

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕТОДА ОЦЕНКИ КРИВОЙ «ПОТОК–ОБЪЕМ» ПО ИЗМЕНЕНИЮ ЕЕ ФОРМЫ ПРИ ОБСТРУКЦИИ БРОНХОВ

Е. М. Десяцкова <sup>✉</sup>, В. В. Греченко, В. В. Соболева

Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова, Москва, Россия

При обструкции бронхов кривая «поток–объем» имеет характерную вогнутую форму, однако данному признаку не уделяют должного внимания. Анализ скоростных показателей функции внешнего дыхания (ФВД), таких как пиковая объемная скорость выдоха (ПОС) и максимальные объемные скорости выдоха (МОС), позволит расширить диагностические возможности спирометрии. Цель работы — провести сравнительный анализ диагностической эффективности методов оценки кривой «поток–объем» по изменению ее формы на фоне обструктивных нарушений. Оценено 540 проб ФВД пациентов (234 мужчины 57 [36; 67] лет и 306 женщин 59 [44; 69] лет), для каждого определено процентное отношение площадей под фактической кривой и кривой предполагаемой нормы, рассчитан угол, образованный кривой, определено процентное отношение фактических МОС с предположительно нормальными, рассчитаны отрезные точки с целью разграничения обструктивных нарушений и нормы. Сформировано заключение о наличии или отсутствии у пациента обструкции бронхов. Результаты сравнивали с заключениями, полученными с помощью системы Knudson, с расчетом операционных характеристик теста относительно стандарта. Показано, что методы оценки угла  $\beta$  и общей вогнутости кривой обладают высокими значениями чувствительности (87,8% и 95,6% соответственно), а оценка площади под кривой «поток–объем» (AEX-FV) обладает высоким значением специфичности (88,6%). Таким образом, продемонстрирована достаточная диагностическая эффективность методов оценки кривой по изменению ее формы. Однако использование этих методов в отрыве от принятых систем расчета должных не видится целесообразным. Логичным представляется совместное использование системы расчета должных и одного из методов оценки кривой по форме.

**Ключевые слова:** спирометрия, ФВД, кривая «поток–объем»

**Благодарности:** коллектив авторов выражает благодарность Т. Д. Большаковой за помощь в подготовке научно-технического перевода настоящей статьи.

✉ **Для корреспонденции:** Елена Михайловна Десяцкова  
ул. Островитянова, д. 1, г. Москва, 117997, Россия; panielenadesat@gmail.com

**Статья получена:** 08.10.2024 **Статья принята к печати:** 10.11.2024 **Опубликована онлайн:** 27.11.2024

**DOI:** 10.24075/vrgmu.2024.051

## ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF THE FLOW-VOLUME CURVE ASSESSMENT BY THE CHANGES IN ITS SHAPE IN PATIENTS WITH OBSTRUCTIVE AIRWAY DISEASES

Desyatskova EM <sup>✉</sup>, Grechenko VV, Soboleva VV

Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

In case of obstructive disorders, the flow–volume curve has a concave shape, but this feature is not given due attention. The analysis of the velocity indicators of the respiratory function (such as the peak expiratory flow (PEF) and forced expiratory flows (FEFs)) will significantly expand the diagnostic capabilities of the spirometry method. This paper aims to perform a comparative analysis of the diagnostic strength of the methods of the flow-volume curve assessment by the changes in its shape in patients with obstructive airway diseases to determine the most reliable one. The respiratory function of 540 patients was tested (234 are men (57 [36; 67] years) and 306 are women (59 [44; 69] years)), with the ratio of areas under the actual curve and the predicted curve calculated for each one, as well as the angle formed by the curve; the ratio of the actual FEF (henceforth referred to as FEF) to the predicted FEF, cut-off points to differentiate between obstructive diseases and health. On the basis of these results, we concluded whether the patient's bronchi were blocked. The results were then compared to the Knudson reference equations, with the test's operational characteristics calculated compared to the standard. The methods of assessing the angle  $\beta$  and the total concavity of the flow-volume curve have high diagnostic sensitivity (87.8% and 95.6% respectively). The assessment of the area under the curve (AEX-FV) has high diagnostic specificity (88.6%). The results obtained show sufficient diagnostic efficiency of the methods of flow-volume curve estimation by the changes in its shape. However, the use of these methods in isolation from the reference equations does not currently seem reasonable for clinical practice. It appears reasonable to use the reference equations and one of the methods of curve shape assessment together.

**Keywords:** spirometry, respiratory function, flow–volume curve

**Acknowledgements:** the authors thank Tatiana D. Bolshakova for the help in translating this paper.

✉ **Correspondence should be addressed:** Elena M. Desyatskova  
Ostrovityanova, 1, Moscow, 117997, Russia; panielenadesat@gmail.com

**Received:** 08.10.2024 **Accepted:** 10.11.2024 **Published online:** 27.11.2024

**DOI:** 10.24075/brsmu.2024.051

При вентиляционных нарушениях обструктивного типа кривая «поток–объем» имеет характерную вогнутую форму, направленную к оси абсцисс, причем интенсивность вогнутости коррелирует с выраженностью бронхообструктивных проявлений [1–3]. На практике изменение внешнего вида кривой зачастую не учитывают при расшифровке полученных результатов, а анализируют только процент отклонения фактических показателей функции внешнего дыхания (ФВД) пациента от должных [1]. Если подобную оценку все же проводят, то проводят

