

# Разработка макета прибора для контроля проведения маневра Вальсальва

Д. А. Селезнев

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)*

**Аннотация.** В настоящее время в многих медицинских исследованиях стоит задача повышения артериальное давление испытуемого. Существует два основных метода повышения артериального давления: медикаментозный и проведение маневра Вальсальва. Медикаментозный метод не всегда применим. Маневр Вальсальва выполняется путем форсированного выдоха при закрытом носе и рте, как при надувании воздушного шарика. При проведении маневра Вальсальва необходим контроль давления создаваемого в полости рта. Для этого используются манометры. Конструкция этих приборов представляет собой воздушный сменный фильтр, мундштук, шланг и механический манометр. Цель данного исследования заключается в создании макета прибора для проведения маневра Вальсальва. В рамках исследования планируется изучить основные блоки прибора. Создать цифровую версию прибора для потенциальной возможности передачи данных на ПК. Для пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями проведение маневра Вальсальва может быть опасно из-за резкого повышения давления. Косвенным параметром повышения артериального давления является повышение пульса. Поэтому для контроля проведения маневра Вальсальва, помимо регистрации давления в ротовой полости важно регистрировать и пульс. Основной идеей этого исследования является создание автоматизированной системы для безопасного проведения маневра Вальсальва.

**Ключевые слова:** маневр Вальсальва, нефармацевтический способ повышения артериального давления

## I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во многих медицинских исследованиях стоит задача повышения артериальное давление испытуемого. Существует два основных метода повышения артериального давления: медикаментозный и проведение маневра Вальсальва. Медикаментозный метод не всегда применим. Маневр Вальсальва выполняется путем форсированного выдоха при закрытых верхних дыхательных путях. При проведении маневра Вальсальва необходим контроль давления, создаваемого в полости рта. Для этого используются манометры. Конструкция этих приборов представляет собой воздушный сменный фильтр, мундштук, шланг и механический манометр [1]. Цель данного исследования заключается в создании макета прибора для проведения маневра Вальсальва. В рамках исследования планируется изучить основные блоки прибора. Создать цифровую версию прибора для потенциальной возможности передачи данных на ПК. Для пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями проведение маневра Вальсальва может быть опасно из-за резкого повышения давления [2]. Косвенным параметром повышения артериального давления является повышение пульса [3]. Поэтому для контроля

проведения маневра Вальсальва, помимо регистрации давления в ротовой полости важно регистрировать и пульс. Основной идеей этого исследования является создание автоматизированной системы для безопасного проведения маневра Вальсальва.

## II. МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Маневр Вальсальвы выполняется путем форсированного выдоха при закрытом носе и рте, как при надувании воздушного шарика. Разновидности этого маневра могут использоваться как при медицинском обследовании в качестве проверки сердечной деятельности и вегетативной нервной системы сердца, так и для очистки ушей и носовых пазух (то есть для выравнивания давления между ними) при изменении атмосферного давления, например, при нырянии с аквалангом, гипербарической оксигенотерапии или авиаперелетах. [2]

Первоначальное повышение давления. При приложении силы выдоха давление внутри грудной клетки повышается, выталкивая кровь из легочного круга кровообращения в левое предсердие. Это вызывает небольшое повышение ударного объема в течение первых нескольких секунд выполнения маневра. Снижение венозного возврата и компенсация. Возврат крови из системы кровообращения в сердце затруднен из-за давления в грудной клетке. Сердечный выброс снижается, и ударный объем падает. На иллюстрации это происходит с 5-й по 14-ю секунду. Падение ударного объема рефлекторно вызывает сужение кровеносных сосудов с некоторым повышением давления (с 15-й по 20-ю секунду). Эта компенсация может выражаться в возвращении давления к нормальному уровню или даже выше, но сердечный выброс и кровоток в организме остаются низкими. В это время частота пульса увеличивается (компенсаторная тахикардия). Давление на грудную клетку снижается, что позволяет легочным сосудам и аорте вновь расширяться, вызывая дальнейшее незначительное падение ударного объема (от 20 до 23 секунд) из-за уменьшения притока крови в левое предсердие и увеличения объема аорты соответственно. Венозная кровь вновь поступает в грудную клетку и сердце; сердечный выброс увеличивается. Восстановление сердечного выброса. Приток крови к сердцу усиливается за счет обратного поступления крови, что приводит к быстрому увеличению сердечного выброса (в течение 24 секунд). Объем сердечного выброса обычно увеличивается, прежде чем вернуться к нормальному уровню. С восстановлением артериального давления частота пульса возвращается к норме.

