



MEDIZINISCHE UNIVERSITÄT
INNSBRUCK

Eliminación de CO₂

Dr. S. Navarro-Psihas
University of Innsbruck
Austria

Fisiología del CO₂

VCO₂



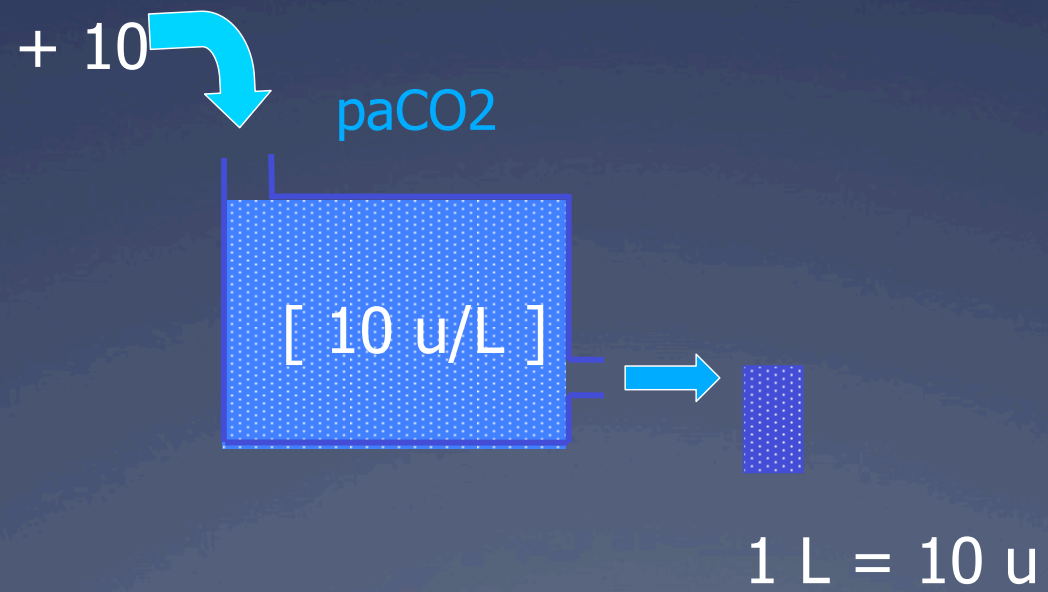
CO₂ Prod = CO₂ Elim

paCO₂



CO₂ Elim.

Ejemplo práctico



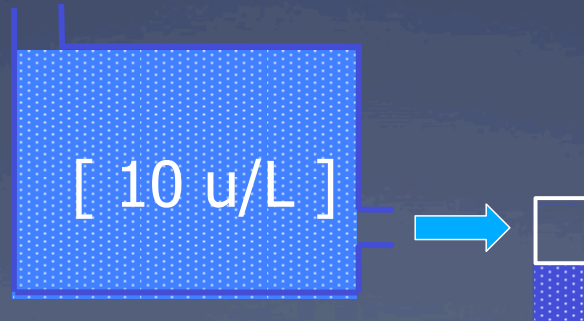
Ejemplo práctico:

Ganancia = 10 u

Pérdida = 5 u

Acumulación = 5 u

+ 10 u



$$1/2 L = 5 u$$

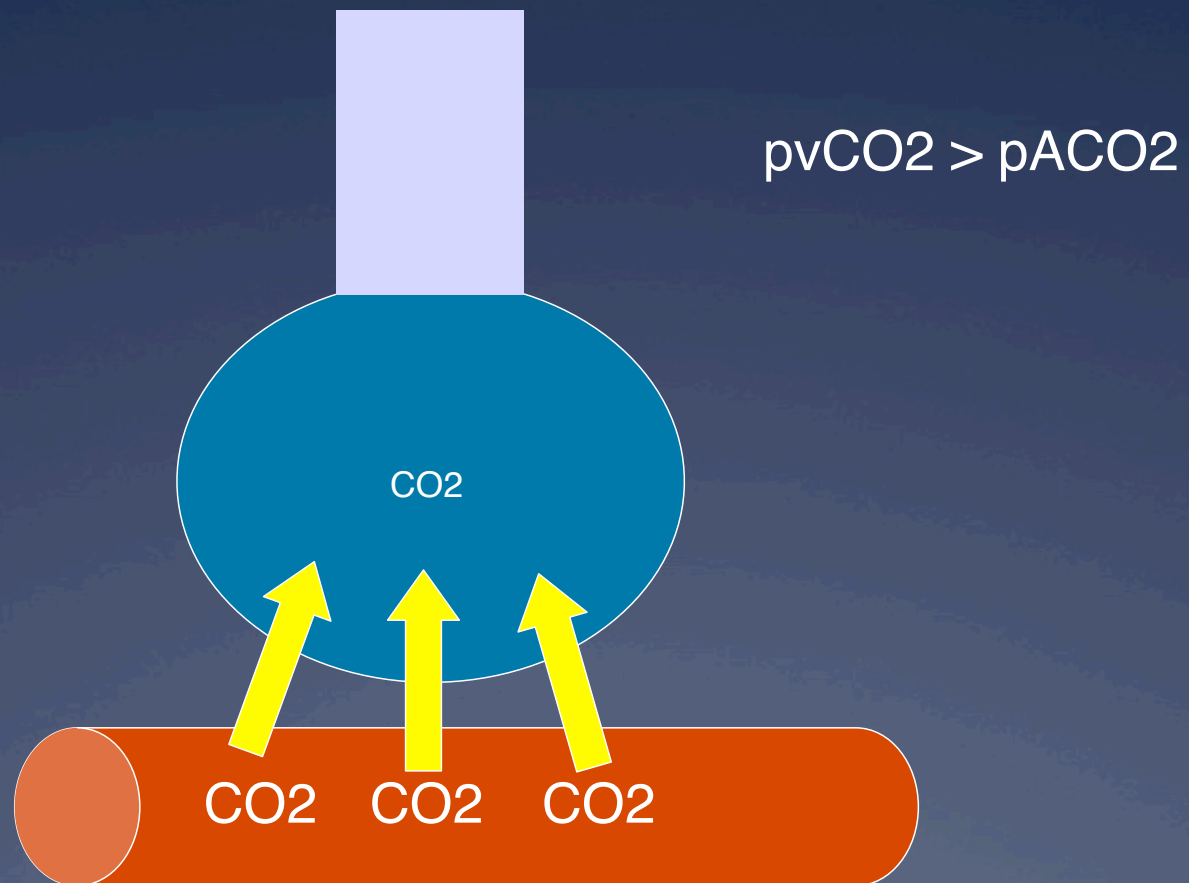
Ejemplo práctico:

