

**СМАРТФОН АППЛИКАЦИЯ СПИРОАНАЛИЗАТОРА ДЛЯ
ИНДИВИДУАЛЬНОГО, ДВУХТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛЕГКИХ**

**SMARTPHONE APPLICATION OF SPYROANALYZER FOR
INDIVIDUAL, TWO-TEST LUNG FUNCTIONING CONTROL**

Ph.D. Михаил Козлов

Ph.D. Michail Kozlov

Директор Института интеграции и профессиональной адаптации, Нетания, Израиль

Director of Institute integration and professional adaptation, Netanya, Israel

E-mail: 19mike19k@gmail.com tel.: +(972)527 052 460

Ст. инж.-программист Юрий Ласкин

Senior Software Engineer Yuri Laskin

Хайфа, Израиль

Haifa, Israel. Email: pasifus@gmail.com

Ph.D., MD. Лернер Любовь

Ph.D., MD. Lerner Lyubov

Руководитель медицинской секции Института интеграции и профессиональной адаптации, Нетания, Израиль.

Head of the Medical Section of Institute integration and professional adaptation, Netanya,

Israel. Email: luler@mail.ru tel.: +(972)98891061

Ph.D. Candidate Полинов Семен

Ph.D. Candidate Polinov Semion

*Кафедра морских геонаук университета Хайфы. Научный сотрудник Хайфского
Исследовательского Центра Морской Политики и Стратегии.*

*Department of Marine Geosciences University of Haifa. Research Fellow Haifa Research Center
for Maritime Policy & Strategy. Email: semion.polinov@gmail.com*

Д.м.н., д-р социологии, проф. Сокол Адольф

Ph.D., MD, Dr of Sociology, Prof. Sokol Adolf

Израильская Независимая Академия развития науки. Беэр-Шева, Израиль.

Israeli Independent Academy of Development of Sciences. Be'er Sheva, Israel.

E-mail: sokoladolf@yahoo.com tel.: +972-8-6655909

Ph.D. Файнберг Владимир

Ph.D. Vladimir Faynberg

*Нетанийский филиал Израильской независимой академии развития наук. Иерусалим,
Израиль*

Netanya branch of the Israel Independent Academy of Development of Sciences. Jerusalem,

Israel. E-mail: faynbergv@yahoo.com tel.: +(972)72543027456

АННОТАЦИЯ:

На основе метода модуляционной звуковой спирометрии рассмотрено построение смартфон приложения спироанализатора, применение которой позволит сделать значительный шаг вперед, как в индивидуальном, доступном контроле функционирования легких, так и в массовой, эффективной, дистанционной диагностике.

Ключевые слова: модуляционная звуковая спирометрия, индивидуальная диагностика функционирования легких, глубокий, долгий выдох, форсированный выдох.

SUMMARY:

Based on the method of modulation sound spirometry, the construction of a smart phone application of a spiroanalyzer is considered, the use of which will allow to make a significant step forward, both in affordable individual monitoring of lung function, and in effective and remote mass diagnostics.

Key words: modulation sound spirometry, individual diagnostics of lung functioning, deep, long expiration, forced expiration.

Неблагоприятные условия окружающей среды способствуют существенному загрязнению воздуха, что приводит к росту различных легочных заболеваний. К сожалению, вялая и необнаруженная начальная фаза заболевания довольно часто быстро меняет свое развитие на очень агрессивное с трагическими последствиями. Массовый, дистанционный мониторинг и ранняя диагностика людей является ключевым подходом для решения этой проблемы.

Важнейшим инструментом для выявления легочных заболеваний - спирометрия, которая стала золотым стандартом при измерении функции легких [1]. Однако, имеющиеся спирометры используются в основном во врачебных кабинетах или лабораториях. В то же время имеются реальные запросы клинической практики на дистанционную спирометрию и индивидуальный контроль функционирования легких в домашних условиях. И, в частности, пандемия COVID-19 показала экстремально острый спрос на простые, индивидуальные спирометры для такого контроля.

Наша команда инженеров, ученых и врачей предложила новый метод спирометрии, который был определен как модуляционная звуковая спирометрия [2,3]. На основании этого метода проводится разработка Смартфон Аппликации Спироанализатора (САС) и ее тестовая отладка. Использование САС позволит сделать значительный шаг вперед, как в индивидуальном, доступном контроле функционирования легких, так и в массовой, эффективной, дистанционной диагностике.

