

# Бодиплетизмография: методическое руководство

Российское респираторное общество

Российская ассоциация специалистов функциональной диагностики

*А.В.Черняк*<sup>1-3</sup> , *М.И.Чушкин*<sup>4</sup>, *З.Р.Айсанов*<sup>5</sup>, *С.Н.Авдеев*<sup>6,1</sup>, *Н.Ф.Берестень*<sup>7,8</sup>, *А.В.Воробьев*<sup>9</sup>,  
*А.В.Дубаков*<sup>10,11</sup>, *Е.Н.Калманова*<sup>2,5</sup>, *М.Ю.Каменева*<sup>12</sup>, *Л.Д.Кирюхина*<sup>1,13</sup>, *М.Х.Мустафина*<sup>6,1</sup>,  
*Ю.М.Перельман*<sup>14</sup>, *А.Г.Приходько*<sup>14</sup>, *П.В.Стручков*<sup>15,16</sup>, *Е.Г.Фурман*<sup>17</sup>, *В.П.Хохлов*<sup>18,19</sup>

- <sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт пульмонологии» Федерального медико-биологического агентства России»: 115682, Россия, Москва, Ореховый бульвар, 28, стр. 10
- <sup>2</sup> Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Городская клиническая больница имени Д.Д.Плетнева Департамента здравоохранения города Москвы»: 105077, Россия, Москва, ул. 11-я Парковая, 32
- <sup>3</sup> Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Городская клиническая больница имени С.С.Юдина Департамента здравоохранения города Москвы»: 115487, Россия, Москва, ул. Академика Миллионщикова, 1
- <sup>4</sup> Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации : 107564, Россия, Москва, Яузская аллея, 2
- <sup>5</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И.Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации: 117997, Россия, Москва, ул. Островитянова, 1
- <sup>6</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М.Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет): 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2
- <sup>7</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации: 125993, Россия, Москва, ул. Баррикадная, 2 / 1, стр. 1
- <sup>8</sup> Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф.Владимирского»: 129110, Россия, Москва, ул. Щепкина, 61 / 2, корп. 1
- <sup>9</sup> Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научный центр хирургии имени академика Б.В.Петровского»: 119991, Россия, Москва, Абрикосовский пер., 2
- <sup>10</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации: 634050, Россия, Томск, Московский тракт, 2
- <sup>11</sup> Научно-исследовательский институт кардиологии – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук»: 634012, Россия, Томск, ул. Киевская, 111А
- <sup>12</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации: 197022, Россия, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, 6–8
- <sup>13</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации: 191036, Санкт-Петербург, Лиговский проспект, 2–4
- <sup>14</sup> Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации: 675000, Россия, Амурская обл., Благовещенск, ул. Калинина, 22
- <sup>15</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства»: 115682, Россия, Москва, Ореховый бульвар, 28
- <sup>16</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Клиническая больница № 85» Федерального медико-биологического агентства России: 115522, Россия, Москва, ул. Москворечье, 16, стр. 9
- <sup>17</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А.Вагнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации: 614990, Россия, Пермь, ул. Петропавловская, 26
- <sup>18</sup> Областное государственное автономное учреждение здравоохранения «Иркутский областной клинический консультативно-диагностический центр»: 664046, Россия, Иркутск, ул. Байкальская, 109
- <sup>19</sup> Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации: 664049, Иркутск, мкр Юбилейный, 100

## Резюме

Бодиплетизмография (БПГ) (синонимы: общая бодиплетизмография, плетизмография всего тела) — важный метод исследования вентилиционной функции системы дыхания, при помощи которого можно измерить статические легочные объемы и сопротивление дыхательных путей (ДП). **Методы.** Данный документ по БПГ разработан группой экспертов Российского респираторного общества и Российской ассоциации специалистов функциональной диагностики. Все эксперты обладают опытом проведения исследования в соответствии с критериями качества, анализа результатов исследования и разработки национальных стандартов. **Результаты.** Рекомендованы технические стандарты БПГ, включая критерии качества измерения и оценки качества исследования. При разработке этих рекомендаций использованы опыт и знания членов экспертной группы. **Заключение.** Представлены стандарты проведения измерения статических легочных объемов и сопротивления ДП, а также алгоритм интерпретации результатов, использование которых должно способствовать повышению качества измерений и единообразию при расшифровке данных.

**Ключевые слова:** бодиплетизмография, функция системы дыхания, статические легочные объемы, сопротивление дыхательных путей, технические стандарты, интерпретация результатов.

**Конфликт интересов.** Конфликт интересов авторами не заявлен.

**Финансирование.** Статья опубликована при финансовой поддержке компании Акционерное общество «ЛассаМед Медицинские системы».

© Черняк А.В. и соавт., 2025

Для цитирования: Черняк А.В., Чушкин М.И., Айсанов З.Р., Авдеев С.Н., Берестень Н.Ф., Воробьев А.В., Дубаков А.В., Калманова Е.Н., Каменева М.Ю., Кирюхина Л.Д., Мустафина М.Х., Перельман Ю.М., Приходько А.Г., Стручков П.В., Фурман Е.Г., Хохлов В.П. Российское респираторное общество. Российская ассоциация специалистов функциональной диагностики. Бодиплетизмография: методическое руководство. *Пульмонология*. 2025; 35 (3): 299–330. DOI: 10.18093/0869-0189-2025-35-3-299-330

## Body plethysmography: national guidelines

Russian Respiratory Society

Russian Association of Specialists in Functional Diagnostics

Alexander V. Cherniak<sup>1–3</sup> ✉, Mikhail I. Chushkin<sup>4</sup>, Zaurbek R. Aisanov<sup>5</sup>, Sergey N. Avdeev<sup>6, 1</sup>, Natalya F. Beresten<sup>7, 8</sup>, Andrey V. Vorobiev<sup>9</sup>, Alexey V. Dubakov<sup>10, 11</sup>, Elena N. Kalmanova<sup>2, 5</sup>, Marina Yu. Kameneva<sup>12</sup>, Larisa D. Kiryukhina<sup>1, 13</sup>, Malika Kh. Mustafina<sup>6, 1</sup>, Juliy M. Perelman<sup>14</sup>, Anna G. Prikhodko<sup>14</sup>, Petr V. Struchkov<sup>15, 16</sup>, Evgeny G. Furman<sup>17</sup>, Vladimir P. Khokhlov<sup>18, 19</sup>

<sup>1</sup> Federal State Budgetary Institution “Pulmonology Scientific Research Institute” under Federal Medical and Biological Agency of Russian Federation: Orekhovyy bul’var 28, build. 10, Moscow, 115682, Russia

<sup>2</sup> State Budgetary Health Care Institution of the City of Moscow “City Clinical Hospital named after D.D.Pletnev of Moscow Department of Health”: ul. Odinnadtsataya Parkovaya 32, Moscow, 105077, Russia

<sup>3</sup> Moscow State Budgetary Healthcare Institution “Moscow City Hospital named after S.S.Yudin”, Moscow Healthcare Department: ul. Akademika Millionshchikova 1, Moscow, 115487, Russia

<sup>4</sup> Federal State Budgetary Scientific Institution “Central Research Institute of Tuberculosis”, Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation: Yauzskaya alleya 2, Moscow, 107564, Russia

<sup>5</sup> Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “N.I.Pirogov Russian National Research Medical University” of the Ministry of Health of the Russian Federation: ul. Ostrovityanova 1, Moscow, 117997, Russia

<sup>6</sup> Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M.Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University): ul. Trubetskaya 8, build. 2, Moscow, 119991, Russia

<sup>7</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Additional Professional Education “Russian Medical Academy of Continuous Professional Education”, Ministry of Health of Russia: ul. Barrikadnaya 2/1, Moscow, 123995, Russia

<sup>8</sup> State Budgetary Health Institution of the Moscow Region “Moscow Regional Research and Clinical Institute (‘MONIKI’): ul. Shchepkina 61/2, Moscow, 129110, Russia

<sup>9</sup> Federal State Budgetary Scientific Institution “Petrovskiy National Research Centre of Surgery”: Abrikosovskiy per. 2, Moscow, 119991, Russia

<sup>10</sup> Federal State Funded Educational Institution of Higher Education “Siberian State Medical University” of the Ministry of Health of the Russian Federation: Moskovskiy tract 2, Tomsk, 634050, Russia

<sup>11</sup> Federal State Budgetary Scientific Institution “Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences”: ul. Kievskaya 111A, Tomsk, 634012, Russia

<sup>12</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Pavlov First Saint Petersburg State Medical University” of the Ministry of Healthcare of Russian Federation: ul. L’va Tolstogo 6 – 8, Saint-Petersburg, 197022, Russia

<sup>13</sup> Russian Federation Healthcare Ministry Saint-Petersburg State Phthisiopulmonology Research Institute: Ligovsky pr. 2 – 4, Saint-Petersburg, 191036, Russia

- <sup>14</sup> Federal State Budgetary Scientific Institution “Far Eastern Scientific Center for Physiology and Pathology of Respiration” of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation: ul. Kalinina 22, Blagoveshchensk, 675000, Russia
- <sup>15</sup> Federal State Budgetary Institution “Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Types of Medical Care and Medical Technologies under Federal Medical and Biological Agency of Russia”: Orekhovyy bul'var 28, Moscow, 115682, Russia
- <sup>16</sup> Federal State Budgetary Institution of Health Care “Clinical Hospital No.85” under Federal Medical and Biological Agency of Russia: ul. Moskvorech'e 16, build. 9, Moscow, 115522, Russia
- <sup>17</sup> State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Training “Perm State Medical University named after Academician E.A.Wagner” of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation: ul. Petropavlovskaya 26, Perm, 614990, Russia
- <sup>18</sup> Regional State Autonomous Healthcare Institution “Irkutsk Regional Clinical Consultative and Diagnostic Center”: ul. Baykal'skaya 109, Irkutsk, 664046, Russia
- <sup>19</sup> Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – Branch Campus of the Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education “Russian Medical Academy of Continuing Professional Education” of the Healthcare Ministry of the Russian Federation: mkr Yubilejnyy 100, Irkutsk, 664079, Russia

### Abstract

Body plethysmography (synonyms: plethysmography, whole body plethysmography) is an important method for evaluation of the ventilation function of the respiratory system. This method can be used to measure static lung volumes and airway resistance. **Methods.** This document on body plethysmography was developed by a group of experts from the Russian Respiratory Society and the Russian Association of Specialists in Functional Diagnostics. All experts have experience in conducting research in accordance with quality criteria, analyzing the test results, and developing national standards. **Results.** Technical standards for body plethysmography were recommended, including criteria for the measurement quality and assessment of the test quality. The experience and knowledge of the expert group members were used in developing these recommendations. **Conclusion.** The article presents standards for measuring static lung volumes and airway resistance together with an algorithm for interpreting the results. This should contribute to improving the quality of measurements and uniformity in data interpretation.

**Key words:** body plethysmography, respiratory system function, static lung volumes, airway resistance, technical standards, interpretation of results.

**Conflict of interest.** The authors have not declared any conflicts of interest.

**Funding.** The article was published with the financial support of the Joint Stock Company “LassaMed Medical Systems”.

© Cherniak A.V. et al., 2025

For citation: Cherniak A.V., Chushkin M.I., Aisanov Z.R., Avdeev S.N., Beresten N.F., Vorobiev A.V., Dubakov A.V., Kalmanova E.N., Kameneva M.Yu., Kiryukhina L.D., Mustafina M.Kh., Perelman Ju.M., Prikhodko A.G., Struchkov P.V., Furman E.G., Khokhlov V.P. Russian Respiratory Society. Russian Association of Specialists in Functional Diagnostics. Body plethysmography: national guidelines. *Pul'monologiya*. 2025; 35 (3): 299–330 (in Russian). DOI: 10.18093/0869-0189-2025-35-3-299-330

### Термины и определения (глоссарий)

**Бодиплетизмография (БПГ), или общая бодиплетизмография, плетизмография всего тела** — метод оценки вентиляционной способности легких, позволяющий определить статические легочные объемы легких (общая емкость легких и ее составляющие) и бронхиальное сопротивление.

**Бронхиальное сопротивление, или сопротивление дыхательных путей** — неэластическое сопротивление дыхательных путей воздушному потоку при дыхании.

**Вентиляция легких** — движение воздуха в легкие и из легких в результате периодических изменений объема грудной клетки за счет сокращения и расслабления дыхательных мышц, обеспечивающее поступление кислорода и выведение углекислого газа из организма.

**Вентиляционная способность легких** — способность органов дыхания обеспечивать воздухообмен в легких путем вентиляции.

**Внутригрудной объем газа (ВГО)** — объем, измеряемый при бодиплетизмографии во время специфичного для этого исследования дыхательного маневра («дыхательных маневров при перекрытии потока», «дыхания против заслонки»), близкий по величине к функциональной остаточной емкости легких.

**Воспроизводимость (reproducibility)** — близость друг к другу результатов измерений одной и той же вели-

чины, выполненных повторно в изменившихся условиях, например, при смене оператора, инструмента, места выполнения, условий выполнения или времени выполнения (например, в разные дни).

**Должная величина** — установленное среднее значение показателя для человека данного пола, возраста, роста и популяционной принадлежности.

**Допустимость (usability)** — признание пригодной для использования попытки, не соответствующей всем критериям приемлемости.

**Дыхание** — физиологический процесс, обеспечивающий газообмен между окружающей средой и организмом в соответствии с его метаболическими потребностями.

**Дыхательный маневр** — совокупность дыхательных движений, выполняемых по стандартизированному алгоритму, например маневр форсированного выдоха.

**Дыхательная система** (система внешнего дыхания) — функциональная система организма, обеспечивающая поглощение кислорода из внешней среды, артериализацию крови в легких и выведение углекислого газа.

**Дыхательные мышцы** — скелетные поперечнополосатые мышцы (диафрагма и вспомогательная дыхательная мускулатура), обеспечивающие вентиляцию легких за счет изменения объема грудной клетки.

**Дыхательные пути (ДП)** — полые анатомические образования, обеспечивающие воздухообмен между окружающей средой и зоной активного газообмена

в легких (носовая и ротовая полости, носоглотка, ротоглотка, гортань, трахея, бронхи, бронхиолы).

**Дыхательный объем (ДО)** — объем воздуха, вдыхаемый или выдыхаемый при каждом дыхательном цикле при спокойном дыхании.

**Жизненная емкость легких (ЖЕЛ)** — максимальный объем воздуха, который можно вдохнуть после максимального выдоха (или, наоборот, выдохнуть после максимального вдоха). Включает в себя дыхательный объем, резервный объем вдоха, резервный объем выдоха.

**Емкость вдоха ( $E_{вд.}$ ), или инспираторная емкость легких** — максимальный объем воздуха, который можно вдохнуть после обычного спокойного выдоха.  $E_{вд.}$  — это сумма резервного объема вдоха и дыхательного объема.

**Калибровка прибора** — процедура точной настройки прибора, во время которой устанавливается взаимосвязь между характеристиками потоков и объемов, определяемыми сенсором прибора, и их реальными величинами. Проводится в начале рабочего дня или при значимом изменении характеристик воздуха в помещении, используемом для функционального исследования системы дыхания или замене сенсора или его составляющих.

**Обструктивный тип нарушений вентиляционной способности легких** — вид нарушения вентиляционной способности легких, возникающий вследствие сужения дыхательных путей и повышения их сопротивления движению воздуха.

**Общая емкость легких (ОЕЛ)** — объем воздуха, который содержится в легких после максимально глубокого вдоха.

**Остаточный объем легких (ООЛ)** — объем воздуха, который остается в легких после максимально глубокого выдоха.

**Паттерн дыхания** — совокупность временных и объемных характеристик дыхательного цикла.

**Повторяемость (*repeatability*)** — близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно в одинаковых условиях на одной и той же аппаратуре, в одном и том же месте, в одних и тех же условиях, одним и тем же специалистом.

**Приемлемость (*acceptability*)** — соответствие попытки дыхательного маневра во время проведения исследования всем критериям качественного измерения.

**Растяжимость (податливость) легких** — характеристика способности легких изменять объем при изменении эластического давления.

**Резервный объем вдоха ( $PO_{вд.}$ )** — объем воздуха, который можно дополнительно вдохнуть от уровня обычного спокойного вдоха до уровня максимально глубокого вдоха (уровня общей емкости легких).

**Резервный объем выдоха ( $PO_{выд.}$ )** — объем воздуха, который можно дополнительно выдохнуть от уровня обычного спокойного выдоха (от уровня функциональной остаточной емкости легких) до уровня максимально глубокого выдоха (до уровня остаточного объема легких).

**Рестриктивный тип нарушений вентиляционной способности легких** — вид нарушения вентиляционной

способности легких, проявляющийся уменьшением объема легких (например, при патологии легких) или нарушением расправления легких при вдохе (например, выраженные нервно-мышечные расстройства, гидроторакс, ограничения подвижности грудной клетки, ограничения подвижности диафрагмы, пневмо-склероз и др.).

**Смешанный тип нарушений вентиляционной способности легких** — вид нарушения вентиляционной способности легких, объединяющий в себе признаки обструктивного и рестриктивного типов нарушений вентиляционной способности легких.

**Упругие свойства легких** — эластическая тяга легких, которая формируется за счет эластических структур легких (коллагеновых, ретикулярных, эластических волокон), сил поверхностного натяжения, степени кровенаполнения легких и тонуса гладких мышечных волокон.

**Условия ATPS (*Atmospheric (ambient) condition for Temperature and barometric Pressure, Saturated*)** — обозначение характеристик воздуха (температура, атмосферное давление, насыщение водяным паром) в помещении, используемом для функционального исследования системы дыхания.

**Условия BTPS (*Body condition for Temperature and barometric Pressure, Saturated*)** — обозначение характеристик воздуха в легких человека: температура тела ( $37^{\circ}\text{C}$ ), атмосферное давление и полное насыщение воздуха водяными парами.

**Функциональная остаточная емкость (ФОЕ)** — объем воздуха в легких, который остается после обычного спокойного выдоха; ФОЕ является суммой показателей резервного объема выдоха и остаточного объема легких.

## 1. Определение

Бодиплетизмография (общая бодиплетизмография, плетизмография всего тела) — это метод исследования механических свойств легких путем измерения внутригрудного объема газа (ВГО) и специфического бронхиального сопротивления (*specific airway resistance* —  $sR_{aw}$ ). Измеренные величины позволяют рассчитать показатели, характеризующие эластические (статические) и неэластические (фрикционные, динамические) свойства аппарата вентиляции. К первым относятся статические легочные объемы — общая емкость легких (ОЕЛ) и ее составляющие, ко вторым — бронхиальное сопротивление дыхательных путей (ДП), или сопротивление ДП (*airway resistance* —  $R_{aw}$ ).

## 2. Показания к проведению бодиплетизмографии

**Диагностика:**

- диагностика наличия и степени выраженности рестриктивного и смешанного типов нарушений вентиляционной способности легких (ВСЛ) при заболеваниях органов дыхания, а также других органов и систем;
- определение качественных и количественных характеристик обструктивных нарушений ВСЛ

(в т. ч. выявление гиперинфляции легких и «воздушных ловушек», расчет бронхиального сопротивления, равномерности вентиляции легких и др.);

- уточнение причин респираторных жалоб больного, клинических симптомов либо отклонений в лабораторных показателях;
- предоперационная оценка риска;
- оценка прогноза заболевания;
- оценка функционального состояния перед участием обследуемого в программах с физическими нагрузками высокой интенсивности.

*Наблюдение:*

- оценка эффективности лечебных мероприятий;
- мониторинг течения заболевания;
- наблюдение в популяциях, подвергающихся воздействию неблагоприятных факторов, в т. ч. связанных с профессиональной деятельностью;
- мониторинг побочных эффектов лекарств с известной способностью влиять на функциональное состояние или вызывать повреждения органов дыхания.

*Экспертная оценка:*

- оценка рисков при страховании здоровья и жизни;
- экспертиза трудоспособности;
- экспертная оценка состояния здоровья по другим юридическим поводам.

*Общественное здоровье:*

- эпидемиологические исследования;
- разработка систем должных величин;
- клинические исследования.

### 3. Противопоказания к проведению бодиплетизмографии

*Абсолютные противопоказания для проведения бодиплетизмографии (БПГ):*

- выраженная клаустрофобия и другие заболевания или состояния, не позволяющие пациенту находиться в закрытой кабине бодиплетизмографа и / или выполнять необходимые дыхательные маневры;
- потребность в постоянном использовании специальных технических устройств, работа которых влияет на давление внутри кабины плетизмографа (аппараты для непрерывного введения лекарственных средств, постоянной кислородотерапии и т. д.);
- травмы и заболевания челюстно-лицевого аппарата, препятствующие правильному захвату загубника и надеванию носового зажима;
- любые острые состояния, при которых выполнение дыхательных маневров сопряжено с риском для здоровья обследуемого.

*Относительные противопоказания для проведения БПГ:*

- болевой синдром, препятствующий правильному выполнению дыхательных маневров;
- в 1-ю неделю после операций на глазах, придаточных пазухах носа или среднем ухе;
- острый отит, синусит;

- приступообразный кашель, не позволяющий адекватно выполнить предложенные маневры;
- кровохарканье;
- проведенные торакальные или абдоминальные хирургические вмешательства, операции на головном мозге и сосудах головы в течение 1 мес. перед исследованием;
- следует учитывать также противопоказания, которые указаны в рекомендациях по спирометрии (2023) [1].

Проведение БПГ пациентам с признаками острых респираторных или других инфекционных заболеваний, включая туберкулез, возможно при условии строгого соблюдения актуальных на момент исследования санитарно-эпидемиологических норм. Следует принять во внимание высокий риск заражения от пациентов с большим количеством мокроты и при наличии повреждений слизистой ротовой полости.

При назначении исследования важно оценить возможность пациента адекватно выполнить все требуемые дыхательные маневры. Если полноценный контакт с пациентом невозможен (когнитивные нарушения, языковой барьер и др.), то качественно выполнить БПГ не удастся. При проведении БПГ важно измерить массу тела пациента, поскольку существуют ограничения по массе тела, которая, как правило, должна составлять  $\leq 135$ –180 кг и зависит от технических характеристик аппаратуры и производителя. Также этот показатель используется при расчетах объема боди-камеры (если во время исследования ребенок сидит на руках у взрослого, то необходимо внести общую массу тела ребенка и взрослого). Объем боди-камеры обычно составляет 700–1 200 л (в зависимости от производителя).

Решение о назначении БПГ принимает лечащий врач после сопоставления рисков и пользы проведения БПГ.

## 4. Технические условия

### 4.1. Инфекционный контроль

Для снижения риска инфицирования медицинского персонала и пациентов исследование должно проводиться в соответствии с актуальными санитарно-эпидемиологическими требованиями. Проводящий исследование специалист должен помыть руки или использовать сертифицированное дезинфицирующее средство для рук перед обследованием каждого нового пациента. Использование одноразовых перчаток не исключает необходимости обработки рук; при использовании перчаток для каждого пациента требуется новая пара. Пациенту также следует обработать руки антисептиком или салфеткой, поскольку пациент будет прикасаться к различным поверхностям (оборудованию, ручке кабины бодиплетизмографа, подлокотникам кресла и др.).

Использование одноразовых антибактериальных / противовирусных фильтров (далее — фильтры) при проведении БПГ стало стандартной практикой. Мундштук / загубник является неотъемлемым допол-

нением к фильтру, т. к. при его использовании исследование более безопасно для пациента и снижает риск загрязнения аппаратуры.

При использовании фильтров необходимо отметить их применение в установках прибора (поставить галочку в соответствующем месте).

Все одноразовые предметы, включая фильтры и перчатки, необходимо утилизировать после тестирования в соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями.

## 4.2. Требования к оборудованию

Все бодиплетизмографы должны удовлетворять техническим требованиям, предъявляемым к оборудованию в Российской Федерации. В отдельных ситуациях, например при проведении клинических исследований, объем технических требований может быть расширен.

