

Ученые выяснили, каким образом яд, введенный таракану крошечной осой, превращает насекомое в безвольную марионетку и в идеальный источник пропитания для ее потомства

Кристи Уилкокк

БИОЛОГИЯ

# НЕЙРОБИОЛОГИЯ ЗОМБИРОВАНИЯ

**Н**е знаю, снятся ли тараканам сны, но будь так на самом деле, главными персонажами их кошмаров наверняка были бы изумрудные тараканьи осы. Людям эти маленькие тропические насекомые, ведущие одиночный образ жизни, особых неудобств не доставляют; во всяком случае, они не способны манипулировать нашими психикой и рассудком, превращая нас в добровольный источник пищи для своих детенышей, — так, как они поступают с ничего не подозревающими тараканами. Настоящий сюжет для душераздирающего фильма ужасов в духе серии фантастических триллеров «Чужой». История проста до абсурда: самка осы устанавливает полный контроль над рефлексами и поведением таракана, которого она решает

скормить своему потомству, напрочь лишая его чувства страха и желания избежать трагической судьбы. Но в отличие от кинофильмов, в реальной жизни здоровых тараканов превращает в бездумных зомби не некая неизлечимая вирусная инфекция, а всего-навсего яд — хотя и не простой: он действует как фармакологический препарат, специфическим образом поражающий тараканий мозг.

Адаптированный отрывок из книги Кристи Уилкокк «Ядовитые животные: как самые опасные существа планеты совершенствовали свою биохимию» (Venomous: How Earth's Deadliest Creatures Mastered Biochemistry), печатается с разрешения издательского дома Scientific American / Farrar, Straus and Giroux, LLC (США), Bungeishunju Ltd. (Япония). © Кристи Уилкокк, 2016 г.



Изумрудная тараканья оса — удивительный продукт эволюции: ее необычный яд способен изменять поведение других насекомых

AMAND VAREMA National Geographic

Мозг любого животного, будь то человек или насекомое, по сути дела представляет собой скопление нервных клеток (нейронов). Существует несметное множество ядовитых соединений, способных активировать деятельность нейронов или, напротив, угнетать ее. А потому неудивительно, что яды некоторых живых существ целенаправленно воздействуют на тщательно защищенную в организме центральную нервную систему и ее главный отдел — головной мозг. Одни из этих ядов впрыскиваются жертвам в кровь и, чтобы проникнуть в их мозг, вынуждены преодолевать гематоэнцефалический барьер. Другие — как, например, в нашем случае тараканьих ос и зомбируемых ими тараканов — вводятся жертвам непосредственно в мозг.

### Зомбирование

Изумрудная тараканья оса — наглядный пример того, что действие нейротоксичных ядов (нейротоксинов) отнюдь не ограничивается парализацией (обездвижением) жертвы. Оса, нередко в несколько раз уступающая размерами своей жертве, нападает на таракана с воздуха. Она пикирует сверху и, вонзив в него челюсти, направляет жало (видоизмененный яйцеклад) в участок груди (среднего отдела туловища таракана), расположенный между точками прикрепления к ней первой пары ног. Укол жала и впрыскивание яда занимают всего несколько секунд. Ядовитые соединения действуют очень быстро и вызывают временное обездвижение таракана, что позволяет осе ужалить жертву с большей точностью. На сей раз она впрыскивает яд в область тела, где у таракана находится пара головных ганглиев (аналог головного мозга у насекомых).

Строение жала тараканьей осы настолько тонко подогнано к анатомическим особенностям жертвы, что она с легкостью может точно вводить яд в нужные отделы мозга. Руководствуясь механическими и химическими сигналами, оса пронзает жалом ганглионарную оболочку (эквивалент гематоэнцефалического барьера у насекомых) и вводит яд в надлежащие нервные структуры. Особую важность для нее представляют две области тараканьего мозга. После их экспериментального удаления у таракана ученые наблюдали, как оса подолгу сидит на своей обездвиженной жертве с погруженным в ее голову жалом, тщетно пытаясь нащупать им отсутствующие нервные структуры.

