ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СТРУЙНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ ЛЁГКИХ – МЕТОД ВЫБОРА РЕСПИРАТОРНОЙ ПОДДЕРЖКИ В ТОРАКАЛЬНОЙ ФТИЗИОХИРУРГИИ

М.Б. КОНТОРОВИЧ
Б.Д. ЗИСЛИН
И.Д. МЕДВИНСКИЙ
Д.Ю. ЕРЕМЕЕВ

ЕКАТЕРИНБУРГ
2011

SAMUEL JAMES MELTZER
1851-1920

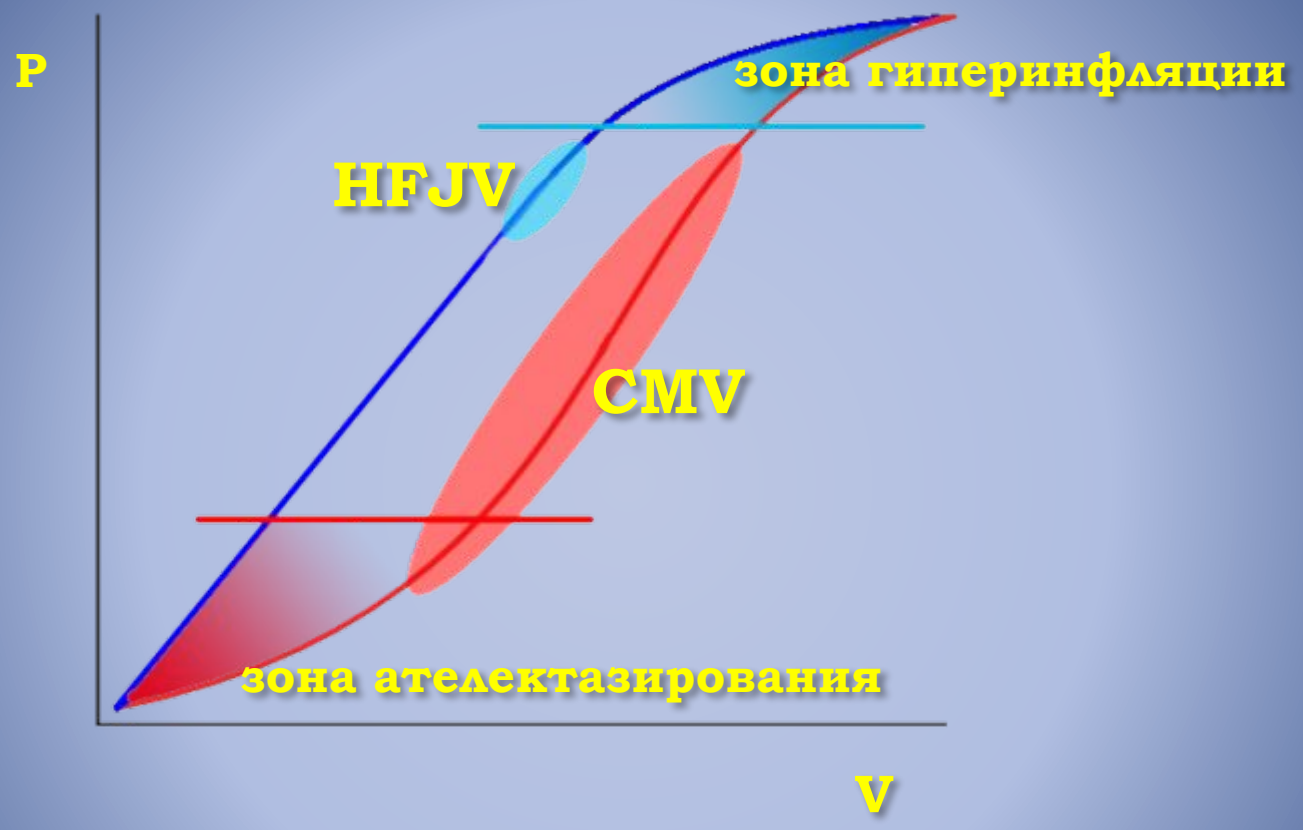
Samuel James Meltzer, John Auer:
Continuous respiration without respiratory movements.
Journal of Experimental Medicine, New York, 1909, 11: 622-625.

ПРИМЕНЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ ВЧС ИВЛ В ЕКАТЕРИНБУРГЕ: 1982-1994 г.г. и с 2002 года.

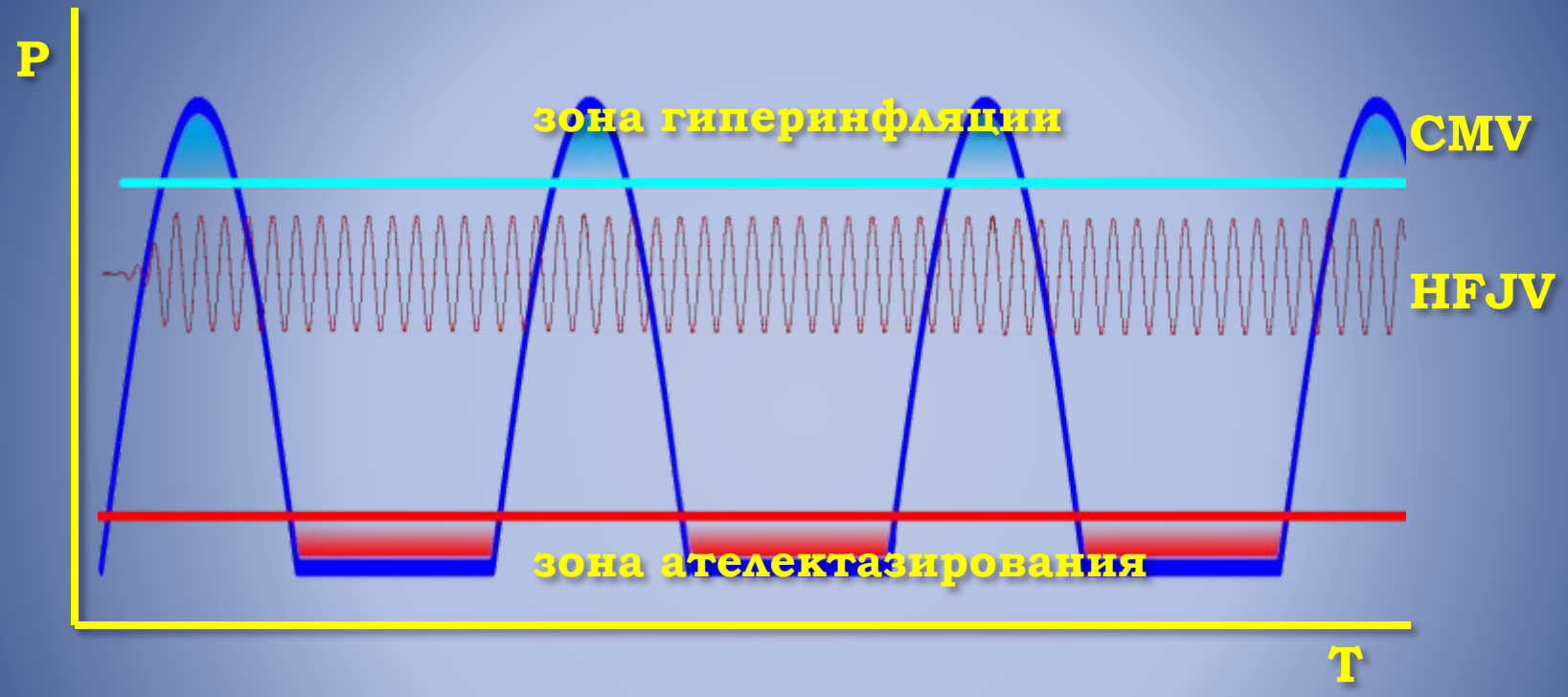
СОБСТВЕННЫЙ ОПЫТ:

БОЛЕЕ 17.000

РЕСПИРАТОРНЫХ ПОСОБИЙ ВЧС ИВЛ.



Copyright 2005, Elsevier Inc.
с изменениями



Copyright 2005, Elsevier Inc.
с изменениями

КИСЛОРОДНЫЙ КАСКАД

Сухой атмосферный воздух: 160

Увлажнённый газ в трахее: 150

Альвеолярный газ: 105

Артериальная кровь: 100

Капиллярная кровь: 45

Митохондрии: 5

Венозная кровь: 45

1 этап
кислородного каскада

транспортировка кислорода из атмосферы через бронхи в альвеолы

ОСОБЕННОСТИ 1-го ЭТАПА КИСЛОРОДНОГО КАСКАДА ПРИ ВЧС ИВЛ

Формирование гипероксически-гиперкапнической смеси в объёме анатомического мёртвого пространства (вдувание высокоэнергетической турбулентной газовой струи в атмосферу ламинарного встречного потока выдоха, интенсивное перемешивание газов), содержание CO_2 во вдыхаемой газовой смеси при этом не превышает 5-7 мм ртутного столба;

СКОРОСТЬ СТРУИ ВДЫХАЕМОГО ГАЗА

CMV

HFJV

ОСОБЕННОСТИ 1-го ЭТАПА КИСЛОРОДНОГО КАСКАДА ПРИ ВЧС ИВЛ

Объём анатомического мёртвого пространства сокращается, а при частоте вентиляции 100 циклов в минуту и более и скорости струи, превышающей 250 $м \cdot с^{-1}$, вообще исчезает.

