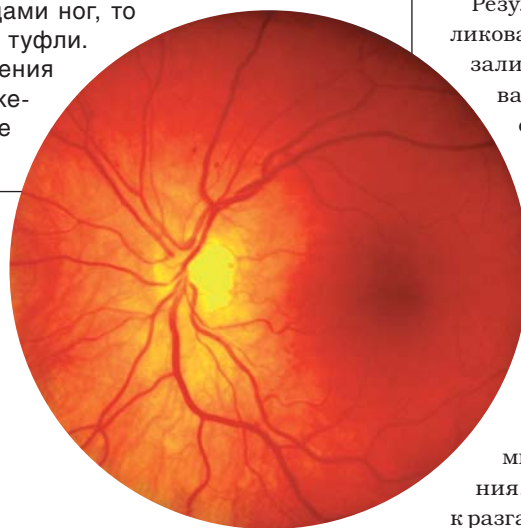
ИСЧЕЗАЮЩИЕ СОСУДЫ

Специалисты по нейронауке Дэвид Коппола (David Coppola) и Дейл Первис (Dale Purves) из университета Дьюка показали, что кровеносные сосуды в сетчатке, неподвижные по отношению к глазу, могут исчезать из восприятия человека всего за 80 миллисекунд (тысячных долей секунды). Вы сами можете в этом убедиться. Закройте глаза и держите небольшой фонарик (не слишком яркий!) сбоку от глаза. Если вы быстро подвигаете фонариком, то сможете мельком увидеть периферическим зрением сосуды сетчатки. Обратите внимание на то, как быстро они становятся невидимыми. Нейронная адаптация происходит во всех органах чувств, включая осязание. Например, вы будете некоторое время чувствовать туфли после того, как наденете их с утра, но вскоре это ощущение исчезнет. Однако если вы пошевелите пальцами ног, то снова почувствуете надетые на вас туфли. Аналогично фиксационные движения глаз постоянно «шевелят» изображение по сетчатке, и поэтому зрение не отключается.

Микросаккады вызывают нейронные ответы во всех исследованных частях зрительной системы

дрейф. Микросаккады — наиболее значительные фиксационные движения глаз, смещающие изображение по сетчатке на ширину от десятков до нескольких сотен фоторецепторов (световоспринимающих клеток, в число которых входят колбочки, обеспечивающие различие деталей и цветовое зрение, и палочки, функционирующие при низкой освещенности и в периферическом зрении).

На протяжении нескольких десятилетий исследователи спорили о том, каково назначение и есть ли оно вообще у фиксационных движений глаз, в особенности у микросаккад. Некоторые специалисты отмечали, что люди способны подавить микросаккады на пару секунд безо всякого исчезновения зрения в фокусе взгляда. Естественным образом мы на мгновение сдерживаем их, выполняя различ-



ные действия, требующие точности — например прицеливаясь из ружья или вдевая нитку в иголку. В 1980 г. психологи из Мэрилендского университета Эйлин Каулер (Eileen Kowler) и Роберт Стейнман (Robert M. Steinman) пришли к выводу, что микросаккады не имеют функционального назначения и представляют собой «нечто вроде нервного тика».

В конце 1990-х гг. исследователи начали изучать, генерируются ли какие-нибудь нейронные реакции в глазу и в мозге в ответ на фиксационные движения. С 1997 г. совместно с нобелевским лауреатом Дэвидом Хьюбелом (David Hubel) из Гарвардской медицинской школы (Harvard Medical School) мы обучали обезьян фиксировать взгляд на небольшой точке, появляющейся на экране монитора, на котором одновременно демонстрировалась непод-

вижная светлая полоска. При этом мы регистрировали движения глаз животного и электрическую активность нейронов латерального колленчатого тела (ЛКТ), а также нейронов первичной зрительной коры, расположенной на затылочной поверхности мозга (врез на стр. 57). В каждом эксперименте полоску располагали таким образом, чтобы вызвать оптимальный электрический ответ регистрируемых нейронов, который возникает в виде импульсов, называемых спайками.

Результаты экспериментов, опубликованные в 2000 и 2002 гг., показали, что микросаккады увеличивали частоту нервных импульсов, генерируемых нейронами как в ЛКТ, так и в зрительной коре, поскольку стационарный стимул (светлую полоску) то помещали в границы рецептивного поля (области зрительного пространства, в которой стимул активизирует данный нейрон), то удаляли. Данное открытие, подтвердившее важную роль микросаккад в обеспечении зрения, помогло нам приблизиться к разгадке кода зрительной системы. В исследованиях на обезьянах было обнаружено, что микросаккады более тесно связаны с быстрыми залпами спайков, чем с одиночными спайками нейронов мозга, что указывает на то, что залпы спайков служат сигналом о наличии видимого объекта.

