EQUACIONANDO O SISTEMA CIRCULATÓRIO

MODELAGEM EM CORRENTE CONTÍNUA

RELEMBRANDO OS ELEMENTOS BÁSICOS

- Capacitância vascular: o quanto o vaso muda de volume por unidade de pressão aplicada:

$$C = \frac{dV}{dP}$$

- Se a capacitância puder ser considerada fixa (i.e., independente da pressão e do volume do vaso), então podemos escrever:

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta P}$$

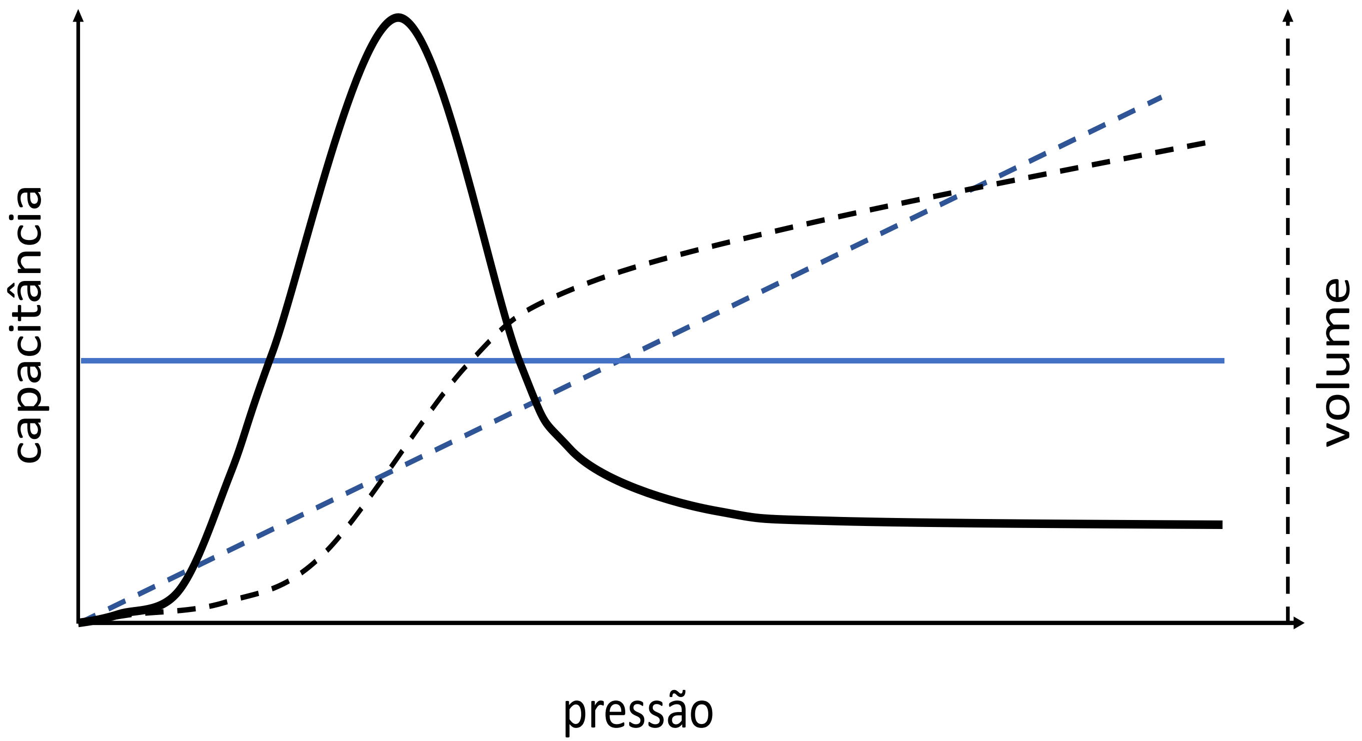
- Finalmente, como, geralmente, quando a pressão vai a zero o volume também vai a zero, então temos:

$$C = \frac{V}{P}$$

Exemplos

Capacitância fixa (linha azul) e capacitância variável (linha preta).

Em tracejado, os respectivos volumes



PRESSÃO DE ESTAGNAÇÃO

- Como já vimos à exaustão, o papel do coração é o de colocar pressão no sistema circulatório.
- O que ocorre se o coração deixa de se contrair?

PRESSÃO DE ESTAGNAÇÃO

- Como já vimos à exaustão, o papel do coração é o de colocar pressão no sistema circulatório.
- O que ocorre se o coração deixa de se contrair?
- Não levando em conta o eventual efeito gravitacional, se aguardarmos “tempo suficiente”, a pressão se torna a mesma em todo o sistema.
- Esta é a chamada *pressão de estagnação*, P_e – note, não há mais fluxo no SC.

