



首届 **协和** 重症与血流动力学大会

2008年10月23日—26日 北京·九华山庄



ICU

主办单位：中国医学科学院 北京协和医学院 北京协和医院ICU

承办单位：北京伊诺永明公关策划有限公司

ARDS中的二氧化碳监测

中国医学科学院
中国协和医科大学
北京协和医院ICU
刘晔

ARDS, 氧的异常

- **1967 Ashbaugh:**
- Severe dyspnea, tachypnea, cyanosis refractory to oxygen therapy
- Decreased pulmonary compliance
- Diffuse alveolar infiltrates on chest radiograph
- Atelectasis, vascular congestion, hemorrhage, pulmonary edema, and hyaline membranes at autopsy

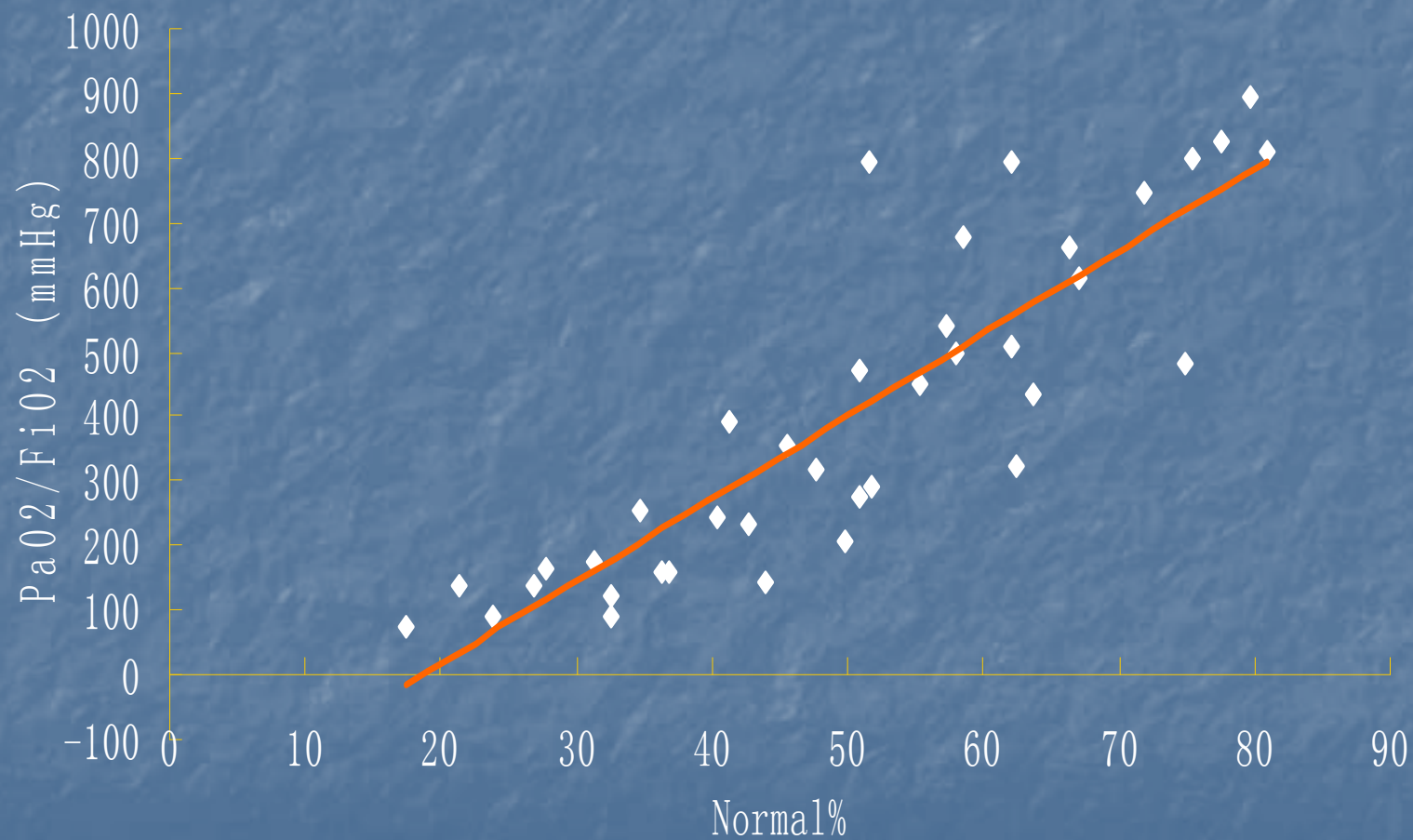
ARDS, 氧的异常

- **1988 Murray:** Lung injury scoring system
- **Oxygenation**
- Positive end-expiratory pressure
- Respiratory system compliance
- Chest radiograph involvement

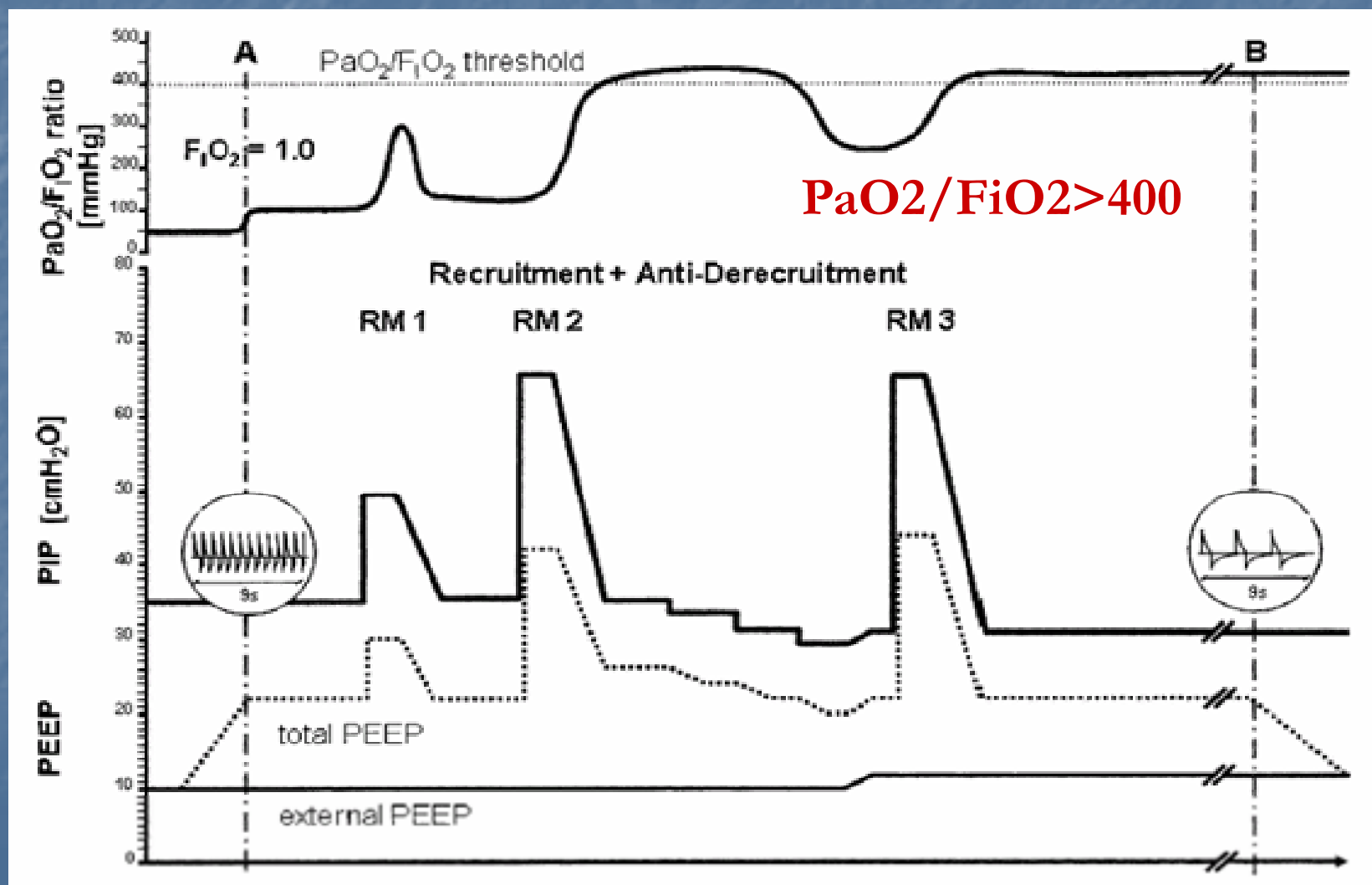
ARDS, 氧的异常

- **1994 AECC:**
- Acute onset, bilateral infiltrates on chest radiography
- Pulmonary-artery wedge pressure of $<19\text{mmHg}$ or the absence of clinical evidence of left atrial hypertension
- Acute lung injury considered present if $\text{PaO}_2/\text{FIO}_2$ is ≤ 300 and the ARDS subset was defined with a more severe oxygenation deficit, $\text{PaO}_2/\text{FIO}_2 \leq 200$

ARDS, 氧的异常



氧合指导的治疗策略



ARDS vs 顽固性低氧

- ARDS仅有13%死于顽固性低氧
- 更多死于肺外MODS
- 后者与肺内SIRS remove 有关
- 有证据表明，不恰当的通气模式会对肺外器官造成损伤

Cytokine De-compartmentalization

保护性通气策略

- 限制气道压力与小潮气量通气
- 肺开放策略
- 最佳PEEP

最佳PEEP

- 最佳氧合
- 最佳顺应性
- 最佳通气血流比
- 最大氧输送
- 最小的机械通气相关性肺损伤

最佳PEEP

- 不单纯是维持氧合
- 能否减少机械通气相关性肺损伤是目前保护性通气策略对最佳**PEEP**的要求
- 维持肺泡的开放，避免肺泡的过度膨胀
- 对于全身循环的影响小

