



Ультразвуковая вокализация и ее информативные параметры у животных и человека

Н.Н. Каркищенко, Ю.В. Фокин, Д.С. Сахаров, В.Н. Каркищенко,
Г.Д. Капанадзе, Д.Б. Чайванов¹

Научный центр биомедицинских технологий РАМН, Московская область

¹ – *Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва*

*Контактная информация: Каркищенко Николай Николаевич – академик РАН,
член-корреспондент РАМН, e-mail: niknik2808@yandex.ru.*

Впервые обнаружено, что ультразвуковая вокализация в состоянии покоя характерна всем исследованным нами лабораторным животным (мыши, крысы, хомяки, морские свинки, кролики, мини-свиньи, обезьяны), а также человеку. У людей эти феномены УЗВ ярче проявляются при физической и психоэмоциональной нагрузке. Наиболее адекватными животными, используемыми в качестве биомоделей в экспериментах по оценке функционального состояния методом анализа УЗВ, вероятно, являются хомяки и крысы. Ультразвук мышей характеризуется преобладанием частот в диапазонах 20-30 кГц и 45-60 кГц. Для кроликов, мини-свиней и хомяков характерна ультразвуковая вокализация частотой 20-25 кГц, в меньшей степени – 35 кГц; также хомяки способны излучать ультразвук частотой приблизительно 55 кГц. Основная частотная составляющая ультразвука макак резусов, крыс и морских свинок лежит в диапазоне 30-50 кГц с пиком в области 37-42 кГц. Спектральная плотность мощности ультразвука человека при физической нагрузке содержит пики небольшой амплитуды на частотах, приблизительно равных 20 кГц, 45, 55 кГц; также отмечается плато в диапазоне 60-80 кГц. Доминирование УЗВ в диапазоне 20-30 кГц отображает дистрессорное состояние, тогда как 50-55 кГц характеризуют, в зависимости от перераспределения характеристик спектральной плотности мощности, комфортное или дискомфортное состояние. Эти проявления характерны для всех исследованных нами животных и человека. Общая тенденция спектрограммы УЗВ человека характеризуется плавным гиперболическим снижением мощности сигнала по мере возрастания частоты. Способность человека и животных генерировать ультразвуковые колебания в сопоставимых диапазонах частот позволяет использовать информативные параметры УЗВ для экстраполяции результатов исследований на лабораторных животных в отношении человека.

Ключевые слова: ультразвуковая вокализация (УЗВ) у мышей, крыс, хомяков, морских свинок, кроликов, мини-свиней, обезьян и человека, УЗВ-коммуникации, спектральная плотность мощности УЗВ, вероятность встречаемости УЗ-сигналов, информативные параметры для экстраполяции на человека.

Ультразвук по своим физическим свойствам не отличается от воспринимаемого человеческим ухом слышимого звука. Однако ультразвук является высокоэффективным методом исследо-

вания различных веществ и явлений во многих областях физики, химии, биологии и медицины. Квантовая акустика изучает взаимодействие упругих волн и их квантов (фононы) с электронами, маг-

нонами и различными квазичастицами в твердых телах и жидкостях. Как и звук слышимого для человека диапазона, ультразвук являет собой упругие волны с частотами от 15-20 кГц ($1,5-2,0 \times 10^4$ Гц) до 1 ГГц (10^9 Гц). Ультразвуковые частоты подразделяются на три поддиапазона: ультразвук низких частот ($1,5 \times 10^4-10^5$ Гц) – УНЧ, ультразвук средних частот (10^5-10^7 Гц) – УСЧ и область высоких частот ультразвука (10^7-10^9 Гц) – УВЧ.

Отражение ультразвуковых сигналов от препятствий используется в эхолотах, гидролокаторах и других устройствах, построенных на основе эффекта Доплера. Наряду с применением в технике, методы ультразвуковых исследований широко используются в биологии и медицине. Физическая природа ультразвука включает в себя механические, тепловые и физико-химические явления, которые, в свою очередь, вызывают разнообразные и мощные биологические эффекты. При интенсивностях до 1-2 Вт/см² ультразвук способен активизировать обменные процессы в органах и тканях, улучшать кровоснабжение. Более высокие интенсивности могут приводить к разрушению белков, гликолипопротеидов, что используется в хирургической практике и локальных воздействиях на ткани организма.

Диагностическое значение ультразвуковых методов широко известно. Оно позволяет более тонко и с меньшим повреждением тканей, в сравнении, например, с рентгеновским облучением, обеспечивать диагностические процедуры с высокой разрешающей способностью. Наряду с этим, в последние годы начали изучать феномены ультразвуковой вокализации (УЗВ, УЗ-сигналы) лаборатор-

ных животных, но почти исключительно у мышей и крыс.

Биология ультразвука

Натуралисты прежних столетий описывали свойства эхолокации летучих мышей, не имея реальных данных о природе этого явления. Ладзаро Спалланцани и Шарль Жюрин еще в XVIII веке, на основании своих опытов, сделали вывод, что летучие мыши ориентируются по слуху. Хайрем Максим в 1912 г. высказал идею об активной звуковой локализации летучих мышей. В 1938 г. Г.Пирс, Д.Гриффин и Р. Галамбос расшифровали природу этого явления и зарегистрировали залпы ультразвуковых импульсов, позволяющие этим животным определять расстояние до различных предметов и скорости передвигающихся в воздухе насекомых. В дальнейшем было показано, что ультразвук распространяется направленным пучком, и летучая мышь сканирует ультразвуковым сонаром окружающие ее предметы.

Было установлено, что отражение ультразвуковых волн мало искажается, а шумы ветра, голоса других животных, техногенные ультразвуковые сигналы не влияют на эхолокацию летучих мышей. Характерно, что посылаемые летучими мышами ультразвуковые импульсы, укорачиваются при приближении к объекту, что исключает перекрывание конца импульса с началом его эха. Весьма важным является тот факт, что летучие мыши чаще всего реагируют на звуки, издаваемые особями того же вида, а меньше всего – на звуки, издаваемые особями другого вида. Это позволяет говорить о том, что эхолокация у летучих

мышей служит не только для ориентации в пространстве, но и в качестве передачи зоосоциальной информации.

Совершенно уникальным является аппарат эхолокации у дельфинов, которые издают звуки в крайне широком диапазоне – от инфранизких частот до более чем 200 кГц, охватывая 12 октав. Ни одно из живых существ на нашей планете не имеет такого диапазона. Как в дальнейшем выяснилось, ультразвуковые сигналы используются дельфинами не только для эхолокации, но и для коммуникации в виде УЗВ. Важным параметром УЗВ является интенсивность или громкость звука, которая служит мерой энергии звука. Акустическая коммуникация по своим возможностям занимает промежуточное место между оптической и химической, но, в отличие от них, она может действовать на большом расстоянии или в полной темноте, когда отсутствуют зрительные, тактильные и обонятельные контакты. Дальность передачи УЗВ определяется следующими факторами: интенсивностью и частотой сигнала, акустическими свойствами среды и порогами слуха животного или человека, принимающего этот сигнал.

Волны с частотой до 20 Гц ощущаются человеком как вибрации, но не воспринимаются как звуки. УЗВ с частотой выше 20 кГц недоступна уху человека, но воспринимается разными животными. Имеются данные, что человек все же способен воспринимать звуки и более 20 кГц, а, например, собаки прекрасно различают звук до 90 кГц. Другие авторы указывают, что собаки улавливают звуковые колебания лишь до 44 кГц, крысы – до 72 кГц, летучие мыши – до 115 кГц, слоны – до 12 кГц [1]. Акустиче-

ская коммуникация широко используется самыми разными животными, включая субприматов и приматов. Часто они используют характерный шумовой ритуал: барабнят руками по сухим веткам, торчащим корням деревьев, сопровождая эти действия криками, визгом и воем. Известно, что у дельфинов аппарат УЗВ имеет специальные воздушные мешки, которые используются ими для осуществления ультразвуковой коммуникации, поскольку у них отсутствуют голосовые связки. Другой механизм, но в своей основе имеющий ту же природу, используется гориллами. Шлепки полусогнутыми ладонями по предварительно наполненной воздухом груди являются возможным механизмом генерации УЗВ.

