



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Дыхательная недостаточность при обструктивных болезнях легких

М.А.Куценко

Кафедра госпитальной терапии РГМУ
НИИ пульмонологии ФМБА России

Определение ДН



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

**Дыхательная недостаточность –
состояние человека, у которого в условиях покоя,
вследствие нарушения дыхательной функции
напряжение кислорода в артериальной крови ($p\text{aO}_2$)
ниже 60 мм Нг или парциальное напряжение
углекислого газа в артериальной крови
($p\text{aCO}_2$) выше 45 мм Нг**

E.J.M.Campbell, 1965

Определение ДН



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

**Дыхательная недостаточность –
состояние организма, при котором
возможности легких и аппарата вентиляции
обеспечить нормальный газовый состав крови
при дыхании воздухом ограничены**

А.П.Зильбер, 1989

Газовый состав артериальной крови



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

$$35 \text{ mm Hg} < \text{CO}_2 < 45 \text{ mm Hg}$$

$$80 \text{ mm Hg} > \text{O}_2$$

$$\text{O}_2 = 104 - (0,27 \times \text{возраст}) \text{ mm Hg}$$

Adroque H.J., Tobin M.J., 1997

Классификация ДН



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Скорость развития

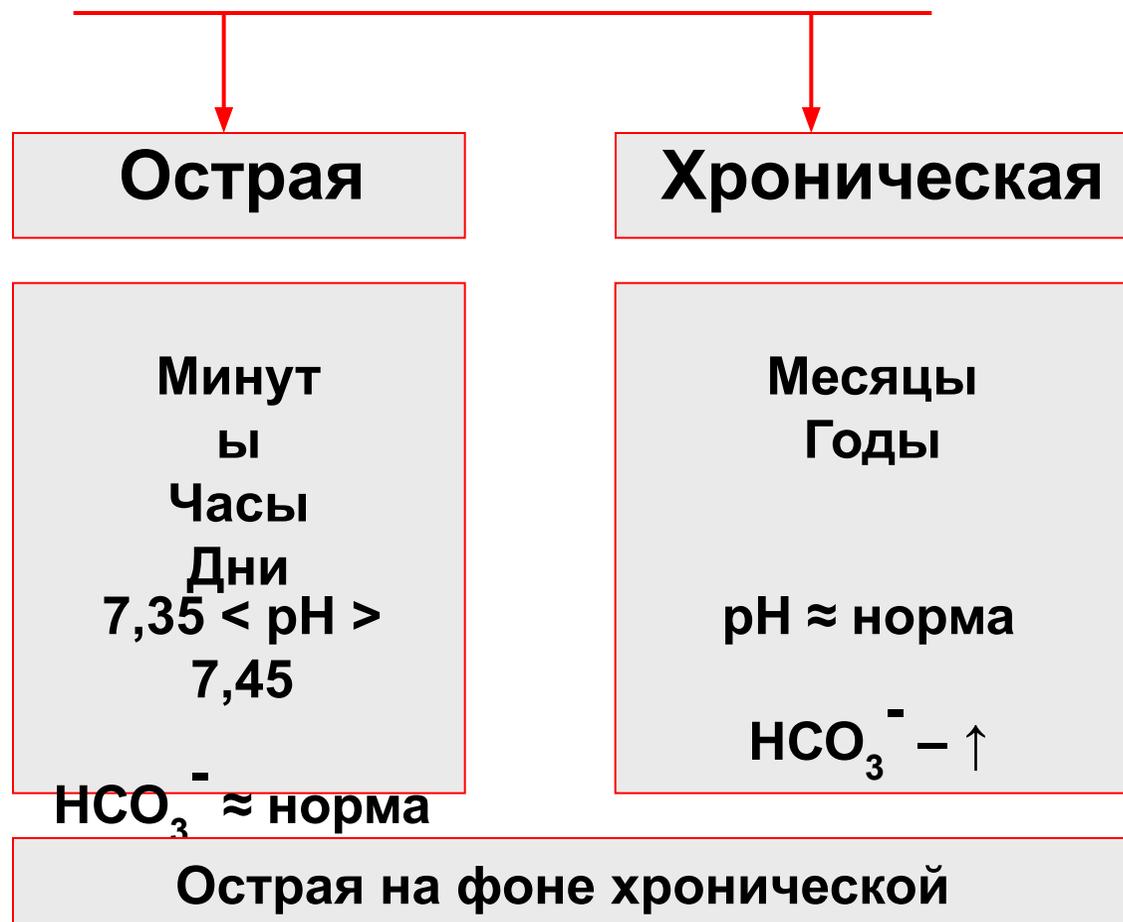
Степень тяжести

Патогенез



Классификация ДН

По скорости развития:



Классификация ДН



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Скорость развития

Степень тяжести

Патогенез



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Классификация ДН

По степени тяжести

Степень	PaO ₂ (mm Hg)	SaO ₂ (%)
Норма	≥ 80	≥ 95
I	60-79	90-94
II	40-59	75-89
III	< 40	< 75

Классификация ДН



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Скорость развития

Степень тяжести

Патогенез



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Классификация ДН

По патогенезу

**Нарушение
газообмена**

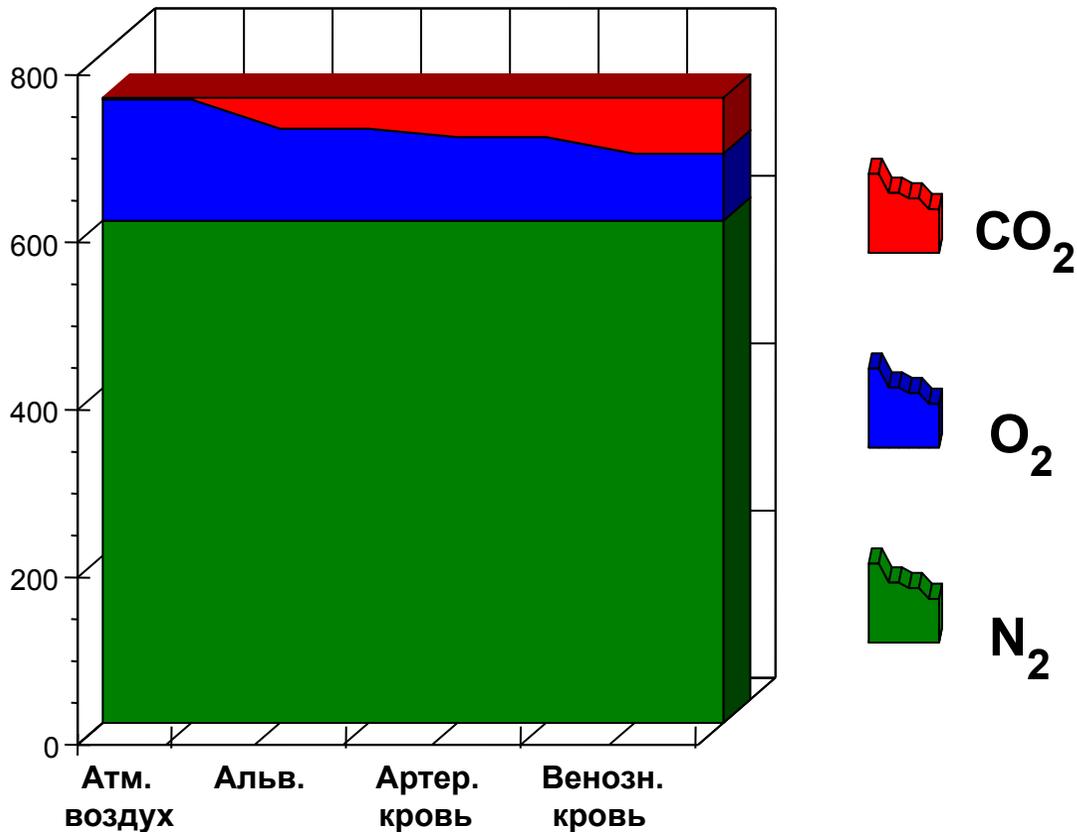
**Гипоксемическая
(ДН I типа)
[Паренхиматозная/
легочная]**

**Нарушение
вентиляции**

**Гиперкапническая
(ДН II типа)
[Вентиляционная/
насосная]**

C.Roussos & A.Koutsoukou, 2003

Газы



Уравнение Уэста

$$P_{AO_2} = P_{iO_2} - P_{ACO_2} (F_{iO_2} + (1 - F_{iO_2} / R))$$

P_{AO_2} – парциальное давление O₂ в альвеолах

P_{ACO_2} – парциальное давление CO₂ в альвеолах

P_{iO_2} – парциальное давление O₂ во вдыхаемом воздухе

F_{iO_2} – фракционная концентрация O₂ во вдыхаемом воздухе

R – коэффициент дыхательного газообменного отношения

Механизмы развития гипоксемии



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

- Вентиляционно-перфузионный дисбаланс
- Шунтирование
- Нарушение диффузионной способности
- Гиповентиляция

