

# АКУСТИКА ЧЕРЕПА И МОЗГА

Холманский А.С.

Научный центр «Бэмком», Москва, [allexhol@ya.ru](mailto:allexhol@ya.ru)

Источником вибрации костей черепа и тканей мозга являются звуковые колебания на резонансных частотах в объемах внешнего и внутреннего уха, а также в придаточных пазухах носовой полости (гайморовы, лобные, решетчатый лабиринт, клиновидная, Рис. 1а). Колебания могут возбуждаться при дыхании и генерации звуков голосовым и слуховым аппаратом. Полости в костях черепа можно смоделировать резонаторами Гельмгольца (Рис. 1б).

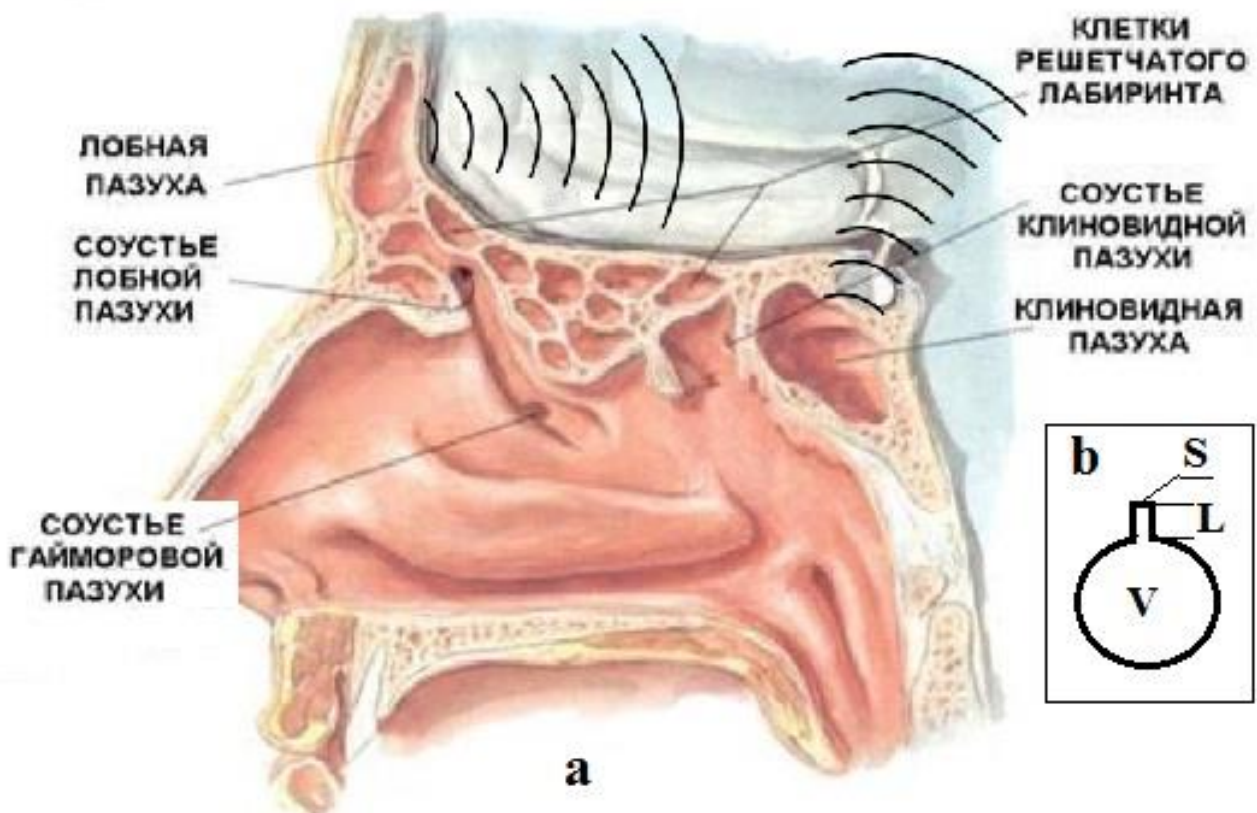


Рис 1. Схема возбуждения акустических волн в тканях мозга колеблющимися стенками придаточных пазух (лобной и клиновидной) – а) и параметры резонатора Гельмгольца – б).

Звуковые волны, порождаемые вибрирующими костными стенками пазух, излучаются в стороны глаз и мозга, возбуждая в них резонансные колебания. Интенсивность этих колебаний увеличивается на порядок при затыкании ушей за счет увеличения добротности резонатора внешнего уха, состоящего из костно-мышечной трубки длиной ~2,5 см и имеющего резонансную частоту ~2,5 кГц [1, 2]. Возбуждение колебаний в этом резонаторе обеспечивает высокая костная проводимость голосовых вибраций. Резонансные колебания в полости внутреннего уха на частотах 2 – 6 кГц усиливаются при различных патологиях мозга и могут восприниматься слуховой системой как «звон в ушах» (*тиннитус*). Высокие частоты звуковых колебаний, генерируемых голосом в лобных и лицевых пазухах, достигают значений 4 кГц [3] и могут резонансно возбуждать упругие колебания капилляров в тканях мозга, что способствует кровоснабжению нейронов и объясняет успокаивающий эффект голосовых упражнений [1 2]. В принципе, резонансные характеристики придаточных пазух и заткнутого внешнего уха близки, поэтому и в них при вокальной речи, особенно в верхнем регистре будут возбуждаться колебания такой же интенсивности, как и во внешнем ухе.

Передачи энергии колебаний от пазух тканям глаза и мозга будет способствовать то, что стенка гайморовой пазухи, служащая дном глазницы существенно тоньше других ее стенок. Точно также у клиновидной и лобной пазух утончены стенки, обращенные к мозгу. Эти стенки могут играть роль упругих мембран, подобных барабанной перепонке (Рис 1а).

