

УДК 531/534: [57+61]

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ВИНТОВОГО ПРОТИВОТОЧНОГО ДВИЖЕНИЯ ГАЗОВЫХ СРЕД ПРИ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ

**В.Н. Захаров¹, В.А. Орлов¹, С.В. Панов¹, К.Ю. Новокшанов², Л.А. Янушкевич³,
В.Г. Куликов³, А.Н. Бабко³**

¹ Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, 630090, Новосибирск, проспект академика Лаврентьева, 13/3

² Новосибирский государственный университет, Россия, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2

³ Центр новых медицинских технологий, Россия, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова 25/4, e-mail: lss@laser.nsc.ru

Аннотация. Представлены результаты клинко-экспериментальных исследований биомеханики дыхания. Впервые на человеке получена прямая визуализация движения разнородных газовых сред в воздухоносных каналах респираторной системы в период вдоха. Экспериментально доказано существование явления образования винтового противоточного движения газовых сред при вентиляции легких. Полученные результаты могут стать основой для разработки новых методов управляемого дыхания, а также специальных аппаратов, применяемых в анестезиологии, реаниматологии, интенсивной терапии и других областях клинической медицины.

Ключевые слова: биомеханика дыхания, видеофибробронхоскопия, оксигенация крови, визуализация движения разнородных газовых сред, винтовое противоточное движение газов, искусственная вентиляция легких.

ВВЕДЕНИЕ

Цель данной работы – клинко-экспериментальное подтверждение ранее выдвинутой авторами концепции винтового противоточного движения газовых сред при вентиляции легких [1, 2]. Причиной выдвижения новой концепции стали вскрытые противоречия в традиционных представлениях о движении газовых сред в респираторной системе. Согласно традиционным представлениям о биомеханике дыхания замещение газовых сред в непроточной системе вентиляции легких осуществляется за счет нерегулярного конвективного переноса. В этой модели вентиляции легких замена вдыхаемого свежего воздуха на отработанный выдыхаемый не может быть эффективной, а при малых объемах вдоха вообще не должна происходить. Однако в нормальных физиологических условиях процентные показатели содержания углекислого газа и кислорода в выдыхаемом объеме указывали на то, что газообмен осуществляется гораздо эффективнее, чем это следовало из известной модели. Идея винтовой противоточной вентиляции позволила разрешить указанные противоречия. Теоретически она не противоречила физическим законам аэродинамики. Об этом свидетельствовали опыты со спиральным оседанием табачного дыма в стеклянных цилиндрических трубках под действием силы тяжести. Кроме того, особенности организации структурных элементов трахеобронхиального дерева легких,

такие как правовинтовой гофрированный рельеф на внутренних стенках воздухоносных каналов и определенные соотношения площадей их поперечных ветвлений при дихотомическом ветвлении, обеспечивали необходимые условия существования противоточного винтового движения. Оно одновременно объединяет две газовые струи, спирально обвивающие друг друга, но имеющие противоположные скорости потока. Для неопровержимого доказательства справедливости новых представлений о механизме внешнего дыхания требовался решающий эксперимент, результатом которого являлись бы прямые наблюдения регулярного вихревого движения газовых сред в респираторной системе. До настоящего времени экспериментальные исследования по выявлению истинного движения газовых потоков при вентиляции легких не проводились. В статье приводятся описание методики и результаты клинических экспериментов, в которых осуществлена прямая визуализация движения газовых сред при естественной вентиляции легких.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Основой жизнедеятельности организма является обмен веществ, который совершается непрерывно. Продукты питания, содержащие белки, жиры и углеводы, поступают в кровь через систему пищеварения и доставляются клеткам, тканям и органам сердечно-сосудистой системой. В тканях и клетках организма происходит распад доставляемых веществ с выделением энергии, необходимой для жизнедеятельности. Белки, жиры и углеводы служат также пластическим материалом для новых клеток и тканей в процессе жизнедеятельности растущего и сформировавшегося организма. Все процессы жизнедеятельности могут реализовываться только тогда, когда кровь вместе с питательными веществами доставляет к тканям и клеткам кислород, который является обязательным элементом в обмене веществ. Без кислорода обмен веществ в организме прекращается. В процессе метаболизма в клетках и тканях организма образуется углекислый газ, который поступает в кровь и через легкие выдыхается во внешнюю среду.