визуально, поскольку должных математических показателей для оценки вогнутости на сегодняшний день в клиническую практику еще не внедрено. Безусловно, оценка «на глаз» является очень субъективным диагностическим показателем, поскольку такой способ требует от врача определенного опыта и квалификации. К тому же в практике нередки случаи, когда даже при наличии упомянутой вогнутости кривой процент отклонения фактического показателя ФВД от должного превышает 100%, что свидетельствует об отсутствии у пациента каких-либо нарушений со стороны

дыхательной системы. И хотя анамнез жизни пациента в совокупности с характерным внешним видом кривой говорит об обратном, в заключении эти моменты не будут отражены, в результате чего сделать объективный вывод о состоянии пациента не представляется возможным.

Также следует отметить, что возможность постановки диагноза путем анализа лишь нескольких показателей ФВД (в частности, это процент снижения объема форсированного выдоха за первую секунду (ОФВ1), процент снижения жизненной емкости легких (ЖЕЛ) и форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ) и оценка индексов Тиффно или Генслера), с одной стороны, сокращает время расшифровки одного исследования, но с другой, искусственно сужает клинические возможности спирометрии. В рутинной практике зачастую не анализируются скоростные показатели ФВД, в то время как они отражают состояние бронхиального дерева по уровням [3] и могли бы дать более ясное понимание о состоянии пациента, не прибегая к использованию дорогостоящих и трудоемких диагностических процедур (например, рентгенографии органов грудной клетки или бронхоскопии).

Ранее уже предпринимались попытки сделать визуальную оценку кривой более объективной путем анализа дополнительных параметров, рассчитываемых на основе кривой «поток–объем». Так, в одном из обзоров авторы рассматривают несколько таких параметров, а именно оценку угла, образованного кривой, оценку отношения площадей (AEX-FV) и оценку степени отклонения фактических значений МОС от предполагаемых авторами должных [4]. Однако, несмотря на интерес научного сообщества к описанным методам [5–8], понимание их эффективности в клинической практике еще не сформировано окончательно. Поэтому целью настоящего исследования является сравнительный анализ диагностической эффективности методов оценки кривой «поток–объем» по изменению ее формы на фоне обструктивных вентиляционных нарушений для определения наиболее достоверного из них.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материал для настоящего исследования был собран на базе научно-клинического центра № 2 РНХЦ им. Б. В. Петровского. Критерии включения в исследование: обращение в медицинскую организацию по причинам, относящимся к классам МКБ-10 J00–J99 («Болезни органов дыхания») и Z00–Z99 («Факторы, влияющие на состояние здоровья населения и обращения в учреждения здравоохранения»); согласие пациента на проведение диагностических манипуляций; спирометрическое исследование соответствует стандартам качества, утвержденным Европейским и Американским торакальным сообществами (стандарты ATS/ERS) [9], принятым Российским респираторным обществом [1]; возраст пациента старше 18 лет.

Таким образом, было отобрано 540 человек, из которых 234 (43,3%) мужчин и 306 (56,7%) женщин. Средний возраст мужчин составил 57 [36; 67] лет, женщин — 59 [44; 69] лет. Для понимания эффективности рассматриваемых методов среди пациентов разных возрастов выборка была разделена на 10-летние возрастные интервалы. В группу пациентов возраста «18–30 лет» вошло 76 пациентов, в группу «31–40 лет» — 50 пациентов, в группу «41–50 лет» — 57 пациентов, в группу «51–60 лет» — 109 пациентов, в группу «61–70 лет» —

134 пациента, в группу «71–80 лет» — 93 пациента, в группу «81–90 лет» — 21 пациент.

Для каждого пациента:

1) определено наличие или отсутствие обструкции бронхов (при помощи оценки индекса Тиффно или Генслера);

2) при наличии обструкции определена ее степень (по степени снижения ОФВ1 пациента относительно рассчитанной для него должной величины по системе Knudson);

3) определено процентное отношение площадей под фактической кривой «поток–объем» и кривой предполагаемой нормы;

4) рассчитан угол, образованный кривой;

5) определено процентное отношение фактических МОС и рассчитанных предположительно нормальных.

Результаты исследований ФВД сохраняли в ПО MS Excel (США). Фиксировали следующие данные пациента: пол и возраст; рост и вес; данные о результатах исследования спокойного дыхания (ЖЕЛ); данные о результатах исследования форсированного дыхания (форсированные объемные и скоростные показатели ФВД (в частности, форсированная ЖЕЛ, объем форсированного выдоха за первую секунду, пиковая объемная скорость (ПОС) выдоха, минутные объемные скорости (МОС) на уровне выдоха 25%, 50% и 75% от ФЖЕЛ), а также рассчитанные индексы Тиффно и Генслера).

Для определения функции, задающей нисходящую часть кривой «поток–объем», был использован метод интерполяции Лагранжа. Показано, что для кривой с узлами интерполяции в точках ПОС, МОС<sub>25</sub>, МОС<sub>50</sub>, МОС<sub>75</sub> и ФЖЕЛ интерполяционная функция будет иметь следующий вид:

$$P_n x = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e, \quad (1)$$

где  $a, b, c, d, e$  — коэффициенты интерполяционного полинома, рассчитываемые для каждого пациента индивидуально.