PRESSÃO DE ESTAGNAÇÃO

- O volume sanguíneo total não se altera
- Considerando o lado sistêmico e desprezando-se o volume de sangue nos capilares, temos que o volume total é a soma do volume arterial a e do volume venoso v (note, o lado pulmonar terá uma modelagem semelhante)

PRESSÃO DE ESTAGNAÇÃO

- O volume sanguíneo total não se altera
- Considerando o lado sistêmico e desprezando-se o volume de sangue nos capilares, temos que o volume total é a soma do volume arterial *a* e do volume venoso *v* (note, o lado pulmonar terá uma modelagem semelhante)
- O volume em cada compartimento é relativo à sua respectiva capacitância.
- Como P_e é a mesma no lado arterial e no lado venoso, então os volumes se distribuem na seguinte razão:

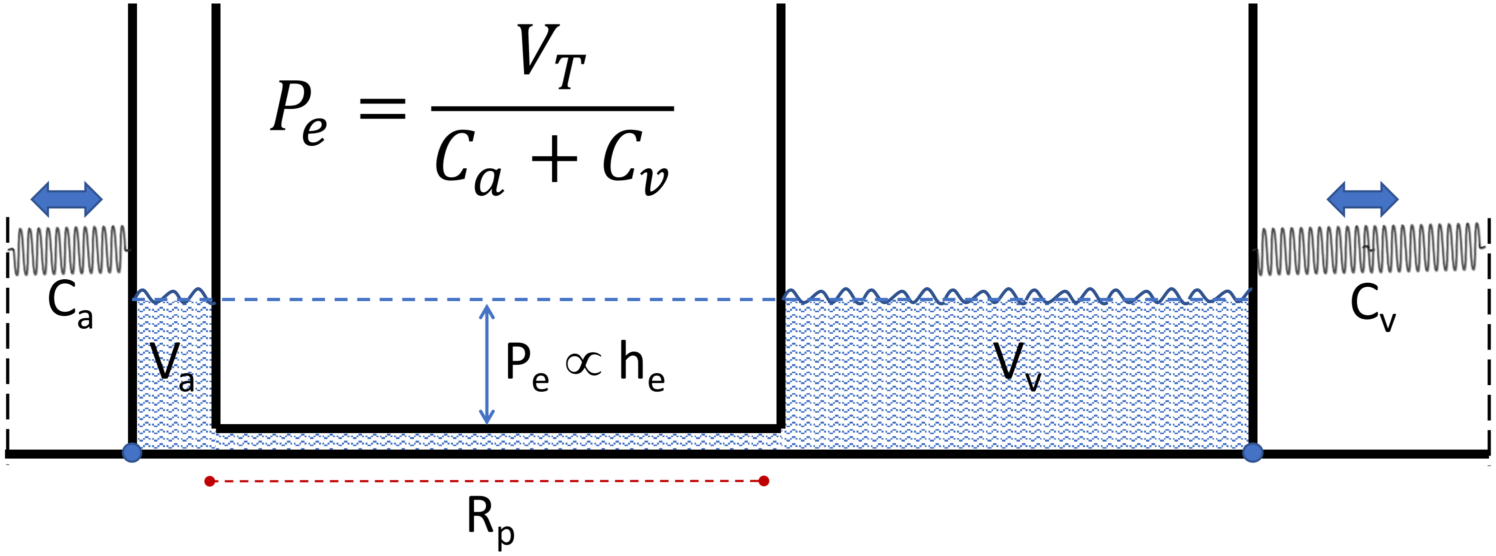
$$V_a = \frac{C_a}{C_a + C_v} \cdot V_T \qquad V_v = \frac{C_v}{C_a + C_v} \cdot V_T$$

Representação esquemática da condição de estagnação

Na figura, a pressão de estagnação é dada como proporcional à altura da coluna hídrica (h_E).

As capacitâncias são representadas por molas que permitem o deslocamento de paredes e, assim, o volume que se encontra em cada compartimento é proporcional à respectiva capacitância.

A resistência periférica (R_P) liga a parte arterial à venosa. Na condição de estagnação, não há fluxo pela R_P.



CONDIÇÃO DINÂMICA

- Agora, uma bomba (o coração) é colocada entre a parte venosa e a parte arterial.

CONDIÇÃO DINÂMICA

- Agora, uma bomba (o coração) é colocada entre a parte venosa e a parte arterial.
- Esta bomba transfere volume do lado venoso para o lado arterial
- Com isto, o volume no lado venoso diminui e no lado arterial, aumenta