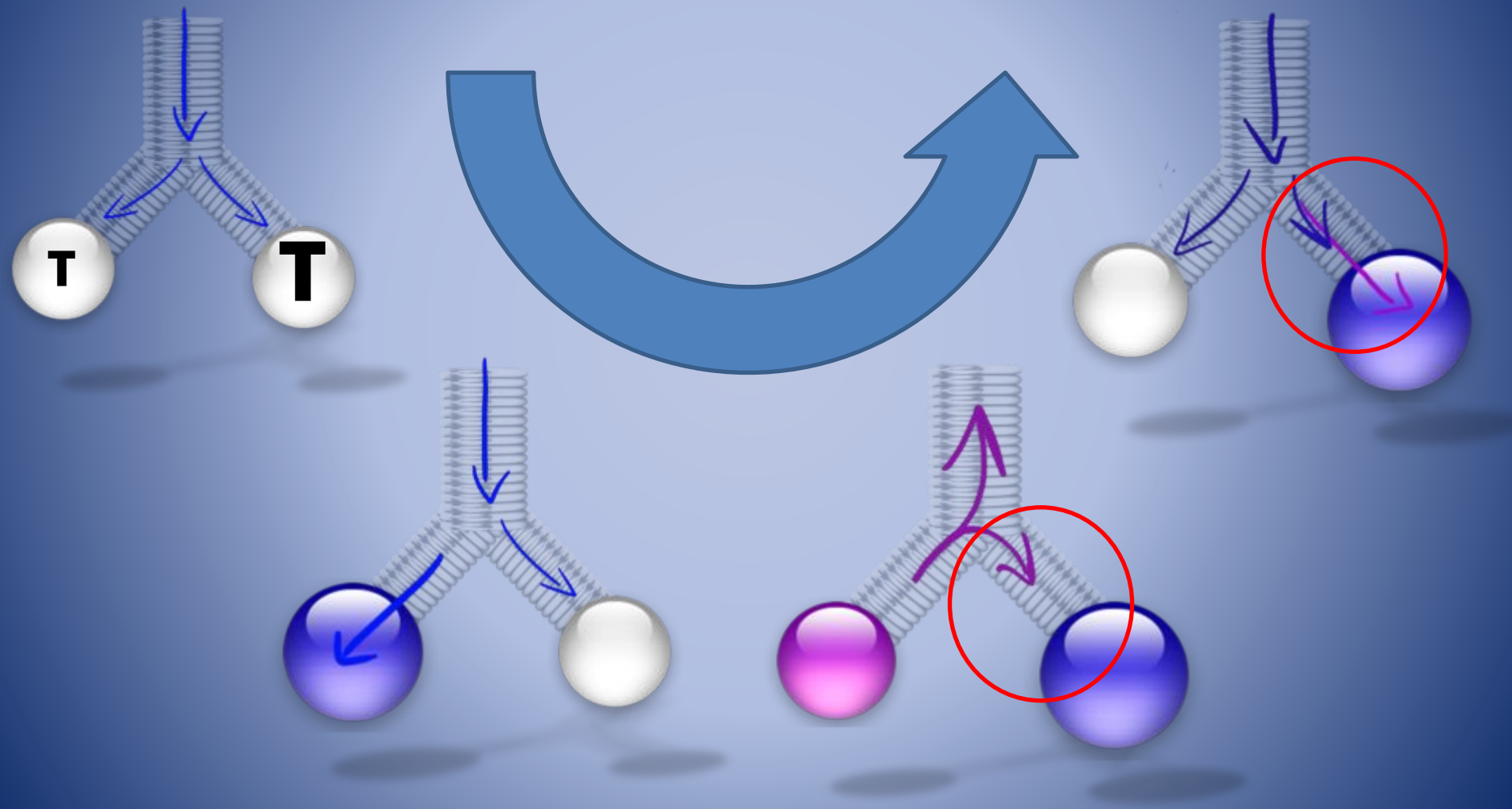
В связи с этим объём дыхательного мёртвого пространства уменьшается настолько, что становится равным объёму альвеолярного мёртвого пространства;

ОСОБЕННОСТИ 1-го ЭТАПА КИСЛОРОДНОГО КАСКАДА ПРИ ВЧС ИВЛ

«маятниковый воздух», pendelluft, создаёт условия для равномерного наполнения лёгких на протяжении всего дыхательного цикла, в том числе и во время фазы выдоха, когда часть потока выдоха «перетекает» из отделов лёгких с малой временно́й константой в отделы с большой постоянной времени;

В фазу вдоха на этот поток pendelluft'а наслаивается мощный поток вдоха, дополнительно раскрывая «медленные», т.е. плохо вентилируемые альвеолы;

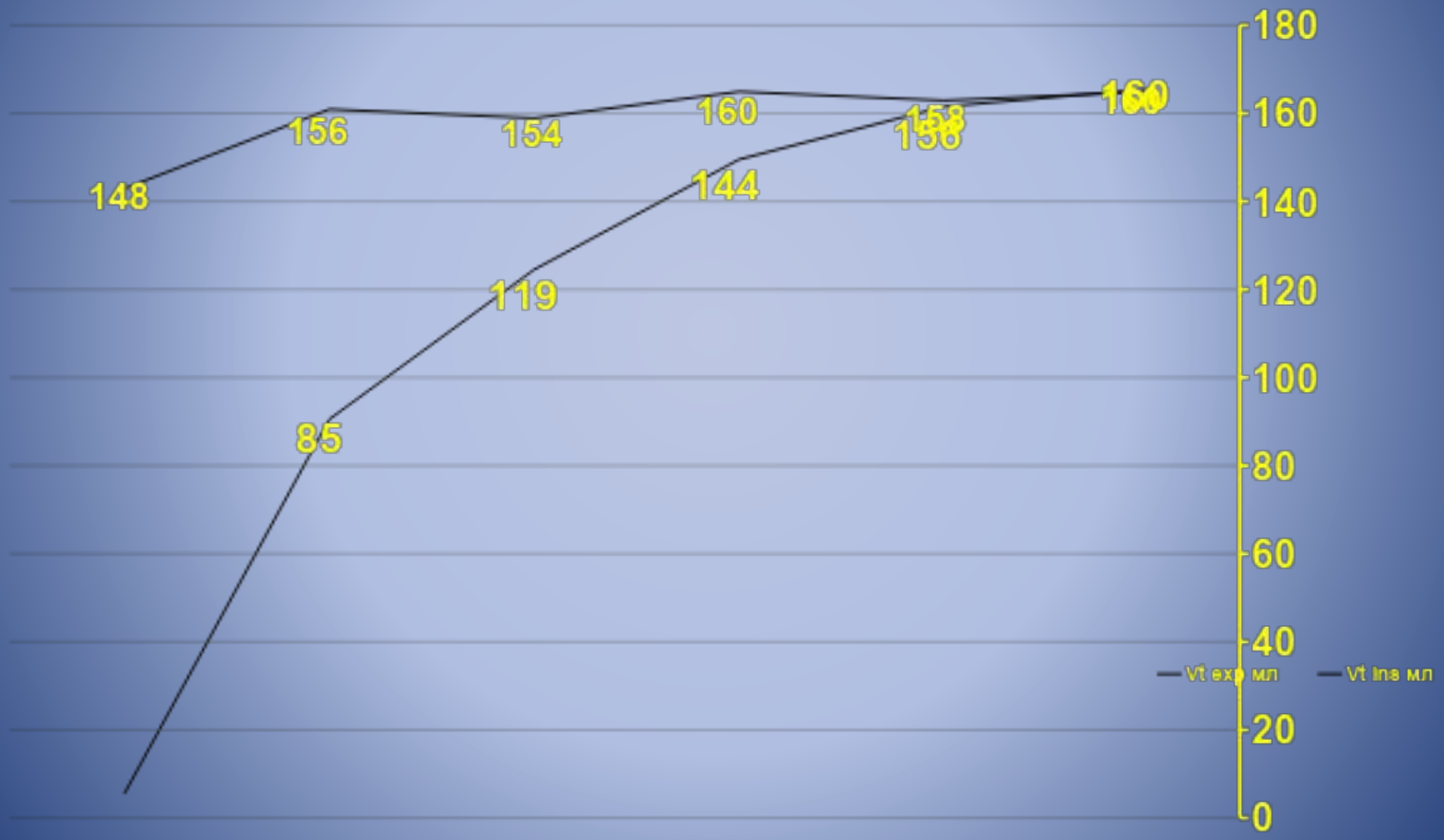
PENDELLUFT
(МАЯТНИКОВЫЙ ВОЗДУХ)



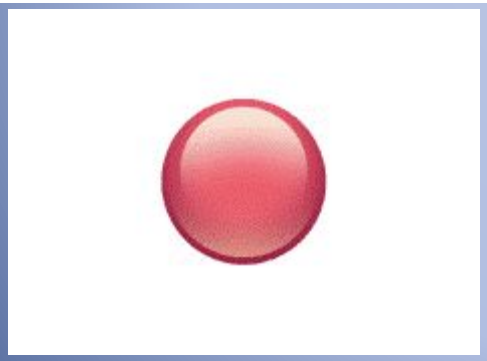
ОСОБЕННОСТИ 1-го ЭТАПА КИСЛОРОДНОГО КАСКАДА ПРИ ВЧС ИВЛ

Незавершённый выдох приводит к появлению некоторого объёма накопленной газовой смеси и возникновению постоянного положительного альвеолярного давления (autoPEEP), обусловливает улучшение внутрилёгочного распределения газа, выравнивание вентиляционно-перфузионного соотношения и снижению внутрилёгочного шунтирования крови;

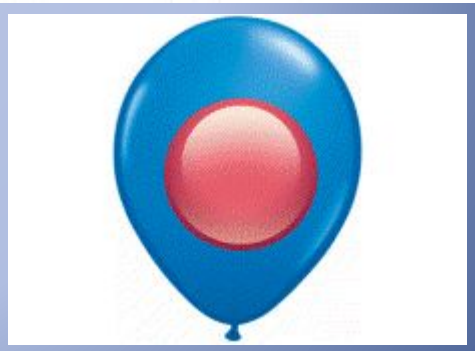
НАКОПЛЕННЫЙ ОБЪЁМ ≈ 320 ml



ФОРМИРОВАНИЕ НАКОПЛЕННОГО ОБЪЁМА



CMV



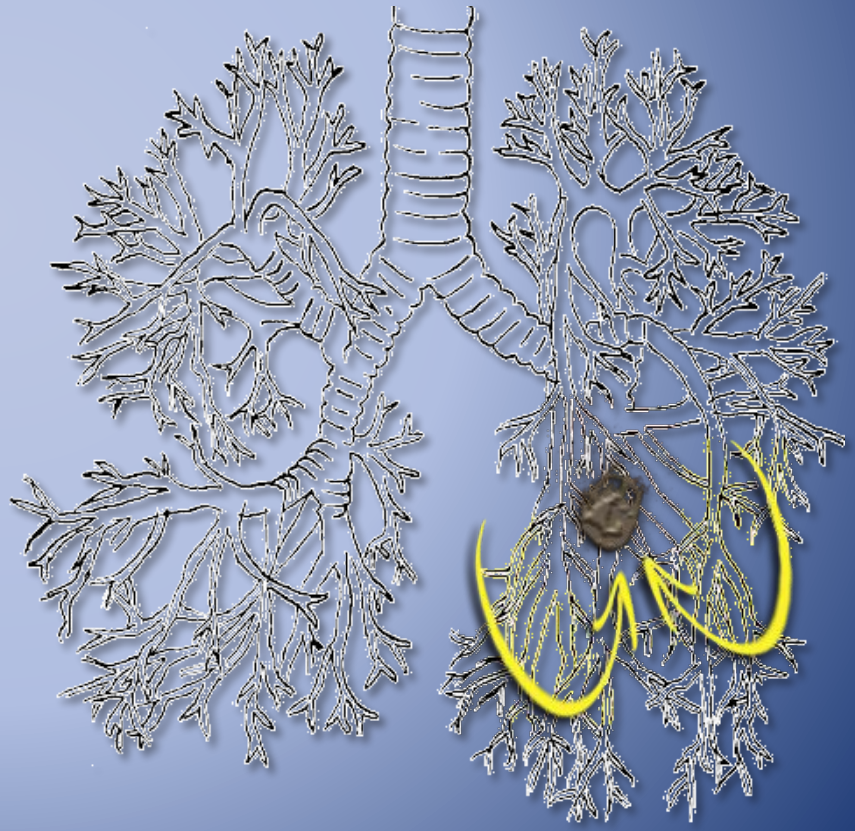
HFJV

ОСОБЕННОСТИ 1-го ЭТАПА КИСЛОРОДНОГО КАСКАДА ПРИ ВЧС ИВЛ

высокий объём минутной вентиляции многократно усиливает коллатеральную вентиляцию, дополнительно аэрируя участки лёгких с высокой постоянной времени;

Все эти эффекты ведут к увеличению альвеолярной вентиляции и уменьшению дыхательного, т.е. альвеолярного, «мёртвого» пространства.

КОЛЛАТЕРАЛЬНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

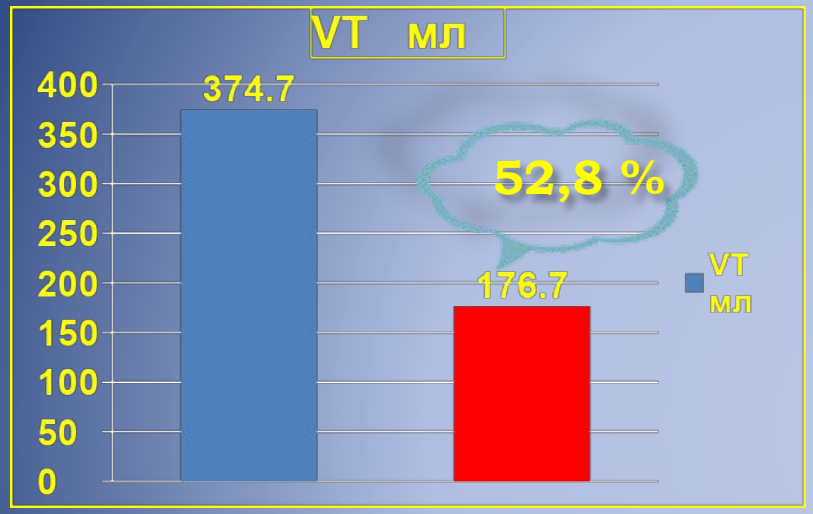


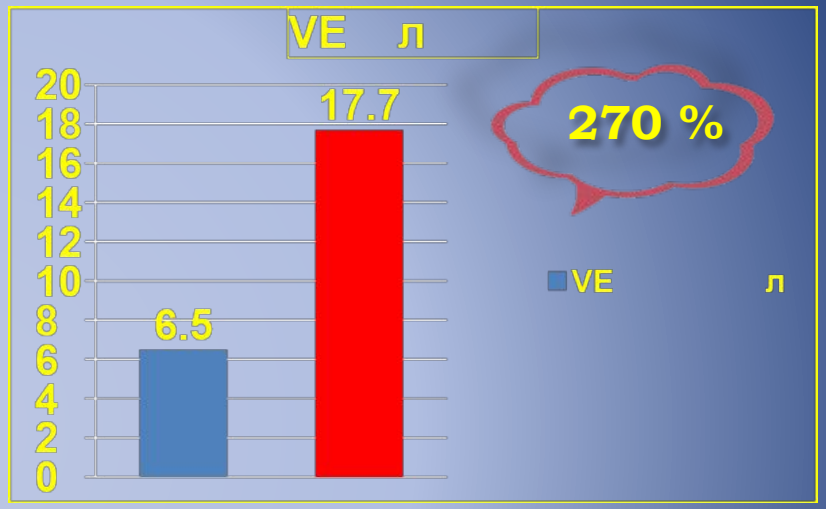
ПАРАМЕТРЫ РЕСПИРАТОРНОЙ МЕХАНИКИ и ГАЗООБМЕНА ПРИ ИВЛ и ВЧС ИВЛ

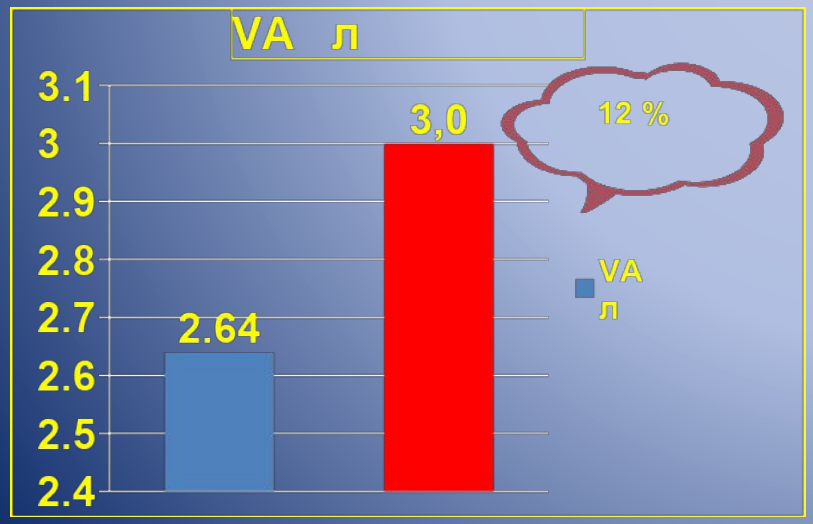
Параметры	ИВЛ	ВЧС ИВЛ
	f = 20 n=18	f = 100 n=32
V_T мл	374,7±94,2	176,7±4,85*
V_E л	6,5±2,2	17.7±0,5
V_A л	2,64±0,9	3,0±0,85*
V_{AD} мл	182,5±28,3	119,1±6,8*
V_{AD}/V_A	0,09±0,03	0,048±0,02
PaO_2 мм Hg	200,4±79,0	378,9±100,5
$P_{ET}CO_2$ мм Hg	42,5±5,2	41,9±5,4

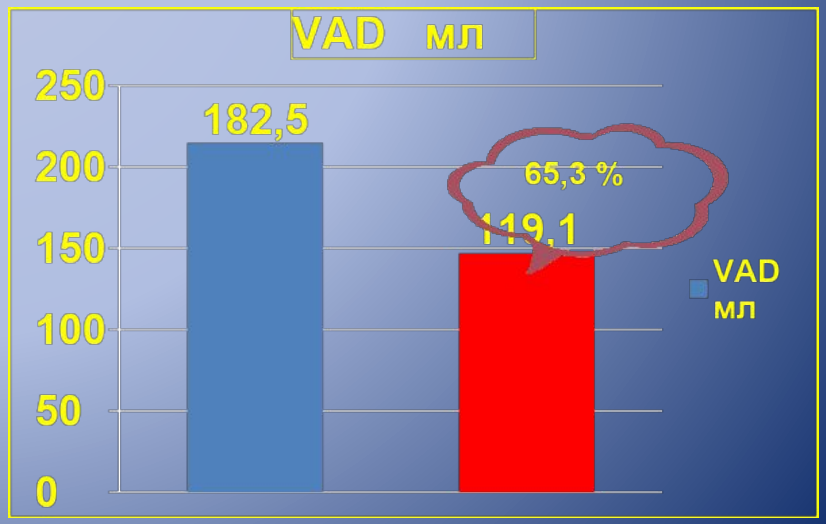
*- достоверность различий; P=0,000 (Критерий Стьюдента)

