

ОЦЕНКА ВЕНТИЛЯЦИОННО-ПЕРФУЗИОННОГО ОТНОШЕНИЯ ПРИ ХРОНИЧЕСКОЙ ОБСТРУКТИВНОЙ БОЛЕЗНИ ЛЁГКИХ

Т.А. МИРОШКИНА¹, С.А. ШУСТОВА¹, И.Б. ПОНОМАРЁВА²

¹ Кафедра патофизиологии, Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова, Рязань, Российская Федерация

² Кафедра факультетской терапии с курсом терапии факультета дополнительного профессионального образования, Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова, Рязань, Российская Федерация

Цель: изучить вентиляционно-перфузионное отношение (ВПО) у пациентов с хронической обструктивной болезнью лёгких (ХОБЛ) методом объёмной капнографии.

Материал и методы: обследованы 35 пациентов с ХОБЛ II-IV степени тяжести и 17 добровольцев, не имеющих патологии респираторной системы. С помощью ультразвукового компьютерного спирографа SpiroScout (Ganshorn, Germany), оснащённого функцией объёмной капнографии, выполнены спирография и объёмная капнография. У больных ХОБЛ проведена оценка симптомов с помощью mMRC и CAT.

Результаты: выявлены статистически значимые различия между пациентами с ХОБЛ и контрольной группой по ряду показателей объёмной капнографии, характеризующих ВПО. VD_{Bohr} , VD_{alv} и их отношение к VT у пациентов с ХОБЛ были больше, чем у испытуемых контрольной группы (VD_{Bohr} – 361 [299-486] и 280 [215-463] мл, $p=0,042$; VD_{Bohr}/VT – 0,43 [0,40-0,51] и 0,35 [0,31-0,44], $p=0,001$; VD_{alv} – 211 [142-290] и 81 [49,5-244,5] мл, $p=0,012$; VD_{alv}/VT – 0,24 [0,20-0,34] и 0,13 [0,08-0,23], $p=0,001$). Наклон II фазы капнограммы при ХОБЛ был меньше (dMM/dV_2 – 2,0 [1,7-2,7] и 2,5 [2,2-3,2] г/моль·л, соответственно; $p=0,013$), а наклон III фазы – больше, чем у лиц, не имеющих патологии респираторной системы (dMM/dV_3 – 0,38 [0,29-0,51] и 0,22 [0,13-0,34] г/моль·л, соответственно; $p<0,001$). Угол α в группе ХОБЛ был увеличен по сравнению с контрольной группой (136° [132-145] и 125° [120-132], соответственно; $p<0,001$). Корреляционный анализ не выявил значимой взаимосвязи между показателями спирографии и объёмной капнографии. Значимых корреляций между баллами mMRC и CAT и параметрами спиро- и капнографии мы также не обнаружили.

Заключение: проведённое исследование выявило нарушение ВПО у больных ХОБЛ. Объёмная капнография является простой в проведении методикой, позволяющей оценить ВПО.

Ключевые слова: вентиляционно-перфузионное отношение, мёртвое пространство, хроническая обструктивная болезнь лёгких, объёмная капнография.

Для цитирования: Мирошкина ТА, Шустова СА, Пономарёва ИБ. Оценка вентиляционно-перфузионного отношения при хронической обструктивной болезни лёгких. *Вестник Авиценны*. 2021;23(1):25-31. Available from: <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2021-23-1-25-31>

EVALUATION OF VENTILATION-PERFUSION RATIO IN CHRONIC OBSTRUCTIVE PULMONARY DISEASE

T.A. MIROSHKINA¹, S.A. SHUSTOVA¹, I.B. PONOMARYOVA²

¹ Department of Pathophysiology, Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov, Ryazan, Russian Federation

² Department of Faculty Therapy with Course of Therapy, Faculty of Continuing Professional Education, Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov, Ryazan, Russian Federation

Objective: To study ventilation-perfusion ratio (VPR) in patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) using method of volumetric capnography.

Methods: 35 patients with COPD II-IV stages and 17 volunteers without pathology of the respiratory system (control group) were examined. Using SpiroScout (Ganshorn, Germany) with built-in function of volumetric capnography, spirometry and volumetric capnography were implemented. Symptoms in patients with COPD were evaluated using mMRC and CAT.

Results: Statistically significant differences between the patients with COPD and the control group were identified in a number of parameters of volumetric capnography characterizing VPR. VD_{Bohr} , VD_{alv} and their ratio to VT in patients with COPD were higher than in individuals of the control group (VD_{Bohr} – 361 [299-486] and 280 [215-463] ml, $p=0.042$; VD_{Bohr}/VT – 0.43 [0.40-0.51] and 0.35 [0.31-0.44], $p=0.001$; VD_{alv} – 211 [142-290] and 81 [49.5-244.5] ml, $p=0.012$; VD_{alv}/VT – 0.24 [0.20-0.34] and 0.13 [0.08-0.23], $p=0.001$). The slope of the 2nd phase of the capnogram in COPD was more smooth (dMM/dV_2 – 2.0 [1.7-2.7] and 2.5 [2.2-3.2] g/mol·l, respectively; $p=0.013$), and the slope of the 3rd phase was steeper than in the individuals without pathology of the respiratory system (dMM/dV_3 – 0.38 [0.29-0.51] and 0.22 [0.13-0.34] g/mol·l, respectively; $p<0.001$). Angle α in the group with COPD was increased in comparison with the control group (136° [132-145] and 125° [120-132], respectively; $p<0.001$). Correlation analysis did not reveal any significant interrelation between parameters of spirometry and volumetric capnography. No significant correlations between mMRC and CAT scores and parameters of spirometry and volumetric capnography were found.

