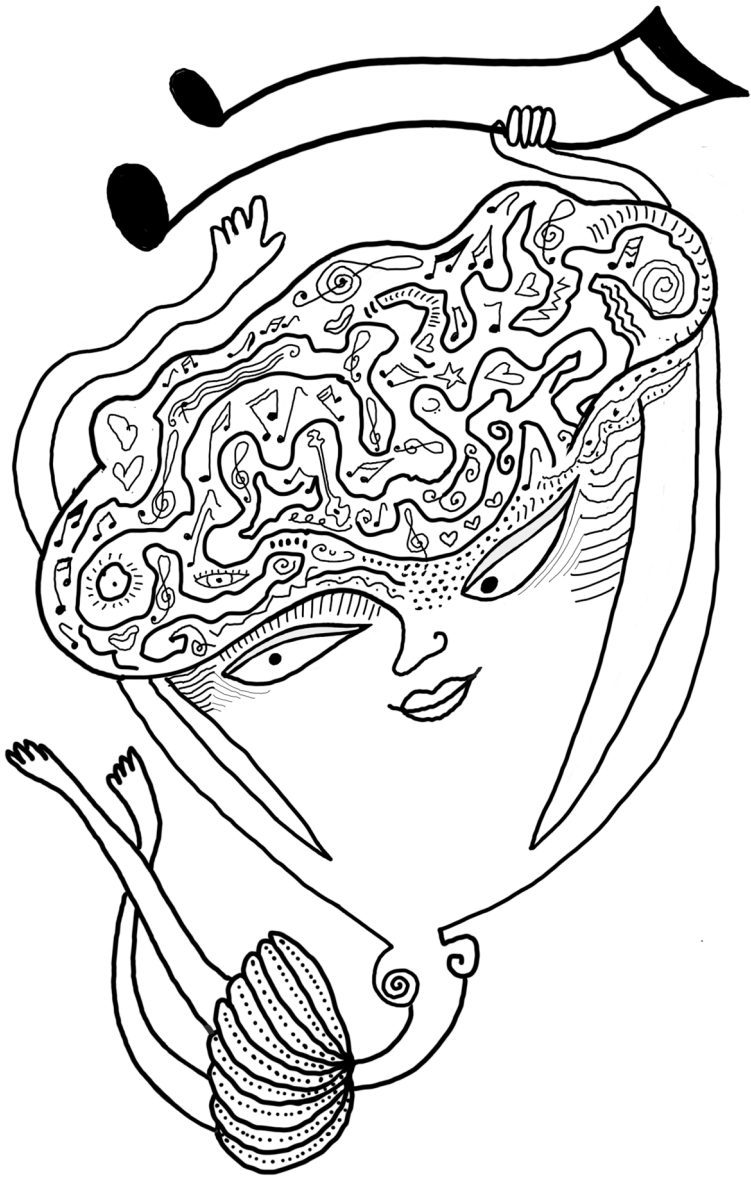


Оглавление

Вступление.....	9
ЧТО МОЗГ ДЕЛАЕТ С МУЗЫКОЙ.....	17
Когда появилась музыка?	19
От волн в воздухе — к электричеству в мозге.....	29
О важности обертонов	47
От тона — к тембру, мелодии и гармонии.....	65
Ритм.....	81
От музыки — к эмоции.....	103
ЧТО МУЗЫКА ДЕЛАЕТ С МОЗГОМ	129
Нейропластичность	131
Исполнение музыкального произведения	141
Мозг музыканта.....	163
Эффект музыки	179
МУЗЫКА КАК ЛЕКАРСТВО	197
Музыка и нарушения развития	199
Музыка и инсульт.....	215
Музыка и психические расстройства.....	229
Музыка и болевые синдромы.....	249
Музыка, деменция и болезнь Паркинсона	259
Благодарности	273
Литература.....	275



Вступление

Наш мозг выглядит не то чтобы впечатляюще: это кусочек серой, морщинистой, мягкой и уязвимой массы весом чуть больше килограмма. На первый взгляд, в черепной коробке, кроме него, ничего нет. Однако именно из этой скрытой от посторонних глаз массы берет начало все человеческое. Культура и общественный строй. Все наши мысли, надежды, планы и мечты. Вся людская радость, печаль, любовь и сомнение. И, разумеется, вся музыка, написанная, сыгранная и прослушанная за историю человечества.

Фактически во всей известной нам Вселенной не существует ничего, что было бы устроено так сложно. В мозге около 80 миллиардов нервных клеток (нейронов), каждая из которых образует связи с примерно семью тысячами таких же нервных клеток. Кроме того, в нашем мозге есть и другие клетки, необходимые для работы мозга, — их называют глиальными. Никто точно не знает, сколько у нас глиальных клеток, но, по некоторым оценкам, их как минимум столько же, сколько и нервных клеток. Вместе они образуют невероятно сложную сеть, о деятельности которой мы до недавних пор знали крайне мало. Но в последние десятилетия в науке о человеческом мозге произошел прорыв благодаря новейшим технологиям, позволяющим узнать гораздо больше об устройстве и функциях мозга и исследовать как отдельные клетки, так и их совокупности. Однако мы едва ли когда-нибудь сможем изучить наш мозг полностью — настолько он сложен. Потому что, когда мы изучаем его, на самом деле он изучает сам себя.