В соответствии с методикой, принятой при спирометрических исследованиях [4], для САС было определено два тестовых применения. Первый тест для исследования жизненной емкости легких (ТЖЕ). Второй тест связан с оценкой форсированной жизненной емкости легких (ТФЖЕ) и сопутствующих параметров.

В ТЖЕ при глубоком, длительном выдохе оценивается максимальный объем выдыхаемого воздуха - жизненная емкость легких (ЖЕЛ), (VC) и длительность выдоха. Эта процедура проводится при максимально возможной длительности произносимой фонемы «И» или другого подходящего звука.

В ТФЖЕ после максимально глубокого вдоха, делается максимально быстрый выдох и оценивается объем форсированного выдоха (ОФВ), (FEV) - форсированная ЖЕЛ (FVC), пиковая скорость выдоха (ПСВ), (PEF) и длительность форсированного выдоха. По результатам тестирования определяются объем форсированного выдоха за первую секунду (FEV₁) и индекс Tiffeneau–Pinelli, как отношение FEV₁/FVC в %. Величина FEV₁ и индекс Tiffeneau–Pinelli являются одними из важнейших параметров диагностирования функции легких [5,6].

К другим важным показателями форсированного выдоха, которые могут быть вычислены с помощью САС, относятся средняя скорость форсированного выдоха 25-75% FVC (MMEF25-75), максимальная объемная скорость, в момент, когда произошел выдох 25, 50 и 75 % объема FVC (MEF25, MEF50, MEF75), отношение FEV₁/FEV₆ [7].

Тест на форсированный выдох широко распространен в медицине и помогает диагностировать и контролировать работу легких при многих заболеваниях. При хронических заболеваниях легких врачами рекомендуется постоянно контролировать приведенные выше параметры форсированного выдоха. В тоже время, по сравнению с тестом на глубокий, длительный выдох, тест на форсированный выдох более сложен и требуется подготовка для правильного его выполнения. Также имеют некоторые ограничения на его использование при ряде заболеваний, которые надо учитывать [8].

На рис. 1 показана процедура работы с САС при записи выдоха.



Рис.1.

С помощью строящихся при спирометрии графиков оцениваются в первую очередь такие ее основные параметры, как объем выдоха, скорость потока и время процесса, и их взаимосвязь [1].

На рис.2 и рис.3 приведены результаты ТЖЕ. На рис. 2 представлен результат измерений дыхательного маневра в виде графика потока выдоха в зависимости от времени с выводом значения объема выдыхаемого воздуха.

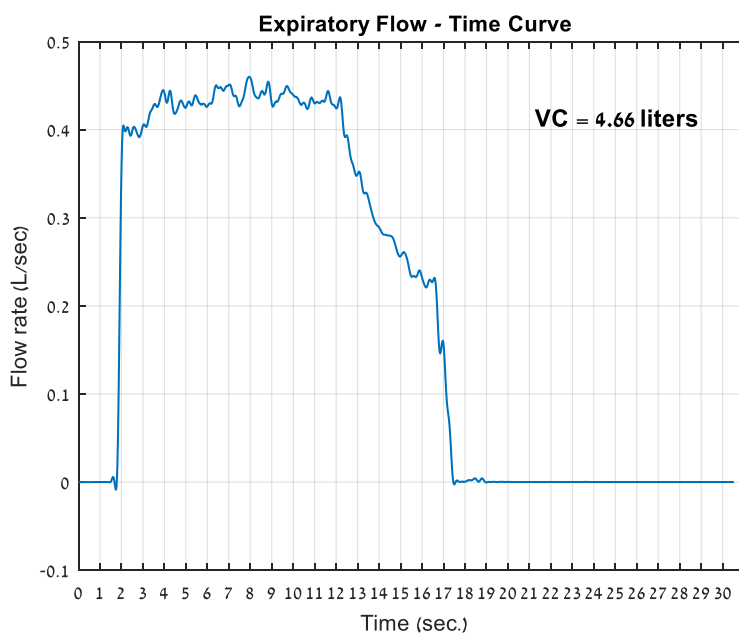


Рис. 2. График скорости потока выдоха в зависимости от времени

На рис.3 приведен результат измерений того же дыхательного маневра, представленного в виде принятого в практике спирометрии графика объема выдоха в зависимости от времени (спирограмма).