Conclusions: The conducted study identified derangement of VPR in patients with COPD. Volumetric capnography is an easy-to-use technique that allows evaluating VPR.

Keywords: Ventilation-perfusion ratio, dead space, chronic obstructive pulmonary disease, volumetric capnography.

For citation: Miroshkina TA, Shustova SA, Ponomaryova IB. Otsenka ventilatsionno-perfuzionnogo otnosheniya pri khronicheskoy obstruktivnoy bolezni lyogkikh [Evaluation of ventilation-perfusion ratio in chronic obstructive pulmonary disease]. *Vestnik Avitsenny [Avicenna Bulletin]*. 2021;23(1):25-31. Available from: <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2021-23-1-25-31>

ВВЕДЕНИЕ

Хроническая обструктивная болезнь лёгких (ХОБЛ) является одной из ведущих причин заболеваемости, инвалидизации и смертности. По мере ухудшения функции респираторной системы при прогрессировании ХОБЛ у пациентов нарушается оксигенация крови в лёгких – возникает артериальная гипоксемия. Гипоксемия ведёт к гипоксии органов и тканей, способствует развитию лёгочной гипертензии, вторичного эритроцитоза, системного воспаления, дисфункции скелетных мышц, остеопении и депрессии. Перечисленные нарушения снижают качество жизни пациентов, ухудшают переносимость физической нагрузки, предрасполагают к частым обострениям, увеличивают риск сердечно-сосудистых заболеваний и смерти.

Ключевым фактором развития артериальной гипоксемии при ХОБЛ является нарушение вентиляционно-перфузионного отношения (ВПО) [1, 2]. В здоровых лёгких ВПО обычно колеблется в диапазоне от 0,5 до 3,0 [3]. Такой разброс значений является нормальным и ожидаемым. Он связан с наличием в вертикальном положении апикально-базальных градиентов вентиляции и перфузии и градиента ВПО: базальные отделы лёгких вентилируются и перфузируются интенсивнее апикальных, причём перфузионный градиент более выражен, чем вентиляционный [4]. Таким образом, даже в норме в лёгких отмечается некоторая гетерогенность ВПО, однако тесное регионарное сопряжение вентиляции и перфузии обеспечивает эффективный газообмен.

При ХОБЛ имеет место поражение воздухоносных путей и лёгочной паренхимы, а также нарушение кровообращения в сосудах малого круга. Воспалительный отёк и инфильтрация стенки дыхательных путей, гиперсекреция слизи, бронхоспазм и ремоделирование бронхов повышают сопротивление воздушному потоку, вызывая альвеолярную гиповентиляцию. Деструкция паренхимы лёгких с потерей альвеолярных прикреплений уменьшает радиальную тракцию воздухоносных путей, снижает эластическую отдачу и, следовательно, внутрипросветное давление; это способствует динамической компрессии дыхательных путей, возникновению «воздушных ловушек» и гиперинфляции. Степень выраженности перечисленных нарушений в различных регионах лёгких, как правило, неодинакова: области с обструкцией вентилируются хуже тех, в которых проходимость дыхательных путей не изменена; более того, в последних развивается компенсаторная гипервентиляция. Указанные изменения делают распределение вентиляции неоднородным, что характерно для всех степеней ХОБЛ [5].

При ХОБЛ наблюдаются структурно-функциональные изменения лёгочных сосудов: дисфункция эндотелия, воспалительное ремоделирование с прогрессирующей окклюзией и потерей сосудистой сети в регионах с эмфизематозной деструкцией, лёгочная гипертензия [6]. Таким образом, при ХОБЛ имеет место гетерогенное распределение вентиляции, нарушение перфузии и вентиляционно-перфузионного соответствия, что лежит в основе расстройств лёгочного газообмена. Оценка ВПО у пациентов с заболеваниями респираторной системы в последние годы уделяется всё больше внимания [3, 5, 7, 8].

Для изучения ВПО можно использовать вентиляционно-перфузионную сцинтиграфию – комплексное радионуклидное исследование, в ходе которого пациенту вводят два радиофармпрепарата, что позволяет выявить регионарные нарушения вентиляции и перфузии лёгких. Метод требует наличия специального дорогостоящего оборудования, обученного персонала,

в связи с чем он доступен, как правило, только в крупных диагностических лабораториях.

Для оценки ВПО предлагают также использовать объёмную капнографию. Методика проста в выполнении (не требует сложных дыхательных манёвров), неинвазивна, не требует дорогостоящих сканеров и реактивов, не связана с лучевой нагрузкой; капнографическое исследование можно реализовать в любом стандартном кабинете функциональной диагностики.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучить вентиляционно-перфузионное отношение у пациентов с хронической обструктивной болезнью лёгких методом объёмной капнографии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Работа выполнена на базе пульмонологического отделения Областной клинической больницы им. Н.А. Семашко и Рязанского областного клинического госпиталя для ветеранов войн. Исследование одобрено локальным этическим комитетом Рязанского государственного медицинского университета им. академика И.П. Павлова. Обязательным критерием для включения в исследование было наличие письменного информированного согласия испытуемых.