### ОБ АВТОРЕ

**Кристи Уилкоккс** (Christie Wilcox) — специалист в области клеточной и молекулярной биологии; работает в Гавайском университете, где изучает яды животных. Принимает участие в работе нескольких научных блогов.



А затем таракан приходит в себя и превращается в зомби. Первым делом он приводит себя в порядок. Когда действие осинового яда, вызвавшего временный паралич насекомого, прекращается и передние ноги жертвы мало-помалу восстанавливают двигательную активность, она приступает к совершению причудливого ритуала груминга (чистки тела), продолжающегося примерно полчаса. Ученые показали, что такое поведение всецело обусловлено действием осинового яда: ни прокол покровов головы таракана, обычно провоцирующий сильный стресс, ни простой контакт насекомого с осой, не сопровождавшийся укусом и инъекцией яда, не вызвали у него никакого желания заниматься личной гигиеной. Поскольку этот внезапный приступ чистоплотности может быть связан с повышением уровня дофамина в мозге таракана, мы полагаем, что «микробобное» поведение насекомого, возможно, инициирует некий дофаминоподобный компонент осинового яда. Вопрос о том, представляет ли собой такой груминг выгодную для осы поведенческую реакцию жертвы или же это просто побочный эффект действия яда, во многом остается спорным. По мнению одних исследователей, подобное поведение гарантирует возможность уязвимым личинкам осы кормиться безопасной пищей, очищенной от болезнетворных грибов и бактерий; по мнению других, вынуждая таракана заниматься грумингом, оса попросту получает больше времени на обустройство «могилы» для своей жертвы.

Дофамин — одно из наиболее удивительных соединений, присутствующий в мозге самых разных животных, от насекомых до человека. И у всех этих существ его эффекты имеют жизненно важное значение. У человека дофамин выступает неотъемлемым компонентом так называемой мозговой системы вознаграждения; приятные переживания сопровождаются повышением его уровня в мозговой ткани. Но хотя это вещество и делает нашу жизнь радостнее, оно тесно связано с аддиктивными (зависимыми) формами поведения и эйфорией,

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Тараканьи осы используют живых тараканов в качестве источника пищи для своих личинок.
- Для этого они вводят в мозг (головные ганглии) своих жертв особую смесь химических соединений, изменяющую их поведение и метаболизм.
- Многие другие виды ос и наездников также используют яды сложного состава, позволяющие их личинкам паразитировать на пауках, гусеницах и даже личинках других перепончатокрылых, а иногда и превращать их в зомбированных защитников своего потомства.



Съев внутренности своего хозяина-таракана, личинка тараканьей осы превращается внутри его тела во взрослое крылатое насекомое и выбирается наружу

вызываемой, например, кокаином и другими наркотиками. Нам никогда не узнать, испытывает ли таракан что-либо вроде эйфории, когда его мозг наводнен дофамином. Хотелось бы верить, что дело обстоит именно так: было бы слишком жестоко, если бы живое существо, обреченное на гибель, не вкусило хотя бы толику радости перед своим ужасным концом.

Пока таракан предается грумингу, оса оставляет свою жертву в покое и отправляется на поиск подходящего места для обустройства гнезда. Ей нужна темная норка, где она смогла бы отложить яйцо и разместить запас корма для вылупившейся личинки — зомбированного таракана. Поиск и обустройство такого логова занимают у осы примерно полчаса. Когда после этого она возвращается к жертве, та уже полностью находится во власти яда, лишённая какого-либо желания спасти свою жизнь бегством. В принципе, такое состояние таракана преходяще: если отравленное насекомое изолировать до того, как его тканями начнет кормиться вылупившаяся личинка осы, примерно через неделю эффект зомбирования исчезает. К несчастью для ужаленного осой таракана, этот отрезок времени слишком долг. Прежде чем мозг жертвы получит шанс вернуться в нормальное состояние, она уже будет убита личинкой осы.