ПАРАМЕТРЫ РЕСПИРАТОРНОЙ МЕХАНИКИ и ГАЗООБМЕНА ПРИ ИВЛ и ВЧС ИВЛ

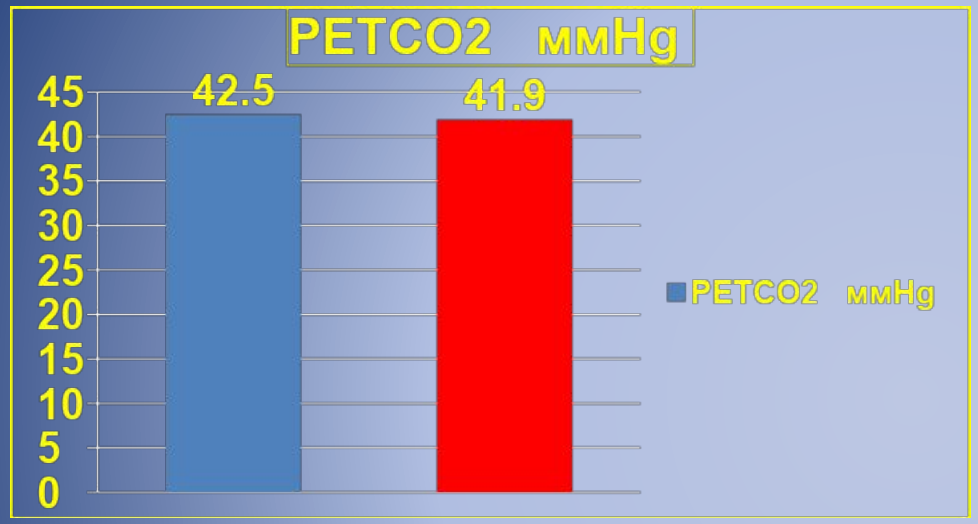




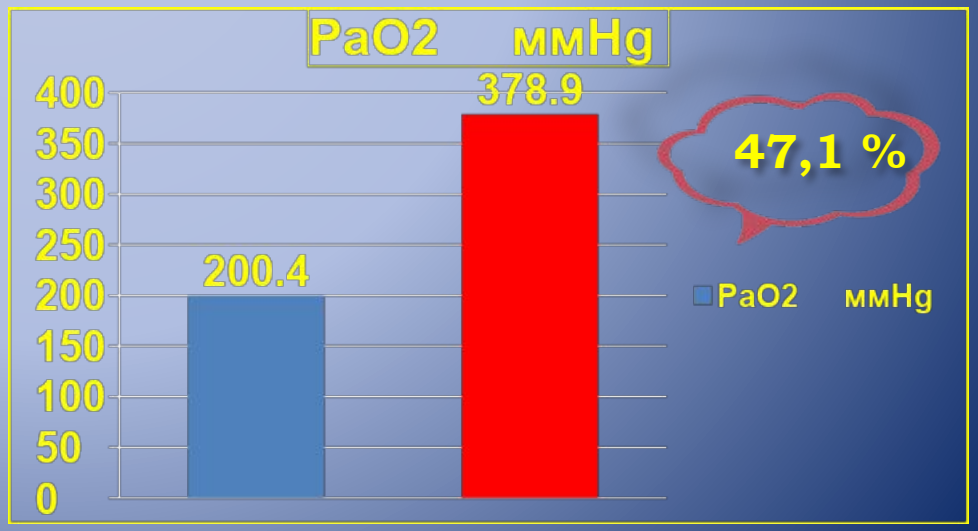




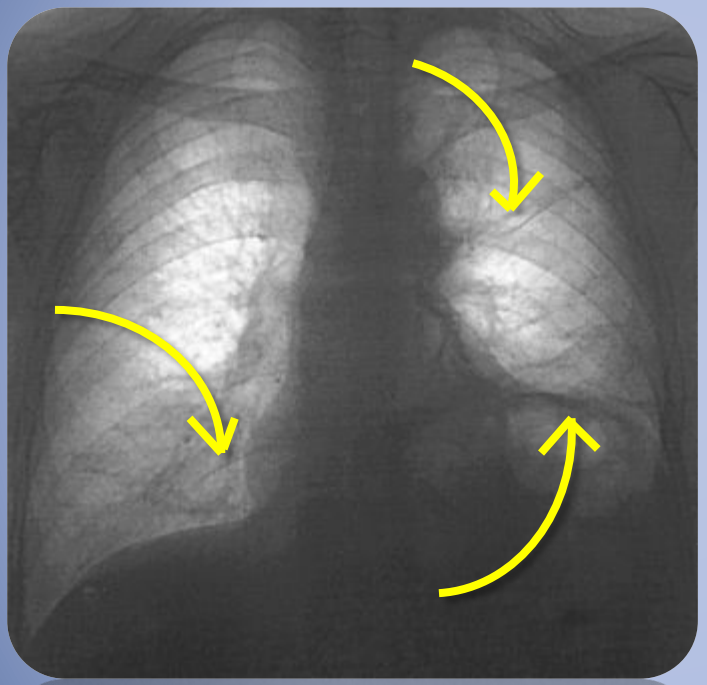
ПАРАМЕТРЫ РЕСПИРАТОРНОЙ МЕХАНИКИ и ГАЗООБМЕНА ПРИ ИВЛ и ВЧС ИВЛ

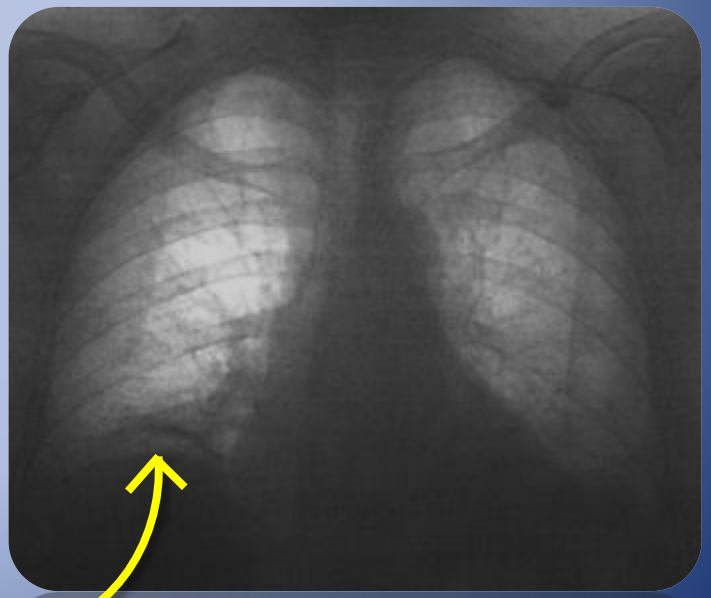


$FiO_2 = 0,5$

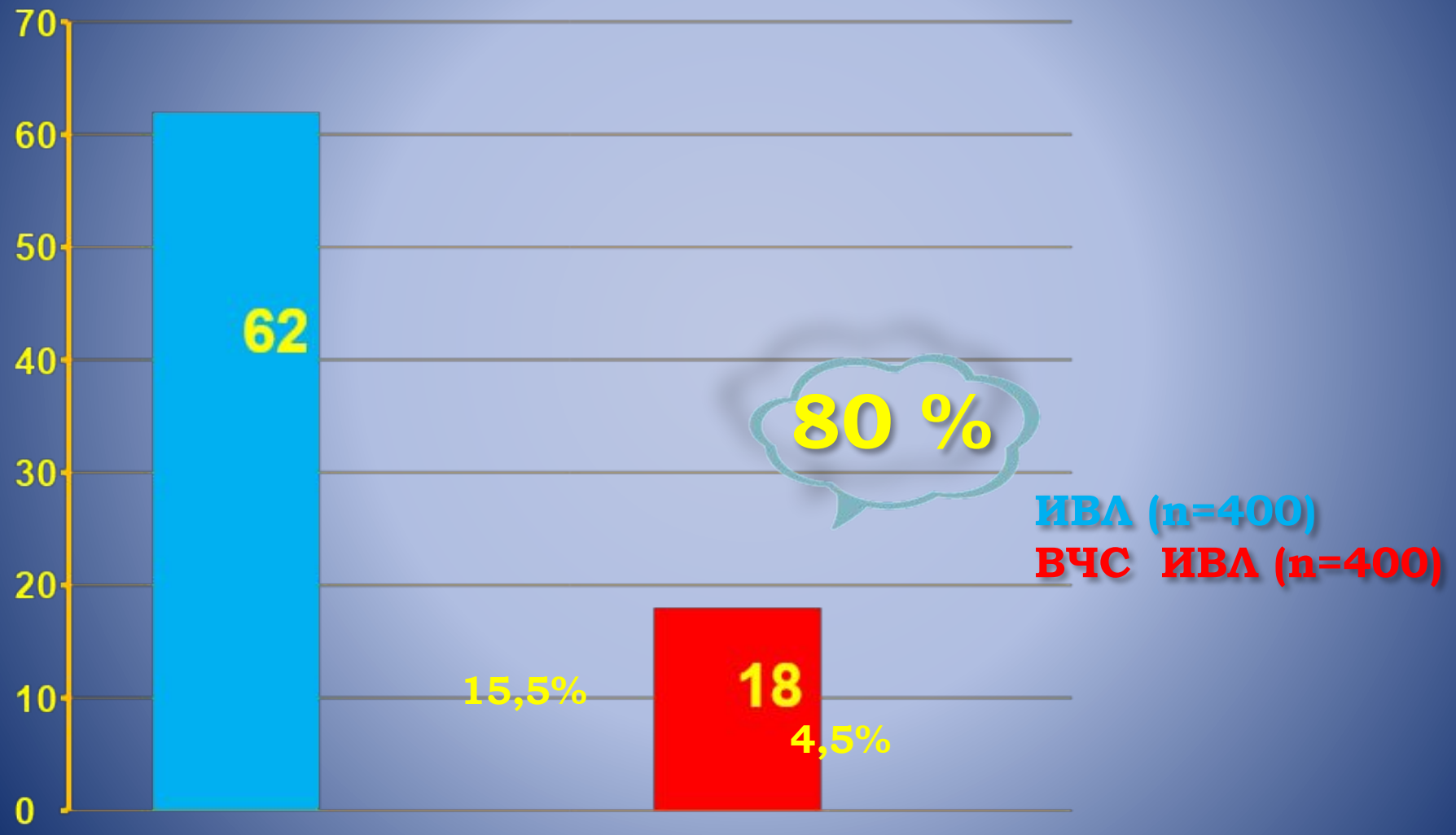


«ДИСКОВИДНЫЕ» АТЕЛЕКТАЗЫ





ЧАСТОТА РАЗВИТИЯ «ДИСКОВИДНЫХ» АТЕЛЕКТАЗОВ



ОСОБЕННОСТИ 1-го ЭТАПА КИСЛОРОДНОГО КАСКАДА ПРИ ВЧС ИВЛ

все эти эффекты достигаются при ВЧС ИВЛ при значительно ме́ньших, нежели при традиционной ИВЛ, величинах пикового, среднего и трансмурального давлений в лёгких.

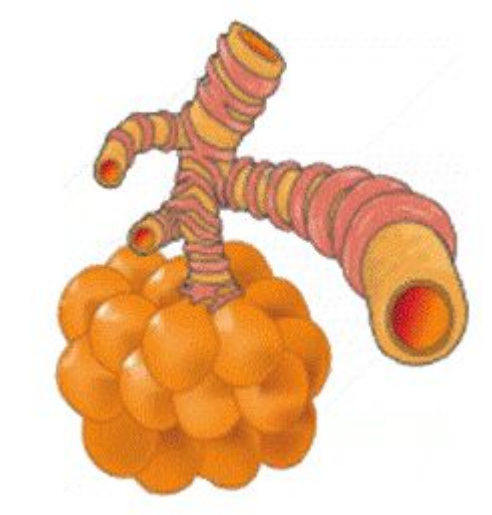
2 этап
кислородного каскада

диффузия кислорода из альвеол в кровь лёгочных капилляров

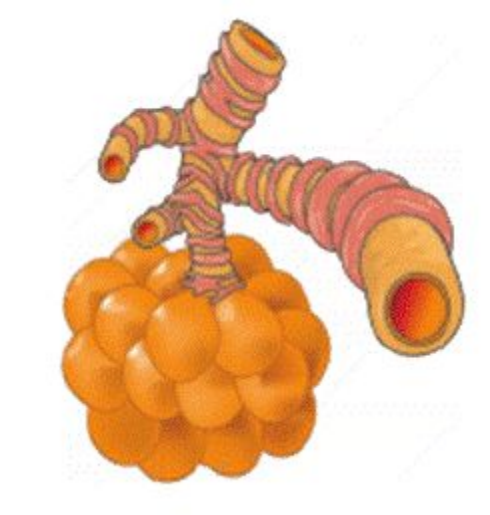
ОСОБЕННОСТИ 2-го ЭТАПА КИСЛОРОДНОГО КАСКАДА ПРИ ВЧС ИВЛ

autoPEEP (при отсутствии сопутствующей обструктивной патологии лёгких, как правило, не выше 3-5 см вод.ст.), препятствует спадению альвеол в конце фазы выдоха и поддерживает альвеолы в «открытом» состоянии на протяжении всего дыхательного цикла, в отличие от конвективной ИВЛ

ФОРМИРОВАНИЕ «ПОСТОЯННОГО ВДОХА»



CMV

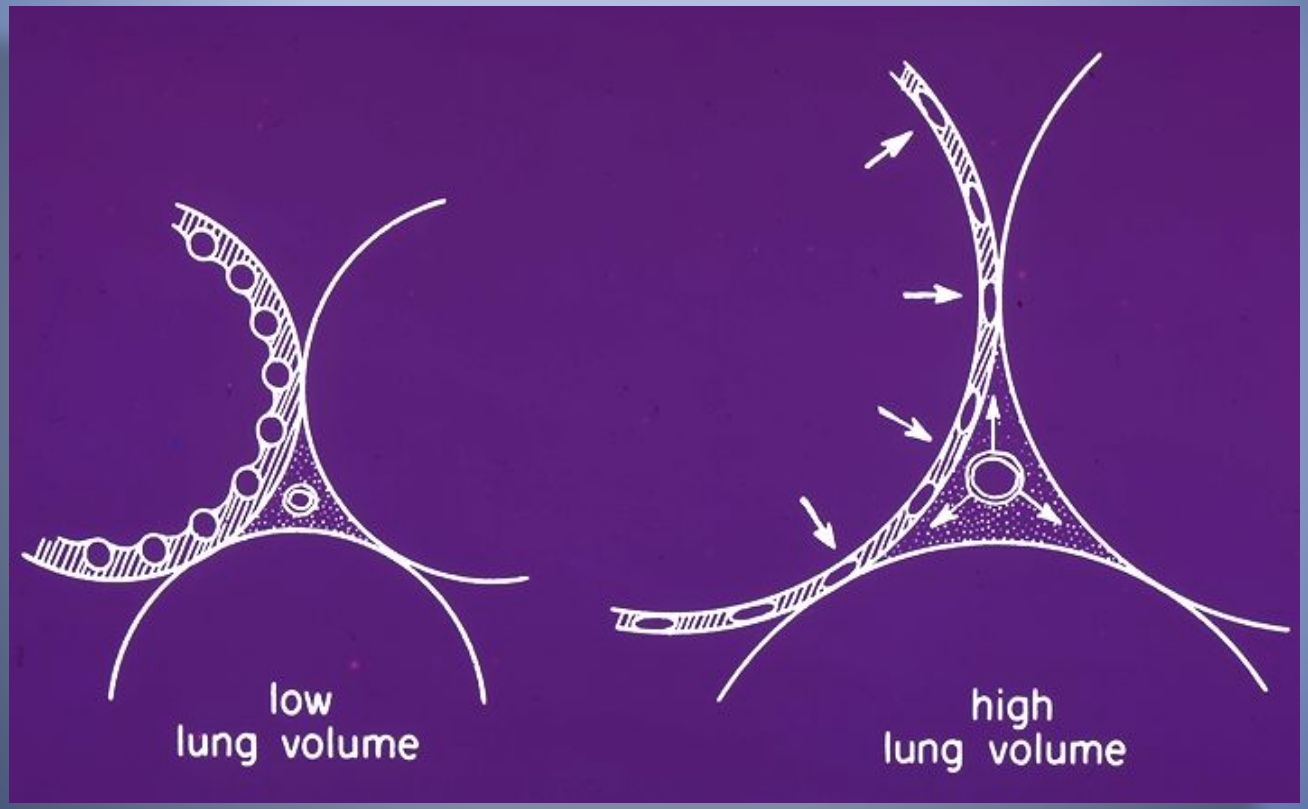


HFJV

ОСОБЕННОСТИ 2-го ЭТАПА КИСЛОРОДНОГО КАСКАДА ПРИ ВЧС ИВЛ

постоянное заполнение воздухом альвеол приводит к увеличению диффузионной поверхности, а малые величины интраплеврального давления уменьшают содержание внесосудистой жидкости в лёгких, уменьшая тем самым толщину альвеоло-капиллярной мембраны