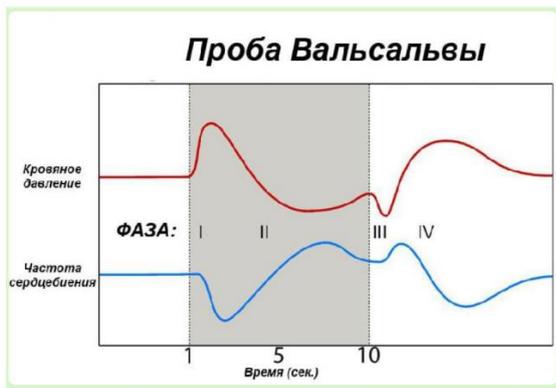


Рис. 1. График изменения артериального давления и частоты сердцебиения

Таким образом, маневр Вальсальва увеличивает внутригрудное давление и, следовательно, снижает нагрузку на сердце. Это снижение перезагрузки приводит к сердечно-сосудистым изменениям посредством барорефлекса и других компенсаторных рефлекторных механизмов. [3] Отклонение от этой схемы реагирования свидетельствует либо о нарушении функции сердца, либо об аномальном вегетативном нервном контроле сердечной деятельности. Маневр выполняется для определения наличия перфорации или сообщения с атриумом.

### III. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ.

На рис. 2 изображена структурная схема прибора для контроля проведения маневра Вальсальва. Основным преимуществом разработанного прибора по сравнению с аналогами, рассмотренными в статьях. [4, 5], является использование электронного манометра в качестве первичного детектора. И создание цифровой системы для контроля проведения маневра Вальсальва.



Рис. 2. Структурная схема прибора

Необходимо подобрать компоненты для решения задачи создания макета устройства. Структурная схема достаточно полно описывает устройство. Нужно подобрать компонент с необходимыми характеристиками под каждый блок структурной схемы. В качестве компонентов для макета были использованы следующие модули: OLED дисплей на базе ssd1306; Микроконтроллер ESP 32; Пульсометр max 30100; Электромагнитный клапан на 5 V, манометр HX710; Блок питания, состоящий из Li-on 3,7 батареи, платы контроля заряды и повышающей платы до 5V; Динамик KY-006.



Рис. 3. Подключение дыхательного фильтра

Одной из основных проблем с которой пришлось столкнуться в процессе проектирования макета прибора было создание достаточно герметичного дыхательного контура. Дыхательный контур состоит из дыхательного фильтра медицинской трубки, трального фитинга, представленного на рисунке. Основной проблемой было соединение клапана и медицинской трубки. Дыхательный фильтр подключается к системе через силиконовый шланг, который разрешено использовать в медицине. Фильтр достаточно легко меняется. Мягкие свойства посадочного места для фильтра обеспечивают герметичность системы.

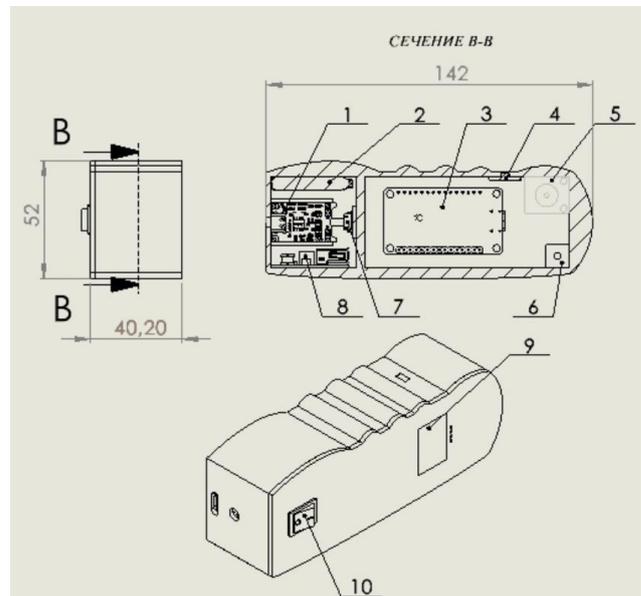


Рис. 4. Чертеж прибора

На рис. 4 приведен чертеж разработанного прибора. Позиции на чертеже обозначают: 1 плата контроля заряды; 2 Li-on 3,7 батареи; 3 Микроконтроллер ESP 32; 4 max 30100; 5 KY-006; 6 Электромагнитный клапан; 7 HX710; 8 повышающая плата до 5V; 9 OLED дисплей на базе ssd1306; 10 Кнопка.