Пораженный ядом таракан в полной мере сохраняет двигательные функции, но насекомое, похоже, попросту не имеет желания воспользоваться ими для спасения жизни. Яд не ухудшает и работу органов чувств жертвы — он просто изменяет реакции ее мозга на сенсорные стимулы. Ученые показали даже, что раздражители, обычно побуждающие тараканов спасаться бегством (такие, например, как прикосновения к их крыльям или ногам), порождают у отравленных жертв нервные сигналы, достигающие мозга, но каких-либо

поведенческих реакций они при этом не вызывают. Объясняется это тем, что осиный яд подавляет активность определенных нейронов мозга, что приводит к внезапной утрате жертвой чувства страха перед предстоящей ей перспективой быть заживо съеденной личинкой осы. Такой эффект яда обусловлен наличием в нем токсинов, воздействующих на ГАМК-зависимые хлоридные каналы.

ГАМК (гамма-аминомасляная кислота) — один из важнейших нейротрансмиттеров (нейромедиаторов) мозга и насекомых, и людей. ГАМК угнетает работу нейронов, снижая их способность генерировать электрические разряды под влиянием активации натриевых каналов в клеточной мембране. Когда ГАМК связывается с соответствующими рецепторами мембраны, хлоридные каналы открываются и отрицательно заряженные ионы хлора проникают внутрь клетки. Это приводит к увеличению отрицательного заряда на внутренней стороне мембраны и снижению возбудимости нейрона. ГАМК, однако, — не «абсолютный» ингибитор нейронной активности: достаточно сильные стимулы способны преодолеть ее угнетающее действие на работу нервных клеток. С помощью этой одурманивающей нейромедиаторной системы оса и заставляет таракана исполнять все свои приказы. Ее яд насыщен ГАМК и двумя другими соединениями, которые также активируют хлоридные каналы, — бета-аланином и таурином. Кроме того, эти вещества препятствуют обратному захвату ГАМК нейронами, тем самым пролонгируя действие нейротрансмиттера.

Несмотря на то что все эти компоненты яда и подавляют активность мозга, которая смогла бы обратить таракана в спасительное бегство, сами собой достичь надлежащих нервных структур они не могут. Вот почему осе приходится инъектировать их непосредственно в головные ганглии таракана. Справиться с такой сложной задачей осе помогает изобретательность природы: яд, зомбирующий мозг таракана, способен также вызывать и преходящую парализацию насекомого, позволяющую осе точно вводить его в надлежащие нервные структуры. ГАМК, бета-аланин и таурин на какое-то время отключают двигательные нейроны тараканьего мозга, так что для достижения двух различных целей осе требуется всего один яд.

Неподвижную, не способную сопротивляться жертву оса использует и для пополнения собственных сил: иногда она съедает ее антенны (усики) и пьет ее сладковатую питательную кровь (кровенную жидкость). А затем, подобно всаднику, ведущему под узду своего коня, она хватается зомбированного таракана за остатки его антенн и отводит его к месту последнего упокоения. Затолкав жертву в норку, она прикрепляет к одной из его ног отложенное яйцо и закупоривает вход в логово.

### Свежая пища

И, наконец, яд тараканьей осы способен еще на один фокус. Пока таракан обреченно ожидает своего печального конца, яд снижает уровень метаболизма в его теле, продлевая тем самым время, в течение которого его ткани, обеспечивающие кормом личинку, будут сохранять свежесть. Скорость (интенсивность) метаболизма можно оценить, например, измеряя количество кислорода, потребляемое организмом за единицу времени, поскольку все животные, включая и людей, используют кислород для извлечения энергии из пищи или отложенных в теле запасов жира. Ученые обнаружили, что потребление кислорода тараканами, ужаленными осой, гораздо ниже, чем их здоровыми сородичами. Вначале они предположили, что этот эффект обусловлен пониженной двигательной активностью жертв, но впоследствии было показано, что тараканы, отравленные осиным ядом, жили даже дольше своих сородичей, полностью обездвиженных лекарственными препаратами или в результате разрушения двигательных нейронов. Похоже, причина их живучести связана с гидратацией тканей. Ученым пока не известно, как именно яд тараканьей осы заставляет ткани задерживать воду, но к тому времени, когда из отложенного яйца вылупляется личинка осы, они остаются вполне пригодными для ее питания. А вскоре после этого на поверхность земли выползает молодая взрослая оса, оставляя после себя в норке лишь шкурку съеденного таракана.