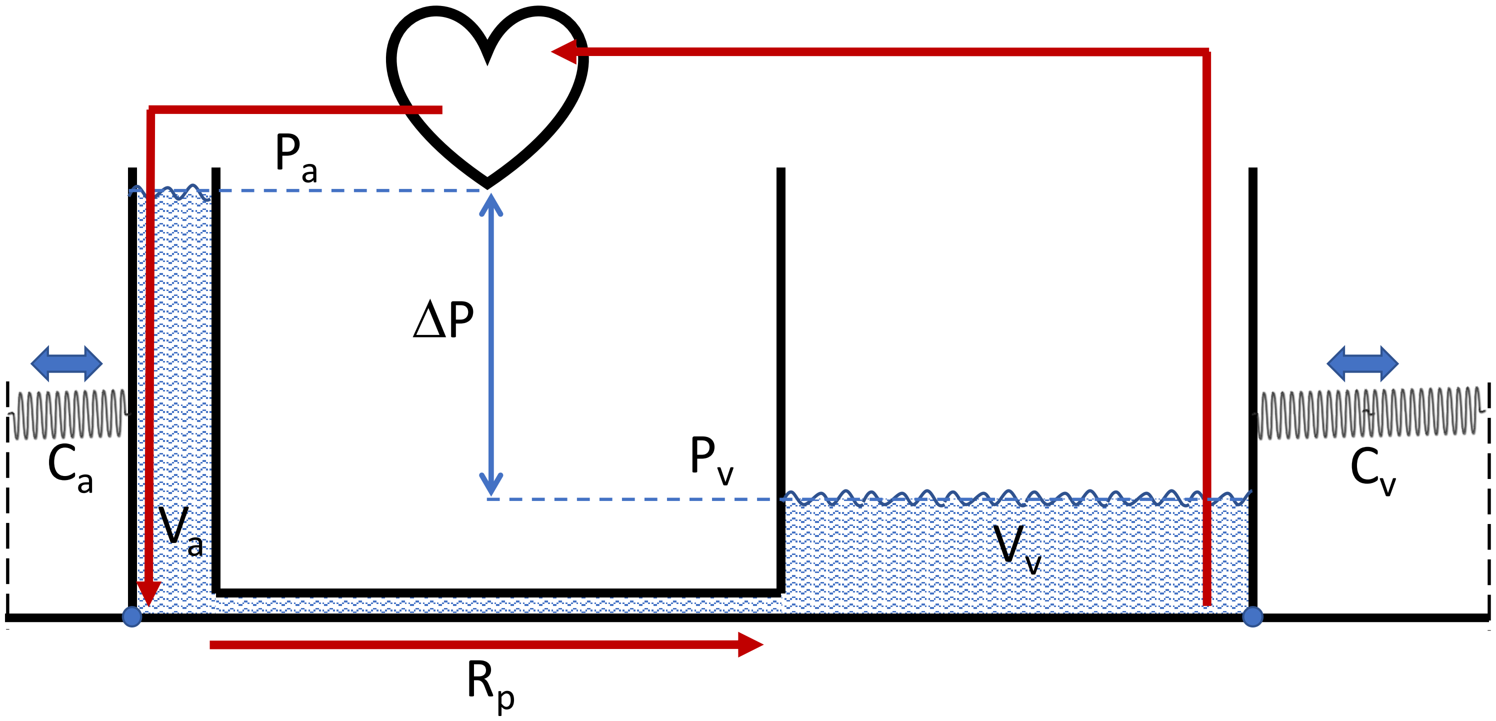
CONDIÇÃO DINÂMICA

- Agora, uma bomba (o coração) é colocada entre a parte venosa e a parte arterial.
- Esta bomba transfere volume do lado venoso para o lado arterial
- Com isto, o volume no lado venoso diminui e no lado arterial, aumenta
- Consequentemente, cria-se uma diferença de pressão entre estes compartimentos, e passa a haver fluxo pela resistência
- Logo, o fluxo foi gerado pela bomba, a qual causou uma diferença de pressão entre os compartimentos

Condição dinâmica

Ao se colocar uma bomba entre o lado venoso e o lado arterial, cria-se um diferencial de pressão e, com isto, fluxo pela resistência.

Note que a pressão venosa se torna, então, menor que a pressão de estagnação, enquanto a arterial se torna maior.