Респираторная система условно делится на два отдела: воздухоносные пути и альвеолярное пространство. Воздухоносные пути (полости рта, носа, гортани, трахеи, главных бронхов, долевых бронхов, сегментарных бронхов, дольковых бронхов и бронхиол) служат для доставки и распределения дыхательного воздуха. Их называют анатомическим мертвым пространством, поскольку здесь не происходит газообмен. В воздухоносных путях осуществляется обогрев, увлажнение и очищение вдыхаемого воздуха. Разветвление бронхиального дерева заканчивается дыхательными бронхиолами и отходящими от них альвеолярными ходами, которые переходят в альвеолярные мешочки – альвеолы. Респираторные бронхиолы, альвеолярные ходы и альвеолярные мешочки с альвеолами объединяются в единую альвеолярную зону и образуют функционально-анатомические единицы легких – ацинусы, где происходит газообмен между воздухом, находящимся в альвеолах, и кровью капилляров, окружающих альвеолы. Объем мертвого пространства равен примерно 150 мл, а объем альвеолярного пространства 3000 мл. Бронхиол насчитывают около $25 \cdot 10^6$, альвеол $300 \cdot 10^6$. При максимальном вдохе внутренняя поверхность всех альвеол обоих легких равна около 250 м^2 . Альвеолы густо оплетены сетью капилляров. Стенки альвеол и стенки капилляров состоят из одного слоя клеток. Между альвеолярным воздухом и кровью в капиллярах расположено два слоя клеток, через которые происходит газообмен в легких [3–6].

Основные явления при изменении объема легких при дыхании были исследованы Галеном, Леонардо Да Винчи и Борелли (*Galen, Leonardo da Vinci*,

Borelli). Гамбургер (*Hamburger*, 1748) показал механизм изменения объема грудной клетки при сокращении межреберных мышц.

Дондерс (*Donders*, 1853) объяснил связь между плевральным давлением, эластичностью легких и положением диафрагмы. Эйнтховен (*Einthoven*, 1892) выяснил роль бронхиального сопротивления. Рорер (*Rohrer*, 1915, 1916, 1925) дал теоретический анализ процесса дыхания. Бернштейн (1926) ввел термин «биомеханика дыхания», который обозначает важный раздел физиологии. В середине XX века разработаны новые методы исследования внешнего дыхания, позволившие определять все основные параметры дыхательной системы человека. Эти методы получили широкое распространение не только в физиологии, но и в практической медицине при исследовании функции внешнего дыхания. Нарушение механических параметров внешнего дыхания имеет важнейшее диагностическое значение при различных заболеваниях легких и сердечно-сосудистой системы (Вотчал, 1949; Бибикова, 1949; Навратил, 1957 и др., Шик, 1958; Россер (*Rossier*), 1958; Комро (*Comroe*), 1959) [3].

Считалось, что результаты предшествующих исследований достаточны для разработки методов управляемого дыхания. Управляемое дыхание широко применяется в анестезиологии при осуществлении наркоза, в реаниматологии и интенсивной терапии, когда необходима искусственная вентиляция легких. Однако, как известно из медицинской практики, при искусственной вентиляции легких наблюдается большое количество опасных для жизни осложнений, происхождение которых оставалось неизвестным. Анализ развития этой области знания, проведенный авторами, показал, что до настоящего времени биомеханика вентиляции легких с позиций физических механизмов организации потоков газовых сред при дыхании изучена недостаточно. Вследствие определенных трудностей экспериментальные исследования по визуализации газовых потоков в каналах респираторной системы на живом объекте не проводились, и истинный характер движения газовых сред при дыхании не был известен. Таким образом, разработанные наркозные аппараты и аппараты искусственной вентиляции легких оказались неадекватны организму человека, поскольку не учитывались особенности природного физиологического движения газов в дыхательной системе.

КЛИНИКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ГАЗОВЫХ СРЕД ПРИ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ

Впервые на человеке получена визуализация движения разнородных газовых сред в период вдоха. Данный экспериментальный результат достигнут в клинических условиях при плановом обследовании трахеи и бронхов пациента с использованием фибробронхоскопа системы «*OLYMPUS*». Такая современная оптико-электронная техника, снабженная видеосистемой с компьютером для регистрации процесса в виде файла видеоизображения, позволила исследовать движение газовых сред при вентиляции легких, когда во вдыхаемый объем искусственно вводились мелкие взвешенные частицы, способные рассеивать свет. При этом сами частицы, будучи безвредными для организма, не должны нарушать физиологические условия дыхания. Это давало возможность визуально различать входящий поток от выходящего.

Перед исследованием ротовая полость и глотка пациента орошались 1 % раствором дикаина с целью анестезии. Фибробронхоскоп вводился в трахею. По ходу исследования при перемещении оптической части фибробронхоскопа по каналам трахеи и бронхов производилась киносъемка изображений их внутренней поверхности. На поверхности слизистой оболочки обнаружен гофрированный спиралевидный рельеф в виде винтовых направляющих с правой закруткой (рис. 1). Это подтверждало результаты предыдущих экспериментов авторов [2], в ходе которых при исследовании

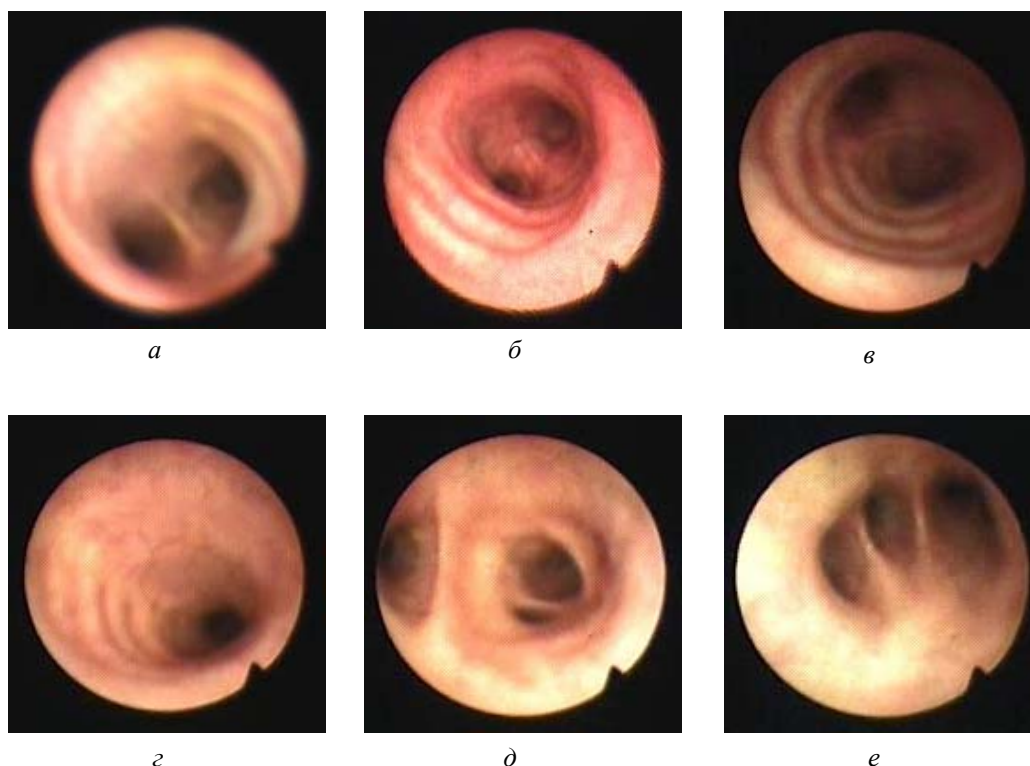


Рис. 1. Видеофибробронхоскопия: винтовой гофрированный рельеф на внутренней стенке трахеи (а, б, в); винтовой гофрированный рельеф на внутренней стенке главного бронха (з); деление левого и правого главных бронхов на долевые бронхи легких (д, е)

слепок-отпечатков каналов трахеобронхиального дерева был выявлен спиралевидный правовинтовой гофрированный рельеф. Такой анатомический признак и его функциональное значение выявлены впервые.

