

В. А. КИСЛЯКОВ, И. В. ОРЛОВ

О ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ВЛИЯНИЯХ МЕЖДУ ОТДЕЛАМИ ВЕСТИБУЛЯРНОГО АППАРАТА

(Представлено академиком В. Н. Черниговским 10 IV 1970)

Перепончатый лабиринт заполнен эндолимфой, движение которой приводит к отклонению купул — механорецепторов полукружных каналов. Полукружные каналы сообщаются с общим резервуаром — преддверием, благодаря чему возникает вероятность взаимных гидродинамических влияний. Такие влияния наблюдали при грубых механических воздействиях на перепончатый лабиринт в условиях фенестрации костного лабиринта (3).

В настоящей работе исследовались возможности распространения гидродинамических влияний в лабиринте без деформации его стенок. При этом

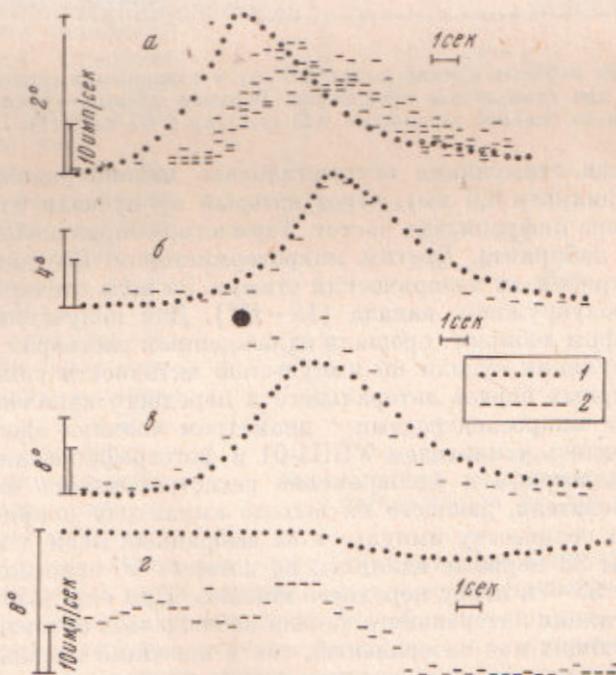


Рис. 1. Реакции единиц нервов латерального (а) и переднего (б—г) каналов на калорическую стимуляцию. 1 — температурный стимул; 2 — число спайков на единицу времени

токи эндолимфы вызывали локальной калорической стимуляцией (3) и параллельно регистрировали ответы единиц ампулярных веточек вестибулярного нерва.

Опыты поставлены на 16 кураризированных лягушках *Rana temporaria*. Препаровка лабиринта проводилась по (1) с некоторыми модификациями. После препаровки лягушку, прикрепленную к пробковой пластинке

спиной вниз, ориентировали так, чтобы плоскость латеральных каналов образовывала с горизонталью угол 60° . В таком положении ампула латерального канала находилась выше его гладкой части и преддверия. Это позволяло при нагревании точек на стенках латерального канала или преддверия вызывать в нем либо утрикулопетальный, либо утрикулофугальный токи эндолимфы и соответствующие отклонения купулы. Ампула переднего вертикального канала также находилась выше указанных точек нагревания, поэтому при стимуляции латерального канала или преддверия в переднем канале могли возникнуть утрикулофугальные отклонения купулы.

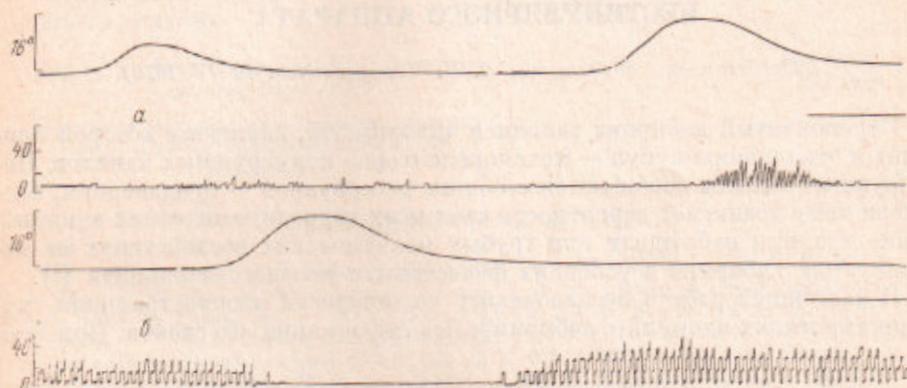


Рис. 2. Активация нервных единиц переднего (а) и торможение единиц латерального (б) каналов при стимуляции преддверия. Верхние кривые — температура, нижние кривые — число спайков за каждые 0,25 сек. (а) и 0,5 сек. (б). Время — 5 сек.