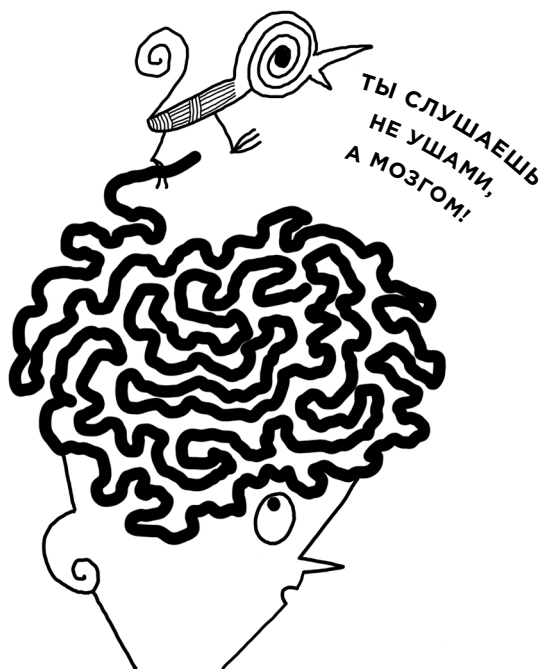
В этом и заключается парадокс: допустим, если бы мозг был устроен достаточно просто для того, чтобы мы могли полностью его понять, тогда мы сами были бы столь простыми существами, что нам бы это не удалось.

В прежние времена мозг недооценивали. Это один из немногих органов, который древние египтяне даже не бальзамировали, чтобы взять с собой в загробную жизнь. Зато музыка, напротив, во все времена была на особом положении. Греки, например, считали, что благодаря музыке в теле появляется душа: нет музыки — нет души. Похожие представления существовали и во многих других культурах. В самом деле, не известно ни одной культуры, в которой не было бы музыки. Музыка — это основополагающая деятельность, а музыкальность — основополагающее качество для человека. К тому же некой музыкальностью обладают и многие животные, например все млекопитающие. Воющих хором волков можно сравнить с людьми, которые общаются посредством музыки. То же касается поющих китов и птиц.

Самым древним из дошедших до нас музыкальных инструментов около 40 000 лет — они ровесники наскальных рисунков. Но, вероятно, уже 100 000–200 000 лет назад *Homo sapiens* умели создавать простые инструменты, такие как барабаны и флейты, и даже совместно играли на них. Многие исследователи считают, что это способствовало установлению социальной принадлежности, возникновению коммуникации и совместного труда. Некоторые также предполагают, что музыка была важна для развития языка. Младенцы с рождения узнают и различают ритмы, интервалы и звукоряды, они также способны воспринимать акустические характеристики слогов и мелодию (просодию) в языке. Путь маленьких детей к общению с помощью языка начинается с музыкальной коммуникации.

Одно из самых удивительных качеств мозга — его изменчивость. Все, что мы чувствуем, изучаем и делаем, заставляет наш мозг непрерывно меняться в течение всей нашей жизни. Когда мы вечером ложимся спать, наш мозг уже немножко не такой, каким был, когда мы проснулись утром того же дня. Это качество называется *нейропластичностью*. Именно благодаря нейропластичности, то есть способности мозга изменяться, мы можем узнавать новое всю жизнь.

Музыка имеет особое свойство — она вызывает всевозможные чувства и очень точно передает эмоциональную информацию. Благодаря этому музыка является идеальным инструментом для изучения эмоций в мозге. Ведь мы слушаем ее именно мозгом, а не ушами.



Но между волнами в воздухе, формирующими звуковой сигнал, и впечатлениями от музыки лежит долгий путь. В этой книге мы начнем путешествие с главы «От волн в воздухе — к электричеству в мозге» и закончим главой «От музыки — к эмоции».

Музыка способна активировать в мозге системуощрения. А следовательно, она имеет уникальную возможность изменять его. Среди всех видов человеческой деятельности найдется не так много тех, что меняют наш мозг в той же степени, что и занятия музыкой (читайте об этом в главе «Нейропластичность»). Исследования указывают на характерные изменения в мозге людей, профессионально занимающихся музыкой, и эти изменения можно оценивать как результат почти совершенного естественного эксперимента: что сделают с мозгом 10000 часов игры на музыкальном инструменте? Подробнее мы поговорим об этом в главе «Мозг музыканта».

Сегодня музыка — общественное достояние. Она доступна каждому, и, осознанно или нет, большинство из нас слушают ее ежедневно. Как это на нас влияет? Приносит ли способность музыки влиять на мозг какую-то пользу за пределами собственно самой музыкальной сферы? Можно ли использовать музыку в терапии?

Об этом расскажет последняя из трех частей книги. Она позволит понять, как знания о *влиянии мозга на музыку* (мы поговорим об этом в первой части) и о *воздействии музыкальных впечатлений на мозг* (а об этом — вторая часть) помогают в *терапевтической работе с людьми, имеющими различные заболевания мозга*.

В первой части книги — «Что мозг делает с музыкой» — мы понаблюдаем за тем, как протекает удивительный процесс, начинающийся с образования звуковых

сигналов и заканчивающийся формированием музыкального впечатления.

От ударной волны — к звуку. Что происходит в ухе, когда механическая энергия ударной волны превращается в электрические сигналы, посылаемые к мозгу?

От звука — к тону. Чем отличаются звук и тон (музыкальный звук, обладающий определенной высотой и тембром)? Когда струна или иной физический объект совершает гармонические колебания, образуется чистый тон. Это явление довольно редко встречается в природе, но без него музыки не бывает. Мы покажем, как мозг с помощью различных характеристик тона создает то, что мы зовем высотой тона и тембром.