УЗВ как инструмент исследования лабораторных животных

Первое свидетельство о наличии УЗВ у лабораторных крыс и зоосоциально изолированных новорожденных мышат были описаны в 1954-1956 гг. [23], когда впервые были зарегистрированы звуковые сигналы на частотах 23-28 кГц. Частота и продолжительность УЗВ взрослых крыс имеют три различных вида, которые определяются возрастом животного, условиями окружающей среды и эмоциональным состоянием [13]. Взрослые крысы и подростки издают два основных вида ультразвуков, различающихся частотой пиковой энергии. Типичная или низкочастотная вокализация (22 кГц) имеет интервал частоты 18-32 кГц и изменяется по частоте только в пределах 1-6 кГц у этих животных [18, 19]. Звуки издаются в пределах 300-4000

мсек и дают шумовое давление 65-85 дБ [17, 19].

В отличие от взрослых крыс, новорожденные крысята издают ультразвуки при отъеме у матери в диапазоне 30-65 кГц [9, 12]. При этом график записи вокализации имеет U-форму или изгиб [9, 10, 12]. Крысята имеют 4 различных типа УЗВ, 3 из которых содержат 2 или 3 компоненты, которые делают их более сложными, чем простой свист [10]. Считается, что УЗВ крысят является призывом матери к проявлению заботы о потомстве. При этом установлено, что крысята, которых матери в младенчестве чаще вылизывали, проявляют меньше беспокойства при раздражении. Те же крысята, которых матери не вылизывали совсем, чаще всего не выжили. Таким образом, УЗВ крысят может быть использована для измерения эмоционального состояния животного, в том числе дистресса или страха. Измерение числа пиков в течение короткого периода времени (5 мин.) также может служить мерой дистресса (страха). УЗВ животных чувствительна к лекарствам с анксиолитическими свойствами. Возможно, они также различаются по другим классам лекарств [4, 7].

В отличие от крыс мыши редко издают звуки в неблагоприятных условиях, даже тогда, когда их берут в руки, удерживают, тянут за хвост, подвергают воздействию электрического тока. У мышей УЗВ проявляется в неагрессивных ситуациях или при спаривании [8, 13]. В отличие от крыс, УЗВ мышей не может быть использована для выявления положительного или отрицательного воздействия на животное. Функция УЗВ взрослых мышей обеспечивает способство-

вание или сдерживание зоосоциального взаимодействия [13].

Новорожденные мышата издают УЗВ при изоляции от матери или гнезда. УЗВ мышат до конца еще не изучена и имеет несколько интерпретаций. Традиционно считается, что УЗВ мышат вызвана дистрессом при отъеме у матери. В настоящее время выдвинута теория [6], что УЗВ мышат – это акустический побочный продукт ларингеального разлома, который является причиной абдоминальной компрессионной реакции, что повышает поток крови, возвращаемой в сердце. Абдоминальная компрессионная реакция появляется в ответ на холод, или если мышенок выпал из гнезда или рук человека во время эксперимента. Таким образом, УЗВ является последовательностью движений, связанных с внешним воздействием, и не связана со звуковой коммуникацией с матерью [6]. Однако, независимо от этого, мать слышит детеныша, и УЗВ мышонка выполняет коммуникационные функции [13, 19]. Было найдено, что УЗВ мышонка обеспечивает стимул для матери проверить его. При этом отклик матери на УЗВ мышонка более быстрый, чем на другие звуки, издаваемые другими мышами, а отклик кормящей матери на УЗВ мышонка более быстрый, чем просто самки мышей, имеющей детенышей [6, 13].

Цели, материалы и методы исследований

Мелкие грызуны являются наиболее распространенными лабораторными животными, используемыми в биомедицинских исследованиях, неврологии и экспериментальной психологии для изучения

основных механизмов, определяющих эмоциональные и мотивационные функции. Их исследование обычно опирается на изученные поведенческие особенности. Кроме того, предполагающиеся мотивационные и эмоциональные состояния, как правило, основываются на физиологических величинах – таких как частота сердечных сокращений, выделение кортикостерона или активность мозга.

Помимо этих величин, информативные данные о животных могут быть получены путём измерения их вокализации, существенная часть которой представлена в ультразвуковом диапазоне. Эта ультразвуковая вокализация является поведенчески важной, по крайней мере, по двум причинам: во-первых, она может служить мерой оценки текущего состояния животных, а во-вторых, вероятно, является важной коммуникативной особенностью, которая должна приниматься во внимание при анализе различных зоосоциальных аспектов (спаривание, кормление, агрессия, защита и т.д.) [2, 17].

Цель исследования. Поскольку в доступной нам литературе отсутствуют сообщения об установлении ультразвуковой вокализации у крупных лабораторных животных и человека, то целью настоящего исследования явилось изучение возможности регистрации УЗВ у различных видов животных (мыши, крысы, хомяки, морские свинки, кролики, мини-свиньи, обезьяны) и человека, а также анализ этих колебаний для выделения информативных и экстраполяционных параметров.

Регулирующие стандарты. Исследования выполняются согласно Правилам лабораторной практики в Российской Федерации (Национальный стан-

дарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009 «Принципы надлежащей лабораторной практики», Федеральный закон от 12.04.2010 N 61-ФЗ «Об обращении лекарственных средств»). Эксперименты на животных проводились в соответствии с правилами, принятыми Европейской Конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и иных научных целей (European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and other Scientific Purposes (ETS 123). Strasbourg, 1986). Исследования выполнялись согласно утвержденному письменному протоколу, в соответствии со Стандартными операционными процедурами исследования (СОП), санитарными правилами по устройству, оборудованию и содержанию экспериментально-биологических клиник (вивариев), а также с Руководством по лабораторным животным и альтернативным моделям в биомедицинских исследованиях [3]. Протокол эксперимента был разработан при участии и одобрении биоэтической комиссии НЦБМТ РАМН.

Дизайн и организация исследования направлены на определение индивидуальных УЗВ-параметров у животных и человека и выявление взаимосвязи с их видом, физиологическим и клиническим состоянием. Количество объектов, принимающих участие в исследовании, достаточно для полной регистрации изучаемого эффекта.

Мышей, крыс и хомяков содержали в микроизоляторной системе Rair IsoSystem по 10 голов, морских свинок – индивидуально. Животные соответствовали категории SPF. Кролики содер-

жались в индивидуальных клетках батарейного типа на решетчатых полах. Мини-свиньи содержались в индивидуальных станках. В качестве подстила для всех видов животных использовали стерильные древесные опилки. Обезьяны содержались в индивидуальных клетках-вольерах из нержавеющей стали.

Для мелких лабораторных животных использовали стандартный комбикорм гранулированный полнораціонный для лабораторных животных (экструдированный) ПК-120 ГОСТ Р 51849-2001 Р.5. Для мини-свиней использовали комбикорм ПК-58, обезьян кормили по рациону, принятому в НЦБМТ РАМН. Водопроводная очищенная вода всем животным давалась вволю в стандартных поилках. Животные содержались в контролируемых условиях окружающей среды: температура воздуха 18-22°C и относительная влажность 60-70%. Освещение в помещениях – естественно-искусственное. Вновь прибывшие животные находились на карантине 7 дней в клетках.

В настоящем эксперименте, который проводился на базе НЦБМТ РАМН, были использованы самцы и самки: крысы линии WAG/GY трёхмесячного возраста; хомяков линии BSto шестимесячного возраста; генномодифицированных мышей линии B10.GFP в возрасте 4-6 месяцев; морских свинок в возрасте 4-6 месяцев; кроликов породы Советская шиншилла в возрасте 6 месяцев; а также мини-свиньи светлогорской популяции трёхмесячного возраста (самцы); макаки резусы в возрасте 8-10 лет (самцы). Наряду с этим, исследованию подверглись клинически здоровые волонтеры в возрасте 20-25 лет.