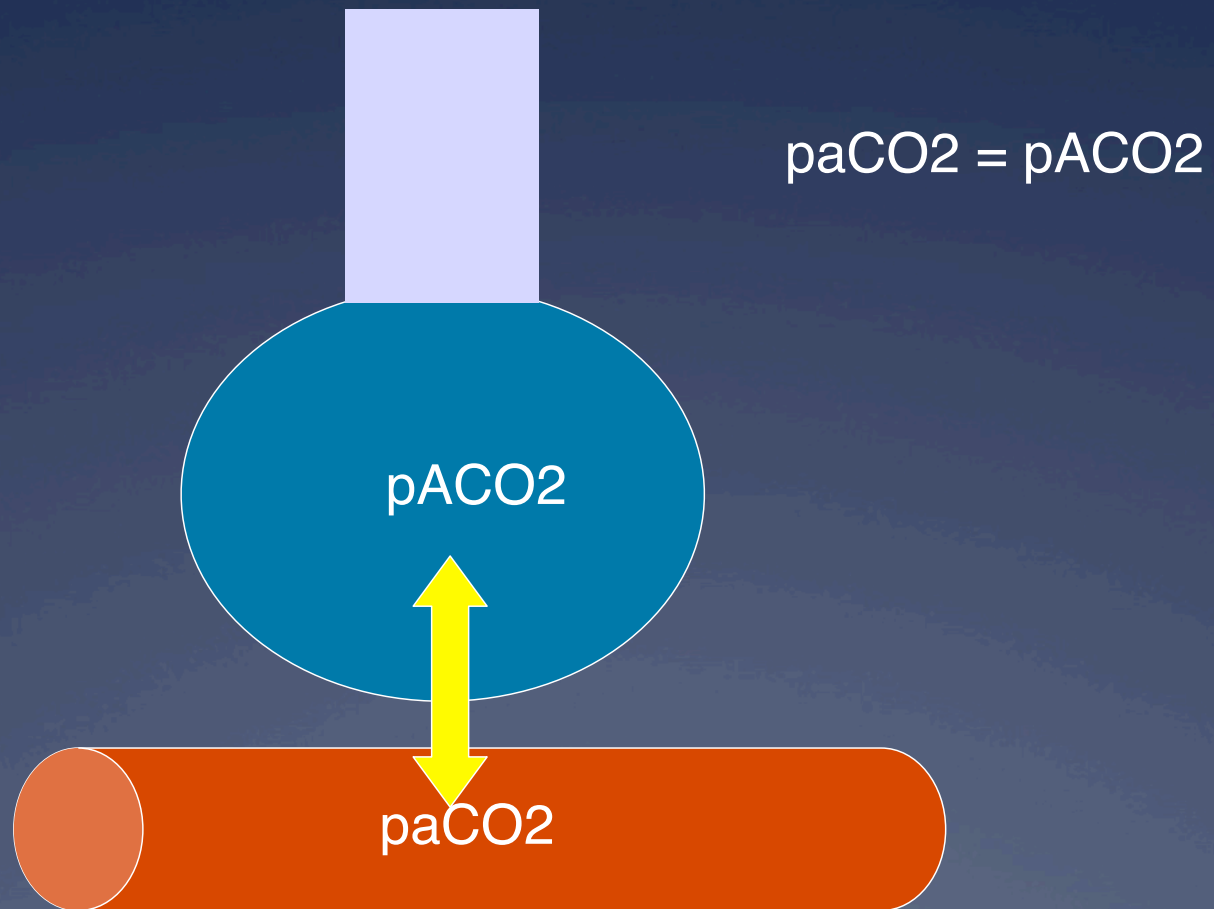
$$\text{CO}_2 \text{ Prod} = \text{CO}_2 \text{ Elim}$$

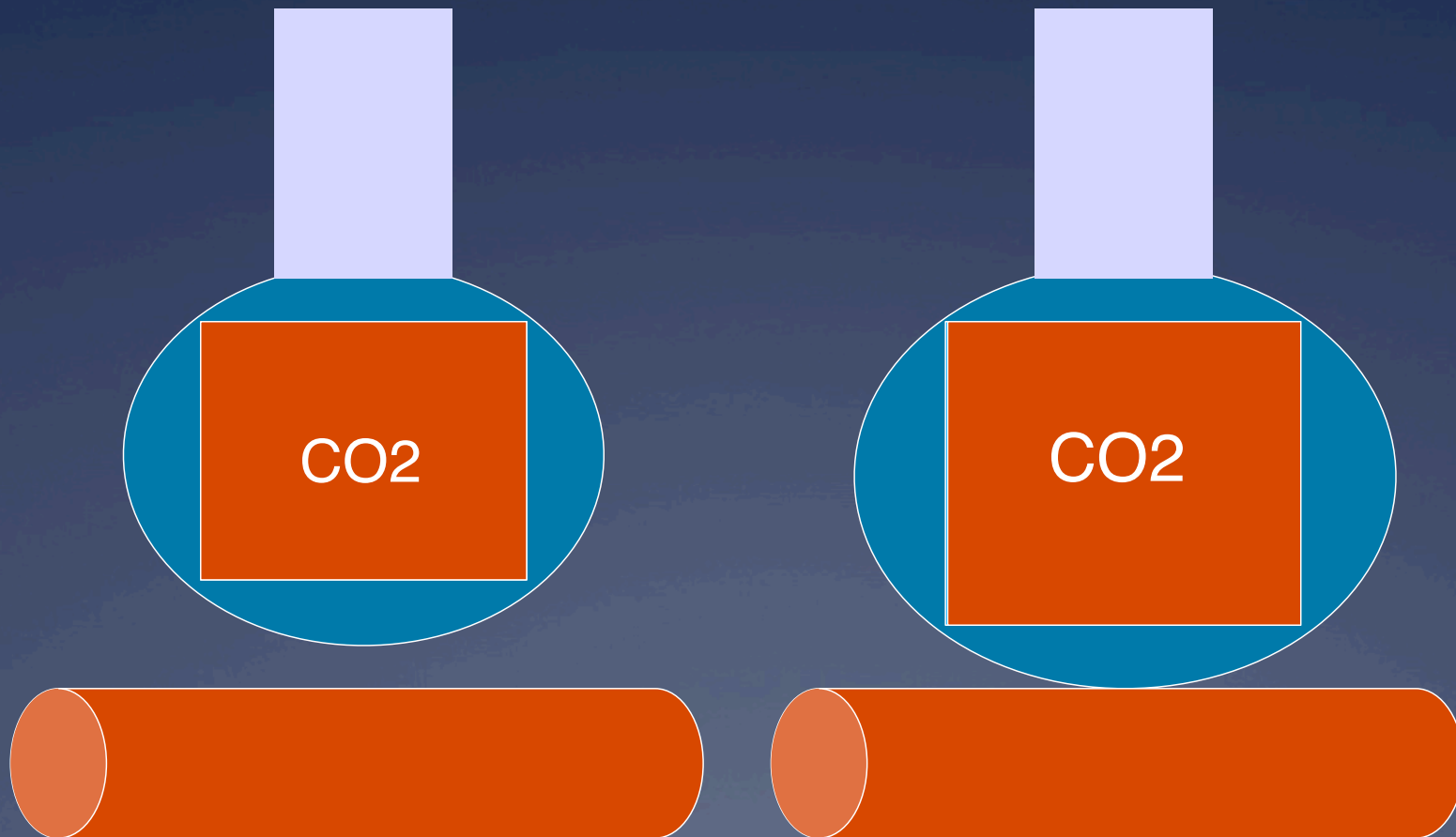
+ 10



$$1/2 \text{ L} = 10$$

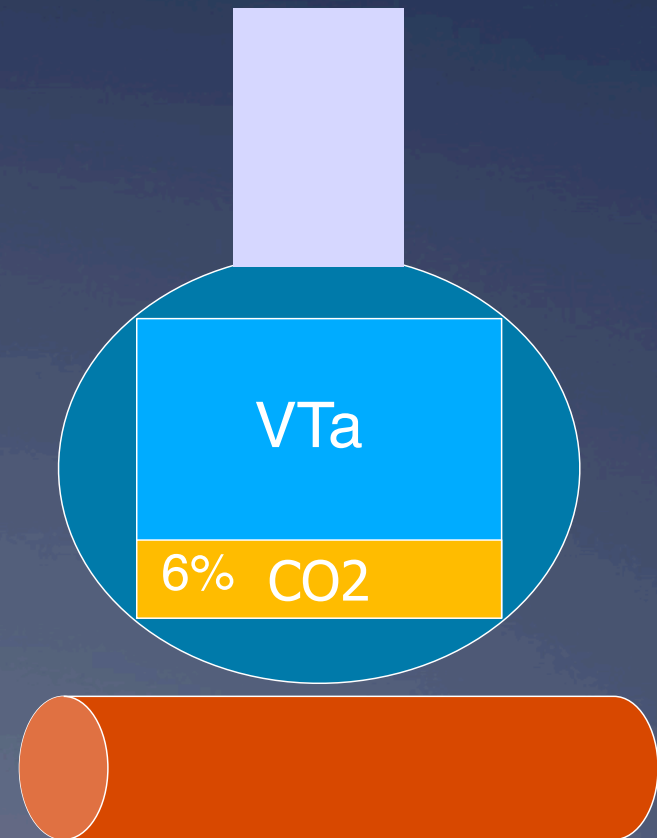
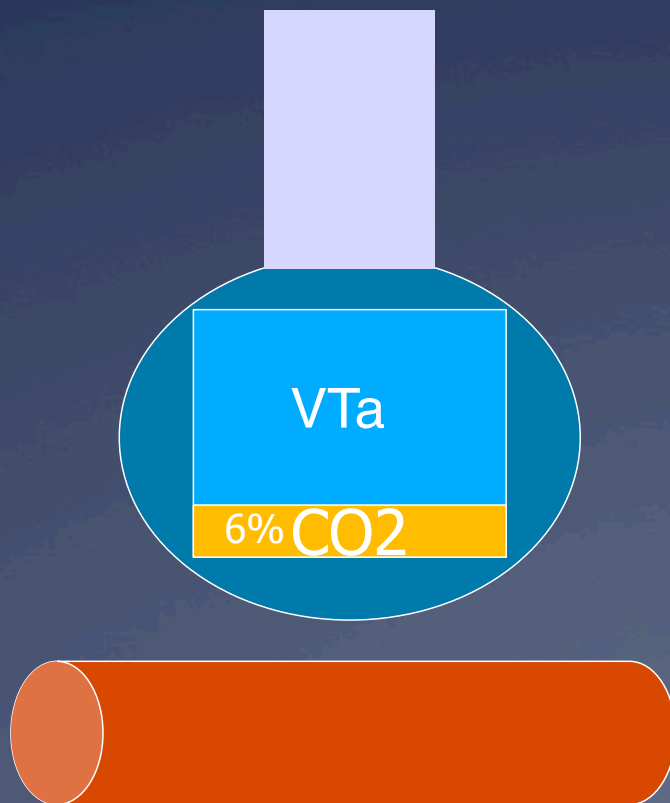