От тона — к тембру, аккордам и гармонии. В этой главе мы опишем физические условия, необходимые для создания консонанса и диссонанса в органах слуха, а затем и в мозге.

...И далее — к мелодии, ритму и движению. Мелодию и ритм создают тоны, объединяясь в различные временные и гармонические структуры. Этот процесс задействует множество отделов мозга, отвечающих за восприятие времени и контролирующих движения (базальные ядра и мозжечок), а также первичные и вторичные/ассоциативные слуховые зоны в височных долях обоих полушарий, правую теменную долю и некоторые области лобных долей. Действительно, можно сказать, что восприятие музыки активизирует работу всего мозга. Музыка, как и язык, — это вариации звуков во времени. В моменты прослушивания и анализа музыкального произведения перед мозгом встают непростые задачи. Отчасти этот процесс можно сравнить с системным анализом одновременно нескольких параметров, так как высота тона, тембр и аккорды должны быть проанализированы параллельно. Одновременно

движение тона, мелодическая линия, ритм и темп создают изменяющиеся со временем звуковые схемы и структуры. Мозгу приходится все время собирать информацию и последовательно проводить ее системный анализ. В конце концов последовательно выстроенные схемы все вместе образуют полноценное музыкальное впечатление.

...И наконец, эмоции. Музыка обладает уникальной способностью вызывать богатый спектр эмоций — от страха до радости и печали. При этом эмоции сопровождаются такими физиологическими реакциями, как изменение частоты пульса и электрической активности кожи или даже ознобом и мурашками. При этом самочувствие человека не ухудшается. Когда люди слушают любимую музыку, с помощью таких технологий, как магнитно-резонансная терапия и позитронно-эмиссионная томография, можно наблюдать за активацией системыощерения мозга (среди прочего в прилежащем ядре и гиппокампе). И напротив, те отделы мозга, которые отвечают за дискомфорт и страх (миндалевидное тело и некоторые отделы островковой доли), активизируются во время прослушивания музыки, которая человеку неприятна.

Во второй части книги — «Что музыка делает с мозгом» — мы рассмотрим мозг музыканта, его структурные и функциональные изменения и их значение.

Когда пианист слышит игру на фортепиано, в его мозге активируется зона, отвечающая за моторику пальцев. Многие пианисты говорят, что начинают непроизвольно шевелить пальцами, когда слышат те произведения, которые когда-то исполняли. Другими словами, и при исполнении, и при прослушивании музыкального произведения происходит коактивация аудиальной и моторной систем мозга. Если человек, не являющийся музыкантом, начнет по 20 минут в день играть на фортепиано простую

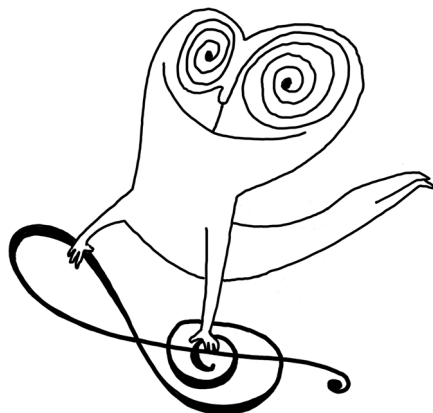
мелодию, то уже через пять дней будет заметна активность отвечающей за пальцы зоны мозга, если испытуемый вдруг услышит «свою» мелодию. Нейропластические изменения проявляются очень быстро. Что же произойдет с музыкантом, который провел за инструментом минимум 10 000 часов и достиг профессионального уровня?

В последней, третьей части книги — «Музыка как лекарство» — мы объясним, как музыка применяется для лечения некоторых заболеваний мозга и нервной системы. Например, обнаружено, что пациенты с болезнью Паркинсона начинают быстрее двигаться и им становится легче ходить, если в терапии используются танцы и ритмичная музыка. Ритм связан с ожиданием, а потому побуждает человека к движению. Это *процесс с прямой связью*, который помогает пациентам с болезнью Паркинсона поймать ритм и начать двигаться. Регулярные занятия музыкой приносят пользу не только при болезни Паркинсона, но и при инсульте, поскольку музыка активизирует все моторные системы мозга. А некоторые пациенты с афазией (расстройством речи) после инсульта или иного повреждения речевых отделов мозга по-прежнему могут петь. Это свойство музыки используется для восстановления речи при афазии. При нарушениях такого типа действенными оказываются пение и музыкальная терапия — они позволяют добиться нейропластических изменений и улучшить состояние пациента.

Известно, что интеллектуальная деятельность уменьшает риск развития деменции. Известно также, что обучение игре на музыкальном инструменте, кроме всего прочего, улучшает ряд когнитивных способностей. Проведенное на близнецах исследование, во время которого только один из пары играл на музыкальном инструменте во взрослом возрасте, доказало, что музыка препятствует

развитию деменции. Есть вероятность, что музыка помогает замедлить ослабление когнитивных способностей, а также развитие деменции. Данные ряда исследований и отчетов продемонстрировали пользу музыки при лечении пациентов с различными формами деменции. Музыка оказывает стимулирующий эффект, способна пробуждать ресурсы организма и улучшать коммуникативные способности у страдающих деменцией.

Но давайте обо всем по порядку.



ЧТО МОЗГ ДЕЛАЕТ С МУЗЫКОЙ



Когда появилась музыка?

