

Б.М. Климашов

ОБЪЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СЛУХОВОГО АППАРАТА ЧЕЛОВЕКА ПО ЕГО ПУЛЬСУ

Аннотация

Рассматривается способ получения диагностических показателей слухового аппарата по пульсам, снятым с мочки уха и сонной артерии человека, что позволяет получить большое количество объективных сведений о состоянии слухового аппарата.

По результатам спектрального анализа тонкой структуры пульсов (например амплитудно-частотной, амплитудно-фазовой, фазо-частотной) рассматриваемый способ диагностики позволяет повышать диагностическую информативность и оперативность измерений, проводить постоянный либо длительный контроль даже при наличии у исследуемого некоторых патологий, проводить оториноларингологическую диагностику человека любого возраста.

Современный этап развития медицины характеризуется все более широким применением объективных, безвредных для больного методов обследования, исключающих или существенно снижающих значение субъективных ошибок. Так как одним из источников показаний состояния здоровья человека является его пульс, то к числу таких методов следует отнести пульсовую диагностику [1], [2], которая позволяет получить информацию о кровоснабжении различных органов и тканей. Поскольку кровообращение тесно связано с состоянием практически всех систем организма, можно получить представление о некоторых характеристиках любого исследуемого органа или системы человека.

Существующие в оториноларингологии способы исследования состояния слуха человека являются субъективными и имеют существенные недостатки. Так, субъективность оценки вносит относительно большие погрешности, вызванные, например, определением момента наступления слышимости пациентом звукового сигнала. Субъективный способ установления порога слышимости сигнала ограничен частотным диапазоном, чем принципиально снижаются информационно-диагностические возможности оценки фактического состояния слухового аппарата человека. Поэтому важнейшими проблемами диагностической практики в оториноларингологии являются, на наш взгляд, поиск способов снижения ошибок, вызываемых различной чувствительностью слуха к амплитудно-частотному звуковому диапазону путем объективного анализа влияния воздействия акустических колебаний на слуховой аппарат человека, а также оценка патологии слухового аппарата в расширенном диапазоне частот воздействия, вплоть до ультразвуковых.

В литературе [1], [2], посвященной анализу пульсовой диагностики эффективности лечения в кар-

диологии, неврологии, урологии и других направлениях, до сих пор нет достаточного освещения вопросов теории и практики исследования метода оториноларингологии.

Практикой подтверждается [3], что современными техническими средствами можно решить задачу объективного исследования слуха человека путем анализа спектра пульса сосудов слуховой системы. Пульс такой системы, часто имеющий разнообразную и относительно сложную форму, может быть отображен доступными техническими средствами, а по его частотному спектру может быть оценена потенциальная диагностическая информативность [4].

Общепринятая теория пульсовых колебаний [5] подтверждает факт их возникновения в сосудистой системе в результате периодического выброса определенного объема крови из желудочков сердца в аорту, что приводит к появлению и распространению волны давления, вызывающей пульсовое расширение артерий. Кровеносная система, будучи разветвленной системой эластичных трубок, создает условия для возникновения стационарного тока крови в капиллярном русле, несмотря на пульсирующий характер в артериях и венах. Артериальный периферический пульс является результатом взаимодействия различных колебательных и волновых процессов. Объемная пульсовая волна формируется выбросом и перемещением систолического объема крови с созданием гидравлического удара в фазе максимального изгнания крови. Скорость возникновения пульсовой волны весьма сильно отличается от линейной скорости крови и от объемной скорости кровотока. В разных участках сосудистой системы эти скорости также различны и зависят не только от упруговязких свойств сосудистых стенок, но и от местоположения сосудов в сложной анатомической структуре сосудистой системы.

С биофизической точки зрения, работа слухового аппарата связана с упругостью тех кровенос-

ных сосудов, которые его питают, что и приводит к изменению как формы пульсовой характеристики, так и характера ее спектральных составляющих.