Для оптимального контроля над качеством измерений на мониторе интерфейса бодиплетизмографа должны отображаться петли специфического бронхиального сопротивления, петли ВГО, а также графическое представление маневра перекрытия потока. Желательно, чтобы все кривые одного типа в данном исследовании накладывались на дисплее друг на друга. Это позволяет визуально исключить отклонение кривой «давления перекрытия» от средней линии, что свидетельствует об утечке воздуха из-за негерметично удерживаемого мундштука или через неплотно закрытый зажимом нос, а также оценить повторяемость попыток.

## 4.3. Условия измерения

Все измерения при БПГ выполняются в условиях окружающей среды, стандартно обозначаемых аббревиатурой АТРС (*Atmospheric (ambient) condition for Temperature and barometric Pressure, Saturated*) — температура и влажность воздуха в используемом для работы кабинете и барометрическое (атмосферное) давление.

Для получения корректных результатов измерений следует придерживаться рекомендаций производителя по допустимым для эксплуатации прибора параметрам окружающей среды.

Результаты БПГ отображаются в соответствии с характеристиками газа в легких человека, стандартно обозначаемых аббревиатурой ВТПС (*Body condition for Temperature and barometric Pressure, Saturated*): температура тела (37 °C), барометрическое (атмосферное) давление ( $P_{\text{атм.}}$ ) и полное насыщение водяным паром. Параметры окружающей среды измеряются непосредственно перед началом калибровки, а актуальные поправки для пересчета от условий АТРС к условиям ВТПС определяются по завершении калибровки прибора. Точность измерения температуры должна составлять  $\pm 1$  °C. Если температура в помещении быстро меняется (более чем на 3 °C в течение < 30 мин), то следует своевременно скорректировать условия АТРС, т. е. повторить калибровку прибора.

## 4.4. Калибровка бодиплетизмографа

Калибровка системы — это процедура, во время которой устанавливается взаимосвязь между характеристиками давления / потоков и объемов, определяемыми датчиками, и их реальными величинами. Перед началом исследования ежедневно проводится поверка калибровки датчика потока 3-литровым калибровочным шприцем и калибровка датчиков давления кабины. Большинство современных диагностических систем оснащены встроенными термометром, барометром и гигрометром; в таком случае нет необходимости в ручном вводе перечисленных параметров перед калибровкой. Корректность показаний встроенных в прибор датчиков параметров воздуха следует регулярно проверять, т. к. неисправность какого-либо из них способна существенно повлиять на результаты калибровки системы и, следовательно, величину измеряемых в процессе исследования показателей.

Регулярное внимание требуется при определении полноценности соединения друг с другом компонентов системы, правильности проведения и корректности результатов калибровки, соответствия аналогичных показателей, полученных на различных этапах исследования (например, величин объемов, зарегистрированных при спирометрии и БПГ), а также частоты и характера сообщений программного обеспечения (ПО) системы об ошибках.

Процесс калибровки должен быть доступен визуальному контролю и отображаться на экране интерфейса системы в графической форме.

Калибровку следует проводить в день исследования после прогрева системы рекомендуемой производителем продолжительности (обычно  $\geq 15$  мин) и повторить при необходимости после изменения параметров окружающей среды. Для получения корректных результатов измерений температура кабины должна соответствовать учитываемым при калибровке показаниям термометра; по той же причине следует избегать сквозняков во время проведения калибровки и исследований. При калибровке аппарата и проведении исследований необходимо держать двери и окна кабинета, где проводится исследование, плотно закрытыми, при наличии в кабинете работающей системы кондиционирования воздуха его поток не должен быть направлен в сторону прибора. Колебания давления, температуры воздуха в помещении и кабине бодиплетизмографа способны помешать правильной калибровке и сопровождаются избыточными погрешностями выполняемых измерений. В период включения центрального отопления следует воздержаться от проведения функциональных исследований на время, требуемое для стабилизации изменившихся характеристик воздуха в лаборатории.

В современных диагностических системах программа калибровки бодиплетизмографа происходит в автоматическом режиме. Она, как правило, включает определение постоянной времени кабины и одновременную калибровку датчиков давления эмулятором ВГО.

Кривые калибровки отображаются на экране монитора в реальном времени. При условии правильной

калибровки кабины и датчиков результаты укладываются в диапазон допустимых значений, заданных производителем:

- постоянная времени — 4–24 с (для контролируемой утечки идеально, когда постоянная времени составляет примерно 10 с);
- диапазон величины калибровки (корректирующий фактор или коэффициент усиления) — 0,75–1,25;
- показатель качества (коэффициент вариабельности) < 3 %.

При использовании бактериальных фильтров эти фильтры также следует применять для процедуры проверки калибровки пневматометра системы.

#### 4.5. Дополнительный контроль над качеством производимых измерений

В качестве дополнительного способа контроля над качеством измерений при БПГ рекомендуется проведение биологического контроля. Для этого периодически, не реже 1 раза в месяц, следует тестировать 2 здоровых некурящих добровольцев (например, сотрудников данного медицинского учреждения), способных адекватно выполнять дыхательные маневры с хорошей повторяемостью. Результаты измерения ОЕЛ, функциональной остаточной емкости легких (ФОЕ) и остаточного объема легких (ООЛ) регистрируются в специальном файле или журнале. При повторных исследованиях при условии методически правильного их выполнения значения ОЕЛ и ФОЕ не должны отличаться более чем на 10 % от среднего значения (определяется после проведения первых 20 измерений), а ООЛ — не более чем на 20 %. При получении более выраженных отклонений для выявления причины и устранения неисправности необходимо пригласить сервисного инженера [2].

Для каждого бодиплетизмографа следует вести журнал, где необходимо регистрировать следующие манипуляции, влияющие на качество проводимых измерений:

- результаты ежедневных калибровок системы;
- сведения о поломках и ремонте оборудования;
- сведения о замене или модификации ПО;
- сведения о перемещении оборудования.

После замены ПО рекомендуется самостоятельно проверить корректность расчетов должных величин.

### 5. Методика проведения бодиплетизмографии

#### 5.1. Теоретические подходы для получения формул количественной оценки показателей внутригрудного объема и бронхиального сопротивления

Принцип измерения ВГО основан на законе Бойля—Мариотта, согласно которому при постоянных величинах температуры и массы газа величина произведения давления газа (P) на его объем (V) является постоянной. После срабатывания заслонки обследуемый совершает несколько дыхательных движений с небольшой амплитудой ( $\approx \pm 1$  кПа) и частотой от 0,5 до 1 Гц (30–60 дыхательных движений в минуту или

частоты дыхания 15–30 в минуту). Дыхательные движения с частотой > 1,5 Гц могут приводить к завышению ФОЕ, особенно у пациентов с обструктивными нарушениями. Возможно использование метронома. Работа дыхательных мышц при перекрытых ДП изменяет давление внутри альвеол ( $\Delta P_A$ ) и объем легких, величина которого на момент срабатывания заслонки равна ВГО. Согласно закону Бойля—Мариотта, взаимосвязь  $P_A$  и ВГО может быть описана следующим уравнением:

$$P_A \times \text{ВГО} = (P_A - \Delta P_A) \times (\text{ВГО} + \Delta V),$$

раскрываем скобки:

$$P_A \times \text{ВГО} = P_A \times \text{ВГО} - \Delta P_A \times \text{ВГО} + P_A \times \Delta V - \Delta P_A \times \Delta V,$$

сокращаем  $P_A \times \text{ВГО}$  в левой и правой частях равенства и переносим  $\Delta P_A \times \text{ВГО}$  в левую часть:

$$\begin{aligned} \Delta P_A \times \text{ВГО} &= P_A \times \Delta V - \Delta P_A \times \Delta V, \\ \Delta P_A \times \text{ВГО} &= (P_A - \Delta P_A) \times \Delta V. \end{aligned}$$

Соответственно, величина ВГО может быть рассчитана следующим образом:

$$\text{ВГО} = (P_A - \Delta P_A) \times (\Delta V / \Delta P_A).$$

Поскольку относительно  $P_A$  величина  $\Delta P_A$  очень мала и составляет < 2 %, в этой части уравнения ею пренебрегают:

$$\begin{aligned} \text{ВГО} &\approx (\Delta V / \Delta P_A) \times P_A, \\ \text{где } P_A &= P_{\text{атм.}} - P_{\text{H}_2\text{O}}. \end{aligned}$$

При расчете ВГО за  $P_A$  принимается разница между атмосферным давлением ( $P_{\text{атм.}}$ ) и парциальным давлением паров воды ( $P_{\text{H}_2\text{O}}$ ) при температуре 37 °С, а за  $\Delta P_A$  — изменение ротового давления ( $\Delta P_{\text{рот}}$ ), т. к. при выполнении маневра перекрытия потока  $P_{\text{рот}}$  становится равным  $P_A$ . Под  $\Delta V$  понимается изменение объема газа в кабине бодиплетизмографа ( $\Delta V_k$ ), определяемое по изменению давления в кабине ( $\Delta P_k$ ).

В отличие от первоначальных модификаций бодиплетизмографов, в современных аппаратах существует возможность мгновенного преобразования  $\Delta P_k$  в  $\Delta V_k$ , поэтому для унификации получаемой информации принято сразу отображать на графиках не  $\Delta P_k$ , а  $\Delta V_k$ . При расчетах  $\Delta V_k$  принимается равным изменению объема легких ( $\Delta V_l$ ), поскольку вызывается одним и тем же усилием дыхательных мышц в закрытой системе. В связи с тем, что всегда измеряется именно  $\Delta V_k$ , а не  $\Delta V_l$ , в названиях осей графиков измерений и расчетных формулах это обычно не уточняется и  $\Delta V_k$  обозначается как  $\Delta V$  (*shift volume*).

Процесс измерения ВГО при дыхании с закрытой заслонкой визуализируется на экране монитора в виде замкнутых узких петель (петли ВГО), регистрируемых в координатах  $\Delta P_{\text{рот}} - \Delta V$  (рис. 1С). Котангенс угла наклона регистрируемых петель к оси абсцисс ( $1 / \text{tg} \alpha$ ) пропорционален ВГО. Измеренный методом

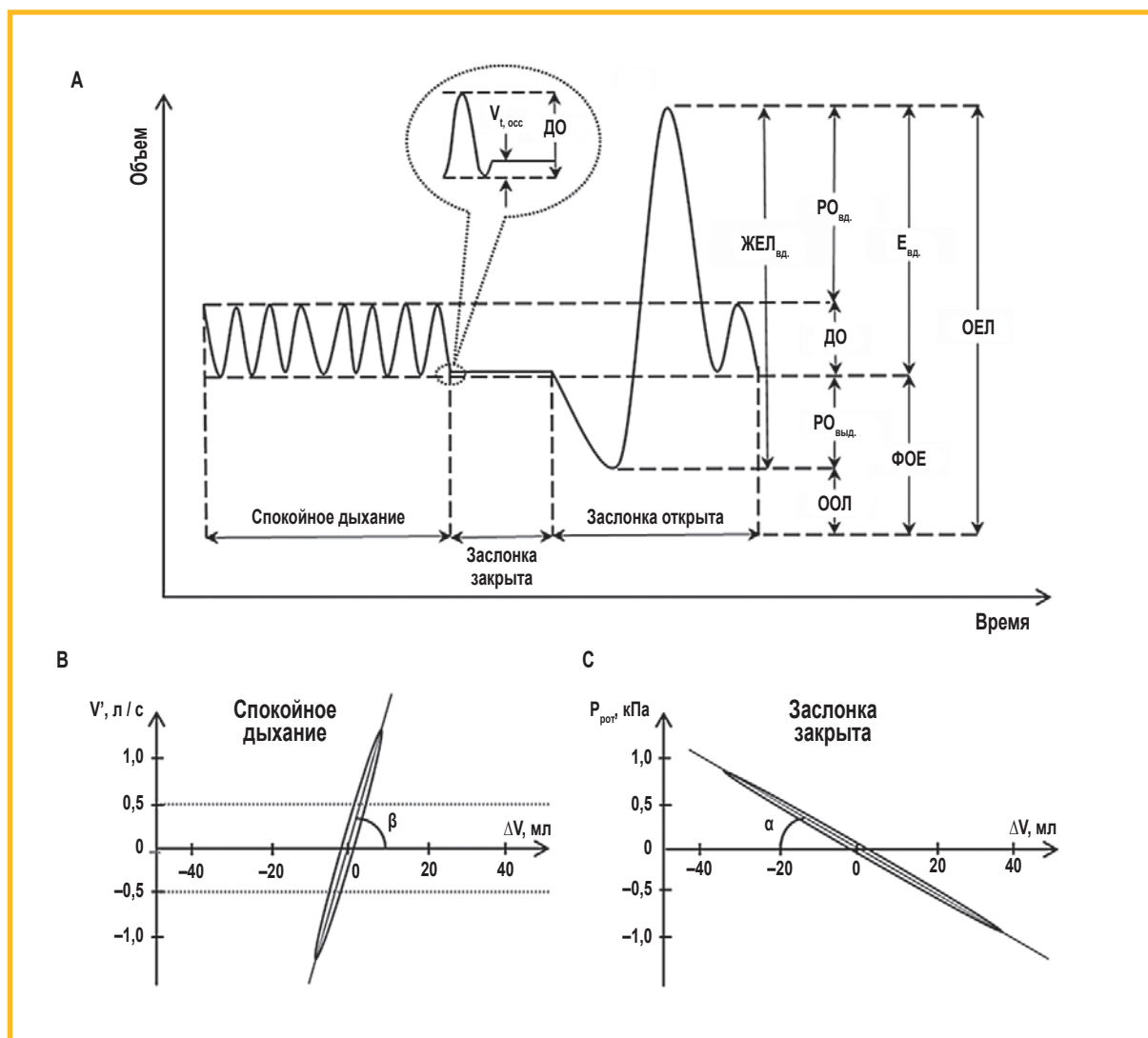


Рис. 1. Схематическое изображение измерений при бодиплетизмографии: А – последовательность выполнения дыхательных маневров и определение статических легочных объемов; В – измерение специфического бронхиального сопротивления – петля  $sR_{aw}$ ; С – измерение внутригрудного объема – петля внутригрудного объема [4]

Примечание:  $V_{t,occ}$  – разница между внутригрудным объемом легких в момент перекрытия заслонки и функциональной остаточной емкостью; ДО – дыхательный объем; ЖЕЛ<sub>вд.</sub> – жизненная емкость легких, измеренная на вдохе; РО<sub>вд.</sub> – резервный объем вдоха; Е<sub>вд.</sub> – емкость вдоха (инспираторная емкость легких); ОЕЛ – общая емкость легких; РО<sub>выд.</sub> – резервный объем выдоха; ООЛ – остаточный объем легких; ФОЕ – функциональная остаточная емкость легких;  $V'$  – скорость потока воздуха;  $P_{рот}$  – давление в ротовой полости;  $\Delta V$  – изменение объема газа.

Figure 1. Schematic representation of measurements during body plethysmography: A, sequence of respiratory maneuvers and determination of static lung volumes; B, measurement of specific bronchial resistance –  $sR_{aw}$  loop; C, measurement of intrathoracic gas volume – intrathoracic gas volume loop [4]

БПГ ВГО в момент перекрытия заслонки несколько превышает ФОЕ, при расчете которой учитывается объем «мертвого» пространства ( $V_d$ ) прибора и объем, определяемый разницей ФОЕ и реального объема легких в момент перекрытия ДП ( $V_{t,occ}$ ):

$$\text{ФОЕ}_{\text{плет}} = \text{ВГО} - V_{t,occ}.$$

Возникновение  $V_{t,occ}$  связано с особенностями активации заслонки, которая срабатывает не в конце спокойного выдоха (на уровне ФОЕ), а в начале следующего за ним вдоха – при объеме, несколько превышающем ФОЕ (см. рис. 1А). Измерение  $V_{t,occ}$  происходит при каждом маневре измерения ВГО, а величина  $V_d$  определяется при производстве оборудования и однократно вводится в ПО системы.

В случае использования фильтров в системах, прежде эксплуатировавшихся без них, следует скорректировать установленное производителем значение  $V_d$  на величину «мертвого» пространства фильтра. Аналогичная процедура выполняется при доукомплектации бодиплетизмографа дополнительными измерительными модулями, размещаемыми внутри кабины (например, модуля для определения диффузионной способности легких).

При измерении  $sR_{aw}$  от пациента не требуется выполнения каких-либо дыхательных маневров, измерение  $sR_{aw}$  проводится при нефорсированном спокойном дыхании при частоте дыхания, аналогичной частоте измерения ВГО. Измерение сопротивления ДП рекомендуется проводить отдельно от измерения статических легочных объемов [3]. Одновременная

регистрация потока воздуха ( $V'$ ) и изменений  $P_k$ , преобразуемых в  $\Delta V$ , отображается на экране монитора в координатах  $V' - \Delta V$  в виде замкнутых петель (петель  $sR_{aw}$ ), котангенс угла наклона которых к оси абсцисс ( $1 / \operatorname{tg} \beta$ ) зависит от величины  $sR_{aw}$  (см. рис. 1В). Расчет  $sR_{aw}$  производится по формуле:

$$sR_{aw} = (\Delta V / V') \times (P_{\text{атм.}} - P_{H_2O}).$$

На основании измеренного  $sR_{aw}$  современные приборы позволяют рассчитать ряд дополнительных параметров, например, общее для всех фаз дыхательного цикла специфическое сопротивление ( $sR_{aw \text{ общ.}}$ ).

## 5.2. Подготовка пациента к бодиплетизмографии

После регистрации параметров окружающей среды и выполнения калибровки системы перед началом исследования рекомендуется:

- получить от пациента информацию относительно имеющихся заболеваний; использования лекарственных препаратов, потенциально влияющих на результаты исследования (с указанием названия, дозы и времени последней ингаляции); курения, в т. ч. времени выкуривания последней сигареты;
- измерить рост и массу тела пациента (без обуви) и внести эти данные в систему;
- проверить актуальность информации о пациенте в базе данных;
- объяснить пациенту порядок проведения исследования и важность правильного выполнения всех дыхательных маневров, продемонстрировать их выполнение.

Возраст рассчитывается при использовании даты рождения и даты проведения исследования, указывается число прожитых лет (у детей — число прожитых лет и месяцев). Рост определяется в сантиметрах с округлением до целого числа. Измерение роста производится без обуви, пациенту необходимо стоять с прямой спиной, смотреть перед собой, а ноги держать вместе. В случаях, когда измерить рост в положении стоя невозможно (например, пациенты в инвалидных креслах) или у пациентов с кифосколиозом, его можно определить по размаху рук [5]. В последнем случае фиксируется максимальное расстояние между средними пальцами рук. Повторное измерение роста у взрослых (25 лет и старше) целесообразно проводить не чаще 1 раза в год. Пол указывается в соответствии со свидетельством о рождении, даже в случаях иной гендерной идентичности. Масса тела измеряется без уличной одежды и обуви в килограммах с точностью до 0,5 кг. Указывается также популяционная (этническая) принадлежность пациента. Все перечисленные параметры используются для корректного расчета должных значений для конкретного обследуемого.

БПГ рекомендуется выполнять в положении больного сидя, с прямой спиной и слегка приподнятым подбородком. Ноги пациента должны иметь упор снизу; следует использовать регулировку положения кресла по высоте. Если по какой-то причине требуется

проведение исследования в положении пациента стоя или каком-либо другом (отличном от регламентированного), это должно быть отражено в протоколе исследования.

При наличии у пациента съемных зубных протезов рекомендуется не снимать их при проведении БПГ, однако в ситуации, когда они мешают плотному захвату пациентом загубника и становятся причиной утечки воздуха, следует продолжить исследование без них.

Одежда не должна сковывать движения обследуемого и ограничивать экскурсию грудной клетки и брюшной стенки. Из тех же соображений за 2 ч до исследования не рекомендуется обильный прием пищи [6].

При проведении БПГ следует учитывать, что помимо газа, содержащегося в легких, компрессии и декомпрессии при выполнении дыхательных маневров подвергается газ, находящийся в желудочно-кишечном тракте. По результатам специальных исследований показано, что в обычных условиях его объем не превышает 150 мл и существенно не влияет на результаты, однако при выраженном метеоризме его количество может быть значительным — это обстоятельство необходимо учитывать при назначении исследования (требуется подготовка пациента для уменьшения выраженности метеоризма).

Современные диагностические комплексы в достаточной степени защищены от бытовых источников электромагнитного излучения; в случае, если производителем бодиплетизмографа не указано иное, пациент может оставить при себе портативные электронные устройства. Тем не менее с целью удержания внимания обследуемого и оптимизации процедуры тестирования можно предложить пациенту перевести мобильные устройства в беззвучный режим и оставить их в отдалении от бодиплетизмографа. При размещении вблизи от бодиплетизмографа работающих на электричестве устройств следует ознакомиться с рекомендациями производителя для исключения их влияния посредством электромагнитного или теплового излучения на качество проводимых измерений.

## 5.3. Порядок проведения бодиплетизмографии

С помощью БПГ определяется сопротивление ДП и измеряются статические легочные объемы. Порядок проведения этих измерений может различаться в зависимости от ПО системы. Пациенту объясняется ход исследования, на нос обследуемого надевается зажим, затем пациент размещается в кабине бодиплетизмографа, которая герметично закрывается. Во время исследования кабина должна оставаться герметично закрытой, а температура внутри и снаружи — постоянной. Герметичность камеры является условной: имеется небольшое отверстие, благодаря которому обеспечивается контролируемая утечка воздуха. Такая утечка воздуха сводит к минимуму не связанные с респираторными маневрами медленно происходящие изменения давления, которые вызваны повышением температуры (температурным дрейфом) из-за нагрева воздуха внутри кабины (рис. 2). Измерения начина-

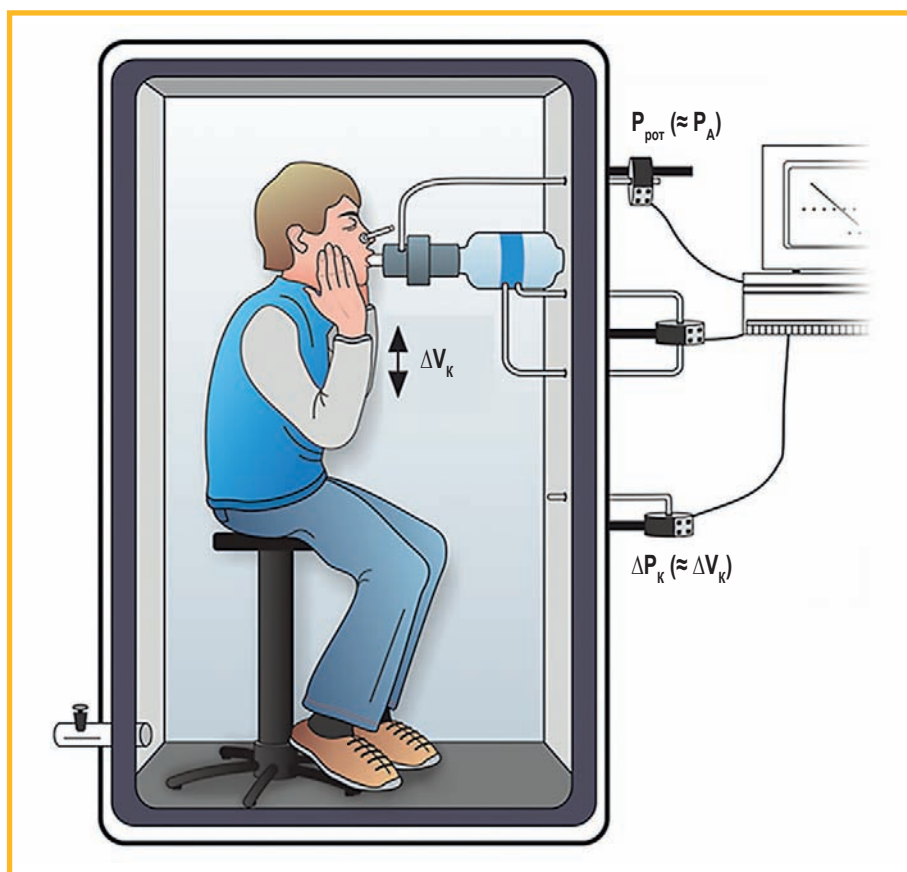


Рис. 2. Проведение бодиплетизмографии. Во время измерения внутригрудного объема легких необходимо плотно придерживать руками щеки и подбородок (воспроизведено из [7])

Примечание:  $\Delta V_k$  – изменение объема газа в кабине бодиплетизмографа;  $P_{рот}$  – давление в ротовой полости;  $P_A$  – альвеолярное давление;  $\Delta P_k$  – изменение давления в камере.

