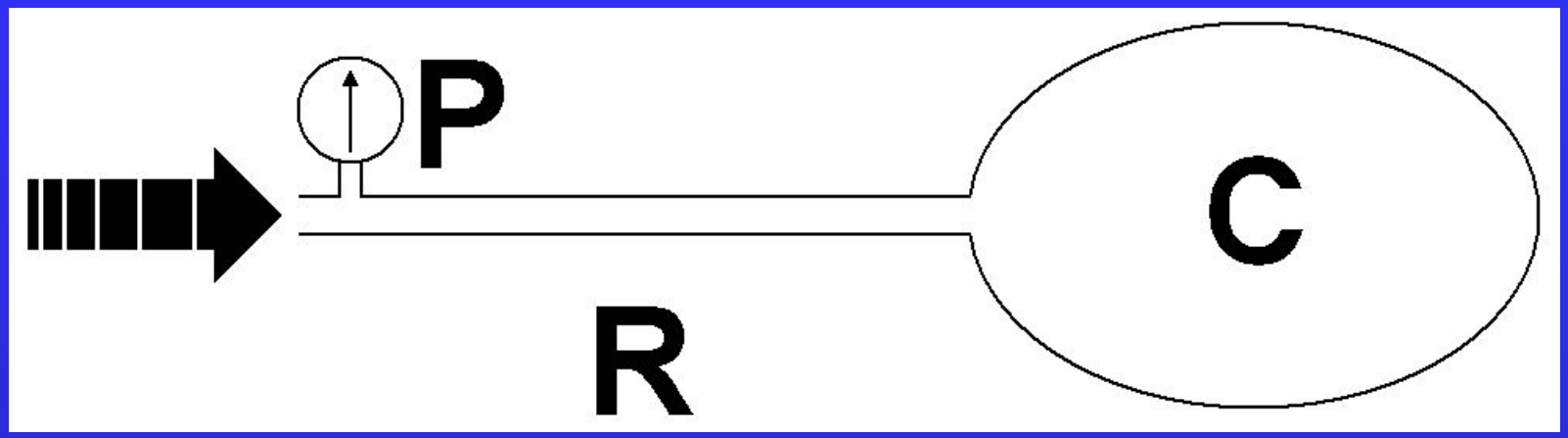
Биомеханика внешнего дыхания и его протезирования

К.М. Лебединский, СПб МАПО

Двухкомпонентная модель



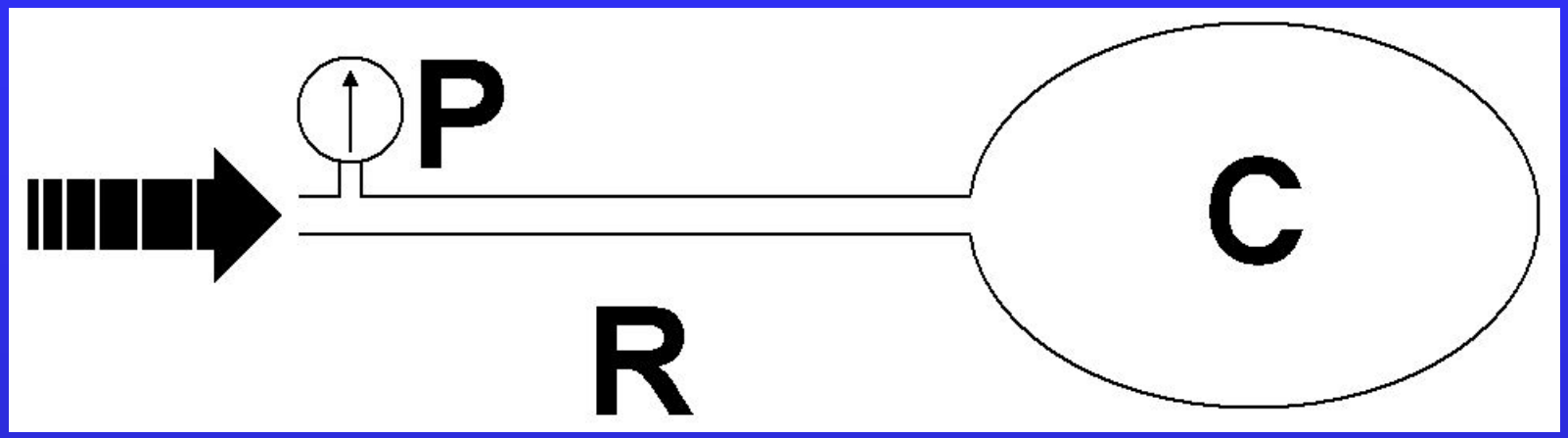
Полное давление: $P = P_{EEXP} + P_{ДИН} + P_{СТАТ}$

Динамический компонент: $P_{ДИН} = R \cdot F$;

Статический компонент: $P_{СТАТ} = V/C$;