Механизмы развития гиперкапнии



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

- Гиповентиляция
- Увеличение функционального мертвого пространства
- Повышение продукции CO_2

Классификация ДН



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

	Внелегочные причины ДН			Легочные причины ДН						
				Обструкция дыхат. путей						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Механизмы ДН	Нарушения центральной регуляции дыхания	Поражение дыхательных мышц и периферических нервов	Поражение грудной стенки	Крупных (гортань, трахея, главные бронхи)	Мелких (мелкие бронхи)	Нарушение рестрикции (растяжимости легочной ткани)	Сокращение функционирующей ткани легкого	Нарушение диффузии газов	Нарушение легочного кровотока	Нарушение вентиляционно-перфузионных отношений
Заболевания и синдромы	Поражение головного мозга: инсульт, токсические поражения, травма, нейроинфекция	Травма, миалгия, полиомиелит, полирадикулоневрит, столбняк	Травма, кифосколиоз, другие деформации	Опухоль, инородное тело, дискинезия мембранозной части трахеи	Бронхиальная астма, бронхолит, обструктивный бронхит	Гидроторакс, пневмоторакс, фиброторакс, отек легких, массивные пневмонии	Массивное воспаление, резекция легкого, ателектазы	Отек легких, воспаление легкого, фиброз легкого	Застой в малом круге, гиповолемия	Хронический обструктивный бронхит, тромбоэмболия ветвей легочной артерии, воспаление легкого
Форма ДН	Вентиляционная форма ДН							Паренхиматозная форма ДН		
Нарушение газового состава крови	Гиперкапния и гипоксемия							Гипоксемия		

Основные патофизиологические механизмы ОДН при обструктивных заболеваниях



- **Нарушение муко-цилиарного клиренса**
- **Повышение резистентности ДП**
- **Вентиляционно-перфузионный дисбаланс**
- **Динамическая гиперинфляция**
- **Слабость / утомление ДМ**
- **Легочная гипертензия**

Симптомы дыхательной недостаточности



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

- Симптомы причинного заболевания
- Проявления гипоксемии
- Признаки гиперкапнии
- Симптомы дисфункции ДМ
- Симптоматика легочного сердца

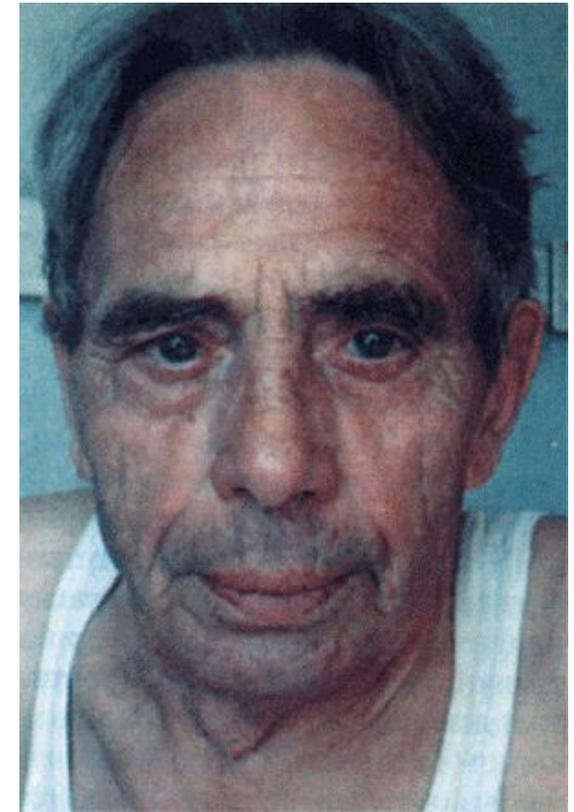
Симптомы дыхательной недостаточности

Проявления гипоксемии



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

- Центральный (диффузный, серый) цианоз
- Тахипноэ
- Признаки гипоксической энцефалопатии





Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Шкала гипоксической энцефалопатии

Normal	0	Нет изменений
Mild asterexis	1	Легкий “порхающий” тремор
Marked asterexis Mild confusion Sleeping during the day	2	Выраженный “порхающий” тремор Легкая спутанность сознания, дезориентация Дневная сонливость
Major confusion with daytime sleepiness Agitation	3	Выраженная спутанность сознания и дневная сонливость Ажитация (возбуждение)
Obtundation Major agitation	4	Ступор Выраженная агитация

Brochard L., Mancebo J., Wisocki M., et al., 1995

Симптомы дыхательной недостаточности



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Проявления гиперкапнии

- Потливость
- Бессонница
- Хлопающий тремор
- Утренние головные боли
- Спутанность сознания (кома)

Симптомы дыхательной недостаточности



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Признаки дисфункции дыхательной мускулатуры

- Диспноэ
- Альтернирующее дыхание
- Абдоминальный парадокс
- Включение в дыхание вспомогательной ДМ
- Респираторный пульс



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Выраженность одышки по шкале Borg

Maximal	10	Максимальная
Very, very severe	9	Очень, очень тяжелая
	8	
Very severe	7	Очень тяжелая
	6	
Severe	5	Тяжелая
Somewhat severe	4	Несколько тяжелая
Moderate	3	Умеренная
Slight	2	Легкая
Very slight	1	Очень легкая
Very, very slight	0,5	Очень, очень легкая
No	0	Нет одышки

Лечение ХДН

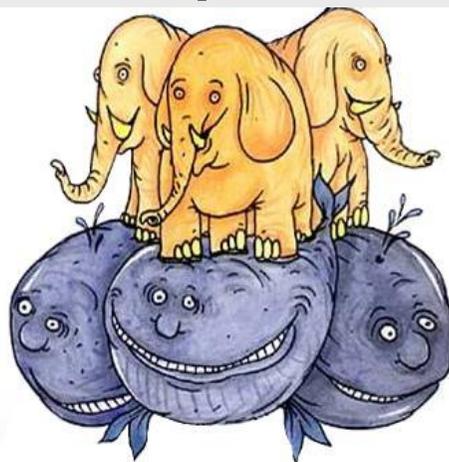


Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Реабилитация

**Аппаратные и
инструментальные методы
воздействия**

**Медикаментозная
терапия**



Лечение ОДН

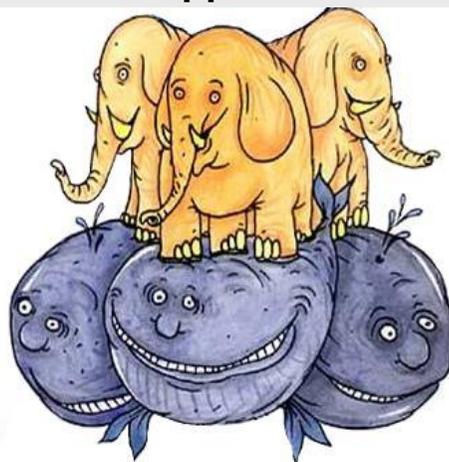


Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Реабилитация

**Медикаментозная
терапия**

**Аппаратные и
инструментальные методы
воздействия**



Лечение ДН при ОБЛ



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Медикаментозная терапия

- Восстановление проходимости ДП
- Нормализация вентиляционно-перфузионного соотношения
- Борьба с инфекцией
- Борьба с воспалением
- Профилактика осложнений

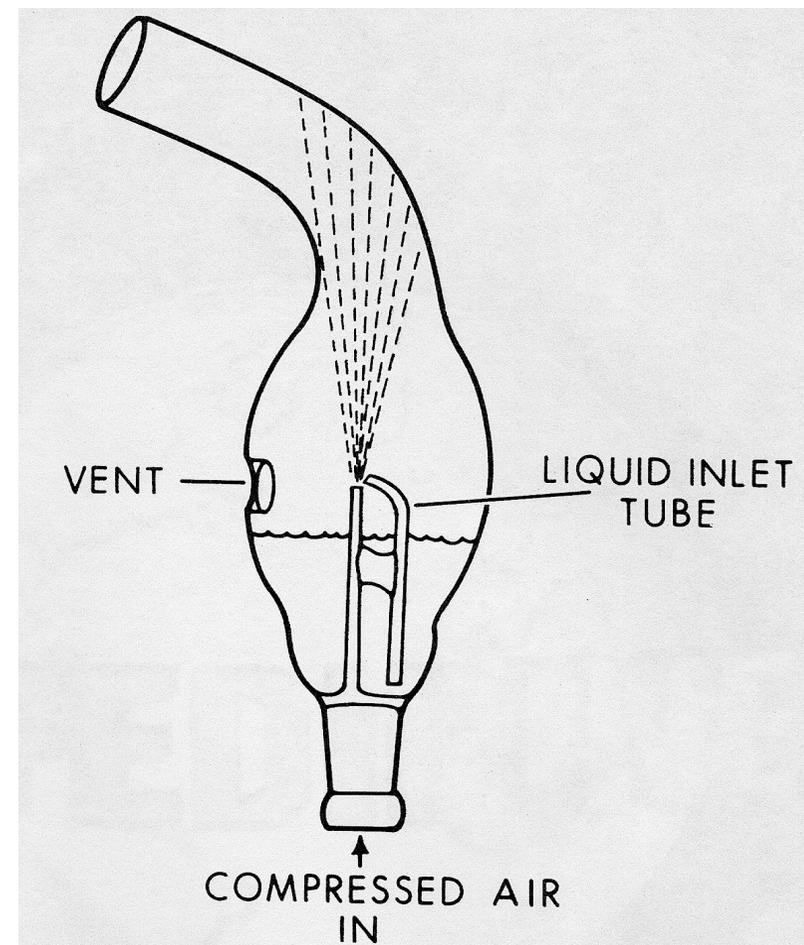
Аппаратные и инструментальные методы воздействия