Figure 2. Carrying out body plethysmography. Firmly supporting the cheeks and chin with the hands is essential during measurement of intrathoracic gas volume (Reproduced from [7])

ются не сразу после размещения человека в кабине плетизмографа, а спустя некоторое время, после стабилизации внутри температуры и давления (обычно через 0,5–2 мин). После этого пациенту предлагается захватить губами и зубами мундштук. Во время измерений пациенту необходимо ладонями фиксировать щеки и область диафрагмы полости рта, т. к. во время маневра перекрытия потока щеки надуваются и спадаются, что влияет на величину результатов измерений (см. рис. 2). Пациент должен сидеть прямо, не наклоняя и не запрокидывая голову.

### 5.3.1. Измерение сопротивления дыхательных путей

Еще раз следует подчеркнуть, что порядок проведения измерений может быть разным и определяется целью проведения БПГ. При измерении бронхиального сопротивления вначале определяется специфическое бронхиальное сопротивление ( $sR_{aw}$ ). При регистрации петель  $sR_{aw}$  от пациента не требуются большие усилия, т. к. процедура проводится при обычном или учащенном дыхании. Первоначально исследование проводилось при частом поверхностном дыхании [8], но ПО современных приборов позволяет устранить влияние изменения температуры и влажности, так что даже при спокойном дыхании кривые вдоха и выдоха петли  $sR_{aw}$  в норме тесно соприкасаются друг с другом. В ходе одного исследования рекомендуется зарегистрировать по меньшей мере 5–10 петель  $sR_{aw}$ . Оптимальное качество записи достигается, когда петли  $sR_{aw}$  получаются равномерными и повторяемыми, в норме петли узкие, их стороны почти полностью прилежат

друг к другу как на вдохе, так и на выдохе, однако у пациентов с выраженной обструкцией в экспираторной части петли между ними появляется пространство (рис. 3). Петли записываются при дыхании пациента через загубник точно с такой же частотой дыхания, как во время маневра перекрытия потока, т. к. для расчета количественного показателя бронхиального сопротивления используется величина ВГО [3]. Кроме того, от частоты дыхания зависит сопротивление ДП: чем чаще пациент дышит, тем более выражена неравномерность легочной вентиляции и выше бронхиальное сопротивление. Следовательно, для того чтобы можно было сравнить полученные показатели бронхиального сопротивления при повторных осмотрах, пациенту необходимо задавать одну и ту же частоту дыхания. С этой целью удобно использовать метроном (в некоторых устройствах есть функция контроля над частотой дыхания пациента). В отчете, если ПО позволяет это сделать, необходимо указывать частоту дыхания и ВГО во время измерения бронхиального сопротивления. В соответствии с рекомендациями Европейского респираторного общества (*European Respiratory Society* – ERS) / Американского торакального общества (*American Thoracic Society* – ATS) (2023) измерение сопротивления и оценку статических легочных объемов следует проводить отдельно [3].

### 5.3.2. Измерение статических легочных объемов

Во время процедуры определения легочных объемов и емкостей сначала производится измерение ФОЕ посредством проведения дыхательных маневров при

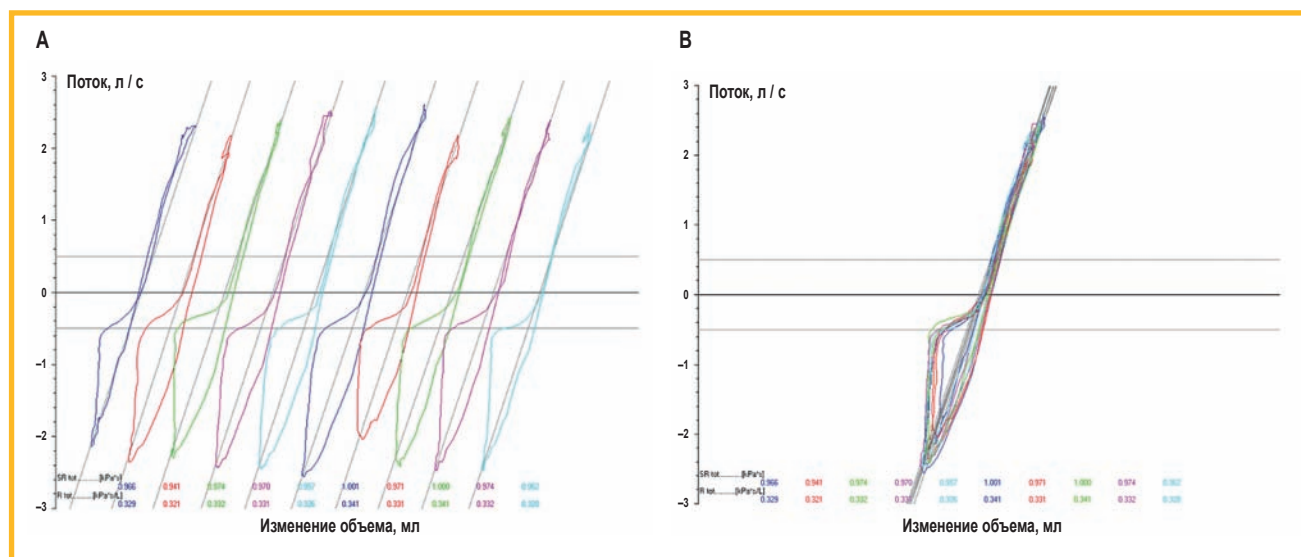


Рис. 3. Петли специфического бронхиального сопротивления: А — представление петель каждого дыхательного цикла по отдельности; В — возможность отображения петель друг поверх друга позволяет оценить повторяемость измерения. Вид экрана может отличаться в зависимости от модели оборудования и используемого программного обеспечения

Figure 3. Loops of specific bronchial resistance: А — separate loops of each respiratory cycle; В — displaying the loops on top of each other allows evaluating the repeatability of the measurement. The appearance of the screen may differ depending on the model of equipment and the software used

перекрытии потока («дыхания против заслонки»), затем, не отрываясь от загубника, пациент выполняет маневр спокойной жизненной емкости легких (ЖЕЛ) — т. н. «связанный» маневр измерения ОЕЛ и ее составляющих.

При измерении ФОЕ дыхательный контур в конце спокойного выдоха перекрывается специальной заслонкой. С этого момента, придерживая руками щеки, в течение нескольких секунд необходимо имитировать дыхание: выполнять поверхностное (примерно  $\pm 1$  кПа, или  $\pm 10$  см вод. ст.) и ритмичное дыхание с частотой 0,5–1 Гц (30–60 дыхательных движений в минуту) [2, 9]. Маневр может быть сложен для понимания обследуемым, поэтому целесообразно отрепетировать его до начала исследования, закрывая загубник рукой с противоположной стороны при дыхании. Необходимо следить за частотой дыхания во время маневра перекрытия потока (показатель частоты дыхания, как правило, отражается на экране) для контроля его величины во время выполнения попыток. От частоты дыхания, как было сказано выше, зависят бронхиальное сопротивление и распределение воздуха в легких, а следовательно, и измеряемые объемы. Во время маневра перекрытия потока у пациентов с бронхиальной обструкцией при увеличении частоты дыхательных движений  $> 90$  в минуту может происходить завышение величины ФОЕ и ООЛ.

Таким образом, для стандартизации исследования желательно добиваться дыхания обследуемого с частотой, близкой к рекомендованному диапазону. Использование метронома может помочь пациенту дышать с заданной частотой.

В «связанном» маневре по завершении каждого измерения ФОЕ и открытия заслонки, пациент по команде выполняет маневр ЖЕЛ: после открытия

заслонки пациент, не отрываясь от загубника, делает максимально глубокий выдох (до уровня ООЛ), что позволяет измерить  $PO_{\text{выд}}$ , затем — максимально глубокий вдох (до уровня ОЕЛ) (см. рис. 1А). Далее обследуемому предлагается сделать спокойный выдох и перейти к спокойному дыханию. При наличии выраженных нарушений ВСЛ пациент после открытия заслонки, не отрываясь от загубника, может сделать несколько спокойных вдохов и выдохов, а уже затем выполняет маневр спирометрии.

Необходимо зарегистрировать  $\geq 3$  технически приемлемых маневров перекрытия потока и последующих за ними маневров  $PO_{\text{выд}}$  и  $ЖЕЛ_{\text{вд}}$ . При необходимости пациент между попытками может отсоединиться от загубника и отдохнуть 5–10 с.

Если пациент задыхается и ему трудно после определения ФОЕ выполнить маневр  $PO_{\text{выд}}$ , то возможен 2-й вариант «связанного» дыхательного маневра: после измерения ФОЕ и открытия заслонки пациент, не отрываясь, делает максимально глубокий вдох (до уровня ОЕЛ), что позволяет измерить емкость вдоха ( $E_{\text{вд}}$ ) и следующий за ним максимально глубокий выдох (до уровня ООЛ) — для измерения  $ЖЕЛ_{\text{вд}}$ . Согласно положениям рекомендаций ERS / ATS (2023), следует использовать 2-й вариант «связанного» маневра ЖЕЛ [3].

Альтернативой «связанному» маневру измерения ОЕЛ и ее составляющих является раздельное определение показателей; на 1-м этапе измеряется ФОЕ ( $\geq 3$  технически приемлемых попытки), а затем — ЖЕЛ и ее компоненты. При этом измерение ЖЕЛ выполняется в тех же условиях, что и определение ФОЕ — т. е. с закрытой дверью кабины бодиплетизмографа. Этот метод лучше использовать для больных с тяжелой хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ) или выраженной одышкой, которым достаточно слож-

но выполнить «связанный» маневр измерения ФОЕ + ЖЕЛ [2]. Преимущество данного подхода заключается в оптимизации количества дыхательных маневров (и, соответственно, трудозатрат обследуемого), например, при выраженном разбросе полученных значений ВГО и составляющих ЖЕЛ. Недостатком данного метода является возможная разница между значениями ФОЕ, полученными в ходе разных дыхательных маневров, поэтому рекомендуется использовать «связанный» маневр измерения ОЕЛ, однако в ПО аппаратуры некоторых производителей включена опция раздельного поэтапного проведения БПГ.

«Несвязанный» маневр не рекомендован к применению в клинической практике [3] и может быть выполнен только теми пациентами, которые не могут осуществить «связанный» маневр. Это следует указать в заключении.

В клинической практике для получения технических приемлемых измерений статических легочных объемов исследование проводится с помощью «связанного» маневра.

#### 5.4. Критерии качества выполнения бодиплетизмографии

Качественный контроль петель специфического бронхиального сопротивления можно осуществлять по их графическому представлению: правильно зарегистрированные петли должны идти параллельно друг другу (см. рис. 3) или накладываться друг на друга. Показатели считаются повторяемыми, если значения  $R_{aw}$  составляют  $\pm 10\%$  среднего значения.

Далее оценивается качество измерения статических легочных объемов. Чтобы попытка считалась технически приемлемой, необходимо выполнять следующие требования к качеству измерения:

- Перед тем как активировать заслонку для перекрытия потока, необходимо добиться спокойного дыхания обследуемого; дыхательный объем (ДО) должен оставаться на изолинии (см. рис. 1А). В соответствии с международными рекомендациями по спирометрии устойчивым уровнем конечного

экспираторного объема является уровень как минимум 3 дыхательных циклов с разницей между максимальным и минимальным объемом легких в конце выдоха в пределах 15 % ДО [6]. Только после достижения достоверного, устойчивого конечного экспираторного уровня можно перейти к маневру перекрытия потока. Если ПО не позволяет вывести разницу ДО, то необходимо оценить ДО визуальным способом, добиваясь, чтобы он был постоянным.

- Во время выполнения маневров перекрытия потока следует обращать внимание на дыхание пациента: задержка дыхания, «довдыхание» (т. е. увеличение глубины вдоха непосредственно перед, либо в процессе маневра), отсоединение от загубника, недостаточное или избыточное давление, оказываемое на заслонку и т. д., ведут к получению петель ВГО различной формы и, как следствие, отсутствию повторяемости измерений.
- Непосредственное перекрытие потока происходит не в момент активации заслонки в конце выдоха, а в начале последующего вдоха, поэтому образуется разница между ВГО и ФОЕ. На рис. 1А эта разница обозначается как  $V_{t,occ}$ ; у различных производителей обозначение этого показателя может быть представлено как dVol, dVolVTG или *switch-in error* (ошибка заслонки). Для точного расчета величины ФОЕ программа автоматически вычитает величину  $V_{t,occ}$  от ВГО.
- При перекрытии потока заслонкой пациенту следует выполнить серию поверхностных вдохов-выдохов против закрытой заслонки ( $\approx \pm 1$  кПа) с частотой дыхания 0,5–1,0 Гц. Должны быть зарегистрированы приемлемые маневры дыхания (т. е. серия из 2–3 почти наложенных друг на друга прямых линий на графике «давление–объем») (рис. 4А, 5А). При этом отсутствует температурный дрейф (см. рис. 4В). Если регистрируется отклонение кривых «давления перекрытия» от средней линии (см. рис. 5В), то это говорит о том, что в момент перекрытия потока образуется утечка воздуха (зазор между мундшту-

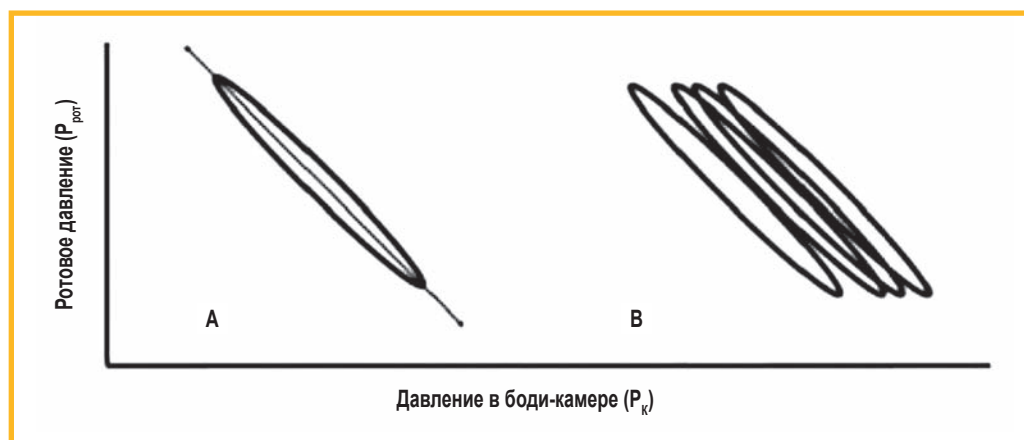


Рис. 4. Кривые «давления перекрытия» при закрытой заслонке: А – без температурного дрейфа – кривые накладываются друг на друга – практически «закрытая» петля; В – с температурным дрейфом – «открытые» петли [3]  
Примечание:  $P_{рот}$  – ротовое давление;  $P_k$  – давление в боди-камере.

Figure 4. “Occlusion pressure” curves with the shutter closed: A – without temperature drift – the curves overlap each other – practically a “closed” loop; B – with temperature drift – “open” loops [3]

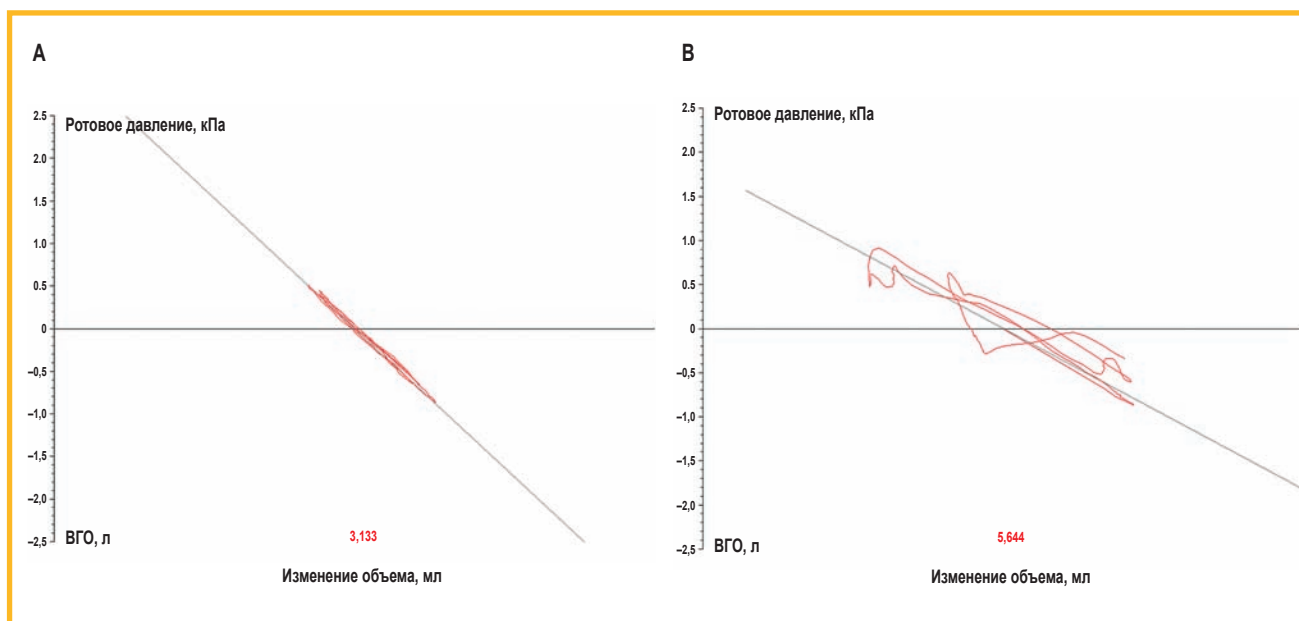


Рис. 5. Кривые изменения давления и объема при перекрытии потока: визуальный контроль над измерением внутригрудного объема: А — серия из 2–3 почти наложенных друг на друга прямых линий кривых «давления перекрытия» на графике «давление–изменение объема», без температурного дрейфа; В — отклонение кривых «давления перекрытия» от средней линии из-за утечки воздуха (кривые вдоха и выдоха не параллельны и не прилегают друг к другу). Вид экрана может отличаться в зависимости от модели оборудования и используемого программного обеспечения

Примечание:  $P_{рот}$  — ротовое давление; ВГО — внутригрудной объем.

Figure 5. Pressure and volume change curves during flow occlusion: visual control of intrathoracic gas volume loop: А — a series of two or three almost superimposed straight lines of the “occlusion pressure” curves on the pressure-volume change graph, without temperature drift; В — deviation of the “occlusion pressure” curves from the midline due to air leakage (the inhalation and exhalation curves are not parallel and do not adjoin each other). The screen appearance may differ depending on the equipment model and the software used.

ком и губами или неплотно надет носовой зажим). В этом случае нужно попросить пациента плотнее сжимать мундштук губами, поправить носовой зажим и повторить маневр перекрытия потока.

- Следует оценить повторяемость полученных результатов. Во время проведения БПГ необходимо получить  $\geq 3$  правильно выполненных маневров перекрытия потока. Из полученных показателей вычисляется среднее значение ФОЕ ( $FOE_{ср.}$ ). Показатели считаются повторяемыми, если отношение разности между максимальным и минимальным значениями ФОЕ к  $FOE_{ср.}$  не превышает 5 %. Для визуального контроля повторяемости результатов оценивается форма петлей ВГО: замкнутые узкие петли должны отображаться параллельно друг другу, иметь максимально схожий угол наклона (рис. 6А) и при наложении практически сливаться (см. рис. 6В). Если отношение разности между максимальным и минимальным значениями ФОЕ к  $FOE_{ср.} > 5 \%$ , то следует выполнить дополнительный маневр ФОЕ. Результаты с повторяемостью 5–10 % тоже возможно использовать, но это следует отразить в заключении.
- Основным критерием качества при спирометрии является повторяемость результатов. Для корректного определения ЖЕЛ необходимо выполнить минимум 3 технически приемлемых измерения, при этом разница между двумя наибольшими значениями ЖЕЛ не должна превышать 150 мл или 10 % от наибольшей величины ЖЕЛ, причем ориентироваться следует на большее по величине зна-

чение [1]. Из полученных показателей вычисляется среднее значение  $PO_{выд.}$ . Если после выполнения 8 попыток критерий повторяемости не достигнут, то исследование необходимо прекратить и повторить его после перерыва (20–30 мин) или в другой день. В протокол исследования вносится максимальное из полученных значений ЖЕЛ.

Однако выполнить исследование в соответствии со всеми перечисленными критериями качества получается не у всех пациентов, при этом полученные результаты могут быть полезны в клинической практике. Поэтому по аналогии со спирометрией экспертами ERS / ATS предложены критерии технически приемлемого, допустимого (полезного в клинической практике) и неприемлемого / непригодного для интерпретации измерений статических объемов легких (табл. 1, 2) [3]. При этом подчеркивается, что эти критерии не апробированы и являются попыткой систематизировать научные данные и опыт членов рабочей группы с учетом рекомендаций по спирометрии [6].

По окончании исследования по аналогии со спирометрией [6] ERS / ATS предлагается оценить качество измерений с помощью стандартных кодов (табл. 3) [3]. В протоколе исследования стандартные коды качества разработаны для измерения статических объемов легких в целом, а не для отдельных параметров, как при спирометрии [3]. Измерения, отмеченные кодами А и В, соответствуют качественно проведенному измерению, кодом С — промежуточному значению качества, но могут применяться в клинической практике, кодом

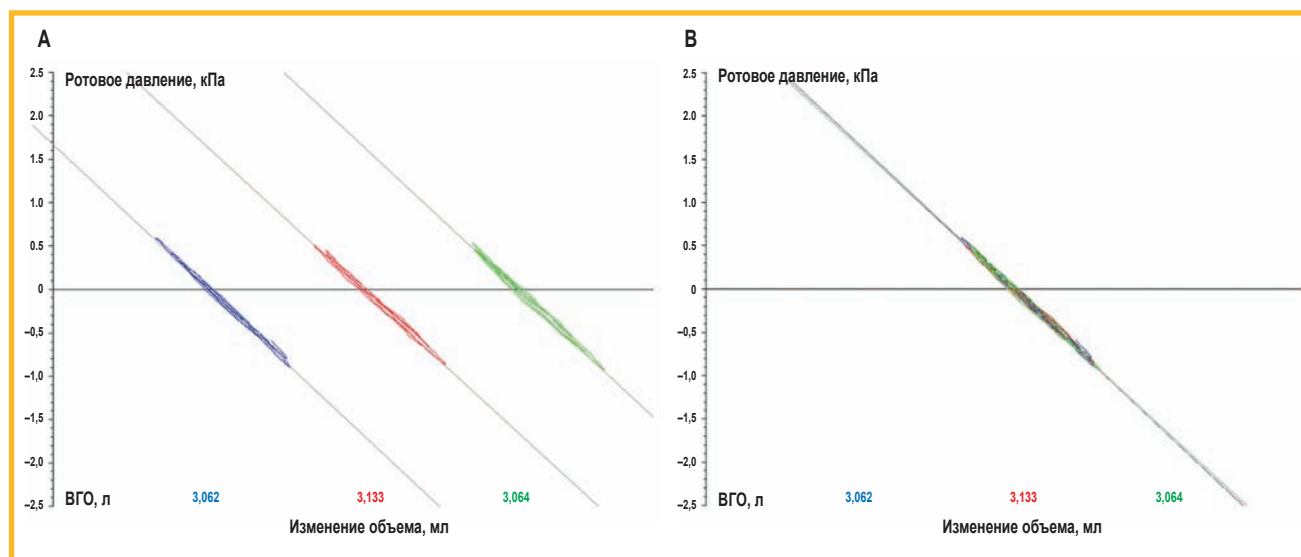


Рис. 6. Кривые изменения давления и объема при перекрытии потока: визуальный контроль повторяемости показателя внутригрудного объема: А — кривые параллельны и имеют практически одинаковый угол наклона; В — кривые накладываются друг на друга. Вид экрана может отличаться в зависимости от модели оборудования и используемого программного обеспечения. Дверь камеры должна быть обязательно закрыта при выполнении маневра перекрытия потока и регистрации петель бронхиального сопротивления для соблюдения условий закона Бойля—Мариотта

Примечание:  $P_{рот}$  — ротовое давление; ВГО — внутригрудной объем.