Разгадываем загадку

Несколько лет назад в Неврологическом институте Бэрроу мы поставили перед собой задачу определить связь между микросаккадами и способностью видеть с помощью совершенно иной методики. В своих экспериментах мы просили добровольцев выполнять определенную версию теста Трокслера. Испытуемые должны были фиксировать взглядом небольшую точку и сообщать нажатием кнопки, видят ли они неподвижный объект на периферии поля зрения или нет. Действительно, объект временами как будто исчезал, а затем появ-

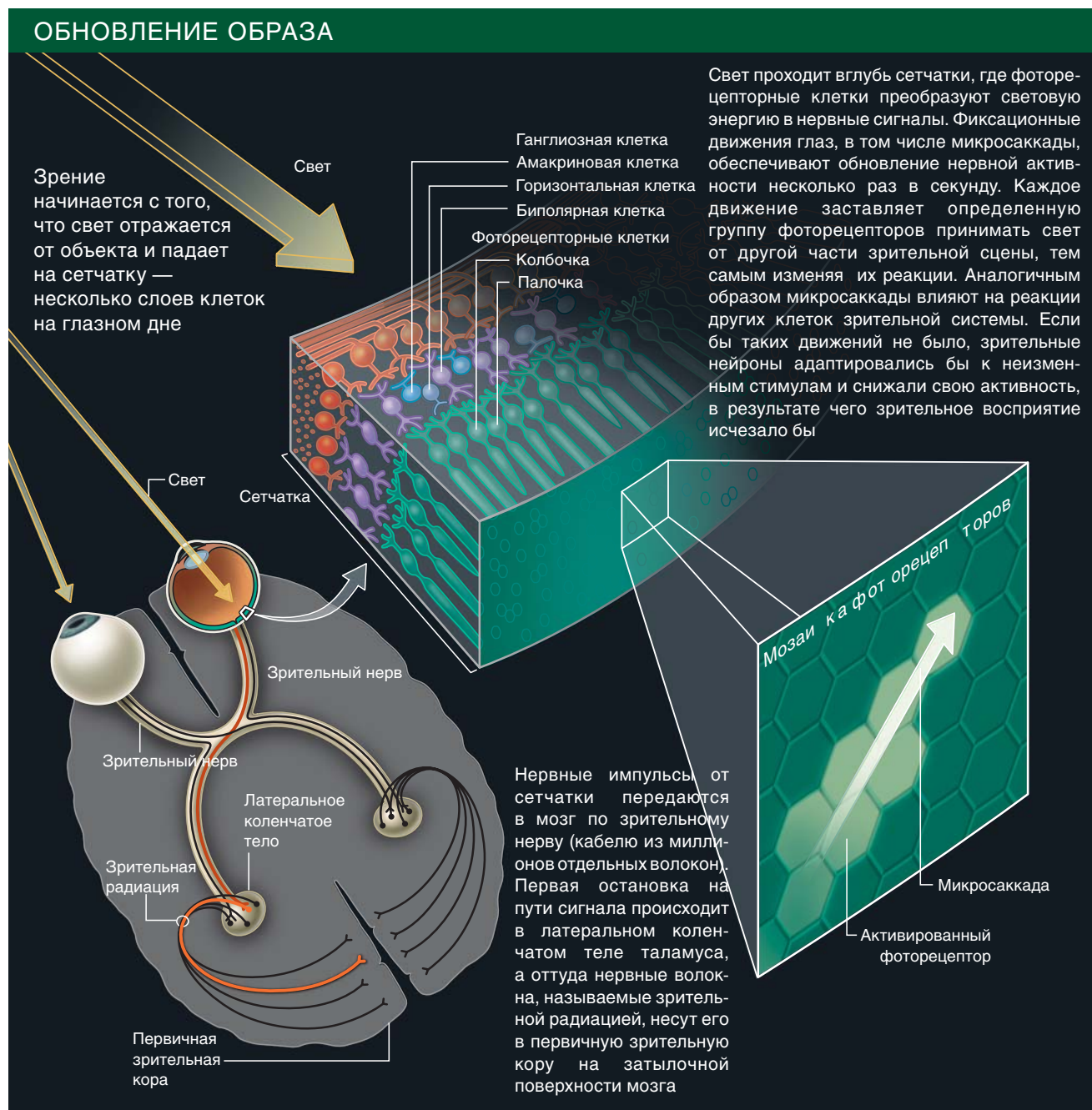
лялся снова, при этом мы регистрировали фиксационные движения глаз с помощью высокоточной видеосистемы.