- Восстановление проходимости ДП
- Респираторная поддержка:
 - Кислородотерапия
 - Гелиокс
 - СРАР-терапия
 - НВЛ
 - ИВЛ
- Нормализация газообмена
- Разгрузка ДМ



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Ингаляционная терапия



Ингаляционная терапия



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ



Ингаляционная терапия



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Влияние размера частиц аэрозоля на распределение в дыхательных путях

Более 10 мкм - осаждение в ротоглотке

5- 10 мкм - осаждение в ротоглотке, гортани и трахее

2- 5 мкм - осаждение в нижних дыхательных путях

1- 2 мкм - осаждение в альвеолах

менее 1 мкм - не осаждаются в легких



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Ингаляционная терапия

Средние дозы ингаляционных препаратов при использовании небулайзера

ПРЕПАРАТ	ДОЗА
SALBUTAMOL	2,5 - 5 мг (2,5- 5,0 мл)
TERBUTALIN	5 - 10 мг (0,25 - 0,5 мл)
IPRATROPIUM BROMIDE	0,25 - 0,5 мг (1,0- 2,0 мл)
BERODUAL (FENOTEROL+ IPRATROPIUM BROMIDE)	2- 4 мл
BUDESONIDE (PULMICORT)	0,5 - 1,0 мг
N-ACETYLCYSTEINE	300 мг (3,0 мл)
AMBROXOLUM	30 мг (4,0 мл)
rhDNase	2,5 мг

Ингаляционная терапия



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Наиболее часто применяемые ингаляционные антибиотики

Антибиотик	Доза
Гентамицин	80,0 мг 2 раза в сутки
Тобрамицин	80,0 мг 3 раза в сутки
Амикацин	100,0 мг 2 раза в сутки
Карбенициллин	0,5 г 2 раза в сутки



Задачи респираторной поддержки

- Нормализация газообмена
 - ✓ разрешение гипоксемии
 - ✓ предотвращение ретенции углекислоты и устранение респираторного ацидоза
- Разрешение респираторного дистресса
 - ✓ снижение кислородной цены дыхания
 - ✓ восстановление функции дыхательной мускулатуры
- Изменение соотношений давление-объем
 - ✓ предотвращение и раскрытие ателектазов
 - ✓ предотвращение феномена “воздушной ловушки”
 - ✓ улучшение комплаенса легких
 - ✓ предотвращение дальнейшего повреждения легких
- Создание условий покоя для восстановления поврежденных легких



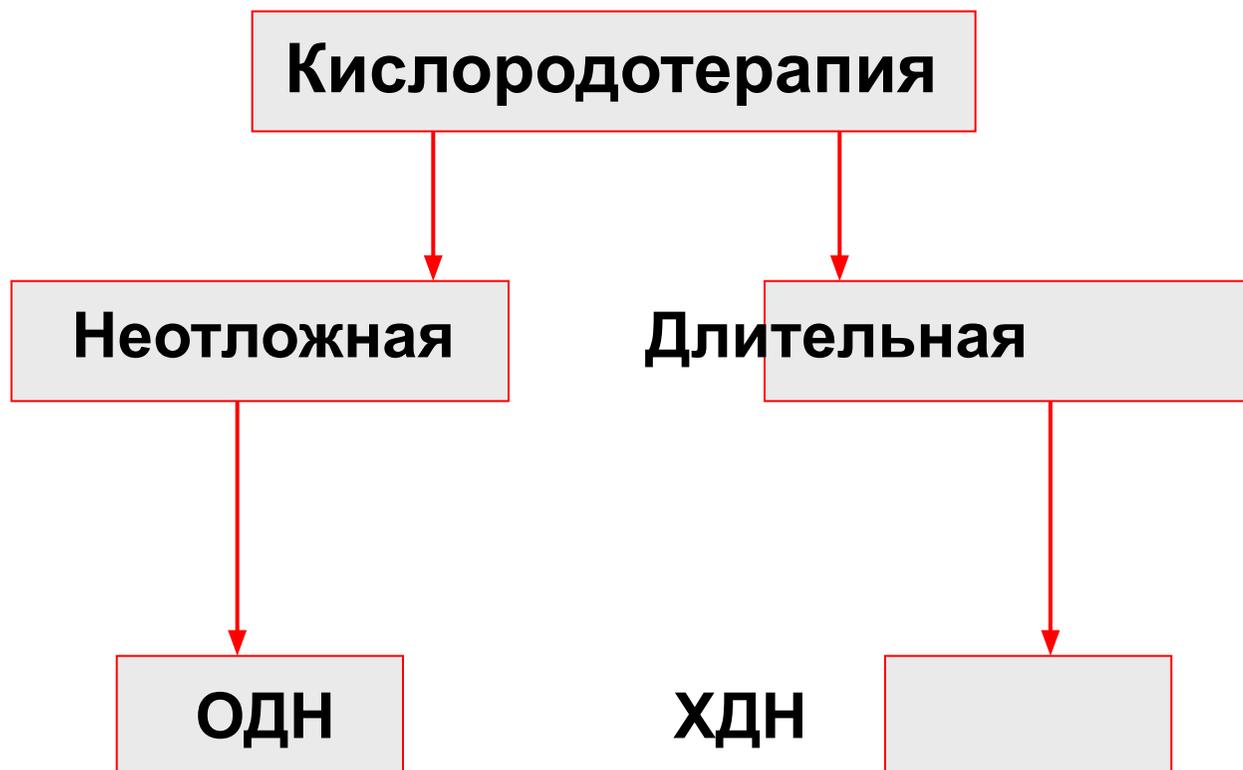
Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Кислородотерапия