Обследованы 35 пациентов мужского пола в возрасте $66,4 \pm 7,0$ лет, страдающих ХОБЛ II-IV степени тяжести, и 17 испытуемых мужского пола сопоставимого возраста, не имеющих патологии респираторной системы.

Исследование функции внешнего дыхания включало спирографию и объёмную капнографию и выполнялось с помощью ультразвукового компьютерного спирографа SpiroScout (Ganshorn, Germany), оснащённого функцией объёмной капнографии. Спирографию проводили в соответствии со стандартами ATS/ERS. Больные ХОБЛ перед исследованием воздерживались от приёма бронходилататоров: короткодействующих – в течение 6 часов, длительно действующих – в течение 12 часов.

Капнограмму записывали при обычном спокойном дыхании пациента, следуя диаграмме содействия прибора. Структура объёмной капнограммы представлена на рис. 1.

I фаза регистрируется в начале выдоха (при поступлении в анализатор воздуха из анатомического мёртвого пространства), содержание CO_2 близко к нулю; II фаза характеризуется быстрым подъёмом содержания CO_2 , записывается при поступлении в анализатор смешанного воздуха из проводящих дыхательных путей и респираторной зоны лёгких; III фаза (альвеолярное пла-

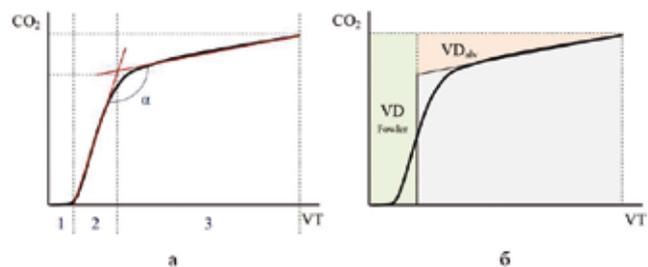


Рис. 1 Структура объёмной капнограммы: а) фазы капнографической кривой; б) определение объёмов мёртвых пространств; VT – дыхательный объём; VD_{Fowler} – объём анатомического мёртвого пространства по Fowler; VD_{alv} – объём альвеолярного мёртвого пространства

то) регистрируется при опустошении альвеол; степень наклона альвеолярного плато отражает неравномерность вентиляции и перфузии [9].

Проанализированы следующие показатели:

Спирометрические:

FEV₁ – объём форсированного выдоха за первую секунду;

FEV₁/FVC – отношение FEV₁ к форсированной жизненной ёмкости лёгких.

Капнографические:

VD_{Bohr} – объём физиологического мёртвого пространства во Bohr;

VD_{Bohr}/VT – отношение VD_{Bohr} к дыхательному объёму;

VD_{Fowler} – объём анатомического мёртвого пространства во Fowler;

VD_{Fowler}/VT – отношение VD_{Fowler} к дыхательному объёму;

VD_{alv} – объём альвеолярного мёртвого пространства (VD_{alv}=VD_{Bohr}-VD_{Fowler});

VD_{alv}/VT – отношение VD_{alv} к дыхательному объёму;

dMM/dV₂ – наклон II фазы объёмной капнограммы;

dMM/dV₃ – наклон III фазы (альвеолярного плато) объёмной капнограммы;

угол α – угол между II и III фазами объёмной капнограммы;

f – частота дыхания;

VT – дыхательный объём.

У пациентов с ХОБЛ проводили оценку симптомов с помощью модифицированного вопросника Британского медицинского исследовательского совета (modified British Medical Research

Council (mMRC) questionnaire) и теста оценки ХОБЛ (CAT – COPD Assessment Test).

Статистическая обработка результатов выполнена с помощью программы Statistica 10.0 (StatSoft Inc., USA). При проверке распределения данных с помощью критерия Шапиро-Уилка было установлено, что ряд показателей имеет распределение, отличное от нормального. В связи с этим, оценка межгрупповых различий проведена в основном с помощью критерия Манна-Уитни; в применимых случаях (нормальное распределение, равенство дисперсий) использован двусторонний t-тест для независимых выборок. Корреляционный анализ проведён с помощью критерия ранговой корреляции Спирмена. За критический уровень статистической значимости принимался p=0,05. В тексте статьи описание количественных данных представлено в формате Me [Q₁-Q₃] – медиана [интерквартильный размах].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования представлены в табл. 1.

Спирометрические показатели больных ХОБЛ были существенно ниже таковых в контрольной группе.

