

М.Г. Чеченин, В.В. Ломиворотов, А.Н. Полукаров*, Т.И. Борщикова*

Диагностика нарушений оксигенации и торакопульмональной рестрикции во время респираторной поддержки с позиций нормальной и патологической физиологии

ФГБУ «ННИИПК
им. акад. Е.Н. Мешалкина»
Минздрава России,
630055, Новосибирск,
ул. Речкуновская, 15,
journal@meshalkin.ru
* МБЛПУ «Зональный
перинатальный центр
г. Новокузнецка» Минздрава
России, 654041, Новокузнецк,
ул. Сеченова, 26

УДК 615.816.2:616.24-008.4
БАК 14.01.20

Поступила в редколлегию
6 мая 2013 г.

© М.Г. Чеченин,
В.В. Ломиворотов,
А.Н. Полукаров,
Т.И. Борщикова, 2013

Цель – разработать обоснованные с позиций нормальной и патологической физиологии методы диагностики нарушений оксигенации и торакопульмональной рестрикции во время респираторной поддержки и оценить их эффективность. Обследовано 206 пациентов, получающих длительную респираторную поддержку. Разработан способ диагностики нарушений оксигенации в процессе искусственной вентиляции легких, позволяющий в 1,4 раза чаще диагностировать нарушение оксигенации, чем по шкале повреждения легких Мюррея. Разработан способ диагностики торакопульмональной рестрикции, имеющий в 1,9 раза большую чувствительность и в 4,4 раза большую специфичность, чем шкала повреждения легких Мюррея. Предложены новая модификация шкалы острого повреждения легких и калькулятор функции внешнего дыхания. Ключевые слова: мониторинг дыхания; механическая вентиляция; острое повреждение легких; оксигенация; торакопульмональная рестрикция.

Оценка функций системы внешнего дыхания при подборе параметров механической вентиляции легких такой же естественный процесс, как оценка зрения при подборе очков. Важнейшими инструментами дыхательного мониторинга во время искусственной вентиляции легких (ИВЛ) являются мониторинг оксигенации и торакопульмональной растяжимости, входящие наряду с рентгенографией легких и уровнем положительного давления в конце выдоха (ПДКВ) в шкалу повреждения легких (lung injury score, LIS) Мюррея (1988) [1].

И если включение данных рентгенографии и уровня ПДКВ в шкалу LIS по ряду обоснованных причин подвергается сомнению, то показатели оксигенации и рестрикции легких – грудной клетки ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$) и торакопульмональная растяжимость (комплаинс, C) неизменно признаются необходимыми компонентами LIS [2].

Наиболее популярен показатель $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$, который позволяет выделять из острого повреждения легких (ОПЛ) острый респираторный дистресс-синдром (ОРДС) [3].

Методика оценки $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ и C с помощью шкалы LIS крайне проста, не имеет альтернативы, однако массово не используется. Причины, на наш взгляд, следующие:

1. Шкала LIS Мюррея не связана с нормальной физиологией дыхания. Не учитываются индивидуальные антропометрические особенности пациента (пол, возраст, рост, вес, телосложение) и присущие им изменения вентиляции легких и оксигенации. Шкала не подходит для многих пациентов, например для детей, стариков, пациентов с ожирением.

2. Шкала LIS Мюррея не связана с патологической физиологией дыхания. В расчет не берутся особенности респираторной поддержки (РП) (ритм дыхания, PaCO_2 , FiO_2 , среднее давление в дыхательных путях) и присущие им изменения оксигенации.

3. Шкала LIS Мюррея не включена в интерфейс респираторов и дыхательных мониторов. Вероятно, производителей этого оборудования смущают две предыдущие причины.