PEEP策略

- *High or Low PEEP, It is a Question.*

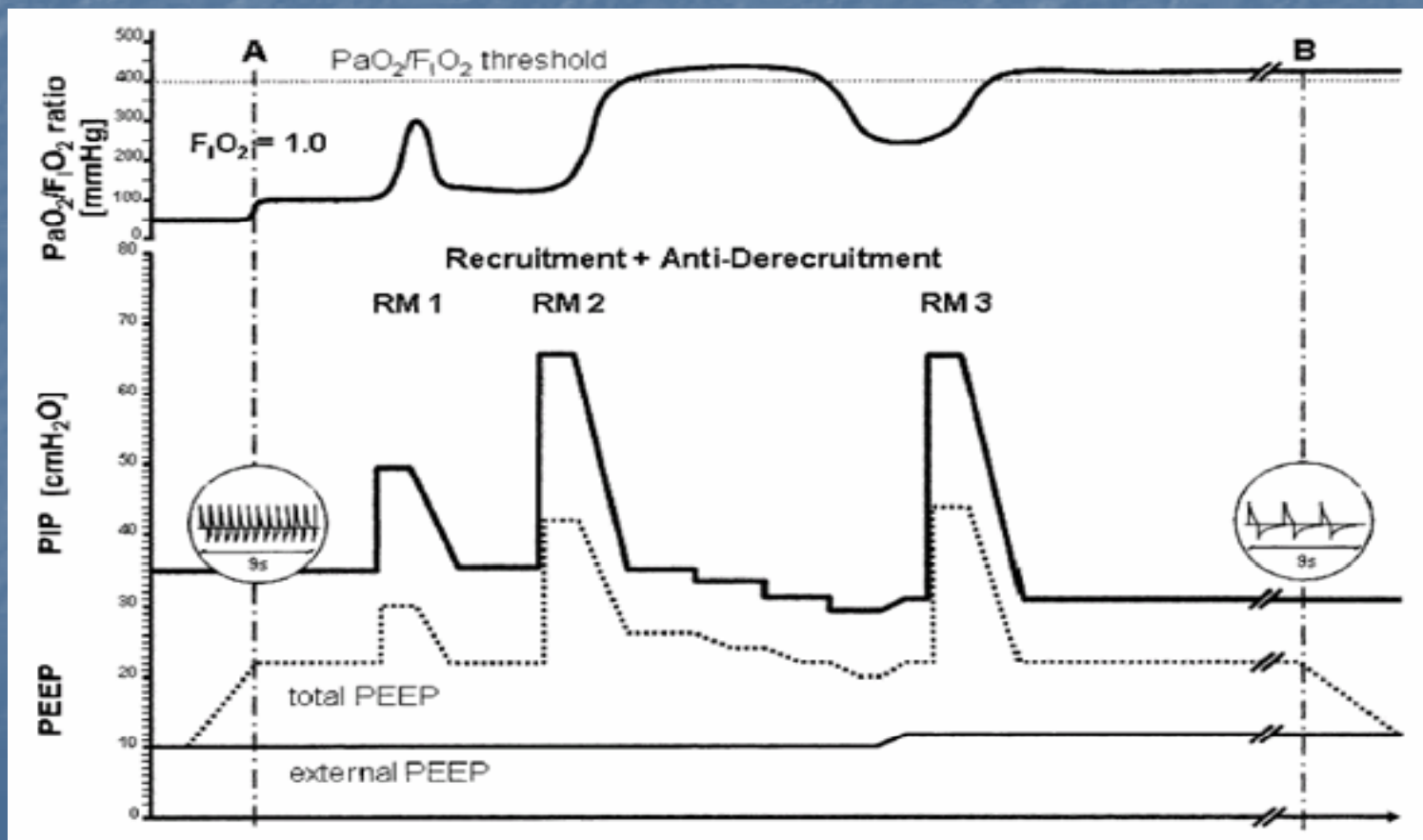
- § Amato、Barbas等人的研究

- § ARDSNet的研究

- 理想的通气策略应该是个体化的、实时监测的通气方案
- 在一定指标指导下的最佳PEEP策略

PEEP策略

■ 肺复张后PEEP的选择



PEEP策略

- 是否能维持肺泡的开放
- 是否可以避免肺泡的过度膨胀
- 减少肺损伤
- 避免血流动力学的影响
- 如何评价

评价PEEP

- 呼吸力学指标：P-V曲线、顺应性、Stress index.....
- 影像学指标：CT.....
- 生化指标：PaO₂/FiO₂.....

最佳氧合法评价PEEP的局限

- 不能很好的反映肺组织局部V/Q 的变化
 - 不能评价是否存在过度膨胀
 - 不能反映呼吸力学特性
 - 不能反映血流动力学的影响
-
- 如何在床旁评价PEEP

CO₂也许是个指标

- Gattinoni等人的研究提示俯卧位通气前后PaCO₂的变化反映肺复张的潜能（*Crit. Care Med.*, 2003; 31: 2727-2733）
- Nuckton等人的研究提示死腔量与ARDS病人的预后相关，是死亡率的独立危险因素（*N. Engl. J. Med.*, 2002; 346: 1281-1286.）

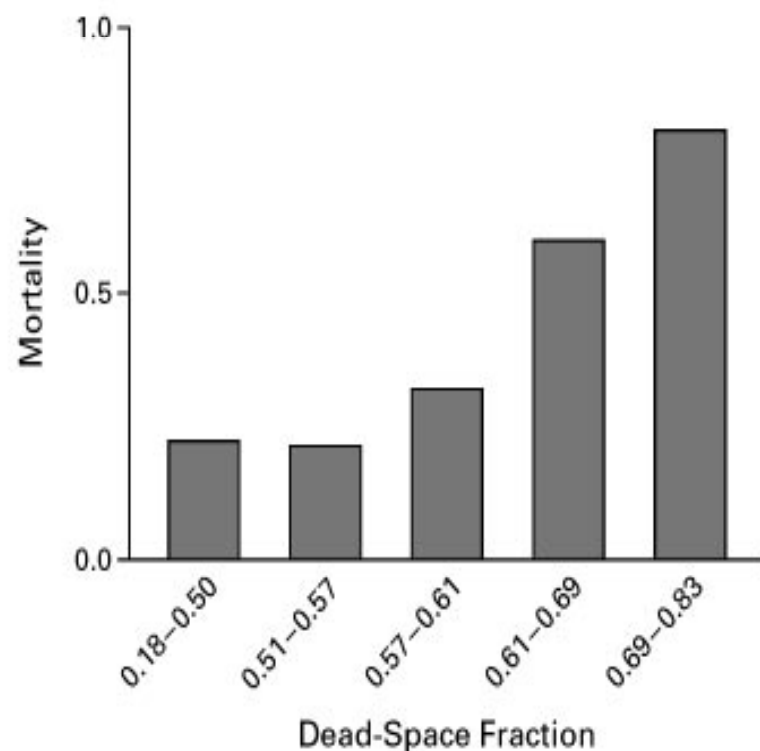


TABLE 3. ODDS RATIOS FOR VARIABLES INDEPENDENTLY ASSOCIATED WITH AN INCREASED RISK OF DEATH.*

VARIABLE	ODDS RATIO (95% CI)	P VALUE
Dead-space fraction (per increase of 0.05)†	1.45 (1.15–1.83)	0.002
SAPS II (per 1-point increase)	1.06 (1.03–1.08)	<0.001
Quasistatic respiratory compliance (per decrease of 1 ml/cm of water)	1.06 (1.01–1.10)	0.01

*Results were calculated with the use of stepwise, forward, multiple-logistic regression. The odds of death increased as the dead-space fraction and the Simplified Acute Physiology Score II (SAPS II) increased and as quasistatic respiratory compliance decreased. CI denotes confidence interval.

†Measurements of the dead-space fraction include the compressible volume of the ventilator circuit.

