

Д.В. Лапицкий¹, Р.Ф. Ермолкевич¹, С.М. Метельский¹, А.Н. Ряполов¹,
И.А. Маничев², В.Г. Щербицкий²

ВОЗМОЖНОСТИ КАПНОМЕТРИИ В СКРИНИНГЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ И СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

ГУ «432 Главный военный клинический медицинский центр ВС РФ»¹,
Лаборатория спирометрии УП «Унитехпром» БГУ²

В процессе изучения показателей внешней вентиляции и содержания CO₂ в выдыхаемом воздухе у лиц с различной патологией органов дыхания и сердечно-сосудистой системы предложены вентиляционно-капнометрические индексы. С использованием вентиляционно-капнометрических индексов разработана методика, позволяющая отнести пациента к одной из трех клинических категорий: «здоров», «группа риска», «патология» с целью ранней диагностики скрытой патологии органов дыхания и сердечно-сосудистой системы.

В статье приводится описание разработанной методики и клинические примеры ее применения у лиц, обратившихся в медицинское учреждение по различным причинам. Установлена высокая чувствительность и специфичность вентиляционно-капнометрических индексов, а также клиническая эффективность применения разработанного алгоритма.

Ключевые слова: вентиляционно-капнометрические индексы, алгоритм скрининговой диагностики заболеваний, клинические категории пациентов.

D.V. Lapitski, R.F. Ermolkevich, S.M. Metelski, A.N. Ryapolov, I.A. Manichev, V.G. Scherbitski

CAPNOMETRY SCREENING ABILITY OF VENTILATORY AND CIRCULATORY DISORDERS

On the basis of ventilatory measures and expired air carbon dioxide content studying in patients with different pulmonary and circulatory disorders ventilatory-capnometry indices are developed. Method of patient dividing on classes «healthy», «risky», «morbid» are elaborated on the basis of ventilatory-capnometry indices to make early diagnosis of pulmonary and circulatory disorders. In this article a description of developed method and results of its application in out-patients are made. A high sensitivity and specificity of ventilatory-capnometry indices and significant clinical efficiency of developed screening method are revealed.

Key words: ventilatory-capnometry indices, screening method, clinical patient classes.

Изучать газовый состав выдыхаемого воздуха одним из первых начал английский физиолог Джон Скотт Холдейн в начале XX столетия. Работы этого ученого легли в основу физиологии газообмена [1,2]. Во второй половине XX столетия создавалась аппаратура (от простого ручного капнометра, измеряющего давление CO₂ в конце выдоха, до приборов, мониторирующих давление и концентрацию газов выдыхаемого воздуха в реальном времени), делающая доступным газоанализ в практической деятельности [3,4]. С появлением такой аппаратуры начались попытки исследователей определить значение различных газов (CO₂, O₂, CO, NO и др.) в патофизиологии и диагностике различных патологических процессов и заболеваний [5,6]. Наиболее доступным и изученным в клинической практике является углекислый газ CO₂. Однако по данным литературы диагностическая значимость давления CO₂ в конце выдоха четко не определена [7,8,9]. Поэтому мы предприняли собственное исследование для уточнения возможностей капнометрии в клинической практике.

Цель. Выявить возможности исследования CO₂ в выдыхаемом воздухе для ранней диагностики заболеваний органов дыхания и сердечно-сосудистой системы.

Материалы и методы. Объектом исследования явились 50 пациентов отделений терапевтического профиля ГУ «432 ГВКМЦ» в период с 2010 – 2012 гг. в возрасте от 18 до 75 лет с различной патологией органов дыхания (ОД) и сердечно-сосудистой системы (ССС). Все пациенты

были обследованы с применением различных методов исследования (клинических, лабораторных, инструментальных, функциональных), необходимых для установления окончательного диагноза. Контрольной группой служили 22 здоровых пациента в возрасте 18-40 лет. Исследование CO₂ в выдыхаемом воздухе проводилось с помощью отечественного спирографа MAC-1 с встроенным модулем капнометрии. Модуль капнометрии позволяет провести измерение выделения CO₂ организмом человека за определенный промежуток времени (VCO₂), оценить среднее значение давления CO₂ в конце выдоха (PetCO₂) и среднее давление CO₂ в объеме выдохнутого воздуха за исследуемый промежуток времени (PeCO₂). В ходе капнометрии спирограф MAC-1 мониторирует легочную вентиляцию пациента за 30-секундные интервалы времени, сравнивая их между собой. В том случае, когда легочная вентиляция за два последовательных 30-секундных интервала отличается менее 5%, дыхание считается равномерным и параметры капнометрии (VCO₂, PetCO₂, PeCO₂) определяются за последнюю минуту.

