

УДК 612.212:612.216.2]-07

## ВАРИАНТЫ РЕГИСТРАЦИИ МАКСИМАЛЬНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЛЕГКИХ, НАПРАВЛЕННОЙ НА ПРЕОДОЛЕНИЕ ВНУТРИЛЕГОЧНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Тетенев К.Ф., Бодрова Т.Н., Агеева Т.С., Карзилов А.И., Тетенев Ф.Ф.

*Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск*

### РЕЗЮМЕ

Представлены результаты исследования общего и эластического легочного гистерезиса у 21 здорового добровольца и 28 больных внебольничной пневмонией. Отрицательный эластический гистерезис находили у 14 здоровых и 18 больных внебольничной пневмонией. Впервые показано, что в условиях прерывания воздушного потока у четырех здоровых лиц и двух пациентов с пневмонией определялось извращение не только эластического, но и общего легочного гистерезиса. При пневмонии, несмотря на увеличение тканевого трения в результате генерализованного повышения альвеолярно-капиллярной проницаемости, извращение эластического и общего легочного гистерезиса встречается также часто, как и у здоровых лиц. Это можно объяснить усилением механической активности легких при пневмонии в качестве компенсаторной реакции в механической системе аппарата внешнего дыхания.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** общий гистерезис легких, отрицательный общий гистерезис легких, эластический гистерезис легких, отрицательный эластический гистерезис легких, механическая активность легких, способ измерения механической активности легких.

### Введение

Гистерезис, согласно законам классической механики, определяется как сдвиг фаз между действием силы на изучаемый предмет и результатом действия силы, т.е. гистерезис означает затрату работы на преодоление трения, поэтому фаза действия силы всегда опережает проявление результата действия этой силы. Действующей силой в механике дыхания является внутриплевральное давление, а изучаемым предметом – легкие. Опыт Ф. Дондерса с пассивной вентиляцией легких под колоколом, имитирующим грудную клетку, и с резиновой мембраной, имитирующей диафрагму, в качестве парадигмы вошел в представление о классической механике дыхания и в клиническую физиологию дыхания [1]. При этом в современной литературе не упоминается, что Ф. Дондерс проводил свой опыт с изолированными (мертвыми) легкими и что в механику дыхания при жизни должны быть внесены определенные поправки. Однако парадигма, имея свои собственные свойства, к сожалению, действует и в тот период, когда

в науке накопилось определенное количество фактов, не укладывающихся в эту парадигму [2] (в частности парадигму Ф. Дондерса), включая факты, представляющие фундаментальное противоречие дондерсовской теории и дающие основание для смены парадигмы.

Одним из наиболее важных парадоксальных явлений в биомеханике дыхания является извращение общего и эластического гистерезиса легких, т.е. появление гистерезиса с отрицательным знаком [3]. Это означает, что движения предмета связаны с действием источника силы, заключенного в самом предмете, и что изучаемые движения обусловлены, по крайней мере, действием двух сил: внешней силы и силы действия внутреннего источника механической энергии. Для физиологии дыхательных движений внешней силой является сила дыхательной мускулатуры. Внутренний источник механической энергии пока представляет собой загадку. Легочная паренхима – весьма тонкая структура, и гипотезы о вероятной функции гладкой мускулатуры в этом отношении не имеют поддержки официальной физиологии. Современный уровень развития клинической физиологии дыхания пока устраивает простая, привычная модель легких в виде пассивного эластического органа и бронхиального дерева с

✉ *Агеева Татьяна Сергеевна*, тел. 8-903-913-4516;  
e-mail: ts.ageeva@mail.ru

гладкой мускулатурой, которая способна сокращаться, повышая бронхиальное сопротивление, и расслабляться, способствуя расширению бронхов. При этом исследователей не интересует источник силы, который расширяет бронхи при расслаблении мышц и суживает их просвет [4]. Ранее уже было описано извращение дыхательной петли спонтанного дыхания [5]. Это явление встречалось сравнительно редко и расценивалось как артефакт. Тем не менее было достаточно оснований рассматривать извращение петли общего легочного гистерезиса проявлением повышения механической активности легких. Регистрация дыхательного объема проводилась с помощью механической системы регистрации, инерция которой хотя и могла увеличить гистерезис, но не уменьшить до такой степени, чтобы он стал отрицательным.

Цель исследования – изучить проявления отрицательного общего и отрицательного эластического гистерезиса у здоровых лиц и больных внебольничной пневмонией.