Органы слуха, позже превратившиеся в уши, появились в процессе эволюции довольно поздно, намного позже всех прочих органов чувств. Следовательно, мы можем утверждать, что звуковые волны существовали и на заре времен, а собственно звуки появились на поздних стадиях эволюции. Для физика звук — это энергия. Для психолога или невролога, напротив, понятие звука связано с впечатлением/восприятием этой энергии. Без принимающего аппарата — то есть уха — и слуха, которые могут превратить звуковую энергию во впечатление, звука в полном значении этого слова не существует. Развитие слуха — это потрясающая история об адаптации: сначала к жизни в воде, затем на суше. И наконец человек встал на ноги — сперва на четыре, а потом и на две. Читайте об этом в главе «От волн в воздухе — к электричеству в мозге».

Музыка звучит повсюду — но зачем?

Нет ни одной культуры без музыки. И во всех культурах музыка звучит во время праздников, в моменты радости и печали и в качестве сопровождения различных обрядов перехода: рождений, свадеб и похорон. Все религии используют музыку в той или иной форме во время богослужений — это или ритмичное повторение текстов (с мелодией или без), или игра на ритуальных инструментах. Музыка также часто используют во время совместного труда. Мы слышим музыку во время спортивных

состязаний, в ресторанах, лифтах и концертных залах. Она звучит повсюду — и во всех культурах во все времена людям приносило радость ее исполнять и слушать. Но почему?

В отличие от изобразительного искусства, языка и большинства других присущих человеку видов самовыражения, у музыки нет внешней формы. Слова и изображения, как правило, являются символами конкретных явлений и предметов, но мелодия, гармония или ритмика не имеют подобных аналогов или соответствующих им явлений во внешнем мире. Однако для нас музыка обладает коммуникативной ценностью. Почему? И какова ее функция?

Как мы скоро увидим, на этот счет есть несколько теорий.

Нетрудно понять значение главных видов деятельности человека для эволюции. Интуитивно понятен, например, тот факт, что чувство голода, смешанное с радостью и удовлетворением после приема пищи, поспособствовало развитию изысканных кулинарных традиций. Без интереса к еде не выжил бы ни отдельный человек, ни весь вид. То же самое касается и секса: сексуальность тесно связана с радостью и желанием, потому что имеет огромное значение для выживания вида. И многие могут испытывать к музыке ту же страсть, какую испытывают к еде и сексу.

Правда, значение музыкальности для эволюции не так очевидно. Но так или иначе музыка, а точнее *предпосылки* для развития музыкальности, должны быть заложены глубоко в нашей биологии и генах. Еще 150 лет назад Чарльз Дарвин размышлял о том, почему так произошло: «...*Очень вероятно, что предки человека, мужского или женского пола*

или обоих полов, прежде чем приобрели способность выражения взаимной любви с помощью членораздельной речи, пытались очаровывать друг друга музыкальными звуками и ритмом»*.

Младенчество музыки

Даже первые человекообразные обезьяны, существовавшие почти 20 миллионов лет назад, вероятно, применяли для коммуникации различные звуки. Скорее всего, они пользовались вариациями тона, ритма и высоты тембра — так родилась ранняя «музыкальность», краеугольный камень нашего эмоционального отклика на музыку. Набор звуков, разумеется, был весьма ограничен, однако он значительно изменился в ходе эволюции, когда примерно шесть миллионов лет назад мы отделились от шимпанзе, а еще на несколько миллионов лет раньше — от горилл. И шимпанзе, и гориллы используют звуки для передачи эмоций и обозначения ограниченного набора понятий, в том числе чтобы подать сородичам сигнал об опасности. Но их звуковую коммуникацию нельзя сравнить с нашей устной речью или с тем, что мы называем музыкой. Эмоциональность — предпосылка для развития высокого уровня интеллекта и способности быть частью общества.

Праматерь человеческого рода Люси (*Australopithecus afarensis*) жила в Африке три с половиной миллиона лет назад. Мозг Люси был не крупнее мозга шимпанзе, однако она находилась в большой группе особей, которая предъявляла совершенно иные требования к коммуникации. Сложность ежедневного общения возрастала, росла при этом и потребность в развитии способности делиться

* Дарвин Ч. Происхождение видов. — М.: Эксмо, 2016.

эмоциями и намерениями, а также способности взаимодействовать. Современные обезьяны используют для коммуникации мимику, жесты и звуки.