Figure 6. Pressure and volume change curves during flow occlusion: visual control of the repeatability of the intrathoracic gas volume loop value: А — the curves are parallel and have almost the same inclination angle; В — the curves are superimposed on each other. The appearance of the screen may differ depending on the equipment model and the software used. The chamber door must be closed when performing the flow occlusion maneuver and recording bronchial resistance loops to comply with the conditions of Boyle's law

Д — сомнительного качества, но могут использоваться при нормальных значениях показателей БПГ; коды Е, U и F использовать не следует.

Таким образом, при выполнении перечисленных требований к проведению БПГ будут получены пока-

затели ФОЕ и бронхиального сопротивления оптимального качества, что позволит сравнивать результаты исследований между собой, даже если повторные освидетельствования будут проводиться в разных медицинских учреждениях.

**Таблица 1**  
**Критерии приемлемости измерения внутригрудного объема (функциональной остаточной емкости) с помощью бодиплетизмографии**

**Table 1**  
**Acceptability criteria for measuring intrathoracic gas volume (functional residual capacity) using body plethysmography**

| Спокойное расслабленное дыхание перед перекрытием потока заслонкой и поверхностное частое дыхание против закрытой заслонки |                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Приемлемые                                                                                                                 | До закрытия заслонки:                                                                                            |
|                                                                                                                            | • устойчивый уровень конечного экспираторного объема*                                                            |
|                                                                                                                            | При закрытой заслонке:                                                                                           |
|                                                                                                                            | • закрытые петли «давления перекрытия»                                                                           |
|                                                                                                                            | • параллельные прямые линии без температурного дрейфа                                                            |
| Допустимые**                                                                                                               | • прямые линии с минимальным температурным дрейфом                                                               |
|                                                                                                                            | • частота дыхания 0,5–1 Гц или частота дыхания > 1,0–1,5 Гц при отсутствии или легкой обструкции при спирометрии |
|                                                                                                                            | Любое из следующих:                                                                                              |
|                                                                                                                            | до закрытия заслонки:                                                                                            |
|                                                                                                                            | • нестабильный уровень конечного экспираторного объема* без значительного смещения в каком-нибудь направлении    |
|                                                                                                                            | при закрытой заслонке:                                                                                           |
|                                                                                                                            | • частично закрытые петли «давления перекрытия»                                                                  |
|                                                                                                                            | • частично параллельные прямые линии                                                                             |
|                                                                                                                            | • параллельные прямые линии (температурный дрейф)                                                                |
|                                                                                                                            | • частота дыхания > 1,5–2,0 Гц при отсутствии или легкой обструкции при спирометрии                              |

Начало. Продолжение табл. 1 см. на стр. 313

Окончание табл. 1. Начало см. на стр. 312

|                                                            |                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Неприемлемые или непригодные для использования (отклонить) | Любое из следующих:                                                                                                                                                                      |
|                                                            | до закрытия заслонки:                                                                                                                                                                    |
|                                                            | • нестабильный уровень конечного экспираторного объема* со значительным смещением в каком-нибудь направлении (например, увеличение конечного экспираторного объема после каждого выдоха) |
|                                                            | при закрытой заслонке:                                                                                                                                                                   |
|                                                            | • открытые петли «давления перекрытия»                                                                                                                                                   |
|                                                            | • не прямые линии «давления перекрытия»                                                                                                                                                  |
|                                                            | • чрезмерный температурный дрейф                                                                                                                                                         |
|                                                            | • превышен диапазон измерения датчика ротового давления                                                                                                                                  |
|                                                            | • частота дыхания < 0,5 Гц, или > 2,0 Гц, или > 1,5 Гц при тяжелой обструкции при спирометрии                                                                                            |

Примечание: \* – стабильность определяется как  $\geq 3$  дыхательных цикла с разницей между максимальным и минимальным конечно-экспираторным объемом легких в пределах 15 % от дыхательного объема [6]; \*\* – интерпретировать с осторожностью.

Note: \*, stability is defined as  $\geq 3$  respiratory cycles with a difference between the maximum and minimum end-expiratory lung volumes within 15% of the tidal volume [6]; \*\*, interpret with caution.

Таблица 2

Критерии приемлемости измерения жизненной емкости легких при бодиплетизмографии у лиц старше 6 лет

Table 2

Acceptability criteria for measuring slow vital capacity of the lungs using body plethysmography in individuals over 6 years of age

| Критерии                                                   | Маневр спирометрии после измерения ВГО                                       |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Приемлемые*                                                | «Связанный» маневр ЖЕЛ:<br>• ЖЕЛ $\geq$ (ФЖЕЛ – 150 мл)                      |
| Допустимые**                                               | «Связанный» маневр ЖЕЛ:<br>• ЖЕЛ $\geq$ (ФЖЕЛ – 250 мл)                      |
| Неприемлемые или непригодные для использования (отклонить) | Любое из следующих:<br>• «несвязанный» маневр ЖЕЛ<br>• ЖЕЛ < (ФЖЕЛ – 250 мл) |

Примечание: ВГО – внутригрудной объем; ЖЕЛ – жизненная емкость легких; ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких; ATS (American Thoracic Society) – Американское торакальное общество; ERS (European Respiratory Society) – Европейское респираторное общество; \* – соответствует критериям приемлемости ATS / ERS измерения емкости вдоха и жизненной емкости легких [6]; если при обследовании с измерением статических легочных объемов форсированная спирометрия не проводилась, альтернативой является требование, чтобы были выполнены по крайней мере 3 измерения жизненной емкости легких, соответствующие критериям приемлемости ATS / ERS, вместо форсированной жизненной емкости легких в табл. 2 следует использовать максимальное значение жизненной емкости легких; \*\* – интерпретировать с осторожностью.

Note: \*, meets the ATS / ERS acceptance criteria for inspiratory capacity and vital capacity measurements [6]; if forced spirometry was not performed during an examination with measurement of static lung volumes, an alternative is to require at least 3 vital capacity measurements that meet the ATS / ERS acceptance criteria. The maximum value of vital capacity should be used instead of forced vital capacity in Table 2; \*\*, interpret with caution.

Таблица 3

Стандартные коды качества измерения статических легочных объемов при бодиплетизмографии [3]

Table 3

Standard codes for the quality of measurement of static lung volumes in body plethysmography [3]

| Код* | Измерение ФОЕ                      | Измерение ЖЕЛ                      | Повторяемость ФОЕ** |
|------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------|
| A    | $\geq 3$ приемлемых                | $\geq 3$ приемлемых                | В пределах 5 %      |
| B    | $\geq 2$ приемлемых                | $\geq 2$ приемлемых                | В пределах 5 %      |
| C    | $\geq 2$ приемлемых                | $\geq 2$ приемлемых                | В пределах 10 %     |
| D    | 1 приемлемый и $\geq 1$ допустимых | 1 приемлемый и $\geq 1$ допустимых | В пределах 10 %     |
| E    | 1 приемлемый и 0 допустимых        | 1 приемлемый и 0 допустимых        | Неприменимо         |
| U    | 0 приемлемых и $\geq 1$ допустимых | 0 приемлемых и $\geq 1$ допустимых | В пределах 10 %     |
| F    | 0 приемлемых или допустимых        |                                    |                     |

Примечание: ФОЕ – функциональная остаточная емкость; ЖЕЛ – жизненная емкость легких; \* – общий код является самым низким среди кодов измерения функциональной остаточной емкости легких, жизненной емкости легких и повторяемости функциональной остаточной емкости. Например, если измерение и повторяемость функциональной остаточной емкости соответствуют уровню A (3 технически приемлемых повторяемых маневра), а измерение жизненной емкости легких соответствует уровню B (только 2 технически приемлемых измерения), то общий код равен B; \*\* – разность между максимальным и минимальным значениями, деленная на среднее значение  $\times 100$  %.

Note: \*, the overall code is the lowest among the functional residual capacity measurement codes (functional residual capacity, vital capacity, and functional residual capacity repeatability). For example, if the functional residual capacity measurement and repeatability correspond to level A (3 technically acceptable repeatable maneuvers) and the vital capacity measurement corresponds to level B (only 2 technically acceptable measurements), then the overall code is B; \*\*, the difference between the maximum and minimum values, divided by the mean value  $\times 100$ %.

## 5.5. Показатели

### 5.5.1. Сопротивление дыхательных путей

Специфическое сопротивление ДП ( $sR_{aw}$ ) рассчитывается, исходя из давления газа и соотношения изменения объема грудной клетки к потоку воздуха во рту.  $sR_{aw}$  обычно применяется для измерения сопротивления у детей, поскольку не требуется измерения объема легких с использованием дыхательного маневра против закрытой заслонки, что трудно выполнить у пациентов этой группы. Форма петли  $sR_{aw}$  зависит от изменения скорости потока на вдохе и выдохе, поэтому существуют различные методы расчета величины удельного сопротивления ДП:

- **общее специфическое сопротивление** ( $sR_{aw\text{ общ.}}$ ) (рис. 7А). Определяется величиной угла наклона прямой линии, проведенной между 2 точками максимального изменения объема на вдохе и выдохе [10]. Отличительной чертой  $sR_{aw\text{ общ.}}$  является его чувствительность к обструкции периферических ДП. Потенциальным недостатком  $sR_{aw\text{ общ.}}$  является высокая вариабельность между тестами, поскольку в расчетах используются экстремальные значения изменения объема во время дыхательных маневров;
- **эффективное специфическое сопротивление** ( $sR_{aw\text{ эфф.}}$ ) (см. рис. 7В) рассчитывается из соотношения площади работы дыхания к площади петли «поток—

объем» при нормальном дыхании [11]. Это соотношение определяет наклон линии, представляющей  $sR_{aw\text{ эфф.}}$ . Данный показатель используется для интегральной оценки сопротивления ДП в течение всего дыхательного цикла, поэтому характеризует проходимость центральных ДП в большей степени, чем  $sR_{aw\text{ общ.}}$ ;

- **специфическое сопротивление между потоками 0,5 л/с** ( $sR_{aw\text{ 0,5}}$  или  $sR_{0,5}$ ) (см. рис. 7С) определяется углом наклона линейной части петли  $sR_{aw}$  между инспираторным и экспираторным потоками скоростью 0,5 л/с [8, 12]. Потенциальным преимуществом  $sR_{aw\text{ 0,5}}$  является то, что сопротивление измеряется с использованием заданного значения скорости потока, поскольку сопротивление зависит от скорости потока, особенно у пациентов с обструкцией ДП. Поэтому невысокое значение потока в 0,5 л/с повысило повторяемость и сопоставимость измерений. Однако показатель  $sR_{aw\text{ 0,5}}$  отражает в основном сопротивление крупных бронхов и обладает гораздо меньшей чувствительностью к аномалиям периферических ДП [13]. Важным параметром является величина, обратная сопротивлению ДП (проводимость ДП).

Специфическая проводимость ДП ( $sG_{aw}$ ) определяется по формуле:

$$sG_{aw} = 1 / sR_{aw}$$

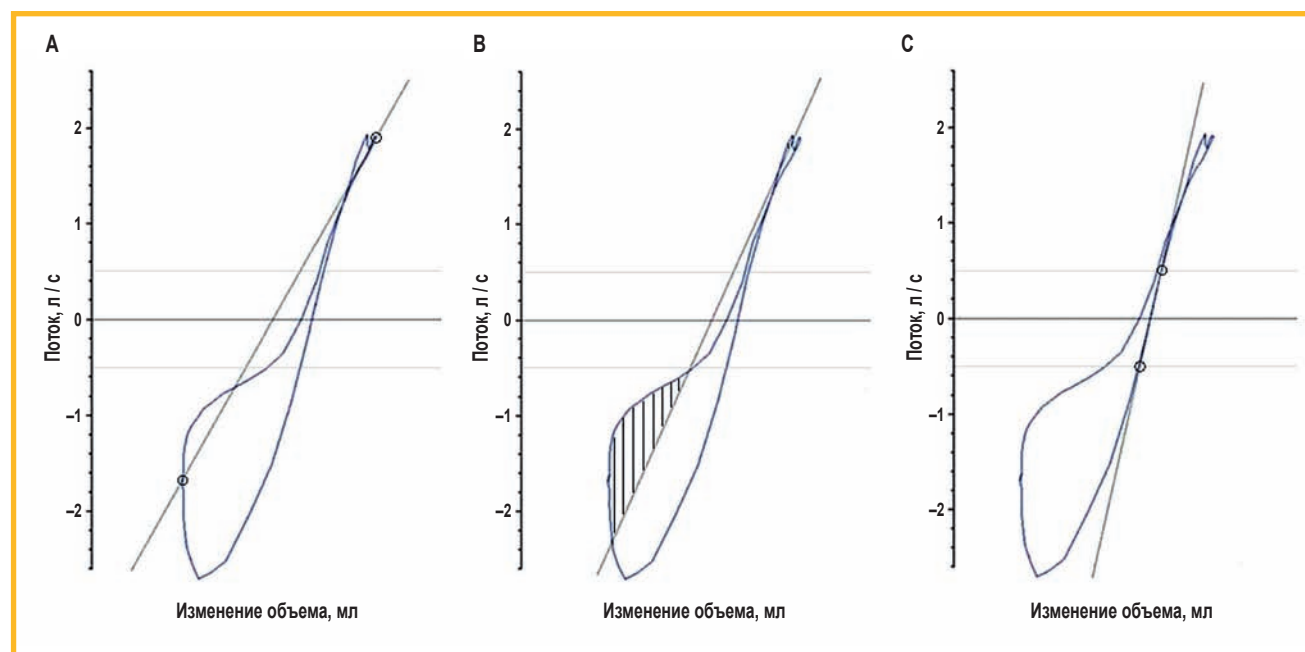


Рис. 7. Петля специфического бронхиального сопротивления у больного с выраженными обструктивными нарушениями легочной вентиляции: А — общее специфическое сопротивление ( $sR_{aw\text{ общ.}}$ ) — точки максимального изменения объема на петле специфического сопротивления соединяются прямой:  $sR_{aw\text{ общ.}} = 2,47$  кПа; В — эффективное специфическое сопротивление ( $sR_{aw\text{ эфф.}}$ ) — значение параметра получается из отношения площади работы дыхания к площади петли «поток—объем» при нормальном дыхании:  $sR_{aw\text{ эфф.}} = 1,95$  кПа  $\times$  с; С — специфическое сопротивление между потоками 0,5 л/с ( $sR_{aw\text{ 0,5}}$ ) — прямая линия между значениями  $sR_{aw}$  при  $\pm 0,5$  л/с:  $sR_{aw\text{ 0,5}} = 0,91$  кПа  $\times$  с

Примечание:  $sR_{aw}$  — специфическое бронхиальное сопротивление;  $sR_{aw\text{ общ.}}$  — общее специфическое сопротивление;  $sR_{aw\text{ эфф.}}$  — эффективное специфическое сопротивление;  $sR_{aw\text{ 0,5}}$  — специфическое сопротивление между потоками 0,5 л/с.

Figure 7. Specific bronchial resistance loop in a patient with severe obstructive pulmonary ventilation disorders: A — total specific resistance ( $sR_{aw\text{ tot}}$ ) — points of maximum volume change on the specific resistance loop are connected by a straight line:  $sR_{aw\text{ tot}} = 2.47$  kPa; B — effective specific resistance ( $sR_{aw\text{ eff}}$ ) — the parameter value is obtained from the ratio of the area of the work of breathing to the area of the flow-volume loop during normal breathing:  $sR_{aw\text{ eff}} = 1.95$  kPa  $\times$  s; C — specific resistance between flows of 0.5 l/s ( $sR_{aw\text{ 0.5}}$ ) — a straight line between the  $sR_{aw}$  values at plus and minus 0.5 l/sec:  $sR_{aw\text{ 0.5}} = 0.91$  kPa  $\times$  s

Таким образом,  $sG_{aw}$  — это «нормализованная по объему» проводимость ДП. Специфическая проводимость используется для надежной оценки состояния дыхательной системы у пациентов с тяжелой обструкцией ДП, у которых может возникнуть эмфизема [13];  $sG_{aw}$  обладает большой чувствительностью к изменениям, вызывающим увеличение сопротивления в центральных отделах бронхиального дерева, но гораздо меньшей — к диагностике обструкции периферических ДП [14].

В клинической практике обычно используется показатель  $R_{aw}$  — соотношение показателей  $sR_{aw}$  и объема воздуха в легких в момент измерения (показатель  $R_{aw}$  измеряется во время дыхательных маневров с закрытой заслонкой):

$$R_{aw} = sR_{aw} / ВГО.$$

По данным исследований *W.A. Briscoe* и *A.B. DuBois* [8, 15] показано, что у здоровых людей  $R_{aw}$  определяются несколько факторов, из них одним из наиболее важных является объем легких. Величина сопротивления, выраженная в виде  $R_{aw}$ , зависит от объема легких, в отличие от параметров  $sR_{aw}$  и  $sG_{aw}$ , которые относительно независимы от изменений объема легких. При этом взаимосвязь между объемом легких и проводимостью является линейной: с увеличением объема легких проводимость увеличивается. Следовательно, в случае увеличения ВГО  $R_{aw}$  может оставаться в пределах нормы, несмотря на повышенное значение  $sR_{aw}$ . Такая ситуация часто наблюдается у пациентов с ХОБЛ, у которых выявлена эмфизема легких [13].

### 5.5.2. Статические легочные объемы

При измерении статических легочных объемов (посредством определения ВГО с последующим маневром спокойной спирометрии) оцениваются следующие показатели:

- $\Phi OE_{пл.}$ , измеренная методом БПГ. Показатель вычисляется как среднее значение из полученных в каждом маневре значений разницы между ВГО и  $V_{t,occ}$ . Величина  $\Phi OE$  оценивается по среднему значению, полученному из технически приемлемых маневров перекрытия потока ( $\geq 3$ );
- ЖЕЛ, измеренная при спокойной спирометрии.

В итоговый протокол выносятся максимальное значение ЖЕЛ ( $ЖЕЛ_{макс.}$ ) из всех приемлемых маневров;

- $PO_{выд.}$ .

В итоговый протокол выносятся среднее значение  $PO_{выд.}$  всех приемлемых маневров (если ПО позволяет это сделать);

- ООЛ.

Значение ООЛ также является расчетной величиной; используется 2 способа расчета:

$$ООЛ = \Phi OE_{ср.} - PO_{выд. ср.}$$

и

$$ООЛ = ОЕЛ - ЖЕЛ_{макс.}$$

Рекомендуется использовать формулу с  $\Phi OE_{ср.}$  и  $PO_{выд.}$  для расчета (если ПО позволяет это сделать).

- ОЕЛ.

Значение ОЕЛ является расчетной величиной; используются 2 способа его расчета:

$$ОЕЛ = ООЛ + ЖЕЛ_{макс.}$$

и

$$ОЕЛ = \Phi OE_{ср.} + E_{вд. ср.}$$

Рекомендуется использовать для расчета формулу с ООЛ и  $ЖЕЛ_{макс.}$  (если ПО позволяет это сделать). Для этого необходимо предварительно вычислить ООЛ следующим образом:

- ООЛ / ОЕЛ.

Данный показатель является важным признаком наличия или отсутствия т. н. «воздушных ловушек»:

- $E_{вд.}$  и соотношение  $E_{вд.} / ОЕЛ$ .

Показано, что гиперинфляция легких в покое, оцениваемая по величине отношения  $E_{вд.} / ОЕЛ$ , была независимым предиктором респираторной и общей смертности у пациентов с ХОБЛ [16].

## 6. Интерпретация результатов бодиплетизмографии

### 6.1. Должные величины

Количественная оценка данных БПГ, как и спирометрии, проводится путем сопоставления измеренных величин с их должными значениями, полученными при обследовании здоровых некурящих лиц. Должные величины зависят от антропометрических параметров (в основном роста), пола, возраста и популяции (этнической группы). Масса тела влияет на величину измеряемых объемов лишь в условиях значительного ее повышения. Так, при индексе массы тела (ИМТ)  $> 30 \text{ кг} / \text{м}^2$  отмечается снижение  $PO_{выд.}$  и  $\Phi OE$  [17]. У детей и подростков также отмечается снижение  $\Phi OE$  и  $PO_{выд.}$  при ожирении с массой тела выше верхней границы нормы (ВГН), точнее  $> 97$ -го перцентиля [18]. Тем не менее другие измеренные объемы легких у большинства пациентов с ожирением по-прежнему находятся в пределах нормы, в частности ОЕЛ обычно не снижается до тех пор, пока ИМТ не превысит  $40 \text{ кг} / \text{м}^2$  [17]. Избыточная масса тела может оказывать влияние на легочные объемы, искажая типичные изменения, наблюдаемые при обструктивных нарушениях, что может затруднять интерпретацию полученных результатов [19]. Сложности в интерпретации результатов могут возникнуть при обследовании женщин в III триместре беременности вследствие уменьшения легочных объемов [20].

Существует множество систем должных величин, из которых при обследовании лиц старше 18 лет наиболее часто использовалась система, предложенная еще в 1993 г. Европейским сообществом угля и стали (*European Community for Coal and Steel* — ECCS). Недостатком данных должных величин является то, что они разработаны для европейской популяции для пациентов от 25 до 70 лет, поэтому должные величины, выходящие за эти пределы, могут быть ошибочными.

У детей должны значения рассчитывались по уравнениям регрессии, разработанным *A.Zapletal et al.* Однако эта система должных величин основана только на измерении роста обследуемого без учета возраста [21], что может приводить к искажению результатов в период полового созревания [22]. Эти системы были разработаны для европейской популяции на основе единой методологии.

Возможность применения системы должных величин ограничена параметрами здоровых лиц, обследованных в рамках ее разработки. Наиболее важна популяционная идентичность, также важно соответствие обследуемых по росту и возрасту. Следует избегать экстраполяции должных величин за пределы указанных диапазонов роста и возраста. Если показатели возраста или роста пациента выходят за границы популяции, исследовавшейся для разработки должных величин, то в итоговом протоколе исследования следует указать, что при определении должных значений была проведена экстраполяция данных.

В 2021 г. экспертной группой ERS опубликована работа по расчету должных значений для показателей БПГ (ФОЕ, ОЕЛ, ООЛ, ООЛ / ОЕЛ,  $PO_{\text{выд.}}$ ,  $E_{\text{выд.}}$ , ЖЕЛ) — *Global Lung function Initiative (GLI)* для лиц в возрастном диапазоне 5–80 лет. Следует упомянуть, что популяция для вычисления должных значений GLI была ограничена обследованием европейцев. В связи с этим при использовании должных величин статических объемов системы GLI популяционная (расовая) принадлежность должна быть отражена в итоговом протоколе исследования [23].

Система должных величин характеризует диапазон нормальных значений показателя в здоровой по-

пуляции. Для определения этого диапазона используются уравнение регрессии и соответствующая ему величина стандартного отклонения (SD). С помощью уравнения рассчитывается референсное (должное) значение величины, представляющее собой среднее арифметическое значение показателя в группе здоровых лиц одного возраста, пола, роста и этнической группы и SD, характеризующее разброс (дисперсию) его значений в обследуемой популяции. При оценке показателей функции системы дыхания за диапазон нормальных значений принимается интервал от 5-го до 95-го перцентиля — 90%-ный доверительный интервал (см. рис. 7). Для анализа показателей БПГ используется показатель нижней границы нормы (НГН; 5-й перцентиль) и верхней границы нормы (ВГН; 95-й перцентиль), их значение определяется по формулам:

$$\begin{aligned} \text{НГН} &= \text{должное значение} - 1,645 \times \text{SD}, \\ \text{ВГН} &= \text{должное значение} + 1,645 \times \text{SD}. \end{aligned}$$

Современные системы позволяют выводить на экран и в протокол не только значения должных величин, но и значения НГН и ВГН.