Для расчета AEX-FV было использовано численное интегрирование определенной выше функции. Для приближенного вычисления определенного интеграла вида

$$\int_{\alpha}^{\beta} (ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e) dx, \quad (2)$$

где  $\alpha, \beta$  — границы определенного интеграла, был использован метод левых прямоугольников.

Для определения угла  $\beta$  использовали метод определения угла между векторами с расчетом скалярного произведения векторов и оценкой длины вектора в координатной форме. Векторами, углом между которыми рассматривается, в данном случае были приняты вектор  $a$ , определяемый как (МОС<sub>x</sub>-проекция ПОС на ось ординат) и вектор  $b$ , равный (МОС<sub>x</sub>-ФЖЕЛ) (рис. 1) [4], где в качестве МОС<sub>x</sub> рассматривается МОС<sub>50</sub> или МОС<sub>75</sub>. Для каждого пациента рассчитывали угол при МОС<sub>50</sub>, однако в случаях, когда фактическая МОС<sub>50</sub> превышает предположительно нормальное значение указанного показателя, в качестве угла  $\beta$  рассматривали угол, центром которого является МОС<sub>75</sub>.

Таким образом, формула для определения угла между векторами имеет следующий вид:

$$\cos(ab) = \frac{-\frac{1}{2}\text{ФЖЕЛ} \times (\text{ФЖЕЛ} - \frac{1}{2}\text{ФЖЕЛ}) - (\text{ПОС} - \text{МОС}_x) \times \text{МОС}_x}{\sqrt{(\frac{1}{2}\text{ФЖЕЛ})^2 + (\text{ПОС} - \text{МОС}_x)^2} \times \sqrt{(\text{ФЖЕЛ} - \frac{1}{2}\text{ФЖЕЛ})^2 + (\text{МОС}_x)^2}}, \quad (3)$$

где в качестве МОС<sub>x</sub> рассматривается МОС<sub>50</sub> или МОС<sub>75</sub>.

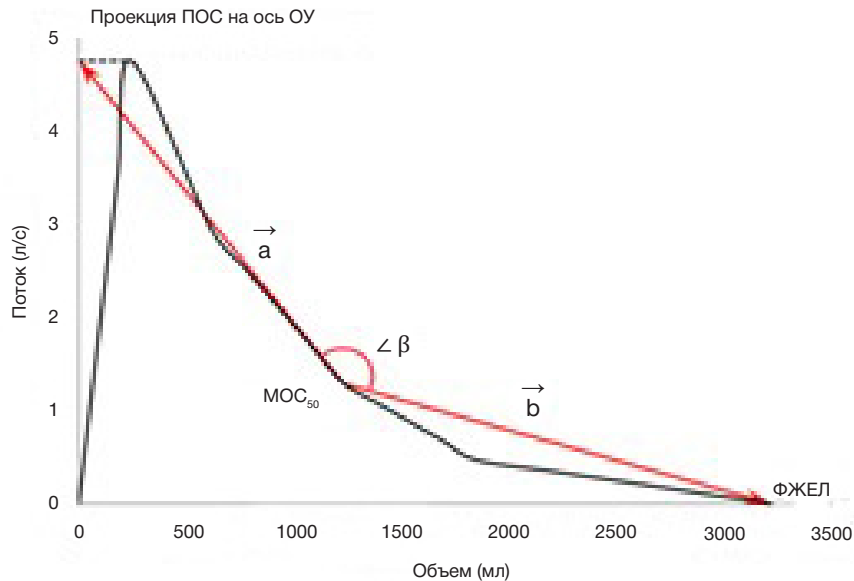


Рис. 1. Определение угла  $\beta$  (на примере угла при  $МОС_{50}$ )

Нормальные значения для скоростных показателей ФВД для метода оценки общей вогнутости определяли из уравнения прямой, соединяющей значения ПСО и ФЖЕЛ. В случаях, когда разница между ФЖЕЛ и ЖЕЛ составляет больше 200 мл, целесообразнее заменить значение ФЖЕЛ на ЖЕЛ и построить прямую, соединяющую точки ПСО и ЖЕЛ. Как и в предыдущем случае, предположительно нормальные скоростные показатели ФВД будут располагаться на этой прямой, однако в данном случае они будут определяться как  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  и  $\frac{3}{4}$  от ФЖЕЛ (а не ЖЕЛ), поскольку в противном случае логика расчетов будет противоречить установленным Российским респираторным обществом определениям для  $МОС_{25}$ ,  $МОС_{50}$  и  $МОС_{75}$  [1], согласно которым каждый из этих показателей равен указанному проценту от ФЖЕЛ (а не ЖЕЛ). Визуальное представление данного метода представлено на рис. 2.