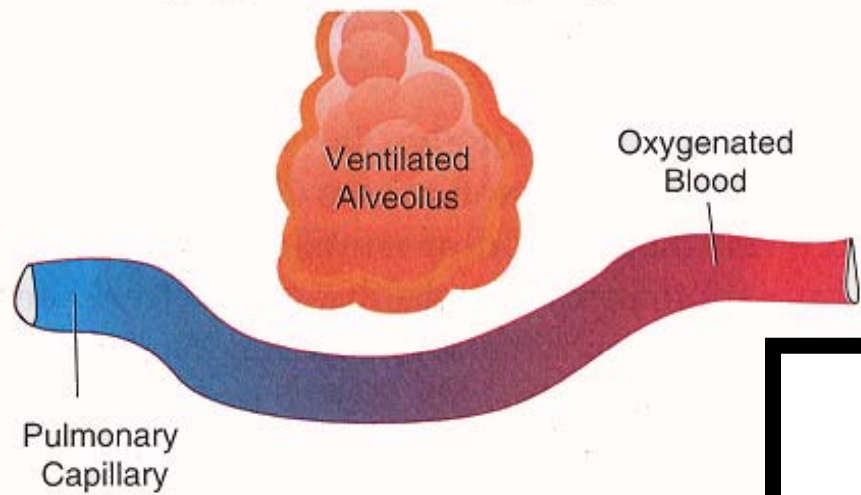
CO₂相关指标

- PaCO₂
- PeCO₂
- PetCO₂
- Pa-etCO₂
- V_d

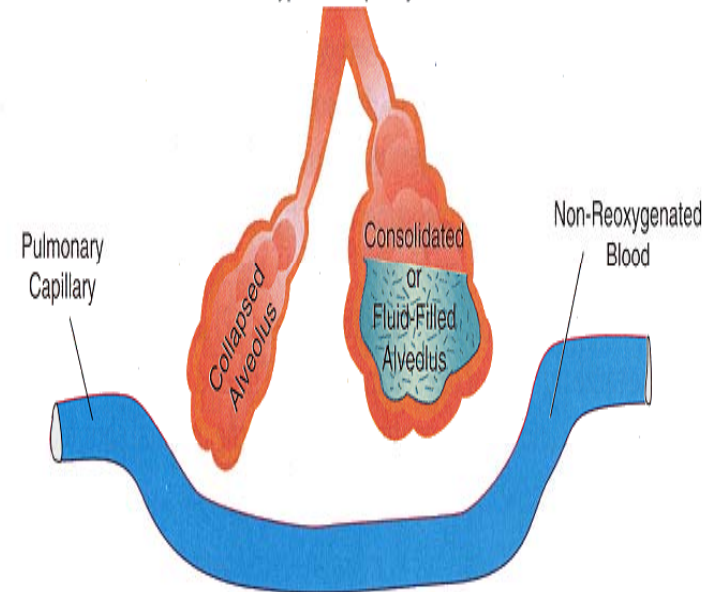
死腔的监测

- 解剖死腔
- 肺泡死腔
- 生理死腔

A. Normal Alveolar-Capillary Unit



C. Types of Capillary Shunts

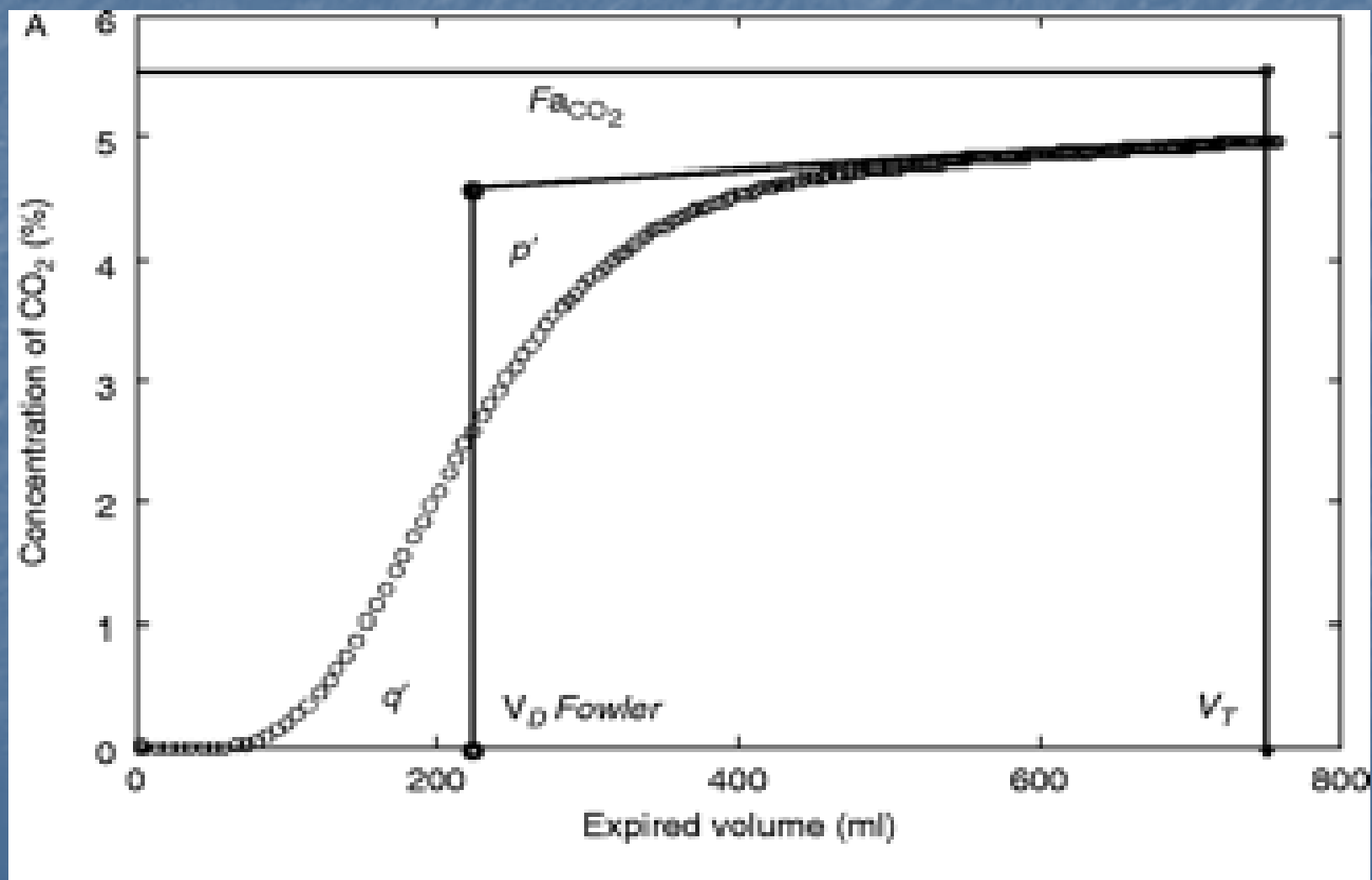


“Shunt dead space”

死腔的监测

- 肺泡死腔：通气 $>$ 血流
- Shunt dead space：血流 $>$ 通气
- 在二氧化碳相关的指标中，这两项不能被区分

呼气二氧化碳波形 (SBT-CO₂)



死腔的计算

- Bohr-Enghoff公式

$$(V_d/V_t)_{\text{physio}} = P_a - e\text{CO}_2 / P_a\text{CO}_2$$

$$V_{d_{\text{alv}}} / V_t = P_a - e\text{tCO}_2 / P_a\text{CO}_2$$

- $V_{d_{\text{AW}}}$: Fowler's Method

- $(V_d/V_t)_{\text{alv}} = (V_{d_{\text{physio}}} - V_{d_{\text{AW}}}) / (V_t - V_{d_{\text{AW}}})$

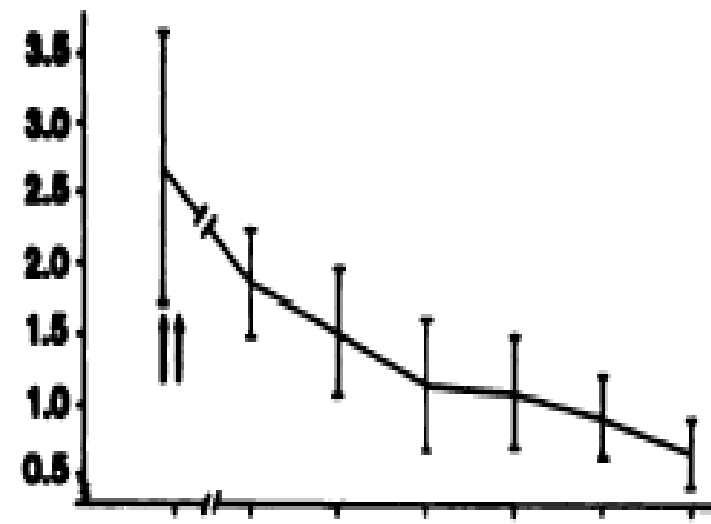
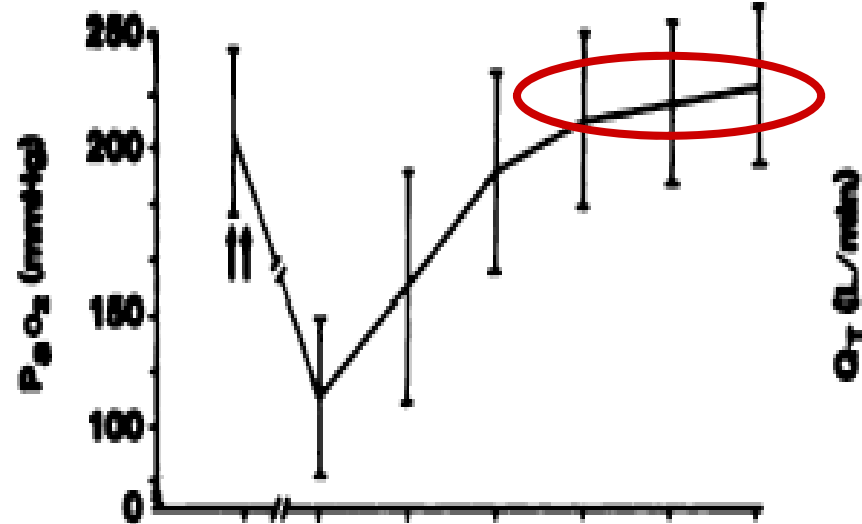
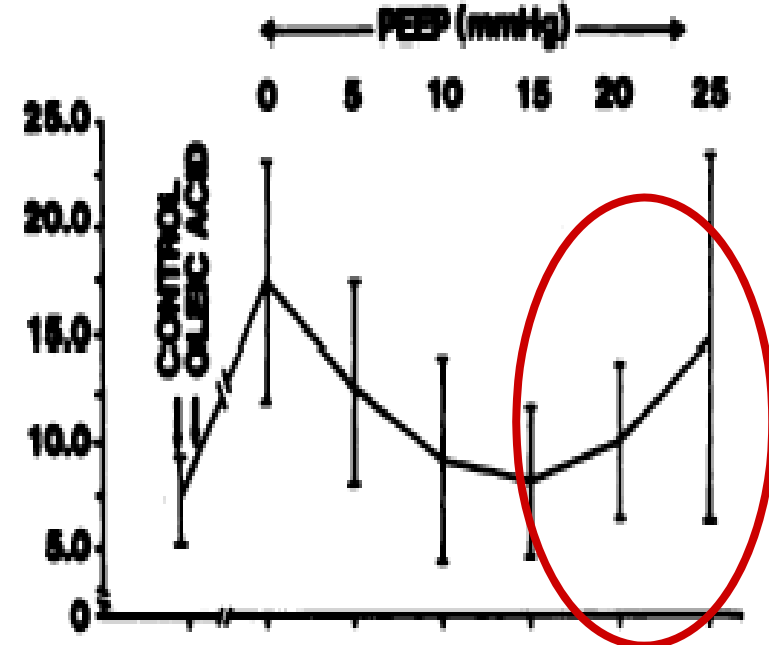
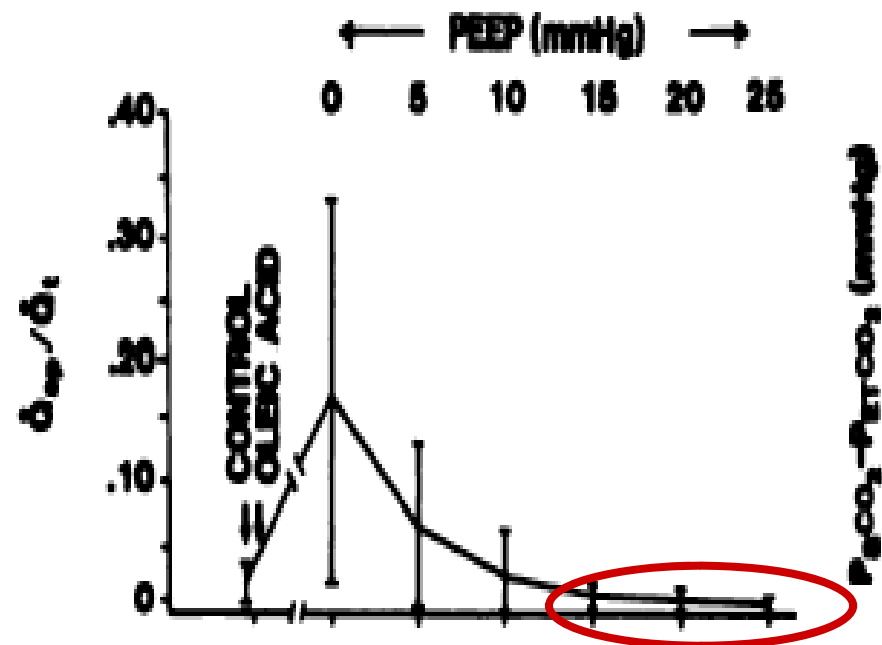
死腔的计算