Регистрация УЗВ. Ультразвуковые волны фиксировались с помощью специальных микрофонов системы Sonotrack (Mertis B.V., Нидерланды). Микрофоны устанавливались дистантно, на расстоянии 20-25 см от головы животных или человека. Частота дискретизации составляла 200 кГц, сигнал записывался в цифровом формате. Регистрацию ультразвуковых колебаний у каждого животного в состоянии покоя осуществляли в течение 30 минут. Регистрация ультразвука у человека была наиболее оптимальной при физической нагрузке (серия приседаний или отжиманий от пола, циклическое поднятие и опускание гантелей на вытянутых руках).

Обработка материалов. После удаления физических артефактов (монотонных шумов), осуществляли спектральный анализ ультразвука с использованием процедуры быстрого преобразования Фурье в частотной полосе от 20 до 100 кГц с помощью пакета программ MATLAB-5.5 методом Уэлча (функция *rwelch*). Эпоха анализа составляла 10 мс, размерность быстрого преобразования Фурье (*Nfft*) – 2000 интервалов. После вычислений *спектральной плотности мощности* (СПМ) находились медианы по каждой частоте, учитывая все эпохи анализа в эксперименте для каждого животного и человека. Кроме того, отдельно вычислялись медианы значений спектра по всей частотной полосе (20-100 кГц), и для каждой частоты осуществлялось суммирование числа случаев, когда СПМ была выше этой «общей» медианы. При анализе СПМ УЗВ по группе животных одного вида, определялись медианы каждой частоты по всем записям у этих животных. Оце-

нивалось число случаев (в процентах), когда каждая из анализируемых частот присутствовала в записи в течение эксперимента. В отдельных исследованиях измерялась мощность интервалов УЗВ в логарифмической шкале в дБ/Гц. В остальных случаях нам представилось более наглядным выражать значения спектральной плотности мощности (СПМ) в виде безразмерных коэффициентов ($K_{\text{СПМ}}$), рассчитанных как отношение СПМ к фону окружающей среды.

Информативные параметры УЗВ лабораторных животных

Оценивая количество эпизодов от общего времени каждого эксперимента, в которых регистрировался ультразвук, можно построить ряд, состоящий из животных и человека. Поставив в данном ряду на первое место животных, у которых ультразвуковая вокализация обнаруживалась наиболее часто, а остальных – расположив по убыванию вероятности регистрации ультразвука, получим следующую цепочку: хомяки → крысы → мыши → морские свинки → мини-свиньи → кролики → обезьяны → человек.

Анализ СПМ УЗВ мышей показал, что максимум значений СПМ ($K_{\text{СПМ}} = 3,5$) отмечался на частоте около 20 кГц (рис. 1А). Кроме того, имелись дополнительные пики СПМ в области 31-32 кГц ($K_{\text{СПМ}} \approx 2,6$) и в полосе 50-58 кГц ($K_{\text{СПМ}} \approx 2,3-2,6$). Минимум значений СПМ приходился на частоту около 41 кГц ($K_{\text{СПМ}} \approx 1,8$). По характеру распределения числа случаев обнаружения ультразвука видно, что чаще всего ре-

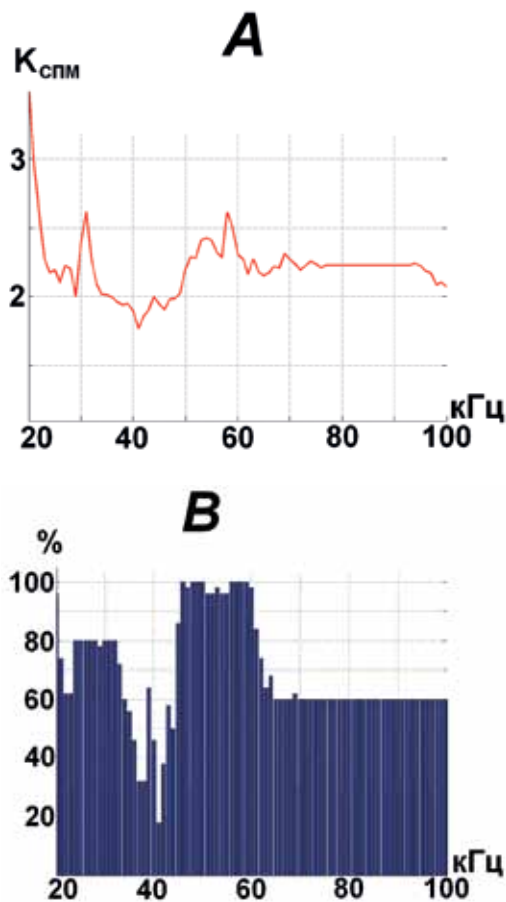


Рис 1. Ультразвуковая вокализация мышей. А – график спектральной плотности мощности (СПМ) УЗВ. По оси абсцисс – частота (кГц), по оси ординат $K_{\text{СПМ}}$. В – распределение числа случаев обнаружения ультразвука. По оси абсцисс – частота, кГц; по оси ординат – число случаев, %.

гистрировались колебания 45-60 кГц, реже всего (18-19% случаев) – колебания около 42 кГц (рис. 1В). Мощность УЗ-сигнала прямо пропорциональна частоте его встречаемости.

У хомяков мощность основного пика СПМ ($K_{\text{СПМ}} \approx 9$) приходится на частоту около 22 кГц, также пики мощности зафиксированы в диапазоне 40-60 кГц (рис. 2А) с максимумом мощности в области 55 кГц ($K_{\text{СПМ}} \approx 5,3-5,4$). Далее

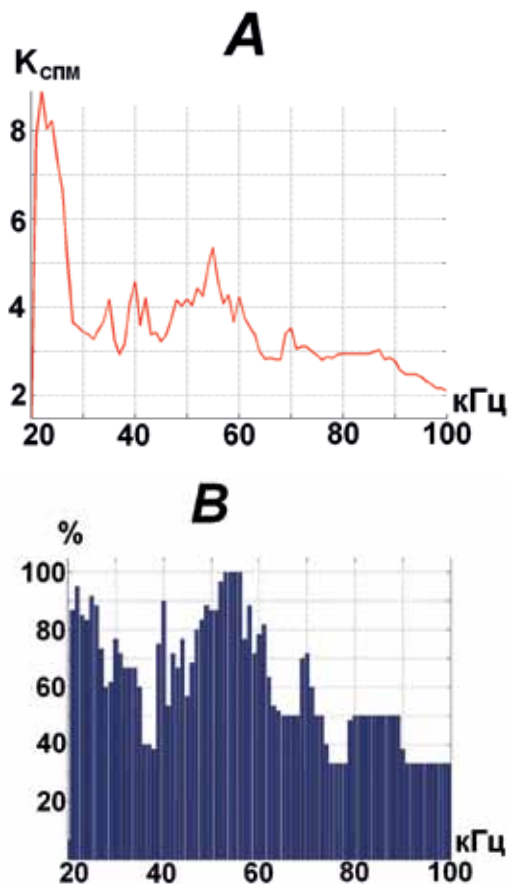


Рис 2. Ультразвуковая вокализация хомяков. А – график спектральной мощности. В – распределение числа случаев обнаружения ультразвука. Остальные обозначения см. рис.1.

СПМ ультразвука снижалась с нарастанием частоты. Минимум значений СПМ приходится на 20 кГц ($K_{СПМ} < 2$). Согласно анализу числа случаев обнаружения ультразвука (рис. 2В), частотный диапазон 53-57 кГц встречается с наибольшей вероятностью (100% случаев), а области 74-78 и 91-100 кГц – с наименьшей (≈ 32 -33% случаев), т.е. данные показатели также согласованы.