В основу оценки показателей ФВД легла принятая система оценивания результатов спирометрии, а именно сравнение фактического значения с должным путем расчета процента отклонения от последнего [1, 2]. Подобная логика предусматривает дальнейшее сопоставление полученного отношения с референсными интервалами. Поскольку популяционная мощность нашего исследования недостаточна для определения интервалов сравнения, нами было принято решение о расчете отрезных точек для каждого метода оценки кривой «поток–объем» по форме, которые могли бы разделить наличие и отсутствие обструктивных нарушений. Для определения отрезных точек из основной выборки были отобраны пациенты ( $n = 81$ ), которых в рамках настоящего исследования считали здоровыми — их индекс Тиффно был больше 70% [1, 2] и проведенная визуальная экспертная оценка врачом функциональной диагностики утверждала норму. Для полученной тестовой выборки были рассчитаны средние значения АЕХ-FV, угла  $\beta$ , а также процентов отклонения фактических МОС от предположительно нормальных. Данные значения приняты за отрезные точки. Для тех пациентов, чьи показатели были меньше отрезных точек, обструктивные нарушения считали подтвержденными.

Исследование ФВД методом спирометрии проводили на спирометре «СпироС-100» («АльтоМедика», Россия) [10]. Статистический анализ проводили путем расчета

абсолютных и относительных частот встречаемости признаков «обструкция» и «норма» для каждого из описанных методов оценки формы кривой «поток–объем» с дальнейшим расчетом операционных характеристик теста относительно стандарта (путем построения таблиц сопряженностей). Эталонном сравнения при расчете операционных характеристик считали результаты оценки операционных характеристик системы Knudson. Выбор именно этой системы расчета должных обусловлен отсутствием каких-либо ограничений, накладываемых на характеристики пациента (в отличие, например, от систем Клемента [11, 12], GLI [13] и ECCS [14]). Статистический анализ проводили в программных пакетах IBM SPSS Statistics for Windows v.27.0 (США) и MedCalc by MedCalc Software Ltd v.23.0.6 (Бельгия).

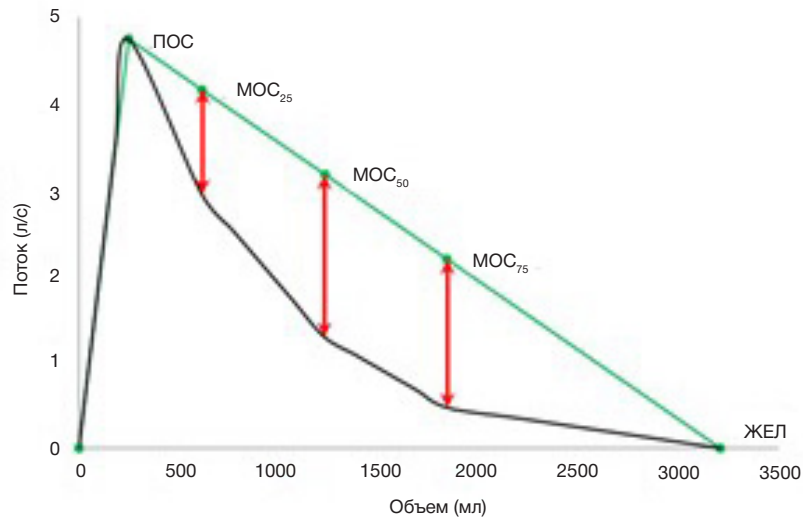
## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### АЕХ-FV

Для каждого пациента из обучающей выборки была рассчитана площадь под фактической кривой «поток–объем» (АЕХ-FV) методом численного интегрирования. Площадь под кривой предполагаемой нормы определяли как площадь прямоугольного треугольника, равную половине произведения его катетов:

$$S (AEX Normal) = \frac{1}{2} \times ПСО_{\text{выдоха}} \times ФЖЕЛ. \quad (4)$$

Для формирования мнения о контрольной цифре процентного отношения АЕХ-FV и АЕХ-Normal, которая позволит однозначно разделить норму и обструкцию дыхательных путей, было рассчитано среднее значение для отношения АЕХ-FV и АЕХ-Normal (табл. 1). С учетом близких значений отрезных точек для всех возрастных групп, кроме пациентов старше 70 лет, в качестве единой отрезной точки для этих возрастных диапазонов взято значение отношения площадей, равное 85% (рассчитано как среднее значение между значениями отрезных точек для рассматриваемых возрастных диапазонов). Получено, что при использовании метода оценки АЕХ-FV состояние «норма» встречалось в 38,1% случаев (206 пациентов), а «обструкция» — в 61,9%, (334 пациента), в то время как



**Рис. 2.** Определение степени отклонения фактических значений МОС от предполагаемых должных (на примере случая, когда разница между ЖЕЛ и ФЖЕЛ составила более 200 мл)

при использовании системы расчета должных по Knudson норма встречалась в 31,1% случаев (168 пациентов), а обструкция — в 68,9% (372 пациента).

### Угол $\beta$

Предварительно проведенный расчет среднего значения угла показал, что даже при определенных нормальных значениях угла на фоне диагностического заключения, зафиксированного в истории болезни пациента, утверждающего норму, отмечается характерная для обструктивного типа вентиляционных нарушений вогнутость кривой «поток–объем», направленная к оси объема. Это вызвано снижением показателя  $МОС_{75}$ , которое ранее не учитывалось в исследованиях, посвященных данному вопросу [7, 8]. Поэтому было дополнительно определено среднее значение угла, центром которого является  $МОС_{75}$ , при условии, что фактическая  $МОС_{50}$  превышает предположительно нормальное значение указанного показателя. Результаты расчета отрезных точек, позволяющих однозначно разделить норму и проявления обструктивных нарушений, представлены в табл. 2. При использовании метода оценки угла  $\beta$  состояние «норма» встречалось в 26,9% случаев (145 пациентов), а «обструкция» — в 73,1%, (395 пациентов), в то время как при использовании системы расчета должных по Knudson норма встречалась в 31,1% случаев (168 пациентов), а обструкция — в 68,9% (372 пациента).

