

Разработка портативного пневмотренажера для тренировки дыхательной системы в борьбе с последствиями от перенесенного COVID-19

А.В. Леонова^{1,2}, С.А. Синютин^{1,2}, О.Ю. Шпаковская^{1,2}

¹*Южный федеральный университет, Таганрог*

²*Институт радиотехнических систем управления*

Аннотация: В статье представлен анализ проблем диагностики и восстановления дыхательной системы человека после перенесенных заболеваний, в том числе COVID-19. Проведен обзор аналогов малогабаритных спирометров. На базе чего разработан индивидуальный малогабаритный прибор для эффективной тренировки дыхательной системы. Описана функциональная схема пневмотренажера и разобраны основные тренажерно-игровые сценарии для достижения лечебного эффекта.

Ключевые слова: дыхательная система, COVID-19, пневмотренажер, портативный прибор, датчик давления, МЭМС- технологии.

Последние два года показали, что человечество не избавилось от угрозы внезапно возникающих пандемий с весьма тяжелыми последствиями. Общеизвестно, что коронавирусная инфекция (COVID-19) особо опасна для дыхательной системы человека и приводит к изменениям в тканях легких и даже после окончания заболевания эти изменения сохраняются. Меняется упругость и эластичность тканей, что негативно отражается на функционировании легких в целом.

Одним из эффективных методов коррекции состояния пораженных тканей легких в начальной стадии, является комплекс дыхательных упражнений, тренирующий саму легочную ткань, мышцы, нервные окончания, т.е. дыхательную систему в комплексе.

С научной точки зрения любое дыхательное упражнение направлено на контроль двух параметров: объема вдыхаемого/выдыхаемого воздуха и потока воздуха через верхние дыхательные пути, его скорость и течение. В процессе естественного дыхания при нормальном состоянии легких, эти два

параметра можно отобразить в виде кривой, которая называется петля поток-объем.

Эта петля образуется в результате наложения по вертикальной оси графика скорости потока, а по горизонтальной - величины легочного объема и строится современными электронными спирометрами в автоматическом режиме. На этой петле выделяются основные показатели спирограммы, рис.1 [1,2].

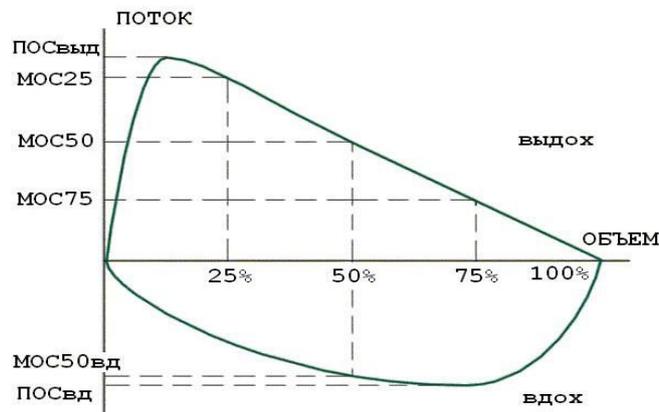


Рис. 1 – Нормальная петля поток-объем. Где ПОСвыд – пиковая скорость выдоха, ПОСвд – пиковая скорость вдоха, МОС 25 – максимальная объемная скорость в момент достижения 25% объема форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ) – отражает проходимость крупных бронхов. МОС 50 - максимальная объемная скорость в момент достижения 50% объема ФЖЕЛ – отражает проходимость средних бронхов. МОС 75 - максимальная объемная скорость в момент достижения 75% объема ФЖЕЛ – отражает проходимость мелких бронхов.

По оси абсцисс откладывается объем (в литрах), а по оси ординат – поток (в л/с). Исследование петли позволяет определить уровень обструкции ПОСвыд – пиковая скорость выдоха – верхняя часть графика. Данный

показатель отражает проходимость крупных бронхов (расположенных выше, чем те, которые характеризует показатель МОС 25).