Анализ СПМ УЗВ крыс (рис. 3А) показал, что основные пики мощности приходятся на частотный диапазон 23-39 кГц,

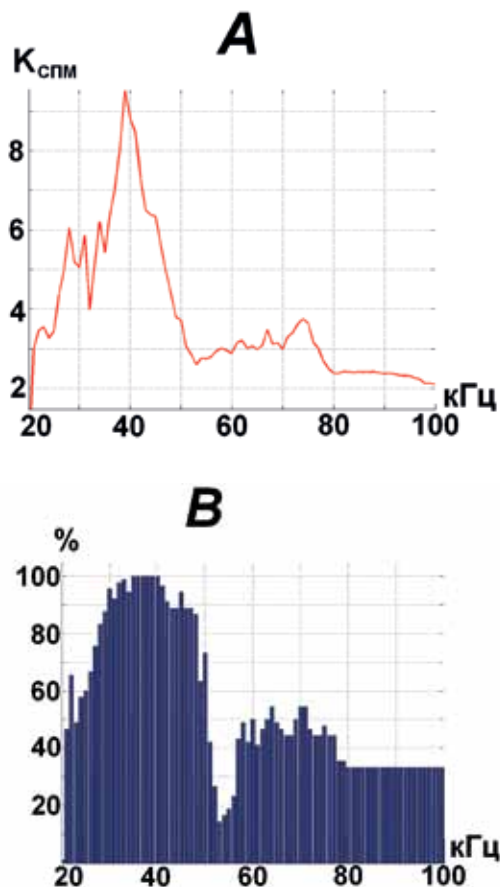


Рис 3. Ультразвуковая вокализация крыс. А – график спектральной мощности. В – распределение числа случаев обнаружения ультразвука. Остальные обозначения см. рис.1.

с максимумом значений в его конечной точке ($K_{СПМ} > 9$). Дополнительные низкоамплитудные пики встречаются в диапазоне 53-75 кГц, после чего мощность сигнала падает с нарастанием частоты. Минимальное значение мощности ($K_{СПМ} < 2$) зафиксировано в районе 20 кГц. Согласно картине распределения числа случаев обнаружения УЗВ, диапазон 35-41 кГц является наиболее встречаемым (100% случаев), в области 21 кГц ультразвук фиксируется примерно лишь с одним процентом вероятности (рис. 3В). Мощность

УЗ-сигнала прямо пропорциональна частоте его встречаемости.

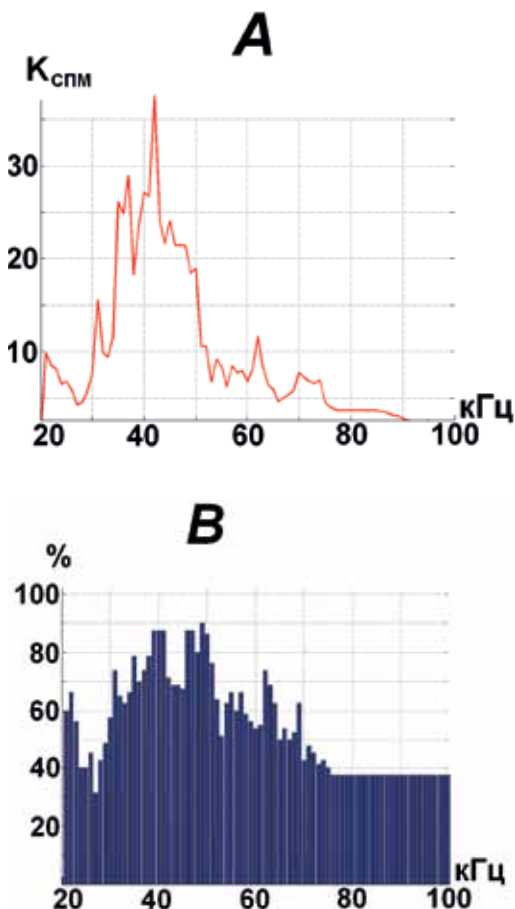


Рис 4. Ультразвуковая вокализация морских свинок. А – график спектральной мощности. В – распределение числа случаев обнаружения ультразвука. Остальные обозначения см. рис.1.

Ширина пика СПМ морских свинок приходится на диапазон 21-42 кГц, т.е. также составляет около 20 кГц. Пик СПМ – в конце диапазона ($K_{\text{СПМ}} > 35$). Низкоамплитудные пики СПМ встречаются в области 62, 70-75 кГц, после чего мощность так же падает, как и в вышеописанном случае (рис. 4А). Минимум значений СПМ ($K_{\text{СПМ}} < 2$) приходится на частоту 20 и диапазон частот 92-100 кГц. В 90% случаев в вокализации мор-

ских свинок встречается частота 48-49 кГц (максимум), а 21 кГц – аналогично предыдущему описанию, лишь в 1-2% случаев (минимум). Данные показатели согласованы (рис. 4В).

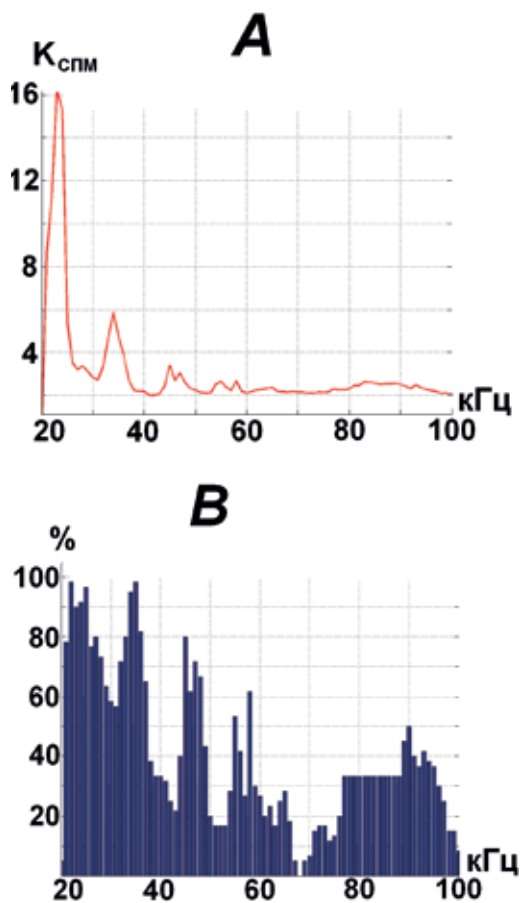


Рис 5. Ультразвуковая вокализация кроликов. А – график спектральной мощности. В – распределение числа случаев обнаружения ультразвука. Остальные обозначения см. рис.1.

Характерной особенностью ультразвука кроликов было наличие в нем большой СПМ ($K_{\text{СПМ}} = 16$) в области 23-24 кГц (рис. 5А). Также отмечался пик в области 35 кГц, а далее СПМ ультразвука снижалась с нарастанием частоты. Минимум значений СПМ отмечался около 20 кГц ($K_{\text{СПМ}} < 2$), а также 42, 60,

73 и 100 кГц ($K_{\text{СПМ}} \approx 2$). Наиболее часто встречались колебания в районе 22-23 кГц (примерно 98% случаев), не удавалось зарегистрироваться частоты около 67-68 кГц (рис. 5В). Соответствие мощности УЗ-сигнала частоте его встречаемости – частичное.

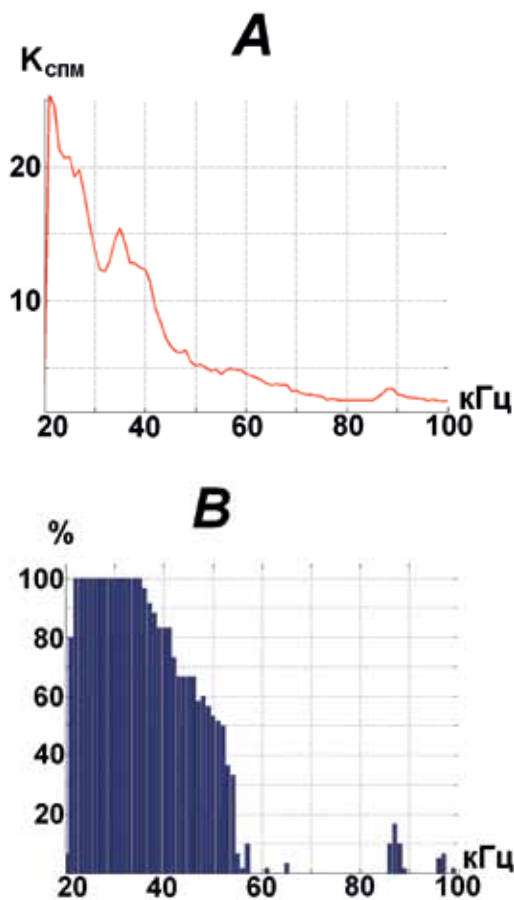


Рис 6. Ультразвуковая вокализация мини-свиней. А – график спектральной мощности. В – распределение числа случаев обнаружения ультразвука. Остальные обозначения см. рис.1.