По большинству показателей объёмной капнографии также были выявлены статистически значимые различия между группами:

- VD_{Bohr}, VD_{alv} и их отношение к VT у пациентов с ХОБЛ были больше, чем у испытуемых контрольной группы;
- dMM/dV₂ при ХОБЛ был меньше, а dMM/dV₃ – больше, чем у лиц, не имеющих патологии респираторной системы;

Таблица 1 Показатели спирографии и объёмной капнографии пациентов с ХОБЛ и испытуемых контрольной группы

| Показатель | Пациенты с ХОБЛ | | | | Контрольная группа | | | | p |
|----------------------------------|------------------|-------------|-------|--------------------------------|--------------------|-------------|-------|--------------------------------|---------|
| | M(SD) | 95% CI | Me | Q ₁ -Q ₃ | M(SD) | 95% CI | Me | Q ₁ -Q ₃ | |
| FEV ₁ , % от должного | 40,9 (11,9) | 36,8-45,0 | 39,0 | 33,0-50,0 | 86,3 (16,8) | 77,4-95,3 | 82,5 | 71,5-96,3 | 0,000* |
| FEV ₁ /FVC, % | 47,6 (15,0) | 42,5-52,8 | 46,0 | 36,0-57,0 | 81,1 (9,6) | 76,0-86,2 | 82,5 | 71,0-89,8 | 0,000* |
| VD _{Bohr} мл | 401,4 (139,5) | 353,5-449,4 | 361,0 | 299,0-486,0 | 329,2 (150,6) | 251,8-406,7 | 280,0 | 215,0-463,0 | 0,042* |
| VD _{Bohr} /VT | 0,47 (0,10) | 0,43-0,50 | 0,43 | 0,40-0,51 | 0,37 (0,08) | 0,33-0,41 | 0,35 | 0,31-0,44 | 0,001* |
| VD _{Fowler} мл | 160,2 (38,6) | 147,0-173,5 | 149,0 | 129,0-191,0 | 174,6 (48,0) | 149,9-199,3 | 157,0 | 147,0-194,0 | 0,266* |
| VD _{Fowler} /VT | 0,20 (0,07) | 0,18-0,22 | 0,19 | 0,15-0,24 | 0,22 (0,09) | 0,17-0,26 | 0,21 | 0,15-0,29 | 0,345** |
| VD _{alv} мл | 241,2 (145,0) | 191,4-291,0 | 211,0 | 142,0-290,0 | 154,6 (143,1) | 81,1-228,2 | 81,0 | 49,5-244,5 | 0,012* |
| VD _{alv} /VT | 0,27 (0,12) | 0,22-0,31 | 0,24 | 0,20-0,34 | 0,15 (0,10) | 0,10-,20 | 0,13 | 0,08-0,23 | 0,001* |
| dMM/dV ₂ , г/моль×л | 2,1 (0,7) | 1,9-2,4 | 2,0 | 1,7-2,7 | 2,6 (0,6) | 2,3-3,0 | 2,5 | 2,2-3,2 | 0,013** |
| dMM/dV ₃ , г/моль×л | 0,38 (0,13) | 0,34-0,43 | 0,38 | 0,29-0,51 | 0,23 (0,12) | 0,17-0,29 | 0,22 | 0,13-0,34 | 0,000** |
| Угол α, ° | 138,1 (8,0) | 135,4-140,9 | 136,0 | 132,0-145,0 | 125,6 (6,2) | 122,4-128,8 | 125,0 | 120,0-132,0 | 0,000* |
| f, мин ⁻¹ | 14,1 (3,8) | 12,7-15,4 | 13,0 | 11,0-17,0 | 15,2 (5,6) | 12,3-18,1 | 15,0 | 11,5-16,5 | 0,383* |
| VT, мл | 0,86 (0,23) | 0,78-0,94 | 0,82 | 0,68-0,96 | 0,89 (0,36) | 0,71-1,08 | 0,85 | 0,62-1,10 | 0,868* |

Примечания: M(SD) – среднее арифметическое (стандартное отклонение); 95% CI – 95% доверительный интервал; Me – медиана; Q₁-Q₃ – интерквартильный размах; * – по критерию Манна-Уитни; ** – по двустороннему t-тесту для независимых выборок

- угол α в группе ХОБЛ был увеличен по сравнению с контрольной группой.

В то же время частота дыхания и дыхательный объём у пациентов с ХОБЛ и испытуемых контрольной группы были сопоставимы. VD_{Fowler} и его отношение к VT были несколько выше в контрольной группе, но отличие не было статистически значимым ($p=0,266$ для VD_{Fowler} и $p=0,345$ для VD_{Fowler}/VT).

Основными показателями объёмной капнографии, характеризующими ВПО, являются VD_{alv} , наклон III фазы и величина угла α [10, 11].

Альвеолярное мёртвое пространство представляет собой совокупность альвеол, которые вентилируются, но не перфузируются; газообмена между воздухом и кровью в таких альвеолах не происходит. Альвеолярное мёртвое пространство формируется на фоне окклюзии сосудов малого круга кровообращения; функциональным эквивалентом альвеолярного мёртвого пространства являются лёгочные регионы с высоким ВПО. Появление таких участков при ХОБЛ возможно в результате компенсаторной регионарной гипервентиляции (вентиляция усилена в областях с нормальной проходимостью воздухоносных путей и/или с менее выраженной обструкцией) и нарушения перфузии лёгких. Структурные и функциональные изменения лёгочных сосудов широко распространены у пациентов с ХОБЛ [6, 8]. Прямое воздействие раздражающих частиц (чаще компонентов табачного дыма) и связанное с ним воспаление вызывают дисфункцию эндотелия, ремоделирование сосудов и прогрессирующую их окклюзию. Такие расстройства выявляются уже на ранних стадиях ХОБЛ; в ряде случаев они предшествуют изменениям показателей спирометрии [5]. При развитии эмфиземы лёгких и лёгочной гипертензии наличие перфузионных нарушений не вызывает сомнений.