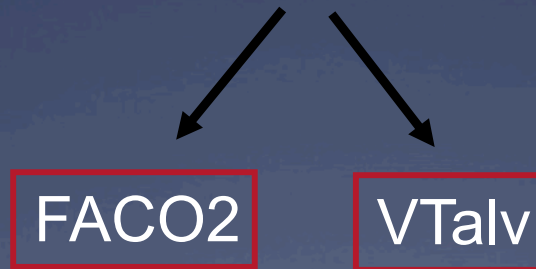
$V_{T_{alv}} = 4 \text{ ml}$
 $alvCO_2 = 0.24 \text{ ml}$

$V_{T_{alv}} = 8 \text{ ml}$
 $alvCO_2 = 0.48 \text{ ml}$



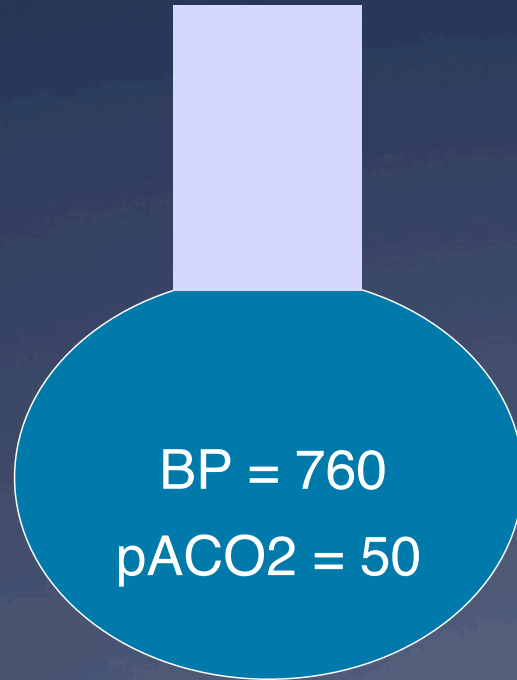
CO₂-Eliminación

$$VCO_2 = CO_2 \text{ alv} \times f$$



¿Cómo calcular la FACO2?

S. Navarro-Psihas



$$FACO_2 = \frac{pACO_2}{(BP - 47)}$$

$$FACO_2 = \frac{50}{(760 - 47)}$$

$$FACO_2 = 0.07$$

paCO₂ = 50 mmHg

FACO2 a diferentes paCO2

$$\text{FACO}_2 = \frac{40}{(760 - 47)} = 0.056 \text{ or } 5.6\%$$

$$\text{FACO}_2 = \frac{45}{(760 - 47)} = 0.063 \text{ or } 6.3\%$$

$$\text{FACO}_2 = \frac{50}{(760 - 47)} = 0.07 \text{ or } 7\%$$

La eliminación de CO₂ depende básicamente de:

- Concentración de CO₂ en sangre (paCO₂)
- Volúmen corriente alveolar
- Frecuencia respiratoria

Eliminación de CO₂

$$V\text{CO}_2 = V\text{Talv} \times F$$

**¿Cuál es la frecuencia
respiratoria normal?**

Bauer J.

Br J Nutr. 2003 Apr;89(4):533-7

Table 1. Serial values of body weight, body length, oxygen consumption (V_{O_2}), carbon dioxide production (V_{CO_2}) and RER in preterm infants*

(Mean values and standard deviations for seventeen infants)

Postnatal age (d)	Body weight (g)		Body length (m)		V_{O_2} (ml/kg per min)		V_{CO_2} (ml/kg per min)		RER	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
6	780	99	0.34	0.013	4.7	0.5	4.5	0.4	0.95	0.05
12	819	204	0.34	0.012	5.6	0.5	5.6	0.5	0.99	0.09
18	871	101	0.35	0.015	7.0	0.3	6.9	0.4	0.98	0.03
24	956	103	0.36	0.015	7.6	0.6	7.3	0.5	0.98	0.05
30	1036	106	0.37	0.023	8.8	0.6	8.0	0.3	0.91	0.05
36	1149	105	0.39	0.019	9.1	1.0	8.3	0.6	0.91	0.04

* For details of subjects and procedures, see p. 534.