Анализ СПМ ультразвука мини-свиней показал, что максимальные значения СПМ ($K_{\text{СПМ}} = 25-26$) приходились на частоту около 21-22 кГц (рис. 6А), также имелись дополнительные пики в области 27-28 кГц ($K_{\text{СПМ}} = 20$) и

35 кГц ($K_{\text{СПМ}} \approx 16$). Далее, как и у кроликов, СПМ ультразвука снижалась с нарастанием частоты. Наиболее часто регистрируемый частотный диапазон – 21-37 кГц (100% случаев), а в областях 58-61, 62-65, 66-87, 89-96, 97-98 и 99-100 кГц ультразвук вообще не встречался (рис. 6В). Частота встречаемости УЗ-сигнала в данном случае напрямую связана с его мощностью.

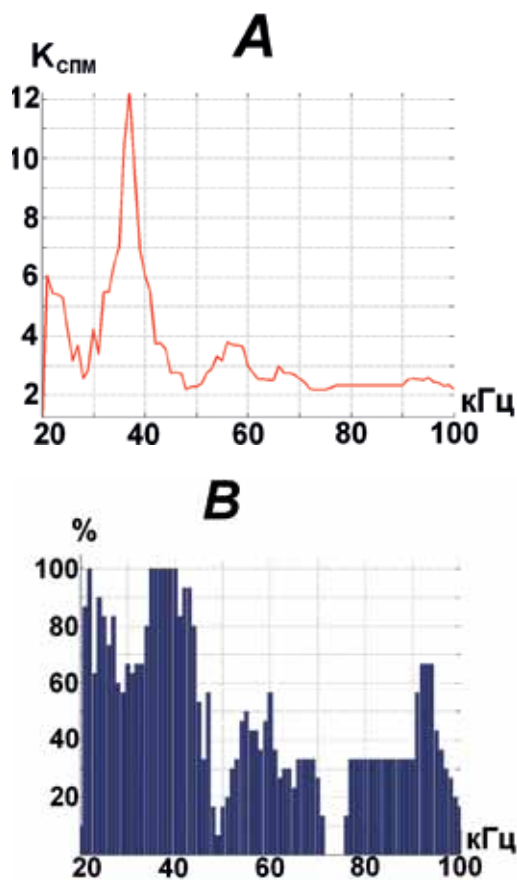


Рис 7. Ультразвуковая вокализация обезьян. А – график спектральной мощности. В – распределение числа случаев обнаружения ультразвука. Остальные обозначения см. рис.1.

Для ультразвука, излучаемого макаками резусами, характерно наличие основных пиков СПМ в диапазоне ~ 20-

40 кГц, с максимумом ($K_{\text{СПМ}} > 12$) в области 37-38 кГц (рис. 7А). Имеются низкоамплитудные пики СПМ ультразвука в диапазоне ~ 48-67 кГц, после чего мощность сигнала падает с возрастанием частоты. Минимум значений СПМ зафиксирован в районе 20 кГц ($K_{\text{СПМ}} < 2$). Распределение числа случаев обнаружения ультразвука (рис. 7В) показало, что чаще всего в вокализации данных животных встречаются частоты 22 и 35-41 кГц (100% случаев), реже всего – в области 72-76 кГц (0%). Таким образом, прослеживается частичная зависимость двух вышеописанных показателей.

Информативные параметры УЗВ человека

СПМ УЗВ человека при физической нагрузке характеризуется постепенным снижением этого показателя с нарастанием частоты (рис. 8А), однако отмечаются пики небольшой амплитуды на частотах в области 22 (максимальный $K_{\text{СПМ}} > 6$), 45, 57 кГц, а также повышение мощности и возникновение плато в диапазоне 60-80 кГц. Минимум значений СПМ зафиксирован на частоте 20 кГц ($K_{\text{СПМ}} \approx 2$). Пики на спектрограмме также соответствуют вероятности обнаружения ультразвука сопоставимых частот (рис. 8В), где области 46-48 кГц и 56-58 кГц встречаются в 100% случаев, а 21 кГц – примерно в 8%.

При анализе графика СПМ УЗВ человека можно заметить определенное сходство с аналогичными картинками УЗВ у разных животных. В значительной степени профиль СПМ УЗВ человека совпадает в диапазоне 20-30 кГц с таковыми изменениями у мышей, хомяков,

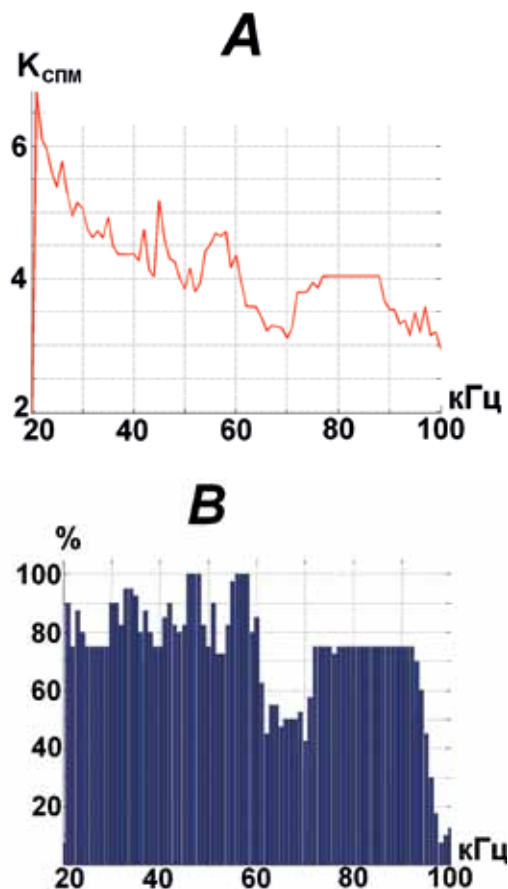


Рис 8. Ультразвуковая вокализация человека. А – график спектральной мощности. В – распределение числа случаев обнаружения ультразвука. Остальные обозначения см. рис.1.

кроликов и мини-свиней. В то же время отдельные элементы графиков СПМ УЗВ крыс, морских свинок, обезьян совпадают с СПМ УЗВ человека в диапазоне около 40 кГц. У человека и всех исследованных животных имеются совпадения в диапазоне около 60 кГц. Подобные совпадения УЗВ человека и животных создают экстраполяционную привлекательность, но требуют серьезного анализа физических процессов, лежащих в основе УЗВ, и их дальнейшей физиологической и психоэмоциональной интерпретации.

Изменение параметров УЗВ при стрессе

Нами были проведены исследования, целью которых являлось изучение влияния иммобилизации, электрокожного раздражения и физической нагрузки как факторов стресса для лабораторных крыс на ультразвуковую вокализацию животных и оценка длительности стресс-периода [5]. Были получены следующие результаты: при иммобилизации (создавалась путем помещения крысы на 2 часа в узкий пластиковый пенал с отверстием для дыхания, исключающий возможность каких-либо движений туловища в нем) животным было характерно преимущественное отсутствие вокализации (табл. 1). Данный эффект,

апазоне 30-60 кГц по сравнению с фоновыми значениями, видимо, является следствием дискомфортного состояния, приближающегося к болевому порогу. По истечении полутора часов, для крыс были характерны отсутствие вокализации в диапазонах 20-30 и 30-60 кГц, а также (в половине случаев) ультразвуковые колебания в последнем диапазоне, значения которых приблизительно соответствуют состоянию комфорта. На основании данного факта, можно сделать вывод о том, что в этот период времени у животных наблюдается ослабление дистресса, они постепенно приходят в норму, но у них все еще отмечаются остаточные эффекты психоэмоционального шока.