Наличие патологических отклонений каждого из показателей предлагается определять с одновременным использованием следующих критериев границы нормы — НГН и / или z-оценки. По z-оценке определяется, насколько измеренная величина показателя отличается от его должного значения, при этом мерой отклонения служит SD. Значения z-оценки от  $-1,645$  до  $+1,645$  соответствуют диапазону нормальных значений (рис. 8). Для оценки степени тяжести снижения

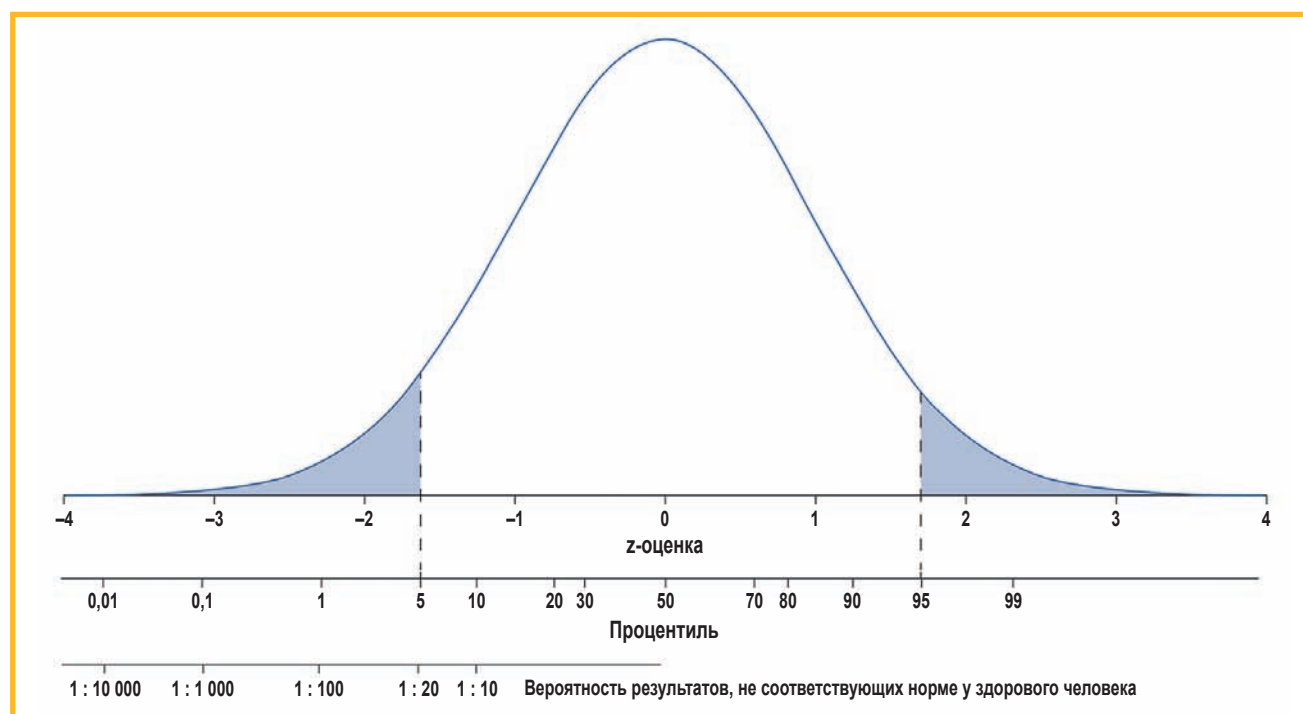


Рис. 8. Нормальное распределение с отображенными z-оценки и процентилей. Процентиль можно интерпретировать как вероятность того, что у здорового человека результаты находятся в пределах нормы (т. е. частота ложноположительных результатов) [24]

Figure 8. Normal distribution with z-scores and percentiles displayed. The percentile can be interpreted as the probability that a healthy individual will have results within the normal range (i.e., the false positive rate) [24]

функциональных показателей ERS / ATS (2022) рекомендуется использовать значение z-оценки:

- $> (-1,645)$  — норма;
- от  $-1,65$  до  $-2,5$  — нарушения легкой степени;
- от  $-2,51$  до  $-4$  — средней степени;
- $< (-4,1)$  — тяжелые нарушения.

Следует учитывать, что не все системы для проведения БПГ имеют ПО, обеспечивающее отображение z-оценки на экране или при печати. В этом случае необходимо сравнивать полученное значение со значением 5-го или 95-го перцентиля (НГН или ВГН), а не использовать фиксированное значение (например, 80 %<sub>долж.</sub> в качестве НГН). Следует помнить об упоминании в заключении использованных должных величин, способа оценки показателей (по отношению к НГН, % к должной величине или z-оценки) и стандартов выполнения исследования.

## 6.2. Анализ результатов бодиплетизмографии

Выявленное при спирометрии снижение ЖЕЛ или форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ) является лишь косвенным признаком рестриктивных нарушений ВСЛ и часто встречается при выраженной обструкции; для подтверждения рестриктивных нарушений обязательно измерение ОЕЛ.

Роль БПГ в диагностике обструктивных нарушений невелика, однако в ряде случаев сужение ДП может проявляться повышением ФОЕ, ООЛ или их доли в структуре нормальной или повышенной ОЕЛ (ФОЕ / ОЕЛ, ООЛ / ОЕЛ) без изменения показателей спирометрии.

### 6.2.1. Рестриктивный тип вентиляционных нарушений

Снижение ОЕЛ  $<$  НГН ( $<$  5-го перцентиля) (рис. 9; табл. 4) является доказательством наличия рестриктивных нарушений ВСЛ.

В случае выявления при спирометрии сниженной ФЖЕЛ в условиях нормального соотношения объема форсированного выдоха за 1-ю секунду (ОФВ<sub>1</sub>) / ФЖЕЛ следует исключить наличие рестриктивных нарушений ВСЛ (при условии качественного выполнения пробы ФЖЕЛ). Однако снижение ФЖЕЛ само по себе не свидетельствует о рестриктивном нарушении ВСЛ; падение ОЕЛ сопровождается снижением ФЖЕЛ менее чем в 50 % случаев [25]. И наоборот, у взрослых нормальная ФЖЕЛ и соотношение ОФВ<sub>1</sub> / ФЖЕЛ с большой степенью вероятности исключают рестриктивные нарушения вентиляции [25]. В большинстве случаев при рестриктивных нарушениях отмечается пропорциональное снижение ОФВ<sub>1</sub>, ФЖЕЛ и ОЕЛ; такой тип нарушений ВСЛ в рекомендациях ERS / ATS определяется как «простая рестрикция» [24]. Однако у некоторых пациентов наблюдается снижение ФЖЕЛ непропорционально снижению ОЕЛ, обусловленное непропорционально высоким ООЛ или ФОЕ. Этот паттерн в рекомендациях ERS / ATS определяется как «сложная рестрикция»; такие изменения, возможно, связаны с процессами, нарушающими опустошение легких, такими как нервно-мышечное заболевание, ограничение подвижности грудной клетки или скрытая обструкция с формированием «воздушных ловушек» [24].

При рестриктивных нарушениях ВСЛ часто наблюдается снижение ООЛ. Однако при ряде заболеваний

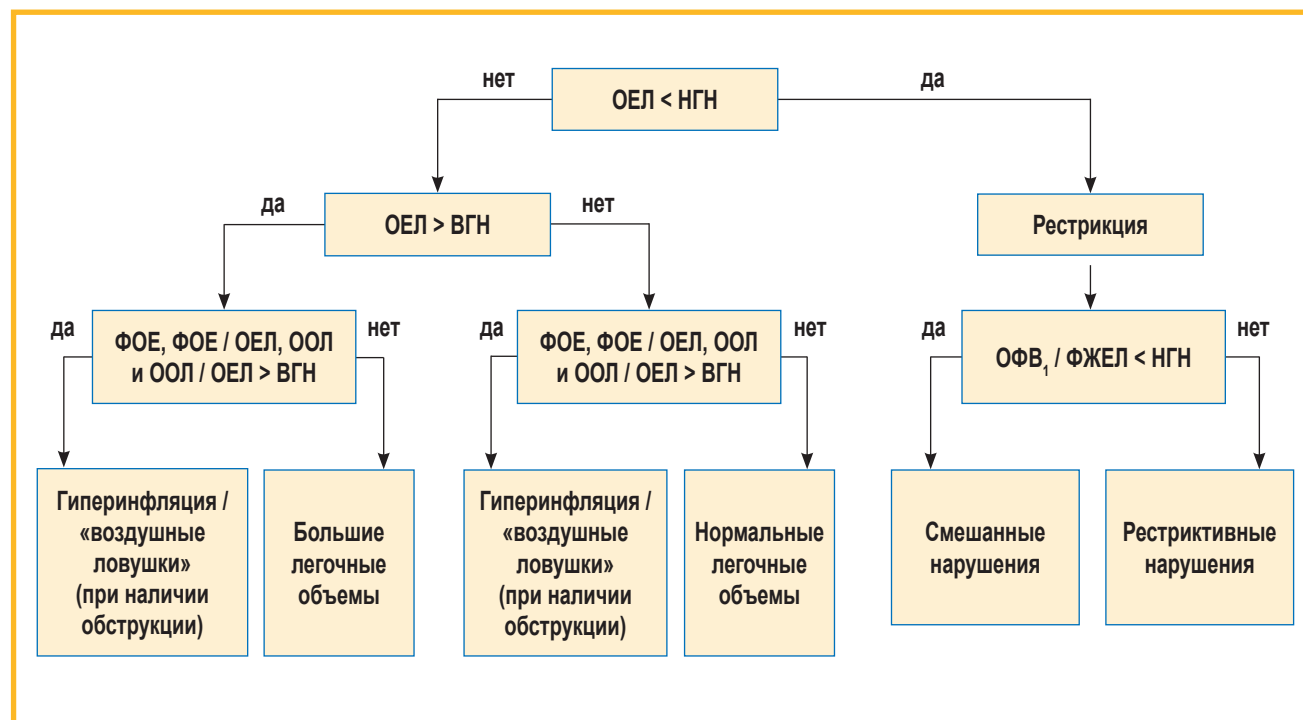


Рис. 9. Упрощенный алгоритм интерпретации результатов измерения легочных объемов

Примечание: ОЕЛ — общая емкость легких; НГН — нижняя граница нормы; ВГН — верхняя граница нормы; ФОЕ — функциональная остаточная емкость легких; ООЛ — остаточный объем легких; ОФВ<sub>1</sub> — объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; ФЖЕЛ — форсированная жизненная емкость легких.

Figure 9. Simplified algorithm for interpreting lung volume measurement results

**Таблица 4**  
**Классификация вентиляционных нарушений по данным бодиплетизмографии**  
**Table 4**  
**Classification of ventilation disorders according to body plethysmography data**

| Нарушение                 | ОЕЛ       | ФОЕ       | ООЛ           | ФОЕ / ОЕЛ | ООЛ / ОЕЛ | Комментарии                                                                                                                                                                  |
|---------------------------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Большие легочные объемы   | ↑         | ↑         | ↑             | Норма     | Норма     | Вариант нормы, при значениях выше ВГН                                                                                                                                        |
| Обструкция                | Норма / ↑ | Норма / ↑ | ↑             | Норма / ↑ | ↑         | Повышение ФОЕ – гиперинфляция легких; повышение ООЛ и ООЛ / ОЕЛ – «воздушные ловушки» (например, при ХОБЛ)                                                                   |
| Рестрикция                | ↓         | ↓         | ↓ / Норма / ↑ | Норма     | Норма / ↑ | ИЗЛ (снижение ОЕЛ и ее составляющих) или дистальная обструкция с «воздушными ловушками» при ожирении (снижение ОЕЛ и увеличение ООЛ / ОЕЛ, непропорциональное снижение ФЖЕЛ) |
| Смешанные нарушения       | ↓         | Норма / ↑ | Норма / ↑     | Норма / ↑ | Норма / ↑ | Комбинация ХОБЛ и ИЗЛ, ХОБЛ и пневмосклероз, ХОБЛ и кифосколиоз и др.                                                                                                        |
| Слабость дыхательных мышц | ↓         | Норма / ↑ | ↑             | ↑         | ↑         | Парез диафрагмы, миастения                                                                                                                                                   |
| Недостаточное усилие      | ↓         | Норма     | ↑             | ↑         | ↑         | Недостаточное усилие при выполнении маневров                                                                                                                                 |
| Ожирение                  | Норма / ↓ | ↓         | Норма / ↓     | Норма / ↓ | Норма / ↓ | Снижение $PO_{\text{выд.}}$ ; ФОЕ, снижение ОЕЛ при ИМТ > 40 $\text{кг} / \text{м}^2$ [17]                                                                                   |

Примечание: ОЕЛ – общая емкость легких; ФОЕ – функциональная остаточная емкость легких; ООЛ – остаточный объем легких; ВГН – верхняя граница нормы; ИЗЛ – интерстициальные заболевания легких; ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких; ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких;  $PO_{\text{выд.}}$  – резервный объем выдоха; ИМТ – индекс массы тела.

(например, саркоидоз и пневмония) нередко встречается изолированное снижение ООЛ, что, по мнению некоторых экспертов, обусловлено препятствующей спадению бронхов на выдохе радиальной тягой эластических элементов легких, и, следовательно, уменьшением воздушности легочной ткани [26]. Кроме того, снижение ООЛ иногда является единственным физиологическим отклонением у пациентов с заболеваниями грудной клетки (например, при деформации таковой) или патологией внутренних органов (например, при застойной сердечной недостаточности) [9].

Одним из ранних признаков рестриктивной патологии легких является снижение  $E_{\text{вд}}$ . Однако в этом случае показатель ОЕЛ также становится ниже НГН [7].

Изолированное снижение  $PO_{\text{выд.}}$  может быть следствием избыточной массы тела, слабости дыхательных мышц, наличия свободной жидкости в брюшной полости, а также нередко наблюдается при беременности [17, 19, 27].

Соппротивление ДП может быть в пределах нормы или увеличенным.

По показателю ОЕЛ определяется наличие или отсутствие рестрикции; значение  $ОЕЛ < НГН$  (см. рис. 9, правая часть) указывает на наличие рестриктивных нарушений. При сопутствующей обструкции ( $ОФВ_1 / ФЖЕЛ < НГН$  при использовании набора должных значений GLI или  $ОФВ_1 / ФЖЕЛ < НГН$  при использовании набора должных значений ECCS свидетельствуют о смешанных нарушениях. При отсутствии обструктивных нарушений снижение ЖЕЛ непропорционально ОЕЛ ( $ФОЕ / ОЕЛ$  и  $ООЛ / ОЕЛ < ВГН$ ) наблюдается при ожирении или нервно-мышечных заболеваниях. При нормальном показателе ОЕЛ рестриктивные нарушения исключаются (см. рис. 9, левая часть). Необходимо отметить, что при на-

личии обструкции гиперинфляция может наблюдаться при одновременном увеличении ОЕЛ, ООЛ и ФОЕ или же при увеличении только ФОЕ или ФОЕ и ООЛ. В первом случае увеличение ОЕЛ указывает на потерю эластичности легочной ткани, что, вероятно, связано с эмфиземой, тогда как во 2-м случае увеличение ФОЕ или ООЛ без увеличения ОЕЛ может наблюдаться при хроническом бронхите или бронхиальной астме. При наличии обструкции увеличение ООЛ и ООЛ / ОЕЛ свидетельствует о задержке воздуха в легких («воздушной ловушке»).

#### 6.2.2. Обструктивный тип вентиляционных нарушений

Основным методом диагностики обструктивных нарушений ВСЛ является спирометрия, поскольку обструкция ДП чаще всего проявляется снижением показателя  $ОФВ_1 / ФЖЕЛ$  при использовании набора должных значений ECCS или  $ОФВ_1 / ФЖЕЛ$  при использовании набора должных значений GLI и не всегда сопровождается увеличением легочных объемов. Роль БПГ в диагностике обструктивных нарушений вентиляции невелика, тем не менее в ряде случаев сужение ДП может проявляться повышением ООЛ (или ФОЕ) или его доли в структуре нормальной или повышенной ОЕЛ ( $ООЛ / ОЕЛ$  или  $ФОЕ / ОЕЛ$ ) без изменения показателей спирометрии.

При выраженной бронхиальной обструкции, особенно дистальных бронхов, происходит увеличение ОЕЛ. При увеличении ОЕЛ определяются также увеличение ООЛ и ФОЕ [26]. При выраженных обструктивных нарушениях также может снижаться ЖЕЛ за счет увеличения ООЛ.

Увеличение ООЛ часто встречается у пациентов с обструктивными заболеваниями легких, у которых из-за отека стенок бронхов, сокращения гладкой му-

скулатуры, воспалительной клеточной инфильтрации, снижения эластической отдачи легочной ткани увеличивается сопротивление ДП, что препятствует выходу воздуха из альвеол и способствует возникновению «воздушных ловушек» [28]. Таким образом, по результатам БПГ делать заключение о «воздушных ловушках» можно в том случае, если при наличии признаков бронхиальной обструкции увеличивается ООЛ и его доля в ОЕЛ, т. е. повышается показатель ООЛ / ОЕЛ. Нормальные данные спирометрии и увеличение ООЛ [29], а также сочетание увеличенного ООЛ с нормальным бронхиальным сопротивлением на выдохе [30] могут наблюдаться при изолированной обструкции мелких (< 2 мм в диаметре) воздухоносных путей [26].

Увеличение ФОЕ чаще всего обусловлено нарушением бронхиальной проходимости. Увеличение ФОЕ при наличии бронхиальной обструкции свидетельствует о статической гиперинфляции легких [28]. Одновременно с увеличением ФОЕ при гиперинфляции легких могут быть также увеличены и ООЛ, и ОЕЛ или только ООЛ.

Показатель  $E_{\text{вд.}}$  позволяет косвенно судить о величине ФОЕ: при гиперинфляции легких  $E_{\text{вд.}}$  / ОЕЛ снижается, при этом ОЕЛ остается в пределах нормы или увеличивается.

Измерение сопротивления ДП позволяет детализировать характер выявленных обструктивных нарушений. Величина  $R_{\text{aw}}$  в основном определяется величиной просвета центральных отделов ДП — их первых 8–10 генераций. При сопоставлении результатов спирометрии и БПГ можно определить вовлеченность различных отделов трахеобронхиального дерева в формирование обструктивных нарушений.

При дисфункции мелких ДП может наблюдаться только увеличение ООЛ и ООЛ / ОЕЛ [31].

Относительно небольшое число исследований посвящено определению должных значений  $R_{\text{aw}}$  у взрослых. Установлено, что в отличие от детей, у взрослых возраст не оказывает существенного влияния на величину  $R_{\text{aw}}$  [26, 32].

В качестве ВГН для мужчин и женщин выбрано значение, равное 0,30 кПа / л / с [33]. У детей по мере роста и увеличения размера легких  $R_{\text{aw}}$  снижается. Должные значения для детей были вычислены *M. Zapletal et al.* [21]. Сопоставление величин  $R_{\text{aw}}$  на вдохе и выдохе позволяет определить наличие экспираторного коллапса ДП — функционального признака эмфиземы легких. Экспираторный коллапс ДП диагностируется при значениях соотношения  $R_{\text{aw выд.}} / R_{\text{aw вд.}} \geq 2,5$  [34].

Помимо анализа величины показателя сопротивления, оценке подлежит и графическое представление соответствующего дыхательного маневра (петля  $sR_{\text{aw}}$ ). У здорового человека петли  $sR_{\text{aw}}$  узкие, практически вертикально расположенные, с небольшим наклоном к оси абсцисс (рис. 10А). Повышение бронхиального сопротивления проявляется увеличением наклона петель, а их форму определяет характер обструктивных нарушений (см. рис. 10В–F) [13].

Для стеноза внегрудных ДП характерна S-образная изогнутость узкой или немного расширенной петли  $sR_{\text{aw}}$  (см. рис. 10F).

Нелинейность формы петель в виде перекрестов, булавовидных расширений в области выдоха является функциональным признаком неравномерности вентиляции различных зон легких, связанной с формированием «воздушных ловушек» (см. рис. 10С–Е) [13].

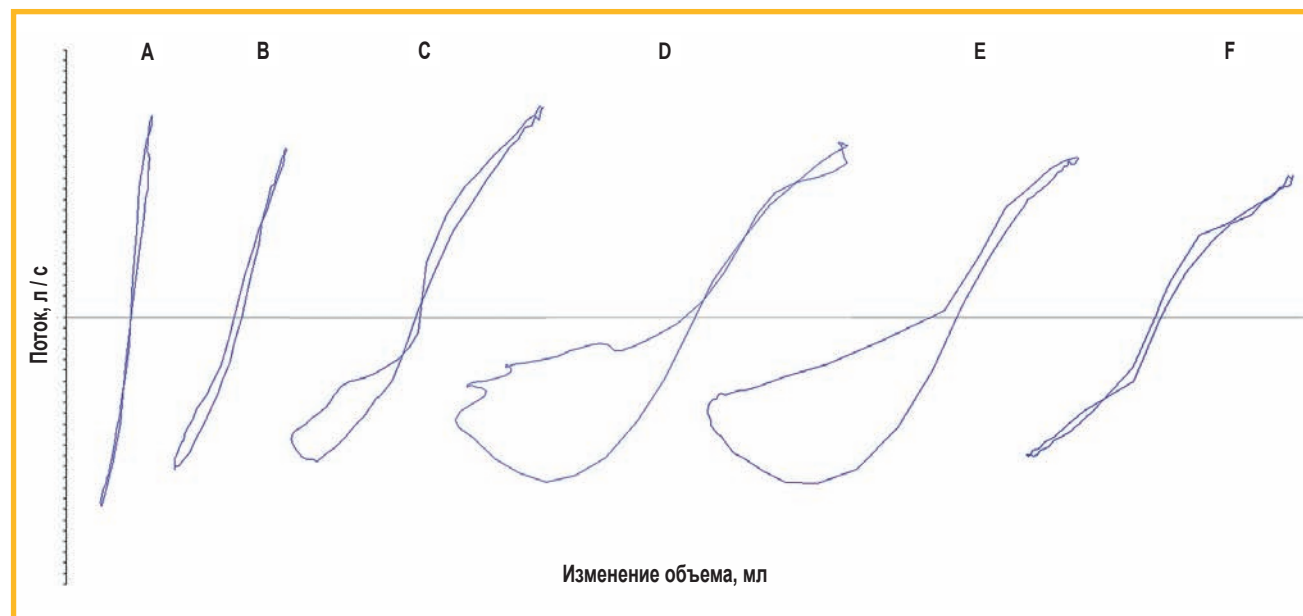


Рис. 10. Схематическое изображение петель специфического бронхиального сопротивления: А — в норме, при отсутствии бронхиальной обструкции; В — при легкой обструкции; С, D, Е — при выраженной обструкции с неравномерной вентиляцией различных зон легких; F — при фиксированной обструкции верхних дыхательных путей. Участок кривой выше оси абсцисс соответствует фазе вдоха, ниже оси абсцисс — фазе выдоха

Figure 10. Schematic representation of specific bronchial resistance loops: A — normal, in the absence of bronchial obstruction, B — with mild obstruction, C, D, E — with severe obstruction with uneven ventilation of different areas of the lungs, F — with fixed obstruction of the upper respiratory tract. The section of the curve above the abscissa axis corresponds to the inhalation phase, below the abscissa axis — to the exhalation phase.

Обструкция ДП, не сопровождающаяся неравномерностью вентиляции, проявляется только увеличением наклона петель  $sR_{aw}$  (см. рис. 10В). Наличие или отсутствие неравномерности вентиляции является важной характеристикой обструкции любого генеза; в наибольшей степени распределение вентиляции нарушается при разрушении эластического каркаса легких при эмфиземе, что проявляется наиболее заметным изменением формы петель  $sR_{aw}$  (см. рис. 10Д, Е).