Как только траектория меняется, можно говорить о нарушениях в дыхательной системе, рис. 2 [2 -4].

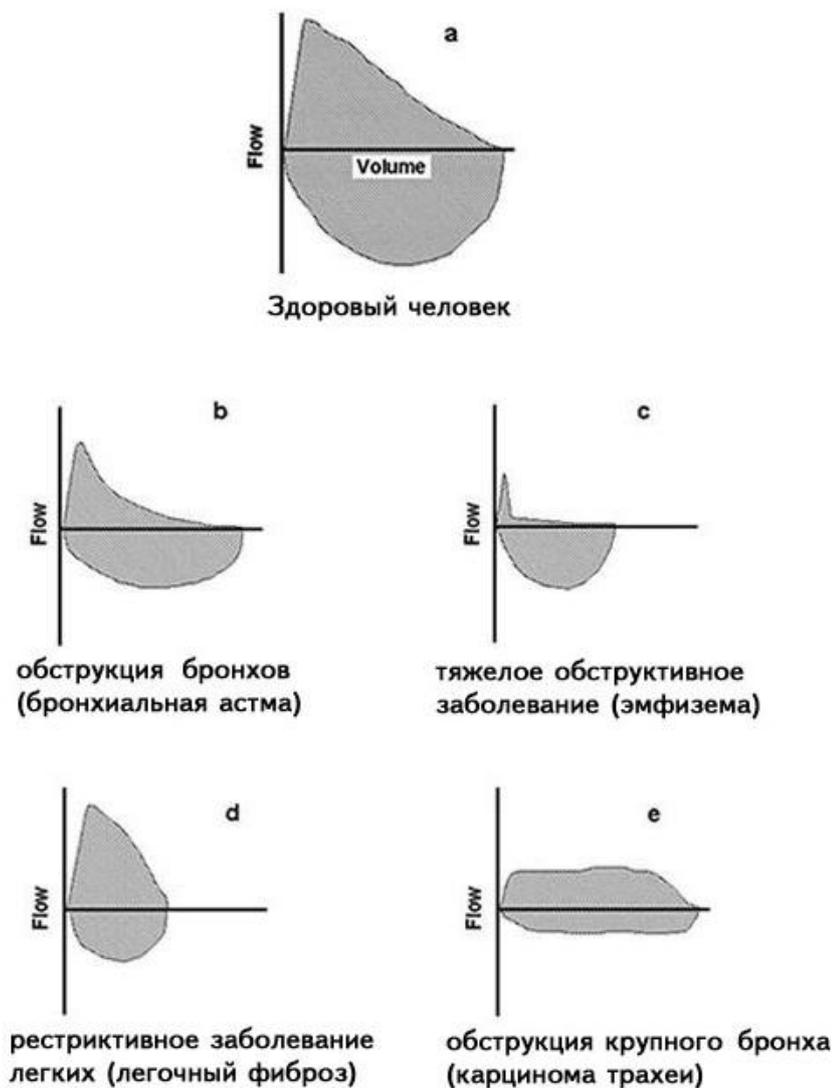


Рис. 2. – Кривая поток-объем в норме и при различных патологиях легких

По форме петли и изменениям ее показателей можно выделить норму и основные типы дыхательной недостаточности: обструктивную, рестриктивную и смешанную.

В норме ФЖЕЛ превышают 80% нормативных показателей. Если эти показатели менее 70% нормативных - это признак патологии [5].

Для обычного человека «заставлять» дышать, соблюдая форму петли поток-объем достаточно тяжело. Поэтому желательно иметь простой тренажер, который показывал бы, правильно человек дышит или нет, был простой в использовании.