Альвеолярное мёртвое пространство является компонентом физиологического мёртвого пространства; при увеличении VD_{alv} закономерно возрастает и VD_{Bohr} , что мы и наблюдали в группе больных ХОБЛ. В свою очередь, изменение VD_{Bohr} отражается на величине VD_{Bohr}/VT – интегральном показателе, характеризующем эффективность вентиляции лёгких. У пациентов с ХОБЛ отношение VD_{Bohr}/VT было увеличено и составляло 0,43 [0,40-0,51]; таким образом, в среднем почти половину от общего объёма вентиляции составляла вентиляция мёртвого пространства.

Патофизиологическую основу ХОБЛ составляет обструкция воздухоносных путей, приводящая к гиповентиляции и нарушению газообмена. Степень бронхиальной обструкции в различ-

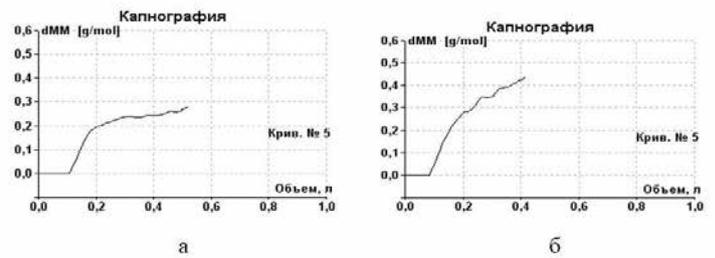


Рис. 2 Капнографическая кривая в норме (а) и при ХОБЛ (б)

ных регионах неодинакова, в связи с чем при ХОБЛ возникает гетерогенность вентиляции. Для участков лёгких с выраженной обструкцией характерно падение ВПО. Итак, нарушение соответствия вентиляции и перфузии при ХОБЛ выражается не только в увеличении VD_{alv} , но и в появлении в лёгких регионов с низким ВПО. Наличие в лёгких областей с низким и высоким ВПО отражается на форме капнографической кривой – возрастает наклон альвеолярного плато [12, 13] (рис. 2). Это связано с тем, что в условиях неоднородной вентиляции содержание CO_2 в альвеолярном воздухе в разных участках лёгких существенно различается. Во время выдоха, в первую очередь, опустошаются регионы, в которых проходимость дыхательных путей не нарушена. Для таких регионов характерны компенсаторная гипервентиляция и высокое ВПО; содержание углекислого газа в них сравнительно невелико. Участки лёгких с выраженной бронхиальной обструкцией, низким ВПО и высокой концентрацией CO_2 опустошаются лишь в конце выдоха [14].

Наблюдаемое нами уменьшение наклона II фазы объёмной капнограммы (dMM/dV_2) у больных ХОБЛ по сравнению с группой контроля согласуется с данными других исследователей [15,16]. Эмфизематозное поражение лёгких характеризуется расширением терминальных и респираторных бронхиол и альвеолярных ходов; объём смешанного воздуха при этом увеличивается – II фаза капнограммы становится более пологой.

Угол α – это угол между II и III фазами объёмной капнограммы; его величина зависит от наклона этих фаз. У пациентов с ХОБЛ мы наблюдали деформацию капнографической кривой с уменьшением наклона II фазы и увеличением наклона альвеолярного плато; аналогичные изменения описаны и другими исследователями [14, 17]. При подобных изменениях угол α увеличивается [18].

Корреляционный анализ выявил следующие взаимосвязи показателей спирометрии и объёмной капнографии (табл. 2).

Таблица 2 Результаты корреляционного анализа показателей спирометрии и объёмной капнографии

| | | FEV ₁ | FEV ₁ /FVC |
|------------------------|---|------------------|-----------------------|
| VD _{Bohr} /VT | r | - 0,32 | - 0,43 |
| | p | 0,021 | 0,002 |
| VD _{alv} /VT | r | - 0,35 | - 0,35 |
| | p | 0,012 | 0,013 |
| dMM/dV ₂ | r | 0,38 | 0,39 |
| | p | 0,006 | 0,004 |
| dMM/dV ₃ | r | - 0,33 | - 0,26 |
| | p | 0,017 | 0,065 |
| Угол α | r | - 0,56 | - 0,57 |
| | p | 0,000 | 0,000 |

Примечание: представлены результаты анализа общей выборки (пациенты с ХОБЛ + контрольная группа); r – критерий ранговой корреляции Спирмена; p – вероятность ошибки

Наиболее сильной оказалась корреляция между показателями спирографии (FEV_1 и FEV_1/FVC) и углом α ($r=-0,56$ и $-0,57$ соответственно; в обоих случаях $p<0,001$).