### 6.2.3. Смешанный тип вентиляционных нарушений

Смешанный тип нарушений ВСЛ диагностируется в случаях, когда отклонения базовых диагностических показателей соответствуют критериям рестриктивного (ОЕЛ < НГН) и критериям обструктивного типа ( $ОФВ_1 / ФЖЕЛ < НГН$  при использовании набора

должных значений GLI или  $ОФВ_1 / ЖЕЛ < НГН$  при использовании набора должных значений ECCS). Данный тип нарушений обычно встречается при сочетании легочного паренхиматозного заболевания и внелегочного заболевания, например, при ХОБЛ и застойной сердечной недостаточности, ХОБЛ и кифосколиоза. При смешанном типе нарушений ВСЛ чувствительность  $ОФВ_1 / ЖЕЛ$  или ОЕЛ для идентификации обструкции и рестрикции снижается. Сочетание снижения ЖЕЛ,  $ОФВ_1 / ЖЕЛ$  (или  $ОФВ_1 / ФЖЕЛ$  в зависимости от используемого набора должных значений) и ОЕЛ свидетельствует о смешанном нарушении ВСЛ.

В табл. 5 представлены сводные данные о спирометрических характеристиках и характеристиках объема легких при БПГ при обструктивных, рестриктивных и смешанных нарушениях вентиляции [24].

**Таблица 5**  
**Типы вентиляционных нарушений, определяемые методом спирометрии и бодиплетизмографии**  
**Table 5**  
**Types of ventilation disorders identified by spirometry and body plethysmography**

| Нарушения ВСЛ       | Паттерн                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Обструктивные       | $ОФВ_1 / ФЖЕЛ < НГН$ при использовании набора должных значений GLI или $ОФВ_1 / ЖЕЛ < НГН$ при использовании набора должных значений ECCS                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                     | Снижение потока на низких объемах легких встречается при заболевании мелких ДП дыхательных путей [35–37]                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                     | Сочетанное снижение $ОФВ_1$ и $ФЖЕЛ$ наиболее часто наблюдается при недостаточном усилии обследуемого, но может встречаться как при обструктивных, так и при рестриктивных нарушениях ВСЛ; в подобных случаях рекомендуется измерение статических легочных объемов (англ. PRISM)                                                                                                                            |
|                     | Оценка абсолютных значений легочных объемов может помочь в диагностике гиперинфляции / «воздушных ловушек» [36]                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                     | Исследование бронхиального сопротивления способно улучшить качество диагностического заключения [14]                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Рестриктивные       | ОЕЛ < НГН                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                     | Снижение ЖЕЛ или $ФЖЕЛ < НГН$ не является критерием рестрикции, однако в этом случае есть высокая вероятность наличия рестриктивных нарушений вентиляции, особенно при отсутствии обструктивных нарушений ( $ОФВ_1 / ФЖЕЛ > НГН$ и $ОФВ_1 / ЖЕЛ > НГН$ в зависимости от используемого набора должных значений – см. выше) (при условии качественного выполнения проб ЖЕЛ и $ФЖЕЛ$ ). Необходимо оценить ОЕЛ |
|                     | Нормальное значение ЖЕЛ или $ФЖЕЛ$ в большинстве случаев исключает рестриктивные нарушения [25]                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                     | Сниженное значение $ФЖЕЛ$ и / или ЖЕЛ может встречаться при некачественном выполнении проб – преждевременном завершении маневров, а также при выраженных обструктивных нарушениях                                                                                                                                                                                                                           |
| Смешанные нарушения | ОЕЛ < НГН и наличие обструктивных нарушений ( $ОФВ_1 / ФЖЕЛ < НГН$ или $ОФВ_1 / ЖЕЛ < НГН$ в зависимости от используемого набора должных значений)                                                                                                                                                                                                                                                          |

Примечание: ВСЛ – вентиляционная способность легких;  $ОФВ_1$  – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду;  $ФЖЕЛ$  – форсированная жизненная емкость легких; НГН – нижняя граница нормы; ДП – дыхательные пути; GLI (Global Lung function Initiative) – система должных величин, разработанная экспертной группой Европейского респираторного общества по стандартизации легочных функциональных тестов; ЖЕЛ – жизненная емкость легких; ECCS (European Coal and Steel Community) – Европейское объединение угля и стали; ОЕЛ – общая емкость легких.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Приложение 1 Протокол бодиплетизмографии

Унификация оформления протокола каждого метода исследования функции системы дыхания позволяет повысить информативность и качество исследования, а также сделать возможным сопоставление результатов, полученных в разных лабораториях [6, 38]. Следует разделить требования к объему информации о каждом исследовании, доступном через ПО диагностической системы и таковым, содержащимся в версии для печати. Первый вариант должен содержать максимально пол-

ную информацию, 2-й – оптимизированный ее объем. По мере обновления аппаратуры единые требования к содержанию протоколов становятся обязательными, для старых приборов следует в максимально возможной степени обеспечить соответствие предлагаемым правилам. Далее представлен минимальный объем информации по каждому проведенному исследованию, который должно обеспечивать ПО современных систем:

#### Данные пациента

- Фамилия, имя, отчество
- Идентификационный номер (номер в базе данных лаборатории)
- Пол

- Дата рождения
- Возраст (годы) у детей — годы и месяцы
- Рост (см)
- Масса тела (кг)
- ИМТ (кг / м<sup>2</sup>)
- Популяция (этническая принадлежность)
- Статус курения
- Дата исследования
- Время исследования
- Диагноз / жалобы

#### Данные лаборатории

- Название медицинского учреждения, подразделения
- Идентификатор специалиста, проводившего исследование
- Модель диагностической системы
- Дата калибровки
- Время калибровки
- Температура воздуха (°C)
- Влажность воздуха (%)
- Атмосферное давление (мм рт. ст. или кПа)

#### Данные о каждом маневре измерения бронхиального сопротивления ФОЕ и ЖЕЛ

- Время начала маневра
- Для ФОЕ — приемлемость, неудовлетворительное качество измерения
- Для ЖЕЛ — приемлемость, неудовлетворительное качество измерения
- Для  $R_{aw}$  — приемлемость, неудовлетворительное качество измерения
- ОЕЛ (л)
- ООЛ (л)
- ООЛ / ОЕЛ (десятичная дробь, 2 знака после запятой)
- ФОЕ / ОЕЛ (десятичная дробь, 2 знака после запятой)
- $RO_{выд.}$  (л)
- $E_{вд.}$  (л)
- частота дыхания (в минуту)
- ДО (л)
- $R_{aw}$  (см вод. ст. / л / с или ед. СИ (кПа / л / с))
- $sG_{aw}$  (1 / (см вод. ст. × с) или ед. СИ 1 / (кПа × с))

#### Итоговые данные всех маневров измерения бронхиального сопротивления, ФОЕ и ЖЕЛ

- Графическое представление всех маневров в координатах «объем—время»
- Графическое представление измерения бронхиального сопротивления в координатах «поток—изменение объема»
- Графическое представление измерения ВГО в координатах «давление—изменение объема»
- ФОЕ (л)
- НГН и ВГН для ФОЕ (л)
- z-оценка для ФОЕ
- $\%_{долж.}$  для ФОЕ
- ЖЕЛ (л)
- НГН и ВГН для ЖЕЛ (л)
- z-оценка для ЖЕЛ

- $\%_{долж.}$  для ЖЕЛ
- ОЕЛ (л)
- НГН и ВГН для ОЕЛ (л)
- z-оценка для ОЕЛ
- $\%_{долж.}$  для ОЕЛ
- ООЛ (л)
- НГН и ВГН для ООЛ (л)
- z-оценка для ООЛ
- $\%_{долж.}$  для ООЛ
- ООЛ / ОЕЛ (десятичная дробь, 2 знака после запятой)
- НГН и ВГН для ООЛ / ОЕЛ (десятичная дробь, 2 знака после запятой)
- z-оценка для ООЛ / ОЕЛ
- $\%_{долж.}$  для ООЛ / ОЕЛ
- ФОЕ / ОЕЛ (десятичная дробь, 2 знака после запятой)
- НГН и ВГН для ФОЕ / ОЕЛ (десятичная дробь, 2 знака после запятой)
- z-оценка для ФОЕ / ОЕЛ
- $\%_{долж.}$  для ФОЕ / ОЕЛ
- $RO_{выд.}$  (л)
- НГН и ВГН для  $RO_{выд.}$  (л)
- z-оценка для  $RO_{выд.}$
- $\%_{долж.}$  для  $RO_{выд.}$
- $E_{вд.}$  (л)
- НГН и ВГН для  $E_{вд.}$  (л)
- z-оценка для  $E_{вд.}$
- $\%_{долж.}$  для  $E_{вд.}$
- $R_{aw}$  (см вод. ст. / л / с или единицы СИ)
- ВГН для  $R_{aw}$
- $sG_{aw}$  (1 / (см вод. ст. × с) или единицы СИ)

#### Комментарии оператора:

- критерии приемлемости и / или повторяемости не были достигнуты;
- пациент не смог выполнить все необходимые маневры из-за усталости;
- неудовлетворительная / недостаточная мотивация пациента;
- другие обстоятельства, повлиявшие на результаты БПГ.

#### Заключение

- Указываются система должных величин, на основании которой сделано заключение (если это не было отражено в результатах спирометрии) и способ оценки (процент к должной величине, НГН, z-оценка).
- Наличие или отсутствие рестриктивных нарушений.
- Наличие / отсутствие изменений ФОЕ, ОЕЛ, ЖЕЛ, ООЛ, ООЛ / ОЕЛ,  $RO_{выд.}$ ,  $E_{вд.}$ , бронхиального сопротивления.
- Подпись врача.

## Приложение 2 Клинические примеры

**Пациент 1.** Мужчина 43 лет европеоидной расы. Диагноз: ХОБЛ (недостаточность  $\alpha_1$ -антитрипсина).

Рост — 197 см, масса тела — 106,0 кг, ИМТ — 27 кг / м<sup>2</sup>.  
Не курит / не курил прежде. Результаты спирометрии  
представлены в табл. 1S и на рис. 1S, БПГ — в табл. 2S  
и на рис. 2S.

### Заключение

Референсные (должные) значения (GLI, 2012).  
Нарушение вентиляции легких по обструктивному  
типу крайне тяжелой степени. Снижение ФЖЕЛ.

**Таблица 1S**  
**Результаты спирометрии пациента 1**

**Table 1S**  
**Spirometry results for patient 1**

| Показатель                 | Значение |       |            |          |         |
|----------------------------|----------|-------|------------|----------|---------|
|                            | долж.*   | НГН   | полученное | z-оценка | % долж. |
| ФЖЕЛ, л                    | 6,62     | 5,24  | 2,90       | -4,49    | 44      |
| ОФВ <sub>1</sub> , л       | 5,17     | 4,09  | 0,97       | -5,76    | 19      |
| ОФВ <sub>1</sub> / ФЖЕЛ, % | 78,81    | 68,46 | 33,27      | -5,08    | 42      |

Примечание: НГН — нижняя граница нормы; ФЖЕЛ — форсированная жизненная емкость легких; ОФВ<sub>1</sub> — объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; GLI (Global Lung function Initiative) — система должных величин, разработанная экспертной группой Европейского респираторного общества по стандартизации легочных функциональных тестов; \* — должные значения согласно GLI (2012).

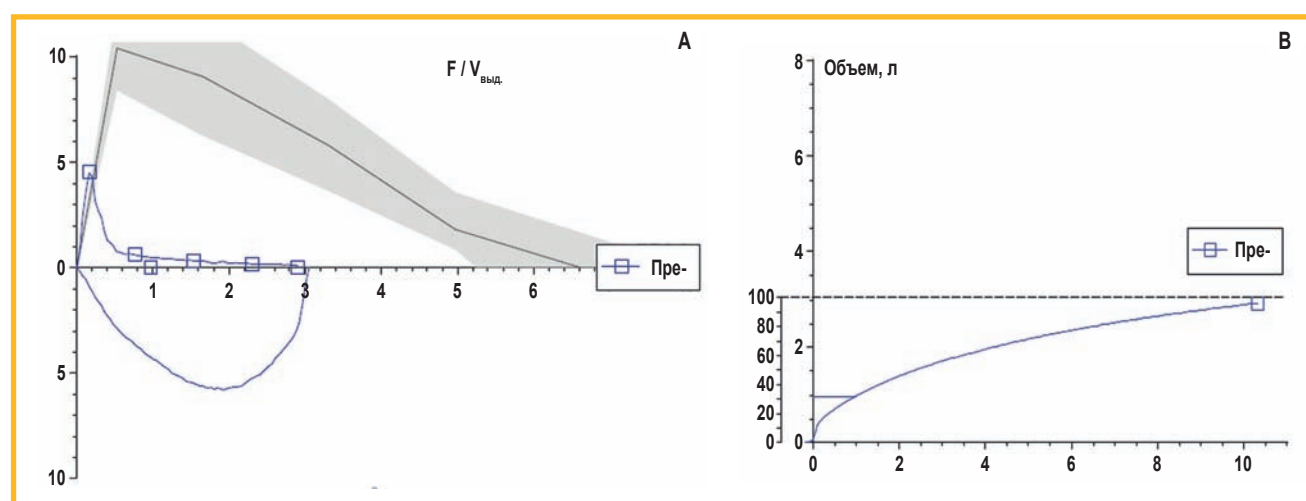


Рис. 1S. Форсированная спирометрия пациента 1: А — кривые форсированных выдоха и вдоха в координатах «поток—объем»; В — кривые форсированного выдоха в координатах «объем—время»

Примечание: синий цвет — данные пациента; черный цвет — должная кривая «поток—объем», серым выделен диапазон нормальных значений.

Figure 1S. Forced spirometry of patient 1: A — forced expiratory and inhalational curves in flow-volume coordinates; B — forced expiratory curves in volume-time coordinates

Note: blue color — patient data; black color — predicted flow-volume curve, gray color — normal range.

**Таблица 2S**  
**Результаты бодиплетизмографии пациента 1**

**Table 2S**  
**Results of body plethysmography of patient 1**

| Показатель                         | Значение |       |       |            |          |         |
|------------------------------------|----------|-------|-------|------------|----------|---------|
|                                    | долж.*   | НГН   | ВГН   | полученное | z-оценка | % долж. |
| ОЕЛ, л                             | 9,11     | 7,37  | 10,88 | 11,06      | 1,81     | 121     |
| ЖЕЛ, л                             | 6,99     | 5,60  | 8,42  | 3,33       | -4,46    | 48      |
| ФОЕ, л                             | 4,46     | 3,05  | 6,26  | 9,08       | 3,69     | 203     |
| ФОЕ / ОЕЛ, %                       |          |       |       | 82,15      |          |         |
| Е <sub>вд.</sub> , л               | 4,84     | 3,45  | 6,17  | 1,97       | -3,29    | 41      |
| РО <sub>выд.</sub> , л             | 2,20     | 0,96  | 3,88  | 1,35       | -1,06    | 61      |
| ООЛ, л                             | 2,16     | 1,22  | 3,30  | 7,73       | 6,49     | 358     |
| ООЛ / ОЕЛ, %                       | 23,14    | 14,32 | 32,44 | 69,91      | 7,76     | 302     |
| R <sub>ав общ.</sub> , кПа / л / с |          |       | 0,30  | 0,59       |          |         |

Примечание: ОЕЛ — общая емкость легких; ЖЕЛ — жизненная емкость легких; ФОЕ — функциональная остаточная емкость легких; Е<sub>вд.</sub> — емкость вдоха; РО<sub>выд.</sub> — резервный объем выдоха; ООЛ — остаточный объем легких; ОЕЛ — общая емкость легких; R<sub>ав общ.</sub> — общее сопротивление дыхательных путей; GLI (Global Lung function Initiative) — система должных величин, разработанная экспертной группой Европейского респираторного общества по стандартизации легочных функциональных тестов; \* — должные значения согласно GLI (2012).

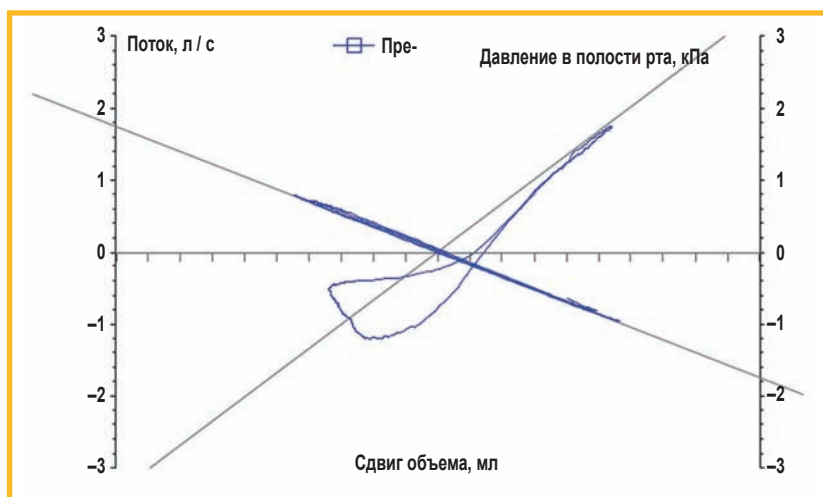


Рис. 2S. Бодиплетизмография пациента 1: петли специфического бронхиального сопротивления и внутригрудного объема

Figure 2S. Body plethysmography of patient 1: loops of specific bronchial resistance and intra-thoracic volume

### Заключение по бодиплетизмографии

Референсные (должные) значения (GLI, 2020).

ОЕЛ не снижена — данных за нарушение легочной вентиляции по рестриктивному типу не выявлено. ЖЕЛ снижена, отмечается увеличение ФОЕ, ФОЕ / ОЕЛ и ОЕЛ, снижение  $E_{\text{вд}}$  — гиперинфляция легких, также отмечается увеличение ООЛ и его доли в структуре ОЕЛ — наличие воздушных ловушек.  $PO_{\text{выд}}$  — в пределах нормы.

Увеличение бронхиального сопротивления.

**Пациент 2.** Женщина 57 лет европеоидной расы. Диагноз: идиопатический легочный фиброз. Рост — 174 см, масса тела — 85 кг, ИМТ — 28 кг / м<sup>2</sup>. Не курит / не курила прежде. Результаты спирометрии представлены в табл. 3S и на рис. 3S, БПГ — в табл. 4S и на рис. 4S.

### Заключение

Референсные (должные) значения (GLI, 2012).

Нарушение вентиляции легких тяжелой степени. Снижение ФЖЕЛ. Отношение  $ОФВ_1 / ФЖЕЛ$  не снижено. Данных за нарушение легочной вентиляции по обструктивному типу не выявлено.

Для уточнения типа нарушений ВСЛ рекомендуется измерение ОЕЛ.

### Заключение по бодиплетизмографии

Референсные (должные) значения (GLI, 2020).

Рестриктивные нарушения вентиляции легких: снижение ОЕЛ.

Статические легочные объемы и емкости снижены, за исключением ООЛ. Отмечается увеличение ООЛ в структуре ОЕЛ.

Увеличение бронхиального сопротивления.

*Комментарий. Увеличение отношения ООЛ / ОЕЛ при снижении ОЕЛ, ЖЕЛ и при нормальном значении  $ОФВ_1 / ФЖЕЛ$  указывает на ухудшение опустошения легких, что может быть связано с дисфункцией мелких ДП с «воздушными ловушками» при избыточной массе тела (ИМТ — 28 кг / м<sup>2</sup>). Увеличение бронхиального сопротивления, по-видимому, обусловлено снижением объема легких.*

**Пример 3.** Пациент: мужчина 56 лет европеоидной расы. Диагноз ХОБЛ, состояние после пульмонэктомии. Рост — 176 см, масса тела — 75 кг, ИМТ — 24 кг / м<sup>2</sup>. Не курит / не курил прежде. Результаты спирометрии представлены в табл. 5S и на рис. 5S, БПГ — в табл. 6S и на рис. 6S.

### Заключение

Референсные (должные) значения (GLI, 2012).

Нарушение вентиляции легких тяжелой степени.

Обструктивные нарушения вентиляции: снижение  $ОФВ_1 / ФЖЕЛ$ .

Снижение ФЖЕЛ.

Таблица 3S  
Результаты спирометрии пациента 2

Table 3S  
Spirometry results for patient 2

| Показатель                 | Значение |       |            |          |         |
|----------------------------|----------|-------|------------|----------|---------|
|                            | долж.*   | НГН   | полученное | z-оценка | % долж. |
| ФЖЕЛ, л                    | 3,78     | 2,89  | 1,46       | -4,50    | 39      |
| ОФВ <sub>1</sub> , л       | 2,96     | 2,26  | 1,23       | -3,89    | 42      |
| ОФВ <sub>1</sub> / ФЖЕЛ, % | 79,03    | 67,35 | 84,41      | 0,86     | 107     |

Примечание: НГН — нижняя граница нормы; ФЖЕЛ — форсированная жизненная емкость легких; ОФВ<sub>1</sub> — объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; GLI (Global Lung function Initiative) — система должных величин, разработанная экспертной группой Европейского респираторного общества по стандартизации легочных функциональных тестов; \* — должные значения согласно GLI (2012).

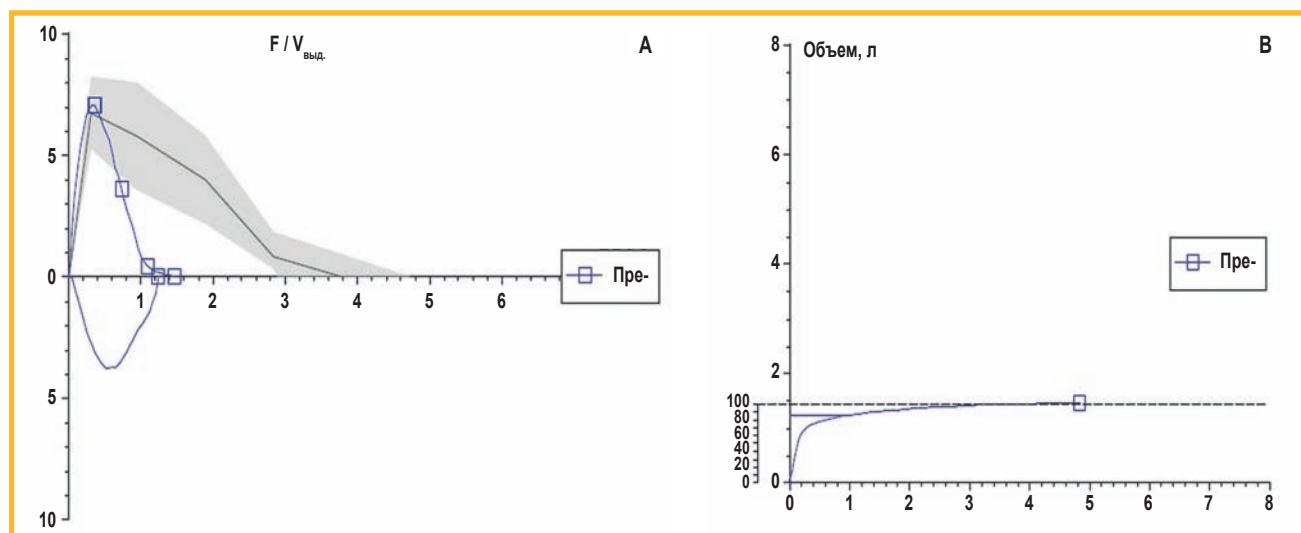


Рис. 3S. Форсированная спирометрия пациента 2: А – кривые форсированных выдоха и вдоха в координатах «поток–объем»; В – кривые форсированного выдоха в координатах «объем–время»

Примечание: синий цвет – данные пациента; черный цвет – должная кривая «поток–объем», серым выделен диапазон нормальных значений.

Figure 3S. Forced spirometry of patient 2: А – forced expiration and inhalation curves in flow-volume coordinates; В – forced expiration curves in volume-time coordinates

Note: blue color – patient data; black color – predicted flow-volume curve, gray color – normal range.