При исследовании биомеханики вентиляции легких пациент вдыхал табачный дым (пациент-курильщик). В экспериментах регистрировалось оптическое изображение траектории движения дыма по воздухоносным путям легких. Данная процедура повторялась на различных пациентах и при разных объемах вдыхаемого дыма. В случае малых объемов вдыхаемого дыма спиралевидное движение табачного дыма проявлялось более отчетливо. При таком движении входящей струи вытесняемый поток отработанного газа из дистальных отделов легких является также спиралевидным. При этом установлено строго правое (по часовой стрелке) направление вращения встречных потоков газовых сред по ходу их движения (рис. 2). Наблюдаемое течение газовых сред являлось не турбулентным, а ламинарным и регулярным, т.е. винтовым. Необходимо отметить, что входящий и выходящий потоки, двигаясь по своим спиралевидным траекториям, обвивая друг друга, не перемешиваются. Наблюдаемое явление используется живой природой для обеспечения эффективности газообмена при вентиляции легких.

Клинико-экспериментальными исследованиями биомеханики вентиляции легких достоверно доказано и обосновано существование явления образования винтового противоточного движения газовых сред при вентиляции легких. Выявленный физический механизм вентиляции легких коренным образом отличается от традиционно рассматриваемого.

При вентиляции легких обнаружено неизвестное ранее явление образования винтового противоточного движения газовых сред. Оно заключается в том, что при легочном дыхании во время вдоха в воздухоносных каналах легких возникает