### Оценка общей вогнутости

По аналогии с принятой в практике логикой формирования заключения для каждого пациента были рассчитаны

предположительно нормальные значения максимальных объемных скоростей на уровне 25%, 50% и 75% от ФЖЕЛ и определено процентное отклонение фактических значений этих показателей с рассчитанными «должными». При расчете предположительно нормальных значений использовали следующее уравнение прямой, проходящей через две заданные точки:

$$\frac{x-x_1}{x_2-x_1} = \frac{y-y_1}{y_2-y_1} \quad (5)$$

Таким образом, для определения МОС заданного уровня было использовано уравнение:

$$МОС_y = \frac{(МОС_x - ПОС_x) \times (ФЖЕЛ_y - ПОС_y)}{ФЖЕЛ_x - ПОС_x} + ПОС_y \quad (6)$$

где  $x$  и  $y$  — координаты точки на соответствующих координатных осях. Следует отметить: в случае, когда фактическое значение МОС пациента превышало рассчитанное «должное», за норму принимали фактическое значение, а их отношения, соответственно, определяли как 100%. Такое допущение не противоречит Методическим рекомендациями о проведении метода спирометрии [1], поскольку утвержденный алгоритм оценки показателей спирометрии допускает существование значения процентного отношения фактического и должного значения больше 100%. В данном случае, если значение превышает эту отметку, то оно принимается за 100% и считается нормой.

Подобным образом проанализирована вся выборка, на основании чего определены отрезные точки для каждого рассматриваемого возрастного диапазона (табл. 3). При использовании метода оценки общей вогнутости состояние

**Таблица 1.** Отрезные точки для оценки AEX-FV, рассчитанные по рассматриваемым возрастным диапазонам

Возрастной интервал	Среднее значение отношения площадей, %	Отрезная точка, %
18–30 лет	91,7 ± 5,9	86
31–40 лет	91,6 ± 5,1	87
41–50 лет	91,7 ± 2,7	89
51–60 лет	88,9 ± 3,6	85
61–70 лет	90,5 ± 4,5	86
71–90 лет	82,2 ± 7,8	74

**Примечание:** средние значения отношения площадей представлены в виде (среднее ± стандартное отклонение), значения отрезных точек представлены с учетом округления до целого.

Таблица 2. Отрезные точки для угла  $\beta$ , рассчитанные по рассматриваемым возрастным диапазонам

Возрастной интервал	$\angle\beta$ при $MOC_{50}$ , °	Отрезная точка для $\angle\beta$ при $MOC_{50}$ , °	$\angle\beta$ при $MOC_{75}$ , °	Отрезная точка для $\angle\beta$ при $MOC_{75}$ , °
18–30 лет	166,9 ± 8,9	158	162,3 ± 6,9	155
31–40 лет	170,5 ± 8,7	162	157,5 ± 8,5	149
41–50 лет	170,0 ± 8,7	161	155,8 ± 7,4	148
51–60 лет	169,7 ± 11,5	158	152,7 ± 5,8	147
61–70 лет	169,5 ± 6,4	163	148,2 ± 6,8	141
71–90 лет	171,6 ± 9,4	162	148,2 ± 6,4	142

**Примечание:** средние значения углов представлены в виде (среднее ± стандартное отклонение), значения отрезных точек представлены с учетом округления до целого.

«норма» встречалось в 18,5% случаев (100 пациентов), а «обструкция» — в 81,5%, (440 пациентов), в то время как при использовании системы расчета должных по Knudson норма встречалась в 31,1% случаев (168 пациентов), а обструкция — в 68,9% (372 пациента). Метод оценки общей вогнутости чаще определяет обструктивные нарушения по сравнению с системой расчета должных Knudson (табл. 4).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Метод расчета AEX-FV в целом обладает достаточно сбалансированными операционными характеристиками. Максимальная чувствительность теста зафиксирована в группе пациентов 61–70 лет (0,916), минимальная — в группе пациентов 71–80 лет, достигая 0,674. Что касается специфичности, то в этом случае максимального информативного значения данный показатель достигает в группе 18–30 лет (0,933), а минимального информативного значения — в группе пациентов 61–70 лет (0,800). В силу того, что для пациентов пожилого возраста наблюдается постепенное ослабление дыхательных мышц, которое при спирометрическом исследовании диагностируется как обструктивные нарушения определенной степени, «треугольник нормы» у пожилых пациентов почти не встречается. Таким образом, у пациентов пожилого возраста наблюдается характерный разброс между AEX-FV и AEX-Normal, который является естественным. С учетом подобной возрастной особенности скрининг дыхательных патологий в данном возрастном диапазоне несколько затруднителен. Полученные результаты также можно объяснить структурой анализируемой выборки пациентов. В выборку, рассматриваемую в настоящем исследовании, были включены преимущественно пациенты с подтвержденными дыхательными патологиями, в то время как для оценки скрининговой мощности теста требуется значительная выборка данных ФВД здоровых пациентов. В таком случае целесообразно повышение разнородности выборки, однако в силу ограниченности

исследовательской мощности настоящей работы это не представлялось возможным.