- 近似公式 (*Anesth Analg* 2003;97:1846 – 51)

$$(V_d/V_t)_{\text{alv}} = 1.14 \times (P_a\text{-etCO}_2/P_a\text{CO}_2) - 0.05$$

PEEP设置与二氧化碳

- Murray等人的研究
 - Pa-etCO₂随PEEP增加曲线呈U型
 - 在较低水平的PEEP下，随PEEP增加，Pa-etCO₂下降、Qs/Qt下降，PaO₂增加
 - 在较高水平的PEEP下，PaO₂继续升高、Qs/Qt维持为低值，但Pa-etCO₂增加
 - Pa-etCO₂的最低点是最佳PEEP



- 二氧化碳相关指标能否反映肺泡通气状态，即开放、闭合与过度膨胀？
- 二氧化碳相关指标能否反映肺的呼吸力学特性？
- 二氧化碳相关指标能否兼顾血流动力学变化？

CO₂与肺复张潜能

- Gattinoni等人的研究
- 俯卧位通气前后PaCO₂的变化反映肺复张潜能
- 死腔量与肺复张潜能相关

死腔量与可复张肺比例

	Patients with Acute Lung Injury or ARDS†			P Value‡
	Overall Population (N=68)	Lower Percentage of Potentially Recrutable Lung (N=34)	Higher Percentage of Potentially Recrutable Lung (N=34)	
Nonaerated lung tissue — % of total lung weight§§	37±16 ††	30±12**	44±17‡‡	<0.001
Aerated lung tissue — % of total lung weight§§	63±16 ††	70±12**	56±17‡‡	<0.001
PaO ₂ :FiO ₂ ¶¶	165±69	194±65**	135±60‡‡	0.01
PaCO ₂ — mm Hg ¶¶	42±9	39±7	44±10	0.50
Respiratory-system compliance — ml/cm of water***	44±19	51±19	38±15	0.002
Dead space — % of tidal volume†††	57±13	51±12	63±13	0.002
Shunt — % of cardiac output‡‡‡	39±15	34±12	45±17	0.008

CO2与肺复张

TABLE I Dead space data

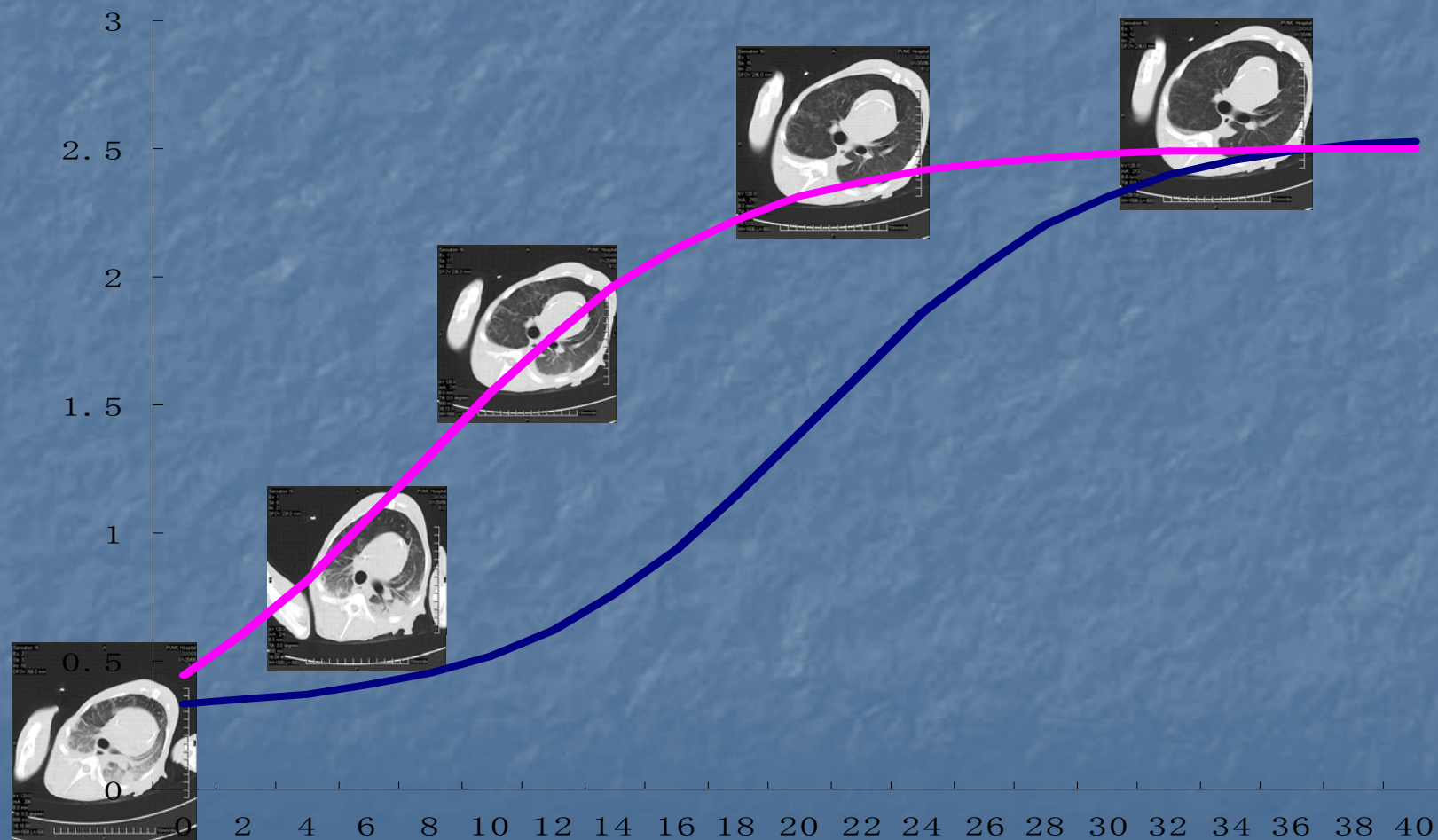
<i>Variable</i>	<i>ZEEP</i>	<i>PEEP</i>	<i>ARS</i>
VD/VT	0.50 ± 0.07	0.51 ± 0.06	0.45 ± 0.01*†
VDAW (mL)	160 ± 48	161 ± 38	137 ± 32
VDALV (mL)	110 ± 35	113 ± 30	108 ± 32
VDPHYS (mL)	270 ± 54	274 ± 56	246 ± 50
VDALV/VTALV	0.29 ± 0.05	0.28 ± 0.06	0.26 ± 0.04
VDAW/VT	0.30 ± 0.08	0.29 ± 0.04	0.25 ± 0.04††
VT _{CO₂} (mL)	23 ± 2.6	25 ± 3.3*	27 ± 3.2 ††
VTALV (mL)	340 ± 72	355 ± 71	373 ± 68††
Vol I/VT	0.22 ± 0.09	0.21 ± 0.06	0.18 ± 0.06
Vol II/VT	0.35 ± 0.05	0.28 ± 0.05*	0.26 ± 0.05†
Vol III/VT	0.45 ± 0.08	0.51 ± 0.1*	0.57 ± 0.09††
Slope II (%/L)	46 ± 7.7	56 ± 10*	63 ± 11††
Slope III/N (L ⁻¹)	0.21 ± 0.11	0.18 ± 0.10*	0.13 ± 0.07††
Angle II/III (°)	127 ± 2.1	125 ± 7.7	113 ± 4††