Однако корреляционный анализ результатов обследования пациентов с ХОБЛ не выявил значимой взаимосвязи между показателями спирографии и объёмной капнографии. Аналогичные данные мы встретили в литературе: несмотря на прогрессирующее нарушение ВПО от I до IV степени тяжести ХОБЛ, большинство исследователей не смогло найти чёткой связи между показателями газообмена и спирометрическими данными. Отсутствие значимых корреляций объясняют следующим образом [19]:

– уже при I степени тяжести ограничения скорости воздушного потока при ХОБЛ имеется выраженное несоответствие вентиляции и перфузии, оно обнаруживается ещё до снижения FEV_1 . Непропорциональную диссоциацию между нарушениями ВПО и лёгочного газообмена с одной стороны и данными спирометрии – с другой – при I степени тяжести ХОБЛ связывают с тем, что FEV_1 отражает в основном функцию крупных и средних бронхов, тогда как альвеолярный газообмен при данной патологии определяется, главным образом, изменениями в мелких воздухоносных путях, альвеолярных пространствах и кровеносных сосудах. По мере увеличения тяжести заболевания от лёгкой до крайне тяжёлой степени FEV_1 снижается существенно (от нормальных значений до 20 % от должного), в то время как нарушения ВПО прогрессирует умеренно или даже незначительно. Таким образом, диапазон нарушений ВПО с I по IV степень тяжести ХОБЛ сравнительно невелик;

– патологические процессы, лежащие в основе ХОБЛ, одновременно нарушают и регионарную вентиляцию, и регионарный кровоток. Следовательно, нарушение ВПО даже при крайне

тяжёлой степени патологии является «самоограничивающимся»: если и вентиляция, и перфузия снижены, их соотношение несколько буферизуется;

– механизмы согласования регионарных вентиляции и кровотока остаются активными даже при IV степени ХОБЛ: реализуются гипоксическая вазоконстрикция и коллатеральная вентиляция.

Оценка симптомов у пациентов с ХОБЛ дала следующие результаты: сумма баллов CAT – 16 [10-21]; mMRC – 2 [1-2]. Значимых корреляций между данными показателями и параметрами спиро- и капнографии мы не обнаружили. Наиболее значимой была взаимосвязь между FEV_1 и суммой баллов CAT: $r=-0,38$, $p=0,052$; то же с поправкой на возраст – $r=-0,41$, $p=0,058$; однако в обоих случаях $p>0,05$. Отсутствие значимых корреляций, возможно, связано с индивидуальными особенностями пациентов (фенотип ХОБЛ, особенности перцепции одышки), а также с небольшим объёмом выборки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование выявило рассогласование вентиляции и перфузии у больных ХОБЛ. Нами обнаружены статистически значимые различия между испытуемыми основной и контрольной групп по ряду капнографических показателей, характеризующих ВПО. При ХОБЛ увеличивается объём физиологического мёртвого пространства за счёт альвеолярного мёртвого пространства; возрастает отношение объёма мёртвого пространства к дыхательному объёму – снижается эффективность вентиляции лёгких. Гетерогенность ВПО при ХОБЛ обуславливает деформацию капнографической кривой с изменением наклона II и III фаз и увеличением угла α .

ЛИТЕРАТУРА

1. Kent BD, Mitchell PD, McNicholas WT. Hypoxemia in patients with COPD: cause, effects, and disease progression. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2011;6:199-208. Available from: <https://doi.org/10.2147/copd.s10611>
2. Sarkar M, Niranjana N, Banyal P. Mechanisms of hypoxemia. *Lung India*. 2017;34(1):47. Available from: <https://doi.org/10.4103/0970-2113.197116>
3. Levin DL, Schiebler ML, Hopkins SR. Physiology for the pulmonary functional imager. *Eur J Radiol*. 2017;86:308-12. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.09.027>
4. Glenny RW, Robertson HT. Spatial distribution of ventilation and perfusion: Mechanisms and regulation. *Compr Physiol*. 2011;1(1):375-395. Available from: <https://doi.org/10.1002/cphy.c100002>
5. Mortensen J, Berg RMG. Lung scintigraphy in COPD. *Semin Nucl Med*. 2019;49(1):16-21. Available from: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2018.10.010>
6. Peinado VI, Pizarro S, Barberà JA. Pulmonary vascular involvement in COPD. *Chest*. 2008;134(4):808-14. Available from: <http://doi.org/10.1378/chest.08-0820>
7. Mountain JE, Santer P, O'Neill DP, Smith NMJ, Ciaffoni L, Couper JH, et al. Potential for noninvasive assessment of lung inhomogeneity using highly precise, highly time-resolved measurements of gas exchange. *J Appl Physiol*. 2018;124(3):615-31. Available from: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00745.2017>
8. Bajc M, Markstad H, Jarenbäck L, Tufvesson E, Bjermer L, Jögi J. Grading obstructive lung disease using tomographic pulmonary scintigraphy in patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) and long-term smokers. *Ann Nucl Med*. 2014;29(1):91-9. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12149-014-0913-y>