ФЕНОМЕН ПОВЫШЕНИЯ ОКСИГЕНАЦИИ АРТЕРИАЛЬНОЙ КРОВИ ПРИ ВЧС ИВЛ



Society of Critical Care Medicine

ОСОБЕННОСТИ 2-го ЭТАПА КИСЛОРОДНОГО КАСКАДА ПРИ ВЧС ИВЛ

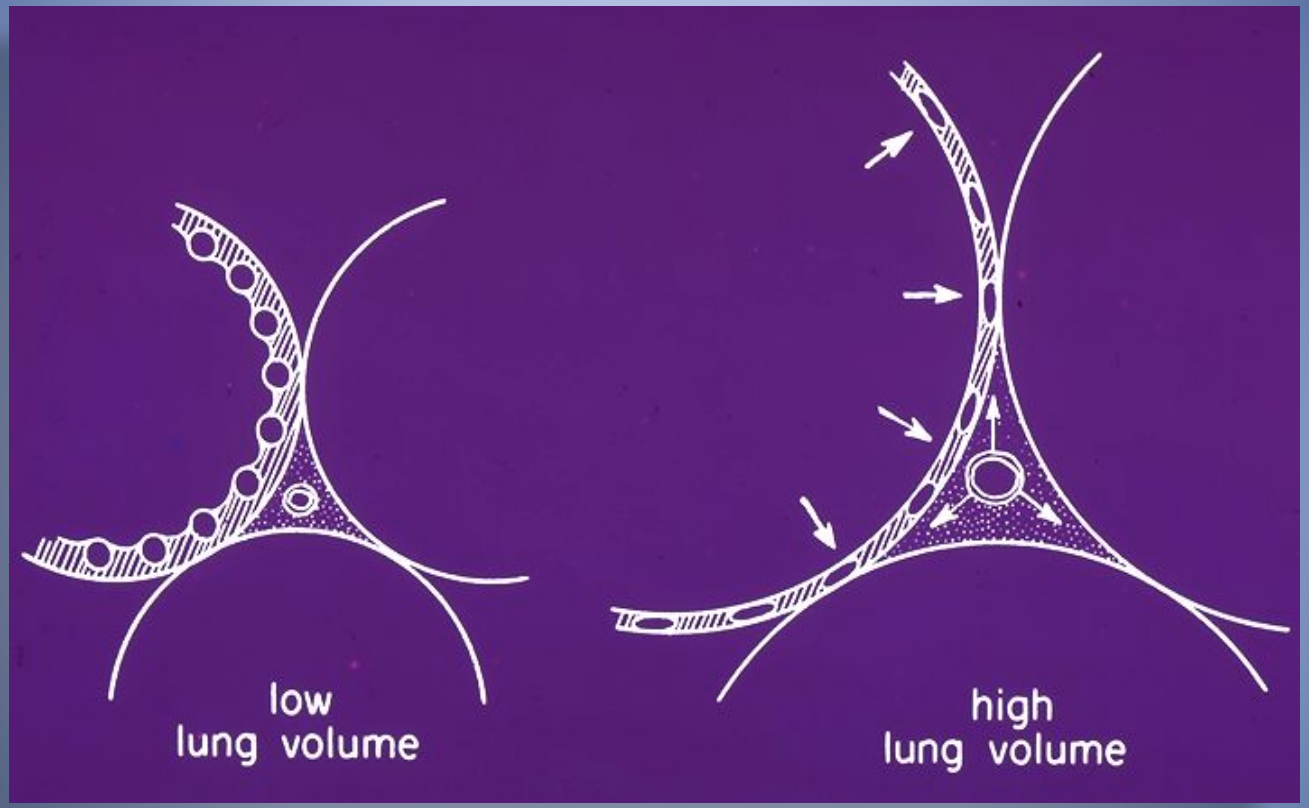
Таким образом, газообмен между альвеолами и лёгочными капиллярами протекает постоянно, и не прекращается даже в фазу выдоха, в отличие от традиционной ИВЛ.

3 этап
кислородного каскада

транспортировка кислорода
от лёгочных капилляров
через лёгочные вены и камеры сердца в
артериальную систему

ОСОБЕННОСТИ 3-го ЭТАПА КИСЛОРОДНОГО КАСКАДА ПРИ ВЧС ИВЛ

малые величины давления в дыхательных путях, постоянно наполненные газом альвеолы, устранение жидкостных «муфт» способствуют улучшению лёгочной микро- и макроциркуляции, снижают величину артерио-венозного шунта в лёгких более чем вдвое по сравнению с традиционной ИВЛ, повышая доставку оксигенированной крови из лёгких к сердцу.


low
lung volume
high
lung volume

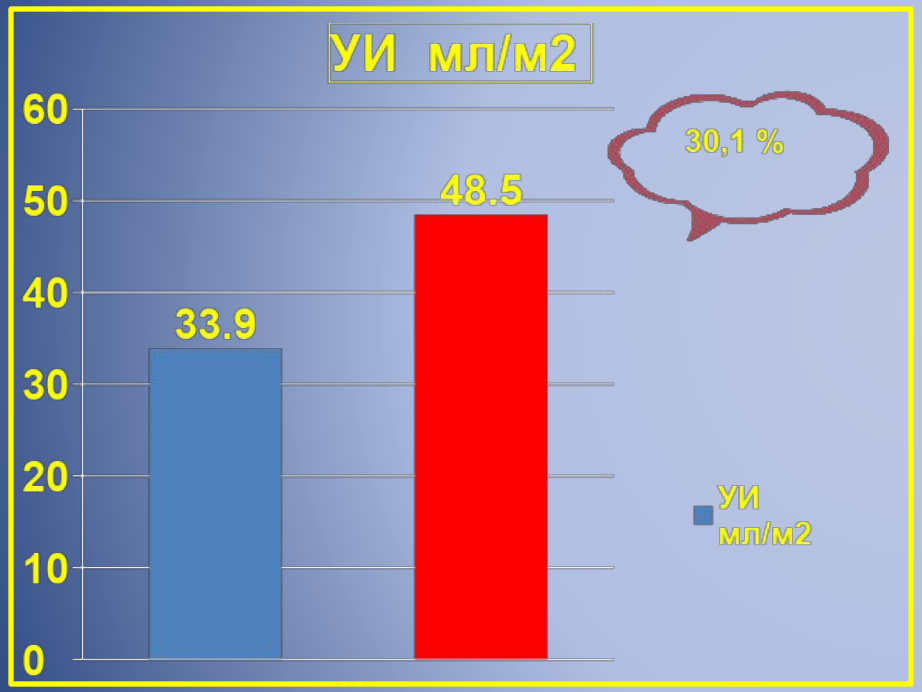
ОСОБЕННОСТИ 3-го ЭТАПА КИСЛОРОДНОГО КАСКАДА ПРИ ВЧС ИВЛ

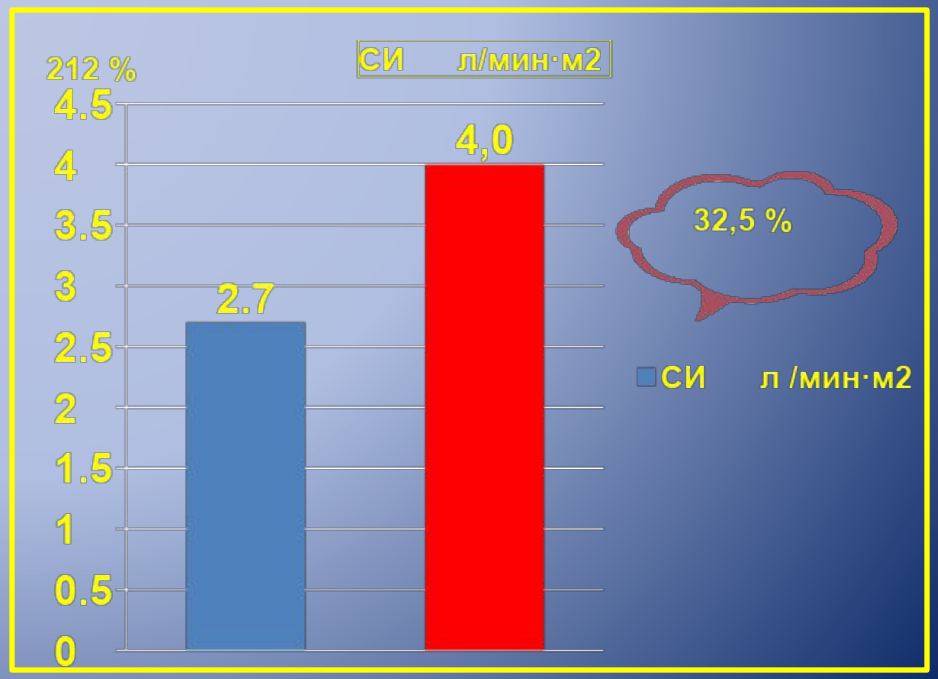
малые величины давления в дыхательных путях при ВЧС ИВЛ не ограничивают венозный возврат крови и не только не оказывают депрессивного влияния на сердечный выброс, но и увеличивают его, в противоположность традиционной искусственной вентиляции лёгких.

ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЁГКИХ

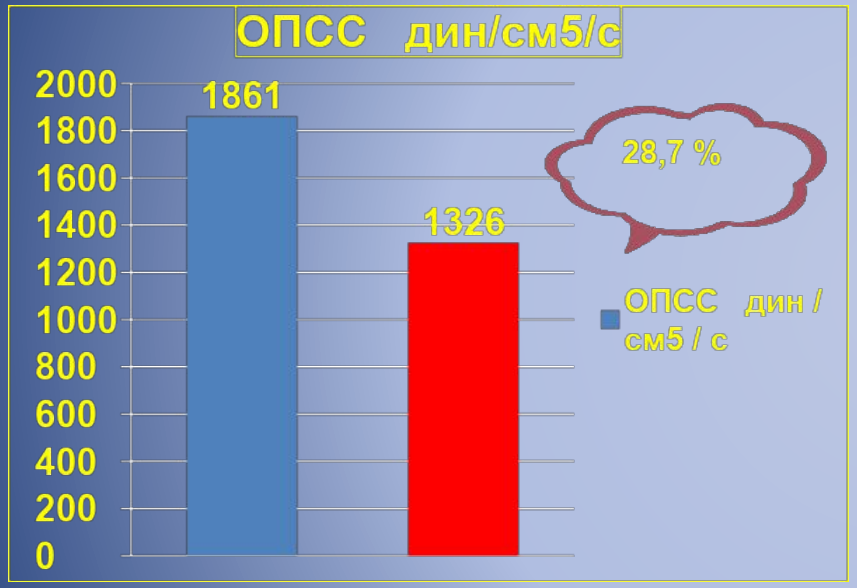
Параметры	Способ вентиляции		P
	ИВЛ n= 19	ВЧС ИВЛ n=32	
f мин$^{-1}$	20	100	
УИ мл/м^2	33,9±9,4	48,5±13,4	0,000
СИ л /мин·м^2	2,7±1,3	4,0±0,4	0,000
ОПСС дин / см^5 / с	1861,4±466,1	1326,4±371,2	0,000
ЦВД см вод.ст	10,4±1,8	13,9±1,8	0,000

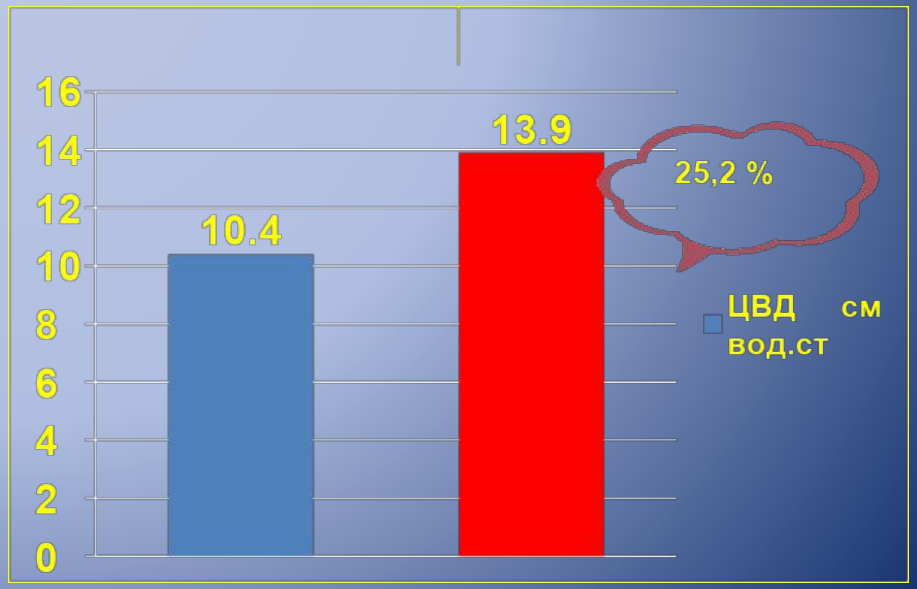
ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЁГКИХ





ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЁГКИХ





ЭФФЕКТЫ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ ВЧС ИВЛ

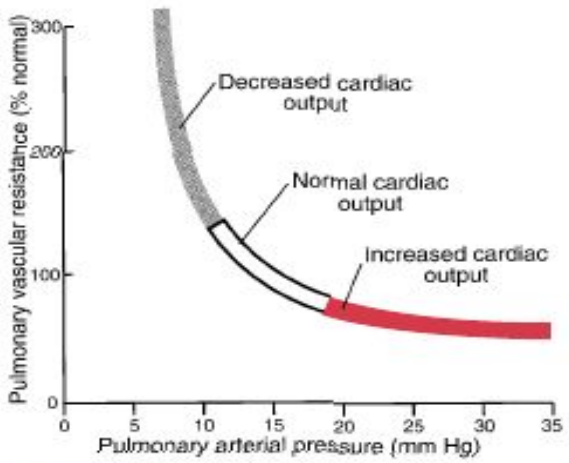


FIGURE 20.4 **Effect of cardiac output on pulmonary vascular resistance.** Pulmonary vascular resistance falls as cardiac output increases. Note that if pulmonary arterial pressure rises, pulmonary vascular resistance decreases.

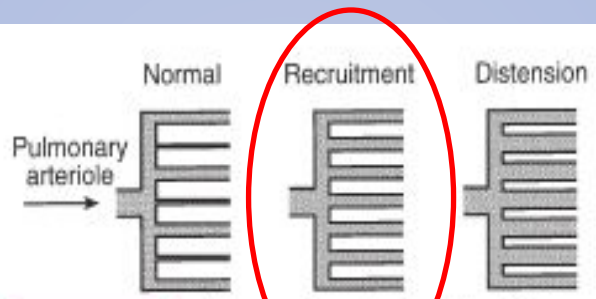


FIGURE 20.5 **Capillary recruitment and capillary distension.** These two mechanisms are responsible for decreasing pulmonary vascular resistance when arterial pressure increases. In the normal condition, not all capillaries are perfused. Capillary recruitment (the opening up of previously closed vessels) results in the perfusion of an increased number of vessels and a drop in resistance. Capillary distension (an increase in the caliber of vessels) also results in a lower resistance and higher blood flow.

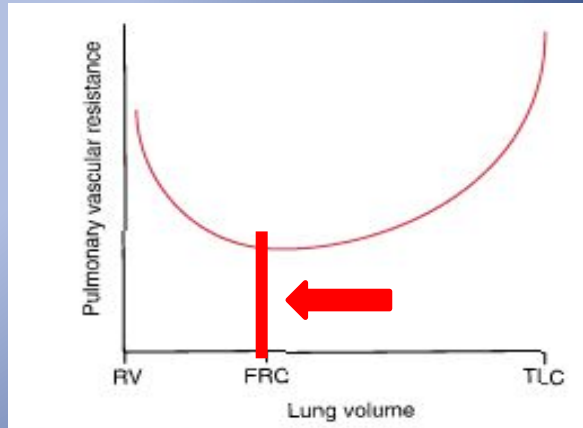
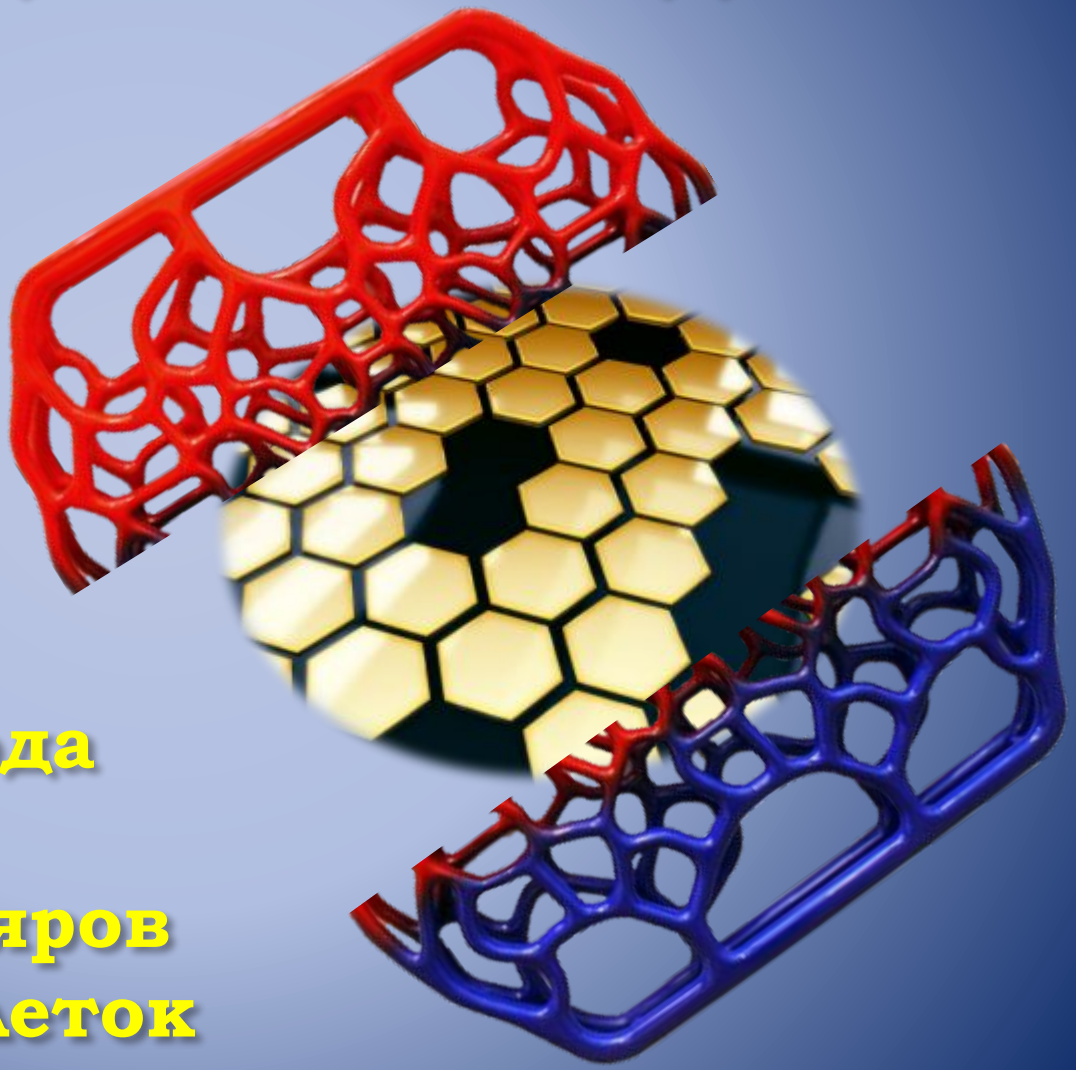


FIGURE 20.6 **Effect of lung volume on pulmonary vascular resistance.** Total pulmonary vascular resistance as a function of lung volumes follows a U-shaped curve, with resistance lowest at functional residual capacity (FRC).

RESPIRATORY PHYSIOLOGY
Rodney A. Rhoades, Ph.D.
George A. Tanner, Ph.D.
2006

4 этап
кислородного каскада



передача кислорода
из крови
тканевых капилляров
митохондриям клеток

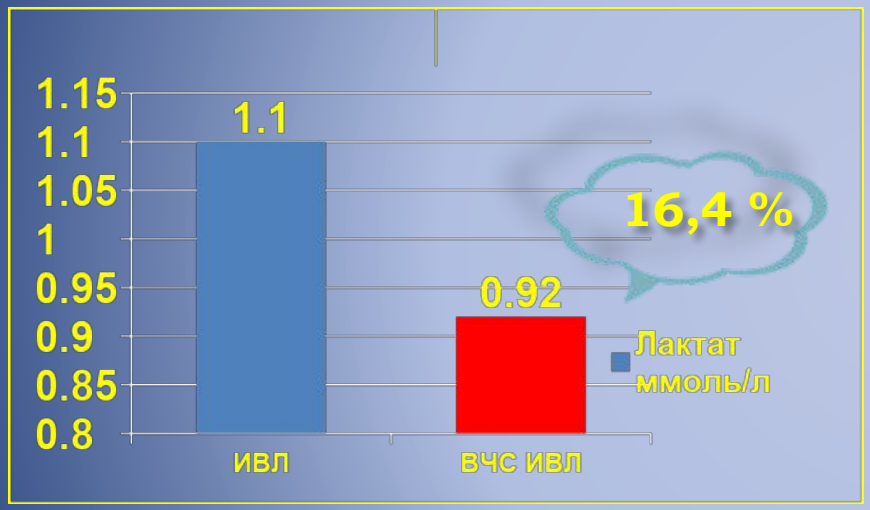
НАПОЛНЕНИЕ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ СОСУДОВ