Таблица 1

Иммобилизация крыс (в течение 2 часов)

Группа животных	Функциональное состояние	Интервал нахождения медиан ультразвуковых частот, кГц		
		20-30	30-60	60-80
Самцы	Комфорт	—	37,18	—
	Иммобилизация	25,38	—	—
	Последствие через 1,5 часа	—	36,99	—
Самки	Комфорт	—	39,85	—
	Иммобилизация	—	—	—
	Последствие через 1,5 часа	—	—	—

связанный с замиранием животных, а также появление ультразвуковых частот в диапазоне 20-30 кГц свидетельствуют о том, что они испытывают чувства волнения и тревоги.

Превышение в единичном случае уровня ультразвуковых колебаний в ди-

Результаты, отражающие влияние физической нагрузки (передвижение животного на вращающемся вале со скоростью 9-12 об/мин, поднятом на высоту 15 см от пола, состоящего из стальных стержней, на которые подавалось постоянное напряжение 25-35 В; длитель-

ность эксперимента составляла 40-50 минут с момента научения животного, т.е. прекращения падений с вала, окончание его определялось визуально, по снижению выносливости и физической усталости крысы, расслабляющей мышцы и падающей на электрический пол камеры), показали, что в данном функциональном состоянии у животных отмечается отсутствие ультразвука во всех диапазонах, кроме 30-60 кГц (табл. 2).

Наиболее информативными, на наш взгляд, в данном эксперименте явились результаты изучения стрессового влияния электрокожного раздражения, которое создавалось пульсирующим током такой величины, чтобы крыса не издавала звука в слышимом диапазоне (до 15 кГц). Стимуляцию осуществляли 10 минут, в течение которых крыса находилась под постоянным наблюдением. Они показали появление у обеих групп жи-

Таблица 2

Физическая нагрузка (в среднем, 45 минут)

Группа животных	Функциональное состояние	Интервал нахождения медиан ультразвуковых частот, кГц		
		20-30	30-60	60-80
Самцы	Комфорт	–	37,18	–
	Физ. нагрузка	–	52,08	–
	Последействие через 1,5 часа	–	36,98	–
Самки	Комфорт	–	39,85	–
	Физ. нагрузка	–	55,07	–
	Последействие через 1,5 часа	–	38,17	–

Усиление вокализации в данном интервале по сравнению с фоновыми значениями свидетельствовало о том, что интенсивная физическая нагрузка (не характерная для обычной жизни исследуемых животных) является для них стресс-фактором и вызывает дискомфорт. Через 1,5 часа после окончания эксперимента отмечалось уменьшение медиан частот в диапазоне 30-60 кГц и возвращение их к значением, характерным для состояния спокойного бодрствования, что позволило судить о том, что влияние данного стресса в это время, видимо, практически прекращается.

вокализации в диапазонах 20-30 и 60-80 кГц (табл. 3). Значения медиан частот в диапазоне 30-60 кГц превысили таковые в состоянии спокойного бодрствования, что, видимо, свидетельствовало о дискомфорте у животных, а наличие данных в диапазоне от 60 кГц – о превышении болевого порога. Преимущественное отсутствие вокализации в послестрессовый период и некоторое превышение значений медиан частот (в двух случаях) по сравнению с фоновыми числовыми значениями говорит, вероятно, о том, что животные, уже не испытывающие ударов током, продолжали находиться в тревожном и стрессовом состоянии.

Таблица 3

Электрокожное раздражение (до вокализации в слышимом диапазоне)

Группа животных	Функциональное состояние	Интервал нахождения медиан ультразвуковых частот, кГц		
		20-30	30-60	60-80
Самцы	Комфорт	–	37,18	–
	Эл. раздражение	25,68	43,33	63,30
	Последействие через 1,5 часа	–	40,28	–
Самки	Комфорт	–	39,85	–
	Эл. раздражение	27,71	46,40	65,09
	Последействие через 1,5 часа	–	–	–

Согласно результатам спектрального анализа (рис. 9) эксперимента по электрокожному раздражению, основные изменения в ультразвуке, излучаемом крысами в состоянии комфорта, непосредственно при раздражении и через 1,5 ч после возвращения подопытных к обычным условиям, наблюдались в полосе 20-80 кГц. В состоянии спокойно-бодрствования (комфорта) для крыс наиболее распространены были колебания 25-45 кГц, с пиком СПМ в области 38-39 кГц (-30 дБ/Гц), минимальные значения СПМ отмечались в диапазоне 80-100 кГц (> -36 дБ/Гц). При действии электрического тока СПМ в диапазоне 25-42 кГц снижалась, однако отмечалось повышение этого показателя в областях 25, 28 и 45-53 кГц, с пиком около 25 кГц (< -26 дБ/Гц). Анализ СПМ спустя 1,5 часа после выключения тока показал отсутствие преобла-

дающих частот в спектрограмме ультразвука, кроме того, мощность сигнала в последствии тока характеризовалась низкими значениями (примерно -36 дБ/Гц и более).

Статистически достоверных различий медиан и СПМ УЗВ у крыс при моделировании и иммобилизации физической нагрузки, электрокожного раздра-

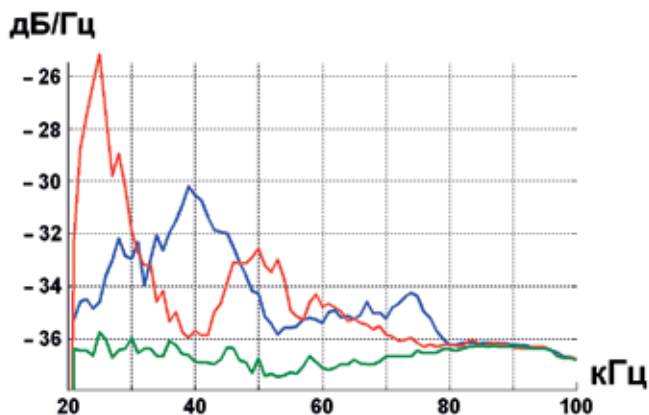


Рис 9. График спектральной мощности ультразвука у крыс в различных условиях. По оси абсцисс – частота, кГц; по оси ординат – спектральная плотность мощности в логарифмической шкале, дБ/Гц. Синяя линия – исходное состояние спокойно-бодрствования, красная – СПМ УЗВ при электрокожном раздражении, зеленая линия – изменение СПМ УЗВ спустя 1,5 часа после электрокожного раздражения.

жения и иных видов стрессорного воздействия в диапазоне 80-100 кГц в сравнении со спокойным бодрствованием обнаружено не было. Поэтому в табл. 1-3 эти данные не приводятся. Для сравнения см. график на рис. 9, с реальными значениями в дБ/Гц.

Изменение параметров УЗВ при агрессии и тревоге

Установив, что различные функциональные, стрессовые и др. состояния оказывают влияние на вокализацию животных в ультразвуковом диапазоне, нами был также проведен опыт по изучению вокализации крыс в состоянии агрессии и тревоги (т.н. «бой самцов»). Эксперимент проводился на 2 пятимесячных самцах крыс линии WAG/GY. Животные помещались в клетку с электризованным полом, и в течение 5 минут записывалась их вокализация в обычном

(комфортном) состоянии. Затем, в этой же клетке, с помощью подачи тока (25-35 В) добившись агрессивного поведения самцов по отношению друг к другу, записывали ультразвук (одним микрофоном у двух самцов одновременно).

СПМ ультразвука в состоянии «боя самцов» по сравнению с состоянием комфорта (рис. 6А) характеризовалась ростом этого показателя на несколько порядков в диапазонах 20-30 и 45-70 кГц (рис. 10), с пиком в области 22-23 кГц (СПМ = -10 дБ/Гц). Наименьшие значения СПМ в данном состоянии зафиксированы около 97-100 кГц (> -35 дБ/Гц).