Таблица 4S  
Результаты бодиплетизмографии пациента 2

Table 4S  
Results of body plethysmography of patient 2

| Показатель                        | Значение |       |       |            |          |         |
|-----------------------------------|----------|-------|-------|------------|----------|---------|
|                                   | долж.*   | НГН   | ВГН   | полученное | z-оценка | % долж. |
| ОЕЛ, л                            | 5,97     | 4,84  | 7,23  | 3,24       | -4,39    | 54      |
| ЖЕЛ, л                            | 4,02     | 3,17  | 4,87  | 1,56       | -4,67    | 39      |
| ФОЕ, л                            | 3,22     | 2,29  | 4,40  | 1,92       | -2,43    | 60      |
| ФОЕ / ОЕЛ, %                      |          |       |       | 59,16      |          |         |
| Е <sub>вд</sub> , л               | 2,87     | 1,94  | 3,81  | 1,32       | -2,75    | 46      |
| РО <sub>выд</sub> , л             | 1,07     | 0,39  | 2,06  | 0,24       | -2,15    | 23      |
| ООЛ, л                            | 1,96     | 1,19  | 2,95  | 1,68       | -0,55    | 86      |
| ООЛ / ОЕЛ, %                      | 32,10    | 21,45 | 43,50 | 51,73      | 2,78     | 161     |
| R <sub>ав общ</sub> , кПа / л / с |          |       | 0,30  | 0,43       |          |         |

Примечание: НГН – нижняя граница нормы; ВГН – верхняя граница нормы; ОЕЛ – общая емкость легких; ЖЕЛ – жизненная емкость легких; ФОЕ – функциональная остаточная емкость легких; Е<sub>вд</sub> – емкость вдоха; РО<sub>выд</sub> – резервный объем выдоха; ООЛ – остаточный объем легких; R<sub>ав общ</sub> – общее сопротивление дыхательных путей; GLI (Global Lung function Initiative) – система должных величин, разработанная экспертной группой Европейского респираторного общества по стандартизации легочных функциональных тестов; \* – должные значения согласно GLI (2012).

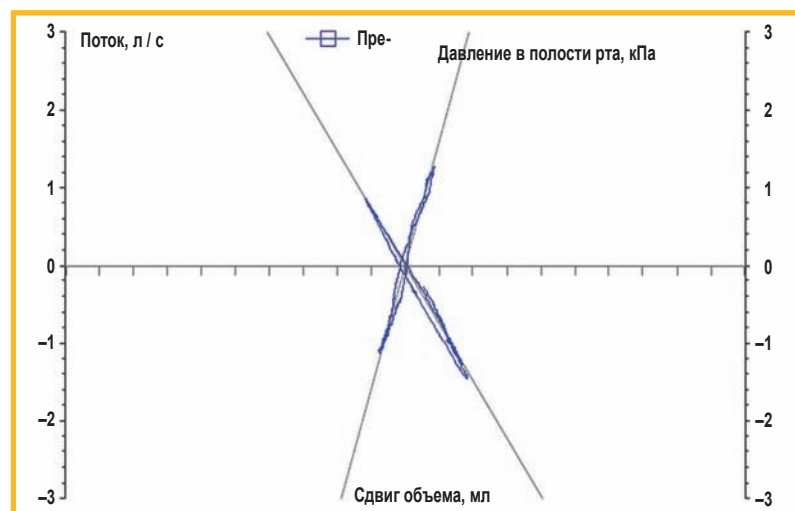


Рис. 4S. Бодиплетизмография пациента 2: петля специфического сопротивления и кривая внутригрудного объема

Figure 4S. Body plethysmography of patient 2: specific resistance loop and intrathoracic volume curve

Таблица 5S  
Результаты спирометрии пациента 3

Table 5S  
Spirometry results for patient 3

| Показатель                 | Значение |       |            |          |         |
|----------------------------|----------|-------|------------|----------|---------|
|                            | долж.*   | НГН   | полученное | z-оценка | % долж. |
| ФЖЕЛ, л                    | 4,64     | 3,57  | 2,21       | -3,77    | 48      |
| ОФВ <sub>1</sub> , л       | 3,62     | 2,76  | 1,31       | -4,14    | 36      |
| ОФВ <sub>1</sub> / ФЖЕЛ, % | 78,10    | 66,46 | 59,53      | -2,49    | 76      |

Примечание: НГН – нижняя граница нормы; ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких; ОФВ<sub>1</sub> – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; GLI (Global Lung function Initiative) – система должных величин, разработанная экспертной группой Европейского респираторного общества по стандартизации легочных функциональных тестов; \* – должные значения согласно GLI (2012).

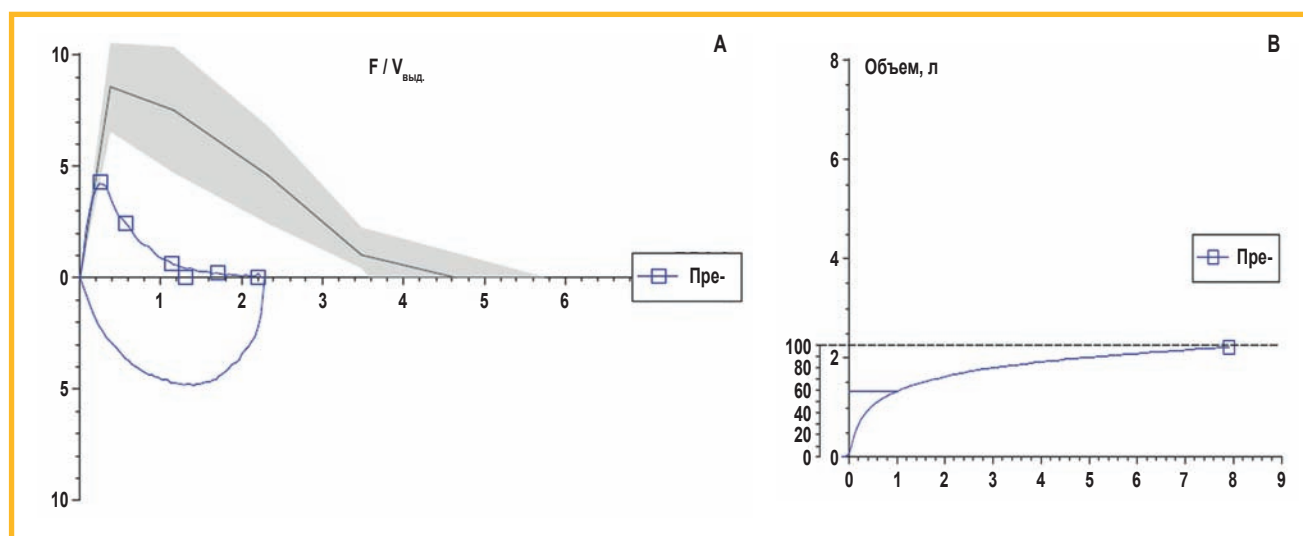


Рис. 5S. Форсированная спирометрия пациента 3: А – кривые форсированных выдоха и вдоха в координатах «поток–объем»; В – кривые форсированного выдоха в координатах «объем–время»

Примечание: синий цвет – данные пациента; черный цвет – должная кривая «поток–объем», серым выделен диапазон нормальных значений.

Figure 5S. Forced spirometry of patient 3: A – forced expiration and inhalation curves in flow-volume coordinates; B – forced expiration curves in volume-time coordinates

Note: blue color – patient data; black color – predicted flow-volume curve, gray color – normal range.

Таблица 6S  
Результаты бодиплетизмографии пациента 3

Table 6S  
Results of body plethysmography of patient 3

| Показатель                         | Значение |       |       |            |          |         |
|------------------------------------|----------|-------|-------|------------|----------|---------|
|                                    | долж.*   | НГН   | ВГН   | Полученное | z-оценка | % долж. |
| ОЕЛ, л                             | 7,05     | 5,68  | 8,45  | 3,99       | -3,70    | 57      |
| ЖЕЛ, л                             | 5,07     | 4,04  | 6,12  | 2,46       | -4,33    | 48      |
| ФОЕ, л                             | 3,49     | 2,40  | 4,86  | 2,38       | -1,69    | 68      |
| ФОЕ / ОЕЛ, %                       |          |       |       | 59,65      |          |         |
| Е <sub>вд.</sub> , л               | 3,65     | 2,57  | 4,69  | 1,61       | -3,04    | 44      |
| РО <sub>выд.</sub> , л             | 1,33     | 0,50  | 2,49  | 0,85       | -0,87    | 64      |
| ООЛ, л                             | 2,05     | 1,26  | 3,00  | 1,53       | -1,05    | 75      |
| ООЛ / ОЕЛ, %                       | 28,66    | 19,33 | 38,44 | 38,39      | 1,64     | 134     |
| R <sub>ав общ.</sub> , кПа / л / с |          |       | 0,30  | 0,54       |          |         |

Примечание: НГН – нижняя граница нормы; ВГН – верхняя граница нормы; ОЕЛ – общая емкость легких; ЖЕЛ – жизненная емкость легких; ФОЕ – функциональная остаточная емкость легких; Е<sub>вд.</sub> – емкость вдоха; РО<sub>выд.</sub> – резервный объем выдоха; ООЛ – остаточный объем легких; R<sub>ав общ.</sub> – общее сопротивление дыхательных путей; GLI (Global Lung function Initiative) – система должных величин, разработанная экспертной группой Европейского респираторного общества по стандартизации легочных функциональных тестов; \* – должные значения согласно GLI (2012).

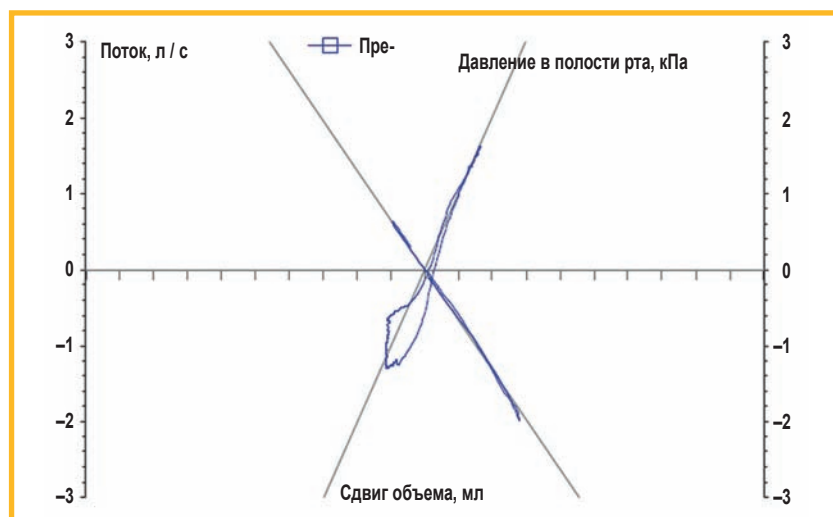


Рис. 6S. Бодиплетизмография пациента 3: петля специфического сопротивления и кривая внутригрудного объема  
Figure 6S. Body plethysmography of patient 3: specific resistance loop and intrathoracic volume curve

Для уточнения типа нарушений ВСЛ рекомендуется измерение ОЕЛ.

#### Заключение по бодиплетизмографии

Референсные (должные) значения (GLI, 2020).

Рестриктивные нарушения вентиляции легких: снижение ОЕЛ.

Снижение ЖЕЛ,  $E_{\text{вд}}$  и функциональной емкости легких.

Увеличение бронхиального сопротивления.

#### Список сокращений

БПГ – бодиплетизмография  
ВГН – верхняя граница нормы  
ВГО – внутригрудной объем газа  
ВДП – внегрудные дыхательные пути  
ВСЛ – вентиляционная способность легких  
ДО – дыхательный объем  
ДП – дыхательные пути  
 $E_{\text{вд}}$  – емкость вдоха, или инспираторная емкость легких  
ЖЕЛ – жизненная емкость легких  
 $\text{ЖЕЛ}_{\text{вд}}$  – жизненная емкость легких, измеренная на вдохе  
 $\text{ЖЕЛ}_{\text{выд}}$  – жизненная емкость легких, измеренная на выдохе  
ИЗЛ – интерстициальное заболевание легких  
ИМТ – индекс массы тела  
КТ – компьютерная томография  
НГН – нижняя граница нормы  
ОГК – органы грудной клетки  
ОЕЛ – общая емкость легких  
ООЛ – остаточный объем легких  
ОФВ<sub>1</sub> – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду  
ПО – программное обеспечение  
 $\text{РО}_{\text{выд}}$  – резервный объем выдоха  
РРО – Российское респираторное общество  
ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких  
ФОЕ – функциональная остаточная емкость легких  
 $\text{ФОЕ}_{\text{пл}}$  – функциональная остаточная емкость легких, измеренная методом бодиплетизмографии при расслабленном спокойном дыхании перед измерением ВГО

ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких  
 $\Delta V_{\text{к}}$  – изменение объема газа в кабине бодиплетизмографа

$\Delta V_{\text{л}}$  – изменение объема легких

$\Delta P_{\text{А}}$  – давление внутри альвеол

$\Delta P_{\text{рот}}$  – изменение ротового давления

ATPS (*Atmospheric (ambient) condition for Temperature and barometric Pressure, Saturated*) – параметры газа в помещении, где проводится исследование: температура, барометрическое (атмосферное) давление и влажность воздуха

ATS (*American Thoracic Society*) – Американское торакальное общество

BTPS (*Body condition for Temperature and barometric Pressure, Saturated*) – параметры газа в легких человека: температура тела (37 °C), барометрическое (атмосферное) давление и полное насыщение водяным паром

ECCS (*European Community for Coal and Steel*) – Европейское сообщество угля и стали

ERS (*European Respiratory Society*) – Европейское респираторное общество

GLI (*Global Lung function Initiative*) – система должных величин, разработанная экспертной группой ERS по стандартизации легочных функциональных тестов

P – давление

$P_{\text{А}}$  – альвеолярное давление

$P_{\text{атм}}$  – атмосферное давление

$P_{\text{к}}$  – давление в боди-камере

$P_{\text{H}_2\text{O}}$  – парциальное давление паров воды

$P_{\text{рот}}$  – давление в ротовой полости

$R_{\text{aw}}$  (*airway resistance*) – аэродинамическое бронхиальное сопротивление

$R_{\text{aw } 0,5}$  – бронхиальное сопротивление между инспираторным и экспираторным потоками, равными 0,5 л / с

$R_{\text{aw вд}}$  – бронхиальное сопротивление на вдохе

$R_{\text{aw выд}}$  – бронхиальное сопротивление на выдохе

$R_{\text{aw общ}}$  – общее бронхиальное сопротивление

$R_{\text{aw эфф}}$  – эффективное бронхиальное сопротивление

$R_{\text{ин}}$  – инерционное сопротивление

$R_{\text{фр}}$  – фрикционное сопротивление

$R_{\text{эл}}$  – эластическое сопротивление

SD (*standard deviation*) – стандартное отклонение

$sG_{aw}$  — специфическая бронхиальная проводимость  
 $sR_{aw}$  (*specific airway resistance*) — специфическое бронхиальное сопротивление  
 $sR_{aw 0,5}$  — специфическое сопротивление между потоками 0,5 л/с  
 $sR_{aw 0,5}$  — специфическое бронхиальное сопротивление между инспираторным и экспираторным потоками, равными 0,5 л/с  
 $sR_{aw общ.}$  — специфическое общее бронхиальное сопротивление  
 $sR_{aw эфф.}$  — специфическое эффективное бронхиальное сопротивление  
 $V$  — объем  
 $V'$  — скорость потока воздуха  
 $V_d$  — объем «мертвого» пространства прибора  
 $V_{t,occ}$  — разница между внутригрудным объемом легких в момент перекрытия заслонки и функциональной остаточной емкости (в зависимости от производителя: dVol, dVolVTG или *switch-in error* — ошибка заслонки)  
 $V_k$  — объем камеры  
 $z$ -оценка — число SD между измеренной величиной и должным значением (используется для оценки нормального диапазона и степени отклонения от должного значения)

## Литература

- Каменева М.Ю., Черняк А.В., Айсанов З.Р. и др. Спирометрия: методическое руководство по проведению исследования и интерпретации результатов. Межрегиональная общественная организация «Российское респираторное общество», Общероссийская общественная организация «Российская ассоциация специалистов функциональной диагностики», Общероссийская общественная организация «Российское научно-медицинское общество терапевтов». *Пульмонология*. 2023; 33 (3): 307–340. DOI: 10.18093/08690189-2023-33-3-307-340.
- Wanger J., Clausen J.L., Coates A. et al. Standardization of the measurement of lung volumes. *Eur. Respir. J.* 2005; 26 (3): 511–522. DOI: 10.1183/09031936.05.00035005.
- Bhakta N.R., McGowan A., Ramsey K.A. et al. European Respiratory Society/American Thoracic Society technical statement: standardisation of the measurement of lung volumes, 2023 update. *Eur. Respir. J.* 2023; 62 (4): 2201519. DOI: 10.1183/13993003.01519-2022.
- Каменева М.Ю. Исследование функции внешнего дыхания. В кн.: Илькович М.М., Кокосов А.Н., ред. Интерстициальные заболевания легких: руководство для врачей. СПб: Нордмедиздат; 2005: 50–58.
- Quanjer P.H., Pretto J.J., Brazzale D.J., Boros P.W. Grading the severity of airways obstruction: new wine in new bottles. *Eur. Respir. J.* 2014; 43 (2): 505–512. DOI: 10.1183/09031936.00086313.
- Graham B.L., Steenbruggen I., Miller M.R. 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): e70–88. DOI: 10.1164/rccm.201908-1590ST.
- Савушкина О.И., Черняк А.В., ред. Легочные функциональные тесты: от теории к практике. Руководство для врачей. М.: СТРОМ; 2017.
- DuBois A.B., Botelho S.Y., Comroe J.H. Jr. A new method for measuring airway resistance in man using a body plethysmograph: values in normal subjects and in patients with respiratory disease. *J. Clin. Invest.* 1956; 35 (3): 327–335. DOI: 10.1172/JCI103282.
- Quanjer P.H., Tammeling G.J., Cotes J.E. et al. Lung volumes and forced ventilatory flows. Report working party standardization of lung function tests, European Community for steel and coal. Official statement of the European Respiratory Society. *Eur. Respir. J. Suppl.* 1993; 6 (Suppl. 16): 5–40. DOI: 10.1183/09041950.005s1693.
- Islam M.S., Ulmer W.T. Diagnostic value of “closing volume” in comparison to “airway resistance–lung volume plot”. *Respiration*. 1974; 31 (6): 449–458. DOI: 10.1159/000193618.
- Matthys H., Orth U. Comparative measurements of airway resistance. *Respiration*. 1975; 32 (2): 121–134. DOI: 10.1159/000193642.
- Hantos Z., Galgoczy G., Daroczy B., Dombos K. Computation of the equivalent airway resistance: a comparison with routine evaluations of plethysmographic measurements. *Respiration*. 1978; 36 (2): 64–72. DOI: 10.1159/000193928.
- Goldman M.D., Smith H.J., Ulmer W.T. Whole-body plethysmography. In: Gosselink R., Stam H., eds. Lung function testing. 2005. Vol. 10: 15–43. Available at: [https://books.google.ru/books?id=-4k8I7cC-CFEC&pg=PA15&hl=ru&source=gbs\\_toc\\_r&cad=2#v=onepage&q&f=false](https://books.google.ru/books?id=-4k8I7cC-CFEC&pg=PA15&hl=ru&source=gbs_toc_r&cad=2#v=onepage&q&f=false)
- Kaminsky D.A. What does airway resistance tell us about lung function? *Respir. Care*. 2012; 57 (1): 85–96. DOI: 10.4187/respcare.01411.
- Briscoe W.A., Dubois A.B. The relationship between airway resistance, airway conductance and lung volume in subjects of different age and body size. *J. Clin. Invest.* 1958; 37 (9): 1279–1285. DOI: 10.1172/JCI103715.
- Casanova C., Cote C., de Torres J.P. et al. Inspiratory-to-total lung capacity ratio predicts mortality in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2005; 171 (6): 591–597. DOI: 10.1164/rccm.200407-867OC.
- Jones R.L., Nzekwu M.M. The effects of body mass index on lung volumes. *Chest*. 2006; 130 (3): 827–833. DOI: 10.1378/chest.130.3.827.
- Winck A.D., Heinzmann-Filho J.P., Soares R.B. et al. Effects of obesity on lung volume and capacity in children and adolescents: a systematic review. *Rev. Paul. Pediatr.* 2016; 34 (4): 510–517. DOI: 10.1016/j.rpped.2016.02.008.
- Tan E.K., Tan E.L. Alterations in physiology and anatomy during pregnancy. *Best Pract. Res. Clin. Obstet. Gynaecol.* 2013; 27 (6): 791–802. DOI: 10.1016/j.bpobgyn.2013.08.001.
- McAuliffe F., Kametas N., Costello J. et al. Respiratory function in singleton and twin pregnancy. *BJOG*. 2002; 109 (7): 765–769. DOI: 10.1111/j.1471-0528.2002.01515.x.
- Zapletal A., Samanek M., Paul T. Lung function in children and adolescents: methods, reference values. Basel: Thiir AG Offsetdruck; 1987. DOI: 10.1159/isbn.978-3-318-04125-5.
- Koopman M., Zanen P., Kruitwagen C.L. et al. Reference values for paediatric pulmonary function testing: The Utrecht dataset. *Respir. Med.* 2011; 105 (1): 15–23. DOI: 10.1016/j.rmed.2010.07.020.
- Hall G.L., Filipow N., Ruppel G. et al. Official ERS technical standard: Global Lung Function Initiative reference values for static lung volumes in individuals of European ancestry. *Eur. Respir. J.* 2021; 57 (3): 2000289. DOI: 10.1183/13993003.00289-2020.
- Stanojevic S., Kaminsky D.A., Miller M.R. et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. *Eur. Respir. J.* 2022; 60 (1): 2101499. DOI: 10.1183/13993003.01499-2021.
- Aaron S.D., Dales R.E., Cardinal P. How accurate is spirometry at predicting restrictive pulmonary impairment? *Chest*. 1999; 115 (3): 869–873. DOI: 10.1378/chest.115.3.869.
- Шик Л.Л., Канаев Н.Н., ред. Руководство по клинической физиологии дыхания. Л.: Медицина; 1980.
- Littleton S.W., Tulaimat A. The effects of obesity on lung volumes and oxygenation. *Respir. Med.* 2017; 124: 15–20. DOI: 10.1016/j.rmed.2017.01.004.
- Черняк А.В. Измерение легочных объемов. В кн.: Айсанов З.Р., Черняк А.В., ред. Функциональная диагностика в пульмонологии. М.: АТМО; 2016: 40–67.
- Воробьева З.В. Исследование вентиляционной функции легких. М.: Книга и бизнес; 2008.
- Кольцун С.С. Методы определения остаточного объема легких. *Функциональная диагностика*. 2003; (1): 65–76.
- Kraft M., Pak J., Martin R.J. et al. Distal lung dysfunction at night in nocturnal asthma. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2001. 163 (7): 1551–1556. DOI: 10.1164/ajrccm.163.7.2008013.
- Ulmer W.T., Nolte D., Lecheler J. Schaefer T. Die Lungenfunktion. Methodik und klinische Anwendung. Stuttgart: Thieme Verlag; 2001. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/285917278\\_Die\\_Lungenfunktion\\_Methodik\\_und\\_klinische\\_Anwendung](https://www.researchgate.net/publication/285917278_Die_Lungenfunktion_Methodik_und_klinische_Anwendung)
- Quanjer P. Standardized lung function testing. *Bull Eur. Physiopathol. Respir.* 1983; 19 (Suppl. 5): 33–38.