Метод определения угла  $\beta$ , образованного кривой «поток–объем», демонстрирует достаточно высокую для всех рассматриваемых возрастов диагностическую чувствительность. Это свидетельствует о значительном потенциале данного метода как диагностического. Его дополнительным преимуществом является оценка нарушений по уровням, в отличие, например, от рассмотренного ранее метода оценки AEX-FV, который оценивает состояние бронхиального дерева в целом. Что касается специфичности, то если для «AEX-FV» ее значения были информативны во всех возрастных группах (кроме лиц пожилого и старческого возраста), то в случае с углом  $\beta$  данный показатель в большинстве возрастных групп не является информативным. Как и в случае с методом оценки AEX-FV подобный результат может быть объяснен структурой анализируемых данных и численным превосходством больных пациентов над здоровыми.

Что касается оценки общей вогнутости кривой «поток–объем», то чувствительность данного метода, как и чувствительность метода оценки угла  $\beta$ , стабильно высока для всех возрастных групп. Это говорит о значительном качестве диагностических заключений, сформированных с учетом метода определения общей вогнутости. Показатель специфичности, как и для метода оценки угла, является неинформативным во всех рассматриваемых группах.

Таким образом, все рассматриваемые методы оценки кривой «поток–объем» по изменению ее формы в силу своих высоких диагностических мощностей могут быть рассмотрены в качестве уточняющих параметров в сомнительных клинических случаях. Для повышения качества скрининговых мероприятий для болезней органов дыхания, проводимых с помощью спирометрии, в качестве уточняющего критерия для пациентов младше 70 лет можно рассматривать определение отношения площадей под фактической кривой и кривой предполагаемой нормы, т. е. метод «AEX-FV».

Таблица 3. Отрезные точки для максимальных объемных скоростей на уровне выдоха определенного процента ФЖЕЛ, рассчитанные по рассматриваемым возрастным диапазонам

Возрастной интервал	$MOC_{25}$	$MOC_{50}$	$MOC_{75}$
18–30 лет	0,00 [0,00; 1,61]	0,00 [0,00; 1,36]	0,00 [0,00; 2,75]
31–40 лет	0,00 [0,00; 4,69]	0,00 [0,00; 11,84]	0,39 [0,00; 13,07]
41–50 лет	1,51 [0,00; 7,74]	1,79 [0,00; 5,22]	10,66 [0,00; 21,19]
51–60 лет	0,00 [0,00; 6,71]	0,05 [0,00; 12,36]	13,21 [1,98; 20,34]
61–70 лет	0,50 [0,00; 5,35]	0,00 [0,00; 5,67]	23,53 [13,96; 36,71]
71–90 лет	0,00 [0,00; 3,48]	4,86 [0,00; 14,09]	26,55 [11,08; 32,28]

**Примечание:** значения отрезных точек представлены в виде  $Me [Q_1; Q_3]$ .

**Таблица 4.** Результаты оценки диагностической эффективности методов оценки кривой «поток–объем» по изменению формы по основным рассматриваемым возрастным диапазонам

ЗС	Диагностическое заключение, зафиксированное в истории болезни пациента		
СД	АЕХ-FV	Угол $\beta$	Общая вогнутость
18–30 лет			
$n = 76$			
Ч	0,824, 95% ДИ (0,792; 0,831)	0,880, 95% ДИ (0,711; 0,967)	1,000, 95% ДИ (0,857; 1,000)
С	0,933, 95% ДИ (0,682; 0,997)	0,706, 95% ДИ (0,623; 0,749)	0,529, 95% ДИ (0,459; 0,529)
31–40 лет			
$n = 50$			
Ч	0,679, 95% ДИ (0,544; 0,755)	0,821, 95% ДИ (0,685; 0,917)	0,929, 95% ДИ (0,801; 0,987)
С	0,864, 95% ДИ (0,692; 0,961)	0,727, 95% ДИ (0,554; 0,848)	0,636, 95% ДИ (0,474; 0,711)
41–50 лет			
$n = 57$			
Ч	0,694, 95% ДИ (0,586; 0,754)	0,833, 95% ДИ (0,725; 0,916)	0,917, 95% ДИ (0,818; 0,976)
С	0,857, 95% ДИ (0,671; 0,960)	0,619, 95% ДИ (0,434; 0,761)	0,476, 95% ДИ (0,307; 0,579)
51–60 лет			
$n = 109$			
Ч	0,805, 95% ДИ (0,751; 0,832)	0,854, 95% ДИ (0,797; 0,899)	0,890, 95% ДИ (0,836; 0,935)
С	0,889, 95% ДИ (0,726; 0,970)	0,667, 95% ДИ (0,495; 0,805)	0,556, 95% ДИ (0,390; 0,693)
61–70 лет			
$n = 134$			
Ч	0,916, 95% ДИ (0,884; 0,934)	0,899, 95% ДИ (0,867; 0,923)	0,975, 95% ДИ (0,946; 0,992)
С	0,800, 95% ДИ (0,546; 0,944)	0,667, 95% ДИ (0,412; 0,860)	0,667, 95% ДИ (0,435; 0,806)
71–80 лет			
$n = 93$			
Ч	0,674, 95% ДИ (0,640; 0,685)	0,930, 95% ДИ (0,899; 0,949)	0,965, 95% ДИ (0,941; 0,988)
С	0,857, 95% ДИ (0,434; 0,992)	0,714, 95% ДИ (0,325; 0,946)	0,429, 95% ДИ (0,128; 0,714)
81–90 лет			
$n = 21$			
Ч	0,789, 95% ДИ (0,706; 0,789)	0,947, 95% ДИ (0,865; 0,947)	1,000, 95% ДИ (0,950; 1,000)
С	1,000, 95% ДИ (0,209; 1,000)	1,000, 95% ДИ (0,218; 1,000)	0,500, 95% ДИ (0,028; 0,500)