## Материал и методы

Проведено проспективное когортное исследование, когорта формировалась во время исследования, прослеживалась до его окончания. После подписания информированного согласия в исследование были включены 49 человек: 21 здоровый доброволец (средний возраст – 20 (19–20) лет) и 28 больных внебольничной пневмонией (средний возраст – 22 (21–25) года). Методика исследования заключалась в следующем: утром натощак исследуемому лицу специальный зонд с латексным баллоном на конце вводился через нос в нижнюю треть пищевода, при этом исследуемый дышал в пневмотахографическую трубку с прерывателем воздушного потока. Транспульмональное давление (разница между давлением в пищеводе и во рту) регистрировали одновременно с пневмотахограммой, которая интегрировалась в спирограмму с помощью многоканального самописца и специально оборудованного компьютера. Стандартизация методики состояла в том, что при регистрации транспульмонального давления и объема легких пациент делал вдох и выдох глубиной от 50 до 75% жизненной емкости легких, т.е. в пределах удобного для него свободного дыхания. Прерывания воздушного потока на 0,5 с осуществлялись стандартно – 3 раза на вдохе и 3 раза на выдохе. Эти условия были комфортными для пациента и удобными для контроля кривых давления и объема в процессе исследования. Предварительная тренировка такого дыхательного маневра не представляла сложности. При этом на спирограмме регистрировалось плато, а на пневмотахограмме – отсутствие воздушно-

го потока. На кривой транспульмонального давления регистрировались фигуры, отражающие величины альвеолярного давления соответственно на вдохе и выдохе. Минутный объем дыхания рассчитывали с учетом суммарного времени прерывания воздушного потока. По величинам динамического транспульмонального давления строилась петля общего легочного гистерезиса. Внутри петли откладывались величины альвеолярного давления, измеренного на вдохе и выдохе, соответственно, по три величины, и строилась петля эластического гистерезиса. Величины общего и эластического гистерезиса выражались в единицах работы дыхания (кгм/мин). При построении петель общего и эластического гистерезиса обращалось внимание на положение диаграммы давления/объема на вдохе. Если на вдохе она располагалась в зоне более низкого давления по сравнению с таковой на выдохе, гистерезис был положительным и не противоречил классическим законам механики. В тех случаях, когда диаграмма давления/объема на вдохе располагалась выше таковой на выдохе, гистерезис был извращенным и противоречил классическим законам механики. Противоречие состояло в том, что при извращении гистерезиса объем легких изменялся раньше по сравнению с изменением давления. Это означало, что дыхательные движения легких в случаях извращения гистерезиса осуществлялись внутрилегочным источником механической энергии, а изменения внутригрудного давления были дополнением к инспираторному или экспираторному действию внутрилегочного источника механической энергии.

Проявление отрицательного общего легочного гистерезиса было названо максимальной потенциальной механической активностью легких, хотя в условиях большей нагрузки на аппарат внешнего дыхания значения самостоятельной механической активности могли быть и большими. В момент прерывания воздушного потока механическая активность легких была направлена на сжатие газа на выдохе и на разряжение газа на вдохе. При этом нет изменения объема воздуха в легких, и, следовательно, не совершается работа. В связи с этим площадь отрицательного гистерезиса легких рассматривалась как потенциальная работа дыхания. На рис. 1 представлены кривые спирограммы и транспульмонального давления в условиях прерывания воздушного потока. В приведенном примере петля положительного общего легочного гистерезиса (рис. 2) не противоречит законам физики. Эластический же гистерезис в данном примере отрицательный, что противоречит законам физики. На рис. 3 представлены кривые спирограммы и транспульмонального давления в случае отрицательного и общего, и эластического гистерезиса (рис. 4).



Рис. 1. Фрагмент записи регистрации спирограммы (1) и транспульмонального давления (2) у больного внебольничной пневмонией

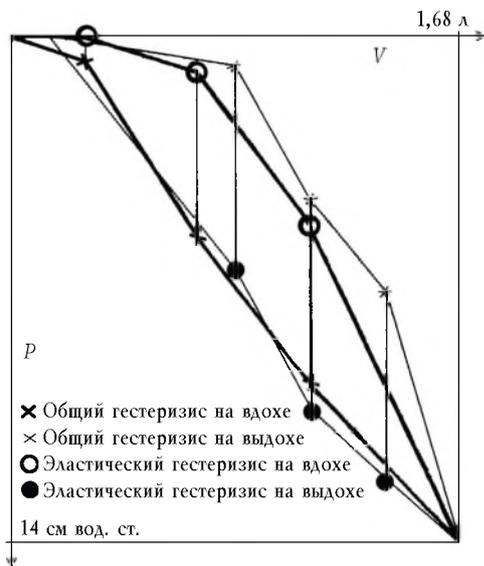


Рис. 2. Общий положительный гистерезис и эластический отрицательный гистерезис у больного внебольничной пневмонией по приведенным на рис. 1 кривым