Как мы и предполагали, микросаккады испытуемого становились более редкими, уменьшались по амплитуде и замедлялись непосредственно перед исчезновением объекта. Следовательно, в отсутствие микросаккад (или же когда они становятся необы-

чайно малым и медленными) происходит адаптация и исчезновение зрительной картины. Также в соответствии с нашей гипотезой микросаккады становились более частыми, возрастали по амплитуде и скорости непосредственно перед появлением объекта. Результаты этой работы, опубликованные в 2006 г., впервые продемонстрировали, что микросаккады дают возможность видеть в те моменты, ког-

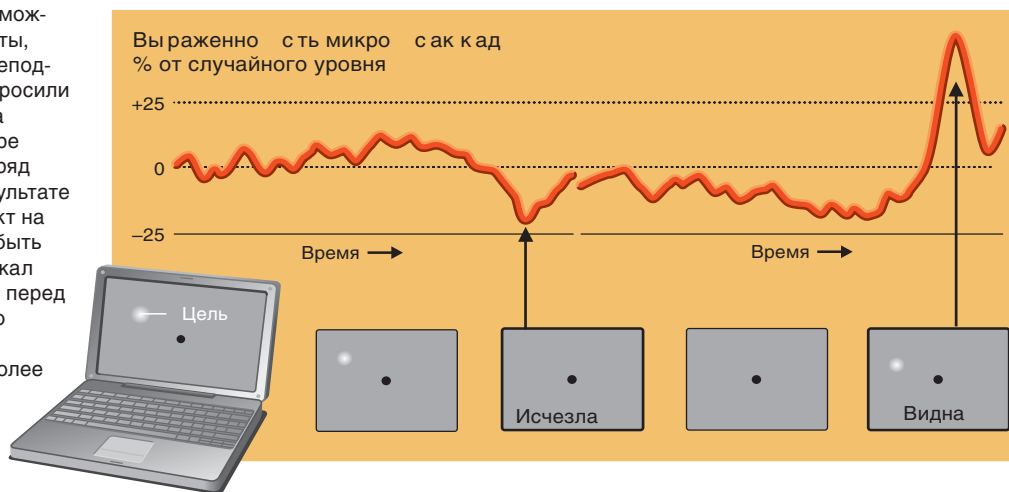
да человек старается фиксировать взгляд. Поскольку большую часть времени наш взор находится в неподвижности в промежутках между крупными произвольными саккадами, микросаккады играют решающую роль в обеспечении большей части зрительного восприятия.

Результаты нашей работы имеют не только теоретическое значение, они могут пригодиться и в медицине, в частности помочь в лечении



ВИДЕТЬ С ПОМОЩЬЮ МИКРОСАККАД

Микросаккады дают возможность видеть в те моменты, когда взгляд человека неподвижен. Исследователи просили испытуемых смотреть на небольшое пятно в центре компьютерного экрана (ряд прямоугольников), в результате чего неподвижный объект на периферии переставал быть видимым, а затем возникал снова. Непосредственно перед исчезновением целевого стимула микросаккады человека становились более редкими и медленными, а перед его повторным появлением они учащались (график).



Как бы вы не старались отвести взгляд от последнего куска торта или от привлекательного мужчины или женщины, частота и направление микросаккад выдадут, куда именно направлено ваше внимание

болезней, при которых нарушаются движения глаз. Например, недостаточность фиксационных движений может возникать как следствие паралича глазодвигательных нервов, управляющих практически всеми движениями глаз. Аномалии фиксационных движений также характерны для амблиопии, или «ленивого глаза» — ухудшения различения деталей при отсутствии какой-либо очевидной патологии. Это заболевание служит основной причиной односторонней потери зрения у людей в возрасте от 20 до 70 лет. При тяжелой амблиопии чрезмерный дрейф и слишком редкие микро-

саккады могут приводить к исчезновению отдельных объектов или большей части зрительной картины во время фиксирования взгляда.