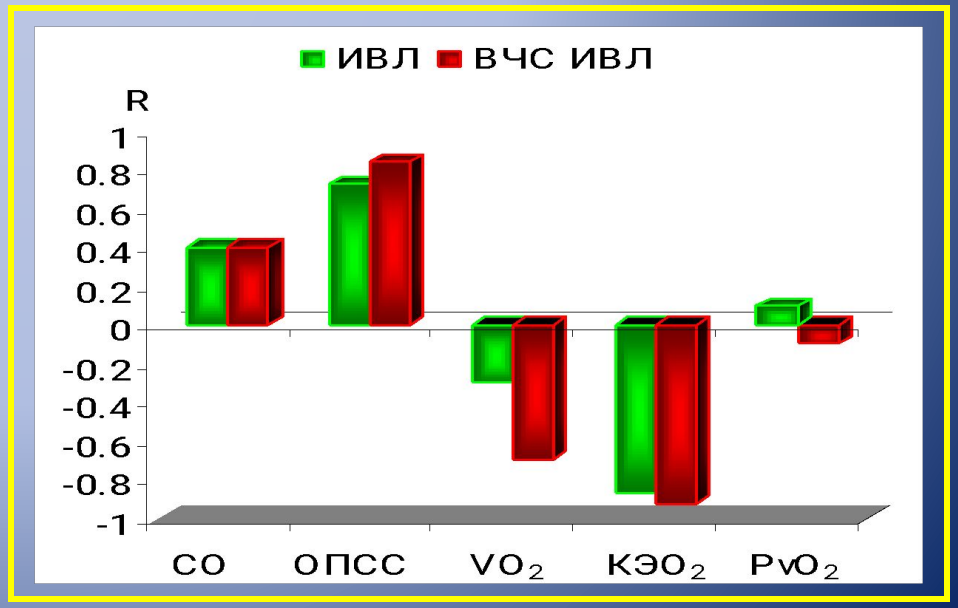
	Способ вентиляции			P (критерий Стьюдента)		
	ИВЛ (1)	ВЧС ИВЛ (2)	CPAP (3)	P_{1-2}	P_{1-3}	P_{2-3}
НАПОЛНЕНИЕ, % M±SD	1,65±1,22	2,925±1,39	3,89±1,49	0,000	0,000	0,000

Содержание лактата и его корреляционные связи с параметрами транспорта кислорода (n=16).

Способ вентиляции	Лактат ммоль/л (норма 0,5-1,6)	Коэффициенты корреляции концентрации лактата				
		СО	ОПСС	VO_2	$КЭО_2$	PvO_2
ИВЛ	1,1±0.25	0,4 P=0,1	0,73 P=0,002	-0,3 P=0,1	-0,87 P=0,000	0,1 P=0,7
ВЧС ИВЛ	0,92±0,25 P=0,02	0,4 P=0.07	0,84 P=0,000	-0,7 P=0,002	-0,93 P=0,000	-0,1 P=0,7

Содержание лактата и его корреляционные связи с параметрами транспорта кислорода.



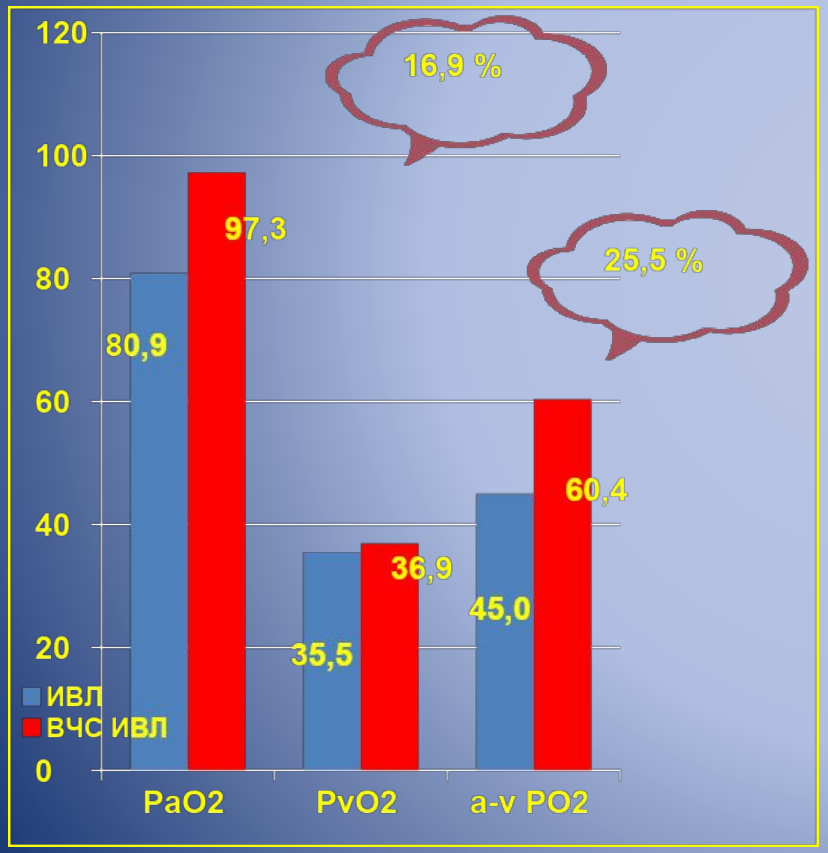


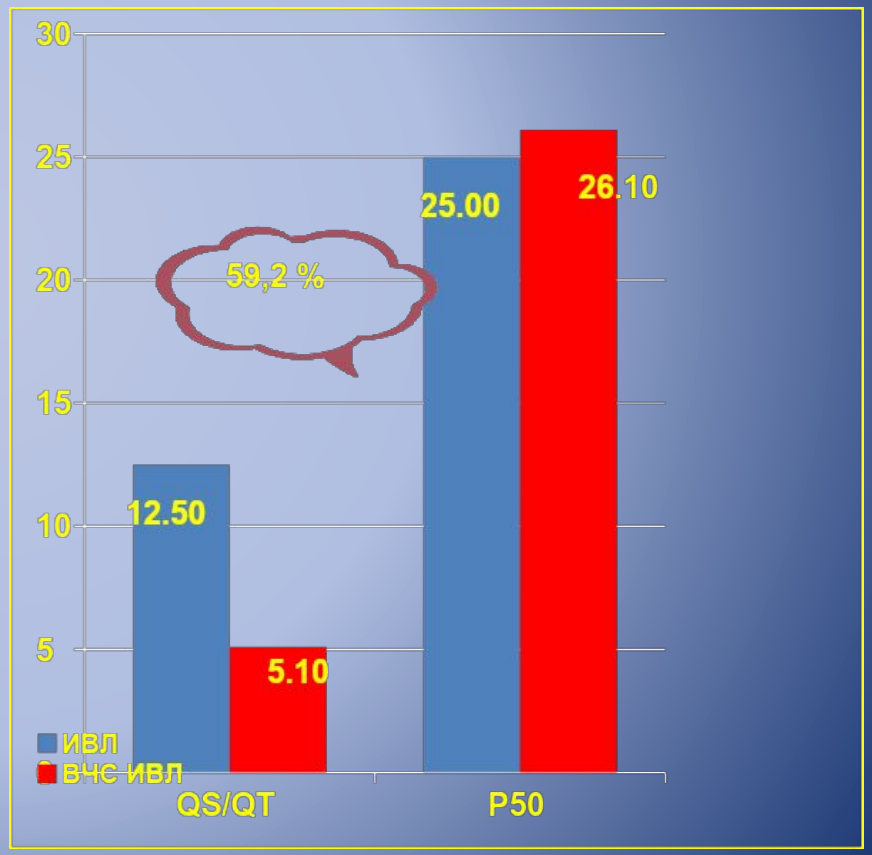
ТРАНСПОРТ КИСЛОРОДА и ТКАНЕВОЙ ГАЗООБМЕН ПРИ ИВЛ и ВЧС ИВЛ

F_IO_2 = 0,21

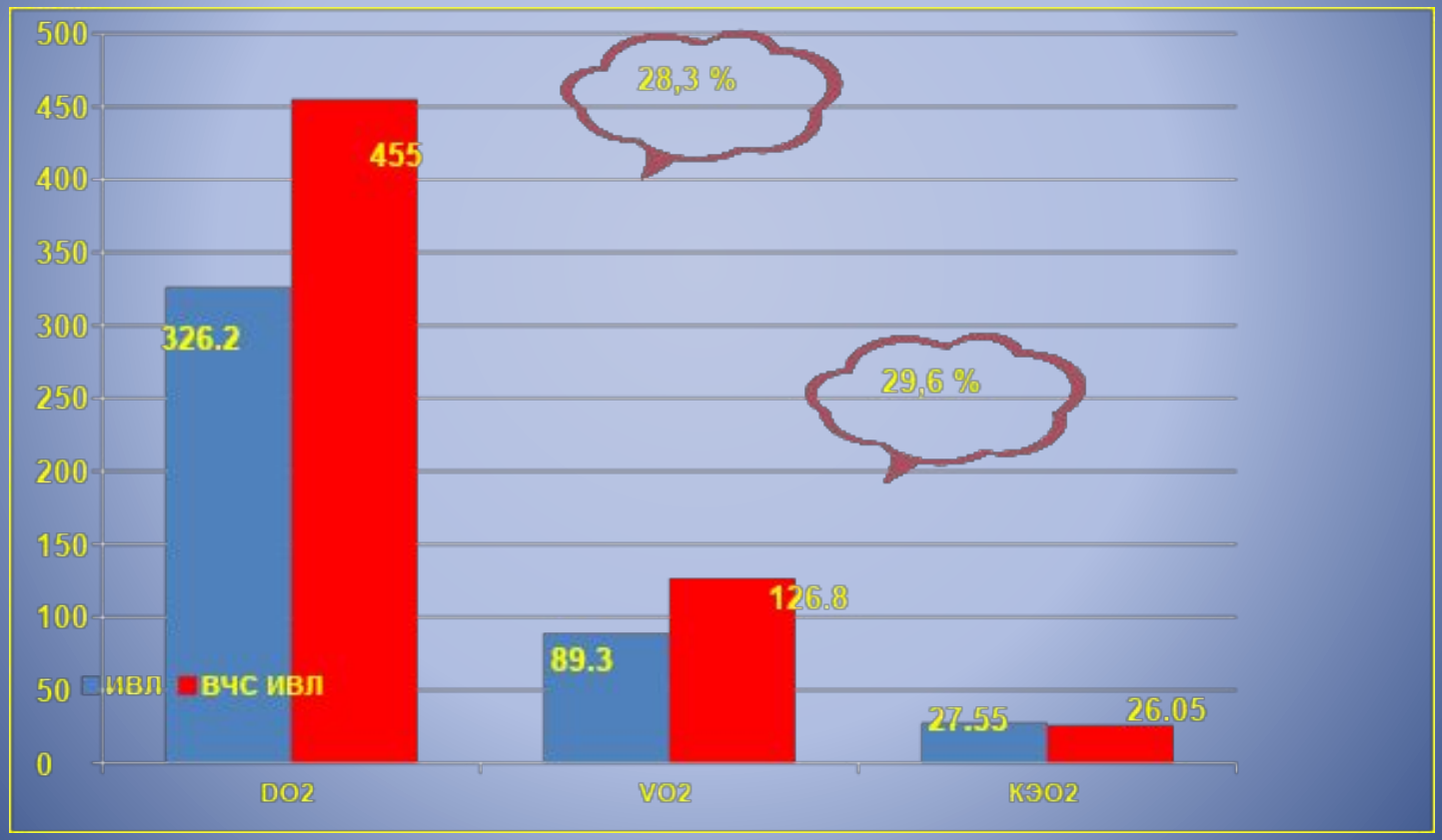
СПОСОБ ВЕНТИЛЯЦИИ	Параметры (M±SD; n=24)							
	PaO_2 мм Hg	PvO_2 мм Hg	a-v PO_2 мм Hg	DO_2 мл/мин	VO_2 мл/мин	КЭO_2 %	Q_S/Q_T % МОС	P_{50} мм Hg
ИВЛ	80,9 ±10.8	35,5 ±2,4	45,0 3±10,0	326,2 ±41,3	89,3 ±16,75	27,55 ±4,6	12,5 ±5,1	25,0 ±5,7
ВЧС ИВЛ	97,3 ±13,6	36,9 ±3,1	60,4 ±13,7	455,0 ±166,4	126,8 ±75,0	26,05 ±4,8	5,1 ±2,6	26,1 ±1,2
P*	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,014