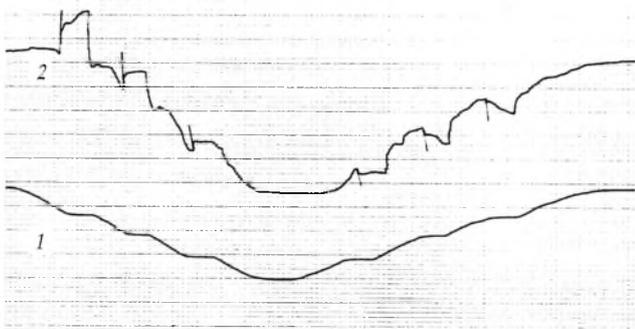


Рис. 3. Фрагмент записи регистрации спирограммы (1) и транспульмонального давления (2) у здорового человека

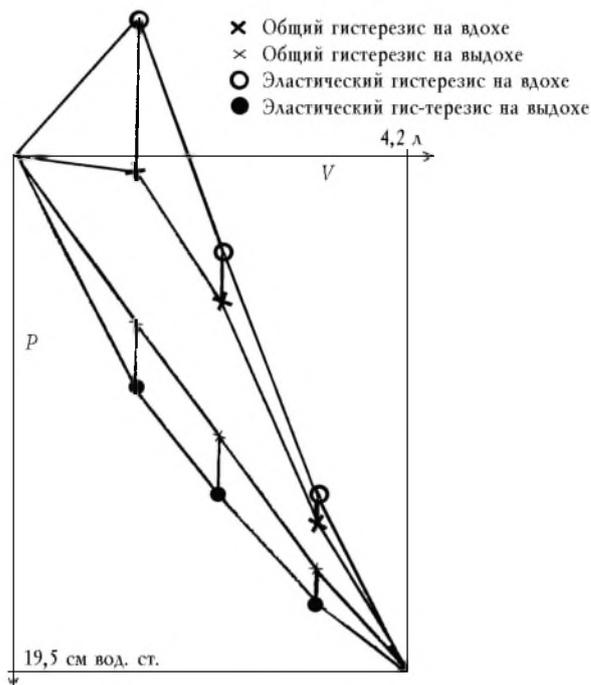


Рис. 4. Общий отрицательный гистерезис и эластический отрицательный гистерезис у здорового человека по приведенным на рис. 2 кривым

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.0 for Windows. Проверку на нормальность распределения признака проводили с помощью *W*-теста Шапиро-Уилка. Анализ включал расчет квартилей ( $Me$ ,  $Q_1-Q_2$ ) для ненормально и несимметрично распределенных параметров. Поскольку закон распределения большинства исследуемых числовых показателей отличался от нормального, достоверность различия признаков в независимых совокупностях данных определялась при помощи *U*-критерия Манна-Уитни. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез в исследовании задавался величиной 0,05.

Все проводимые исследования были одобрены этическим комитетом Сибирского государственного медицинского университета (г. Томск).

### Результаты и обсуждение

Результаты исследования представлены в таблице. В группах здоровых добровольцев и больных внебольничной пневмонией средние значения минутного объема дыхания (МОД), эластического гистерезиса легких (Гэл) и общего гистерезиса легких (ОГ) не отличались. Существенные различия регистрировались при анализе индивидуальных значений, особенно показателей, характеризующих эластический гистерезис и общий гистерезис легких.

Показатели механики дыхания у больных внебольничной пневмонией и здоровых добровольцев, прерывание 0,5 с ( $Me$ , ( $Q_1-Q_3$ ),  $p$ )

Показатель	Здоровые добровольцы (21 человек)	Больные внебольничной пневмонией (28 человек)	$p$
ДО, л	2,7 (2,4–3,3)	2,2 (1,7–2,9)	0,015
ЧДД	5,5 (4,6–6,2)	6,0 (4,8–6,9)	0,265
МОД, л/мин	15,00 (11,42–18,73)	12,03 (8,53–15,87)	0,096
Гэл	–0,03 (–0,079–0,012)	–0,111 (–0,193–0,032)	0,298
ОГ	0,067 (0,016–0,140)	0,112 (0,033–0,219)	0,100
ОРД, Дж/мин	0,457 (0,252–0,553)	0,453 (0,278–0,564)	0,739

Примечание. ДО – дыхательный объем; ЧДД – частота дыхательных движений;  $p$  – достигнутый уровень значимости различий.