$P = P_{EEXP} + R \cdot F + V/C$

Двухкомпонентная модель

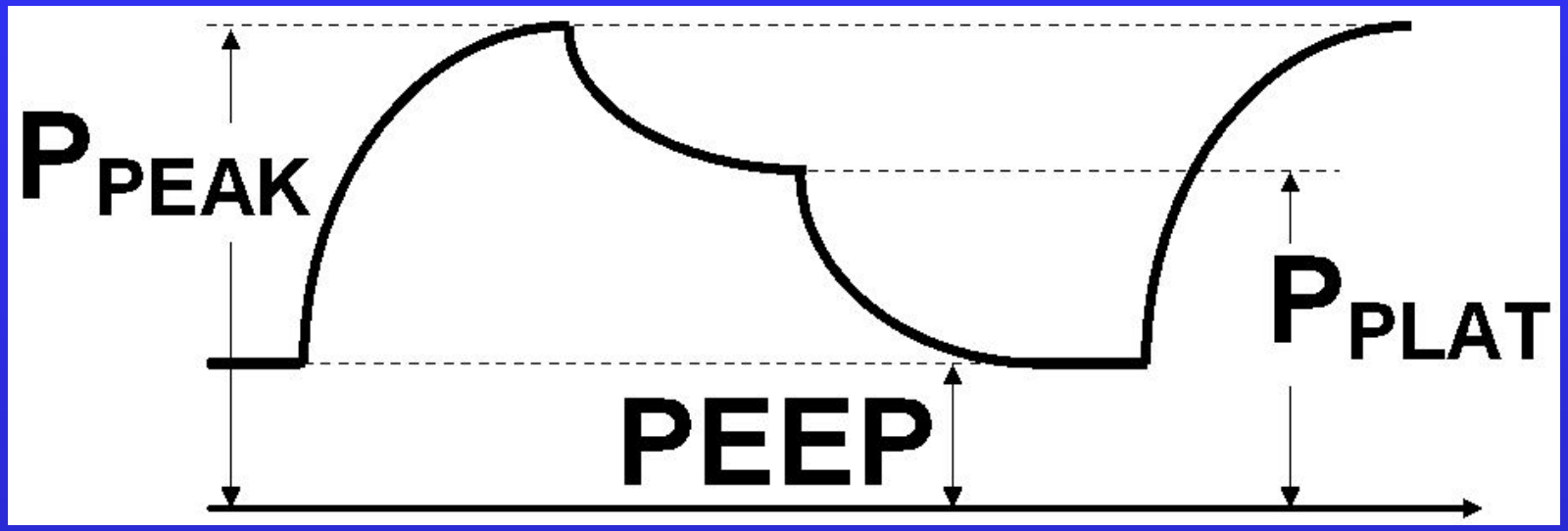


$$P = P_{EEXP} + R \cdot F + V/C$$

$$F = dV/dt \Rightarrow P = P_{EEXP} + RdV/dt + V/C$$

$$V = \int F(t)dt \Rightarrow P = P_{EEXP} + R \cdot F + (\int F(t)dt)/C$$

Расчет растяжимости С



$$P_{PLAT} = P_{PEAK} - P_{ДИН} = P_{СТАТ} + P_{EEXP}$$

$$P_{СТАТ} = V/C = P_{PLAT} - P_{EEXP}$$

$$C = V/(P_{PLAT} - P_{EEXP})$$

Нормальные значения С

Здоровые взрослые: 80–100 *мл·см вод. ст.*$^{-1}$

Взрослые на ИВЛ: 50–100 *мл·см вод. ст.*$^{-1}$

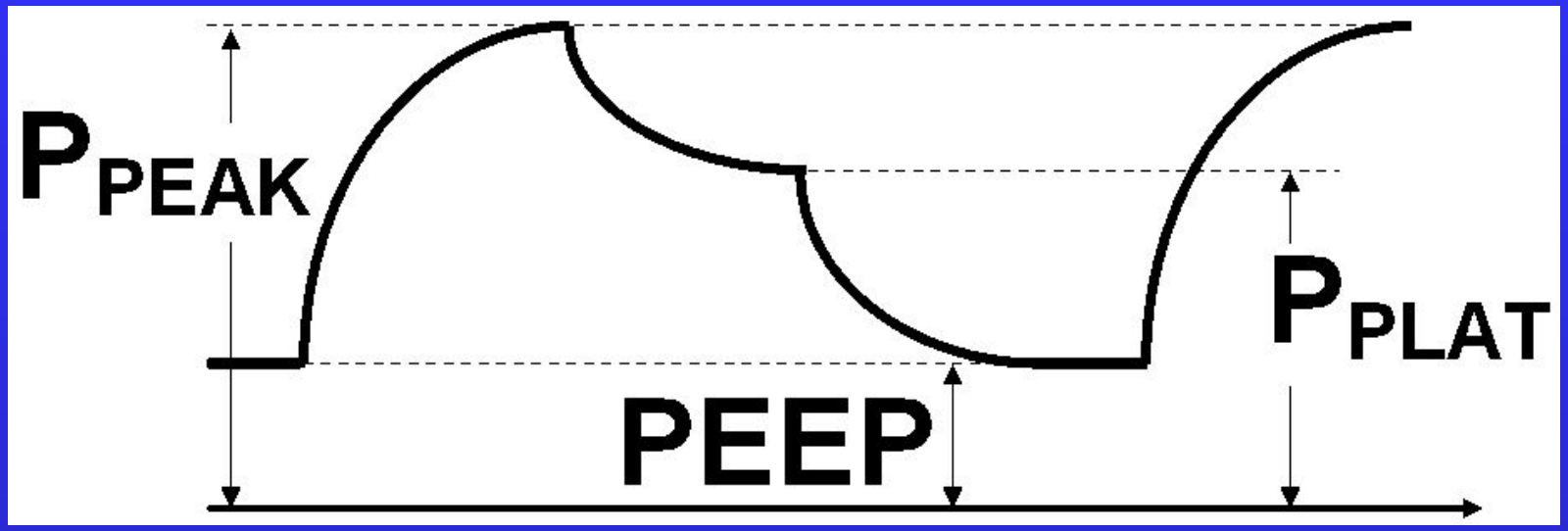
(0,5–1 *л·кПа*$^{-1}$)