ТРАНСПОРТ КИСЛОРОДА и ТКАНЕВОЙ ГАЗООБМЕН ПРИ ИВЛ и ВЧС ИВЛ





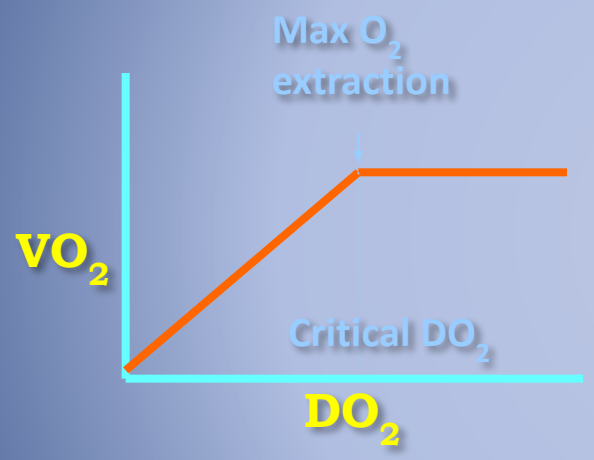
ТРАНСПОРТ КИСЛОРОДА и ТКАНЕВОЙ ГАЗООБМЕН ПРИ ИВЛ и ВЧС ИВЛ

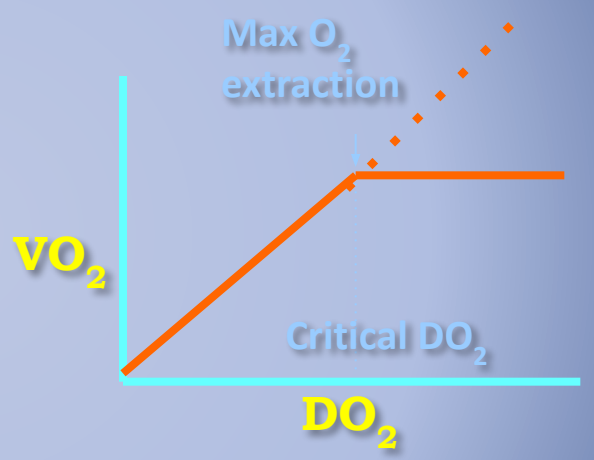


ОСОБЕННОСТИ 4-го ЭТАПА КИСЛОРОДНОГО КАСКАДА ПРИ ВЧС ИВЛ

периферическая гемодинамика и микроциркуляция при ВЧС ИВЛ функционируют в «режиме повышенной комфортности», сопровождающемся уменьшенным общим периферическим сосудистым сопротивлением, раскрытием дополнительных, «резервных» капилляров в тканях, повышенной на 60% доставкой кислорода и, как следствие, повышенным почти в полтора раза потреблением его по сравнению с традиционной ИВЛ.

HEMODYNAMIC SUPPORT





Normal

$VO_2 = DO_2 \times O_2ER$

Septic Shock/ARDS

Abnormal Flow Dependency

Society of Critical Care Medicine

ОСОБЕННОСТИ 4-го ЭТАПА КИСЛОРОДНОГО КАСКАДА ПРИ ВЧС ИВЛ

Важно подчеркнуть, что столь высокая эффективность кислородного транспорта достигается при безопасных величинах FIO2 (0,5-0,62), в отличие от конвективной вентиляции, где даже 100%-е содержание кислорода во вдыхаемой смеси не всегда гарантирует адекватную доставку кислорода к тканям

ПРЕИМУЩЕСТВА ВЧС ИВЛ

ОТКРЫТЫЙ ДЫХАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР;

МАЛЫЕ ПИКОВОЕ И СРЕДНЕЕ ДАВЛЕНИЕ В ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЯХ;

ОТСУТСТВИЕ ДЕПРЕССИВНОГО ВЛИЯНИЯ НА СИСТЕМНУЮ ГЕМОДИНАМИКУ;

ОТСУТСТВИЕ ВЛИЯНИЯ НА ЦЕРЕБРАЛЬНУЮ ГЕМОДИНАМИКУ;

УЛУЧШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЁГКИХ В ПРОЦЕССЕ ПРОВЕДЕНИЯ ИВЛ – УВЕЛИЧЕНИЕ КОМПЛАЙНСА, УЛУЧШЕНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННО-ПЕРФУЗИОННОГО СООТВЕТСТВИЯ;

ПРЕИМУЩЕСТВА ВЧС ИВЛ

ОТСУТСТВИЕ УГРОЗЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АТЕЛЕКТАЗОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИВЛ;

ОТСУТСТВИЕ СНИЖЕНИЯ ДИУРЕЗА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИВЛ;

ОТСУТСТВИЕ ФЕНОМЕНА СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕСПИРАТОРУ;

УМЕНЬШЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В СЕДАТИВНЫХ ПРЕПАРАТАХ;

УЛУЧШЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОКРОТЫ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ МУКОЦИЛИАРНОГО ТРАНСПОРТА;

ПРЕИМУЩЕСТВА ВЧС ИВЛ

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ АСПИРАЦИИ И МИКРОАСПИРАЦИИ, Т. Е. ИСТИННАЯ ПРОФИЛАКТИКА ВЕНТИЛЯТОР-АССОЦИИРОВАННОЙ ПНЕВМОНИИ;

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОДУКЦИИ СУРФАКТАНТА, ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЕГО АКТИВНОСТИ;

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ АДЕКВАТНОЙ ИВЛ НЕИНВАЗИВНЫМИ (МАСКА, ЗАГУБНИК, НАЗОФАРИНГЕАЛЬНЫЙ КАТЕТЕР, ВОЗДУХОВОД) И МАЛОИНВАЗИВНЫМИ (ТРАНСТРАХЕАЛЬНЫЙ КАТЕТЕР, МИКРОТРАХЕОСТОМА) СПОСОБАМИ;

ОТСУТСТВИЕ РАЗВИТИЯ «ВЕНТИЛЯЦИОННОГО НЕВРИТА» ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИВЛ;

ПРЕИМУЩЕСТВА ВЧС ИВЛ

УМЕНЬШЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВНЕСОСУДИСТОЙ ВОДЫ В ЛЁГКИХ;

СНИЖЕНИЕ ТЯЖЕСТИ ИШЕМИЧЕСКИХ И РЕПЕРФУЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОРГАНОВ И ТКАНЕЙ;

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ РЕЖИМОВ CPAP И CMV БЕЗ ПРИСУЩИХ ИМ НЕДОСТАТКОВ;

ГАРАНТИРОВАННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АДЕКВАТНОЙ ОКСИГЕНАЦИИ

ПРЕИМУЩЕСТВА ВЧС ИВЛ

САНАЦИЯ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЕЙ БЕЗ ПРЕКРАЩЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИИ И УХУДШЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ПАЦИЕНТА;

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАТЕТЕРНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ДЛЯ БЫСТРОГО ДОСТУПА К ДЫХАТЕЛЬНЫМ ПУТЯМ;

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ЭНДОТРАХЕАЛЬНЫХ И ЭНДОБРОНХИАЛЬНЫХ МАНИПУЛЯЦИЙ, В ТОМ ЧИСЛЕ МАЛОИНВАЗИВНЫХ ОПЕРАЦИЙ (ЛАЗЕРНАЯ ХИРУРГИЯ);

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОТЕКТИВНОЙ ИВЛ БЕЗ НАРУШЕНИЙ ГАЗОВОГО СОСТАВА АРТЕРИАЛЬНОЙ КРОВИ

ПРЕИМУЩЕСТВА ВЧС ИВЛ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ АДЕКВАТНОЙ ОКСИГЕНАЦИИ КРОВИ В СИТУАЦИЯХ, КОГДА ТРАДИЦИОННАЯ ИВЛ ОКАЗЫВАЕТСЯ НЕСОСТОЯТЕЛЬНОЙ (СОЛП, РДСВ, ЭМБОЛИИ ЛЁГОЧНОЙ АРТЕРИИ);

ОБЕСПЕЧЕНИЕ АДЕКВАТНУЮ ВЕНТИЛЯЦИЮ ЛЁГКИХ БЕЗ ИНТУБАЦИИ ТРАХЕИ И ТРАХЕОСТОМИИ (БЕЗИНЖЕКЦИОННЫЙ КАТЕТЕРНЫЙ ВАРИАНТ);

ВЧС ИВЛ СОПРОВОЖДАЕТСЯ СНИЖЕНИЕМ ВНУТРИЧЕРЕПНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ СИНДРОМЕ ЦЕРЕБРАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ;

ПРЕИМУЩЕСТВА ВЧС ИВЛ

ОБЕСПЕЧИВАЕТ АДЕКВАТНУЮ ВЕНТИЛЯЦИЮ ПРИ ОПЕРАЦИЯХ, СОПРОВОЖДАЮЩИХСЯ НАРУШЕНИЕМ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЕЙ (АЛЬВЕОЛЯРНЫЕ, БРОНХИАЛЬНЫЕ СВИЩИ, ТРАВМЫ И РАНЕНИЯ ЛЁГКОГО, РЕКОНСТРУКТИВНЫЕ ОПЕРАЦИИ НА ТРАХЕЕ И БРОНХАХ);

ПРЕДУПРЕЖДАЕТ ДЕПРЕССИЮ ВЕНОЗНОГО ВОЗВРАТА И НАСОСНОЙ ФУНКЦИИ СЕРДЦА, СОЗДАЁТ УСЛОВИЯ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ ГЕМОДИНАМИКИ К МЕХАНИЧЕСКОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЁГКИХ;

НЕВЫСОКАЯ СТОИМОСТЬ АППАРАТУРЫ…

СУЩЕСТВУЕТ ЛИ СЕГОДНЯ ДРУГОЙ ВИД ИСКУССТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЁГКИХ МЕТОДОМ ВДУВАНИЯ, УЛУЧШАЮЩИЙ ГЕМОДИНАМИКУ, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЁГКИХ, КИСЛОРОДНЫЙ СТАТУС ПАЦИЕНТА, АДАПТАЦИЮ РЕСПИРАТОРА К ВЕНТИЛЯЦИОННЫМ ПОТРЕБНОСТЯМ БОЛЬНОГО БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ ДОРОГИХ И СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И СПЕЦИАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ В СОЧЕТАНИИ С БЕСПРЕЦЕДЕНТНЫМИ БЕЗОПАСНОСТЬЮ И УПРАВЛЯЕМОСТЬЮ ?..

ВЧС ИВЛ

ИВЛ