- 肺复张不仅反映在死腔量上，还反映在 SBT-CO2波形的变化上

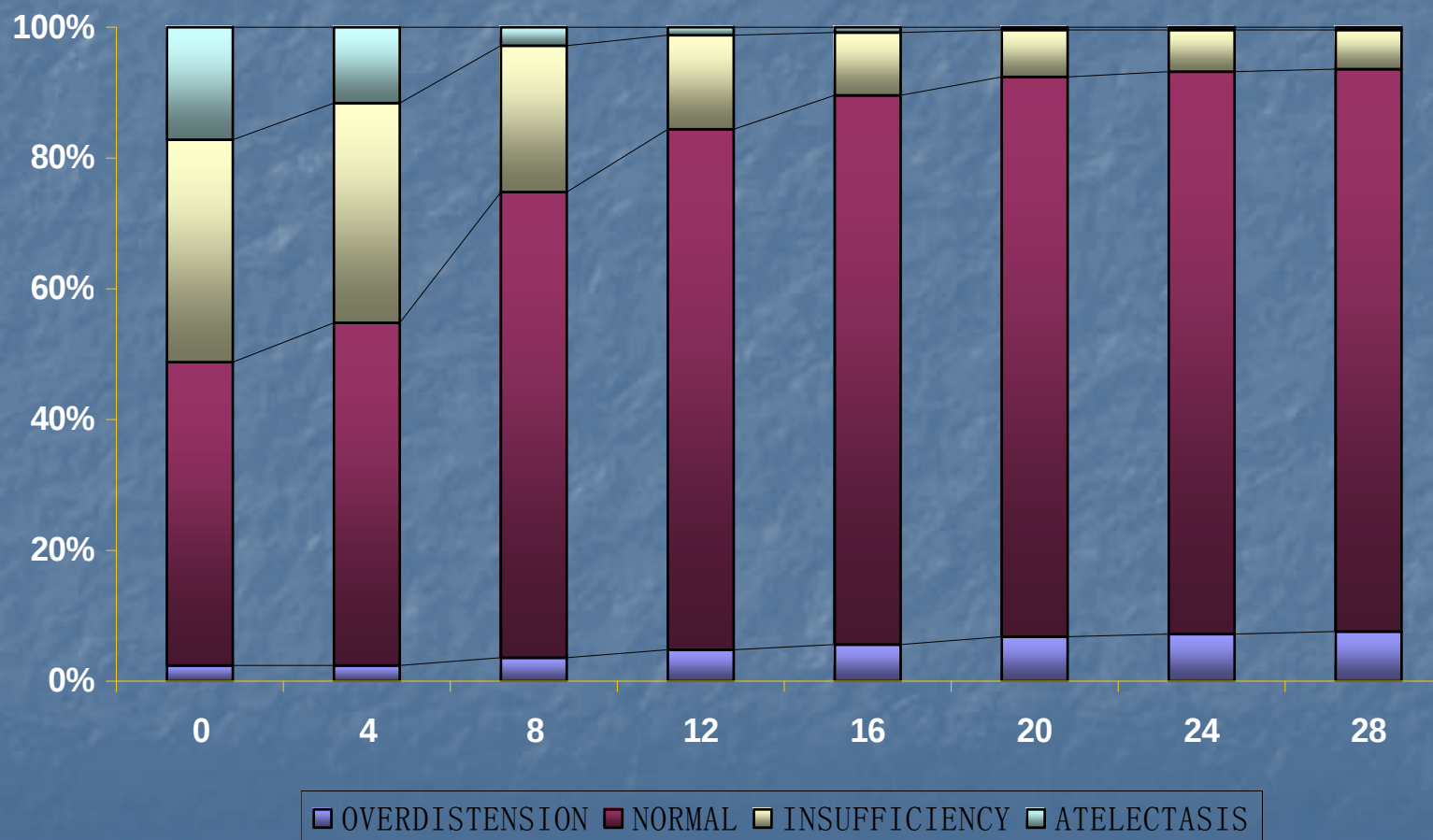
CO₂与肺泡闭合

- 用CO₂相关的指标反映肺泡的闭合
- 用CO₂相关的指标描述肺泡闭合的特征

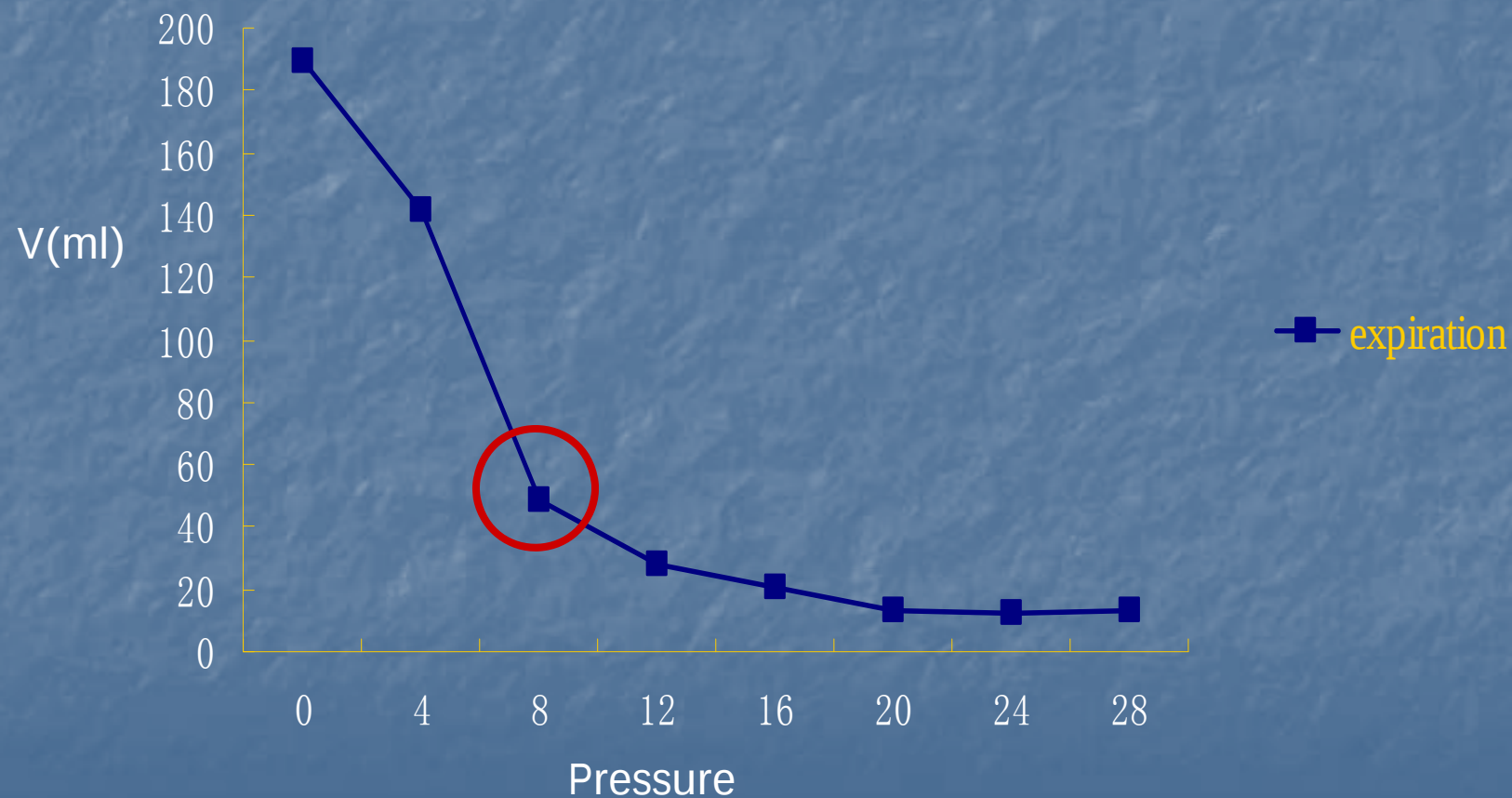
CO₂与肺泡闭合的特征



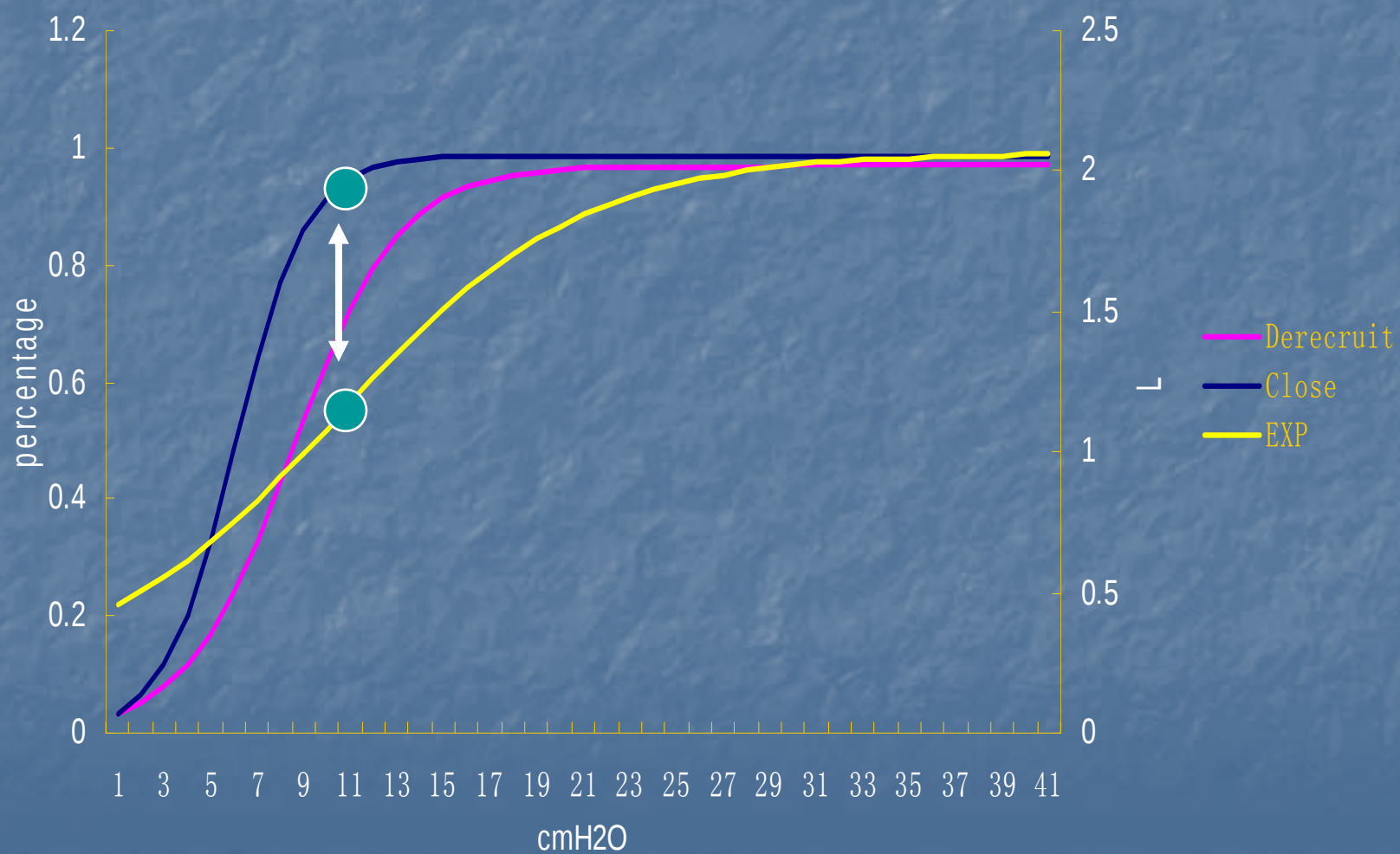
呼气相时各种通气状态肺泡比例



呼气相塌陷肺泡的体积 随压力的变化