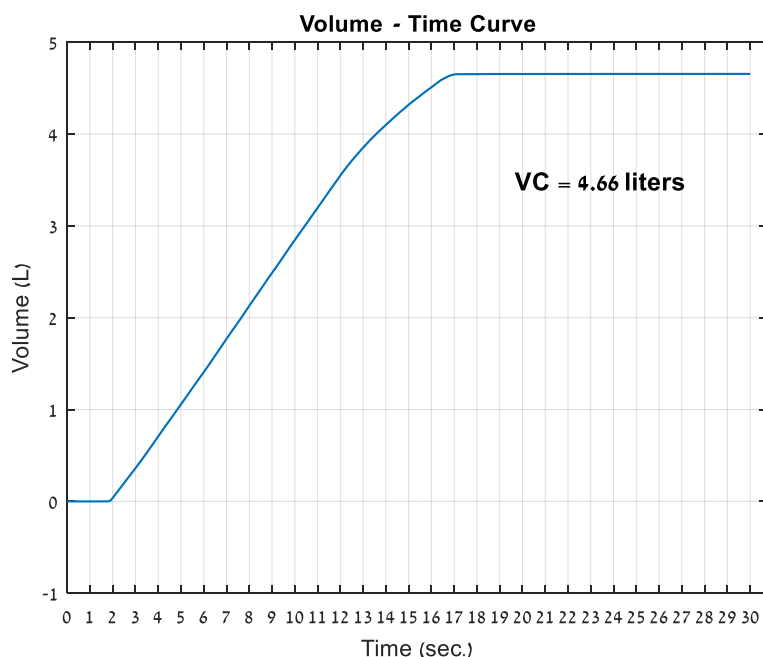


Рис. 3. Спирограмма глубокого выдоха

На рис.4 - рис.6 показаны результаты ТФЖЕ. На рис. 4 приведен результат измерений дыхательного маневра, представленный в виде графика потока форсированного выдоха в зависимости от времени. Также приводятся расчетные значения объема форсированного выдоха, объема воздуха, выдыхаемого за первую секунду, и отношение объема воздуха, выдыхаемого за первую секунду, к форсированной жизненной емкости легких в %.

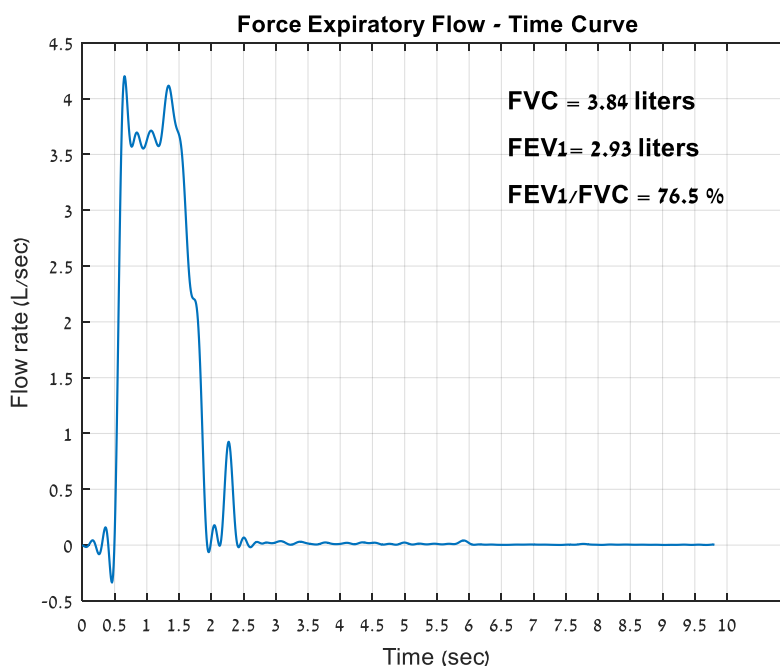


Рис.4. График скорости потока форсированного выдоха в зависимости от времени

На рис.5 и рис.6 приведены результаты измерений того же дыхательного маневра в виде принятых в практике спирометрии графиков для форсированного выдоха. График

объема форсированного выдоха в зависимости от времени (спирограмма форсированного выдоха) и график зависимости объема форсированного выдоха от скорости потока.