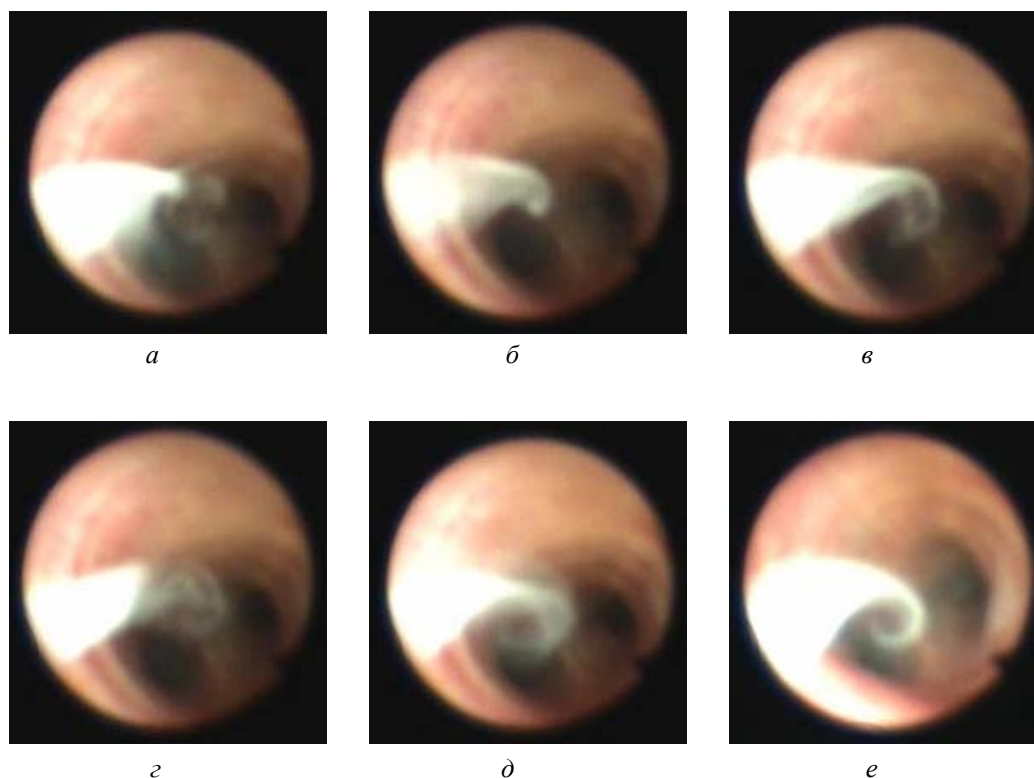


Рис. 2. Видеофибробронхоскопия: прямая визуализация винтового противоточного движения газовых сред в трахее при малых объемах вдыхаемого дыма; фазы винтового движения дыма с правым вращением в канале трахеи вблизи бифуркации на главные бронхи в динамике (а, б, в, г, д, е)

одновременно закрученное движение входящей и выходящей газовых смесей в виде равноценных обвивающих друг друга встречных винтовых потоков, обеспечивающее эффективное и оптимальное замещение в альвеолярном пространстве легких отработанной газовой смеси чистым воздухом, обусловленное структурно-функциональной организацией дыхания. Обнаруженное явление в биомеханике вентиляции легких имеет большое значение для жизнедеятельности человека и животных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Клинико-экспериментальными исследованиями доказано существование явления образования винтового противоточного движения газовых сред при вентиляции легких. Полученные результаты исследований биомеханики дыхания имеют научное и практическое значение при разработке новых методов управляемого дыхания, а также специальных аппаратов, применяемых в анестезиологии, реаниматологии, интенсивной терапии и в других областях клинической медицины. На основе обнаруженного явления авторами разработан и запатентован способ искусственной вентиляции легких и аппарат для его осуществления. Новая технология искусственной вентиляции легких воспроизводит природное физиологическое движение дыхательных газов в легких, обеспечивает оптимальность и эффективность газообмена, исключает различные патофизиологические процессы, нарушения и осложнения в организме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багаев, С.Н. Физические механизмы транспортных систем живого организма: препринт / С.Н. Багаев, В.Н. Захаров, В.А. Орлов // Российская академия наук. Сиб. отд-ие. Ин-т лазерной физики. – Новосибирск: ИПП «Офсет», 1999.
2. Захаров, В.Н. Явление образования винтового противоточного движения газовых сред при вентиляции легких / В.Н. Захаров, В.А. Орлов, К.Ю. Новокшанов // Российский журнал биомеханики. – 2006. – Том 10, № 3. – С. 9–21.
3. Физиология дыхания. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ие, 1972.
4. Физиология человека. Т. I / под ред. В.М. Покровского, Г.Ф. Коротько. – М.: Медицина, 1997.
5. Фундаментальная и клиническая физиология / под ред. А.Г. Камкина и А.А. Каменского. – М.: Издательский центр «Академия», 2004.
6. Шмидт, Р. Физиология человека. Т. 2 / Р. Шмидт, Г. Тевс – М.: Мир, 1996.

VISUALIZATION OF HELICAL COUNTERFLOW MOTION OF GAS MEDIA AT PULMONARY VENTILATION

V.N. Zakharov, V.A. Orlov, S.V. Panov, K.Yu. Novokshanov, L.A. Yanushkevich,
V.G. Kulikov, A.N. Babko (Novosibirsk, Russia)

The paper presents experimental data of pulmonary biomechanics obtained in clinics. The direct visualization of heterogeneous gas media motion in the human respiratory system is obtained for the first time. Helical countercurrent gas media motion during pulmonary ventilation experimentally is proved to exist. Obtained results can be utilized to develop the new control breathing methods and design the special devices adopted in anesthesiology, reanimatology, intensive therapy and the other fields of clinical medicine.

Key words: pulmonary ventilation biomechanics, video fiberoptic bronchoscopy, blood oxygenation, visualization of the motion of non-homogenous gas media, helical counterflow gas motion, artificial pulmonary ventilation.

Получено 06 мая 2008