Интерпретация результатов и возможные механизмы УЗВ

Охарактеризовав исследованные объекты (животных и человека) по количеству эпизодов, в которых регистрировался ультразвук в эксперименте, и, выстроив убывающий ряд, где на первом месте находятся хомяки, а на последнем – человек, можно сделать заключение о том, что для подобных исследований, опирающихся на анализ ультразвуковой вокализации, наиболее адекватными и информативными объектами изучения являются хомяки и крысы, т.к. эти животные издают УЗВ чаще других.

Анализ СПМ ультразвука показал, что данные эксперимента можно условно разделить на 4 группы по графическому сходству из-

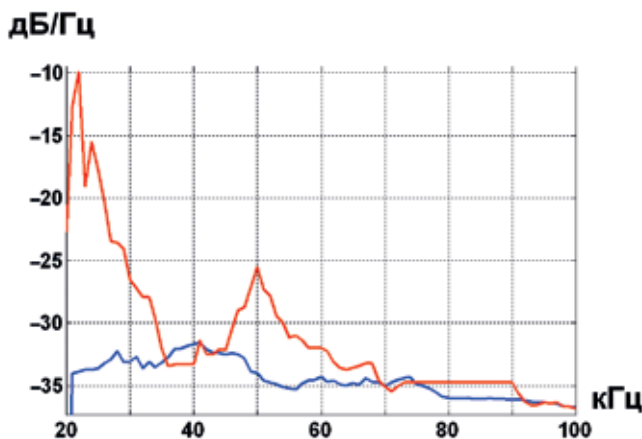


Рис 10. График изменения спектральной мощности ультразвука у крыс в состоянии «боя самцов». По оси абсцисс – частота, кГц; по оси ординат – спектральная плотность мощности в логарифмической шкале, дБ/Гц. Синяя линия – исходное состояние спокойного бодрствования, красная – спектральная плотность мощности во время «боя самцов».

менений. Первая группа данных включает результаты, полученные от мышей. Во вторую группу мы отнесли результаты, зафиксированные у кроликов, мини-свиней и хомяков. Общность изменений также характерна и для ультразвуков, излучаемых макаками резусами, крысами и морскими свинками (третья группа результатов). К четвертой группе нами был отнесен человек.

Охарактеризовав животных и человека по мощности ультразвукового сигнала и сгруппировав данные по убыванию этого признака, получим следующий ряд: морские свинки → мини-свиньи → кролики → обезьяны → крысы → хомяки → человек → мыши. Таким образом, морские свинки, например, издают небольшое количество ультразвуковых сигналов в состоянии спокойного бодрствования, но они – наиболее мощные. А ультразвуковая вокализация мышей в сходном состоянии практически не выражена или отсутствует. Данный факт подтверждает имеющиеся сведения о том, что вокализация мышей обычно связана с состоянием, отличным от состояния спокойного бодрствования, размножением и т.д. (т.е. в покое не наблюдается) и условно разделяется на 2 вида – «40-кГц» и «70-кГц» – вокализация [16]. Мощность УЗВ-сигнала мини-свиней, возможно, коррелирует с таковой звука в слышимом диапазоне в силу их видовых особенностей («шумные» животные), встречаемости кратных частот и т.д.

Анализ СПМ ультразвука крыс подтвердил литературные данные о том, что этим животным характерна т.н. «22-кГц ультразвуковая вокализация» (диапазон 20-30 кГц), и, в силу того, что исследо-

вания связаны с транспортным стрессом, возможно, она является моделью изучения тревожного состояния взрослых крыс, вызывающего страх [14].

Мы полагаем, что вероятность регистрации УЗВ коррелирует с остротой слуха животных, поэтому редкость встречаемости частот в области 75-100 кГц связана с тем, что большинство животных этих звуков не слышит и, соответственно, не воспроизводит [1].

Анализируя результаты эксперимента с электрокожным раздражением, можно сделать вывод о том, что данный стресс-фактор усиливает ультразвуковую вокализацию крыс, что соответствует результатам опыта, проведенного M.Weber, G.Paxinos и R.Richardson [15]. Оценивая результаты наших экспериментов с «боем самцов», можно сказать о том, что частота ультразвуковой вокализации, равная приблизительно 50 кГц, связана со стрессовым состоянием данных животных, что также подтверждает имеющиеся сведения [13].

Доказано, что ультразвуковая вокализация в интервале частот 20-30 кГц отражает отрицательные состояния, сходные со страхом и унынием у человека [11, 18, 19]. Высокочастотная вокализация (50 кГц) имеет частоту пика энергии 32-96 кГц, звуки имеют узкий диапазон (1-7 кГц), но более короткую длительность (30-50 мсек), чем 22 кГц вокализация [18, 19]. Выделяют два подтипа 50 кГц-вокализации. Первый из них связан с приятными ощущениями (юношеские игры, спаривание, еда, электростимуляция мозга и др.), второй, напротив, – с отрицательной стимуляцией (запах кота, звук шагов, яркий свет). 50-кГц вокализация может быть индикатором

комфортных и дискомфортных состояний второго типа, представляющим гомологию радости человека [18].

Появляется все больше данных о том, что УЗВ крыс полностью зависит от ситуации, опыта животного и может отражать его различные эмоциональные состояния. В частности, УЗВ взрослых крыс наблюдается в ожидании искусственного вознаграждения, фармакологического воздействия или при электростимулировании медиального пучка переднего мозга [4, 9]. Предполагается, что УЗВ такого рода отражает положительное аффективное состояние, сродни радости у человека [9, 12].

Наряду с попытками физиологической интерпретации механизмов УЗВ [6, 11, 16, 17, 19], в самое последнее время появились сообщения о молекулярно-генетических механизмах восприятия и генерации ультразвука млекопитающими. Группа ученых [20, 21, 22] из Мичиганского и Лондонского университетов изучили изменения синтеза белка престина, а также генов, ответственных за этот процесс, под воздействием ультразвука. В этих условиях престин способен удлинять волоски клеток улитки внутреннего уха и, вследствие этого, усиливать звуковой сигнал определенной частоты. Были использованы гены, отвечающие за синтез престина у 25 различных видов млекопитающих (дельфины, собаки, коровы, мыши, свиньи, кошки, летучие мыши). Хотя в этой группе только летучие мыши, киты и дельфины способны к ориентированию с помощью эхолокации, у всех животных имеется определенная схожесть гена престина.

Однако, несмотря на то, что летучие мыши и дельфины произошли в ходе

эволюции от совершенно разных животных, они оказались ближайшими родственниками по генетическому коду престина. Дело в том, что в процессе конвергентной молекулярной эволюции как у китов, так и у летучих мышей происходила замена одних и тех же аминокислот в молекуле престина до такой степени, что они приобрели большое сходство и похожий современный вид. Для нас существенно важно, что одним из выводов этих исследователей является способность престина, содержащего весьма ограниченное количество аминокислотных последовательностей, активно функционировать для усиления ультразвуковых колебаний.

Таким образом, животные и человек способны генерировать сигналы в ультразвуковом диапазоне. Нами установлены сходства и различия информативных параметров УЗВ, которые позволяют использовать УЗВ как инструмент при моделировании разнообразных психоэмоциональных состояний, включая стрессорное воздействие, а также для исследования эффектов фармакологических средств. Полученные данные позволяют осуществлять экстраполяцию результатов исследований на лабораторных животных в отношении человека.

Выводы

1. Ультразвуковая вокализация в состоянии покоя характерна всем исследованным нами лабораторным животным (мыши, крысы, хомяки, морские свинки, кролики, мини-свиньи, обезьяны), а также человеку, но у людей эти феномены УЗВ ярче проявляются при физической и психоэмоциональной на-

грузке.

2. Наиболее адекватными животными, используемыми в качестве биомodelей в экспериментах по оценке функционального состояния методом анализа УЗВ, вероятно, являются хомяки и крысы.

3. Ультразвук мышей характеризуется преобладанием частот в диапазонах 20-30 кГц и 45-60 кГц.

4. Для кроликов, мини-свиней и хомяков характерна ультразвуковая вокализация частотой 20-25 кГц, в меньшей степени – 35 кГц; также хомяки способны излучать ультразвук частотой приблизительно 55 кГц.