Обзор существующих аналогов [6-8] показал, что существует 2 категории тренажеров дыхания:

1) Для домашнего использования (Ингалятор-тренажер Фролова; нагрузочный спирометр АСАPELLA DM BLUE; дыхательный тренажер PARI O-PEP). Позволяют проводить тренировки дыхательной мускулатуры; отвечают требованиям портативности. Но подбор нагрузки пользователь осуществляет самостоятельно по своим ощущениям. Сбор данных о динамике дыхания приборы данной категории не осуществляют. Биологически обратная связь, о том правильно ли дышит пациент, не обеспечена.

2) Для использования в пределах стационара и поликлиник (Аппарат для реабилитации пациентов после COVID-19, созданный Томскими учеными). Аппарат ведет сбор статистических показателей, отвечающих за изменение состояния пациентов с помощью газоанализатора. Данный газоанализатор является надстройкой для аппарата ИВЛ. Возможности портативной работы у данной надстройки нет, применяется лишь в условиях стационара, где есть аппараты ИВЛ, значит, не может быть доступен для широкого круга пациентов с поражением легких.

В настоящее время не существует прибора, который отвечал бы требованиям: портативности, возможности не только тренировки, но и сбора данных о динамике дыхания пациента, возможности реализации биологической обратной связи [9-11]. Поэтому весьма актуальной задачей является разработка компактного, доступного по цене пневмотренажера, позволяющего человеку, не обладающему профессиональными медицинскими и техническими знаниями, заниматься индивидуальной реабилитацией респираторной дыхательной системы, с возможностью проведения объективной оценки респираторной системы.

Для выполнения этой задачи была разработана модель портативного пневмотренажера, представляющая собой малогабаритный прибор, состоящий из трубки, внутри которой имеется аэродинамическое сопротивление (мембрана). В пространстве за мембраной находится высокочувствительный датчик давления [12,13] и температуры, который используется для регистрации скорости и направления воздушного потока, а также датчик концентрации CO₂, рис. 3.

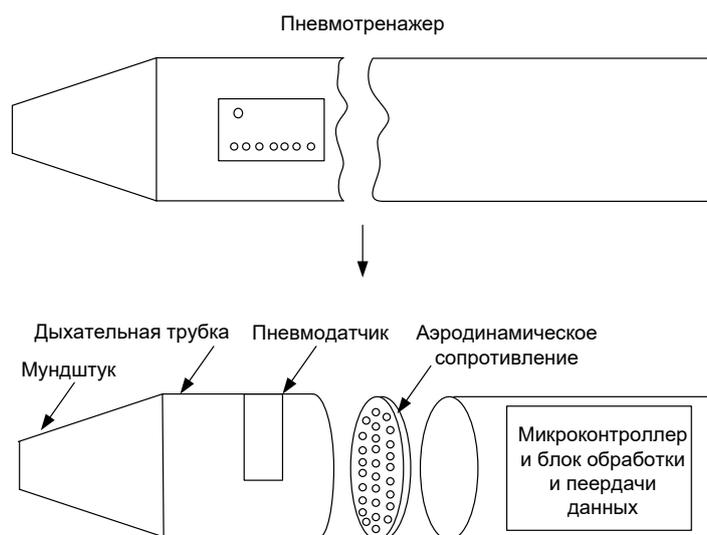


Рис. 3. - Портативный пневмотренажер

Человек дышит в трубку, поток воздуха поступает на датчик, подключенный к микроконтроллеру, который обрабатывает и передает данные по радиоканалу на андроид-устройство. Приложение в андроид-устройстве отображает эти данные в виде определенной тренажно-игровой картинки.