**Примечание:** ЗС — золотой стандарт, СД — система должных, Ч — диагностическая чувствительность, С — диагностическая специфичность.

Оправданным кажется опасение, что логика оценивания, заложенная в рассматриваемые методы, может привести к большому, по сравнению с классической методикой, числу ложноположительных результатов. Однако, по нашему мнению, под ложноположительным результатом в контексте принятого Российским респираторным обществом метода [1] будет пониматься скрытая обструкция, которая прямо не выявляется при помощи систем расчета должных, индексов Тиффно или Генслера или новых параметров оценки показателей ФВД (в частности, таких как нижняя граница нормы (LLN) [15–17] и z-оценка [1, 2, 15]). По нашему мнению, в данном случае повышенная настороженность к обструктивным вентиляционным нарушениям методов оценки кривой «поток–объем» по изменению ее формы оправдана, поскольку скрытая обструкция является доклинической стадией хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) и впоследствии может спровоцировать дыхательную недостаточность [18].

## Выводы

На сегодняшний день доля заболеваний органов дыхания в общемировой структуре смертности остается значительной. Так, третьей по частоте причиной смерти в

мире является ХОБЛ — заболевание с ярко выраженным обструктивным синдромом. Для диагностики патологий подобного рода можно использовать различные методы, однако самый простой и доступный — метод спирометрии с регистрацией петли «поток–объем». Основной спирометрии является сравнение полученных показателей ФВД пациента с рассчитанными по определенной системе должными значениями. Подобный подход достаточно давно используют в клинической практике и не раз подвергали критике. Целесообразно рассмотрение новых показателей или методов, с помощью которых возможно уточнение заключений, сделанных на основе кривой «поток–объем». Проведенное в рамках настоящей работы исследование диагностической эффективности методов оценки кривой «поток–объем» по изменению ее формы на фоне вентиляционных нарушений обструктивного типа позволяет рассматривать их как весьма точные методы диагностики обструктивных процессов в бронхах (в частности, методы оценки угла  $\beta$  и оценки общей вогнутости, которые обладают средними значениями чувствительности 87,8% и 95,6% соответственно). Оценка АЕХ-FV, напротив, обладает высоким средним значением специфичности (88,6%), что позволяет говорить об этом методе как более ориентированном на профилактический

скрининг дыхательных нарушений обструктивного типа. Однако неправильным было бы рассматривать эти методы изолированно от систем расчета должных. По нашему мнению, использование описанных методов в отрыве от принятых систем расчета должных значений на сегодняшний день не является целесообразным для клинической практики.

Более логичным видится их совместное использование для взаимного повышения диагностических возможностей. Именно совместное использование, по нашему мнению, потенциально может иметь наибольшую эффективность для практической медицины. Таким образом определяется вектор будущих исследований в данной проблемной области.