Cálculo de la frecuencia respiratoria en base a la producción de CO₂

Peso = 1 kg

$$VCO_2 = FCO_2 \cdot VT_{alv} \cdot F$$

VCO₂ = 5 ml/min

$$\frac{VCO_2}{FCO_2 \cdot VT_{alv}} = F$$

VT = 4 ml

VD = 2 ml

$$FCO_2 = \frac{paCO_2}{(BP-47)}$$

VT_{alv} = 2 ml

$$FCO_2 = \frac{50}{(713)} = 0.07$$

paCO₂ = 50 mmHg

Cálculo de la frecuencia respiratoria en base a la producción de CO₂

Peso = 1 kg

$$\frac{V_{CO_2}}{F_{CO_2} \cdot V_{T_{alv}}} = F$$

$V_{CO_2} = 5 \text{ ml/min}$

$V_T = 4 \text{ ml}$

$$\frac{5}{0.07 \cdot 2}$$

$V_D = 2 \text{ ml}$

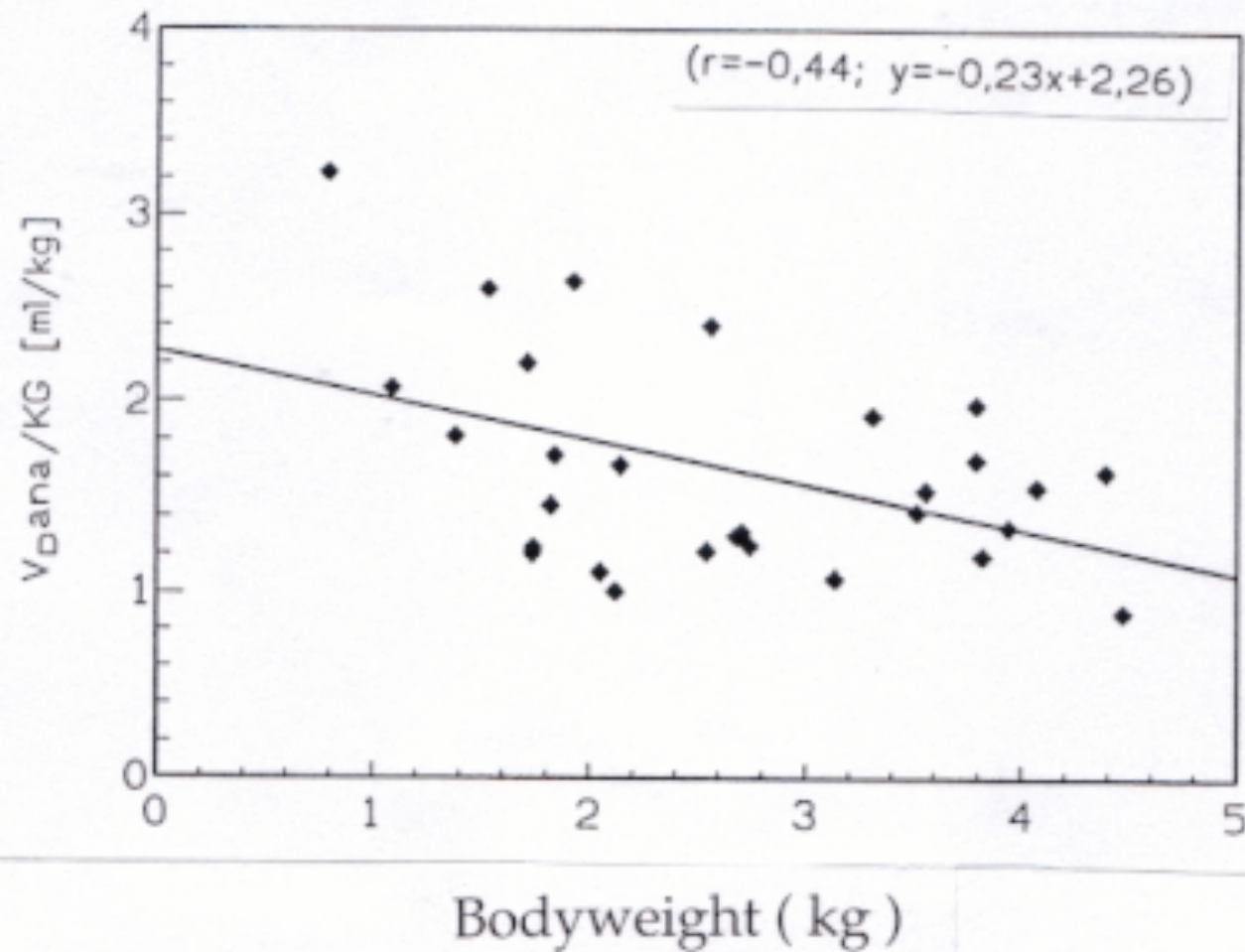
$$F = 35$$

$V_{T_{alv}} = 2 \text{ ml}$

$paCO_2 = 50 \text{ mmHg}$

Volumen corriente y espacio muerto

Developmental Anatomomic Deadspace



Wenzel U, Charite Berlin, Thesis 1997

Volumen corr.

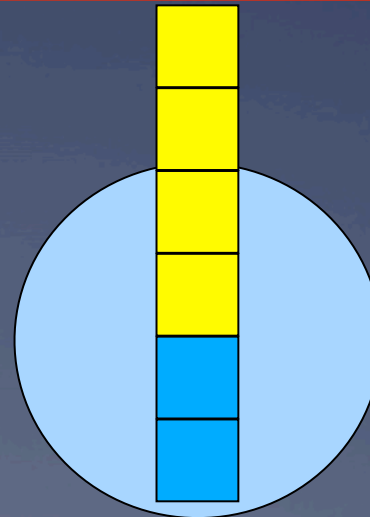
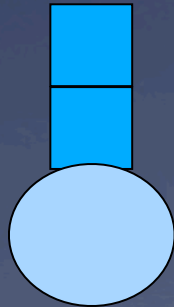