Подачей на вход слухового аппарата сигналов звуковых частот широкого диапазона с различным нарастающим уровнем и одновременным анализом спектра пульса кровеносных сосудов, снятых с мочки уха, можно по изменению характеристик спектра пульсовой кривой объективно определить величину уровня сигнала, при котором проявляется слышимость данного акустического сигнала. В частности, параметром чувствительности слуха может быть выбрана ширина спектра пульсового сигнала. При определенной патологии слуха и отсутствии в слуховом аппарате звукового сигнала (отсутствии акустического давления) верхняя частота спектра пульсовой характеристики сосудов уха определяется некоторой частотой $F_{в1}$, а при наличии определенного уровня акустического давления звуковой частоты, при котором достигается порог слышимости этого сигнала, спектр пульсовой характеристики начинает изменяться и ее верхняя частота достигает значение $F_{в2}$.

В то же время пульсовая характеристика сонной артерии, питающей сосуды слухового аппарата,

характеризуется толерантным (постоянным для данного человека) значением отношения верхней частоты спектра $F_{в.са}$ к его нижней частоте $F_{н.са}$ и не зависит от состояния слухового аппарата.

Сравнивая относительные значения крайних частот спектров пульсов сонной артерии и слухового аппарата, находят значения акустических давлений и частот, объективно влияющие на работу слухового аппарата, что позволяет соотносить их с той или иной патологией слуха.

Таким образом, способ объективного исследования слуха, основанный на анализе изменений чувствительности уха к уровню и частоте внешнего звукового сигнала, включающий в себя подачу к наружному слуховому проходу акустического сигнала фиксированной частоты, но изменяющегося уровня и определение патологии слухового аппарата на основе измеренных параметров, заключается в том, что предварительно снимают пульсовую характеристику сонной артерии, определяют и регистрируют крайние частоты спектра ее пульса, определяют значение коэффициента $A_{са}$ как отношение верхней $F_{в.са}$ к нижней $F_{н.са}$ частоте спектра сигнала пульса сонной артерии