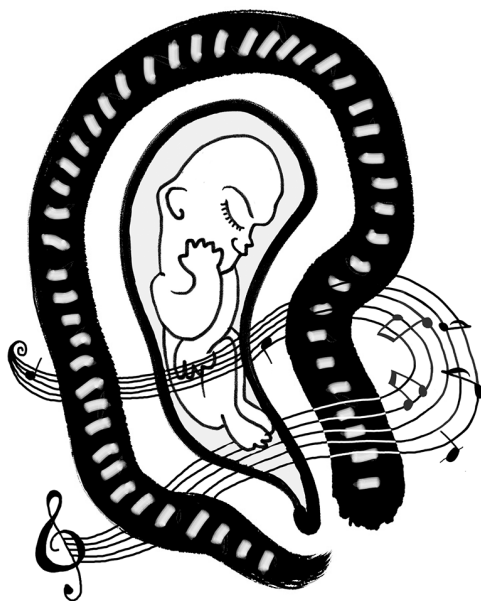
Примерно полтора–два миллиона лет назад человек уверенно встал на две ноги. Мозг *Homo ergaster* весил около килограмма (примерно столько же весит мозг современного двухлетнего ребенка), а анатомические изменения, которые проявились вследствие хождения на двух ногах, облегчили использование тела как музыкального инструмента. Позвоночный столб расположился прямо под черепом, а гортань опустилась. Благодаря этому увеличились резонаторы в глотке и черепе. Так же, как и у Люси, у *Homo ergaster* не было хищных зубов, которые по-прежнему есть у шимпанзе и горилл. Более мелкие зубы расширили возможности для артикуляции дифференцированных звуков. Помогли человеку и некоторые другие изменения. Чтобы охотиться, *Homo ergaster* приходилось бегать на большие расстояния и с приличной скоростью, что повысило требования к ритмичности движений. Развитие моторного ритма стало предпосылкой для поддержания внутреннего ритма в течение долгого времени. Сегодня это важное требование к музыканту — и, возможно, основа «феномена захвата ритма», то есть врожденной способности отстукивать такт или двигаться в ритме музыки, которую человек слышит в данный момент. Эта способность присуща исключительно людям. Только человек может автоматически следовать музыкальному ритму или бессознательно копировать ритмичные движения группы людей, с которыми он бежит или идет рядом, или хлопать в ладоши в такт. А еще доказано, что даже новорожденные способны интуитивно находить в музыке ритм и следовать ему.

Рожденные для музыки

Прямохождение изменило строение таза. Он стал уже. Поэтому дети появляются на свет до того, как их мозг разовьется в достаточной степени, — это явление получило название «проблема беспомощности новорожденного». Подсчитано, что беременность должна длиться минимум 18 месяцев, чтобы новорожденный ребенок был развит так же, как детеныши прочих млекопитающих.

Беспомощному, не готовому к жизни новорожденному требовался своего рода суррогат матки, олицетворяющей физическую безопасность. За ее пределами ребенку нужно было что-то, что могло ее заменить. Чувство безопасности новорожденному могла дать звуковая коммуникация. Так песня стала первым и самым важным «контактом на расстоянии» между матерью и ребенком и способствовала укреплению связи между ними. Вот как писал Пер Сивле: *«Услышал я впервые песнь, / Что пела моя мама. / Ее слова от сердца шли / И слезы осушали»*. А специалист в области психологии развития Колвин Тревартен высказал следующее мнение: *«Мы рождаемся с музыкальными мудростью и аппетитом»* (Trevarthen, 1999).

С самого рождения младенцев привлекает музыка. Для них это естественный, инстинктивный язык. Общаясь с детьми, мы как бы неосознанно начинаем петь. Наш голос становится выше, мы четче артикулируем гласные и акцентируем смену высоты тона. Младенцы начинают понимать музыкальное (эмоциональное) содержание речи раньше, чем учатся вычленять и понимать отдельные слова. Таким образом, путь ребенка к общению с помощью языка проходит через музыку. Шести-месячные младенцы, которым показывают снятых на видео матерей, быстрее успокаиваются и смотрят видео



более внимательно, если мать поет, а не разговаривает. Также доказано, что уровень стресса у детей (если судить по уровню кортизола в слюне) снижается активнее, когда они слышат песни матери, а не ее речь. На основе экспериментальных данных можно с уверенностью утверждать, что младенцы предпочитают именно музыкальную форму коммуникации. Мы рождаемся с потребностью в музыке и способностью успокаиваться с ее помощью.

Эмбрион в процессе развития проходит множество стадий: одноклеточный организм, плод с жаберными дугами, похожими на имеющиеся у рыб и амфибий, — и наконец начинает все больше и больше напоминать сформировавшегося человека. Человек как вид во время эволюции (филогенеза) проходил поразительно похожие этапы. Параллель можно провести и в развитии музыки и языка: они, в свою очередь, прошли путь от доязыковой

музыкальной коммуникации у первых гоминидов почти 20 миллионов лет назад до дифференцированных и высоко развитых инструментов, точно передающих информацию, у *Homo sapiens*. Даже у первых гоминидов музыка была важным элементом групповой принадлежности, и это прочно закрепилось в нашей биологии. Этномузыколог Джон Блэкинг ссылается на то, что сам же называет доязыковым музыкальным модусом мыслей и поступков.

ХММММ

Наши эмоции — предпосылка для развития интеллекта и способности быть частью общества. Когда эволюция усложнила наше общение, появились новые требования к умению поделиться собственными эмоциями и распознать чужие. Одновременно с этим усилилась потребность влиять на эмоции других членов группы. Современные обезьяны для этого используют мимику, жесты и звуки. Очевидно, у первых гоминидов была особенно развита звуковая коммуникация, и они имели богатый опыт выражения собственных и считывания чужих эмоций посредством вокализации. Вероятно, для этого они варьировали высоту тона, ритм и тембр голоса. Именно так появилась музыкальность и был заложен первый камень в фундамент нашего эмоционального отклика на музыку. Нашим предкам пришлось стать крайне эмоциональными, чтобы выжить. В отсутствие языка музыкальная коммуникация, видимо, стала важнейшим способом как выразить собственные чувства, так и вызвать эмоциональный отклик у сородичей. Так наш мозг развил чувствительность к звукам музыки.

Мозг неандертальцев, живших в Европе и вымерших примерно 40 000 лет назад, по размеру совпадал с нашим.