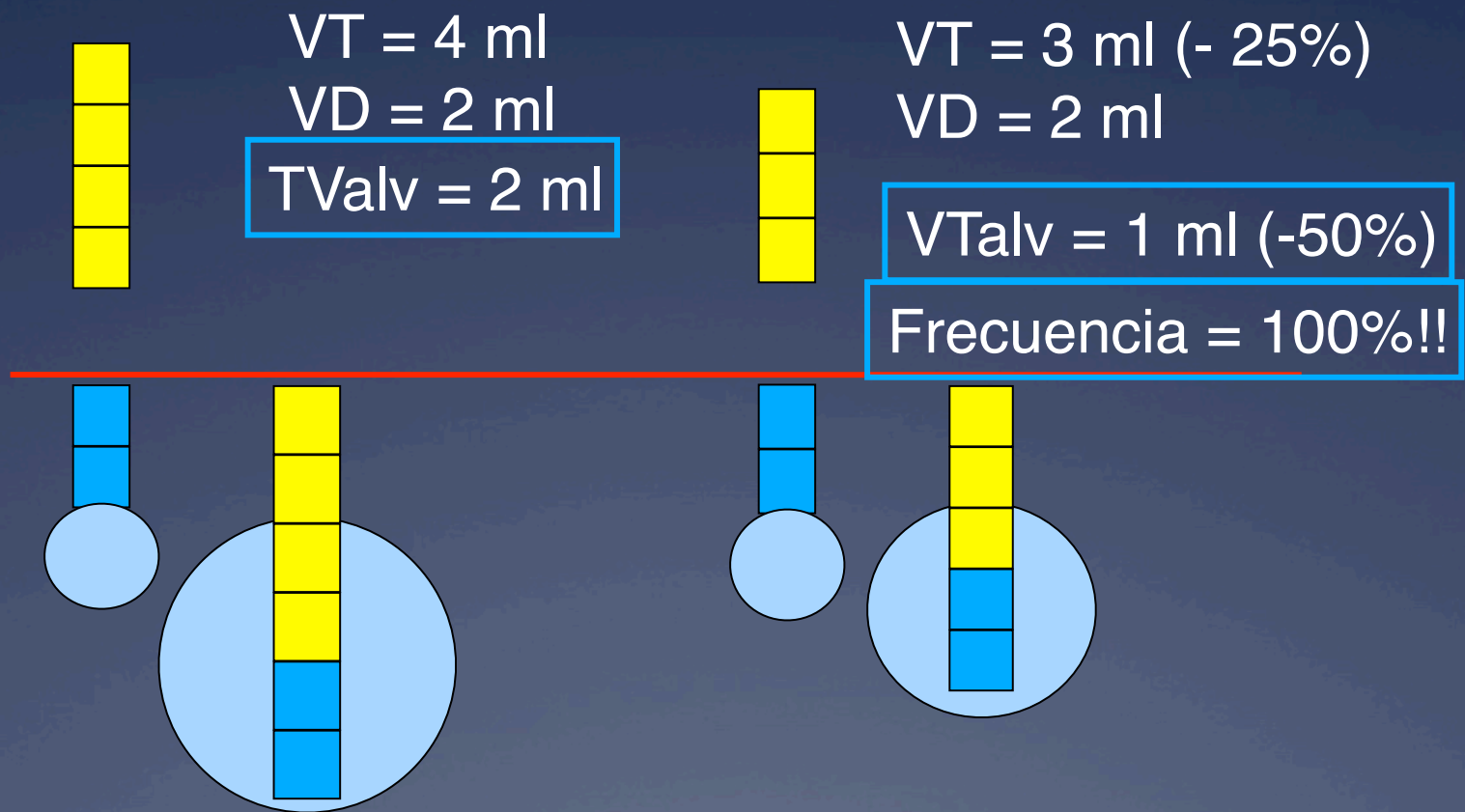
$$V_T = 4 \text{ ml}$$

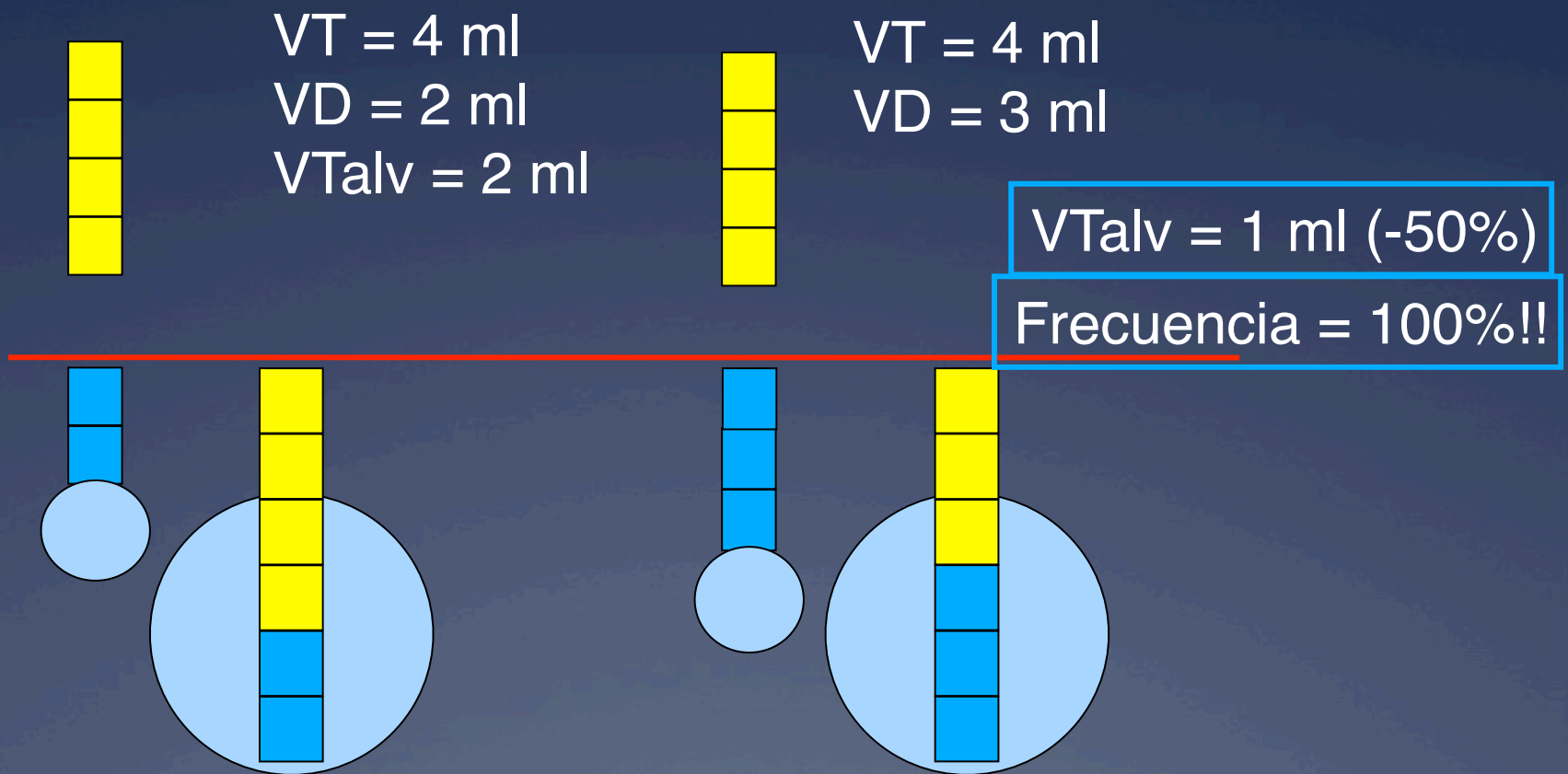
$$V_D = 2 \text{ ml}$$

$$V_{T\text{alv}} = 2 \text{ ml}$$

Espacio m.





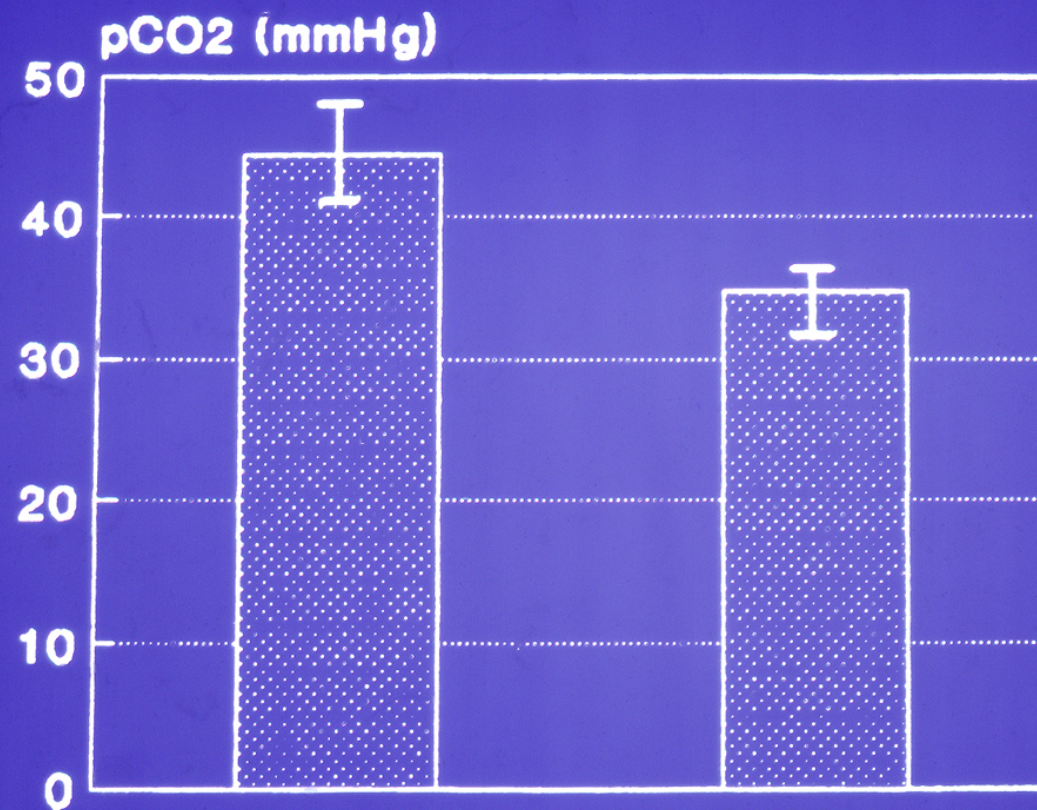


RN con peso de 3 Kg.

$$MV = VT \cdot F$$

MV	VT	f	VT _{alv}	M _{valv}
700	9	78	$(9-6) = 3$	234
700	15	47	$(15-6) = 9$	423
700	21	33	$(21-6) = 15$	495