REFERENCES

1. Kent BD, Mitchell PD, McNicholas WT. Hypoxemia in patients with COPD: cause, effects, and disease progression. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2011;6:199-208. Available from: <https://doi.org/10.2147/copd.s10611>
2. Sarkar M, Niranjana N, Banyal P. Mechanisms of hypoxemia. *Lung India*. 2017;34(1):47. Available from: <https://doi.org/10.4103/0970-2113.197116>
3. Levin DL, Schiebler ML, Hopkins SR. Physiology for the pulmonary functional imager. *Eur J Radiol*. 2017;86:308-12. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.09.027>
4. Glenny RW, Robertson HT. Spatial distribution of ventilation and perfusion: Mechanisms and regulation. *Compr Physiol*. 2011;1(1):375-395. Available from: <https://doi.org/10.1002/cphy.c100002>
5. Mortensen J, Berg RMG. Lung scintigraphy in COPD. *Semin Nucl Med*. 2019;49(1):16-21. Available from: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2018.10.010>
6. Peinado VI, Pizarro S, Barberà JA. Pulmonary vascular involvement in COPD. *Chest*. 2008;134(4):808-14. Available from: <http://doi.org/10.1378/chest.08-0820>
7. Mountain JE, Santer P, O'Neill DP, Smith NMJ, Ciaffoni L, Couper JH, et al. Potential for noninvasive assessment of lung inhomogeneity using highly precise, highly time-resolved measurements of gas exchange. *J Appl Physiol*. 2018;124(3):615-31. Available from: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00745.2017>
8. Bajc M, Markstad H, Jarenbäck L, Tufvesson E, Bjermer L, Jögi J. Grading obstructive lung disease using tomographic pulmonary scintigraphy in patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) and long-term smokers. *Ann Nucl Med*. 2014;29(1):91-9. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12149-014-0913-y>

9. Субботин СВ. Диагностическое значение метода объёмной капнографии в обследовании пациентов с бронхиальной астмой. *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова*. 2018;26(3):388-95. Available from: <https://doi.org/10.23888/PAVLOVJ2018263388-395>
10. Мирошкина ТА, Шустова СА, Пономарёва И.Б. Вентиляционно-перфузионное отношение в норме и патологии. *Наука молодых*. 2020;8(3):422-32. Available from: <https://doi.org/10.23888/hmj202083422-432>
11. Мирошкина ТА, Шустова СА. Определение объёма дыхательных мёртвых пространств методом капноволуметрии. *Вестник Авиценны*. 2020;22(3):471-7. Available from: <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2020-22-3-471-477>
12. Hoffbrand BI. The expiratory capnogram: a measure of ventilation-perfusion inequalities. *Thorax*. 1966;21(6):518-23. Available from: <http://doi.org/10.1136/thx.21.6.518>
13. Moreira M, Veronez L, Pereira M, Silva S, Capitani E, Paschoal I, et al. Volumetric capnography for the evaluation of chronic airways diseases. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2014;9(1):983-9. Available from: <https://doi.org/10.2147/copd.s62886>
14. Jarenbäck L, Tufvesson E, Ankerst J, Bjermer L, Jonson B. The Efficiency Index (EFFI), based on volumetric capnography, may allow for simple diagnosis and grading of COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2018;13:2033-9. Available from: <https://doi.org/10.2147/copd.s161345>
15. Smidt U. Semi-quantitative diagnosis of the degree of emphysema from CO₂ expirograms. *Pneumologie*. 1997;51(1):55-9.
16. Silva S, Paschoal I, De Capitani E, Moreira M, Palhares L, Pereira M. COPD phenotypes on computed tomography and its correlation with selected lung function variables in severe patients. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2016;11(1):503-13. Available from: <https://doi.org/10.2147/copd.s90638>
17. Qi G-S, Gu W-C, Yang W-L, Xi F, Wu H, Liu J-M. The ability of volumetric capnography to distinguish between chronic obstructive pulmonary disease patients and normal subjects. *Lung*. 2014;192(5):661-8. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00408-014-9615-4>
18. Kellerer C, Jankrift N, Jörres RA, Klütsch K, Wagenpfeil S, Linde K, et al. Diagnostic accuracy of capnovolumetry for the identification of airway obstruction – results of a diagnostic study in ambulatory care. *Respir Res*. 2019;20(1):92. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12931-019-1067-1>
19. Rodríguez-Roisin R, Drakulovic M, Rodríguez DA, Roca J, Barberà JA, Wagner PD. Ventilation-perfusion imbalance and chronic obstructive pulmonary disease staging severity. *J Appl Physiol*. 2009;106(6):1902-8. Available from: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00085.2009>
9. Subbotin SV. Diagnosticheskoe znachenie metoda ob'jomnoy kapnografii v obsledovanii patsientov s bronkhial'noy astmoy [Diagnostic significance of volumetric capnography in examination of patients with bronchial asthma]. *Rossiiskiy mediko-biologicheskij vestnik imeni akademika I.P. Pavlova*. 2018;26(3):388-95.
10. Miroshkina T.A., Shustova S.A., Ponomareva I.B. Ventilyacionno-perfuzionnoe otnoshenie v norme i patologii. *Nauka molodykh (Eruditio Juvenium)*. 2020;8(3):422-432. Available from: <http://doi.org/10.23888/hmj202083422-432>
11. Miroshkina TA, Shustova SA. Opredelenie ob'yoma dykhatel'nykh myortvykh prostranstv metodom kapnovolyumetrii [Measurement of lung dead space volume by capnovolumetry]. *Vestnik Avitsenny [Avicenna Bulletin]*. 2020;22(3):471-7. Available from: <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2020-22-3-471-477>
12. Hoffbrand BI. The expiratory capnogram: a measure of ventilation-perfusion inequalities. *Thorax*. 1966;21(6):518-23. Available from: <http://doi.org/10.1136/thx.21.6.518>
13. Moreira M, Veronez L, Pereira M, Silva S, Capitani E, Paschoal I, et al. Volumetric capnography for the evaluation of chronic airways diseases. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2014;9(1):983-9. Available from: <https://doi.org/10.2147/copd.s62886>
14. Jarenbäck L, Tufvesson E, Ankerst J, Bjermer L, Jonson B. The Efficiency Index (EFFI), based on volumetric capnography, may allow for simple diagnosis and grading of COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2018;13:2033-9. Available from: <https://doi.org/10.2147/copd.s161345>
15. Smidt U. Semi-quantitative diagnosis of the degree of emphysema from CO₂ expirograms. *Pneumologie*. 1997;51(1):55-9.
16. Silva S, Paschoal I, De Capitani E, Moreira M, Palhares L, Pereira M. COPD phenotypes on computed tomography and its correlation with selected lung function variables in severe patients. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2016;11(1):503-13. Available from: <https://doi.org/10.2147/copd.s90638>
17. Qi G-S, Gu W-C, Yang W-L, Xi F, Wu H, Liu J-M. The ability of volumetric capnography to distinguish between chronic obstructive pulmonary disease patients and normal subjects. *Lung*. 2014;192(5):661-8. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00408-014-9615-4>
18. Kellerer C, Jankrift N, Jörres RA, Klütsch K, Wagenpfeil S, Linde K, et al. Diagnostic accuracy of capnovolumetry for the identification of airway obstruction – results of a diagnostic study in ambulatory care. *Respir Res*. 2019;20(1):92. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12931-019-1067-1>
19. Rodríguez-Roisin R, Drakulovic M, Rodríguez DA, Roca J, Barberà JA, Wagner PD. Ventilation-perfusion imbalance and chronic obstructive pulmonary disease staging severity. *J Appl Physiol*. 2009;106(6):1902-8. Available from: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00085.2009>

И СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Мирошкина Татьяна Александровна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры патофизиологии, Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова
 Researcher ID: AAG-5068-2020
 ORCID ID: 0000-0002-9179-5181
 Author ID: 966788
 SPIN-код: 2779-0313
 E-mail: mirta62@yandex.ru

Шустова Светлана Александровна, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры патофизиологии, Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова
 Researcher ID: AAG-50-64-2020
 Scopus ID: 57201741897
 ORCID ID: 0000-0002-5528-6742
 Author ID: 988258
 SPIN-код: 8866-5935
 E-mail: sv_shustova@mail.ru

Пonomарёва Ирина Борисовна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры факультетской терапии с курсом терапии факультета дополнительного профессионального образования, Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова

И AUTHOR INFORMATION

Miroshkina Tatiana Aleksandrovna, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Pathophysiology, Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov
 Researcher ID: AAG-5068-2020
 ORCID ID: 0000-0002-9179-5181
 Author ID: 966788
 SPIN: 2779-0313
 E-mail: mirta62@yandex.ru

Shustova Svetlana Aleksandrovna, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Pathophysiology, Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov
 Researcher ID: AAG-50-64-2020
 Scopus ID: 57201741897
 ORCID ID: 0000-0002-5528-6742
 Author ID: 988258
 SPIN: 8866-5935
 E-mail: sv_shustova@mail.ru

Ponomaryova Irina Borisovna, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Faculty Therapy with Course of Therapy, Faculty of Continuing Professional Education, Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov

Researcher ID: D-6849-2018
ORCID ID: 0000-0002-0273-4388
Author ID: 759667
SPIN-код: 3984-1944
E-mail: docib@yandex.ru

Информация об источнике поддержки в виде грантов, оборудования, лекарственных препаратов

Финансовой поддержки со стороны компаний-производителей лекарственных препаратов и медицинского оборудования авторы не получали

Конфликт интересов: отсутствует

✉ АДРЕС ДЛЯ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ:

Мирошкина Татьяна Александровна

кандидат медицинских наук, доцент кафедры патофизиологии, Рязанский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова

390026, Российская Федерация, г. Рязань, ул. Высоковольная, 9
Тел.: +7 (910) 5603646
E-mail: mirta62@yandex.ru

ВКЛАД АВТОРОВ

Разработка концепции и дизайна исследования: МТА, ШСА, ПИБ
Сбор материала: ПИБ
Статистическая обработка данных: ШСА
Анализ полученных данных: МТА
Подготовка текста: МТА, ШСА
Редактирование: МТА, ШСА
Общая ответственность: МТА, ШСА

Поступила 14.12.2020
Принята в печать 29.03.2021

Researcher ID: D-6849-2018
ORCID ID: 0000-0002-0273-4388
Author ID: 759667
SPIN: 3984-1944
E-mail: docib@yandex.ru

Information about the source of support in the form of grants, equipment, and drugs

The authors did not receive financial support from manufacturers of medicines and medical equipment

Conflicts of interest: The authors have no conflicts of interest

✉ ADDRESS FOR CORRESPONDENCE:

Miroshkina Tatiana Aleksandrovna

Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Pathophysiology, Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov

390026, Russian Federation, Ryazan, Vysokovoltnaya Str., 9
Tel.: +7 (910) 5603646
E-mail: mirta62@yandex.ru

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conception and design: MTA, ShSA, PIB
Data collection: PIB
Statistical analysis: ShSA
Analysis and interpretation: MTA
Writing the article: MTA, ShSA
Critical revision of the article: MTA, ShSA
Overall responsibility: MTA, ShSA

Submitted 14.12.2020
Accepted 29.03.2021