Результаты и их обсуждение. Характеристика лиц, включенных в исследование, представлена в табл. 1. Исследуемая группа целенаправленно формировалась из пациентов с различной патологией ОД и ССС для того, чтобы оценить возможности капнометрии на смешанной выборке.

В группе исследования (50 чел.) и контрольной группе (22 чел.) изучались показатели капнометрии (VCO₂,

Таблица 1. Структура патологических состояний у лиц, включенных в группу для исследования

Патологические состояния	Количество пациентов
Заболевания органов дыхания:	28 чел.
- Обструктивные заболевания органов дыхания (ХОБЛ, БА)	13 чел.
- ТЭЛА	5 чел.
- Пневмофиброз (в результате перенесенной пневмонии, фиброзирующего альвеолита)	10
Заболевания сердечно-сосудистой системы:	22 чел.
- артериальная гипертензия	6 чел.
- хроническая сердечная недостаточность	10 чел.
- острое повреждение миокарда (острый инфаркт миокарда)	6 чел.
Всего	50 чел.

Таблица 2. Диагностическая ценность показателей капнометрии

Статистические показатели диагностического теста (капнометрии)	Показатели капнометрии				
	$Pet_{CO_2} < 35$ мм рт. ст.	$МОД/V_{CO_2} > 33$	$МОД/Pet_{CO_2} > 31$ л/мм рт. ст.	$МОД/(V_{CO_2} \times Pe_{CO_2}) > 1,0$ мм рт.ст.-1	$МОД/(Pet_{CO_2} \times V_{CO_2}) > 1,1$ л/мм рт.ст.-1
Чувствительность, %	27,0	84,9	74,8	95,0	56,8
Специфичность, %	23,9	83,2	78,8	75,0	95,2
Прогностическая ценность положительного результата, %	33,3	87,7	83,2	81,9	93,3
Прогностическая ценность отрицательного результата, %	18,9	79,7	69,0	92,0	64,8
Отношение правдоподобия положительного результата	0,36*	5,05	3,5	3,78	11,73*
Отношение правдоподобия отрицательного результата	3,05	0,18*	0,32*	0,07*	0,45

* - доверительный интервал для отношения правдоподобия не содержит единицу, т.е. статистически значим.

$PetCO_2$, $PeCO_2$) и внешней вентиляции (МОД). У тестируемых лиц было проведено 276 измерений указанных показателей и изучено соотношение между результатами показаний капнометрии и наличием заболевания (табл. 2) [10].

Таким образом, из таблицы 2 видно, что наибольшей чувствительностью (95,0%) и прогностической ценностью отрицательного результата (92,0%) обладает показатель

$$\frac{МОД}{V_{CO_2} \times Pe_{CO_2}} > 1,0 \text{ мм рт. ст.}^{-1}$$

Наибольшей специфичностью (95,2%) и прогностической ценностью положительного результата (93,3%) обладает показатель.

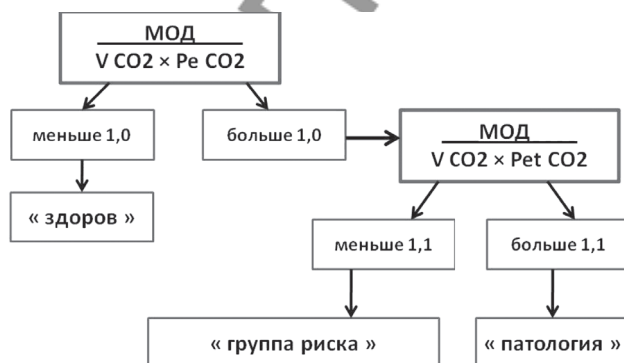


Рисунок 1. Алгоритм скринингового обследования с помощью капнометрии.

$$\frac{МОД}{V_{CO_2} \times Pe_{CO_2}} > 1,1 \text{ мм рт. ст.}^{-1}$$

Указанные показатели названы **вентиляционно-капно-метрическими индексами**. На основании вентиляционно-капнометрических индексов, обладающих наибольшей чувствительностью и специфичностью, разработан **алгоритм скрининговой диагностики** заболеваний ОД и ССС (рис. 1).

При проведении скринингового обследования по разработанному алгоритму выделяется три клинические категории пациентов: «здоров», «патология», «группа риска».