Klin Padiatr. 1992 Sep-Oct;204(5):368-72
Removing the IDS in 10 VLBW infants



S. Nolte

S. Navarro-Psihas

Risk of Lung Injury

Double Alveolar Min Ventilation

Alveolar Tidal Volume ml/kg

Injury Weighted
Pattern Selection

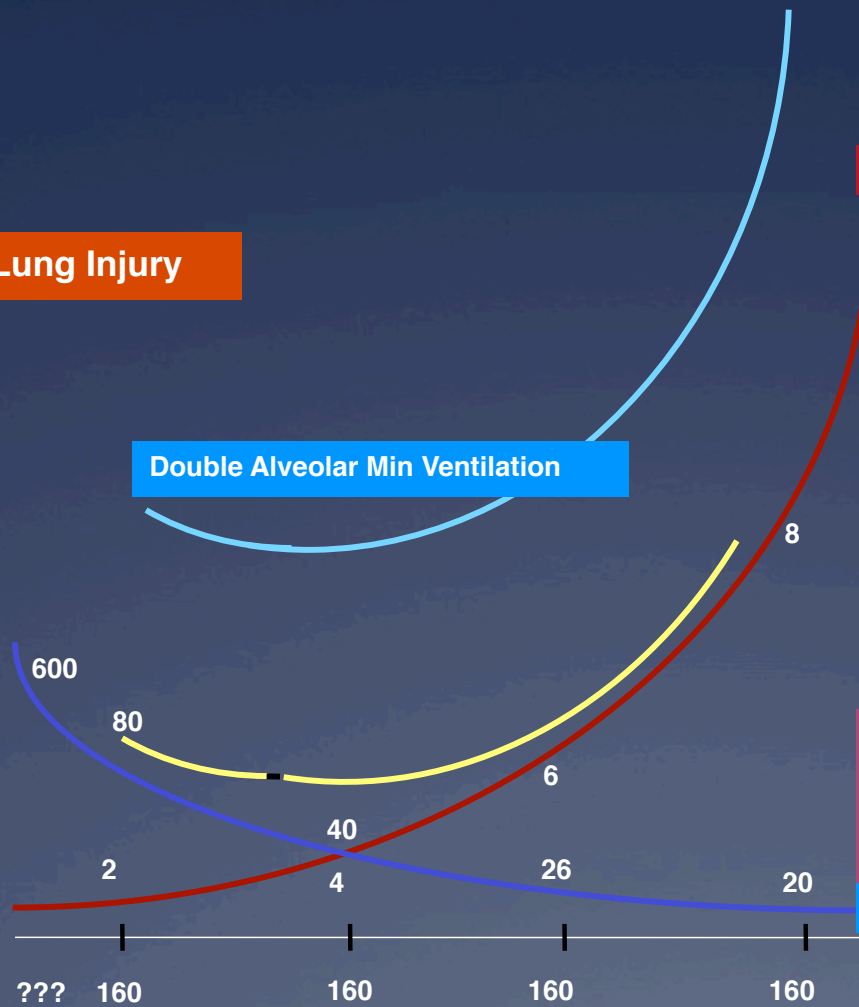
Respirator Frequency br/min

ml/min.kg

Normal Alveolar Min Ventilation

Simbruner G.

S. Navarro-Psihas



Hipocapnea

Efectos de la hipocapnea en el cerebro

- Niveles $< 25\text{-}30$ mmHg producen $\downarrow$ de la perfusión cerebral cortical
- La hipocapnea $\uparrow$ daño cerebral por hipoxia (Efecto protector del CO_2)
- Como resultado del volutrauma se asocia a la liberación de mediadores de la inflamación

Efectos de la hipocapnea

- Estudios retrospectivos han demostrado que niveles de $\text{CO}_2 < 30 \text{ mmHg}$ se asocian con:
 - Leucomalacia periventricular
 - “periventricular echodensities”
 - Parálisis cerebral
 - Hipoacusia
 - Desarrollo mental y motor anormal

Vannucci RC: Pediatrics. 1995 Jun;95(6):868-74

CO2 Conc:	0%	3%	6%	9%
FiO2:	0.08	0.08	0.08	0.08
paCO2 (mmHg):	26	42	54	71
Severe damage (%):	61	21	0	17

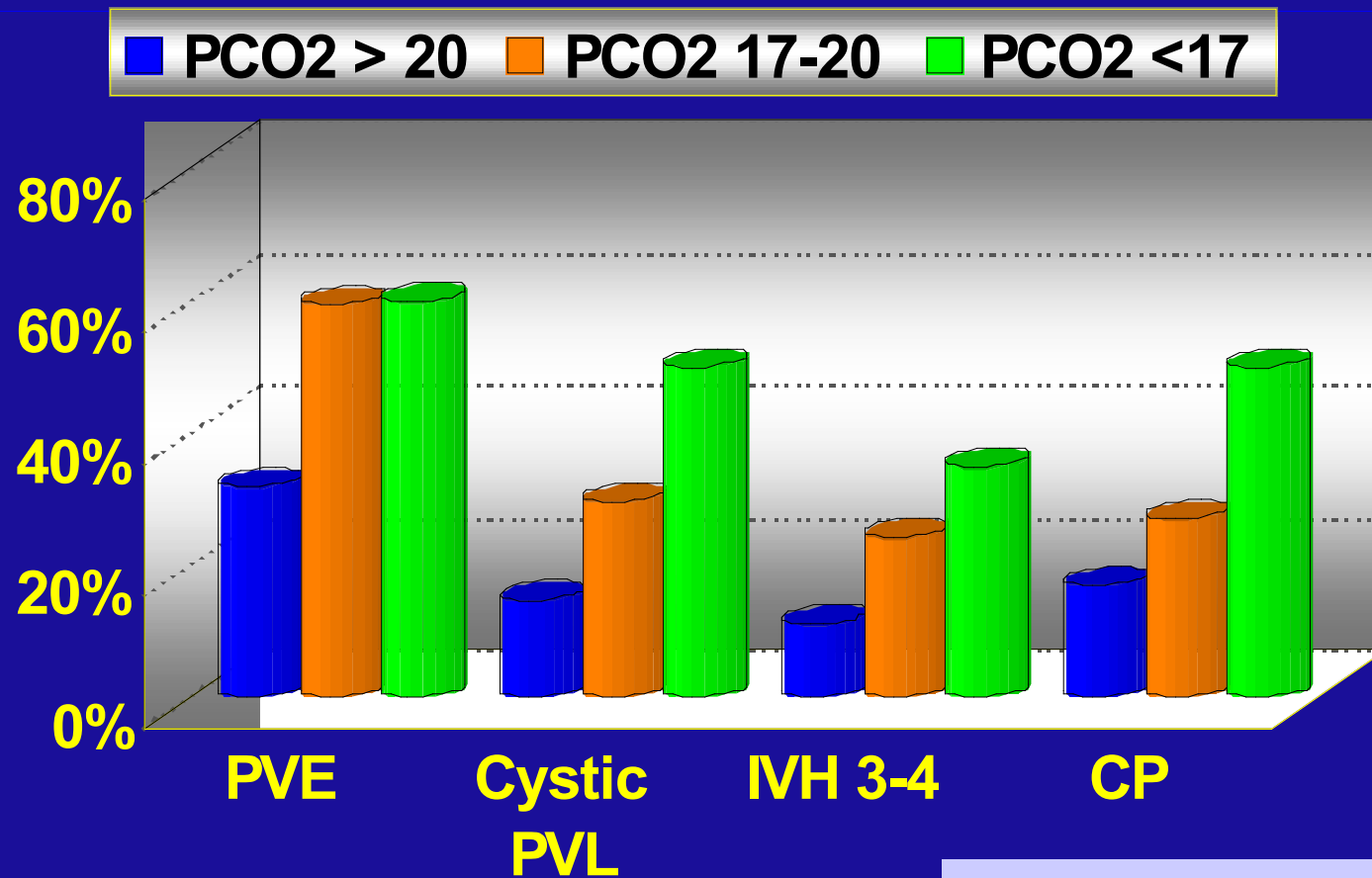
Graziani LJ: Pediatrics 1992

- 251 RNP <1501g
- 134 (53%) mostraron alteraciones neuro-sonográficas
- Asociación entre una $\text{PaCO}_2 < 17 \text{ mmHg}$ y:
 - Leucomalacia perivent.
 - Hemorragia perivent.
 - Ecodensidades perivent. echodensities
 - Parálisis cerebral

Graziani LJ: J Child Neurol 1997

- 181 sobrevivientes de ECMO
- Secuelas neurológicas en 10-20%
- Asociación entre:
 - Hipotensión y parálisis cerebral
 - Hipocapnia e hipoacusia

Adverse outcomes associated with maximally low PaCO₂



Graziani et al, Pediatrics 1992

Courtesy of M.Keszler

Hipercapnea

Efectos potenciales del CO₂:

- Desplazamiento de la curva de saturación de la hemoglobina hacia la derecha (Efecto Bohr)
- ↑ del estímulo respiratorio
- ↑ GC debido a menor RVS
- ↑ RVP (hipertensión pulmonar persistente)
- ↑ Perfusión cerebral
- Protección cerebral en presencia de hipoxia
- ROP

Vannucci RC: Pediatrics. 1995 Jun;95(6):868-74

CO2 Conc:	0%	3%	6%	9%
FiO2:	0.08	0.08	0.08	0.08
paCO2 (mmHg):	26	42	54	71

Severe damage (%):	61	21	0	17
--------------------	----	----	---	----

Efectos de la hipercapnea

- Estudios en animales han mostrado:
 - ↓ daño pulmonar por volumen o por endotoxina
 - Expresión genética para proteínas A y B del surfactante
 - Alteración en la función de los granulocitos y ↓ inflamación
 - ↓ excreción de citokinas
 - Aceleración del desarrollo alveolar
 - ¡La literatura no es consistente!