Длительная ИВЛ: 50–60 *мл·см вод. ст.*$^{-1}$

Грубая патология: <30 *мл·см вод. ст.*$^{-1}$

С контура C_C: 2–5 *мл·см вод. ст.*$^{-1}$

Расчет сопротивления R



$P_{ДИН} = R \cdot F = P_{PEAK} - P_{PLAT}$

$R = (P_{PEAK} - P_{PLAT})/F;$

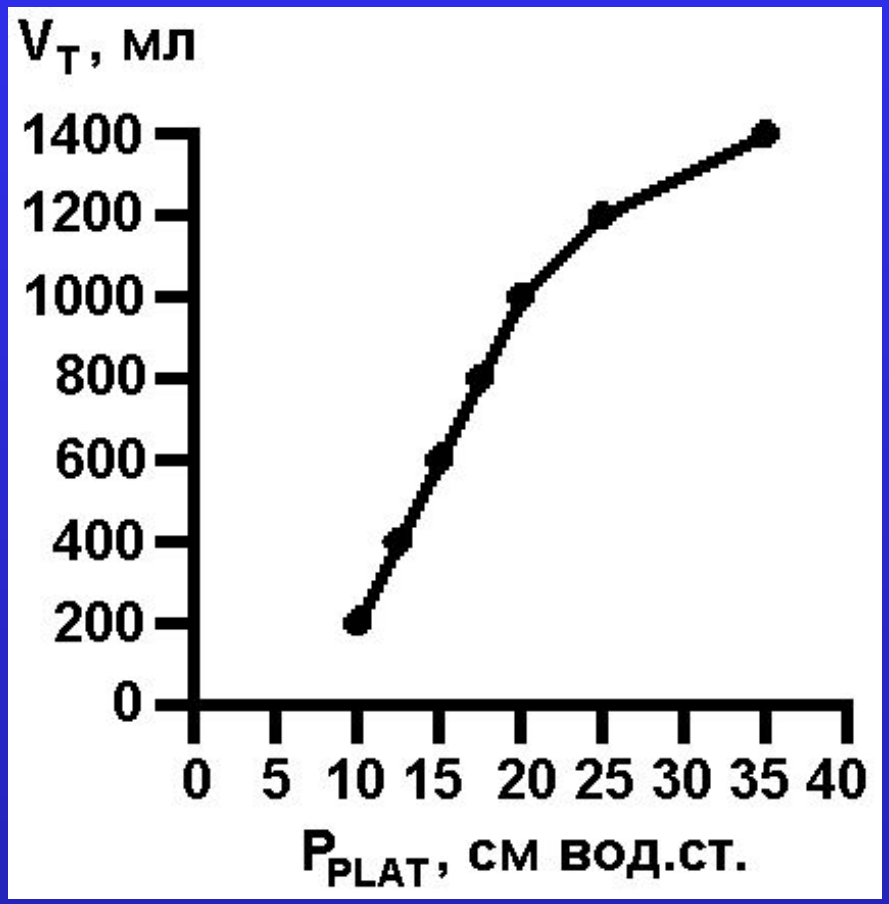
но при $dF/dt = 0$, $F = V_T/T_I$

$R = (P_{PEAK} - P_{PLAT}) \cdot T_I/V_T$

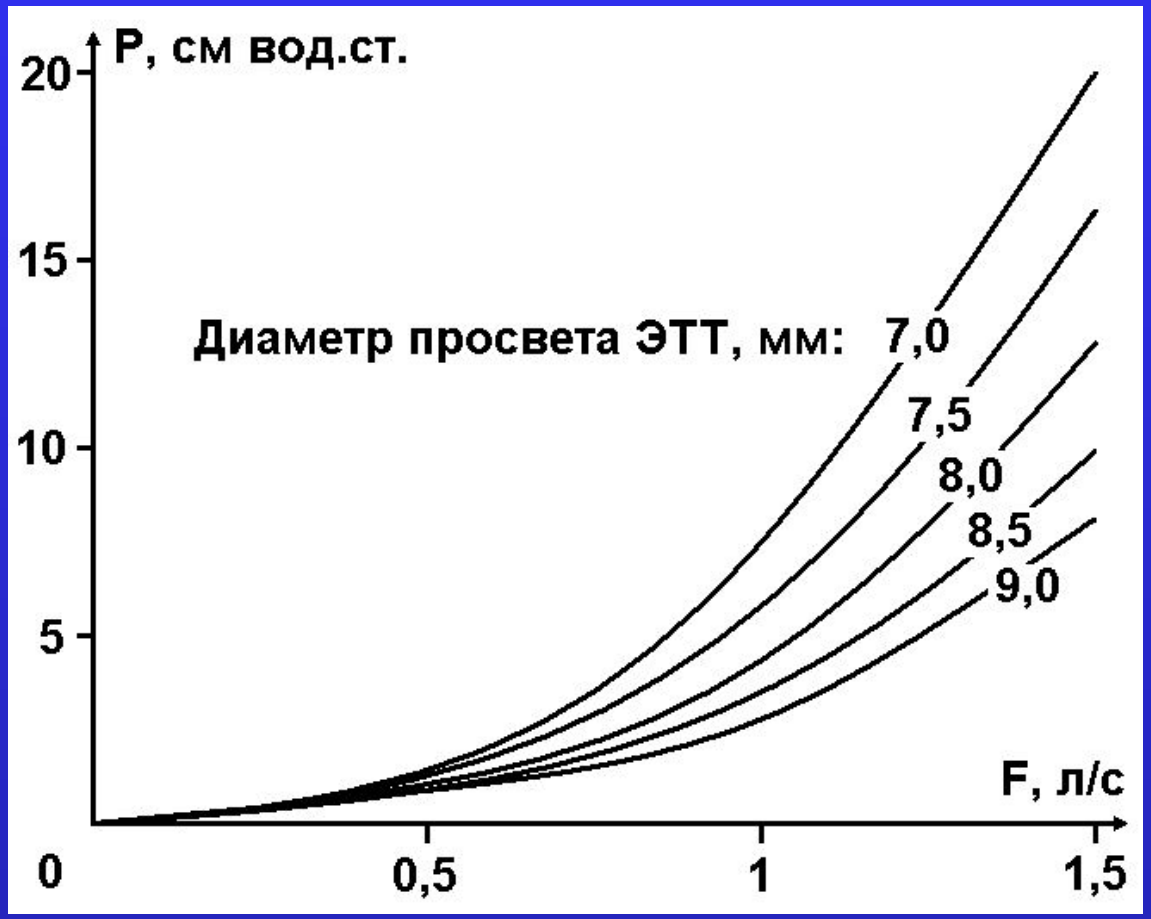
Нормальные значения R

Женщины:	0,033±0,012 *см вод. ст.* $\cdot$ *мин* $\cdot$ *л*$^{-1}$
	(0,2±0,07 *кПа* $\cdot$ *с* $\cdot$ *л*$^{-1}$)
Мужчины:	0,028±0,012 *см вод. ст.* $\cdot$ *мин* $\cdot$ *л*$^{-1}$
	(0,17±0,07 *кПа* $\cdot$ *с* $\cdot$ *л*$^{-1}$)
На фоне ИВЛ:	≤0,2 *см вод. ст.* $\cdot$ *мин* $\cdot$ *л*$^{-1}$
	(≤1,2 *кПа* $\cdot$ *с* $\cdot$ *л*$^{-1}$)
Явная обструкция:	>0,33 *см вод. ст.* $\cdot$ *мин* $\cdot$ *л*$^{-1}$
	(>2 *кПа* $\cdot$ *с* $\cdot$ *л*$^{-1}$)