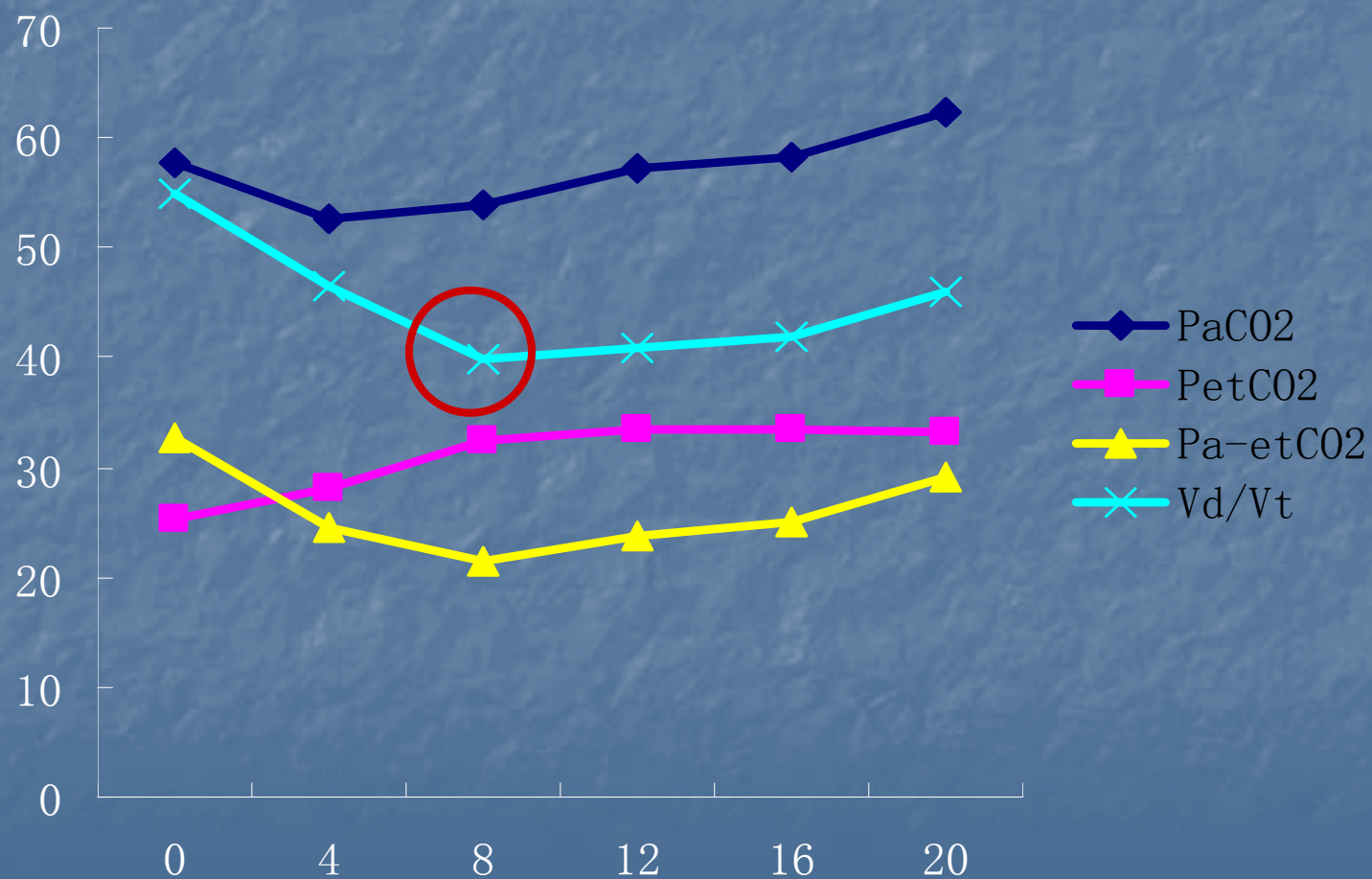
闭合压力分析



闭合压力分析

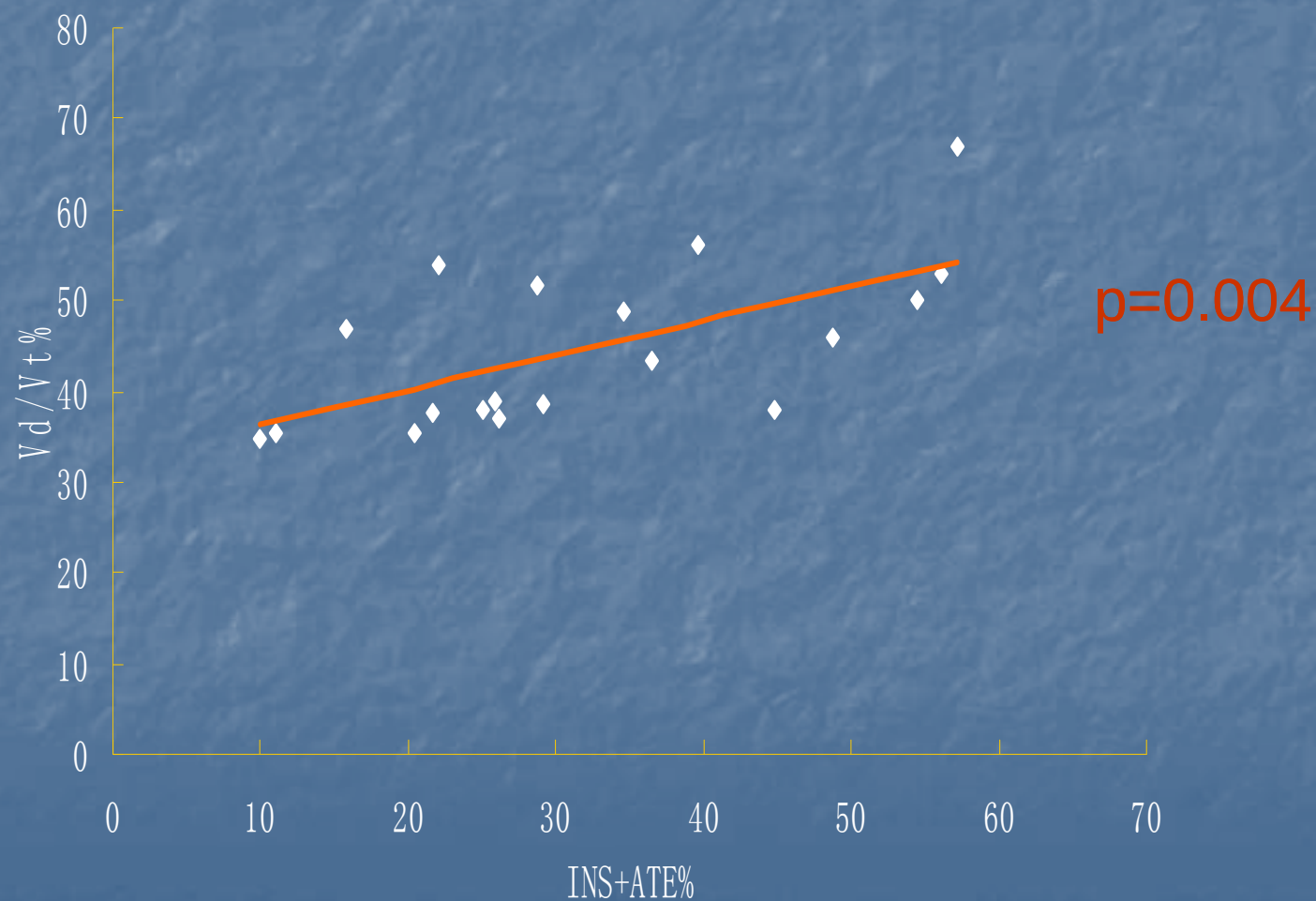
- 闭合压力与呼气曲线最大顺应性点一致

RM后 $V_{d_{alv}}/V_t$ 随PEEP的变化

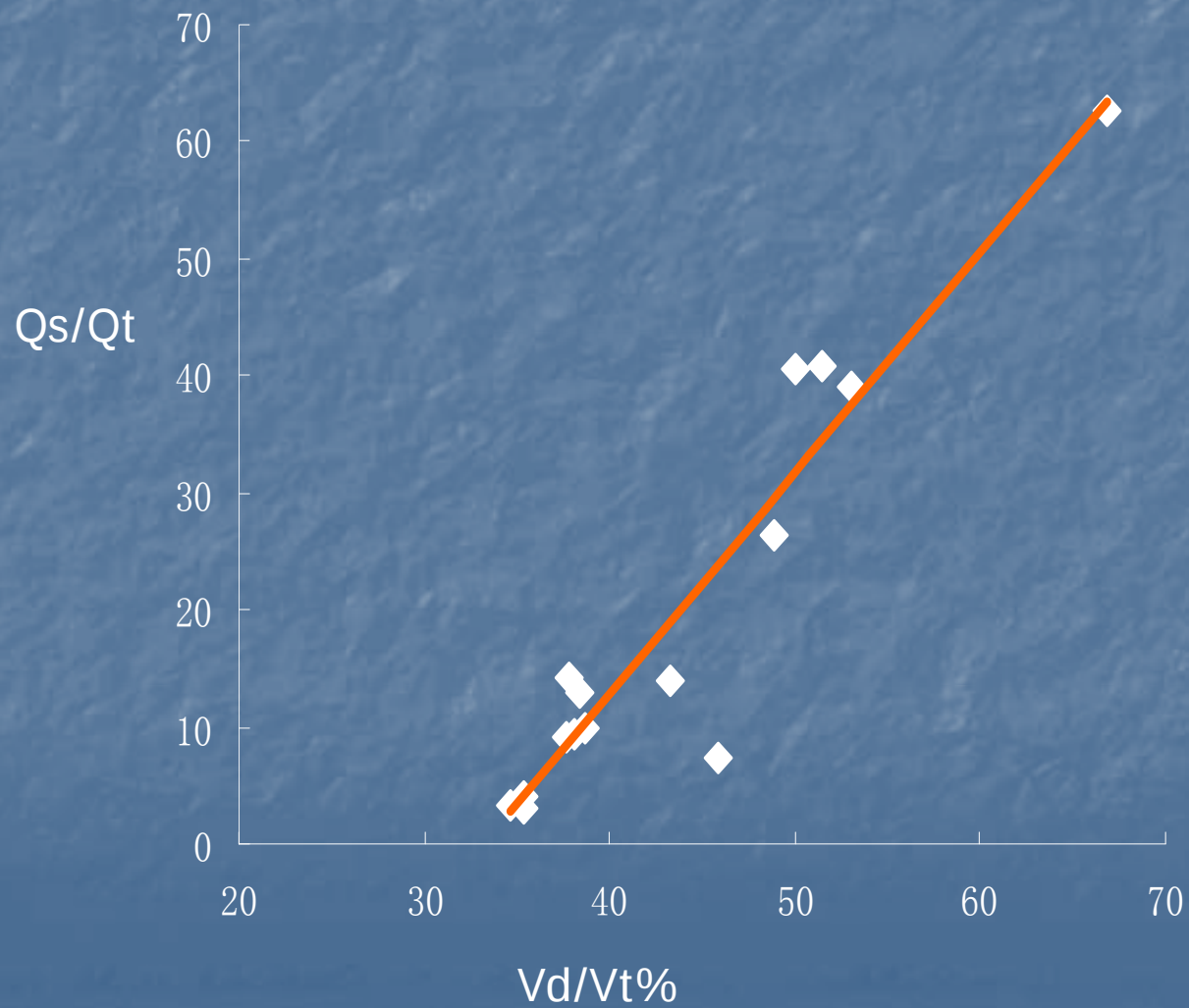


- 动物实验研究发现，这个拐点与闭合压力一致

$V_{d_{alv}}/V_t$ 与通气不良的肺泡比例的关系