Из изложенного следует, что требуется создание физиологически обоснованной шкалы повреждения легких, с помощью которой можно было бы диагностировать ОПЛ у любого пациента в любых условиях на основе использования новых способов диагностики нарушений оксигенации и рестрикции легких. Цель исследования – разработать обоснованные с позиций нормальной и патологической физиологии методы диагностики нарушений оксигена-

Таблица 1

Шкала остроого повреждения легких, рестрикции и нарушений оксигенации (часть шкалы Мюррея)

Показатель	Степень ОПЛ, рестрикции и нарушений оксигенации				
	ОПЛ нет	I	II	III	IV
$C_{\text{д.долж}}$, мл/см вод. ст.	>80	80–60	59–40	39–20	<20
PaO_2/FiO_2	>300	300–225	224–175	174–100	<100

Таблица 2

Новая шкала нарушений оксигенации, рестрикции, остроого повреждения легких

Показатель	Степень ОПЛ, нарушений оксигенации, рестрикции				
	ОПЛ нет	I	II	III	IV
$PaO_{2\text{долж}}/PaO_2$	<1,59	1,6 до 2,09	2,1 до 2,69	2,7 до 4,79	4,8 и более
$C_{\text{долж}}/C$	<1,4	от 1,4 до 1,59	от 1,6 до 1,99	от 2 до 4	>4

ции и торакопульмональной рестрикции во время респираторной поддержки и оценить их эффективность.

Материал и методы

Для диагностики нарушений оксигенации во время РП разработан способ, основанный на определении отношения должного парциального давления кислорода в артериальной крови к фактическому ($PaO_{2\text{долж}}/PaO_2$).

Согласно способу, $PaO_{2\text{долж}}$ (в мм рт. ст.) определяют по формуле:

$$PaO_{2\text{долж}} = K \times (102 - a/3) \times FiO_2/0,21 \times (1 + 0,2 \times (FiO_2 - 0,21)) + 40 - PaCO_2 + P_{\text{mean}}$$

где: a – возраст пациента в годах; K – коэффициент влияния ритма дыхания на оксигенацию: при принудительном ритме $K = 0,9$, при перемежающемся $K = 0,95$, при самостоятельном $K = 1$; FiO_2 – фракция кислорода во вдыхаемой смеси; $PaCO_2$ – парциальное давление углекислого газа в артериальной крови в мм рт. ст.; P_{mean} – среднее давление в дыхательных путях (в мм рт. ст.). По величине $PaO_{2\text{долж}}/PaO_2$ диагностируют степени нарушения оксигенации: менее 1,2 – нарушений оксигенации нет, от 1,2 до 1,59 – I степень, от 1,6 до 2,09 – II степень, от 2,1 до 2,69 – III степень, от 2,7 до 4,79 – IV степень и от 4,8 и более – V степень (патент РФ № 2457781).

Для диагностики рестриктивных расстройств во время РП разработан способ, основанный на определении отношения должной торакопульмональной растяжимости к фактической ($C_{\text{долж}}/C$).

$C_{\text{долж}}$ (в мл/см вод. ст.) рассчитывают по формулам:

$$C_{\text{долж}} = m_{\text{долж}} - m_{\text{изб}}/3 - (a - 30)/3, \text{ для пациентов старше 30 лет;}$$

$$C_{\text{долж}} = m_{\text{долж}} - m_{\text{изб}}/3, \text{ для пациентов 30 лет и моложе, где: } m_{\text{долж}} - \text{должная масса пациента (кг); } m_{\text{изб}} - \text{избыточная масса пациента (кг); } a - \text{возраст пациента (в годах). При величине } C_{\text{долж}}/C \text{ от 1,4 до 1,59 диагностируют I степень торакопульмональной рестрикции, от 1,6 до 1,99 – II степень, от 2 до 4 – III степень, больше 4 – IV степень торакопульмональной рестрикции (патент РФ № 2234855).}$$

Для повышения качества диагностики ОПЛ разработана альтернативная шкала LIS Мюррея (табл. 1) новая шкала повреждения легких, нарушений оксигенации и торакопульмональной рестрикции (табл. 2).

Разработанная шкала позволяет уточнить степень повреждения легких, однако не может выступать в качестве единственного средства для диагностики ОПЛ [6]. Диагноз ОПЛ (ОРДС) целесообразно выставлять на основании совокупности критериев: 1) в анамнезе имеется критическое состояние, послужившее причиной ОПЛ (ОРДС); 2) $PaO_{2\text{долж}}/PaO_2 > 1,6$ (для ОРДС >2,4); 3) $C_{\text{долж}}/C > 1,4$ (для ОРДС >1,8); 4) диффузная билатеральная инфильтрация по рентгенограмме; 4) ДЗЛК <18 мм рт. ст.; 5) устранение малого сердечного выброса не сопровождается регрессом острой дыхательной недостаточности [7].