Ограничение линейной зависимости $P_{PLAT}(V_T)$

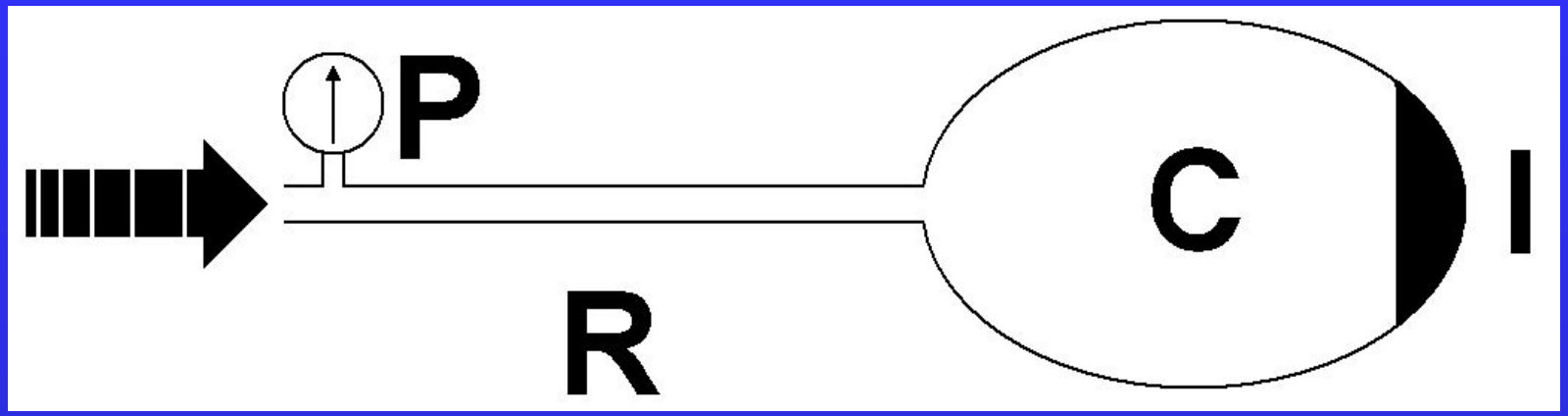


Ограничение линейной зависимости $P_{дин}(F)$



$$P_{дин} = K_1 \cdot F/r^4 + K_2 \cdot F^2/r^5$$

Трехкомпонентная модель



Инерционный компонент: $P_{ин} = I \cdot dF/dt$

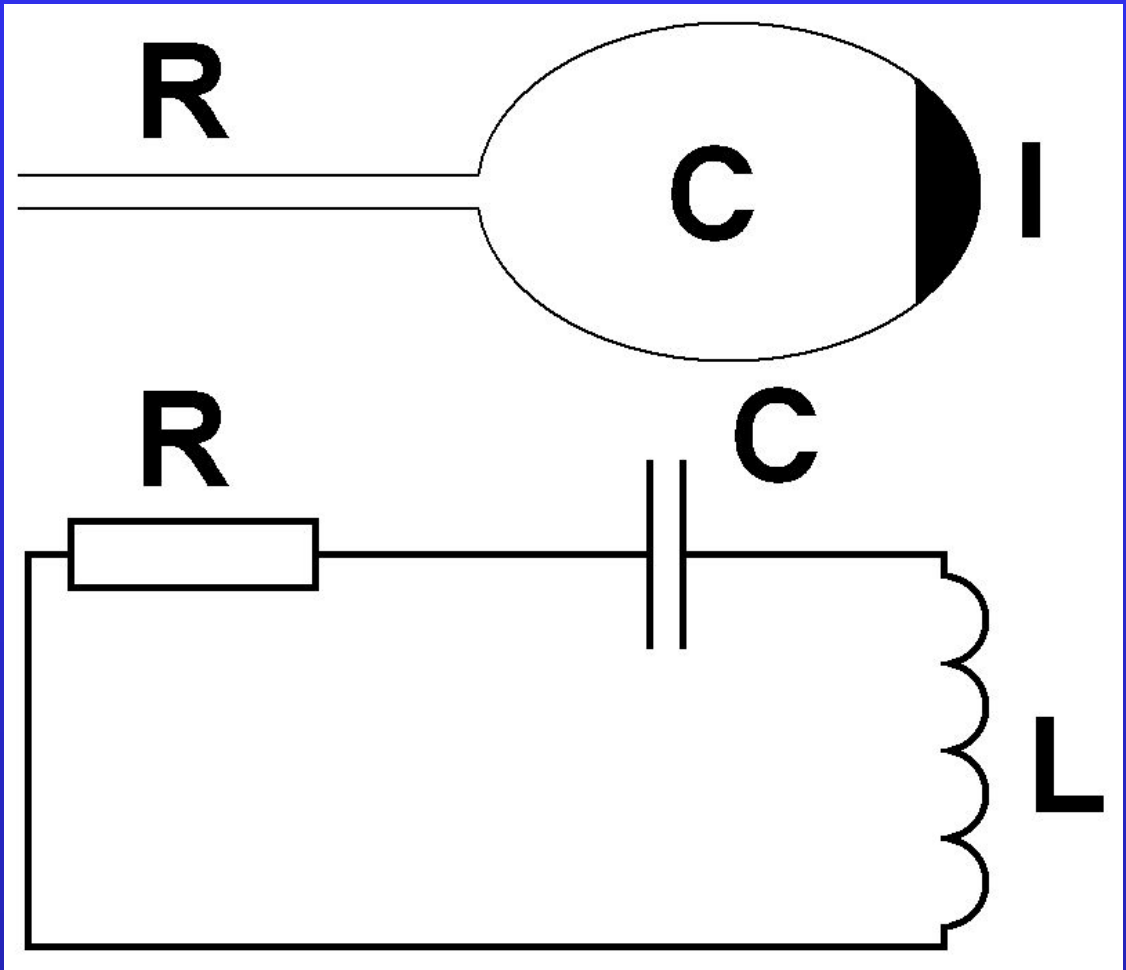
$P = P_{EEXP} + P_{ДИН} + P_{СТАТ} + P_{ИН}$