Они охотились большими группами и, должно быть, могли как-то общаться. Они создавали совершенное каменное оружие и пользовались им, но у них не было ни наскальных рисунков, ни украшений, ни музыкальных инструментов для самовыражения. Будь у них вербальный или жестовый язык, наука обнаружила бы визуальные свидетельства этого. Хотя неандертальцы прожили на земле несколько тысяч лет, их развитие — как культурное, так и технологическое — в какой-то момент полностью остановилось. Что же послужило причиной? Как объяснить, что *Homo sapiens*, в отличие от них, оказались способны создать еще более совершенное оружие, наскальные рисунки, музыкальные инструменты и украшения примерно 50 000–70 000 лет назад, а вероятно, и ранее?

У неандертальцев явно — в той или иной форме — существовала музыка. Видимо, они передавали эмоции и настроение, предотвращали и провоцировали конфликты, утешали и приободряли друг друга, инициировали половой акт и проявляли заботу с помощью довольно сложных звуков. Такая система звуковой коммуникации имеет много общего с музыкой. Благодаря ей для укрепления связей и выражения доверия друг другу неандертальцы вместе пели и танцевали. Коммуникация такого типа, скорее всего, была крайне необходима людям, которые группами охотились на гораздо более крупных и опасных существ, чем они сами, например на мамонтов. Британский профессор археологии Стивен Митен описывает эту протомзыкальную коммуникацию аббревиатурой ХММММ.

Холизм — речь, подобно музыке, состояла из цельных фраз, а не из отдельных слов.

Манипуляция — речь использовалась скорее не для передачи информации, а для того, чтобы манипулировать чужим поведением.

Мультимодальность — коммуникация велась с помощью и тела, и голоса.

Музыкальность — для выражения эмоций, проявления заботы к младенцам, демонстрации сексуального интереса и укрепления групповой сплоченности использовались различные вариации высоты тона, ритма и тембра голоса.

Мимичность — речь подражала звукам окружающего мира.

А потом зазвучала музыка

Homo sapiens появились в Африке примерно 200 000–300 000 лет назад. Вероятно, сначала их общение напоминало коммуникацию неандертальцев. В какой-то момент развитие коммуникации пошло в двух непохожих, но родственных направлениях. Развиваться стали язык и музыка. Первые достоверные свидетельства тому были обнаружены в африканской пещере Бломбос: символические артефакты, осколки камней с надписями, огромное количество красной краски для рисунков на теле, украшения, такие как ожерелья из ракушек, и сложные инструменты из костей — всему этому минимум 70 000 лет. В этот период *Homo sapiens* уже развили способность выражаться абстрактно и общаться с помощью символов, которые не относятся к высказыванию напрямую. Их язык уже имел синтаксис и грамматику — именно благодаря им стала возможна точная передача информации. Язык был краеугольным камнем для развития технологий и во многом поспособствовал тому, что *Homo sapiens* за короткое время одержали верх над гоминидами.

А как же музыка? Она продолжила свое существование. Первые музыкальные инструменты — барабаны

и флейты — появились 40 000–50 000 лет назад, то есть одновременно с наскальными рисунками и другими формами искусства. С тех пор человека сопровождает музыка. Как и во времена неандертальцев, сейчас музыка — одно из самых эффективных средств для выражения эмоций, и она понятна всем. Музыка продолжает играть важнейшую роль в осознании себя частью целого — другими словами, объединяет. Это ее базовая функция, и она заложена глубоко в наших генах, биологии и мозге.

От волн в воздухе — к электричеству в мозге

Со стороны кажется, будто мозг — отшельник. Он устроился под защитой костей, которые мы зовем черепной коробкой. Там, внутри, тихо, темно и влажно. Но для нашего выживания, безусловно, необходимо, чтобы мозг в любой момент времени владел самой полной информацией о том, что происходит в окружающем мире, за пределами черепной коробки. Для этого у нас есть органы чувств.

С давних времен у человека выделяют пять чувств: вкус, обоняние, зрение, осязание и слух. Но в действительности все немного сложнее. Среди прочего у нас есть тактильные и температурные рецепторы в коже, проприоцепция — чувство, сообщающее о положении различных частей тела, а также чувство равновесия, благодаря которому мы понимаем, где верх, а где низ, и не падаем. Все это — информация о том, что происходит внутри тела и за его пределами.

Но органы чувств рассказывают нашему сознанию далеко не все. Они отфильтровывают многие данные, но за это мы должны быть благодарны. Каждую секунду наши органы чувств принимают миллионы сигналов — такое количество информации мы просто не в состоянии обработать. К тому же в окружающем мире есть явления, на которые наши органы чувств не реагируют, например радиоволны, химические реакции и электромагнитное излучение, — их мы просто не видим или не чувствуем. Но, несмотря на то, что наши ощущения — это лишь

осколки имеющейся в мире информации, наш мозг выстраивает полную и цельную картину, без дыр и пробелов. И этого достаточно, чтобы ориентироваться в пространстве и реагировать на внешние условия. Такими нас сделала эволюция.

Одно из важнейших чувств — слух. Главным образом через него мы воспринимаем музыку. Однако это лишь часть правды. Ведь другие органы чувств тоже участвуют в формировании музыкального впечатления с помощью мультимодального восприятия. Поэтому в этой главе мы будем говорить не только о слухе (к нему мы вернемся позже). Прежде всего мы поговорим о том, как люди развили удивительную способность воспринимать звуки.