При попадании обследуемого в категорию «здоров» вероятность отсутствия заболевания составляет 92%. Такие пациенты не требуют дальнейшего обследования.

У лиц из категории «патология» вероятность наличия заболевания составляет 93,3%. Им необходимо провести полное обследование для постановки клинического диагноза.

С пациентами категории «группа риска» требуется индивидуальная тактика. При отсутствии жалоб и физических

изменений допускается не проводить углубленного обследования и ограничиться общеклиническими тестами с последующим динамическим наблюдением и проведением капнометрии повторно. В случае наличия у обследуемого жалоб на состояние здоровья, физических изменений со стороны внутренних органов и систем необходимо заниматься с ним как с пациентом из категории «патология».

Клинические примеры использования алгоритма.

Пример 1. Пациент Ш., 31 год, рост 177 см, вес 91 кг. Обратился в поликлинику для получения медицинской справки с целью допуска к управлению автомобилем. Пациенту было предложено пройти скрининговое тестирование с применением капнометрии.

Показатели скринингового тестирования:

$$\frac{МОД}{V_{CO_2} \times Pe_{CO_2}} = 1,24 \text{ мм рт.ст.}^{-1} \text{ (больше 1,0);}$$

$$\frac{МОД}{V_{CO_2} \times Pet_{CO_2}} = 1,02 \text{ мм рт.ст.}^{-1} \text{ (меньше 1,1).}$$

Таким образом, с использованием разработанного алгоритма (рис. 1) пациент был отнесен в категорию «группа риска». Гражданину Ш. было предложено сдать общий анализ крови, мочи, пройти ЭКГ и посетить врача-терапевта. В ходе обследования у пациента выявлена вредная привычка – курение, рассеянные хрипы во время выдоха при аускультации легких. Сам пациент отметил наличие чувства нехватки воздуха при быстрой ходьбе. При проведении исследования функции внешнего дыхания выявлено снижение $ОФВ_1$ до 75% от расчетной нормы. После

проведения ингаляционной пробы с сальбутамолом выявлены признаки обратимой обструкции дыхательных путей: прирост ОФВ₁ на 16%, 700 мл. В дальнейшем специалист-пульмонолог выставил пациенту диагноз «неаллергическая бронхиальная астма, легкое персистирующее течение, частично контролируемая. ДНО», начато лечение.

Данный пример иллюстрирует, как разработанный способ помогает заподозрить скрытую патологию, не имеющую явного клинического проявления. Своевременная диагностика послужила основанием для назначения адекватного лечения.

Пример 2. Пациент Ч., 44 лет, рост 178 см, вес 78 кг. Проходил военно-врачебную комиссию для увольнения в запас по достижению предельного возраста состояния на военной службе.

Жалоб на здоровье не предъявлял, вредных привычек не имел. В анамнезе множественные торакоабдоминальные ранения колюще-режущими предметами (участвовал в боевых действиях) с последующим оперативным лечением.

Показатели скринингового капнографического тестирования:

$$\frac{МОД}{VCO_2 \times P_{eCO_2}} = 1,05 \text{ мм рт.ст.}^{-1} \text{ (больше 1,0);}$$

$$\frac{МОД}{VCO_2 \times P_{etCO_2}} = 0,97 \text{ мм рт.ст.}^{-1} \text{ (меньше 1,1).}$$

Таким образом, с использованием разработанного алгоритма (рис. 1) пациент был отнесен в категорию «группа риска».

При проведении обследования выявлено:

- пневмофиброз с обеих сторон, частичная резекция 5-6 ребер с обеих сторон (рентгенография органов грудной клетки);
- снижение ЖЕЛ до 66 % от расчетной нормы, снижение ФЖЕЛ до 64% от расчетной нормы; проба с сальбутамолом отрицательная (исследование функции внешнего дыхания);
- при проведении велоэргометрии пациент освоил нагрузку в 150 Вт с достижением субмаксимальной ЧСС по возрасту.
- при проведении ЭХО-КС патологических изменений не выявлено.

Заключительный диагноз: последствия ножевых ранений грудной клетки: частичная резекция 5-6 ребер с обеих сторон, двусторонний пневмофиброз. ДН1.

Данному пациенту показано динамическое наблюдение, а также ЛФК, направленное на предотвращение прогрессирования дыхательной недостаточности.