$P = P_{EEXP} + R \cdot F + V/C + I \cdot dF/dt$

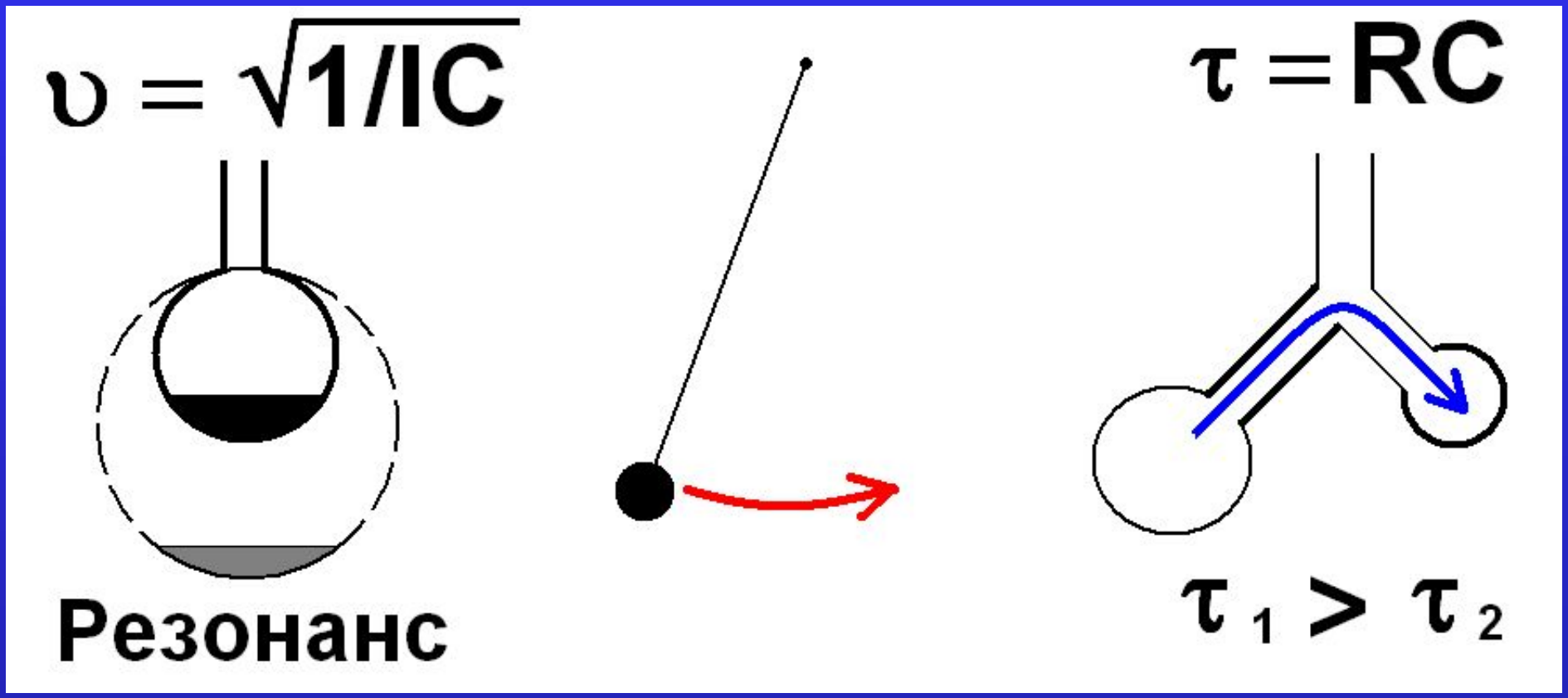
$P = P_{EEXP} + RdV/dt + V/C + I \cdot d^2V/dt^2$

$P = P_{EEXP} + R \cdot F + (\int F(t)dt)/C + I \cdot dF/dt$

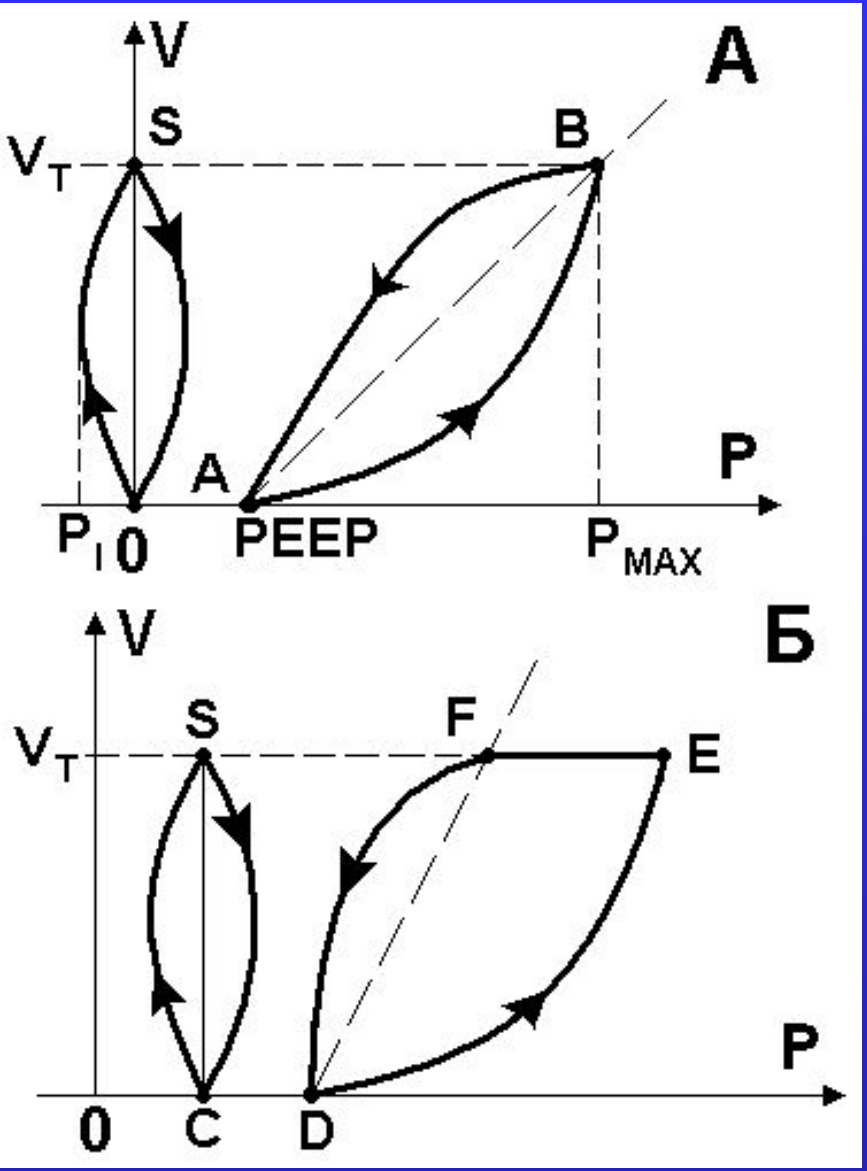
Система внешнего дыхания как колебательный контур