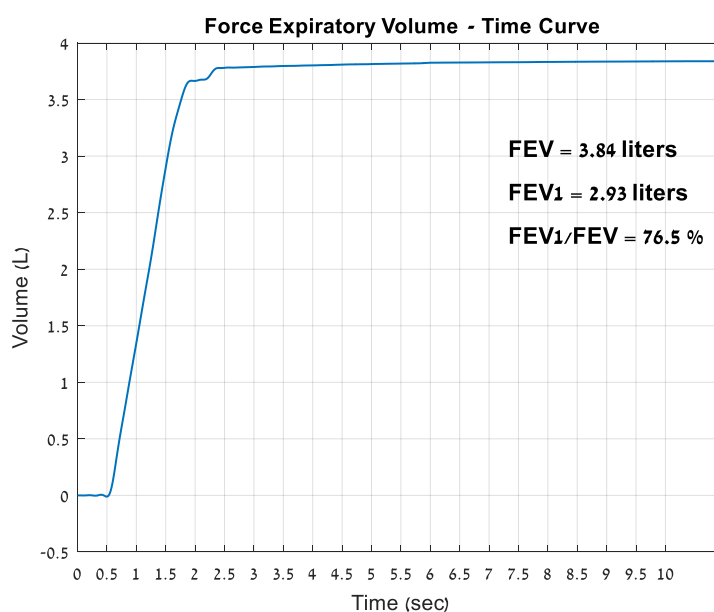


Рис. 5. Спирограмма форсированного выдоха

На графике рис. 5 приведены значения объема форсированного выдоха, объема воздуха, выдыхаемого за первую секунду, и отношение объема воздуха, выдыхаемого за первую секунду, к форсированной жизненной емкости легких в %.

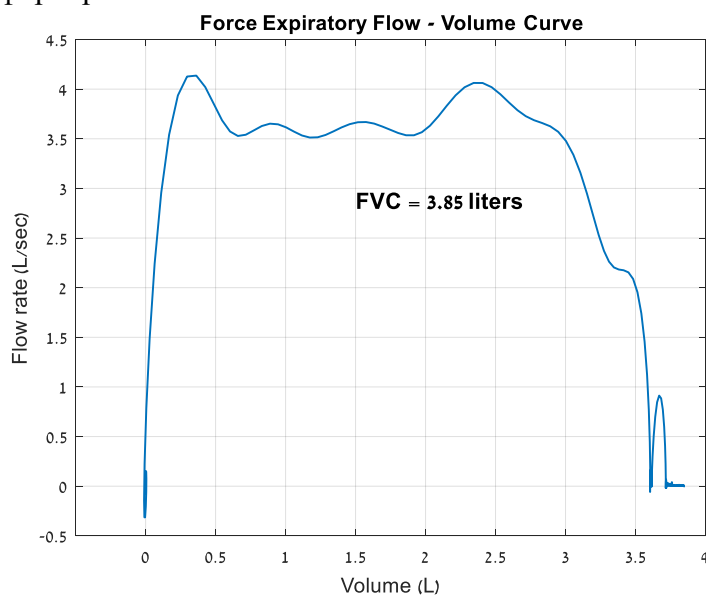


Рис.6. График зависимости объема форсированного выдоха от скорости потока выдоха

По мнению авторов, графики на рис.2 и рис.4 наглядно отображают процедуру измерения и достаточно информативны, как для теста на глубокий выдох, так и для теста на форсированный выдох. Эти графики позволяют проводить детальный анализ исследуемых процессов и избегать субъективных ошибок при измерениях, визуально выявляя наличие артефактов и оценивая приемлемость результатов тестов. В дополнение, к принятым в практике спирометрии графикам на рис. 3, рис.5 и рис.6, графики на рис. 2 и рис.4 дают возможность выявлять некоторые, малозаметные процессы при выдохе и вполне могут применяться совместно с принятыми в практике спирометрии графиками, а в некоторых видах исследований вместо них.

В САС предусмотрена функция сравнения с предыдущими измерениями, позволяющая классифицировать результат измерения, как относящийся к зеленой зоне (находящейся в диапазоне от 80 до 100% обычной пиковой скорости выдоха индивидуума), желтой (от 50 до 80% ПСВ) или красной зоне (менее 50% обычной ПСВ).