Данный пример иллюстрирует возможность ранней диагностики прогностически неблагоприятной ситуации (развитие дыхательной недостаточности) с помощью разработанного способа. Состояние пациента требует организации длительных реабилитационных мероприятий и динамического наблюдения.

Пример 3. Пациент И., 20 лет, рост 182, вес 74 кг. Проходил военно-врачебную комиссию на предмет годности к военной службе по контракту. Считал себя здоровым, жалоб не предъявлял, физических изменений при осмотре не выявлено.

Результаты капнометрического тестирования:

$$\frac{МОД}{VCO_2 \times P_{eCO_2}} = 1,02 \text{ мм рт.ст.}^{-1} \text{ (больше 1,0);}$$

$$\frac{МОД}{VCO_2 \times P_{etCO_2}} = 0,95 \text{ мм рт.ст.}^{-1} \text{ (меньше 1,1).}$$

С использованием разработанного алгоритма (Фиг. 2) пациент был отнесен в категорию «группа риска». Проведенное в дальнейшем обследование не выявило каких-либо заболеваний: общий анализ крови, мочи, биохимический анализ крови, ЭКГ, исследование функции внешнего дыхания, суточное мониторирование артериального давления и ЭКГ – без патологии. При проведении велоэргометрии освоена физическая нагрузка в 200 Вт с достижением субмаксимальной ЧСС по возрасту. На ЭХО-КС установлено наличие пролапса митрального клапана 1 степени с регургитацией 1 степени без расширения полостей сердца, нарушений систолической и диастолической функции миокарда.

Заключительный диагноз: Пролапс митрального клапана 1 степени с регургитацией 1 степени. НО.

При обследовании у пациента И. не выявлено значимой патологии. Повторный осмотр и физикальное обследование с проведением капнометрии через 1 месяц не выявило каких-либо изменений:

$$\frac{МОД}{VCO_2 \times P_{eCO_2}} = 0,93 \text{ мм рт.ст.}^{-1} \text{ (больше 1,0);}$$

$$\frac{МОД}{VCO_2 \times P_{etCO_2}} = 0,81 \text{ мм рт.ст.}^{-1} \text{ (меньше 1,1).}$$

Данный пример иллюстрирует тактику динамического наблюдения за пациентом из «группы риска» для исключения возможного патологического процесса, не имеющего жалоб и изменений со стороны внутренних органов при первичном осмотре.

Пример 4. Пациент Г., 68 лет, рост 170 см, вес 88 кг. Обратился на прием к ревматологу с жалобами на боли в мелких суставах кистей и стоп, лучезапястных и галенозопных суставах; отечность в области стоп. Перед посещением врача пациенту было предложено выполнить скрининговый капнометрический тест. Результаты тестирования:

$$\frac{МОД}{VCO_2 \times P_{eCO_2}} = 1,8 \text{ мм рт.ст.}^{-1} \text{ (больше 1,0);}$$

$$\frac{МОД}{VCO_2 \times P_{etCO_2}} = 1,58 \text{ мм рт.ст.}^{-1} \text{ (меньше 1,1).}$$

Таким образом, с использованием разработанного алгоритма (рис. 1) пациент был отнесен к категории «патология».

На приеме у ревматолога установлено наличие одышки при подъеме на 2 этаж, на что пациент не обращал внимания из-за болей в галенозопных суставах при ходьбе; в анамнезе - артериальная гипертензия, контролируемая приемом периндоприл/индапамид 5,0/1,25 мг на уровне 130-140/85-90 мм рт. ст. (со слов пациента при нерегулярном измерении АД). При осмотре выявлено: крепитирующие хрипы в нижних отделах легких с обеих сторон на глубине вдоха, систолических шум над областью сердца с эпицентром на верхушке, АД 150/100, отечность стоп до уровня средней трети голени. Суставы кистей деформированы с образованием узелков Бушара и Гебердена. Дальнейшее обследование пациента в стационаре выявило:

- дислипидемию II В по классификации Фридериксена;
- застой крови в малом круге кровообращения (рентгенография органов грудной клетки);
- наличие склеротических изменений митрального клапана с его недостаточностью в виде регургитации крови в

левое предсердие 3-4 степени, расширение левого предсердия до 54 мм, систолическое давление в легочной артерии 44 мм рт.ст. эксцентрическая гипертрофия левого желудочка (ЭХО-КС);

- стойкую в течение суток артериальную гипертензию 1 степени (150/95 мм рт. ст.) по данным СМАД;

- непрерывно-рецидивирующую форму фибрилляции предсердий (холтеровское мониторирование ЭКГ);

- признаки деформирующего остеоартроза суставов кистей, галеностопных суставов (рентгенография соответствующих суставов).