Минутный объем дыхания у здоровых добровольцев при исследовании гистерезиса составлял в среднем 15,00 (11,42–18,73) л/мин. Эластический гистерезис варьировал от –0,477 до 0,399 и составлял в среднем –0,03 (–0,079–0,012) кгм/мин. У 14 исследованных он был отрицательным и у 7 – положительным. Общий легочный гистерезис у них варьировал от –0,202 до 0,946 и составлял в среднем 0,067 (0,016–0,140) кгм/мин, и у 4 исследованных лиц он был отрицательным.

У больных внебольничной пневмонией при среднем значении МОД 12,03 (8,53–15,87) л/мин, эластический гистерезис варьировал от –0,371 до 0,344 и составлял в среднем –0,111 (–0,193–0,032) кгм/мин. У 18 больных он был отрицательным и у 10 – положительным. Общий гистерезис варьировал от –0,031 до 1,282 и составлял в среднем 0,112 (0,033–0,219) кгм/мин, и у 2 больных он был отрицательным.

Таким образом, извращение эластического гистерезиса отмечалось у большинства здоровых добровольцев (14 человек) и больных пневмонией (18 пациентов). Положительный эластический гистерезис расценивался как затрата работы дыхания на преодоление тканевого трения. Отрицательный эластический гистерезис свидетельствовал о преодолении тканевого трения за счет работы внутрилегочного источника механической энергии. При пневмонии, несмотря на увеличение тканевого трения в результате генерализованного повышения альвеолярно-капиллярной проницаемости [6], извращение эластического и общего легочного гистерезиса в среднем встречалось также часто, как и у здоровых добровольцев, что, по-видимому, объясняется усилением механической активности легких при пневмонии в качестве компенсаторной реакции в ме-

ханической системе аппарата внешнего дыхания. Впервые было показано, что в условиях прерывания воздушного потока у четырех здоровых добровольцев и двух больных пневмонией определялось извращение не только эластического, но и общего легочного гистерезиса. Кроме того, отрицательная величина эластического гистерезиса соответствовала величине потенциальной работы внутрилегочного источника механической энергии по преодолению сопротивления клапана, прерывающего воздушный поток. По величине отрицательного эластического гистерезиса в описанных условиях было предложено оценивать максимальную потенциальную работу внутрилегочного источника механической энергии по преодолению общего неэластического сопротивления [7].

## Заключение

Отрицательный общий легочный гистерезис определялся только у отдельных исследованных лиц, однако сам факт наблюдения этого явления указывает на реальность выраженной способности легких к самостоятельному участию в механизме дыхательных движений. Отрицательный общий гистерезис свидетельствует о крайней степени выраженности механической активности легких. В то же время это дополнительный парадоксальный факт, который фундаментально противоречит парадигме Ф. Дондерса и может быть зарегистрирован с помощью описанной методики.

## Литература

1. Тетнев Ф.Ф. Обструктивная теория нарушения внешнего дыхания. Состояние, перспективы развития // Бюл. сиб. медицины. 2005. Т. 4, № 4. С. 14–26.
2. Кун Т. Структура научных революций: пер. с англ. М., 1975. 283 с.
3. Тетнев Ф.Ф. Обоснование к новому пониманию физиологии механических движений внутренних органов // Бюл. сиб. медицины. 2012. Т. 11, № 4. С. 86–92.
4. Тетнев Ф.Ф. Для чего необходимо исследовать механику диастолы сердца, пульсовой волны и расширения внутренних органов, не имеющих скелета // Сиб. мед. журн. 2013. Т. 28, № 1. С. 117–123.
5. Тетнев Ф.Ф. Биомеханика дыхания. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1981. 152 с.
6. Агеева Т.С., Тетнев Ф.Ф., Кривоногов Н.Г., Дубоделова А.В., Левченко А.А., Ларченко В.В. Характеристика и природа изменения тканевого неэластического сопротивления по регионам легких при внебольничной пневмонии // Сиб. мед. журн. (Томск). 2011. Т. 26, № 4. С. 75–79.
7. Пат. № 2432901 Россия. Способ определения максимальной работы внутрилегочного источника механической активности / Тетнев Ф.Ф., Тетнев К.Ф., Бодрова Т.Н., Агеева Т.С., Левченко А.В., Дип А.Ю., Ларченко В.В., Карзилов А.И., Комалов М.Н. // Бюл. отк. и изобр., 2011. № 31. 7 с.

Поступила в редакцию 29.08.2014 г.