На рис. 7 приведены два совмещенных графика, позволяющих проводить сравнение образцовой кривой глубокого выдоха для данного человека и текущей, значения образцовой ЖЕЛ (VCc) и текущей ЖЕЛ (VCn) и их отношение в %.

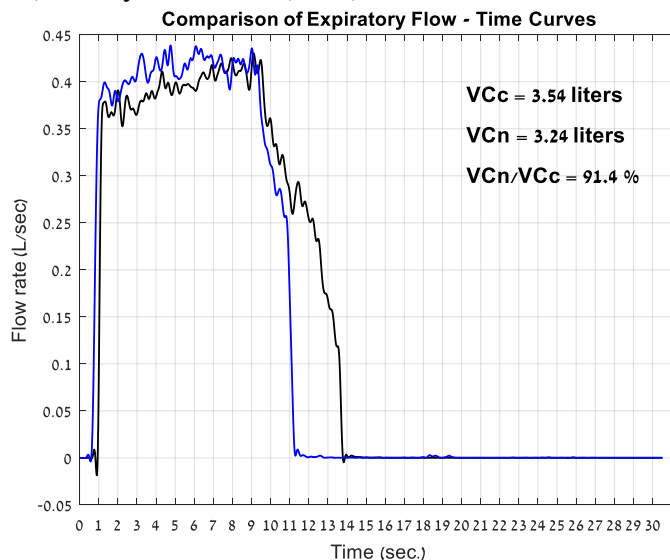


Рис.7. Графики сравнения образцовой ЖЕЛ для данного человека и текущей ЖЕЛ

На рис. 8 приведены два совмещенных графика образцовой и текущей спирограммы глубокого выдоха для тех же дыхательных маневров.

Аналогичное сравнение текущих результатов с образцовым значением может быть и для анализа форсированного выдоха.

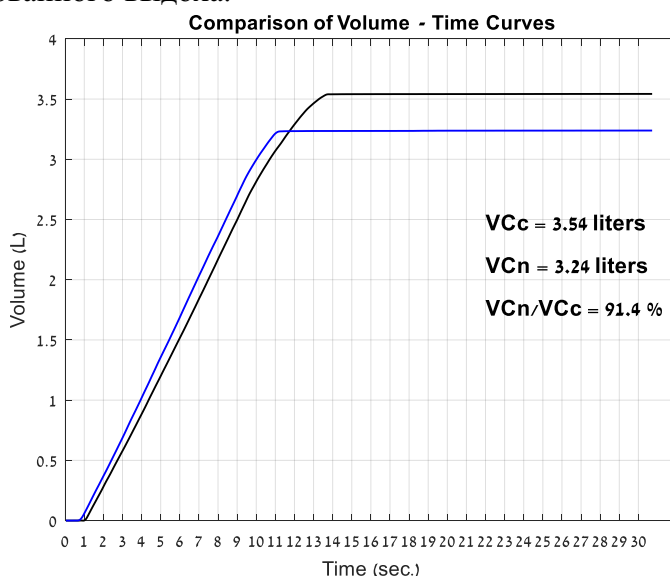


Рис.8. Графики сравнения образцовой и текущей спирограммы глубокого выдоха

Дополнительно предусмотрено построение графиков и таблиц выделенных значений анализируемых параметров для дней тестирования за выбранный временной период.

Введение в САС функции сравнения, формируемые таблицы и графики, отображающие динамику изменения параметров спирометрии, позволяют решать важные задачи в первичной диагностике заболеваний легких, мониторинговании течения заболевания и оценке терапевтического эффекта.

В САС предусмотрена возможность работы в двух режимах.

В режиме абсолютных измерений объема выдоха в литрах, как это показано на рис. 2 – рис.8. Для этого нужна индивидуальная калибровка, которая предусмотрена в функциях САС.

Второй режим работы САС это режим индикатора. В режиме индикатора результаты объема выдоха представляются в относительных индивидуальных единицах (ОИЕ), (RIU), рассчитываемых по отношению к образцовой индивидуальной величине (ОИВ). Для определения ОИВ из нескольких результатов первых дыхательных маневров берется показываемое САС максимальное число объема выдоха V_{Cm} , принимаемое за образцовое, и вычисляется число $pc=1/V_{Cm}$. В этом случае образцовый результат будет равен 1, а все последующие результаты будут показываться в ОИЕ, т.е. относительно этой единицы. Например, $V_{Cm}=4$, тогда $pc=1/4 =0.25$. Полученное число pc сохраняется в памяти САС.