Первые слушатели

Первым появившимся на Земле слушателям — рыбам — ухо, подобное нашему, никогда не было нужно. Звуковые волны сквозь воду проходят напрямую в их тело (в составе которого тоже много воды), скелет и череп. В черепе рыбы есть маленькая наполненная жидкостью полость — в ней расположены волосковые клетки, которые преобразуют вибрации в электрические сигналы, а уже эти сигналы мозг воспринимает как звуки. Сначала низкочастотные волны лишь создавали вибрации в вестибулярном аппарате рыб, но информация, которую они несли, оказалась столь полезной, что для ее восприятия постепенно развилось отдельное чувство — слух. Остатки этого механизма сохранились в анатомии человека: вестибулярный аппарат и орган слуха — улитка (*cochlea*) — по-прежнему расположены глубоко в височной кости и тесно связаны друг с другом. А улитка, наш звуковоспринимающий орган, по-прежнему наполнена жидкостью.

У примитивных рыб в органе, отвечавшем за восприятие звуков, жидкость тоже имелаь.

Благодаря развитию ушей и слуха животные получили возможность получать информацию с определенного расстояния. Поэтому мы считаем слух *дистантным ощущением*. Слух круглосуточно улавливает информацию обо всем происходящем во внешнем мире. Зрение, напротив, в конкретный момент времени фокусируется на одном объекте или небольшой области. Кроме того, слух имеет дополнительную функцию: с его помощью мы можем не только следить за происходящим, но и общаться на расстоянии.

Звукочувствительные органы, позже превратившиеся в уши, в процессе эволюции появились поздно, гораздо позже других органов чувств. Поэтому мы можем утверждать следующее: даже если вибрации существовали в атмосфере с начала времен, на Земле было довольно тихо до поздних этапов эволюции (вплоть до периода, начавшегося примерно 500 миллионов лет назад). Ведь для физика звук является энергией, а для невролога это понятие связано с восприятием, или перцепцией, звука. Если бы у нас не было органов слуха и слуховых систем мозга, то звуковые волны для нас бы просто не существовали, как радиоволны или гамма-излучение — явления, лежащие за пределами восприятия наших органов чувств.

Примерно 350 миллионов лет назад, когда мы, еще будучи амфибиями, переселились на сушу, слух был устроен очень просто. Вначале звуки по-прежнему воспринимались как вибрации земли, передаваемые напрямую в череп через височно-нижнечелюстной сустав. У змей и сейчас только вот такой ограниченный слух. Поэтому, если вы гуляете босиком, громче топайте ногами — тогда гадюка вас точно не укусит.

Через несколько миллионов лет мы подняли голову от земли, и такой тип слуха стал неэффективен. Энергия проходящей по воздуху звуковой волны намного меньше, чем у волны в воде. Если вы стоите на земле и кричите кому-то, кто находится под водой, вероятность того, что вас услышат, очень мала. Воде передастся лишь около 1% энергии. Все дело в том, что плотность воды намного больше, чем плотность воздуха. Поэтому, чтобы привести в движение молекулы воды, воздух должен двигаться весьма интенсивно.

Перейти из воздуха в наполненные жидкостью полости в нашем внутреннем ухе звуковой волне помогает барабанная перепонка, которая со временем развилась как отдельный звукочувствительный орган. Одновременно два образования, первоначально являвшиеся частью височно-челюстного сустава у амфибий и змей, отделились и превратились в молоточек и стремечко в нашем среднем ухе. Чуть позже мы поговорим об их функции подробнее.

Звук — это прежде всего движение

Мы привыкли думать, что звуки издают инструменты. Но на самом деле это не так. Инструмент — источник движения. Позже это самое движение станет в нашем мозге звуком. Возьмем, например, гитару: если ударить по струне, механическая энергия слегка удлинит ее. Упругость, которой обладает струна, будет возвращать ее в исходное положение, но благодаря исходной энергии струна пройдет первоначальное положение и снова удлинится — уже в другом направлении. Так она будет качаться из стороны в сторону, как маятник. И в какой-то момент струна, как маятник, остановится. Но энергия не исчезнет. При

колебании струны из стороны в сторону происходит сжатие воздуха в направлении движения, а с обратной стороны образуется немного вакуума. Так механическая энергия струны передается воздуху — рождается звуковая волна, состоящая из попеременно уплотненного и разреженного воздуха, — и распространяется, словно круги по воде. Следовательно, звуковая волна — это не что иное, как ударная волна, передающаяся в физической среде, в нашем случае — в воздухе.

Скорость ее распространения зависит от среды и температуры. При температуре воздуха 15 °С она составляет примерно 340 метров в секунду. В других средах это происходит быстрее. В старых вестернах можно нередко увидеть сцены: индеец прикладывает ухо к земле или к рельсу и с загадочным видом сообщает о приближении всадников или поезда. Объяснить это просто: в твердой среде, такой как земля или камень, звук движется быстрее, чем в воздухе. Поэтому по земле топот лошадиных копыт разносится быстрее, чем по воздуху.



Когда энергия звуковой волны от гитарной струны достигает нашей головы, сначала она попадает во внешнее ухо, которое называют ушной раковиной. Этот нарост

на внешней стороне черепа улавливает и усиливает звуковые сигналы, особенно те, которые ближе к верхней границе частотного диапазона. Поэтому ухо весьма чувствительно к частотам человеческого голоса. Не в последнюю очередь из-за этого мы лучше слышим согласные и с их помощью проводим границы между словами. Без высокочастотных согласных мы воспринимали бы речь как бесконечный связный поток гласных и не смогли бы отделить одно слово от другого. Поэтому звуковые помехи так усложняют понимание речи: как правило, они затрагивают именно эти частоты.