Утверждена к печати 09.10.2014 г.

Тетенев Константин Федорович – канд. мед. наук, доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней СибГМУ (г. Томск).

Бодрова Тамара Николаевна – д-р мед. наук, профессор, профессор кафедры пропедевтики внутренних болезней СибГМУ (г. Томск).

Агеева Татьяна Сергеевна (✉) – д-р мед. наук, профессор, профессор кафедры пропедевтики внутренних болезней СибГМУ (г. Томск).

Карзилов Александр Иванович – д-р мед. наук, доцент, профессор кафедры пропедевтики внутренних болезней СибГМУ (г. Томск).

Тетенев Федор Федорович – д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой пропедевтики внутренних болезней СибГМУ (г. Томск).

✉ Агеева Татьяна Сергеевна, тел. 8-903-913-4516; e-mail: ts.ageeva@mail.ru

## OPTIONS FOR REGISTRATION OF THE LUNGS MAXIMUM MECHANICAL ACTIVITY, WHICH IS AIMED AT OVERCOMING INTERNAL-LUNG RESISTANCE

Tetenev K.F., Bodrova T.N., Ageeva T.S., Karzilov A.I., Tetenev F.F.

*Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation*

### ABSTRACT

The paper presents the results of assessing general and elastic lung hysteresis in 21 healthy volunteers and 28 patients with community-acquired pneumonia. Negative elastic hysteresis was detected in 14 healthy volunteers and 18 patients with community-acquired pneumonia. For the first time ever, it was demonstrated that, under the conditions of an interrupted air flow, 4 healthy volunteers and 2 patients with community-acquired pneumonia were characterized with the inversion of not only elastic but also general lung hysteresis. In case of pneumonia, despite the increase in tissue friction resulting from the generalized escalation of the alveolar-capillary permeability, the inversion of both elastic and general lung hysteresis takes place as often as in healthy people. It can be explained with the intensification of the mechanical activity of the lungs as a compensatory reaction in the mechanical system of the external respiration organs in case of pneumonia.

**KEY WORDS:** general lung hysteresis, negative general lung hysteresis, elastic lung hysteresis, negative elastic lung hysteresis, mechanical activity of lungs, method of measuring mechanical lung activity.

*Bulletin of Siberian Medicine*, 2014, vol. 13, no. 5, pp. 102–106

### References

1. Tetenev F.F. Obstructive theory of disturbed external breathing. State of the art, perspectives of the development *Byulleten sibirskoy meditsiny – Bulletin of Siberian Medicine*, 2005, vol. 4, no 4, pp. 14–26 (in Russian).
2. Kun T. *Struktura nauchnyh revoljucij*. Per. s angl. Moskva, 1975. 283 p. (in Russian).
3. Tetenev F.F. Rationale for new understanding of physiology of mechanical movement of internal organs. *Byulleten sibirskoy meditsiny – Bulletin of Siberian Medicine*, 2012, vol. 11, no 4, pp. 86–92 (in Russian).
4. Tetenev F.F. *Sibirskij medicinskij zhurnal – Siberian Medical Journal (Tomsk)*, 2013, vol. 28, no 1, pp. 117–123 (in Russian).
5. Tetenev F.F. *Biomehanika dyhaniya* [Breathing biomechanics]. Tomsk, Tomsk State University Publ., 1981. 152 p. (in Russian).
6. Ageyeva T.S., Tetenev F.F., Krivonogov N.G., Dubodolova A.V., Levchenko A.A., Larchenko V.V. *Sibirskij medicinskij zhurnal – Siberian Medical Journal (Tomsk)*, 2011, vol. 26, no 4, pp. 75–79 (in Russian).
7. Tetenev F.F., Tetenev K.F., Bodrova T.N., Ageyeva T.S., Levchenko A.V., Dish A.Yu., Larchenko V.V., Karzilov A.I., Komalov M.N. Pat. no. 2432901 Rossiya. Sposob opredelenija maksimal'noj raboty vnutrilegochnogo istochnika mehanicheskoj aktivnosti [The method of determining of the maximum intra-lungs work source mechanical activity]. *Byulleten' otkrytij i izobretenij.*, 2011, no 31. 7 p. (in Russian).

Tetenev Konstantin F., Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation.

Bodrova Tamara N., Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation.

Ageeva Tat'jana S. (✉), Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation.

Karzilov Alexander I., Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation.

Tetenev Fedor F., Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation.

✉ Ageeva Tat'jana S., Ph. +7-903-913-45-16; e-mail: ts.ageeva@mail.ru