Поскольку в практике медицинских исследований функционирования легких важна оценка динамики изменений выбранных показателей функционирования легких и абсолютные значения объема легких при текущем анализе бывают не важны, то режим индикатора САС оказывается удобным при сравнении текущих значений. И режим индикатора можно рекомендовать как основной режим САС для индивидуальной домашней оценки функционирования легких. Тем более, что он не требует индивидуальной калибровки.

Ниже приведена таблица, отображающая динамику изменения величин ЖЕЛ (VC) за период тестирования с 17 апреля по 10 июня 2020г. по отношению к образцовой величине, принятой за 1.

Таблица

Date	17.4.20	19.4.20	12.5.20	21.5.20	1.6.20	2.6.20	5.6.20	10.6.20
RIU	0.811	1.00	0.929	1.002	0.973	0.982	0.88	0.992

Как видно из таблицы большинство текущих значений ЖЕЛ ненамного отличаются от образцовой величины ЖЕЛ для данного человека. И это говорит, что по показателю ЖЕЛ, нет замечаний. Значительное отклонение ЖЕЛ, полученное 17 апреля 2020г., можно объяснить тем, что все тесты, кроме проводимого 17 апреля, выполнялись утром перед завтраком, а тест 17 апреля делался днем и на его более низкие результаты повлияла физиология человека, влияющая на функционирование легких.

На рис. 9 представлен график скорости потока выдоха в зависимости от времени, полученный при работе через сайт с САС в режиме индикатора.

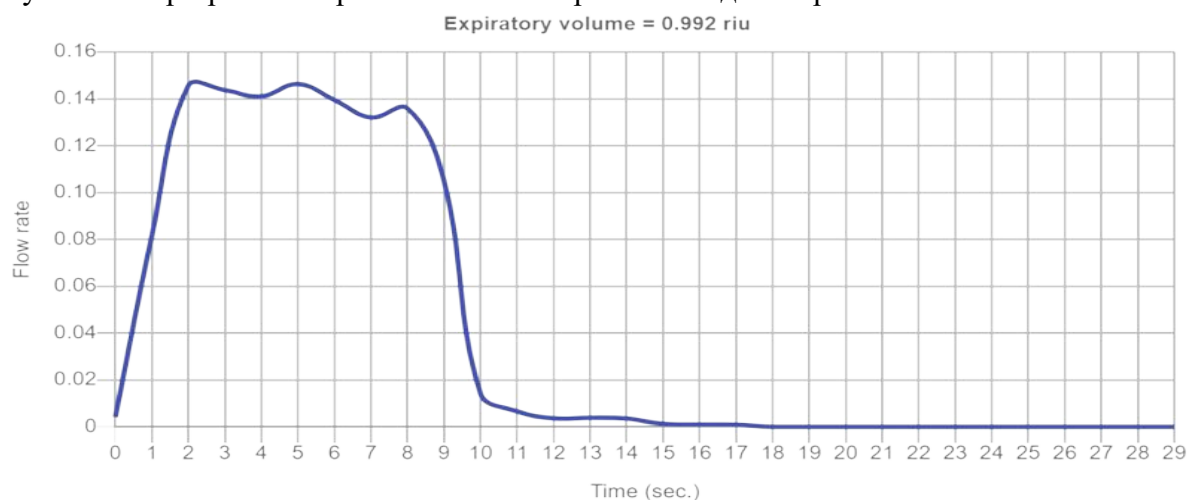


Рис. 9. График скорости потока выдоха в зависимости от времени в относительных индивидуальных единицах (riu)

Использование САС не связано с посещением пульмонологической лаборатории. Оно рассчитано в первую очередь для индивидуального контроля функционирования легких в домашних условиях. Эту особенность следует использовать для снижения разброса результатов тестов за счет уменьшения физиологической составляющей в таких отклонениях. Так по результатам более 200 тестов было, в частности, выявлено, что наиболее устойчивые и максимальные значения при дыхательных маневрах получаются при проведении тестов утром до завтрака. Естественно, что в домашних условиях, выполнение таких периодических дыхательных маневров не создает особых проблем для каждого индивидуума.