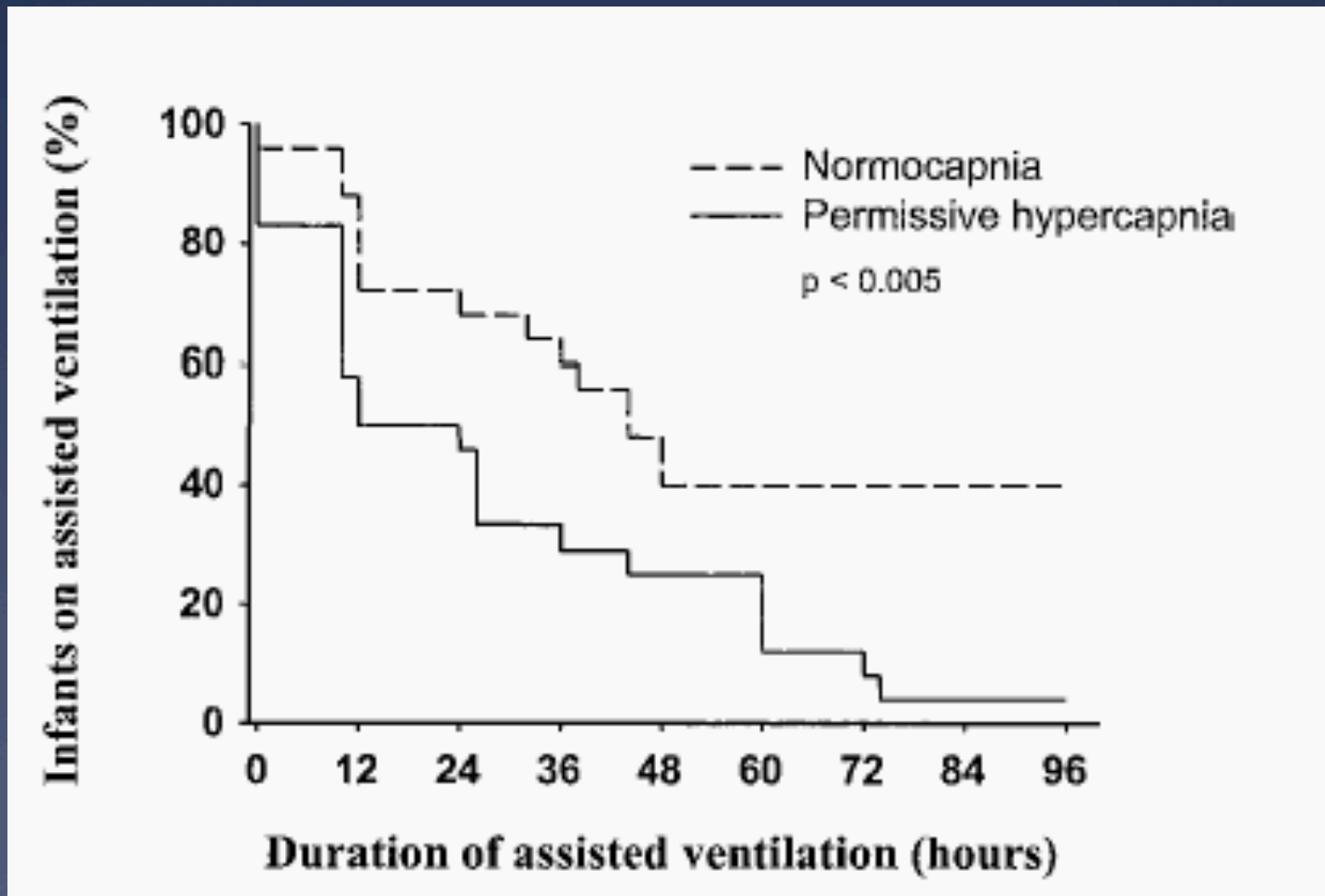
Hipercapnea permisiva

- Estrategia que permite niveles elevados de CO₂ con niveles mínimos aceptables del pH
- Primera observación en 1965: Pacientes con hipercarbia extrema que sobrevivieron
- Descrita por primera vez en neonatos por Wung en 1985

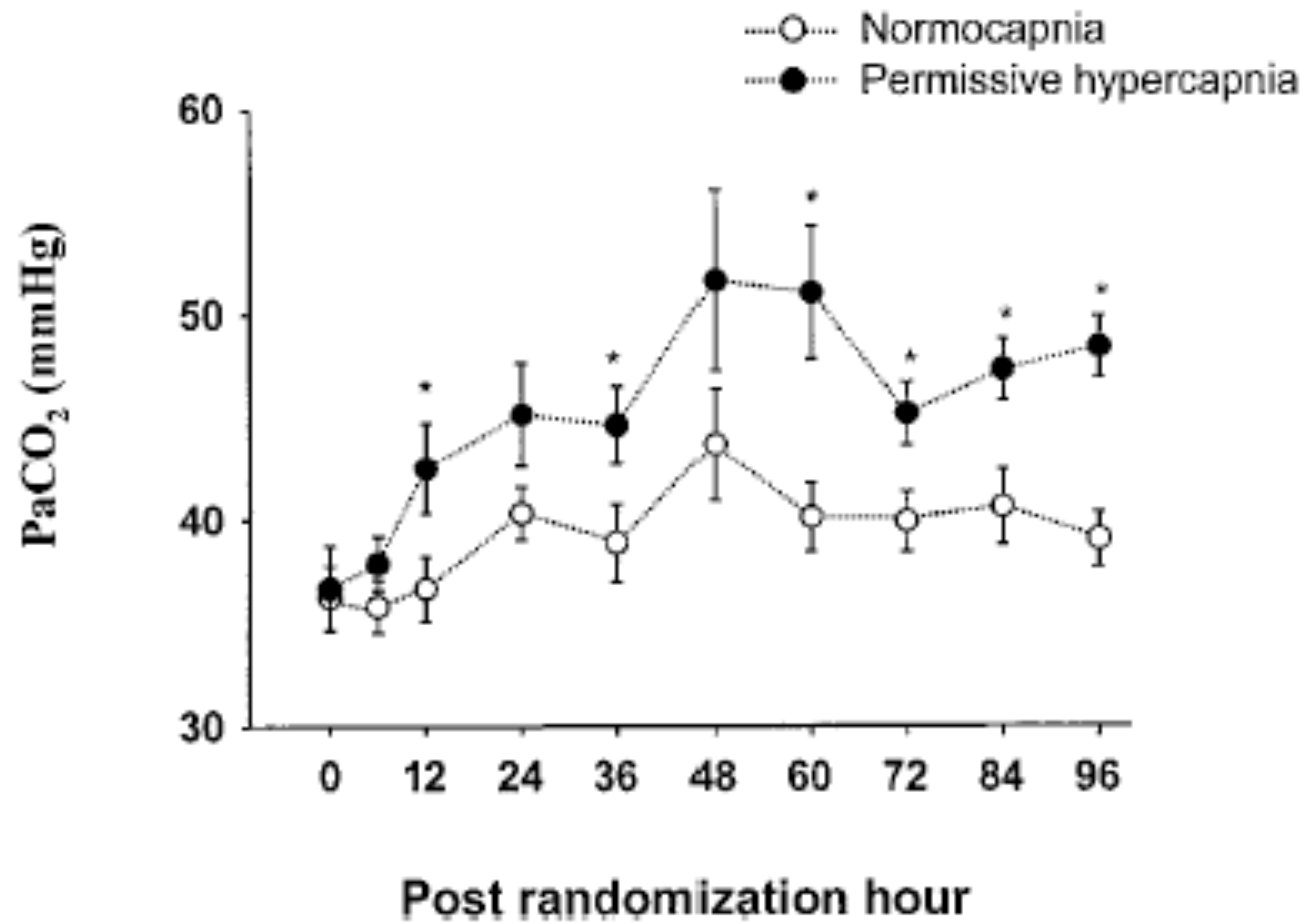
Efectos de la hipercapnea:

- Varios estudios retrospectivos han mostrado ↓ incidencia de DBP en pacientes con niveles más elevados de CO₂:
 - Avery 1987
 - Kraybill 1989
 - Garland 1995
- Solamente 3 RCT en RN prematuros

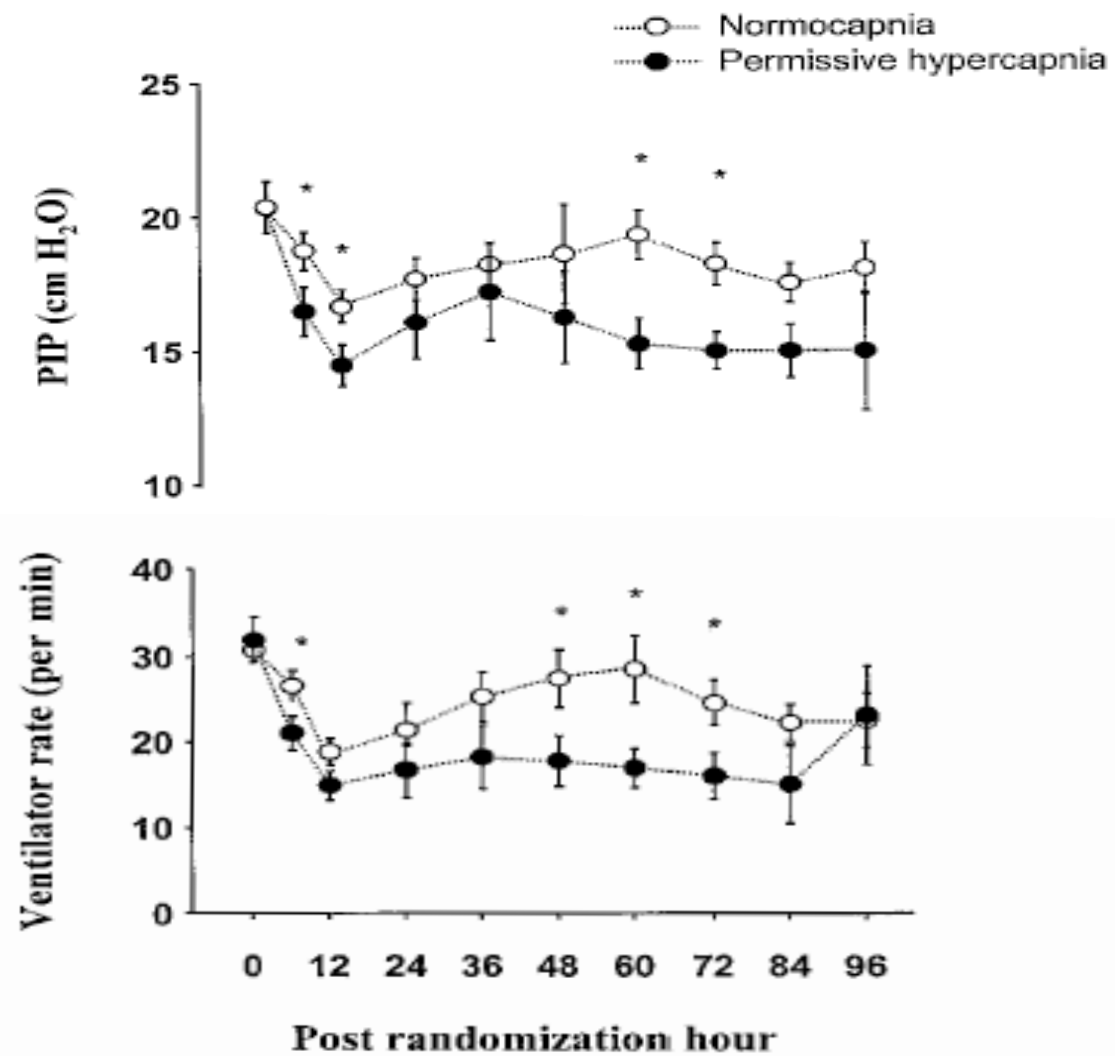
Mariani G, Cifuentes J, Carlo WA
Randomized trial of permissive hypercapnia in preterm infants
Pediatrics. 1999 Nov;104(5 Pt 1):1082-8
49 preterm infants < 1800



Mariani G, Cifuentes J, Carlo WA
Randomized trial of permissive hypercapnia in preterm infants
Pediatrics. 1999 Nov;104(5 Pt 1):1082-8



Mariani G, Cifuentes J, Carlo WA
Randomized trial of permissive hypercapnia in preterm infants
Pediatrics. 1999 Nov;104(5 Pt 1):1082-8



Carlo W: J Pediatr. 2002

- RCT
- Efectos de la “ventilación mínima” sobre la mortalidad y la incidencia de DBP
- 220 RN de pretérmino ventilados mecánicamente fueron randomizados en dos grupos:
 - Ventilación mínima = $\text{CO}_2 > 52$
 - Ventilación de rutina = $\text{CO}_2 < 48$
- Parámetros: DBP y mortalidad
- El estudio fue suspendido debido a perforaciones intestinales

Carlo W.:J Pediatr. 2002 Sep;141(3):370-4
 220 preterm infants < 1000g
 NC=> 48 PHC< 52

Outcome	Minimal ventilation	Routine ventilation	Relative risk (95% CI)	P value
BPD or death	63	68	0.93 (0.77–1.12)	.43
Death by 36 wk	23	22	1.06 (0.65–1.74)	.81
Mechanical ventilator in survivors at 36 wk	1	16	0.09 (0.01–0.67)	<.01
Pulmonary interstitial emphysema	16	15	1.08 (0.59–1.98)	.76
Pneumothorax	8	4	1.83 (0.63–5.30)	.25
Open-label steroids	38	48	0.80 (0.58–1.07)	.14
Reintubation	56	65	0.86 (0.70–1.07)	.18
Intracranial hemorrhage III or IV	20	26	0.78 (0.48–1.27)	.32
Periventricular leukomalacia	10	10	1.06 (0.42–2.70)	.90
Necrotizing enterocolitis	1	4	0.20 (0.02–1.70)	.14
Duration of oxygen supplementation (d)	54 ± 38	59 ± 40		.33
Duration of ventilation (d)	26 ± 22	30 ± 25		.27
Length of hospitalization (d)	72 ± 39	77 ± 39		.37

Data as percentages. Plus-minus values are mean ± SD.

Thome: Biol Neonate 2006

- RCT sobre los efectos de la hipercapnia en pacientes ventilados
- RN pretérmino < 28 SEG ventilados fueron randomizados en dos grupos:
 - CO₂ 35-45
 - CO₂ 55-65
- Parámetros: DBP (36 weeks), mortalidad, desarrollo neurológico a los 18-22 meses
- Resultados:
 - El estudio fue suspendido tras reclutar el 33% de los pacientes
 - No hubo diferencias en cuanto a la incidencia de DBP
 - ↑ mortalidad o deterioro neurológico en el grupo con hipercapnia

Meta-análisis de Cochrane (2001):

- Solo incluyó los dos primeros estudios con un total de 269 pacientes
- No hubo efecto sobre
 - Mortalidad o BDP a las 36 semanas
 - IVH grado III o IV
 - PVL
- ↓ BDP en un subgrupo de pacientes (501-750g) en uno de los estudios
- No se evaluó el desarrollo neurológico a largo plazo

Conclusiones:

- La producción de CO₂ es normalmente igual a su eliminación
- La eliminación de CO₂ depende básicamente de:
 - Fracción alveolar de CO₂ (F_{CO₂})
 - Volumen corriente alveolar
 - Frecuencia respiratoria
- Los recién nacidos de pocos días presentan una producción baja de CO₂
- Puede ser muy útil el eliminar el espacio muerto instrumental en prematuros pequeños
- Es importante mantener tanto el VT como la frecuencia en niveles normales
- Evitar a toda costa una hipocapnia
- Mantener el nivel de CO₂ en niveles normales altos

¡Gracias!