Кислородотерапия



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ



Кислородотерапия



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Цел ь

$P_{aO_2} \geq 60 \text{ mm Hg}$

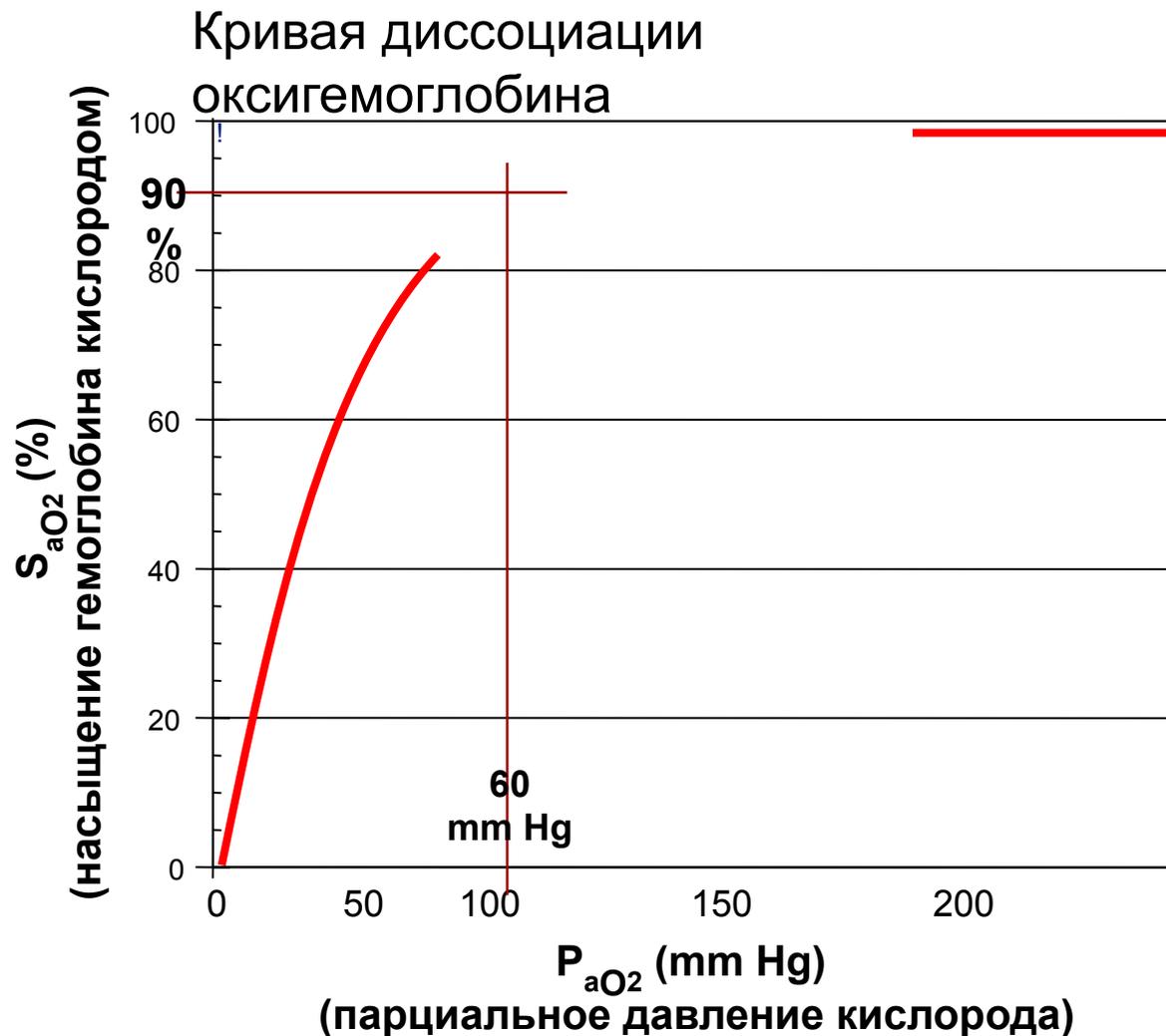
$SaO_2 \geq 90\%$

$CaO_2 \geq 18 \text{ vol\%}$

Газовый состав артериальной крови



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ



$P_{aO_2} = 60 \text{ mm Hg}$
↑
↓
 $S_{aO_2} = 90\%$

Проявления токсического действия кислорода



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Физиологические нарушения

Легочные

- ↓ вентиляции
- ↓ мукоцилиарного клиренса
- ↓ функции макрофагов
- абсорбционные ателектазы

Внелегочные

- ↓ эритропоэза
- ↓ сердечного выброса
- системная вазоконстрикция

Проявления токсического действия кислорода



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Тканевые и клеточные нарушения

Острые

- ↓ сурфактанта
- ↓ эндотелиоцитов
- ↓ нейтрофилов
- ↑ моноцитов
- альвеолярные кровоизлияния
- альвеолярный отек

Хронические

- образование гиалиновых мембран
- ↑ альвеолоцитов II типа
- ↑ сурфактанта
- ↑ фибробластов

Рекомендуемые режимы O₂-терапии у больных с обострением ХОБЛ



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

PaO ₂ (mm Hg) при FiO ₂ = 0,21 (носовые канюли)	Режим кислородотерапии	
	Поток O ₂ л/мин	Достижимый уровень FiO ₂
55 – 60	1	24
50 – 54	2	28
45 – 49	3	32
40 – 44	4	35

Показания к длительной кислородотерапии



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Постоянная ДКТ

$PaO_2 < 55 \text{ mm Hg}$
($SaO_2 < 88\%$)
в покое

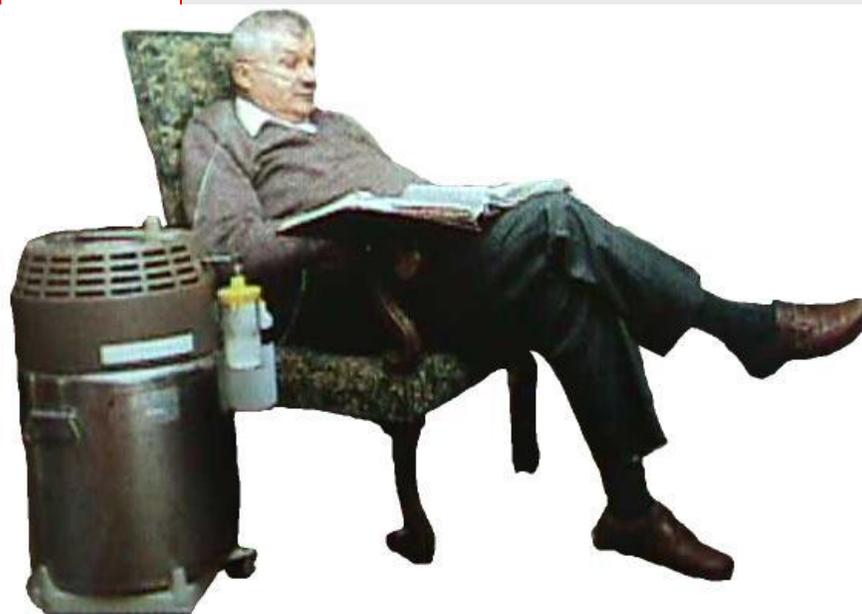
$55 \text{ mm Hg} < PaO_2 < 60 \text{ mm Hg}$
($SaO_2 < 90\%$)

+

легочное сердце
или
эритроцитоз

Непостоянная ДКТ

$PaO_2 < 55 \text{ mm Hg}$
($SaO_2 < 88\%$)
при физической нагрузке
или





Источники кислорода для ДКТ

Тип	Источник O ₂	Преимущества	Недостатки
Мобильный	Баллоны с сжатым O ₂	- Доступность - Умеренная стоимость - Не требует специального обслуживания	- Сложная заправка - Частые заправки - Большой вес
Смешанный	Баллоны с жидким O ₂	- Портативность - Малый вес - Простота заправки - Большая емкость	- Высокая стоимость - Необходимость специального обслуживания
Стационарный	Концентратор кислорода	- Простота использования - Длительный срок службы	- Необходимость электропитания - Необходимость специального обслуживания

Концентрация кислорода во вдыхаемой смеси



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Поток O ₂ (л/мин.)	Способ доставки O ₂		
	Носовые канюли	С в мешком	ска
1,0	24%	не применяется из-за низкой	
2,0	28%	концентрации O ₂	
3,0	32%	35%	35%
4,0	36%	40%	40%
5,0	40%	45%	50%
6,0	не применяется	50%	60%
7,0	из-за	65%	70%
8,0	высушивания	не применяется	
9,0	слизистой	из-за избытка	
10,0	носа	газа под маской	99%



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Использование гелия в лечении обструктивных заболеваний легких

Физические свойства гелия



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Газ	Плотность	Вязкость вязкость	Кинетическая
O ₂ (100%)	1,429	211,4	147,9
Воздух	1,293	188,5	145,8
He (100%)	0,179	201,75	1127,1
He+O ₂ :			
20% - 80%	1,178	209,5	177,8
40% - 60%	0,678	207,5	306,1
80% - 20%	0,429	203,6	474,6

Число Рейнольдса



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

$$Re = \frac{2 \cdot r \cdot v \cdot d}{\eta}$$

η

r - радиус воздухоносных путей
 v - линейная скорость газа
 d - плотность газа
 η - вязкость газа