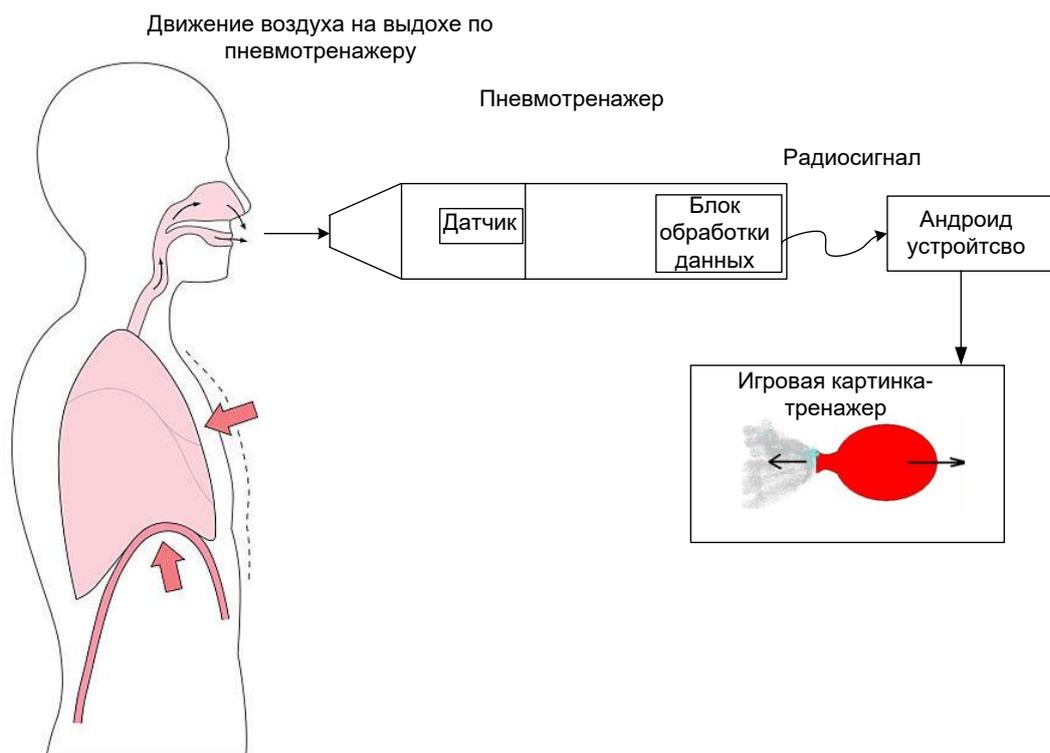


Рис. 4. – Движение воздуха от человека к пневмотренажеру, создание игровой картинки

Например, нужно надуть шарик определенного размера за определенное время. Как реальный шарик, он обладает сопротивлением и чтобы его надуть необходимо приложить усилия. Таким образом происходит тренировка дыхательной системы. Другой пример тренажно-игровой картинки: резким выдохом сдуть лепестки цветка.

Изменяя параметры процессов, можно со временем усложнять задачу и достигать тем самым нужного лечебного эффекта. Пневмотренажер не просто формирует игровую ситуацию, но и измеряет реальные параметры

дыхательной системы человека, за счет чего достигается безопасность методики. Таким образом, если человек пытается выполнить задачу с запредельными усилиями, то прибор это заметит и остановит процесс. Такой пневмотренажер будет полезен для людей страдающих хроническими заболеваниями дыхательных путей, астмой, и от последствий пневмонии, в том числе вызванной COVID-19.

Литература

1. Синьков А.В., Синькова Г.М. Исследование функции внешнего дыхания. Иркутск: ИГМУ, 2015. 15 с.
 2. Гриппи М.А. Патофизиология легких. М.: Восточная книжная компания, 1997. 344с.
 3. Новиков Г.А., Боричев А.В. Спирометрия и пикфлуориметрия при бронхиальной астме у детей. СПб: ГПМА, 2005. 68с.
 4. Квашин С.Е., Морозов А.А. Автоматизированная обработка спирограмм на ЭВМ. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 11 с.
 5. Шурыгин И.А. Мониторинг дыхания: пульсоксиметрия, капнография, оксиметрия. -СПб. БИНОМ, 2000. 301 с.
 6. Белов А.А. Основные методы функциональной диагностики в клинике внутренних болезней. М, 2003. 86 с.
 7. Чучалин А.Г. Бронхиальная астма. М. Русский врач, 2001. 144 с.
 8. Чучалин А.Г. Функциональная диагностика в пульмонологии: практическое руководство. М.: Атмосфера, 2009. 192 с.
 9. Miller M.R., Crapo R., Hankinson J. et al. General considerations for lung function testing. Eur. Respir. J. 2005; 26 (1): 153–161.
 10. Официальный сайт медицинских международных исследований URL: spirometry.com (дата обращения: 08.04.2022).
-