34. Каменева М.Ю., Тишков А.В., Трофимов В.И. Новые подходы к дифференциальной диагностике синдромов вентиляционных нарушений. *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. 2017; 65 (1): 8–15. DOI: 10.12737/article\_59aca3bd1aa8e8.39408462.
35. Bates D. Respiratory function in disease. Philadelphia: WB Saunders; 1989.
36. Pride N., Macklem P. Lung mechanics in Disease. In: Comprehensive Physiology. 2011; Suppl. 12. DOI: 10.1002/cphy.cp030337.
37. Wilson A. Pulmonary function testing, indications and interpretations. Orlando: Grune & Stratton; 1985.
38. Pellegrino R., Viegi G., Brusasco V. et al. Interpretative strategies for lung function tests. *Eur. Respir. J.* 2005; 26 (5): 948–968. DOI: 10.1183/09031936.05.00035205.
15. Briscoe W.A., Dubois A.B. The relationship between airway resistance, airway conductance and lung volume in subjects of different age and body size. *J. Clin. Invest.* 1958; 37 (9): 1279–1285. DOI: 10.1172/JCI103715.
16. Casanova C., Cote C., de Torres J.P. et al. Inspiratory-to-total lung capacity ratio predicts mortality in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2005; 171 (6): 591–597. DOI: 10.1164/rccm.200407-867OC.
17. Jones R.L., Nzekwu M.M. The effects of body mass index on lung volumes. *Chest.* 2006; 130 (3): 827–833. DOI: 10.1378/chest.130.3.827.
18. Winck A.D., Heinzmann-Filho J.P., Soares R.B. et al. Effects of obesity on lung volume and capacity in children and adolescents: a systematic review. *Rev. Paul. Pediatr.* 2016; 34 (4): 510–517. DOI: 10.1016/j.rpped.2016.02.008.
19. Tan E.K., Tan E.L. Alterations in physiology and anatomy during pregnancy. *Best Pract. Res. Clin. Obstet. Gynaecol.* 2013; 27 (6): 791–802. DOI: 10.1016/j.bpobgyn.2013.08.001.
20. McAuliffe F., Kametas N., Costello J. et al. Respiratory function in singleton and twin pregnancy. *BJOG.* 2002; 109 (7): 765–769. DOI: 10.1111/j.1471-0528.2002.01515.x.
21. Zapletal A., Samanek M., Paul T. Lung function in children and adolescents: methods, reference values. Basel: Thiir AG Offsetdruck; 1987. DOI: 10.1159/isbn.978-3-318-04125-5.
22. Koopman M., Zanen P., Kruitwagen C.L. et al. Reference values for paediatric pulmonary function testing: The Utrecht dataset. *Respir. Med.* 2011; 105 (1): 15–23. DOI: 10.1016/j.rmed.2010.07.020.
23. Hall G.L., Filipow N., Ruppel G. et al. Official ERS technical standard: Global Lung Function Initiative reference values for static lung volumes in individuals of European ancestry. *Eur. Respir. J.* 2021; 57 (3): 2000289. DOI: 10.1183/13993003.00289-2020.
24. Stanojevic S., Kaminsky D.A., Miller M.R. et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. *Eur. Respir. J.* 2022; 60 (1): 2101499. DOI: 10.1183/13993003.01499-2021.
25. Aaron S.D., Dales R.E., Cardinal P. How accurate is spirometry at predicting restrictive pulmonary impairment? *Chest.* 1999; 115 (3): 869–873. DOI: 10.1378/chest.115.3.869.
26. Shik L.L., Kanaev N.N., eds. [Handbook of clinical physiology of respiration]. Leningrad: Meditsina, 1980 (in Russian).
27. Littleton S.W., Tulaimat A. The effects of obesity on lung volumes and oxygenation. *Respir. Med.* 2017; 124: 15–20. DOI: 10.1016/j.rmed.2017.01.004.
28. Cherniak A.V. [Measurement of lung volumes]. In: Aisanov Z.R., Cherniak A.V., eds. [Functional diagnostics in pulmonology]. Moscow: ATMO; 2016: 40–67 (in Russian).
29. Vorobyova Z.V. [Study of the ventilation function of the lungs]. Moscow: Kniga i biznes; 2008 (in Russian).
30. Koltun S.S. [Methods for determining the residual volume of the lungs]. *Funktsional'naya diagnostika.* 2003; (1): 65–76 (in Russian).
31. Kraft M., Pak J., Martin R.J. et al. Distal lung dysfunction at night in nocturnal asthma. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2001. 163 (7): 1551–1556. DOI: 10.1164/ajrccm.163.7.2008013.
32. Ulmer W.T., Nolte D., Lecheler J. Schaefer T. Die Lungenfunktion. Methodik und klinische Anwendung. Stuttgart: Thieme Verlag; 2001. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/285917278\\_Die\\_Lungenfunktion\\_Methodik\\_und\\_klinische\\_Anwendung](https://www.researchgate.net/publication/285917278_Die_Lungenfunktion_Methodik_und_klinische_Anwendung)
33. Quanjer P. Standardized lung function testing. *Bull Eur. Physiopathol. Respir.* 1983; 19 (Suppl. 5): 33–38.
34. Kameneva M.Yu., Tishkov A.V., Trofimov V.I. [New approaches to differential diagnostics of ventilation disorder syndromes]. *Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya.* 2017; 65 (1): 8–15. DOI: 10.12737/article\_59aca3bd1aa8e8.39408462 (in Russian).
35. Bates D. Respiratory function in disease. Philadelphia: WB Saunders; 1989.
36. Pride N., Macklem P. Lung mechanics in Disease. In: Comprehensive Physiology. 2011; Suppl. 12. DOI: 10.1002/cphy.cp030337.
37. Wilson A. Pulmonary function testing, indications and interpretations. Orlando: Grune & Stratton; 1985.
38. Pellegrino R., Viegi G., Brusasco V. et al. Interpretative strategies for lung function tests. *Eur. Respir. J.* 2005; 26 (5): 948–968. DOI: 10.1183/09031936.05.00035205.

## References

1. Kameneva M.Yu., Cherniak A.V., Aisanov Z.R. et al. [Spirometry: national guidelines for the testing and interpretation of results. Interregional Public Organization “Russian Respiratory Society”, All-Russian Public Organization “Russian Association of Specialists in Functional Diagnostics”, All-Russian Public Organization “Russian Scientific Medical Society of Therapists”]. *Pul'monologiya.* 2023; 33 (3): 307–340. DOI: 10.18093/08690189-2023-33-3-307-340 (in Russian).
2. Wanger J., Clausen J.L., Coates A. et al. Standardization of the measurement of lung volumes. *Eur. Respir. J.* 2005; 26 (3): 511–522. DOI: 10.1183/09031936.05.00035005.
3. Bhakta N.R., McGowan A., Ramsey K.A. et al. European Respiratory Society/American Thoracic Society technical statement: standardisation of the measurement of lung volumes, 2023 update. *Eur. Respir. J.* 2023; 62 (4): 2201519. DOI: 10.1183/13993003.01519-2022.
4. Kameneva M.Yu. [Study of the function of external respiration]. In: Ilkovich M.M., Kokosov A.N., eds. [Interstitial lung diseases: a manual for doctors]. St. Petersburg: Nordmedizdat; 2005: 50–58 (in Russian).
5. Quanjer P.H., Pretto J.J., Brazzale D.J., Boros P.W. Grading the severity of airways obstruction: new wine in new bottles. *Eur. Respir. J.* 2014; 43 (2): 505–512. DOI: 10.1183/09031936.00086313.
6. Graham B.L., Steenbruggen I., Miller M.R. 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): e70–88. DOI: 10.1164/rccm.201908-1590ST.
7. Savushkina O.I., Chernyak A.V., eds. [Pulmonary function tests: from theory to practice. Manual for physicians]. Moscow: STROM; 2017 (in Russian).
8. DuBois A.B., Botelho S.Y., Comroe J.H. Jr. A new method for measuring airway resistance in man using a body plethysmograph: values in normal subjects and in patients with respiratory disease. *J. Clin. Invest.* 1956; 35 (3): 327–335. DOI: 10.1172/JCI103282.
9. Quanjer P.H., Tammeling G.J., Cotes J.E. et al. Lung volumes and forced ventilatory flows. Report working party standardization of lung function tests, European Community for steel and coal. Official statement of the European Respiratory Society. *Eur. Respir. J. Suppl.* 1993; 6 (Suppl. 16): 5–40. DOI: 10.1183/09041950.005s1693.
10. Islam M.S., Ulmer W.T. Diagnostic value of “closing volume” in comparison to “airway resistance-lung volume plot”. *Respiration.* 1974; 31 (6): 449–458. DOI: 10.1159/000193618.
11. Matthys H., Orth U. Comparative measurements of airway resistance. *Respiration.* 1975; 32 (2): 121–134. DOI: 10.1159/000193642.
12. Hantos Z., Galgoczy G., Daroczy B., Dombos K. Computation of the equivalent airway resistance: a comparison with routine evaluations of plethysmographic measurements. *Respiration.* 1978; 36 (2): 64–72. DOI: 10.1159/000193928.
13. Goldman M.D., Smith H.J., Ulmer W.T. Whole-body plethysmography. In: Gosselink R., Stam H., eds. Lung function testing. 2005. Vol. 10: 15–43. Available at: [https://books.google.ru/books?id=-4k8I7cC-CFEC&pg=PA15&hl=ru&source=gbs\\_toc\\_r&cad=2#v=onepage&q&f=false](https://books.google.ru/books?id=-4k8I7cC-CFEC&pg=PA15&hl=ru&source=gbs_toc_r&cad=2#v=onepage&q&f=false)
14. Kaminsky D.A. What does airway resistance tell us about lung function? *Respir. Care.* 2012; 57 (1): 85–96. DOI: 10.4187/respcare.01411.

## Информация об авторах / Authors Information

**Черняк Александр Владимирович** — к. м. н., заведующий лабораторией патофизиологии дыхания Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт пульмонологии» Федерального медико-биологического агентства; врач функциональной диагностики отделения функциональной и ультразвуковой диагностики Государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Городская клиническая больница имени Д.Д.Плетнева Департамента здравоохранения города Москвы»; врач функциональной диагностики отделения респираторной медицины Государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Городская клиническая больница имени С.С.Юдина Департамента здравоохранения города Москвы»; тел.: (495) 395-63-93; e-mail: achi2000@mail.ru (SPIN-код: 9328-6440; Author ID: 687383; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2001-5504>)

**Alexander V. Cherniak**, Candidate of Medicine, Head of Laboratory of Functional and Ultrasound Investigations, Federal State Budgetary Institution "Pulmonology Scientific Research Institute" under Federal Medical and Biological Agency of Russian Federation; Physician of Functional Diagnostics, Department of Functional and Ultrasound Diagnostics, State Budgetary Healthcare Institution D.D.Pletnev City Clinical Hospital, Healthcare Department of Moscow; Doctor of Functional Diagnostics of the Department of functional and ultrasound diagnostics, Moscow State Budgetary Healthcare Institution "Moscow City Hospital named after S.S.Yudin", Moscow Healthcare Department; tel.: (495) 395-63-93; e-mail: achi2000@mail.ru (SPIN-code: 9328-6440; Author ID: 687383; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2001-5504>)

**Чушкин Михаил Иванович** — д. м. н., ведущий научный сотрудник Центра диагностики и реабилитации заболевания органов дыхания Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации; тел.: (499) 785-90-48; e-mail: mchushkin@yandex.ru (SPIN-код: 2568-6781; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8263-8240>)

**Mikhail I. Chushkin**, Doctor of Medicine, Leading Researcher, Center for Diagnosis and Rehabilitation of Respiratory Diseases, Federal State Budgetary Scientific Institution "Central Research Institute of Tuberculosis", Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation; tel.: (499) 785-90-48; e-mail: mchushkin@yandex.ru (SPIN-code: 2568-6781; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8263-8240>)

**Айсанов Заурбек Рамазанович** — д. м. н., профессор, профессор кафедры пульмонологии факультета дополнительного профессионального образования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И.Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (495) 965-34-66; e-mail: aisanov@mail.ru (SPIN-код: 2723-6685; Author ID: 542371; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4044-674X>)

**Zaurbek R. Aisanov**, Doctor of Medicine, Professor, Professor, Department of Pulmonology, Faculty of Additional Professional Education, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "N.I.Pirogov Russian National Research Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation; tel.: (495) 965-34-66; e-mail: aisanov@mail.ru (SPIN-code: 2723-6685; Author ID: 542371; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4044-674X>)

**Авдеев Сергей Николаевич** — д. м. н., профессор, академик Российской академии наук; директор Национального медицинского исследовательского центра по профилю «Пульмонология»; руководитель клинического отдела Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт пульмонологии» Федерального медико-биологического агентства; заведующий кафедрой пульмонологии Института клинической медицины имени Н.В.Склифосовского Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М.Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет); главный внештатный пульмонолог Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (495) 708-35-76; e-mail: serg\_avdeev@list.ru (SPIN-код: 1645-5524; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5999-2150>)

**Sergey N. Avdeev**, Doctor of Medicine, Professor, Academician of Russian Academy of Sciences, Director of the National Medical Research Center for Pulmonology; Head of Clinical Department, Federal State Budgetary Institution "Pulmonology Scientific Research Institute" under Federal Medical and Biological Agency of Russian Federation; Chief Pulmonologist of the Ministry of Health of the Russian Federation; Head of the Department of Pulmonology, N.V.Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M.Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University); Chief Pulmonologist of the Ministry of Health of the Russian Federation; tel.: (495) 708-35-76; e-mail: serg\_avdeev@list.ru (SPIN-code: 1645-5524; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5999-2150>)

**Берестень Наталья Федоровна** — д. м. н., профессор; профессор кафедры клинической физиологии и функциональной диагностики Федерального

государственного бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации; ученый секретарь Государственного бюджетного учреждения здравоохранения Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф.Владимирского»; председатель Совета Общероссийской общественной организации «Российская ассоциация специалистов функциональной диагностики»; тел.: (916) 117-94-16; e-mail: nberesten@yandex.ru (SPIN-код: 4547-7137; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3583-6839>)

**Natalya F. Beresten**, Doctor of Medicine, Professor, Professor, Department of Clinical Physiology and Functional Diagnostics, Federal State Budgetary Educational Institution of Additional Professional Education "Russian Medical Academy of Continuous Professional Education" of the Ministry of Health of Russia; Scientific Secretary, State Budgetary Health Institution of the Moscow Region "Moscow Regional Research and Clinical Institute ("MONIKI")"; Chairman of the Council of the All-Russian Public Organization "Russian Association of Functional Diagnostics Specialists"; tel.: (916) 117-94-16; e-mail: nberesten@yandex.ru (SPIN-code: 4547-7137; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3583-6839>)

**Воробьев Андрей Валерьевич** — врач функциональной диагностики лаборатории электрофизиологии и нагрузочных тестов Научно-клинического центра № 1 Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научный центр хирургии имени академика Б.В.Петровского»; тел.: (499) 248-01-79; e-mail: vorobiov@list.ru

**Andrey V. Vorobyov**, Doctor of Functional Diagnostics, Laboratory of Electrophysiology and Stress Tests and Scientific and Clinical Center No.1, Federal State Budgetary Scientific Institution "Petrovsky National Research Centre of Surgery"; tel.: (499) 248-01-79; e-mail: vorobiov@list.ru

**Дубаков Алексей Владимирович** — к. м. н., врач функциональной диагностики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ассистент кафедры кардиологии факультета повышения квалификации и профессиональной переподготовки специалистов Научно-исследовательского института кардиологии — филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук»; тел.: (382) 255-69-09; e-mail: dubakov.av@ssmu.ru (Author ID: 315033; ORCID: <http://orcid.org/000-0001-9708-0075>)

**Alexey V. Dubakov**, Candidate of Medicine, Physician of Functional Diagnostics, Federal State Funded Educational Institution of Higher Education "Siberian State Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation; Assistant, Department of Cardiology, Faculty of Advanced Training and Professional Retraining of Specialists, Research Institute of Cardiology, Federal State Budgetary Scientific Institution "Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences"; tel.: (382) 255-69-09; e-mail: dubakov.av@ssmu.ru (Author ID: 315033; ORCID: <http://orcid.org/000-0001-9708-0075>)

**Калманова Елена Николаевна** — к. м. н., доцент, доцент кафедры госпитальной терапии института материнства и детства Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И.Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации заведующая отделением функциональной и ультразвуковой диагностики Государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Городская клиническая больница имени Д.Д.Плетнева Департамента здравоохранения города Москвы»; тел.: (495) 965-34-66; e-mail: kalmanova@mail.ru (SPIN-код: 7286-1538; Author ID: 581036; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8681-7569>)

**Elena N. Kalmanova**, Candidate of Medicine, Associate Professor, Assistant Professor, Department of Hospital Therapy, Institute of Maternity and Childhood, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "N.I.Pirogov Russian National Research Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation; Head of the Department of Functional and Ultrasound Diagnostics, State Budgetary Healthcare Institution D.D.Pletnev City Clinical Hospital, Healthcare Department of Moscow; tel.: (495) 965-34-66; e-mail: kalmanova@mail.ru (SPIN-code: 7286-1538; Author ID: 581036; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8681-7569>)

**Каменева Марина Юрьевна** — д. м. н. ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского института ревматологии и аллергологии Научно-клинического исследовательского центра, врач функциональной диагностики кабинета функциональной диагностики поликлиники с клинико-диагностическим центром клиники Научно-клинического образовательного центра Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (812) 338-60-78; e-mail: kmju@mail.ru (SPIN-код: 9810-9636; Author ID: 15686; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3832-8485>)

**Marina Yu. Kameneva**, Doctor of Medicine, Leading Researcher, Research Institute of Rheumatology and Allergology, Scientific and Clinical Research Center; Doctor of Functional Diagnostics in the Functional Diagnostics Room of the polyclinic with the clinical diagnostic center, Clinic of the Scientific and Clinical Research Center, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Pavlov First Saint Petersburg State Medical University", Ministry of Healthcare of Russian Federation; tel.: (812) 338-60-78; e-mail: kmju@mail.ru (SPIN-code: 9810-9636; Author ID: 15686; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3832-8485>)

**Кирюхина Лариса Дмитриевна** — к. м. н., заведующая отделением функциональной и ультразвуковой диагностики, ведущий научный сотрудник лаборатории патофизиологии дыхания Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт пульмонологии» Федерального медико-биологического агентства; ведущий научный сотрудник, руководитель научно-исследовательской лаборатории функциональных исследований Федерального государственного бюджетного учреждения «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт физиопульмонологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (495) 410-39-00; e-mail: kiryuhina\_larisa@mail.ru (SPIN-код: 7446-4116; Author ID: 342739; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6550-817X>)

**Larisa D. Kiryukhina**, Candidate of Medicine, Head of the Department of Functional and Ultrasound Diagnostics, Leading Researcher, Laboratory of Pathophysiology of Respiration, Federal State Budgetary Institution "Pulmonology Scientific Research Institute" under Federal Medical and Biological Agency of Russian Federation; Leading Researcher, Head of the Research Laboratory of Functional research, Russian Federation Healthcare Ministry Saint-Petersburg State Phthisiopulmonology Research Institute; tel.: (495) 410-39-00; e-mail: kiryuhina\_larisa@mail.ru (SPIN-code: 7446-4116; Author ID: 342739; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6550-817X>)

**Мустафина Малика Харисовна** — к. м. н., доцент кафедры кардиологии, функциональной и ультразвуковой диагностики Института клинической медицины имени Н.В.Склифосовского Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М.Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет); старший научный сотрудник лаборатории патофизиологии дыхания Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт пульмонологии» Федерального медико-биологического агентства России; тел.: (499) 248-34-77; e-mail: mustafina\_m\_kh@staff.sechenov.ru (SPIN-код: 6530-5830; Author ID: 687382; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0250-9949>)

**Malika Kh. Mustafina**, Candidate of Medicine, Associate Professor, Department of Cardiology, Functional and Ultrasound Diagnostics, N.V.Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M.Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University); Senior Researcher, Laboratory of Pathophysiology of Respiration, Federal State Budgetary Institution "Pulmonology Scientific Research Institute" under Federal Medical and Biological Agency of Russian Federation; tel.: (499) 248-34-77; e-mail: mustafina\_m\_kh@staff.sechenov.ru (SPIN-code: 6530-5830; Author ID: 687382; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0250-9949>)

**Перельман Юлий Михайлович** — д. м. н., профессор, член-корреспондент Российской академии наук, заместитель директора по научной работе, руководитель лаборатории функциональных методов исследования дыхательной системы Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации; тел.: (4162) 77-28-01; e-mail: jperelman@mail.ru (SPIN-код: 5043-7214; Author ID: 109047; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9411-7474>)

**Juliy M. Perelman**, Doctor of Medicine, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Research, Head of the Laboratory of Functional Methods for the Study of the Respiratory System, Federal State Budgetary Scientific Institution "Far Eastern Scientific Center for Physiology and Pathology of Respiration", Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation; tel.: (4162) 77-28-01; e-mail: jperelman@mail.ru (SPIN-code: 5043-7214; Author ID: 109047; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9411-7474>)

**Приходько Анна Григорьевна** — д. м. н., главный научный сотрудник лаборатории функциональных методов исследования дыхательной системы Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации; тел.: (962) 284-43-90; e-mail: dncfpd@dncfpd.ru (SPIN-код: 5732-4063; Author ID: 189495; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2847-7380>)

**Anna G. Prikhodko**, Doctor of Medicine, Chief Researcher, Laboratory of Functional Methods for the Study of the Respiratory System, Federal State Budgetary Scientific Institution "Far Eastern Scientific Center for Physiology and Pathology of Respiration", Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation; tel.: (962) 284-43-90; e-mail: dncfpd@dncfpd.ru (SPIN-code: 5732-4063; Author ID: 189495; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2847-7380>)

**Стручков Петр Владимирович** — д. м. н. профессор, заведующий кафедрой клинической физиологии и функциональной диагностики Академии постдипломного образования Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства»; заместитель заведующего отделением функциональной диагностики Федерального государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Клиническая больница № 85» Федерального медико-биологического агентства России; тел.: (499) 324-45-83; e-mail: struchkov57@mail.ru (SPIN-код: 6093-0782; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8203-5121>)

**Petr V. Struchkov**, Doctor of Medicine, Professor, Head of the Department of Clinical Physiology and Functional Diagnostics, Academy of Postgraduate Education, Federal State Budgetary Institution "Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Types of Medical Care and Medical Technologies under Federal Medical and Biological Agency of Russia"; Deputy Head of the Department of Functional Diagnostics, Federal State Budgetary Institution of Health Care "Clinical Hospital No.85", Federal Medical and Biological Agency of Russia; tel.: (499) 324-45-83; e-mail: struchkov57@mail.ru (SPIN-code: 6093-0782; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8203-5121>)

**Фурман Евгений Григорьевич** — д. м. н., профессор, член-корр. Российской академии наук, заведующий кафедрой факультетской и госпитальной педиатрии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А.Варгнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (342) 221-86-15; e-mail: furman1@yandex.ru (Scopus Author ID: 56652600500; Researcher ID: A-4562-2019; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1751-5532>)

**Evgeny G. Furman**, Doctor of Medicine, Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Faculty and Hospital Pediatrics, State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Training "Perm State Medical University named after Academician E.A.Wagner" of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; tel.: (342) 221-86-15; e-mail: furman1@yandex.ru (Scopus Author ID: 56652600500; Researcher ID: A-4562-2019; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1751-5532>)

**Хохлов Владимир Петрович** — д. м. н., заведующий отделом функциональной диагностики Областного государственного автономного учреждения здравоохранения «Иркутский областной клинический консультативно-диагностический центр»; профессор кафедры кардиологии и функциональной диагностики Иркутской государственной медицинской академии последипломного образования — филиала Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (83952) 46-03-18; e-mail: khokhlov@idc.ru (SPIN-код: 3460-8465; Author ID: 635074)

**Vladimir P. Khokhlov**, Doctor of Medicine, Head of the Functional Diagnostics Department, Regional State Autonomous Healthcare Institution "Irkutsk Regional Clinical Consultative and Diagnostic Center"; Professor, Cardiology and Functional Diagnostics Department, Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education — Branch Campus of the Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education "Russian Medical Academy of Continuing Professional Education", Healthcare Ministry of the Russian Federation; tel.: (83952) 46-03-18; e-mail: khokhlov@idc.ru (SPIN-code: 3460-8465; Author ID: 635074)