$V_{d_{alv}}/V_t$ 与 Q_s/Q_t 的关系



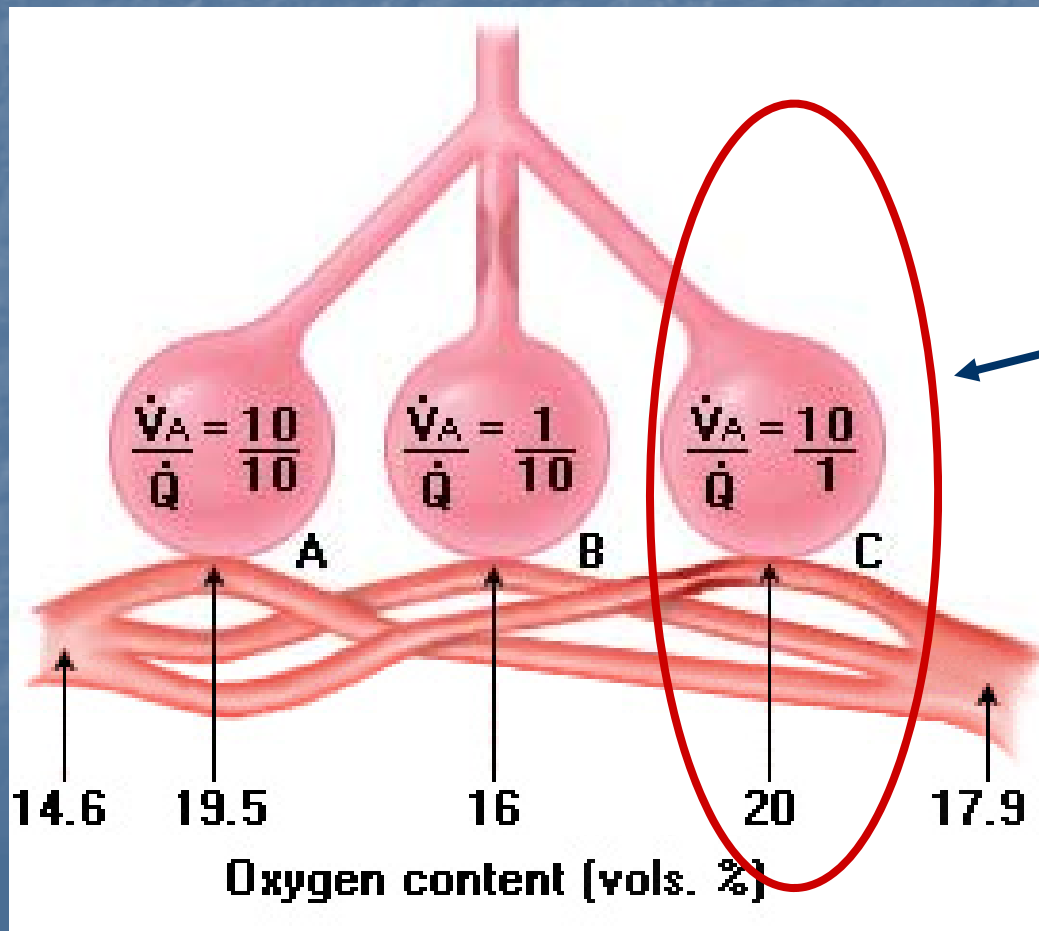
Shunt Dead Space VS “Real” Dead Space

- 在较低水平的PEEP下，通过Bohr-Enghoff公式计算出的“死腔”实际上代表分流

- Tusman等人的动物实验研究表明，在RM之后使用递减的PEEP策略， $(V_d/V_t)_{alv}$ 与分流变化趋势一致，与CT观察到的肺泡闭合趋势一致，可以用来确定维持肺泡开放的PEEP水平