Кроме рассмотренного выше, имеется еще ряд психологических и физиологических факторов, которые могут оказать влияние на результаты дыхательных маневров. И на это было обращено внимание на проведенном 11 июня 2020г. онлайн-семинаре «Индивидуальный спироанализатор на смартфоне или компьютере» [9]. Так, в выступлении доктора медицинских наук, профессора Соломона Клецкина было сказано, что организм является сложной иерархической системой, для которого важным показателем состояния вегетативной нервной системы является вариабельность ритма сердца (BPC) [10]. И поскольку определение BPC производится доступным неинвазивным методом, то BPC, наряду с другими доступными оценками состояния организма, следует учитывать при проведении дыхательных маневров и анализа их результатов.

В некоторых случаях дисфункция легких является важным индикатором проблем и сбоев в работе других органов и систем. В [11] отмечается, что у пациентов с сердечной недостаточностью наблюдается нарушение функции легких. Исходя из этого, исследователями из Института сердца Медицинского центра Хадасса в Иерусалиме было предложено персонализированное устройство для мониторинга сердечной недостаточности на основе анализа голоса с помощью приложения для смартфона. Для мониторинга состояния пациента предлагается производить 30-секундную запись голоса каждый день. По нашему мнению, подобную процедуру мониторинга сердечной недостаточности можно производить с помощью САС. Для этого следует использовать режим тестирования при глубоком, длительном выдохе с произнесением пациентом специально подобранной фонемы [2,3]. Возможно, это позволит упростить и улучшить качество и надежность мониторинга для пациентов с сердечной недостаточностью.

По сравнению с индивидуальными устройствами, широко используемыми для тестирования пиковой скорости выдоха [12], САС по своим функциональным характеристикам близок к спироанализаторам. Его применение расширяет возможности при анализе результатов глубокого и форсированного выдоха, позволяя измерять объем и длительность форсированного выдоха, а также ряд других параметров, связанных с зависимостью скорости потока от времени.

Учитывая простоту, удобство использования, широкие функциональные возможности и высокую чувствительность САС, а также минимальные затраты на установку приложения на смартфон, можно предположить, что САС найдет широкое применение для домашней функциональной диагностики легких особенно при необходимости постоянного контроля. Это будет способствовать более эффективному использованию анализа показателей функционирования легких в оперативном выявлении заболеваний и их мониторингованию.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. GOLD Spirometry 2010 – Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. <https://goldcopd.org>
2. Козлов М., Файнберг В. Система дистанционной массовой диагностики коронавируса с использованием смартфон приложения. 19.03.2020. netanyascientific.com
3. Козлов М., Лернер Л., Полинов С., Сокол А., Файнберг В. Звукомодуляционная спирометрия как удобное средство индивидуального контроля дыхательной функции

- легких с использованием смартфона. NIZI.co.il / Наука и жизнь Израиля. 29.04.2020.
4. Ferguson G.T., Enright P.L., Buist A.S., Higgins M.W. Office spirometry for lung health assessment in adults: a consensus statement from the national lung health education program. *Chest* 2000; 117 (4): 1146-1161.
 5. American Thoracic Society. Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies. *Am Rev Respir Dis*, 1991.
 6. Current clinical medicine / Cleveland Clinic; [edited by] William D. Carey. —2nd ed. Saunders.2010.
 7. Pellegrino R., Viegi G., Brusasco V. et al. Interpretative strategies for lung function tests. *Eur. Respir. J.* 2005; 26. P. 948–968.
 8. Miller M.R., Barjaktarevic I.Z., Cooper B.G. and etc. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement.
 9. Онлайн-семинар «Индивидуальный спироанализатор на смартфоне или компьютере», 11 июня 2020г. netanya.scientific.com
 10. Клецкин С. Ритм сердца как индикатор состояния организма. Проблемы клинической диагностики и практического применения. Изд-во «Достояние». Иерусалим, 2017.
 11. Henders E. Voice analysis by smartphone app detects lung congestion in heart failure patients. *News Medical Life Science*. Jun.19.2020.
 12. Peak Expiratory Flow Rate. 9.03.2017. www.healthline.com › health › peak-expirat...