Калорическая стимуляция осуществлялась малоинерционным микро-термистором (диаметр 0,6 мм), через который пропускали электрический ток от генератора инфранизких частот. Термистор соприкасался со стенкой перепончатого лабиринта. Другим микро-термистором, контактирующим с первым, регистрировали калорический стимул. За ноль отсчета принимали температуру полукружного канала ($14-17^\circ$). Для получения холодовых токов эндолимфы лабиринт орошали охлажденным раствором Рингера. Об эффектах стимуляции судили по импульсной активности одиночных элементов ампулярных нервов латерального и переднего каналов, отводимой вольфрамовыми микроэлектродами с диаметром кончика около 1μ . Импульсы усиливались усилителем УБП1-01 и фотографировались с трубки катодного осциллографа и одновременно регистрировались на самописце после преобразователя, дающего на выходе амплитуду напряжения, пропорциональную количеству импульсов за выбранный период времени ⁽¹⁾.

Обследованы 83 нервные единицы, из которых 30 относились к нерву латерального и 53 — к нерву переднего каналов. При определенной интенсивности стимуляции латерального канала наблюдалась активация в волокнах, иннервирующих как латеральный, так и передний каналы (рис. 1а—в). Активация соответствовала возникновению утрикулопетального тока в первом и утрикулофугального — во втором каналах. При охлаждении раствором Рингера возникало торможение активности в результате ампулофугального тока в латеральном и ампулопетального тока в переднем каналах (рис. 1г). При стимуляции преддверия в переднем канале возникал утрикулофугальный ток эндолимфы и активация нервных единиц, а в латеральном — утрикулофугальный ток и торможение активности (рис. 2). Большинство единиц (28 из 30) веточки латерального канала и все единицы веточки переднего канала по классификации ⁽²⁾ принадлежали к типу I. Это соответствует типам А, В и D ⁽³⁾. В связи с тем, что единицы II и III типа были зарегистрированы только по одному разу, их не удалось подвергнуть количественному обследованию.

Реакции единиц I типа первых веточек обоих каналов при стимуляции латерального канала были изучены более детально. Пиковые значения температуры, вызывающие существенное увеличение импульсации в первых единицах латерального канала, составляли $2-5^{\circ}$, а пороговые значения температур были еще ниже. Применение различных по интенсивности стимулов позволило выявить неодинаковые по чувствительности и динамическому диапазону единицы. Некоторые из них характеризовались большим приращением частоты импульсации на стимул небольшой амплитуды (2°), другие отвечали только на более сильные стимулы ($4-8-16^{\circ}$) небольшим приращением частоты (рис. 1 а-е). На рис. 1а даны 4 последовательные реакции. Обнаружены единицы, отвечающие увеличением частоты импульсации без насыщения в широком диапазоне интенсивностей стимулов ($2-8-16^{\circ}$). При 16° кривая частоты близка к насыщению (рис. 4е).

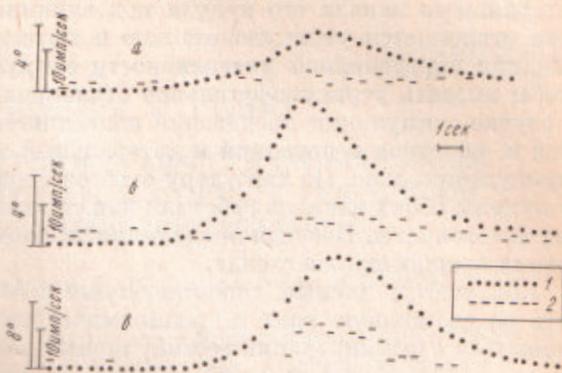


Рис. 3. Реакции низкочувствительной единицы латерального канала на стимулы нарастающей интенсивности. Обозначения те же что и на рис. 1