Intensive Care Med. 2006 Nov;32(11):1863-71

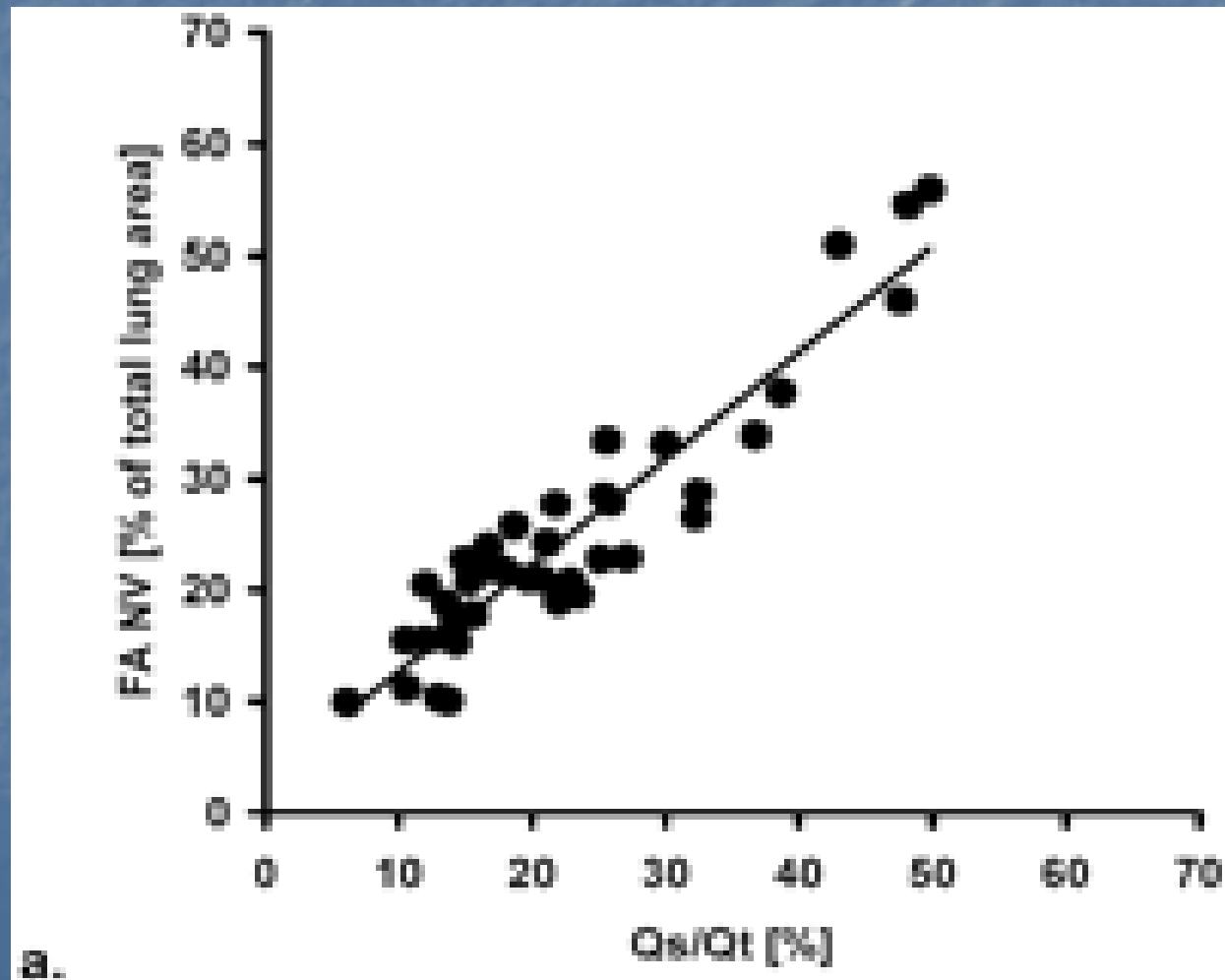
CO₂相关指标与肺泡的过度膨胀



- $V > Q$
- 死腔

- 肺泡的过度膨胀
- 肺泡本身过度扩张
- CO下降，血流减少，使得肺泡“相对”过度膨胀
- 血流分布

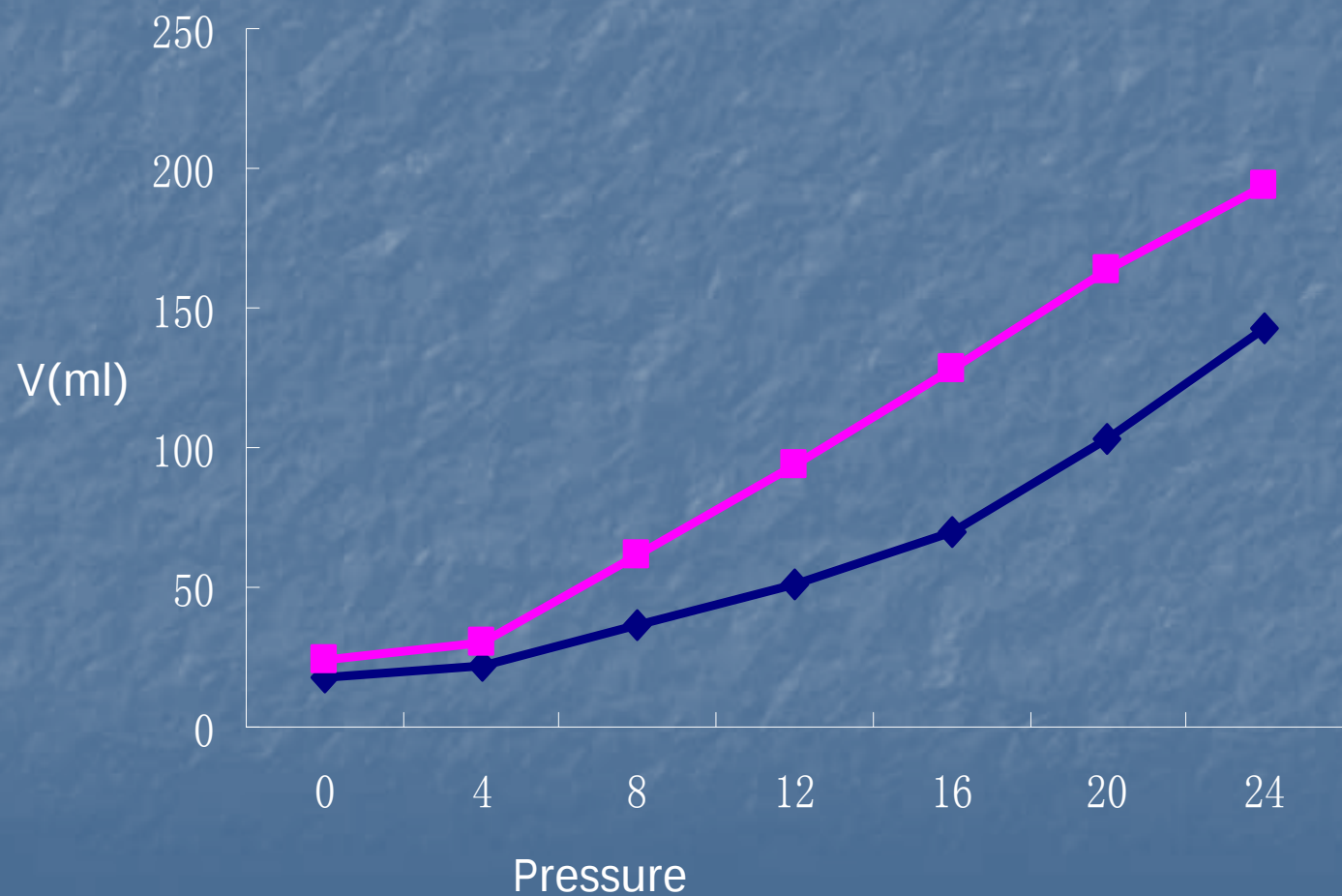
David等人的研究提示 Q_s/Q_t 与通气不良肺泡比例相关



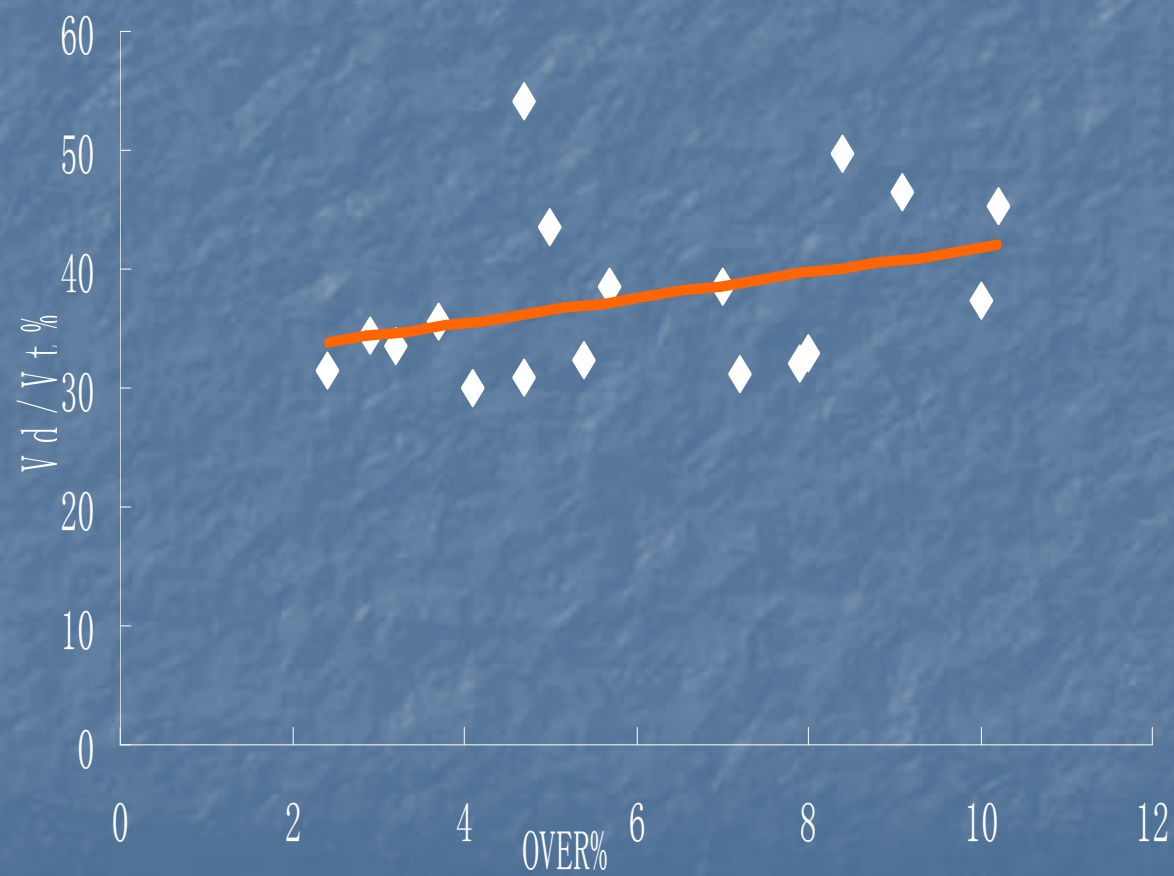
CO₂相关指标与肺泡的过度膨胀

- Murray等人的研究中，随PEEP增加，当 Q_s/Q_t 维持为低值，Pa-etCO₂增加时，虽然PaO₂仍在增加，但是这时已经出现了肺泡的过度膨胀
- CT Scan?

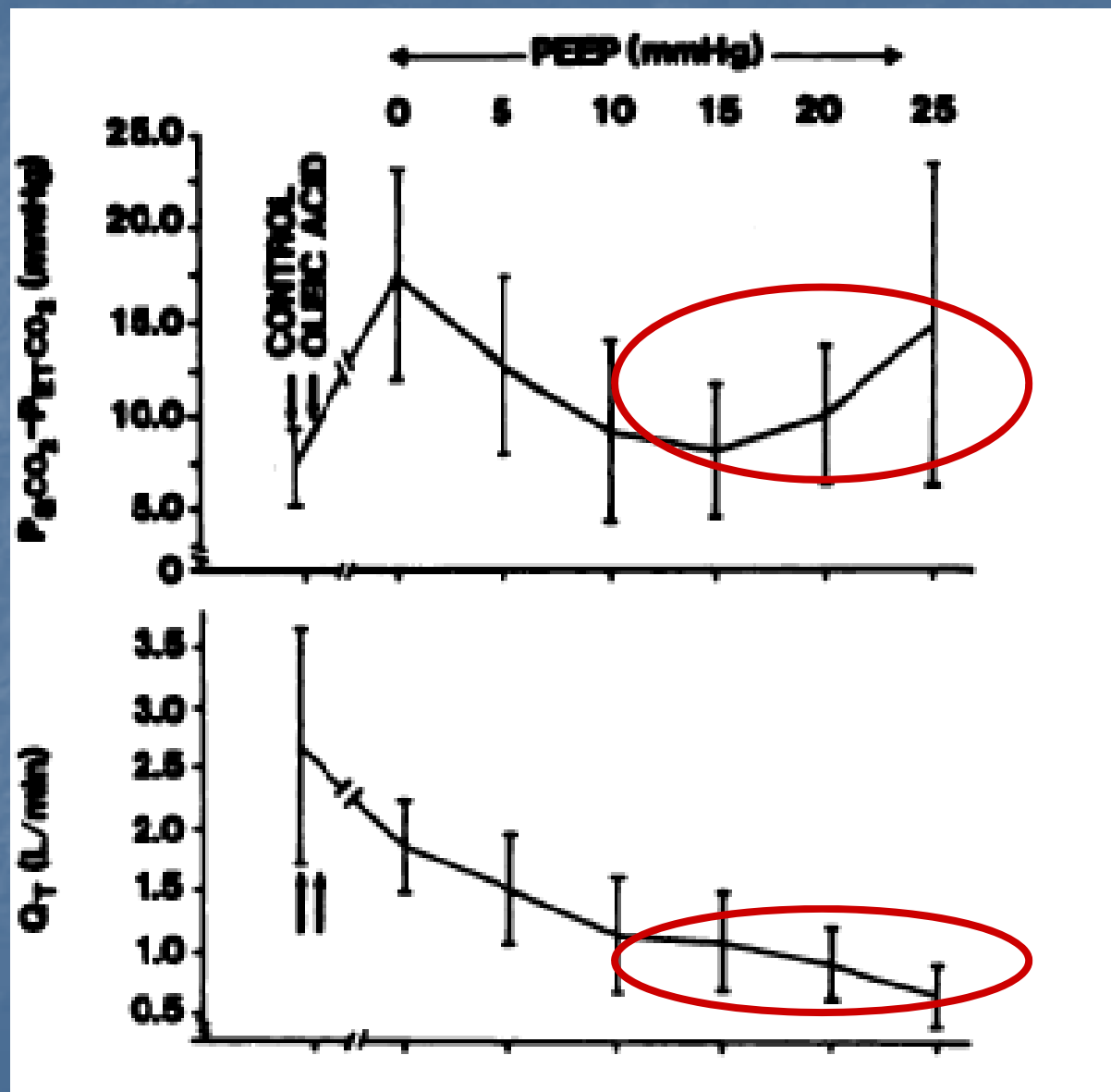
CT分析肺的过度膨胀



过度膨胀肺体积



$R^2 = 0.13$



Minimize V_d
VS.
Maximize PaO_2/FiO_2

- 能够反映肺泡的闭合特征
- 能够反映由于肺内总血流的减少对通气血流比的影响
- 能够兼顾血流动力学的变化

The background is a dense, abstract mosaic of small, irregular squares in various shades of green, brown, orange, and yellow. The colors are somewhat muted and earthy. In the bottom right corner, the Chinese characters '谢谢' (Thank you) are written in a stylized, colorful font. The first character '谢' is primarily pink with a yellow outline, and the second character '谢' is primarily blue with a green outline. Both characters have a slight shadow effect.

谢谢