$$A_{са} = \frac{F_{в.са}}{F_{н.са}}. \quad (1)$$

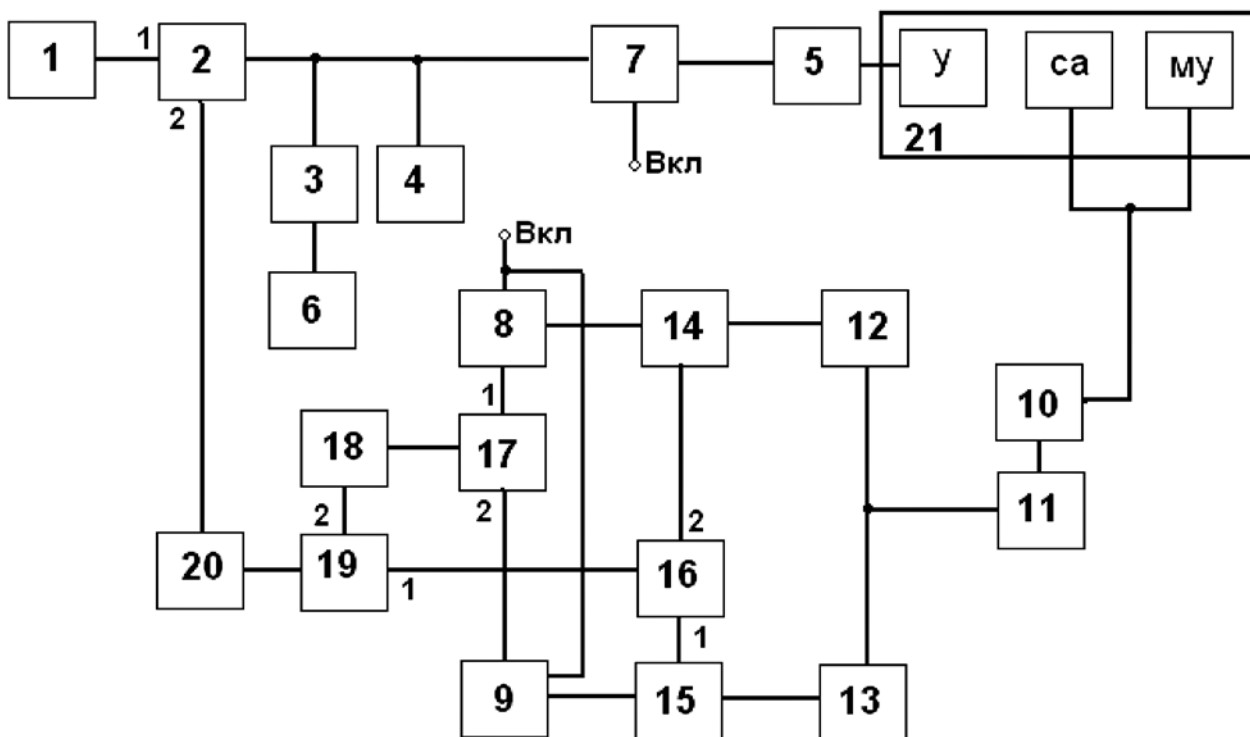


Рис. 1. Структурная схема прибора для объективной оценки состояния слухового аппарата, где обозначены: генератор 1; регулируемый аттенуатор 2; измеритель уровня сигнала 3; измеритель частоты генератора 4; головной телефон 5; регистрирующее устройство 6; ключи 7, 8, 9, связанные единым управлением включения, при этом ключ 7 – нормально разомкнутый, а ключи 8, 9 – нормально замкнутые; оптоэлектронный датчик пульса 10; анализатор спектра 11; регулируемый фильтр низких частот 12; регулируемый фильтр высоких частот 13; два частотных детектора 14 и 15; два вычислителя 16, 17; устройство памяти 18; сравнивающее устройство 19; привод аттенуатора 20; номером 21 обозначены: ухо (У), сонная артерия (СА), мочка уха (МУ) пациента

При подаче в наружный слуховой проход акустического сигнала разных частот изменяющегося уровня снимают пульсовую характеристику с сосудов мочки уха и определяют крайние частоты ее спектра, вычисляют значение $A_{\text{му}}$ как отношение верхней $F_{\text{в.му}}$ к нижней $F_{\text{н.му}}$ частоте спектра сигнала пульса мочки уха

$$A_{\text{му}} = \frac{F_{\text{в.му}}}{F_{\text{н.му}}}. \quad (2)$$

Регистрируя уровень сигнала исходной («нулевой») частоты, при котором на основании рассчитанного значения $A_{\text{му}}$ выполняется условие равенства спектров сигналов сонной артерии и сосудов мочки уха $A_{\text{са}} = A_{\text{му}}$, устанавливают сигналы, отличные от «нулевых» по частоте, и регистрируют отклонения их по уровню при соблюдении условия $A_{\text{са}} = A_{\text{му}}$, а в качестве параметров для определения патологии слуха используют отклонения значений $A_{\text{му}}$ от $A_{\text{са}}$ для разных частот.

Структурная схема прибора для объективной оценки слухового аппарата приведена на *рис. 1*.

Рассмотрим последовательность способа объективной оценки состояния слухового аппарата.

1. *Съем пульсовой характеристики сонной артерии* при помощи оптоэлектронного датчика пульса 10 (*рис. 1*).

Заметим, что форма пульсовой характеристики характеризуется шириной спектра сигнала [4] и изменяется в зависимости от патологии слухового аппарата.

По граничным частотам спектра сонной артерии устанавливается величина $A_{\text{са}}$, характеризующая толерантное для данного человека состояние слухового аппарата. В работах [6], [7] и др. подтверждается, что функционирование слухового аппарата коррелируется с деформацией его сосудов, при которой происходит изменение форм (следовательно, и изменение спектра) пульсовых характеристик кровяных сосудов. Величина $A_{\text{са}}$ оценивается отношением (1).

Для снятия пульсовой характеристики сонной артерии к ней прикладывают оптоэлектронный датчик 10 («са», *рис. 1*), с выхода которого электрический импульс поступает на вход анализатора спектра 11, представляющий собой классическую схему спектроанализатора, содержащего, например, набор («линейку») отдельных высокоизбирательных фильтров.