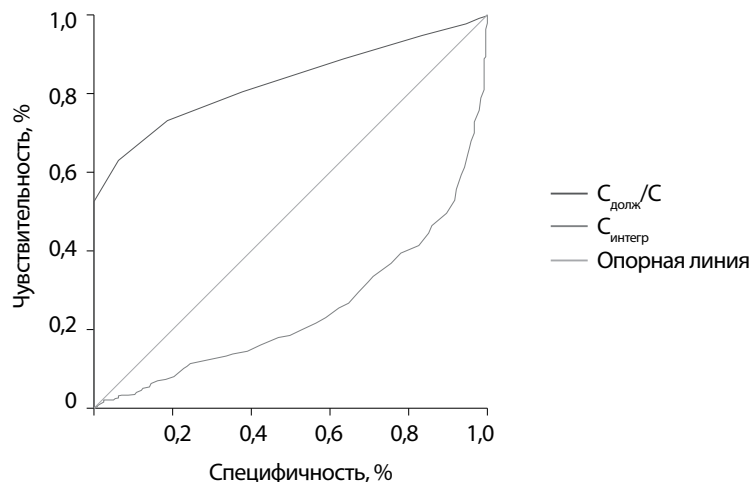
Для сравнения эффективности разработанного способа диагностики нарушений оксигенации по $PaO_{2\text{долж}}/PaO_2$ и общепринятого способа выявления нарушений оксигенации путем оценки PaO_2/FiO_2 по шкале повреждения легких Мюррея проанализировано 185 эпизодов РП у 106 больных различного возраста (от 1 до 88 лет) с ДН различного генеза (после нейрохирургических, абдоминальных, травматологических операций и у больных с острым нарушением мозгового кровообращения, пневмонией, сепсисом).

Для сравнения эффективности разработанного способа диагностики рестрикции по $C_{\text{долж}}/C$ и общепринятого способа выявления рестрикции путем оценки C по шкале повреждения легких Мюррея проанализировано 814 эпизодов РП у 100 больных различного возраста (от 15 до 75 лет) (после нейрохирургических, травматологических операций и у больных с острым нарушением мозгового кровообращения, пневмонией, сепсисом), у которых отсутствовали клинические признаки патологической торакальной или абдоминальной рестрикции (гидро-, пневмоторакс, повышение внутрибрюшного давления).

Таким образом, изменения торакопульмональной рестрикции в процессе длительной ИВЛ были связаны с повышением растяжимости легких. Поскольку существует множество работ, показывающих высокую корреляцию легочной рестрикции с нарушениями оксигена-

Рис. 1.

Кривая ROC-анализа 814 эпизодов длительной ИВЛ, отражающая возможность диагностики рестрикции легких с помощью торакопульмональной растяжимости (C) и отношения должной торакопульмональной растяжимости к фактической ($C_{\text{долж}}/C$). Диагональные сегменты формируются совпадением.



ции [8, 9], то истинную степень легочной рестрикции мы выставляли равной степени нарушений оксигенации, выявляемой по $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ на фоне нормовентиляции.

Исследуемые показатели объединены в базу данных с помощью программы Microsoft Excel 2007. ROC-анализ и построение кривых проводили в программе IBM SPSS Statistics 20 с использованием предположения о непараметрическом распределении оцениваемых параметров.

Для оценки диагностических возможностей сравниваемых способов диагностики рестрикции у больных с ОПЛ использовали формулы: чувствительность = число истинно положительных результатов / (число истинно положительных + число ложно отрицательных); специфичность = число истинно отрицательных результатов / (число ложно положительных + число истинно отрицательных).