11. Richardson C.H., Orr N.J., Ollosson S.L., Irving S.J., Balfour-Lynn I.M., Carr S.B. Initiating home spirometry for children during the COVID-19 pandemic Dept. Paediatric Respiratory Medicine, Royal Brompton Hospital, London, UK. URL: spirometry.com/publications (дата обращения: 08.04.2022).
12. Тараканов С. А., Кузнецов В. И., Кузнецов А. О. Длительный мониторинг дыхания человека // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2017 (дата обращения: 08.04.2022).
13. Лысенко И.Е. Моделирование интегрированного внутреннего упругого подвеса микромеханического устройства // Инженерный вестник Дона, 2010, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/223 (дата обращения: 08.04.2022).

References

1. Sin'kiv A.V., Sin'kova G.M. Issledovanie funkicii vneshnego dy`haniya. Irkutsk [Study of the function of external respiration]: IGMU, 2015. 15 p.
2. Grippi M.A. Patofiziologiya legkix [Pathophysiology of the lungs]M.: Vostochnaya knizhnaya kompaniya, 1997. 344p.
3. Novikov G.A., Borichev A.V. Spirometriya i pikfluorimetriya pri bronxial`noj astme u detej [Spirometry and peak fluorometry for bronchial asthma in children]. SPb: GPMA, 2005. 68p.
4. Kvashin S.E., Morozov A.A. Avtomatizirovannaya obrabotka spirogramm na E`VM [Automated processing of spiograms on a computer]. M.: MGTU im. N.E` . Baumana, 2002. 11p.

5. Shurigin I.A. Respiratory monitoring: Monitoring dy`xaniya: pul`soksimetriya, kagnografiya, oksimetriya [Respiratory monitoring: pulse oximetry, cagnography, oximetry]. SPb. BINOM, 2000. 301 p.
 6. Belov A.A. Osnovny`e metody` funkcional`noj diagnostiki v klinike vnutrennix boleznej [The main methods of functional diagnostics in the clinic of internal diseases]. M, 2003. 86 p.
 7. Chuchalin A.G. Bronxial`naya astma [Bronchial asthma]. M. Russkij vrach, 2001. 144 p.
 8. Chuchalin A.G. Funkcional`naya diagnostika v pul`monologii: prakticheskoe rukovodstvo [Functional diagnostics in pulmonology]. M.: Atmosfera, 2009. 192 p.
 9. Miller M.R., Crapo R., Hankinson J. et al. General consid erations for lung function testing [General consid erations for lung function testing]. Eur. Respir. J. 2005; 26 (1): pp.153–161.
 10. Oficial`ny`j sajt medicinskix mezhdunarodny`x issledovanij [Official website of International Medical Research]. URL: spirometry.com/ (accessed 08/04/2022).
 11. Richardson C.H., Orr N.J., Ollosson S.L., Irving S.J., Balfour-Lynn I.M., Carr S.B. Initiating home spirometry for children during the COVID-19 pandemic Dept. Paediatric Respiratory Medicine, Royal Brompton Hospital, London, UK. URL: spirometry.com/publications/ (accessed 08/04/2022).
 12. Tarakanov S.A., Kuznezov V.I. Kuznezov A.O. Inzhenerny`j vestnik Dona, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2017 (accessed 08/04/2022).
 13. Lisenko I.E. Inzhenernyj vestnik Dona, 2010, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/223 (accessed 08/04/2022).
-