$Re > 2000$



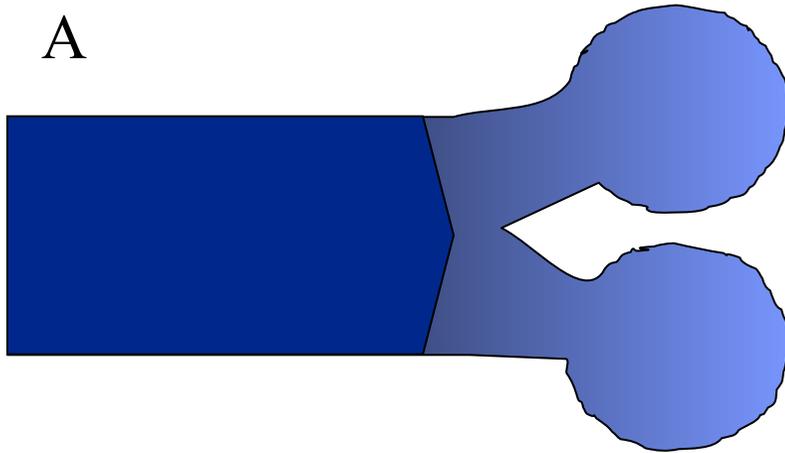
$Re < 2000$

Зависимость характера потока от свойств газа при обструкции ДП

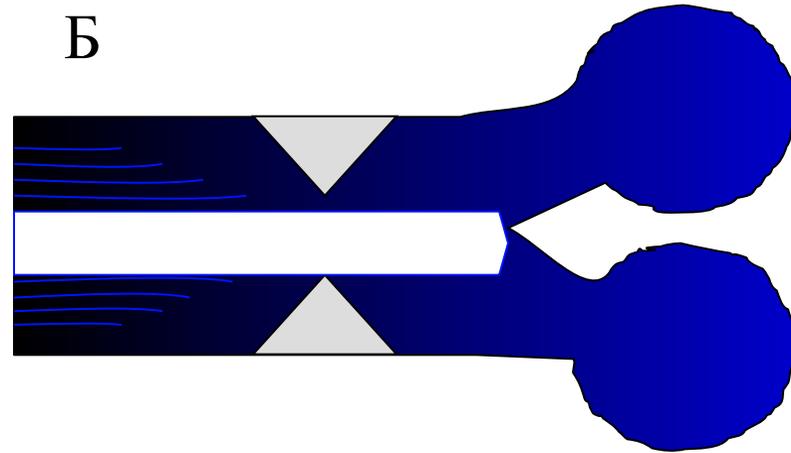


Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

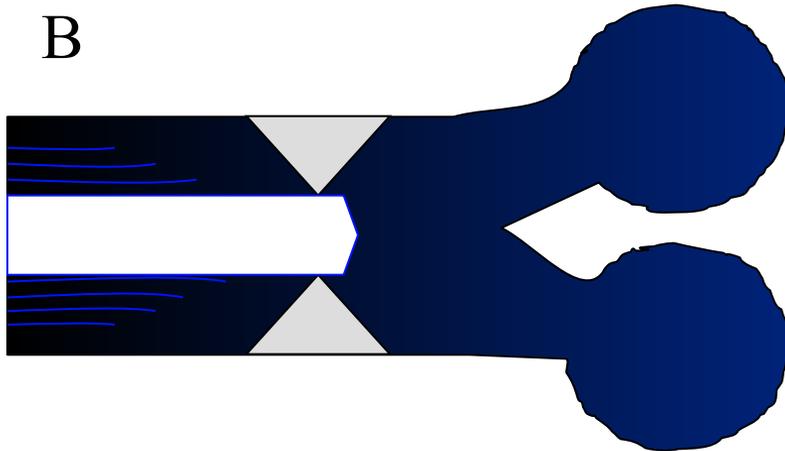
А



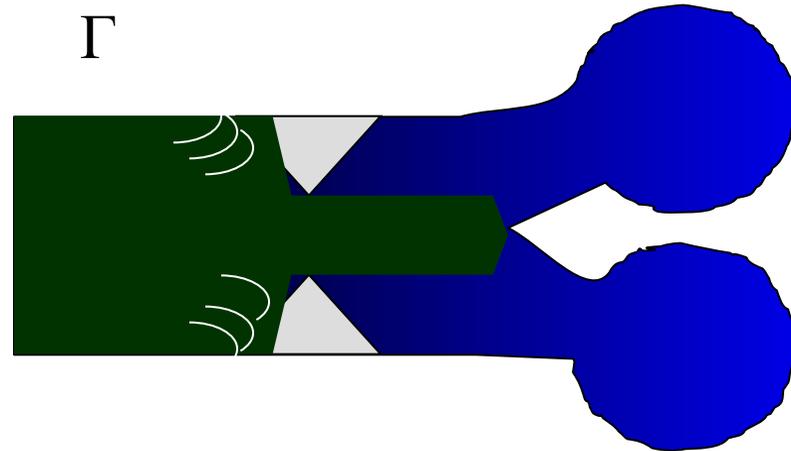
Б



В



Г

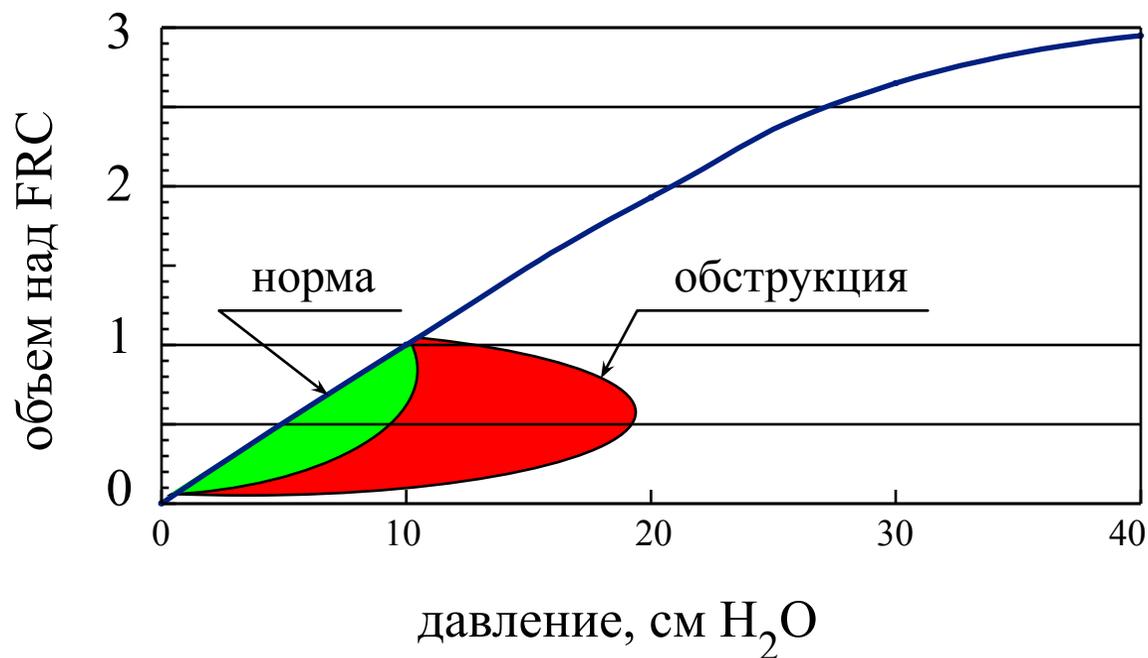


E.H.Gluck et al., 1990

Динамические кривые “давление-объем” при нормальном и повышенном сопротивлении дыхательных путей



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ



Резистивная работа дыхания:



в норме



при обструкции ДП

Сопротивление потоку и работа дыхания



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

$$R = P/U$$

R - сопротивление воздухоносных путей

P - движущее давление

U - поток

$$W = P \Delta V$$

W - работа дыхания

P - давление

ΔV - изменение объема

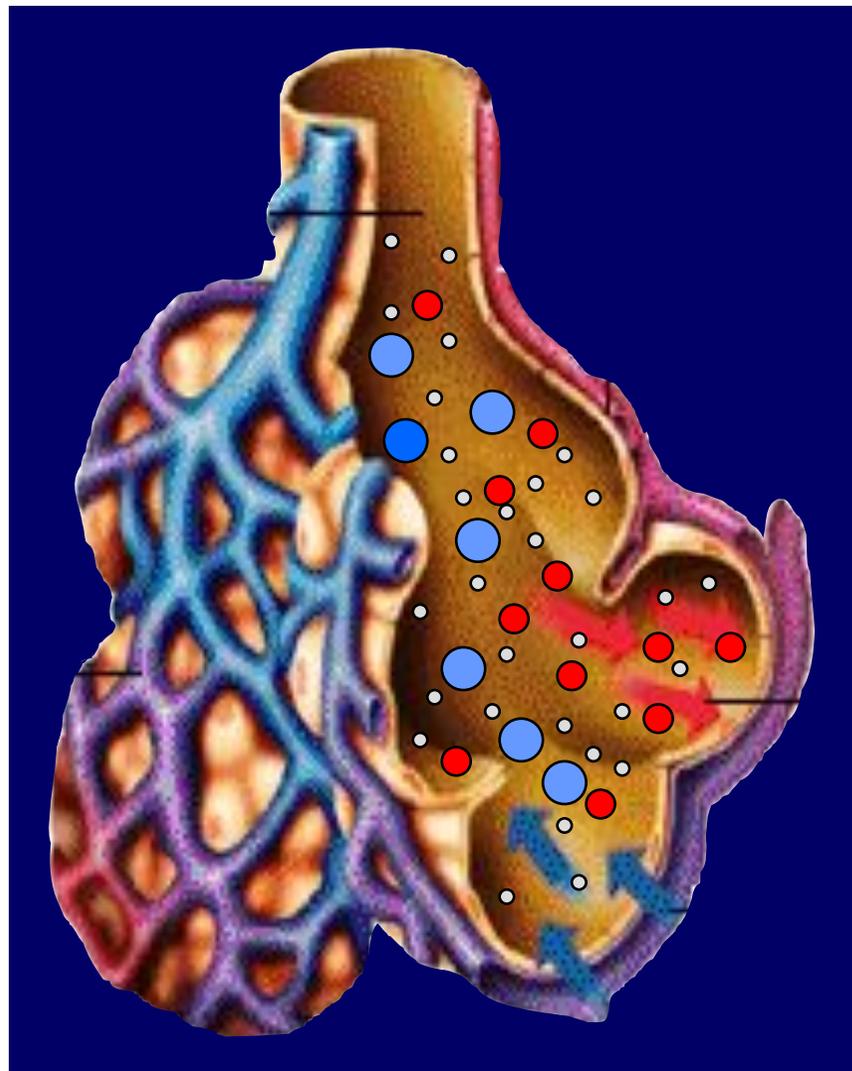
$$W = R \times U \times$$

$$\Delta V$$

Диффузионные свойства гелия



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ



Малый
размер
молекул

Низкая
плотность
газа



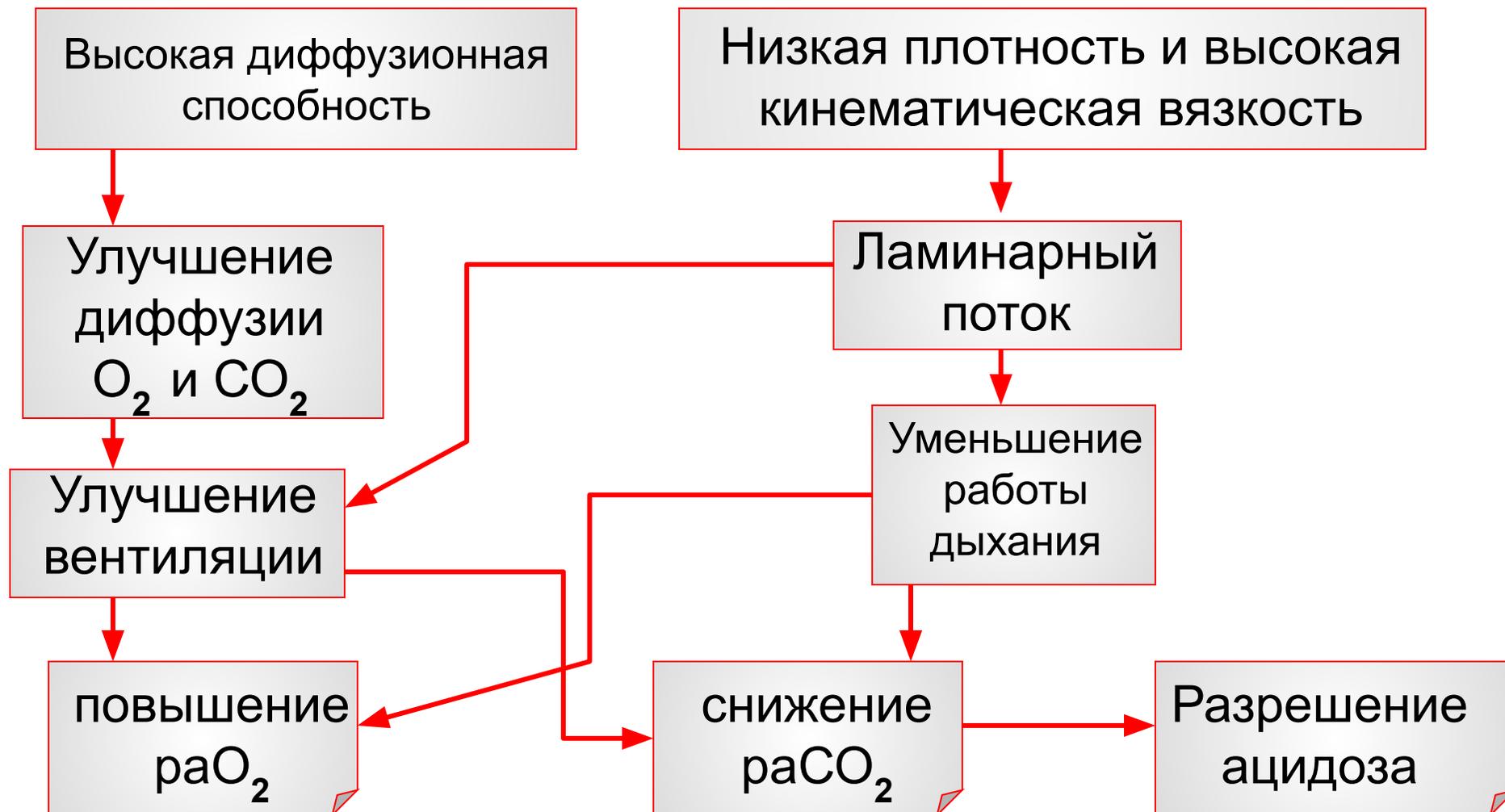
Большая длина пробега



Высокая диффузионная
способность



Механизмы действия гелия





Длительность влияния 30-минутной ингаляции КГС на некоторые показатели

Показатель	Исходно 30 минут	Через	Через 2 часа	Через 4 часа
PaO ₂	65,1±3,2	74,8±4,0***	65,7±3,0	65,5±3,2
PaCO ₂	53,7±5,9	46,6±3,4***	47,4±2,8***	49,7±3,2*
pH	7,302±0,02	7,336±0,02***	7,334±0,02***	7,322±0,01*
Индекс Борг	5,1±0,9	4,2±0,8**	4,7±0,7	4,9±0,7
ЧСС	96,8±6,1	93,5±5,0	97,1±5,6	96,1±4,5
ОФV ₁ (%)	22,6±4,0	22,5±3,5	--	23,1±4,6
ФЖЕЛ (%)	57,4±4,4	56,4±3,8	--	58,8±4,3
6-минутная ходьба (м)	93,4±26,3	--	--	112,8±31,2

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001 по сравнению с исходным

Аппарат «ГЕОФАРМ»



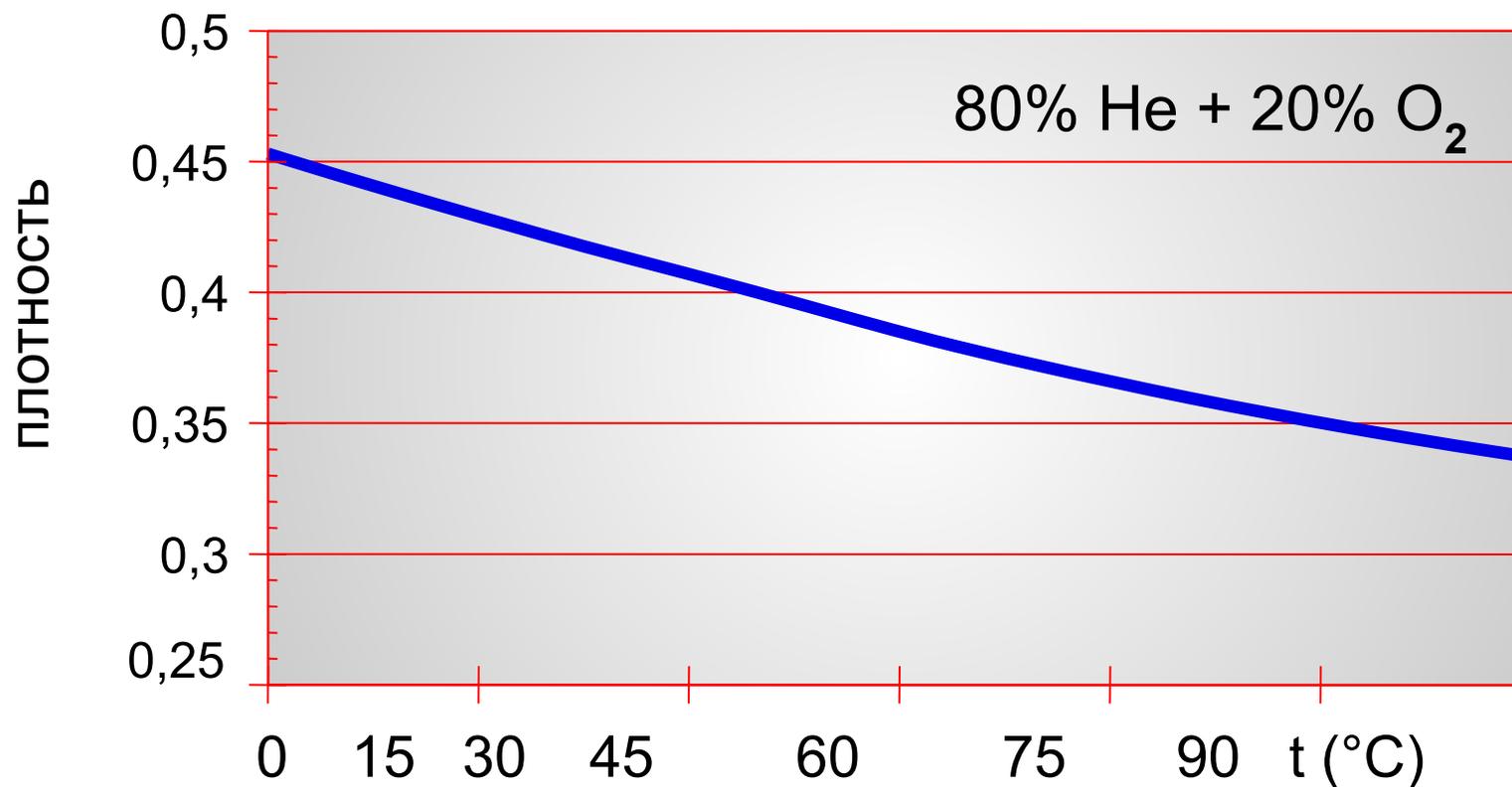
Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ



Зависимость плотности гелиокса от температуры



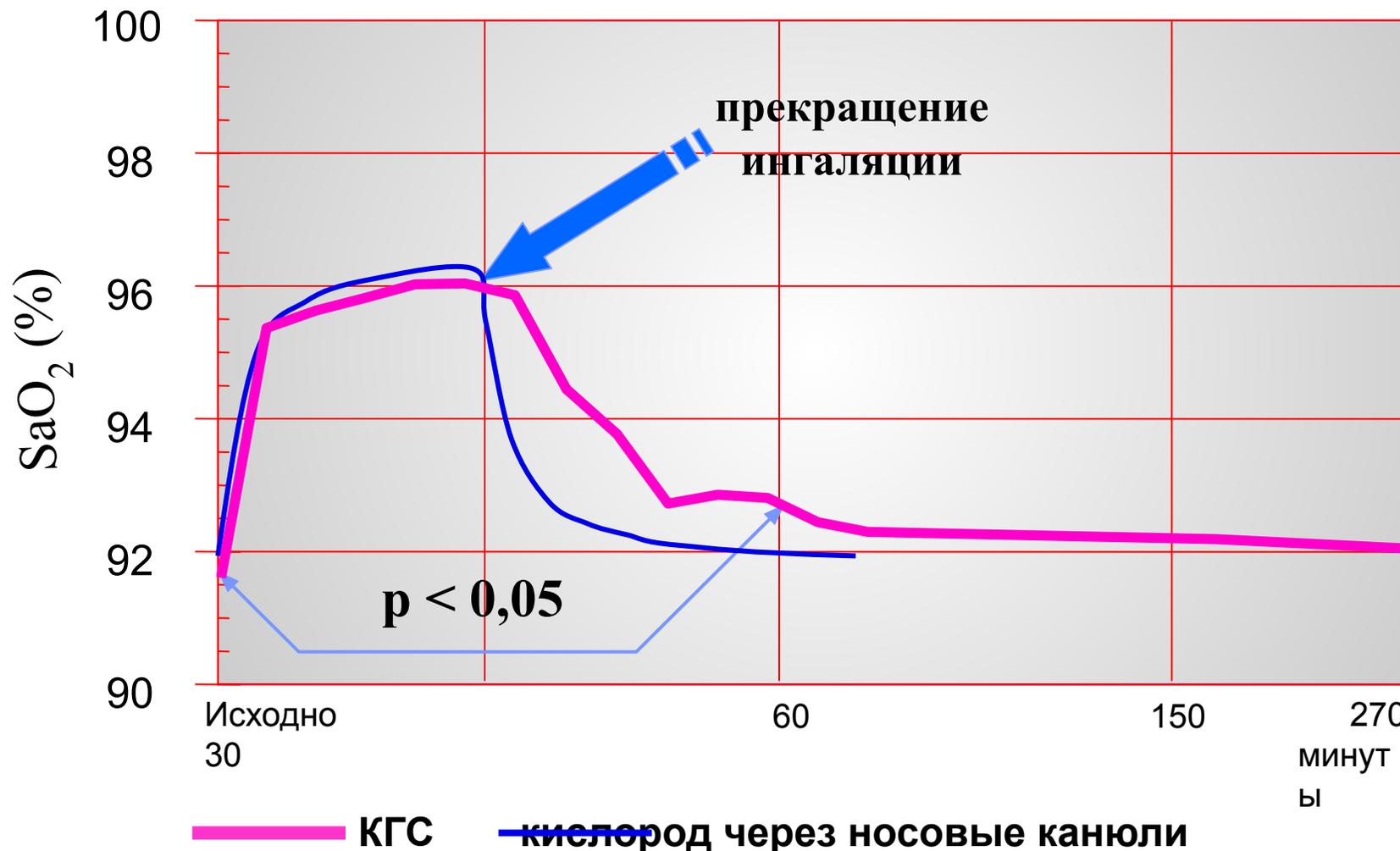
Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ



SaO₂ во время 30-минутной ингаляции КГС и в течение 4 часов после ее окончания



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ





Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Неинвазивная вентиляция легких





Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Недостатки ИВЛ

- Нозокомиальные инфекции
- Механические повреждения гортани и трахеи
- Баротравма
- Сложности в «отлучении от респиратора»

Виды неинвазивной вентиляции легких



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Положительным давлением



Отрицательны м давлением



Показания к проведению неинвазивной вентиляции легких



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

1. Выраженная одышка в покое. ЧДД > 28.
2. Участие в дыхании вспомогательной мускулатуры; парадоксальные движения брюшной стенки; перемежающееся дыхание (альтернирующий ритм)
3. Гиперкапния ($\text{PaCO}_2 > 45 \text{ mm Hg}$) и прогрессивное нарастание PaCO_2 .
4. Гипоксемия ($\text{PaO}_2 < 55 \text{ mm Hg}$), не отвечающая на кислородотерапию
5. $\text{pH} < 7,35$ и прогрессивное снижение pH .

Абсолютные противопоказания для неинвазивной вентиляции легких



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

- Остановка дыхания
- Нестабильная гемодинамика
- Нарушение сознания пациента
- Высокий риск аспирационных осложнений
- Неспособность обеспечить клиренс обильного трахеобронхиального секрета



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

Относительные противопоказания для неинвазивной вентиляции легких

- ✓ **Невозможность плотной подгонки маски, приводящая к значительной утечке**
- ✓ **Отсутствие кооперации с пациентом**
- ✓ **Выраженное ожирение (> 200% от ИМТ)**
- ✓ **Нестабильная стенокардия или острый инфаркт миокарда**
- ✓ **Неспособность пациента снять маску при эпизодах рвоты**

Преимущества неинвазивной вентиляции легких



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

- ❑ Предотвращение осложнений, связанных с интубацией трахеи
- ❑ Сохранение способности разговаривать
- ❑ Сохранение способности принимать пищу
- ❑ Сокращение времени пребывания в стационаре
- ❑ Повышение комфортности пациента
- ❑ Сохранение естественных механизмов очищения, увлажнения и согревания воздушной смеси, физиологического кашля
- ❑ Легкое “отлучение” от респиратора