Стимуляция латерального канала могла также модифицировать активность единиц веточки переднего канала (рис. 1б, в). Для этого требовались более сильные стимулы. Из 53 единиц 2 единицы отвечали на пиковую температуру 4° , 25 — на 8° и 26 — на 16° *. Как правило, у всех обследованных единиц нерва переднего вертикального канала не наблюдали насыщения в применяемом диапазоне стимулов. При стимуляции преддверия пороги реакций в нерве вертикального канала значительно ниже, чем при стимуляции латерального канала. Это объясняется тем, что во втором случае конвекционный ток должен преодолеть сопротивление латеральной купулы, тогда как в первом случае восходящий ток устремляется непосредственно в переднюю ампулу.

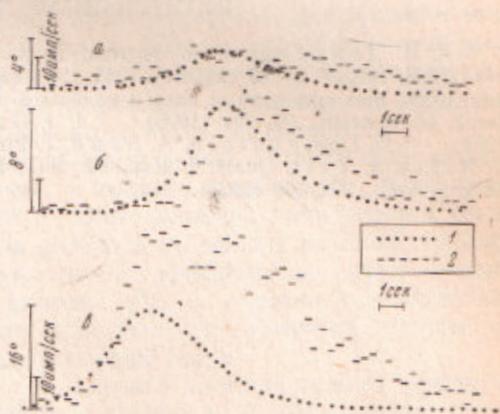


Рис. 4. Реакции высокочувствительной широкодиапазонной единицы латерального канала. Обозначения те же, что и на рис. 1

Таким образом, опыты с локальной калорической стимуляцией отдельных образований лабиринта указывают на возможность гидродинамических взаимовлияний полукружных каналов. Калорическая стимуляция различных точек лабиринта лягушки вызывала в нервах латерального и передне-

* Пиковое значение температуры на поверхности латеральной ампулы достигало лишь 10% от температуры, развивающейся на гладкой части латерального канала. Соответствующая величина для передней ампулы при тех же условиях стимуляции составляла около 5%. Таким образом, влияние собственно температурного фактора пренебрежимо мало.

то каналов реакции, соответствующие представлениям Барани (4) и законам гидродинамики лабиринта (6).

Механизм гидродинамических влияний с одного канала на другой можно представить следующим образом. Известно, что купула герметически закрывает просвет канала (6). При калорической стимуляции гладкой части латерального канала его купула под влиянием конвекционного теплового тока отклоняется утрикулопетально и вытесняет объем эндолимфы, который при определенной интенсивности стимула оказывается достаточным, чтобы вызвать утрикулофугальное отклонение купулы в переднем канале. В случае стимуляции преддверия конвекционный тепловой ток разветвляется и, поступая в передний и латеральный каналы, отклоняет их купулы утрикулофугально. По характеру ответов нервных единиц в первом варианте купулы обоих каналов работали как синергисты, а во втором варианте — как антагонисты. Последняя ситуация не может быть воспроизведена в условиях вращающегося стенда.

Полученные данные, сопоставленные с результатами (6), могут указывать на возможную роль гидродинамических взаимных влияний внутри лабиринта в формировании вестибулярных реакций.

Институт физиологии им. И. П. Павлова
Академии наук СССР
Ленинград

Поступило
6 IV 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 А. Н. Долотовский, Физиол. журн. СССР, 56, 2, 279 (1970). 2 И. В. Орлов, ДАН, 190, № 3, 736 (1970). 3 Я. Сентаготаи, Роль отдельных лабиринтных рецепторов при ориентации глаз и головы в пространстве, Л., 1967. 4 R. Bárány, Mschr. Ohrenheilk., 40, 191 (1906). 5 J. J. Groen, Acta oto-laryngol., Suppl. 159, 42 (1961). 6 O. Lowenstein, A. Sand, J. Physiol. (London), 99, 89 (1940). 7 W. J. McNally, J. Tait, Quart. J. Exp. Physiol., 23, 147 (1933). 8 W. Steinhausen, Pflügers Arch., 232, 500 (1933).