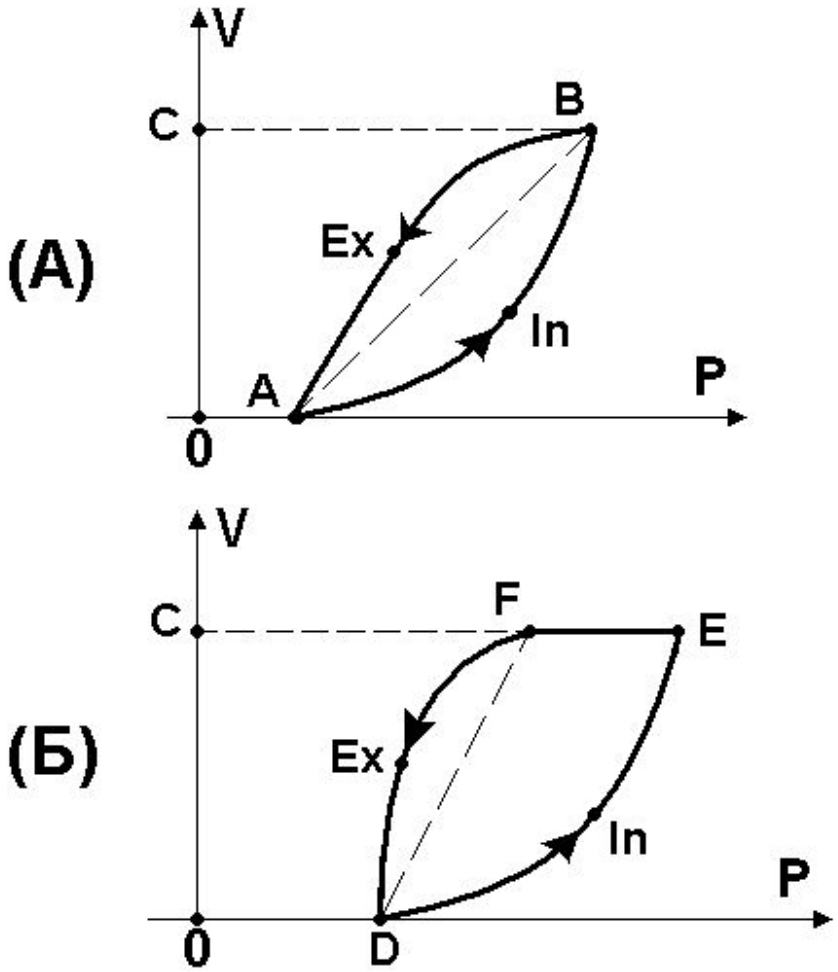
Система внешнего дыхания как колебательный контур



Петля «давление – объем»



Работа дыхания W

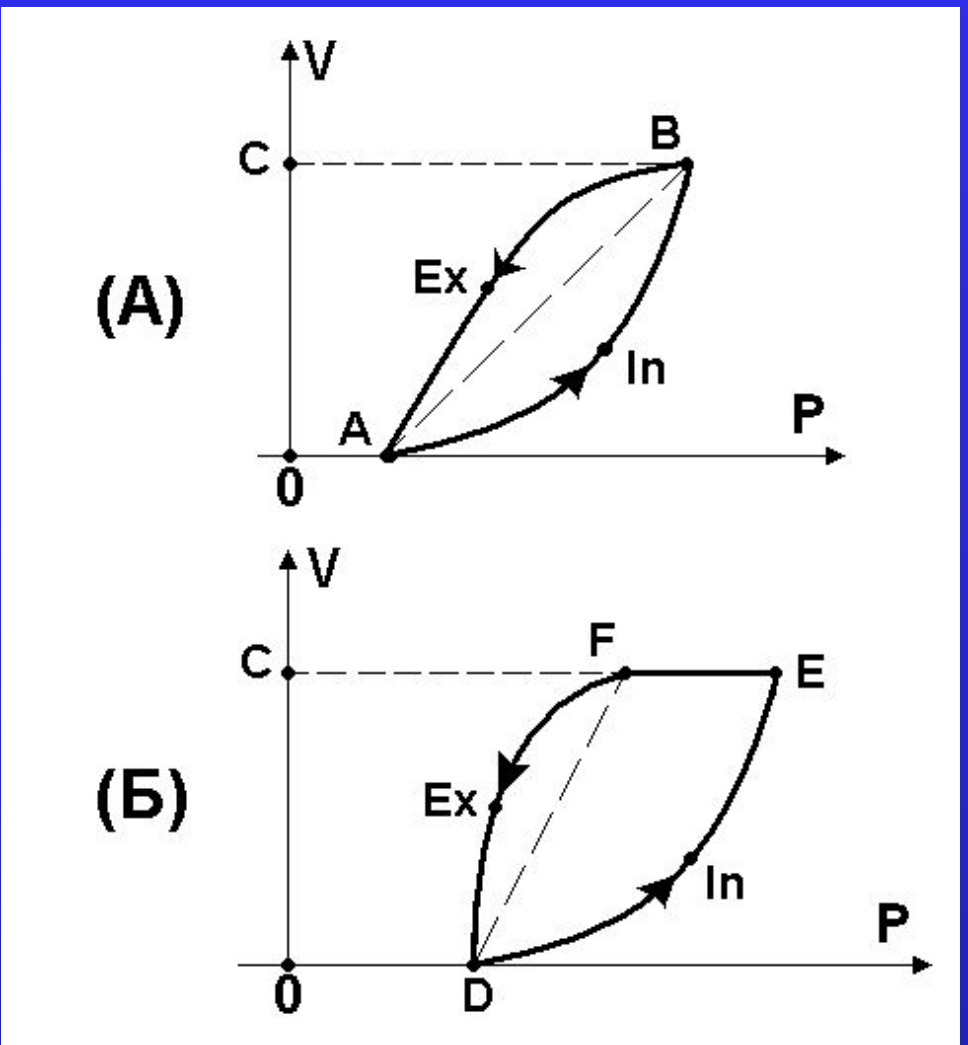


$$W = P \cdot V$$

$$W = P(V) \cdot V = \sum_{i=1}^{\infty} P(V) \cdot V$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P(V)\,dV$$