Крайние высшие $F_{\text{в.са}}$ и низшие $F_{\text{н.са}}$ частоты спектра импульса сонной артерии поступают на входы узкополосных регулируемых фильтров 12 и 13, с выхода которых узкополосные сигналы этих частот спектра поступают на частотные детекторы 14 и 15, на выходе которых появляются сигналы с напряжением, прямо пропорциональным этим частотам и равным

$$U_{\text{в.са}} = k \cdot F_{\text{в.са}}; U_{\text{н.са}} = k \cdot F_{\text{н.са}}, \quad (3)$$

где k – коэффициент преобразования частотного детектора (В/Гц). С учетом отношения (1) имеем

$$A_{\text{са}} = \frac{U_{\text{в.са}}}{U_{\text{н.са}}}. \quad (4)$$

Сигналы $U_{\text{в.са}}$ и $U_{\text{н.са}}$ поступают одновременно на первый и второй входы первого вычислителя 16, а также на первый и второй входы второго вычислителя 17 через замкнутые контакты ключей 8 и 9.

В вычислителях 16 и 17 производятся вычисления согласно формуле (3).

С выходов вычислителя 16 сигнал поступает на первый вход устройства сравнения 19, а с вычислителя 17 через устройство памяти 18 сигнал поступает на второй вход сравнивающего устройства 19, не вызывая на его выходе появления сигнала, т. к. на входы поступают сигналы одинакового уровня.

На выходе устройства памяти 18 уровень сигнала в дальнейшем остается величиной постоянной.

В таком положении схема будет находиться до тех пор, пока все ключи 7, 8 и 9 не будут переключены (командой «Вкл») в другое положение для снятия пульсовой характеристики с сосудов мочки уха.

2. *Съем пульсовой характеристики с сосудов мочки уха*

Ключи 7, 8, 9 переключаются командой «Вкл» в другое положение, при этом ключ 7 замыкается, а ключи 8, 9 становятся разомкнутыми.

К мочке уха прикладывается оптоэлектронный датчик 10 («му», *рис. 1*), с выхода которого электрический импульс поступает на анализатор спектра 11.

Крайние высшие $F_{\text{в.му}}$ и низшие $F_{\text{н.му}}$ частоты спектра импульсов сосудов мочки уха поступают на входы регулируемых фильтров 12, 13, с которых сигналы поступают на частотные детекторы 14, 15, на выходах которых напряжение будет прямо пропорционально частоте сигналов, поступающих на их входы, и которые соответственно равны

$$U_{\text{в.са}} = k \cdot F_{\text{в.са}}; U_{\text{н.са}} = k \cdot F_{\text{н.са}}.$$

Тогда величина $A_{\text{му}}$ может быть выражена через выходные напряжения частотных детекторов по формуле (2). Эти сигналы поступают на первый и второй входы первого вычислителя 16.

На первый вход сравнивающего устройства 19 поступает сигнал с выхода первого вычислителя 16, в котором производится вычисление по формуле (2), а на его второй вход поступает сигнал с устройства памяти 18. В результате этого на выходе блока 19 может появиться сигнал разбаланса по отношению к «нулевому» уровню, который имел место при снятии пульсовой характеристики сонной артерии. Этот сигнал включает аттенуатор 20, в результате чего последний устанавливает в некоторое положение регулируемый аттенуатор 2, на выходе которого первоначально был сигнал минимального уровня, т. к. он микшировался от генера-

тора 1 регулируемым аттенуатором 2. Сигнал разбалансировки пропорционален отклонению исходного состояния слухового аппарата от толерантного.

3. Съем амплитудно-частотной характеристики слухового аппарата производится с помощью оптоэлектронного датчика 10, размещенного непосредственно на мочке уха («у», рис. 1). При этом частота генератора 1 устанавливается на значение, относительно которого в дальнейшем снимается амплитудно-частотная характеристика. Сигнал постоянного уровня и исходной частоты с генератора 1 через регулируемый аттенуатор 2, замкнутый ключ 7 и головной телефон 5 доставляет соответствующий акустический звук к наружному слуховому проходу пациента 21 («у», рис. 1) и вызывает (или данной частотой не вызывает) деформацию сосудов, питающих слуховой аппарат.