Заключительный диагноз: Недостаточность митрального клапана с регургитацией 3-4 степени. Непрерывно-рецидивирующая форма фибрилляции предсердий. Легочная гипертензия. Н2А. NYHA II. Артериальная гипертензия 1 степени, риск 4. Деформирующий остеоартроз 2-3 стадии с поражением мелких суставов кистей галеностопных суставов. ФН 2.

Пациенту скорректировано лечение артериальной гипертензии, начато лечение хронической сердечной недостаточности. Направлен на консультацию кардиохирурга. Данный пример отражает необходимость тщательной диагностики у пациентов, попавших в категорию «патология».

Пример 5. Пациент Л., 38 лет, рост 174, вес 86 кг. Считает себя здоровым, жалоб не предъявляет, физических изменений не выявлено. Проходил обследование для включения в контрольную группу данного исследования.

Результаты капнометрического тестирования:

$$\frac{МОД}{VC_{O2} \times Pe_{CO2}} = 0,97 \text{ мм рт.ст.}^{-1} \text{ (больше } 1,0);$$

$$\frac{МОД}{VC_{O2} \times Pet_{CO2}} = 0,85 \text{ мм рт.ст.}^{-1} \text{ (меньше } 1,1).$$

С целью уточнения состояния здоровья (перед включением пациента Л. в контрольную группу) выполнено: общий анализ крови, мочи, биохимический анализ крови, ЭКГ, исследование функции внешнего дыхания, велоэргометрия, ЭХО-КС, суточное мониторирование артериального давления и ЭКГ. Данных за патологию ОД и ССС не выявлено.

Таким образом, с использованием разработанного алгоритма (рис. 1) пациент был отнесен к категории «здоровые» и включен в контрольную группу.

Выводы

1. В результате изучения капнометрических и вентиляционных параметров были разработаны вентиляционно-капнометрические индексы ($\frac{МОД}{VC_{O2} \times Pe_{CO2}}$ и $\frac{МОД}{VC_{O2} \times Pet_{CO2}}$), обладающие высокой чувствительностью и специфичностью (соответственно 95,0% и 95,2%) в отношении выявления заболеваний органов дыхания и сердечно-сосудистой системы.

2. Разработанный на основании вентиляционно-капнометрических индексов алгоритм имеет высокую клиническую эффективность и может использоваться для ранней диагностики заболеваний органов дыхания и сердечно-сосудистой системы.

Литература

1. *Huges, J.M.B. Physiology and Practice of Pulmonary Function.* Association for Respiratory Technology and Physiology. – 2009. – 323р.

2. *Гриппи, М.А. Патофизиология легких.* – М.: Бином, 1997. – 344с.

3. Филиппович, Г.В. Эволюция в технологиях капнометрии. Микроструйная капнометрия. – www.critical.ru/consult/pages/microstream1.

4. *Шурыгин, И.А. Мониторинг дыхания в анестезиологии и интенсивной терапии.* – Диалект. – 2003. – 415 с.

5. A tidally, breathing model of ventilation, perfusion and volume in normal and diseased lungs / Yem J.S., Turner M.J., Baker A.B. et al. // *British Journal of Anaesthesia.* 2006. – V.5. – P. 718–731.

6. Yem, J.S., Turner M.J., Baker A.B. Sources of error in partial rebreathing pulmonary blood flow measurements in lungs with emphysema and pulmonary embolism // *British Journal of Anaesthesia.* 2006. – V.5. – P. 732–741.

7. *Utility of the expiratory capnogram in the assessment of bronchospasm / Yaron M., Padyk P., Hutsinpillar M. et al. // Ann. Emerg. Med.* – 1996. – V. 28. – P 403-407.

8. *Rump, T.H., Krismaric M., Grmec S. Capnometry in suspected pulmonary embolism with positive D-dimer in the field // Critical Care.* – 2009. – V. 13. – N 6 – R 196 – P. 1-9.

9. *Lawrence, H.B., John E.G., Rosa H.S. Can Quantitative Capnometry Differentiate Between Cardiac and Obstructive Causes of Respiratory Distress? // Chest.* – 1998. – V. 113. P. 323-326.

10. *Флетчер, Р., Флетчер С., Вагнер Э. Клиническая эпидемиология. Основы доказательной медицины.* – М.: Медиасфера, 1998. – 352с.