Результаты

При анализе 185 эпизодов РП выявлено, что в 26 случаях имела гип- или гипервентиляция, 20 исследований газов артериальной крови выполнены пациентам старше 60 лет, в 5 случаях гип- или гипервентиляция имела у пациентов старше 60 лет. Следовательно, диагностика нарушений оксигенации путем оценки $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ по шкале повреждения легких Мюррея в 51 случае была некорректной, а доля корректных диагностических заключений о легочной оксигенации составила 72,4%. Поскольку разработанный способ диагностики нарушений оксигенации путем расчета отношения $\text{PaO}_{2\text{долж}}/\text{PaO}_2$ основан не только на учете FiO_2 как в группе сравнения, но и на учете возраста, состояния альвеолярной вентиляции и ритма ИВЛ, то во всех случаях диагностика нарушений оксигенации была корректной. Таким образом, частота корректного выявления нарушений оксигенации по оценке $\text{PaO}_{2\text{долж}}/\text{PaO}_2$ была в 1,4 раза выше, чем по шкале Мюррея. Возможность диагностики рестрикции легких с помощью торакопульмональной растяжимости (C) и отношение долж-

ной торакопульмональной растяжимости к фактической ($C_{\text{долж}}/C$) в процессе 814 случаев длительной ИВЛ у 100 больных представлены на рис. 1 в виде кривых ROC-анализа. Сравнение площадей под ROC-кривыми наглядно демонстрирует преимущества оценки $C_{\text{долж}}/C$ по сравнению с оценкой C по шкале Мюррея в процессе длительной ИВЛ (0,829 и 0,246). Следовательно, выявление значимой легочной рестрикции при оценке $C_{\text{долж}}/C$ происходит в 3,4 раза чаще, чем по шкале Мюррея. Более детальный анализ данных, использованных для построения ROC-кривых, показал, что чувствительность теста « $C_{\text{долж}}/C < 1,4$ » по отношению к выявлению рестрикции с $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 300$ составила 0,85. Чувствительность теста « $C_{\text{долж}}/C > 1,4$ » по отношению к выявлению отсутствия рестрикции с $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 > 300$ составила 0,915. Специфичность 0,4 и 1,0. Чувствительность теста « $C < 80$ мл/см вод. ст.» по отношению к выявлению рестрикции с $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 300$ составила 0,5. Чувствительность теста « $C > 80$ мл/см вод. ст.» по отношению к выявлению отсутствия рестрикции с $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 > 300$ составила 0,985. Специфичность 0,308 и 0,971.

У трети пациентов (33 человека) по $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ диагностировали ОПЛ. Значения чувствительности и специфичности способов оценки рестрикции легких при ОПЛ представлены в табл. 3.

Шкала Мюррея обладала низкой чувствительностью (0,47) в отношении диагностики рестриктивных расстройств (табл. 3). При этом наименьшая чувствительность отмечалась при I–II степенях рестрикции (0,333 и 0,404). Специфичностью шкалы Мюррея как метода, способного отделить нормальную торакопульмональную растяжимость от патологически сниженной, оказалась крайне низкой – 0,189. Наименьшая специфичность шкалы Мюррея в отношении диагностики рестриктивных расстройств имела у пациентов ростом менее 160 см, пациентов с ожирением и пациентов старше 60 лет. Диагностика рестрикции у больных с ОПЛ на основе определения

Таблица 3

Диагностика степеней рестрикции при ОПЛ с помощью оценки торакопульмональной растяжимости (С) по шкале Мюррея и с помощью оценки $C_{\text{долж}}/C$

Результат диагностики рестрикции	Степень рестрикции нарушений оксигена- ции, рестрикции нет					Кол-во резуль- татов / (сред- нее значение)
		I	II	III	IV	
Кол-во измерений (согласно PaO_2/FiO_2)	37	21	47	43	6	171
(Стандарт) PaO_2/FiO_2						
истинно +	0	21	47	43	6	134
истинно –	37	0	0	0	0	37
С шк. Мюррея						
истинно +	(есть – верно) 0	7	19	26	3	55
истинно –	(нет – верно) 7	0	0	0	0	7
ложно +	(есть – неверно) 30	0	0	0	0	30
ложно –	(нет – неверно) 0	14	28	17	3	62
шк. Мюррея						
чувствительность	–	0,333	0,404	0,604	0,5	(0,47)
специфичность	0,189	–	–	–	–	(0,189)
$C_{\text{долж}}/C$						
истинно +	(есть – верно) 0	17	44	39	5	105
истинно –	(нет – верно) 31	0	0	0	0	31
ложно +	(есть – неверно) 6	0	0	0	0	6
ложно –	(нет – неверно) 0	4	3	4	1	12
чувствительность	–	0,81	0,94	0,907	0,833	(0,897)
специфичность	0,838	–	–	–	–	(0,838)