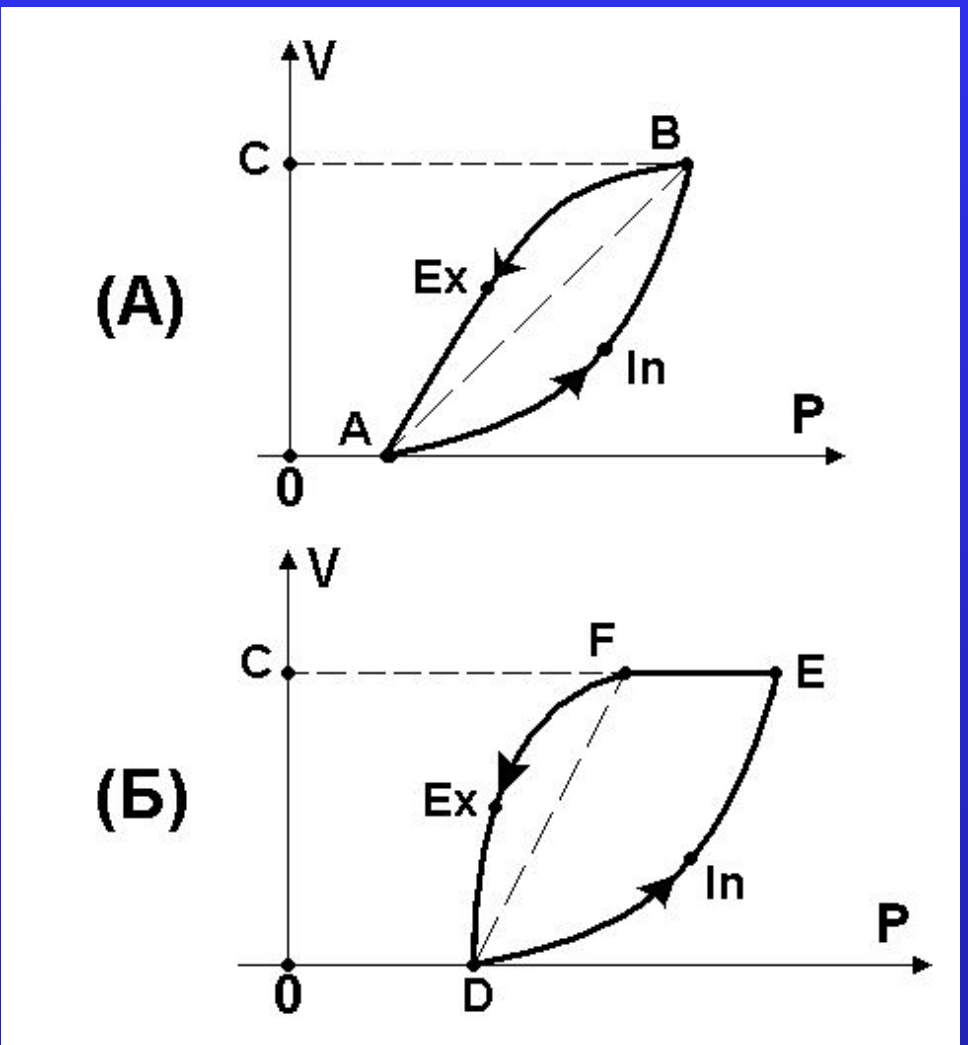
Работа дыхания W



W_A = OAInBC

W_B = ODInEFC

Работа дыхания W



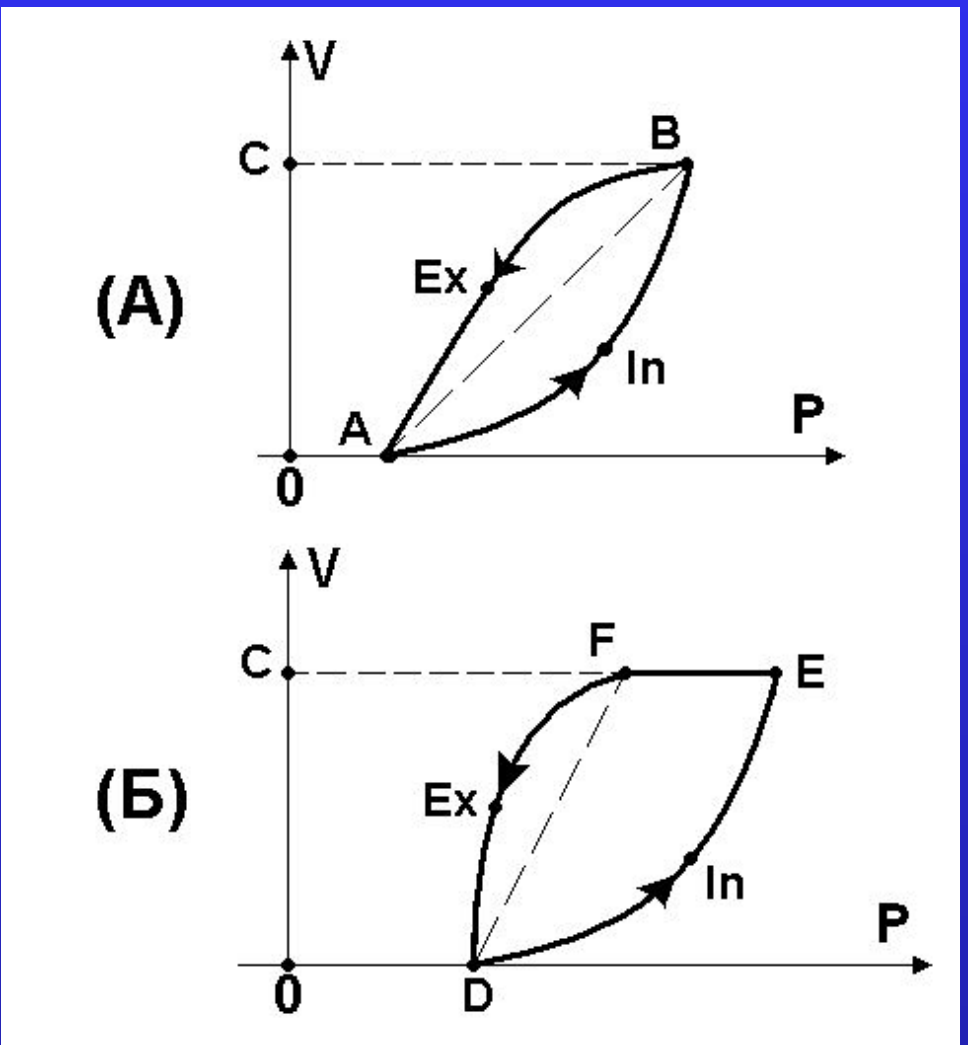
$W_{выд} = ABEx$

$W_{выд} = DFEx$

$W_{эл} = ODFC$

$W_{РЕЗ} = DInEF$

Работа дыхания W