Род *Ampulex*, к которому принадлежит описанная в этой статье изумрудная тараканья оса, насчитывает свыше 130 видов насекомых, включая открытый недавно *A. dementor* (названный в честь фантастических существ, охранявших тюрьму для волшебников Азкабан в книгах о Гарри Поттере). В свою очередь, род *Ampulex* относится к многочисленной и разнообразной группе ос, объединяющей несколько тысяч видов перепончатокрылых, которые славятся своими способностями манипулировать сознанием и поведением других существ. Жизненный цикл всех этих насекомых отличается одной зловещей особенностью: их взрослые особи, подобно пчелам и обычным осам, кормятся соками растений, цветочным нектаром, пыльцой, но пищу их личинок составляют другие животные. Настоящими паразитами их нельзя назвать, поскольку они ведут паразитический образ жизни лишь на личиночной стадии; ученые называют таких существ паразитоидами.

Тараканы — далеко не единственные жертвы паразитоидных ос и их близких родичей наездников; многие их виды откладывают яйца на пауков, гусениц, муравьев и других животных. Наездник *Agriotypus*, обитающий в умеренной зоне Северного полушария, ныряет в воду и прикрепляет свои яйца к телу личинок ручейников. Чтобы

выполнить эту сложную задачу, ему приходится оставаться под водой до 15 минут. Живущие в Европе и Африке наездники из рода *Lasiochalcidia* бесстрашно бросаются прямо в жуткую пасть личинок муравьиных львов; они размыкают челюсти хищников и откладывают яйца вглубь их глотки. Существуют даже перепончатокрылые-гиперпаразитоиды, паразитирующие на родственных им паразитоидах. К их числу относятся, например, различные европейские и азиатские виды *Lysibia*. Эти наездники по запаху отыскивают гусениц, на которых паразитируют личинки наездников-паразитоидов из рода *Cotesia*, и откладывают свои яйца на только что окукливавшихся личинок *Cotesia*.

Для того чтобы обеспечить безопасное превращение своих личинок во взрослых насекомых, паразитоидные осы и наездники нередко используют своих хозяев не только в качестве источника пищи. Некоторые из них, съев внутренности своих хозяев-гусениц, превращают останки их тела в убежища, надежно защищающие окукливающихся насекомых от врагов. Личинки других видов паразитоидных перепончатокрылых непосредственно перед окукливанием заставляют своих хозяев пауков сплести прочные паутинные сети, защищающие их от хищников до превращения во взрослых ос, и сразу же после этого убивают своих благодетелей.

Помимо перепончатокрылых умением контролировать психику и поведение животных обладают и некоторые другие ядовитые существа. Есть среди них и такие, чьи нейротоксины способны проникать даже через гематоэнцефалический барьер человека, чего не может делать ни один осиный яд. Люди, однако, отличаются от тараканов странным пристрастием к веществам, изменяющим их сознание и психику. Если угроза стать жертвой такого вещества обращает таракана в паническое бегство, то некоторые представители *Homo sapiens* охотно отдают за дозу подобного яда и возможность испытать соответствующие ощущения большие деньги. ■

Перевод: В.В. Свечников

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Сапольски Р. Тараканы в голове // ВМН, № 6, 2003.
- A Wasp Manipulates Neuronal Activity in the Sub-Esophageal Ganglion to Decrease the Drive for Walking in Its Cockroach Prey. Ram Gal and Frederic Libersat in PLOS ONE, Vol. 5, No. 4, Article No. e10019; April 7, 2010.
- The Soul-Sucking Wasp by Popular Acclaim—Museum Visitor Participation in Biodiversity Discovery and Taxonomy. Michael Ohl et al. in PLOS ONE, Vol. 9, No. 4, Article No. e95068; April 22, 2014.
- The Role of the Cerebral Ganglia in the Venom-Induced Behavioral Manipulation of Cockroaches Stung by the Parasitoid Jewel Wasp. Maayan Kaiser and Frederic Libersat in Journal of Experimental Biology, Vol. 218, No. 7, pages 1022–1027; April 1, 2015.