Частота колебаний в резонаторе Гельмгольца задается формулой:

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{VL}}$$

где  $S$  – площадь голышка,  $L$  – его длина,  $V$  – объем полости и  $C$  – скорость звука, равная для воздуха, воды, мозга и костей черепа 340, 1520, 1541 и 4080 м/с, соответственно. Если принять для оценки параметры клиновидной пазухи  $L \sim 1$  мм;  $S \sim 4$  мм<sup>2</sup>,  $V \sim 10^4$  мм<sup>3</sup> и  $C = 3,4 \cdot 10^5$  мм/с, то для  $f$  получится величина  $\sim 1$  кГц. Данная частота соответствует средней частоте звука разговорной и вокальной речи [3].

Глаз сохраняет с мозгом акустическую связь, на что указывает корреляция колебаний давления внутри глаза и внутричерепного (ВЧД) [4]. Известно также [5], что нервная система глаз весьма чувствительна к колебаниям лицевых костей черепа, например, ритмическая окклюзия зубов модулирует тремор глаз. Эти данные позволяют предположить возможность передачи от гайморовой пазухи колебательного возбуждения на мозг через ткани глаза. Отметим, что в работе [5] зубы были отнесены к высокочувствительным механорецепторам костной системы черепа, действительно, оказалось, что пороги костной проводимости звуковых сигналов при возбуждении зубов верхних и нижних одинаковы и лучше, чем при стимуляции точек лба [6].

Анализ частотного спектра колебаний ВЧД в норме выявил доминантную частоту  $\sim 7$  Гц и изменение амплитуды ВЧД в пределах 3-15 мм рт. ст. Причем колебания ВЧД с высокой амплитудой коррелируют с падением сопротивления сосудов мозга и увеличением в нем объема крови. Отмечают также тензорный характер распределения ВЧД в пределах полости черепа из-за неоднородности внутричерепного содержимого и комплекса иррегулярных полостей, связанных между собой. Учитывая эти данные и законы распространения акустических волн в неоднородных средах, можно полагать, что геометрия турецкого седла, примыкающего к клиновидной пазухе, вместе с геометрией третьего желудочка обеспечат высокий уровень акустического

возбуждения гипофиза при колебаниях ВЧД и воздуха в полостях головы и груди на их резонансных частотах.

Между колебаниями ВЧД и кровоснабжением мозга наблюдается определенная корреляция, в основе которой, по-видимому, лежит зависимость пропускной способности артериальных и венозных капилляров от баланса гидродинамических и онкотических давлений внутри и вне капилляров. Величина эффективного фильтрующего давления в артериальном капилляре составляет 9 мм рт.ст., а в венозном –6 мм.рт. ст. [см. ссылки в 1]. Эти величины сравнимы с амплитудой колебаний ВЧД, источником которых, в частности, могут быть и резонансные колебания лобной и клиновидной пазух. Со стороны мозга к стенкам лобной пазухи и решетчатого лабиринта примыкает префронтальная область коры, которая развилась у человека в процессе филогенеза и отвечает вместе со связанными с ней подкорковыми структурами за сложные когнитивные, поведенческие функции и эмоции. Не исключено, что энергия колебаний указанных пазух стимулировала развитие этой области коры, питая ее трофику на уровне гемодинамики.

Аналогичным образом звуковые колебания ВЧД и клиновидной пазухи могут интенсифицировать метаболизм гипофиза. Гормоны гипофиза влияют на половое развитие, рост тканей, кровоснабжение мозга и на активность щитовидной железы, гормоны которой помимо обеспечения энергетики голосовых связок, отвечают за развитие новых структур мозга (миелинизацию, синаптогенез) [2].

Онтогенез асимметрии зрения, обоняния, слуха, лица (искривление носа) и половых органов синхронизован с процессом стабилизации частоты альфа-ритма [7] и за 12 – 13 лет повторяет этап филогенеза, соответствующий прямохождению. Причем уже к двум годам, когда ребенок начинает самостоятельно ходить, в генезис асимметрии мозга включается энергетика

ТФП стоп и физика половых органов, гендерные особенности которой накладывают свой отпечаток на топологию и функции мозга мужчины и женщины [8].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Холманский А.С. Минахин А.А. Факторы филогенеза осанки и морфогенеза мозга человека // Наукоеведение. №4. 2012  
<http://naukovedenie.ru/PDF/48pvn412.pdf> ;
2. Холманский А.С., Минахин А.А. Акустический фактор ноогенеза // 2013.  
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/12531.html>
3. Морозов В.П. Биофизические основы вокальной речи. Л.: «Наука». 1977. 232 с.; Искусство резонансного пения. Основы резонансной теории и техники. М.: 2002. 496 с.
4. Reid A. et al. Mean intracranial pressure monitoring by non-invasive audiological technique: a pilot study // J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry. 1989. V.52 p.610-612.
5. Холманский А.С. Электромеханические модели в нейрофизиологии зубов // Современная стоматология. 2011. № 2. С.57-59
6. Ozer E, Adelman C, Freeman S, et al. Bone conduction hearing on the teeth of the lower jaw. // J. Basic Clin. Physiol Pharmacol. 2002; 13(2). P. 89-96.
7. Брагина Н. Н., Доброхотова Т. А. Функциональные асимметрии у человека. 2-е изд. М.: Медицина. 1988. 240 с.
8. Кэхилл Л. Его мозг, ее мозг // В мире науки. 2005. № 8. С.22-27 /  
<http://www.nanonewsnet.com> .