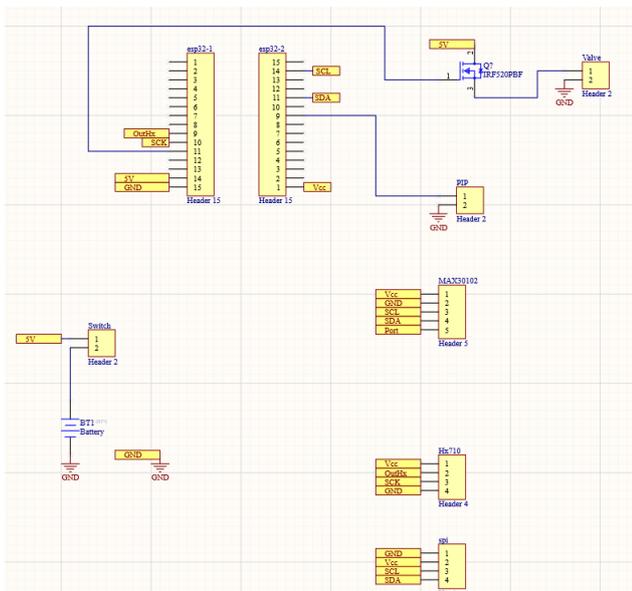


Рис. 5. Принципиальная схема прибора для контроля проведения маневра Вальсальвы

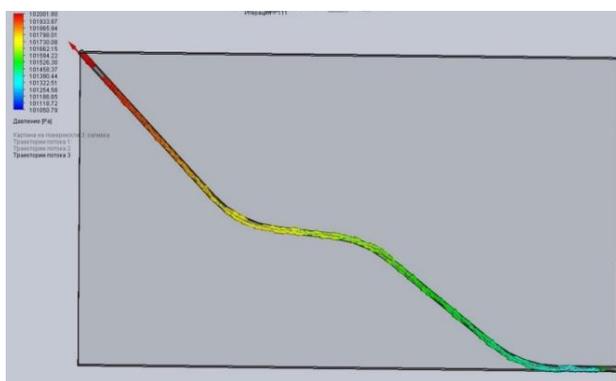


Рис. 6. Анализ распределения давления в медицинской трубке

В ходе проведения работы была построена модель протекания воздуха в медицинской трубке заданного диаметра (3 мм). В ходе исследования было выяснено, что крайне важно поставить клапан недалеко от выхода дыхательного фильтра, так скорость потока воздуха убывает с возрастанием длины трубки, что препятствует свободному выдоху во время срабатывания клапана.

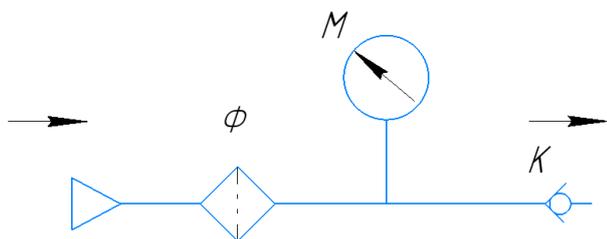


Рис. 7. Упрощенная пневматическая схема

На рис. 7 представлена упрощенная пневматическая схема. Проведенные эксперименты показали, что соединение при используемых в проведении маневра Вальсальвы остается герметичным. Диапазон давлений 490–1000 Па. Аналогичные исследования были проведены для соединения медицинской трубки с клапаном и т-образным фитингом. Исследование производилось следующим образом: в дыхательный контур нагнеталось давление до 500 Па, входная часть

контура грейдировалась, производились замеры, через какое время давление упадет на 1 %. Среднее время падения составляло 43 минуты.



Рис. 8. Макет прибора

На рис. 8 представлен макет прибора, собранный по чертежу, изображенному на рис. 4. Корпус прибора напечатан на PLM пластике, который разрешено использовать для корпусов медицинских приборов. Была проведена попытка сделать корпус эргономичным для испытуемых. Но практика результаты испытаний выявили ряд проблем для испытуемых с обхватом ладони менее 22 см в обхвате.

Это может быть обосновано не совершенством алгоритма расчета ЧСС. Однако погрешность 5 % является допустимой в данном случае. В ходе работы были подобраны компоненты, которые оптимально подходят для решения этой задачи. Собран макет устройства и проведены испытания.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы.

В ходе работы были рассмотрены основные узлы устройства, блок схема, программное обеспечение и система питания. Рассмотрен процесс проведения манера Вальсальвы. Собран макет устройства и проведены испытания и сравнение с сертифицированным пульсоксиметром.

Планируется пересмотреть конструкцию прибора. Разметить все электронные узлы на одной плате. Уменьшить размер прибора. Сделать маленькую серию. Провести испытания. Проверить надежность срабатывания системы открытия клапанов и звукового оповещения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Пушкарёва Л.Д., Запускалов И.В. Механизмы развития ретинопатии Вальсальвы //Бюллетень сибирской медицины. 2011. Т. 10. №. 4. С. 99-102. (дата обращения 19.06.2024)
- [2] Мустаева-Павлова М.В., Молчанова Е.В. Ретинопатия Вальсальвы, вызванная глубоководным погружением //

Современные технологии в офтальмологии. 2020. №. 3. С. 58-59.  
(дата обращения 19.06.2024)

- [3] Золотарев А.М., Семенов Ю.С., Дьяченко А.И. Разработка модели кровенаполнения легких во время выполнения дыхательных маневров //Ульяновский медико-биологический журнал. 2016. Приложение. С. 36-36.(дата обращения 25.06.2024)
- [4] Nazemroaya B. et al. A comparative study of valsalva maneuver, lidocaine, and valsalva maneuvers with administration of lidocaine to

reduce the pain associated with administration of etomidate during general anesthesia //Anesthesiology and Pain Medicine. 2021. Т. 11. №. 3. (дата обращения 25.06.2024)

- [5] Motamedi M. et al. Valsalva maneuver using a handmade device in supraventricular tachycardia reversion, a quasi experimental study // Emergency. 2017. Т. 5. №. 1. (дата обращения 26.06.2024)