$C_{\text{долж}}/C$ имела в 4,4 раза большую специфичность и в 1,9 раза большую чувствительность, чем диагностика рестрикции по шкале Мюррея (табл. 3). Максимальная чувствительность способа оценки $C_{\text{долж}}/C$ наблюдалась при средних степенях ОПЛ: при второй степени – 0,94, при третьей – 0,907. Чтобы облегчить применение разработанных методов диагностики нарушений функций внешнего дыхания анестезиологами-реаниматологами, нами был создан калькулятор «Оценка функции внешнего дыхания во время ИВЛ», объединивший методы оценки рестрикции, обструкции и нарушений оксигенации (рис. 2). (Опыт применения калькулятора – тема другого исследования).

Обсуждение

Диагностика нарушений вентиляции и легочного газообмена во время ИВЛ не так детально проработана, как во время естественного дыхания [3, 5]. Заключение о патологии системы внешнего дыхания во время ИВЛ делается на основании абсолютных величин, которые сравнивают с: 1) шкалами, например со шкалой Мюррея; 2) индексами, например с OI (oxygenation index); 3) возрастными табличными нормативами; 4) общими для всех пациентов нормативами [4]. Ни один из способов сравнения не связан одновременно с антропометрическими характеристиками и режимом ИВЛ, вследствие чего не позволяет корректно диагностировать патологию системы внешнего дыхания во время РП. Более информативно было бы оценивать не абсолютные, а относительные к должным величины, учитывающие помимо роста возраст, избыточную

массу тела и параметры режима ИВЛ, имеющие значение для выявления сдвигов вентиляции легких относительно физиологической нормы (ритм вентиляции, среднее давление в дыхательных путях, FiO_2 , $PaCO_2$) [10]. Под должными следует понимать величины, которые были бы у пациента в процессе проведения ИВЛ аналогичного режима, если бы легкие, грудная клетка, структуры, обеспечивающие легочную гемодинамику, и нижние дыхательные пути не были бы изменены тем патологическим процессом, в результате которого потребовалась РП.

Так как отсутствовал признанный «эталонный» метод диагностики нарушений оксигенации, подходящий для всех больных, то для сравнения диагностических возможностей способов, оценивающих PaO_2/FiO_2 и $PaO_{2\text{долж}}/PaO_2$, мы сравнили их друг с другом путем подсчета количества измерений, при которых возможно сделать корректное заключение о наличии или отсутствии нарушений оксигенации и ее степени. Способ оценки $PaO_{2\text{долж}}/PaO_2$, учитывающий рост, возраст, избыточную массу, ритм ИВЛ, был корректен всегда, а оценка PaO_2/FiO_2 по шкале Мюррея только в 72,4% случаев.

Чтобы сравнить чувствительность и специфичность способов диагностики рестрикции легких, требовался дополнительный метод выявления рестрикции, который бы выступал в качестве стандарта. Поскольку при ОПЛ между С и PaO_2/FiO_2 имеется тесная корреляция [9], мы допустили, что степень ОПЛ, выявляемая по PaO_2/FiO_2 , соответствует степени рестрикции. Так как отсутствовала внелегочная – торакальная или абдоминаль-

Рис. 2.

Интерфейс
калькулятора оценки
состояния системы
внешнего дыхания у
больного, находящегося
на искусственной
вентиляции легких.

Калькулятор "Оценка внешнего дыхания во время искусственной вентиляции легких"

Данные пациента
 Возраст, лет: 26 Рост, см: 170 Масса, кг: 120 Пол: ☒ мужской ☐ женской Тип конституции: ☒ гиперстеник ☐ нормостеник ☐ астеник

Должная масса пациента, 72,25 кг
 Избыточная масса пациента, 47,75 кг

Данные исследования
 Фракция кислорода во вдыхаемой смеси (в долях от единицы): 0,3
 Парциальное давление углекислого газа в артериальной крови (мм рт.ст.): 38
 PEEP, Среднее давление в дыхательных путях (см вод.ст.): 15
 PaO2, Фактическое парциальное давление кислорода в артериальной крови (мм рт.ст.): 100
 Фактическое сопротивление дыхательных путей (1..100 см вод.ст. к с/л): 10
 Фактическая торакопульмональная растяжимость (1..150 мл/см вод.ст.): 40