Деформация сосудов приводит к изменению пульсовой характеристики сосудов мочки уха, что изменяет частоты сигнала на выходе регулируемых фильтров 12, 13. На выходах частотных детекторов 14, 15 появляются сигналы, поступающие на первый вычислитель 16, с выхода которого измененный сигнал поступает на первый вход сравнивающего устройства 19. На второй вход сравнивающего устройства 19 поступает сигнал с устройства памяти 18, ранее зафиксированный при снятии пульса с сонной артерии.

Таким образом, на входах сравнивающего устройства 19 окажутся сигналы: на первом входе – от мочки уха, модулированный акустическими колебаниями, а на втором входе – сигнал, поступающий с устройства памяти 18, представляющий собой сигнал от пульса сонной артерии, модулированный акустическими колебаниями. На выходе сравнивающего устройства 19 появится напряжение разбаланса, которое, в свою очередь, приведет к изменению положения привода аттенуатора 20, тем самым изменяя положение регулирующих органов регулируемого аттенуатора 2 до тех пор, пока не произойдет совпадение значений уровней сигналов, поступающих от мочки уха «му» и устройства памяти 18 на оба входа сравнивающего устройства 19. При этом будет соблюдаться условие $A_{ca} = A_{mu}$.

Контроль и регистрация величин амплитуд и частот сигнала генератора 1 осуществляются устройствами 3, 4 и 6.

При каждом изменении частоты генератора 1 процесс повторяется.

Вычислителями 16 и 17 по соответствующим программам можно анализировать структуры спектра пульсовых сигналов, например амплитудно-частотной, амплитудно-фазовой, фазо-частотной характеристик [8], характер которых соответствует определенной патологии.

Выводы

1. Предложен способ определения диагностического параметра слухового аппарата по пульсам, снятым с мочки уха и сонной артерии, позволяющий получить сведения о патологиях.

2. По результатам спектрального анализа тонкой структуры пульсов (например амплитудно-частотной, амплитудно-фазовой, фазо-частотной) предлагаемый способ диагностики позволяет повышать диагностическую информативность, оперативность измерений, проводить постоянный либо длительный контроль даже при наличии у исследуемого некоторых патологий, а также проводить оториноларингологическую диагностику человеку любого возраста.

Список литературы:

1. *Наджимов О.К.* Пульсовая диагностика (Восток-Запад.). Руководство по диагностике и лечению. – М.: Изд-во «Профит Стай», 2004. 392 с.
2. *Каевциер И.М., Палеев Н.Р.* Графические методы исследования пульса // Кардиология. 1975. Т. 15. № 6. С. 150-155.
3. *Климашов Б.М.* Способ объективного исследования слуха и устройство его реализации / Патент № 2110953 А61 В5/12. Зарегистрировано 20.05.1998, заявка № 93048513.
4. *Баскаков С.М.* Радиотехнические цепи и сигналы. Учебник. – М.: Высш. школа, 1983. 536 с.
5. *Уиггерс К.* Динамика кровообращения. Физиологические исследования. – М.: ИИЛ, 1957. 134 с.
6. *Плетис О.Я.* Реография в оториноларингологии. – Л.: Медицина, 1988. 128 с.
7. *Сущева Г.П.* Вестибулярные синдромы при нарушении кровоснабжения ствола головного мозга и внутреннего уха / В кн.: Патология внутреннего уха. – М.: Медицина, 1987. С. 331.
8. *Климашов Б.М.* Интеллектуальная экспресс-диагностика состояния сердечно-сосудистой системы человека по его пульсу // Медицинская техника. 2008. № 6 (252). С. 10-15.

*Борис Михайлович Климашов,
канд. техн. наук, доцент,
кафедра «Радиотехнические устройства»,
Самарский государственный
технический университет,
г. Самара,
e-mail: bmkl@sama.ru*