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ

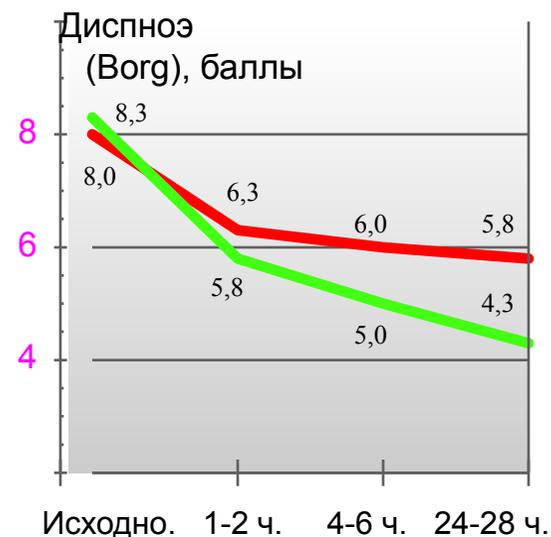
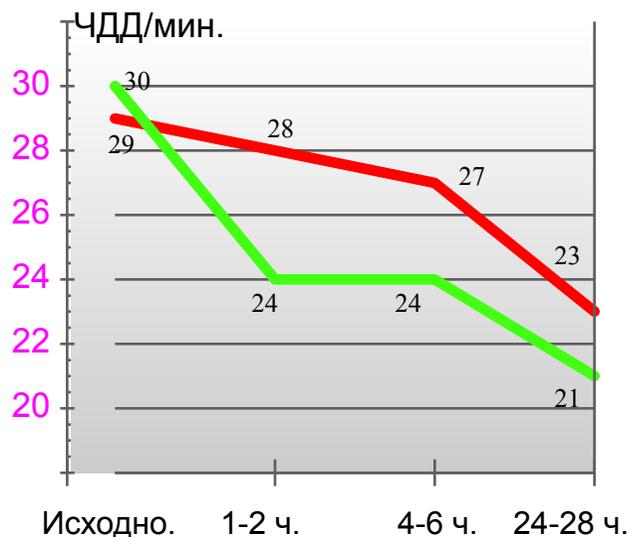
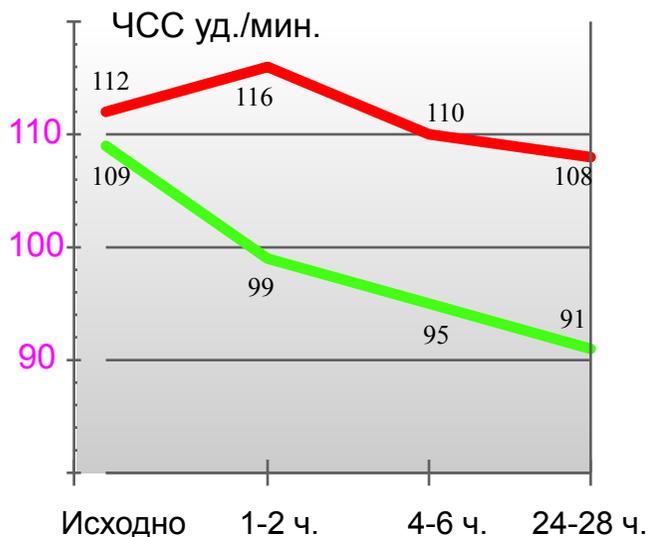
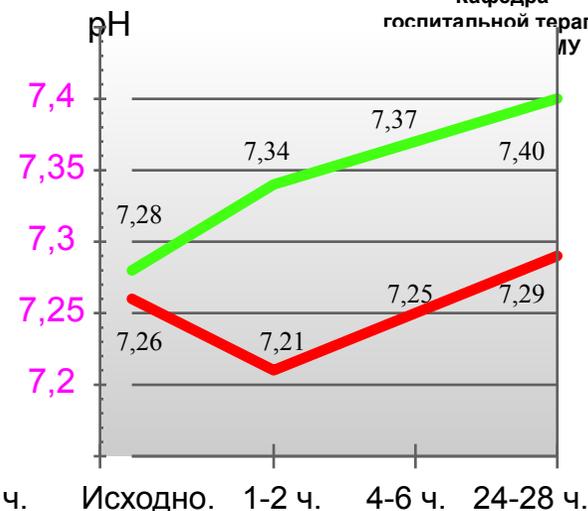
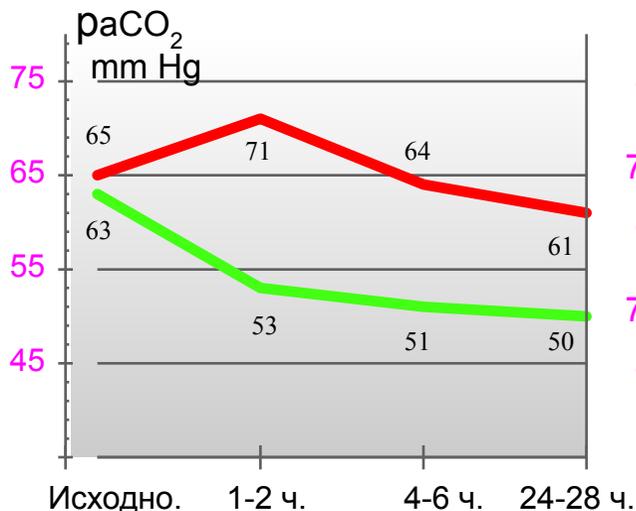
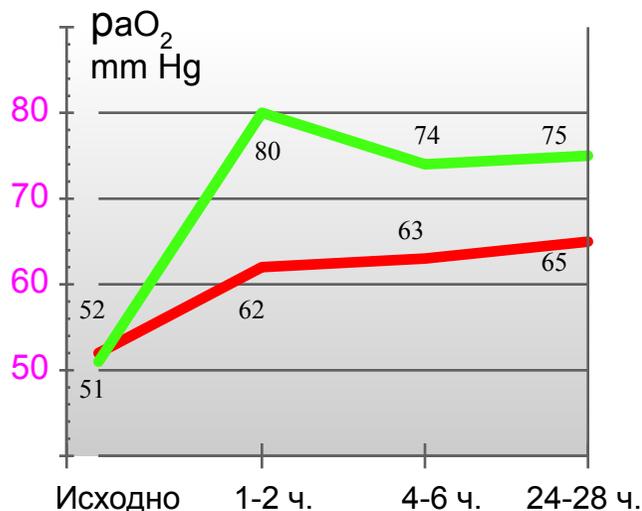
Недостатки неинвазивной вентиляции легких

- риск развития аэрофагии и аспирации
- не обеспечивает защиту дыхательных путей
- нет прямого доступа к трахее для удаления секрета
- снижение клиренса мокроты
- возможное эрозирование кожи лица
- меньшая доступность мониторинга
- выраженная зависимость от кооперации с пациентом

Динамика клинических и функциональных показателей при лечении ОДН на фоне обострения ХОБЛ



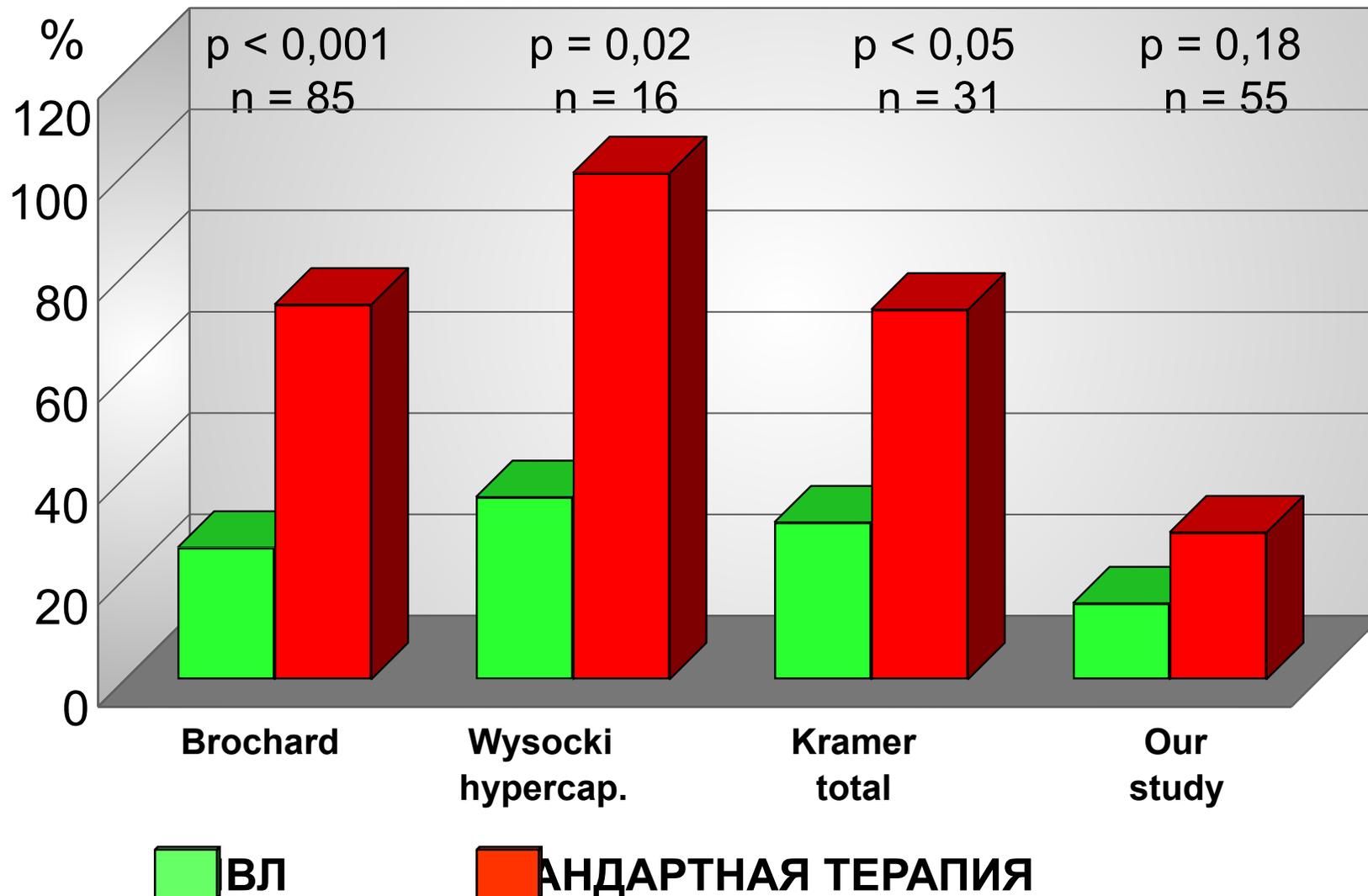
Кафедра
госпитальной терапии
ЛУ



Сравнение потребности в интубации трахеи при стандартной терапии и НВЛ



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ



Алгоритм терапии ОДН на фоне обострения ХОБЛ



Кафедра
госпитальной терапии
ГОУ ВПО РГМУ





Дыхательные смеси и вентиляционные пособия: алгоритм использования при ДН на фоне обострения БА