Типы дыхания
☒ Прицеливаемый
☐ Перемещаемый
☐ Самоподдерживаемый

Результаты:
 PaO2долж./PaO2факт = 1,4: 1 степень нарушения оксигенации (сверх антропометрической)
 Pдолж./Pфакт = 0,43: 2 степень обструкции дыхательных путей (сверх антропометрической)
 Cдолж./Cфакт = 1,4: 1 степень торакопульмональной рестрикции (сверх антропометрической)

ная – рестрикция, то изменение механики дыхания зависело только от внутрилегочных рестриктивных процессов (инфильтрация легочной ткани, закрытие дыхательных путей), закономерно отражающихся на оксигенации [3]. Для устранения влияния уровня вентиляции на величину PaO_2/FiO_2 заключение о наличии ОПЛ, степенях ОПЛ и рестрикции делали при нормовентиляции.

Сравнение диагностических возможностей тестов « $C_{\text{долж}}/C < 1,4$ » по выявлению рестрикции и « $C_{\text{долж}}/C > 1,4$ » по выявлению ее отсутствия с диагностическими характеристиками тестов « $C < 80$ мл/см вод. ст.» и « $C > 80$ мл/см вод. ст.» показало преимущества нового метода диагностики рестриктивных нарушений в легких как по чувствительности, так и по специфичности. Сравнительно низкая специфичность теста рестрикции « $C_{\text{долж}}/C < 1,4$ » (0,4) – это отражение того, что в настоящее время отсутствует «золотой стандарт» по выявлению рестрикции, а выбранный «эталонный» тест « $PaO_2/FiO_2 < 300$ при нормовентиляции», с которым велось сравнение, лишь косвенно отражает рестрикцию легких.

Полученные высокие чувствительность и специфичность способа диагностики рестрикции при ОПЛ на основе определения $C_{\text{долж}}/C$ (см. табл. 3) закономерны, так как при разработке данного способа четыре степени торакопульмональной рестрикции были выделены именно для того, чтобы соответствовать четырем степеням нарушений оксигенации (см. табл. 2).

Применение разработанных, физиологически обоснованных способов диагностики нарушений оксигенации и торакопульмональной рестрикции в процессе

длительной ИВЛ повышает частоту выявления нарушений оксигенации в 1,4 раза, эффективность выявления легочной рестрикции в 3,4 раза, обеспечивает в 1,9 раза большую чувствительность и в 4,4 раза большую специфичность в отношении диагностики торакопульмональной рестрикции при ОПЛ по сравнению со шкалой повреждения легких LIS Мюррея. Разработанные способы составили новую модификацию шкалы острого повреждения легких и вошли в калькулятор «Оценка функции внешнего дыхания во время ИВЛ».

Список литературы

1. Murray J.F., Matthay M.A. et al. // Am. Rev. Respir. Dis. 1988. V. 138. P. 720–723.
2. Barbas C., Matos G., Amato M., Carvalho C. // Critical Care Research Practice. 2012.
3. Марини Д.Д., Уиллер А.П. Медицина критических состояний. М., 2002.
4. Гайтон А.К., Холл Д.Э. Медицинская физиология. М., 2008.
5. Зильбер А.П. // Здоровоохранение и медтехника. 2004. № 10. С. 7–8.
6. Hess D.R., Bigatello L.M. // Curr. Opin. Crit. Care. 2008. V. 14. P. 94–102.
7. Brochard L., Martin G.S., Blanch L. et al. // Critical Care. 2012. V. 16. P. 219.
8. Lucangelo U., Bernabé F., Blanch L. // Respir. Care. 2005. V. 50. P. 55–67.
9. Киров М.Ю., Кузьков В.В., Недашковский Э.В. Острое повреждение легких при сепсисе: патогенез и интенсивная терапия. Архангельск, 2004.
10. Чеченин М.Г. Нарушения вентиляции легких при поражении центральной нервной системы. Новокузнецк, 2006.