## Литература

1. Методические руководства по использованию метода спирометрии. Российское респираторное общество, Российская ассоциация специалистов функциональной диагностики, Российское научное медицинское общество терапевтов. М., 2023; 64 с.
2. Стручков П. В., Дроздов Д. В., Лукина О. Ф. Спирометрия: руководство для врачей. М., 2023; 112 с.
3. Трисветова Е. Л., Федорович С. Е. Функциональные методы исследования внешнего дыхания: учеб.-метод. пособие. Минск: БГМУ, 2016; 28 с.
4. Maritano Furcada J, Rodríguez CI, Wainstein EJ, Benito HJ. Graphical Analysis Methods in Obstructive Spirometry: Does a Picture Speak More Than a Thousand Words? Arch Bronconeumol (Engl Ed). 2019; 55 (5): 272–4.
5. Ioachimescu OC, Stoller JK. Area under the expiratory flow-volume curve (AEX): actual versus approximated values. J Investig Med. 2020; 68 (2): 403–11.
6. Ioachimescu OC, McCarthy K, Stoller JK. Area under the expiratory flow-volume curve: normative values in the National Health and Nutrition Survey (NHANES) study. J Investig Med. 2022; 70 (5): 1247–57.
7. Kapp MC, Schachter EN, Beck GJ, et al. The shape of the maximum expiratory flow volume curve. Chest. 1988; 94 (4): 799–806.
8. Zhang Y, Xiong X, Dai F, et al. Curvilinearity of a maximum expiratory Flow-Volume curve: a useful indicator for assessing airway obstruction in children with asthma. Respir Care. 2020; 65 (4): 427–36.
9. Stanojevic S, Kaminsky DA, Miller M, et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. Eur Respir J. 2021; 60 (1): 2101499.
10. АЛТОМЕДИКА. Доступно по ссылке: <http://www.altomedika.ru>.
11. Клемент Р. Ф., Зильбер Н. А. Функционально-диагностические исследования в пульмонологии: Методические рекомендации. СПб., 1993; 47 с.
12. Клемент Р. Ф., Лаврушин А. А., Тер-Погасян П. А., Котегов Ю. М. Инструкция по применению формул и таблиц должных величин основных спирографических показателей. Л., 1986.
13. Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, et al. Standardization of spirometry 2019. Update an official American Thoracic Society and European Respiratory Society technical statement. Am J Respir Crit Care Med. 2019; 200 (8): 70–88.
14. Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, et al. Lung volumes and forced ventilatory flows. Report Working Party Standardisation of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society. Eur Respir J. 1993; 6 (16): 5–40.
15. Каменева М. Ю. Спирометрия: как оценить результаты? Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2022; 83: 91–99.
16. Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, et al. Interpretative strategies for lung function tests. Eur Respir J. 2005; 26 (5): 948–68.
17. Stanojevic S, Wade A, Stocks J, et al. Reference ranges for spirometry across all ages: a new approach. Am J Respir Crit Care Med. 2008; 177: 253–60.
18. Sukhovskii VS, Strelis AK, Grigor'ev EG, Sukhovskaia VV. Probl Tuberk Bolezn Legk. 2008; 7: 39–43.

## References

1. Metodicheskie rukovodstva po ispol'zovaniyu metoda spirometrii. Rossijskoe respiratornoe obshhestvo, Rossijskaja asociacija specialistov funkcional'noj diagnostiki, Rossijskoe nauchnoe medicinskoe obshhestvo terapevtov. M., 2023; 64 s. Russian.
2. Struchkov PV, Drozdov DV, Lukina OF. Spirometrija: rukovodstvo dlja vrachej. M., 2023; 112 s. Russian.
3. Trisvetova EL, Fedorovich SE. Funkcional'nye metody issledovanija vneshnego dyhanija: ucheb.-metod. posobie. Minsk: BGMU, 2016; 28 s. Russian.
4. Maritano Furcada J, Rodríguez CI, Wainstein EJ, Benito HJ. Graphical Analysis Methods in Obstructive Spirometry: Does a Picture Speak More Than a Thousand Words? Arch Bronconeumol (Engl Ed). 2019; 55 (5): 272–4.
5. Ioachimescu OC, Stoller JK. Area under the expiratory flow-volume curve (AEX): actual versus approximated values. J Investig Med. 2020; 68 (2): 403–11.
6. Ioachimescu OC, McCarthy K, Stoller JK. Area under the expiratory flow-volume curve: normative values in the National Health and Nutrition Survey (NHANES) study. J Investig Med. 2022; 70 (5): 1247–57.
7. Kapp MC, Schachter EN, Beck GJ, et al. The shape of the maximum expiratory flow volume curve. Chest. 1988; 94 (4): 799–806.
8. Zhang Y, Xiong X, Dai F, et al. Curvilinearity of a maximum expiratory Flow-Volume curve: a useful indicator for assessing airway obstruction in children with asthma. Respir Care. 2020; 65 (4): 427–36.
9. Stanojevic S, Kaminsky DA, Miller M, et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. Eur Respir J. 2021; 60 (1): 2101499.
10. ALTOMEDIKA. Dostupno po ssylke: <http://www.altomedika.ru>.
11. Klement RF, Zilber NA. Funkcional'no-diagnosticheskie issledovanija v pul'monologii: Metodicheskie rekomendacii. SPb., 1993; 47 s. Russian.
12. Klement RF, Lavrushin AA, Ter-Pogasjan PA, Kotegov Yu. M. Instrukcija po primeneniju formul i tablic dolzhnyh velichin osnovnyh spirograficheskikh pokazatelej. L., 1986. Russian.
13. Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, et al. Standardization of spirometry 2019. Update an official American Thoracic Society and European Respiratory Society technical statement. Am J Respir Crit Care Med. 2019; 200 (8): 70–88.
14. Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, et al. Lung volumes and forced ventilatory flows. Report Working Party Standardisation of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society. Eur Respir J. 1993; 6 (16): 5–40.
15. Kameneva MYu. Spirometrija: kak ocenit' rezul'taty? Bjul'teten' fiziologii i patologii dyhanija. 2022; 83: 91–99. Russian.
16. Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, et al. Interpretative strategies for lung function tests. Eur Respir J. 2005; 26 (5): 948–68.
17. Stanojevic S, Wade A, Stocks J, et al. Reference ranges for spirometry across all ages: a new approach. Am J Respir Crit Care Med. 2008; 177: 253–60.
18. Sukhovskii VS, Strelis AK, Grigor'ev EG, Sukhovskaia VV. Probl Tuberk Bolezn Legk. 2008; 7: 39–43.