5. Основная частотная составляющая ультразвука макак резусов, крыс и морских свинок лежит в диапазоне 30-50 кГц с пиком в области 37-42 кГц.

6. Спектральная плотность мощности ультразвука человека при физической нагрузке содержит пики небольшой амплитуды на частотах, приблизительно равных 20 кГц, 45, 55 кГц; также отмечается плато в диапазоне 60-80 кГц. Общая тенденция спектрограммы УЗВ человека характеризуется плавным гиперболическим снижением мощности сигнала по мере возрастания частоты.

7. Доминирование УЗВ в диапазоне 20-30 кГц отображает дистрессорное состояние, тогда как 50-55 кГц характеризуют, в зависимости от перераспределения мощностных характеристик СПМ, комфортное или дискомфортное состояние. Эти проявления характерны для всех исследованных нами животных и человека.

8. Способность человека и животных генерировать ультразвуковые колебания в сопоставимых диапазонах частот

позволяет использовать информативные параметры УЗВ для экстраполяции результатов исследований на лабораторных животных в отношении человека.

Список литературы

1. **Акопян В.Б., Ершов Ю.А.** Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана. – 2005. – с. 224.
2. **Каркищенко Н.Н.** Альтернативы биомедицины. Т. 2. Классика и альтернативы фармакотоксикологии. – М.: Изд-во ВПК. – 2007. – с. 448.
3. Руководство по лабораторным животным и альтернативным моделям в биомедицинских исследованиях / под ред. **Н.Н.Каркищенко, С.В.Грачева.** – М.: Профиль-2С. – 2010. – с. 358.
4. **Каркищенко Н.Н.** Фармакология системной деятельности мозга. – Ростов-на-Дону: Ростиздат. – 1975. – с. 260.
5. **Фокин Ю.В., Каркищенко В.Н.** Вокализация крыс в ультразвуковом диапазоне как модель оценки стрессового влияния обездвиживания, электрокожного раздражения, физической нагрузки и фармакодинамики лекарств // Биомедицина. – 2010. – № 5. – с. 17-21.
6. **Blumberg M.S., Sokoloff G.** Do infant rats cry? // Psych Rev 108:83-95. – 2001.
7. **Caldji C., Tannenbaum B., Sharma S., Francis D., Plotsky P.M., Meaney M.J.** Maternal care during infancy regulates the development of neural systems mediating the expression of fearfulness in the rat // Proc Natl Acad Sci USA. – 1998. 95. – 5335-40.
8. **Gourbal B.E.F., Barthelemy M., Petit G., Gabrion C.** Spectrographic

analysis of the ultrasonic vocalizations of adult male and female Balb/c mice // *Naturwissenschaften*. – 2004. – 91:381-385.

9. **Groenink L., Verdouw P.M., Ruud van Oorschoot, Olivier B.** Models of Anxiety: Ultrasonic Vocalizations of Isolated Rat Pups // *Current Protocols in Pharmacology*, UNIT 5.18 / http://www.currentprotocols.com/protocol/ph0518?quicktabs_cp=to, December. – 2008.

10. **Hashimoto H., Moritani N., Aoki-Komori S., Tanaka M., Saito T.R.** Comparison of ultrasonic vocalization emitted by rodent pups // *Exp Anim.*, – 2004. – 53:409-416.

11. **Knutson B., Burgdorf J., Panksepp J.** Ultrasonic vocalizations as indices of affective states in rats // *Psychol Bull.* – 2002. – 128:961-977.

12. **Panksepp J., Burgdorf J.** «Laughing» rats and the evolutionary antecedents of human joy? // *Physiology and Behavior*. – 2003. – 79. 533-47.

13. **Portfors C.V.** Types and functions of ultrasonic vocalizations in laboratory rats and mice // *J Am Ass Lab An Sci.* – 2007. – Vol. 46. – No. 1. – pp. 28-34.

14. **Sanchez C.** Stress-induced vocalization in adult animals. A valid model of anxiety? // *Eur J Pharmacol.* – 2003. – 28;463(1-3):133-43.

15. **Weber M., Paxinos G., Richardson R.** Conditioned Changes in Ultrasonic Vocalisations to an Aversive Olfactory Stimulus are Lateralized in 6-Day-Old Rats // <http://www2.psy.unsw.edu.au/Users/richardson/PDF/WeberPaxinosRichardson2000.pdf>, ed. –2000.

16. **White N.R., Prasad M., Barfield R.J., Nyby J.G.** 40- and 70-kHz vocalizations of mice (*Mus Musculus*) during copulation // *Physiology and Behavior*, 63 (43), 467-473.

17. **Wöhr M., Borta A., Schwarting R.K.W.** Overt behavior and ultrasonic vocalization in fear conditioning paradigm: A dose-response study in the rat // *Neurobiol Learn Mem.* – 2005. – 84:228-240.

18. **Wöhr M., Houx B., Schwarting R.K.W., Spruijt B.** Effects of experience and context on 50-kHz vocalizations in rats // *Physiology and behavior*. – 2008. – 93. – pp. 766-776.

19. **Wöhr M., Rainer K.W. Schwarting** Ultrasonic vocalizations as a tool for research on emotion and motivation in rodents // <http://www.avisoft.com/rats.htm>. – 2010.

20. **Yang Liu, James A. Cotton, Bin Shen, Xiuqun Han, Stephen J. Rossiter, Shuyi Zhang.** Convergent sequence evolution between echolocating bats and dolphins // *Current Biology* – 2010. – 20(2) – pp. R53-R54.

21. **Yang Liu, Stephen J. Rossiter, Xiuqun Han, James A. Cotton, Shuyi Zhang.** Cetaceans on a Molecular Fast Track to Ultrasonic Hearing // *Current Biology* – 2010. – 20(20) – pp. 1834-1839.

22. **Yang Liu, Zhen Liu, Peng Shi, Jianzhi Zhang.** The hearing gene Prestin unites echolocating bats and whales // *Current Biology* – 2010. – 20(2) – pp. R55-R56.

23. **Zippelius H.M., Schleidt W.M.** Ultraschall-Laute bei jungen Mäusen // *Naturwissenschaften* – 1956. – 43, 502.

Ultrasonic vocalization and its informative parameters in animals and man

N.N. Karkischenko, Yu.V. Fokin, D.S. Sakharov, V.N. Karkischenko,
G.D. Kapanadze, D.B. Chayvanov

For the first time in our scientific research we discovered that ultrasonic vocalization is typical for all laboratory animals that we studied in rest condition (mice, rats, hamsters, guinea pigs, rabbits, minipigs, monkey) as well as for human. In human these manifestations of USV are shown more graphic under physical and psychoemotional load. The most adequate animals that are used as biomodels in experiments of estimation of functional condition by USV analyzing method probably are hamsters and rats. For rabbits, minipigs and hamsters ultrasonic vocalization of 20-25 kHz frequency is typical and in less extent hamsters are capable to radiate ultrasound frequency approximately 35 kHz; and also hamsters are capable to radiate ultrasound frequency approximately 55 kHz. The basic frequency component of ultrasound of macaca mulatta, rats and guinea pigs lies in a range 30-50 kHz with peak in the field of 37-42 kHz. Spectral density of man's ultrasound power under physical load contains peaks of small amplitude approximately at 20, 45, 55 kHz frequency; also we can mark tableland at the range of 60-80 kHz. Dominance USV in range 20-30 kHz reflects distress, at the same time 50-55 kHz USV characterized comfort or discomfort status in dependence of redistribution of spectral power density characteristics. The general tendency of spectrogram USV of man is characterized by smooth hyperbolic drop of capacity of a signal in process of frequency increase. Mans and animals ability to generate ultrasonic fluctuations in comparable frequency ranges allows to use informative parameters USV for extrapolation of results of probes on laboratory animals concerning the man.

Key words: ultrasonic vocalization (USV) in mice, rats, hamsters, guinea pigs, rabbits, minipigs, monkey and human, USV-communications, spectral power density of USV, probability of occurrence of US-signals, informative characteristics extrapolation on man.