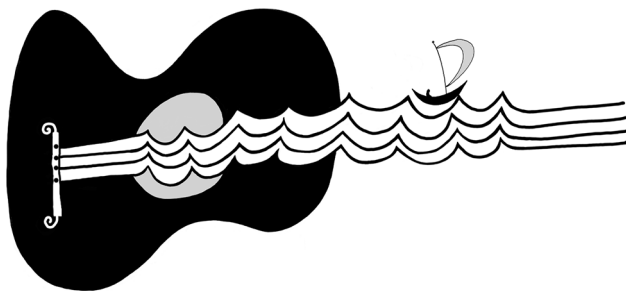
Из ушной раковины звуковые волны попадают в наружный слуховой проход. Он устроен так, что усиливает частоты, присущие человеческому голосу: канал сначала слегка сужается, а затем, ближе к барабанной перепонке, снова расширяется. Форма внешнего уха и слухового прохода способствует тому, что по пути от ушной раковины до барабанной перепонки давление звуковых волн увеличивается в 10 раз.

От энергии движения — к электрической энергии

На пути к нервной системе энергия гитарной струны перед тем, как стать электрической энергией, преобразуется сначала в волны в воздухе, затем в механическую энергию, а потом в волны в жидкости. Вот как это происходит.

Когда звуковые волны доходят до барабанной перепонки, она начинает двигаться, как кожа на барабанах, когда по нему бьют палочками. Это, в свою очередь, запускает движение косточки, расположенной с внутренней стороны барабанной перепонки, — молоточка, или по-латыни *malleus*. Молоточек прикреплен еще к одной

косточке, которую называют наковальней, или *incus*. А наковальня крепится к последней слуховой косточке — стремечку, или *stapes*. Поверхность стремечка — это лишь 1/16 часть поверхности барабанной перепонки. Таким образом, вся энергия переходит с барабанной перепонки в крошечную область — и потому возрастает во много раз. Кроме того, слуховые косточки усиливают звук, поэтому во внутреннем ухе энергия фокусируется еще лучше. Благодаря всему этому механическая энергия звуковой волны переходит во внутреннее ухо более эффективно. Человеческое ухо воспринимает колебания, размер которых не превышает диаметр одного атома водорода (наименьшего из атомов из всех химических элементов). Уму непостижимо! Так же невероятно, что наши уши продолжают работать на рок-концерте или возле работающего двигателя самолета: там уровень звукового давления составляет примерно от 130 до 140 децибел, что по силе в триллион раз превосходит порог слышимости — один децибел.



Косточка, расположенная из перечисленных глубже всего, — стремечко — прикреплена к овальному окну, напрямую связанному с улиткой (*cochlea*). Улитка — это система каналов, наполненных жидкостью и образующих почти три полноценных витка. Система разделена на три

полости, которые, соответственно, называются *барабанная лестница*, *средняя лестница* и *лестница преддверия*. Когда барабанная перепонка в слуховом канале колеблется под воздействием звуковой волны, стремечко бьет по овальному окну, как бы ставя на него печать. Так энергия переходит в волны в жидкости (эндолимфе) во внутреннем ухе. От стремечка ударная волна идет через первый канал, барабанную лестницу, к самой вершине улитки — а затем в следующий канал, лестницу преддверия, к круглому окну. Как и волны в воздухе, волны в эндолимфе имеют разную длину. Представьте, что вы вытряхиваете коврик. Если вы трясете его быстро (с высокой частотой), волны будут короткими и плотными, а если медленно, их длина увеличится.

В улитке есть чувствительные органы, реагирующие на различные частоты колебаний жидкости во внутреннем ухе. Вместе они называются Кортиев орган. Каждый из них состоит из двух слоев так называемых волосковых клеток, прикрепленных к желеобразной текториальной мембране. Параллельно ей вдоль всего канала идет базилярная мембрана. Когда колебания эндолимфы смещают относительно друг друга базилярную и текториальную мембраны, волосковые клетки в Кортиевом органе движутся. Это открывает ионные каналы волосковых клеток и стимулирует соответствующие нервные клетки — они подают электрический сигнал. Нервные клетки всех волосковых клеток Кортиева органа образуют слуховой нерв — он передает сигналы дальше.

Базилярная мембрана настроена следующим образом: у входа она более узкая и натянута сильнее, чем в кончике улитки. Поэтому высокие тоны дают резонанс ближе к выходу — мембрана при этом колеблется, в то время как низкие тоны дают резонанс ближе к вершине, где

базиллярная мембрана шире и натянута слабее. За каждую частоту отвечает отдельная область мембраны, из-за чего она напоминает клавиатуру: волны, соответствующие высоким, или высокочастотным, тонам, посылают электрические сигналы у входа, а волны, соответствующие глубоким басовым тонам, — на вершине улитки. Позже мы увидим, что такую организацию высоких и низких тонов (она называется *топтопия*) можно наблюдать вплоть до самой слуховой коры мозга.

В длину улитка составляет примерно 3,2 см и содержит около от 16 000 до 20 000 волосковых клеток. Они передают информацию в мозг посредством 32 000 нервных волокон, расположенных в слуховом нерве. Для сравнения: в сетчатке глаза около 100 миллионов сенсорных нейронов — от них информация переходит в нервные волокна (их около миллиона) зрительного нерва. Однако разница в цифрах ничего не говорит о том, какие впечатления и эмоции возникают в мозге благодаря этим органам. Спросите любителей музыки, и большинство из них уверенно ответит, что улитка — гораздо более важный орган.