При нормальном зрении от глазодвигательной системы требуется поддерживать тонкое равновесие между недостатком движений глаз и их избытком, который сам по себе ведет к нечеткости и нестабильности зрения в периоды фиксации. Понимание того, как глазодвигательной системе удастся поддерживать равновесие, когда-нибудь позволит врачам перенастраивать систему при возникновении в ней каких-либо неполадок.

Чтение мыслей

Микросаккады важны не только для зрительного восприятия, они также могут помочь выявлять подсознательные мысли человека. Психологи обнаружили, что даже когда наш взгляд зафиксирован, внимание может бессознательно перемещаться к объектам, привлекающим наш интерес.

Исследователи зрения Зияд Хафед (Ziad M. Hafed) и Джеймс Кларк (James J. Clark) из университета Макгилла в своих экспериментах просили добровольцев направлять взгляд на точку в центре компьютерного монитора и при этом следить за участком на краю экрана, изменявшим свой цвет в кон-

ОБ АВТОРАХ

Сусана Мартинес-Конде (Susana Martinez-Conde) — директор Лаборатории нейронауки зрения в Неврологическом институте Барроу в Финиксе, США, имеет степень доктора наук по медицине и хирургии. **Стивен Мэзник** (Stephen L. Macknik) — директор Лаборатории нейрофизиологии поведения в Неврологическом институте Барроу, имеет степень доктора наук нейробиологии.



МОНИТОРИНГ ВНИМАНИЯ. Исследователи могут отслеживать микросаккады и по ним определить, не привлекает ли что-нибудь скрытым образом внимание человека — например кусок шоколадного торта — даже в том случае, если он смотрит в другую сторону. Но не беспокойтесь: обычным людям не удастся заметить эти движения глаз и разгадать ваши мысли.

це каждой пробы. От участников требовалось сообщать о замеченных переменах. В 2002 г. Хафед и Кларк сообщили, что направление микросаккад испытуемых тяготело к месту фокуса их внимания, хотя сам взгляд был направлен в другое место. Данный результат показал не только то, что микросаккады могут раскрывать мысли человека, но и что скрытые перемещения внимания фактически задают направление микросаккад.

Райнольд Клигль (Reinhold Kliegl), когнитивный психолог, и Ральф

Энгберт (Ralf Engbert), специалист по вычислительной нейронауке из Потсдамского университета в Германии, обнаружили, что частота микросаккад также сигнализирует о скрытом привлечении внимания к какому-либо объекту. В 2003 г. они установили, что неожиданное появление зрительного стимула на периферии поля зрения человека ведет к кратковременному снижению частоты микросаккад, после чего их частота возрастает и становится выше нормы. Более того, зарегистрированные

ими микросаккады отклонялись в направлении целевого стимула. По частоте и направлению микросаккад можно судить о внезапных изменениях в поле зрения человека, привлекающих его внимание в те моменты, когда он не смотрит непосредственно в эту сторону.

Таким образом, как бы мы ни старались отвести взгляд от последнего куска торта на столе или от привлекательного мужчины или женщины, частота и направление микросаккад выдадут, куда именно направлено наше внимание. Однако в реальной жизни нам беспокоиться не стоит. Ученые могут увидеть крошечные движения глаз в лаборатории и разгадать, куда направлено наше внимание, однако окружающим совсем не так просто прочитать по ним наши мысли — по крайней мере, сегодня. ■

Перевод: Б.В. Чернышев

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Microsaccades as an Overt Measure of Covert Attention Shifts. Z. M. Hafed and J.J. Clark in *Vision Research*, Vol. 42, pages 2533–2545; 2002.
- Microsaccades Uncover the Orientation of Covert Attention. R. Engbert and R. Kliegl in *Vision Research*, Vol. 43, pages 1035–1045; 2003.
- The Role of Fixational Eye Movements in Visual Perception. S. Martinez-Conde, S.L. Macknik and D.H. Hubel in *Nature Reviews Neuroscience*, Vol. 5, pages 229–240; 2004.
- Fixational Eye Movements in Normal and Pathological Vision. S. Martinez-Conde in *Progress in Brain Research*, Vol. 154, pages 151–176; 2006.
- Microsaccades Counteract Visual Fading during Fixation. S. Martinez-Conde, S.L. Macknik, X.G. Troncoso and T.A. Dyar in *Neuron*, Vol. 49, pages 297–305; 2006.
- Страница с иллюзиями Акиоши Китаока (Akiyoshi Kitaoka): www.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/index-e.html
- Лаборатория Мартинес-Конде: www.neuralcorrelate.com/smc_lab