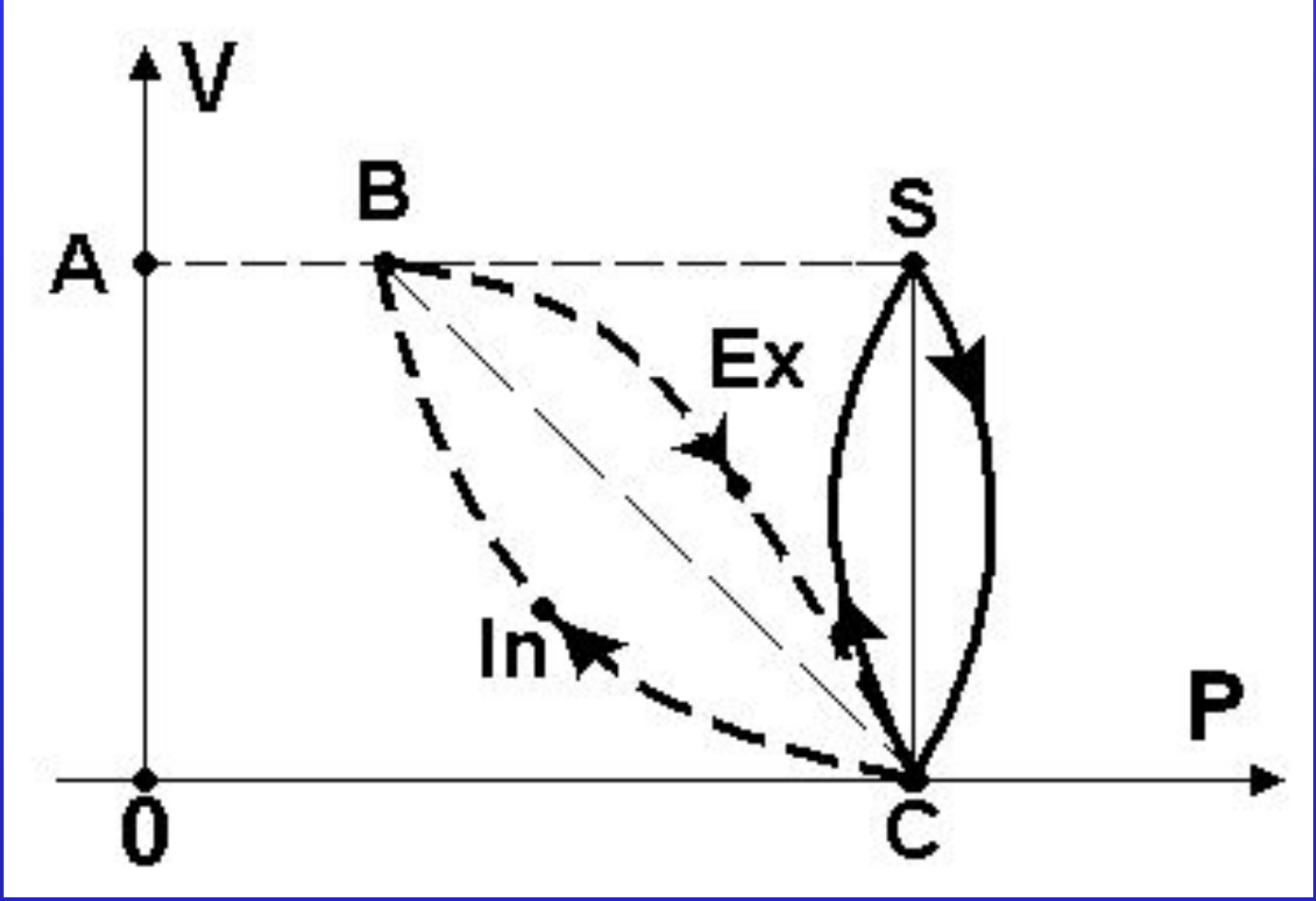


W = 0,7 –1 Дж/л

$W_{ЭЛ} \approx 70\%$

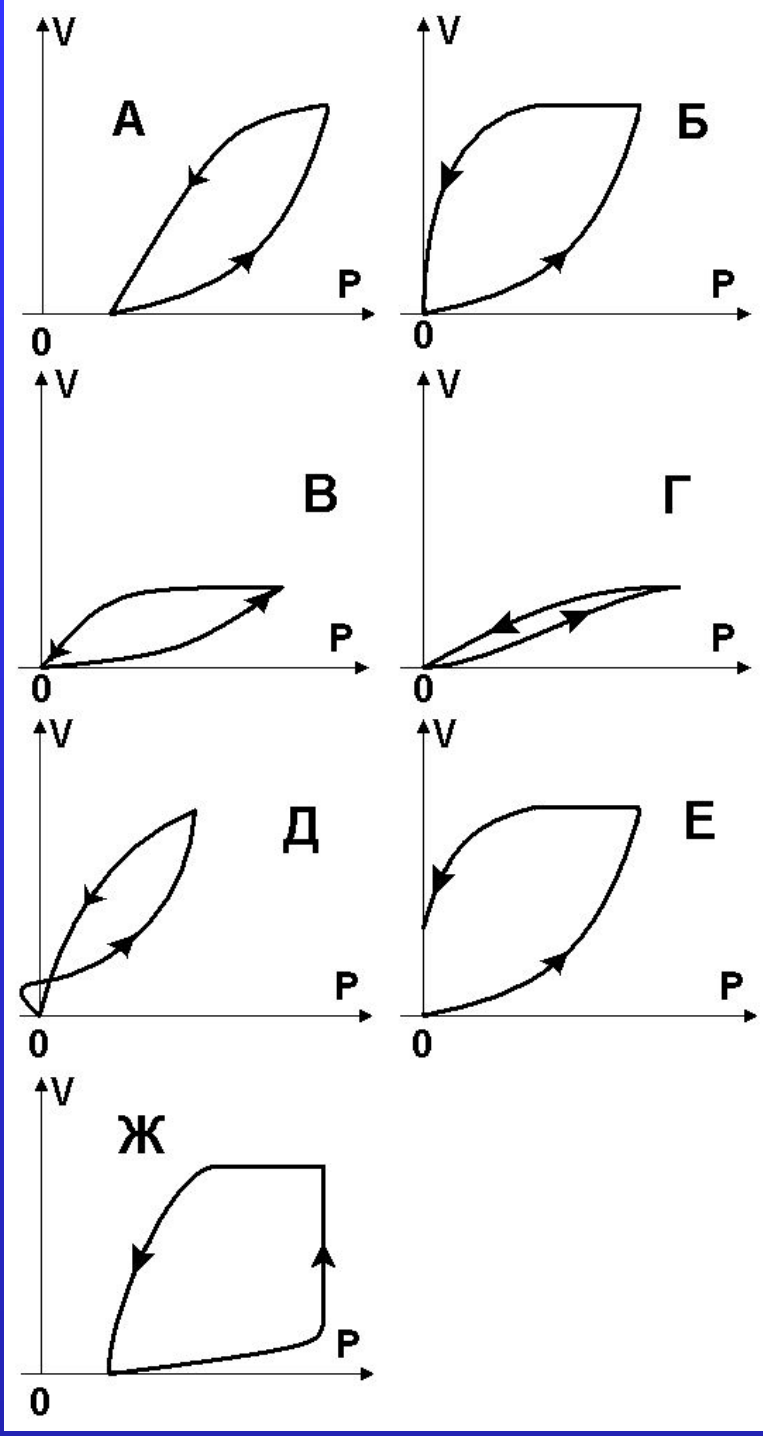
$W_{РЕЗ} \approx 30\%$

Работа самостоятельного дыхания



Семиотика петли «давление – объем»:

что может дать визуальный анализ кривой?



ВОПРОСЫ?