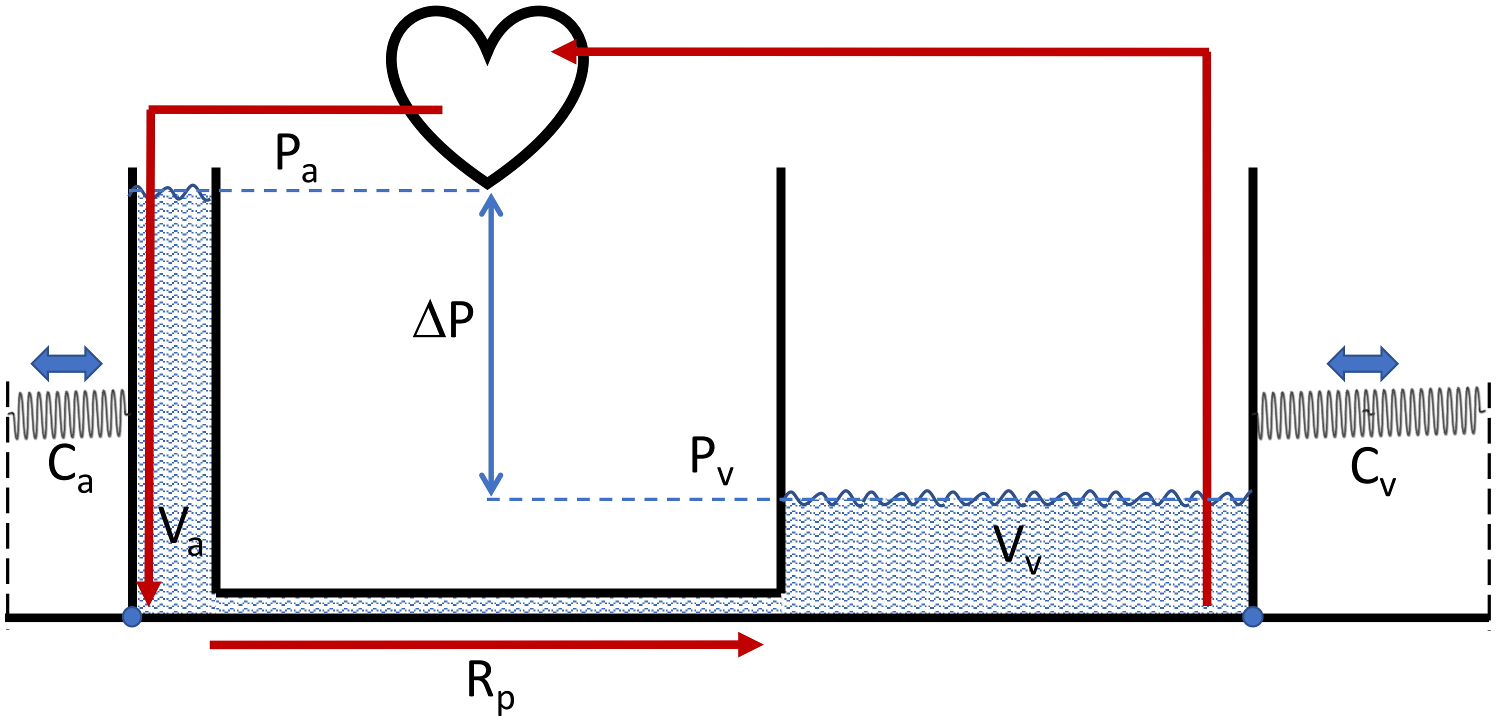


Condição Dinâmica

Ao se colocar uma bomba entre o lado venoso e o lado arterial, cria-se um diferencial de pressão e, com isto, fluxo pela resistência.

Note que a pressão venosa se torna, então, menor que a pressão de estagnação, enquanto a arterial se torna maior.

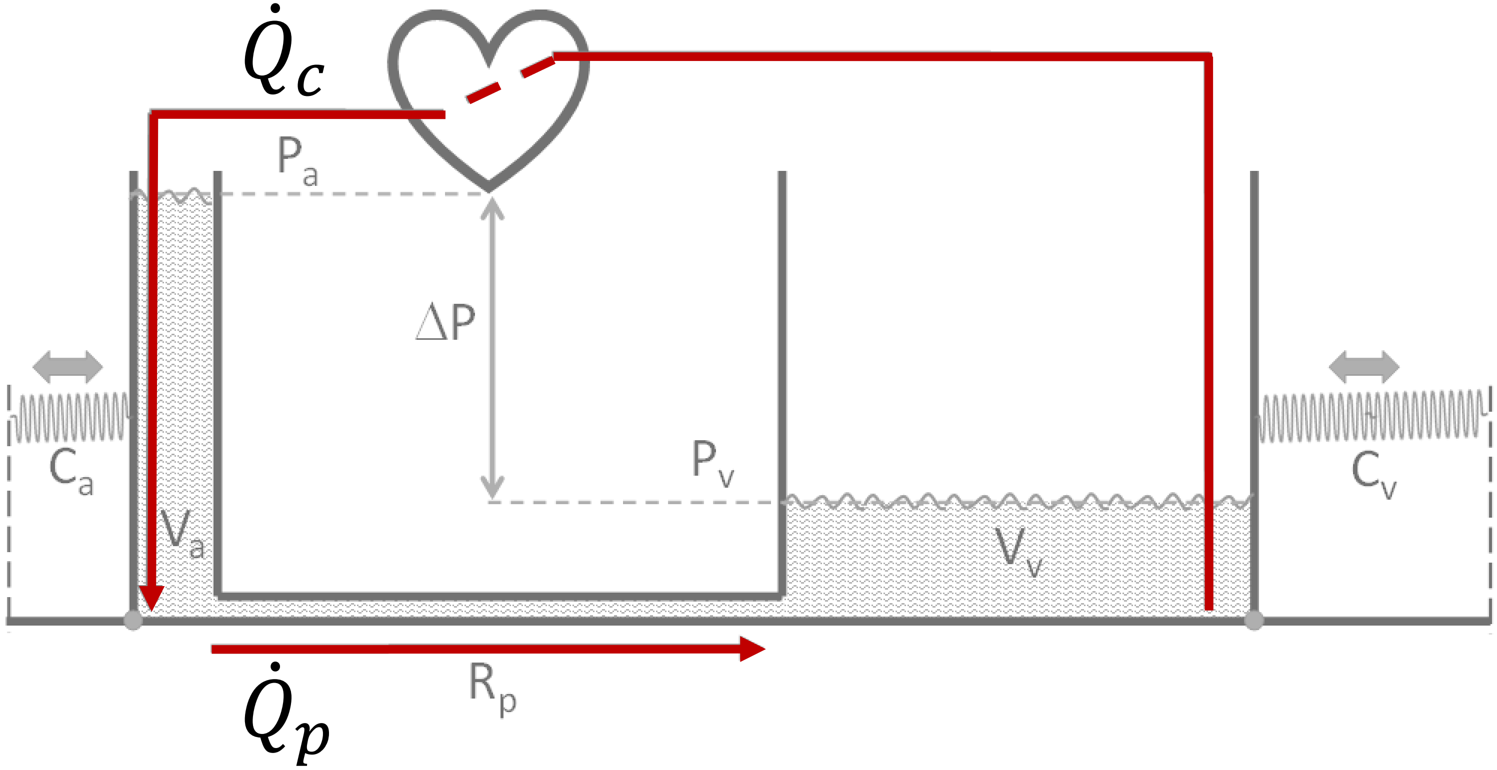
A resistência periférica é do tipo Hagen-Poiseuille



Condição dinâmica – fluxos

No modelo, identificamos dois fluxos a serem modelados:

1. fluxo periférico
2. fluxo cardíaco



CONDIÇÃO DINÂMICA – FLUXOS

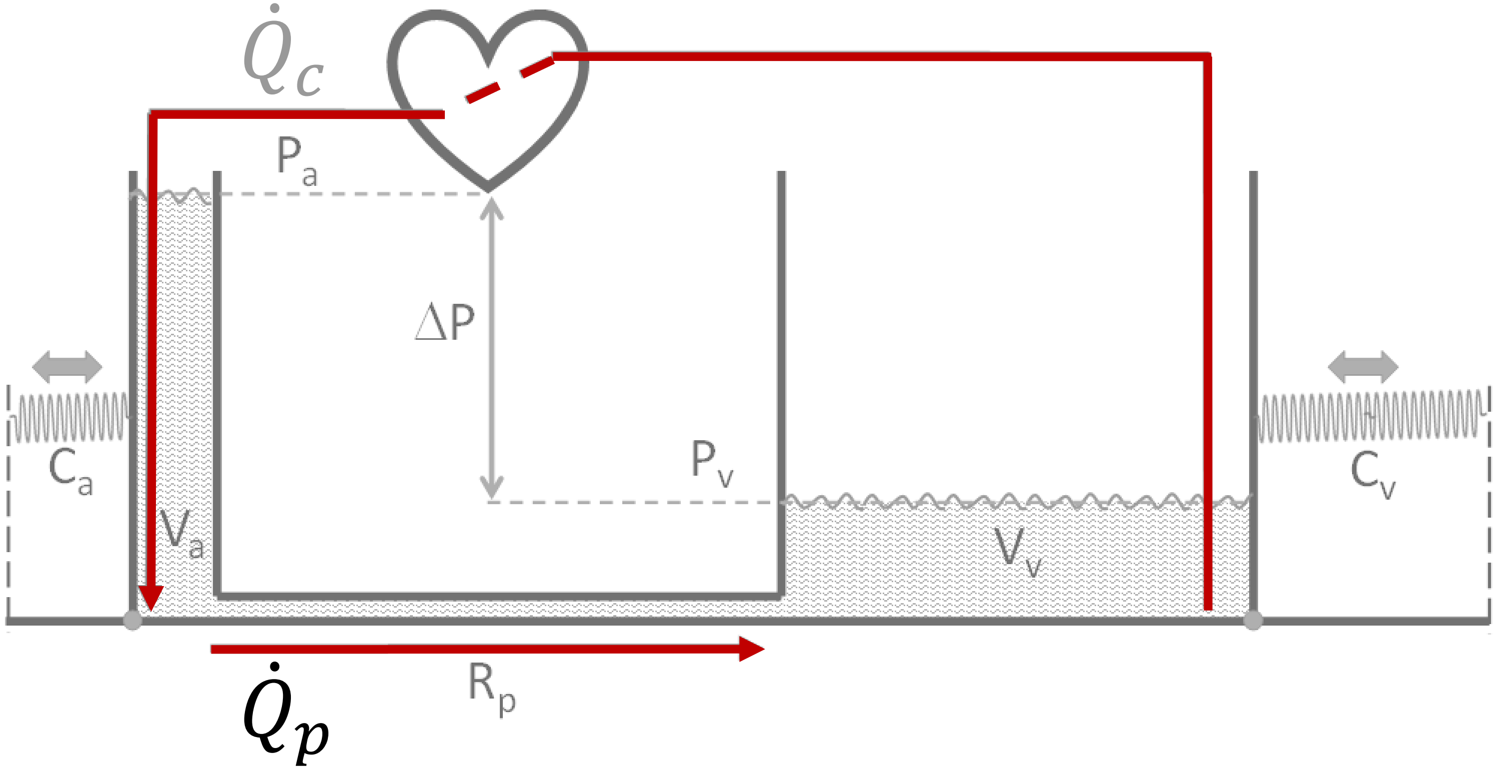
No modelo, identificamos dois fluxos a serem modelados:

1. fluxo periférico
2. fluxo cardíaco

$$V_a = V_T - V_v$$

$$P_a = \frac{V_a}{C_a} = \frac{V_T - V_v}{C_a}$$

$$P_v = \frac{V_v}{C_v}$$



CONDIÇÃO DINÂMICA - FLUXOS

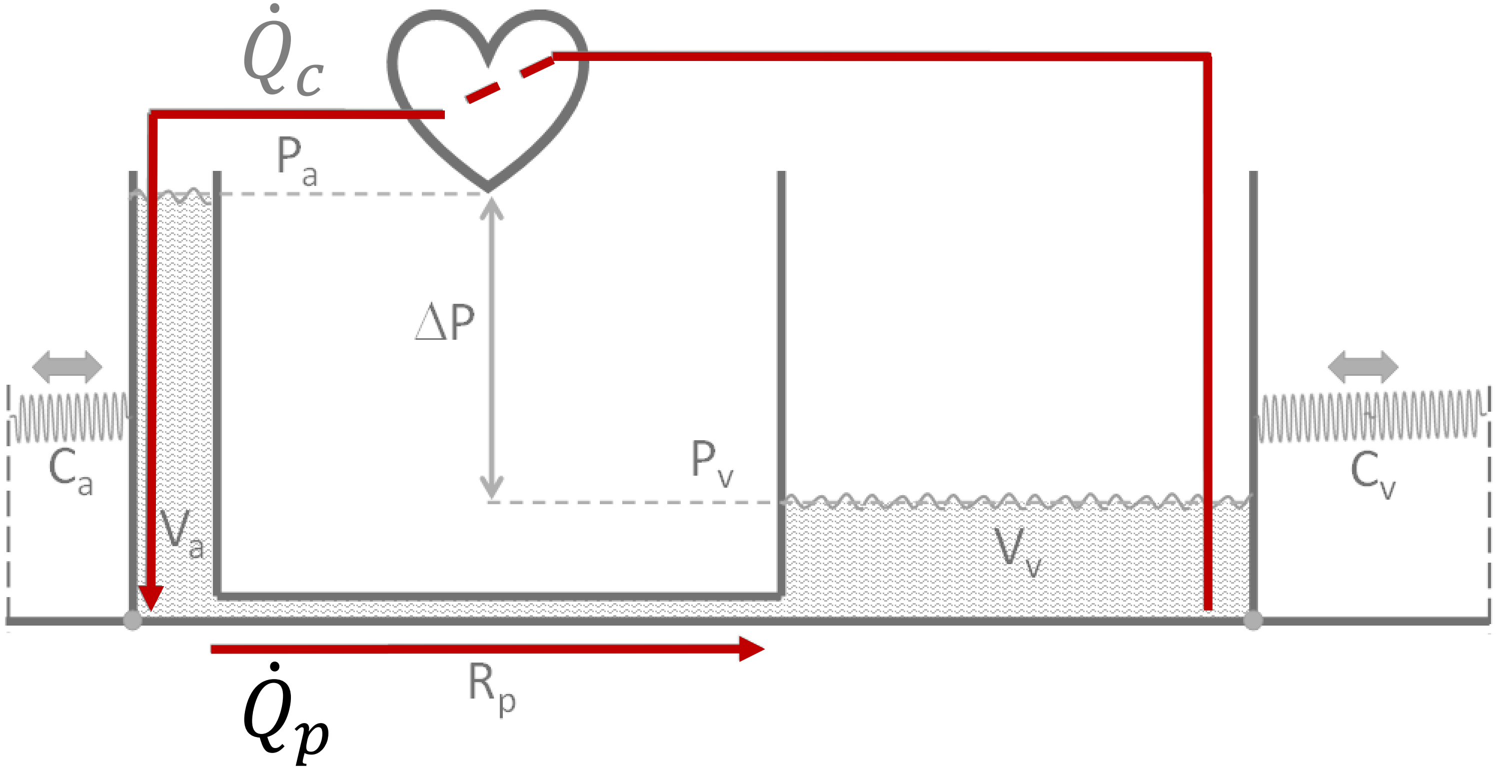
No modelo, identificamos dois fluxos a serem modelados:

1. fluxo periférico
2. fluxo cardíaco

$$V_a = V_T - V_v$$

$$P_a = \frac{V_a}{C_a} = \frac{V_T - V_v}{C_a}$$

$$P_v = \frac{V_v}{C_v}$$



$$\dot{Q}_p = \frac{\Delta P}{R_p}$$

CONDIÇÃO DINÂMICA – FLUXOS

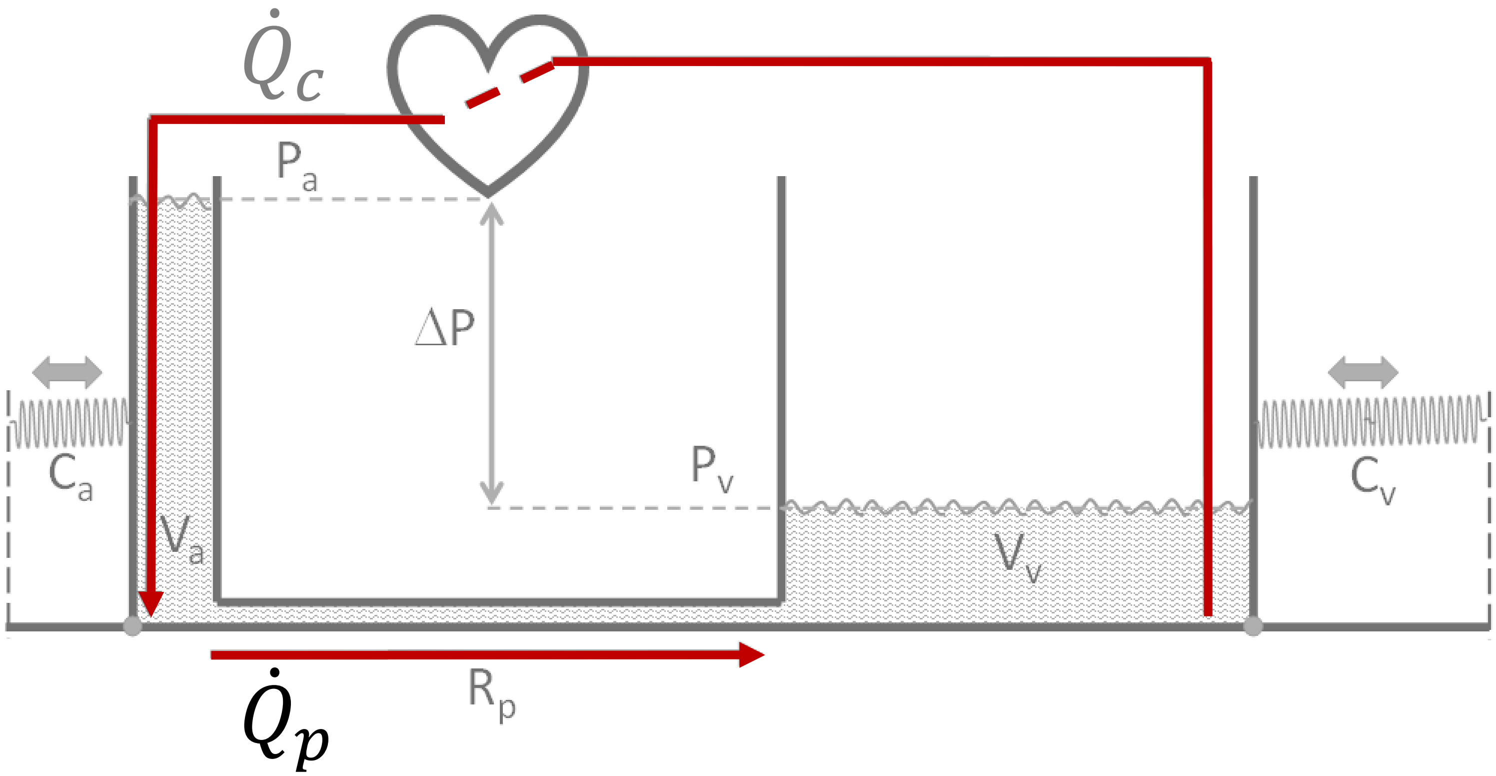
No modelo, identificamos dois fluxos a serem modelados:

1. FLUXO PERIFÉRICO
2. FLUXO CARDÍACO

$$V_a = V_T - V_v$$

$$P_a = \frac{V_a}{C_a} = \frac{V_T - V_v}{C_a}$$

$$P_v = \frac{V_v}{C_v}$$



$$\dot{Q}_p = \frac{\Delta P}{R_p} = \frac{\left(\frac{V_T - V_v}{C_a} - \frac{V_v}{C_v}\right)}{R_p}$$

CONDIÇÃO DINÂMICA – FLUXOS

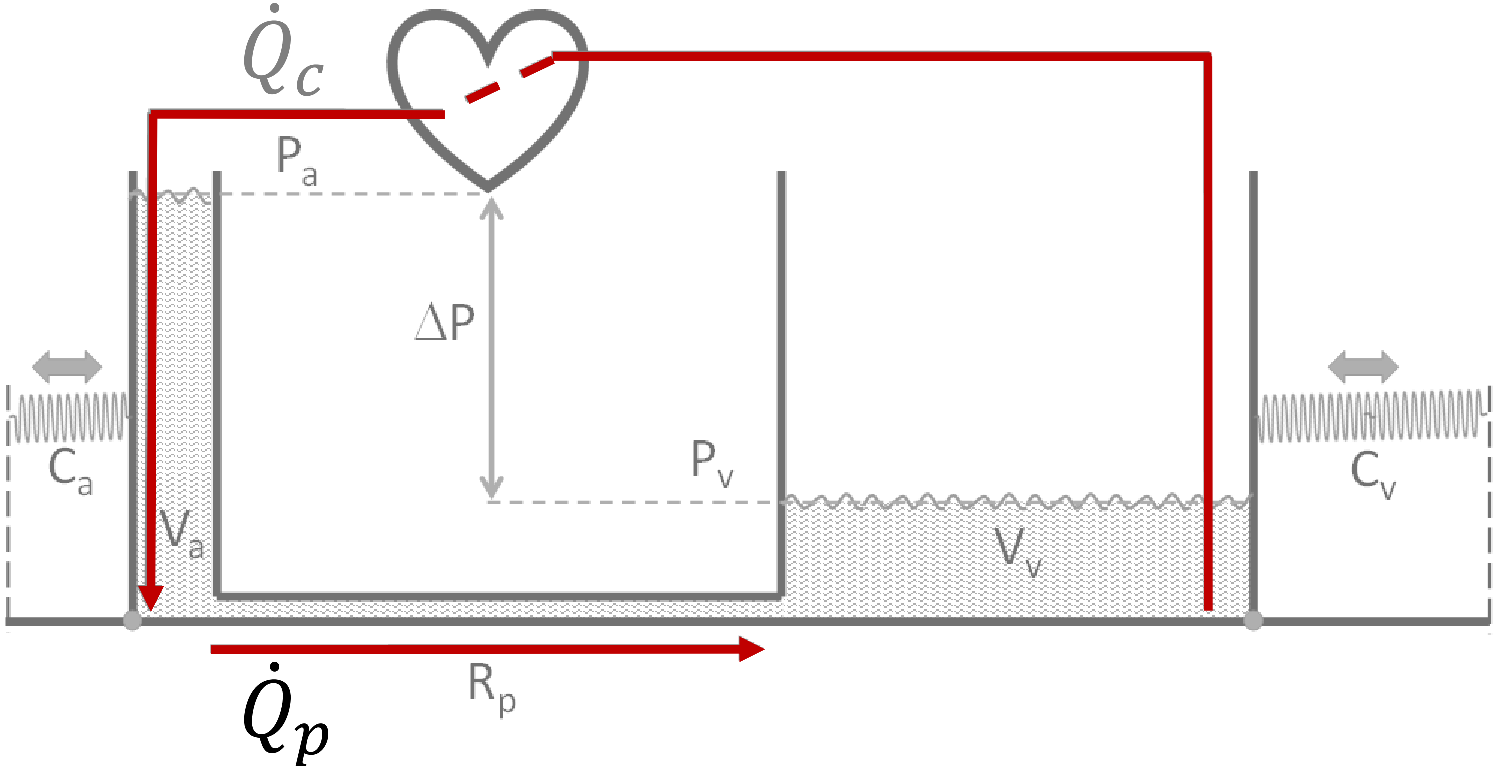
No modelo, identificamos dois fluxos a serem modelados:

1. fluxo periférico
2. fluxo cardíaco

$$V_a = V_T - V_v$$

$$P_a = \frac{V_a}{C_a} = \frac{V_T - V_v}{C_a}$$

$$P_v = \frac{V_v}{C_v}$$



$$\dot{Q}_p = \frac{\Delta P}{R_p} = \frac{\left(\frac{V_T - V_v}{C_a} - \frac{V_v}{C_v}\right)}{R_p} = \frac{V_T \cdot C_v - (C_a + C_v)V_v}{C_a \cdot C_v \cdot R_p}$$

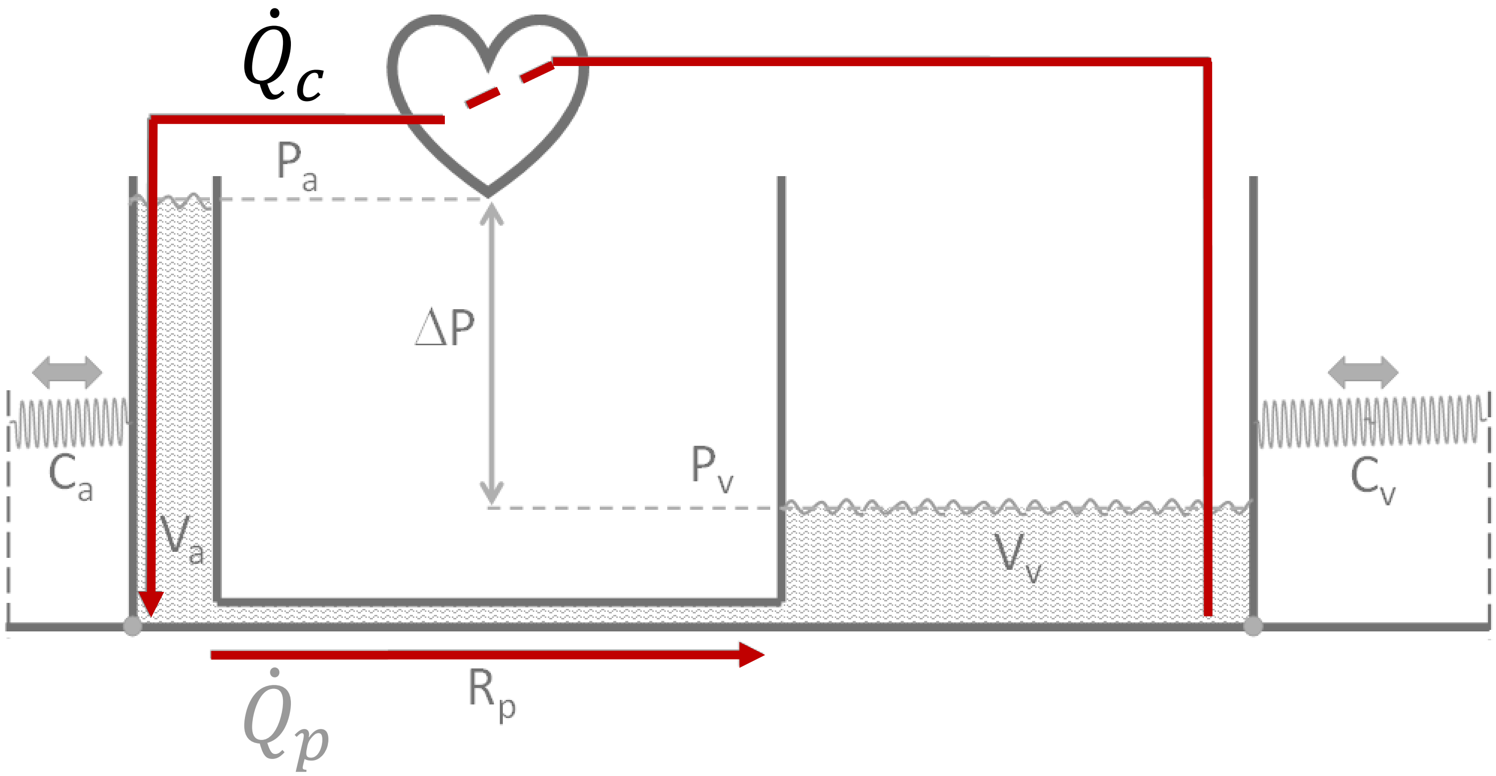
CONDIÇÃO DINÂMICA – FLUXOS

No modelo, identificamos dois fluxos a serem modelados:

1. fluxo periférico
2. fluxo cardíaco

O DC é dado pela frequência cardíaca vezes o volume sistólico

$$\dot{Q}_c = f \cdot V_S$$



CONDIÇÃO DINÂMICA – FLUXOS

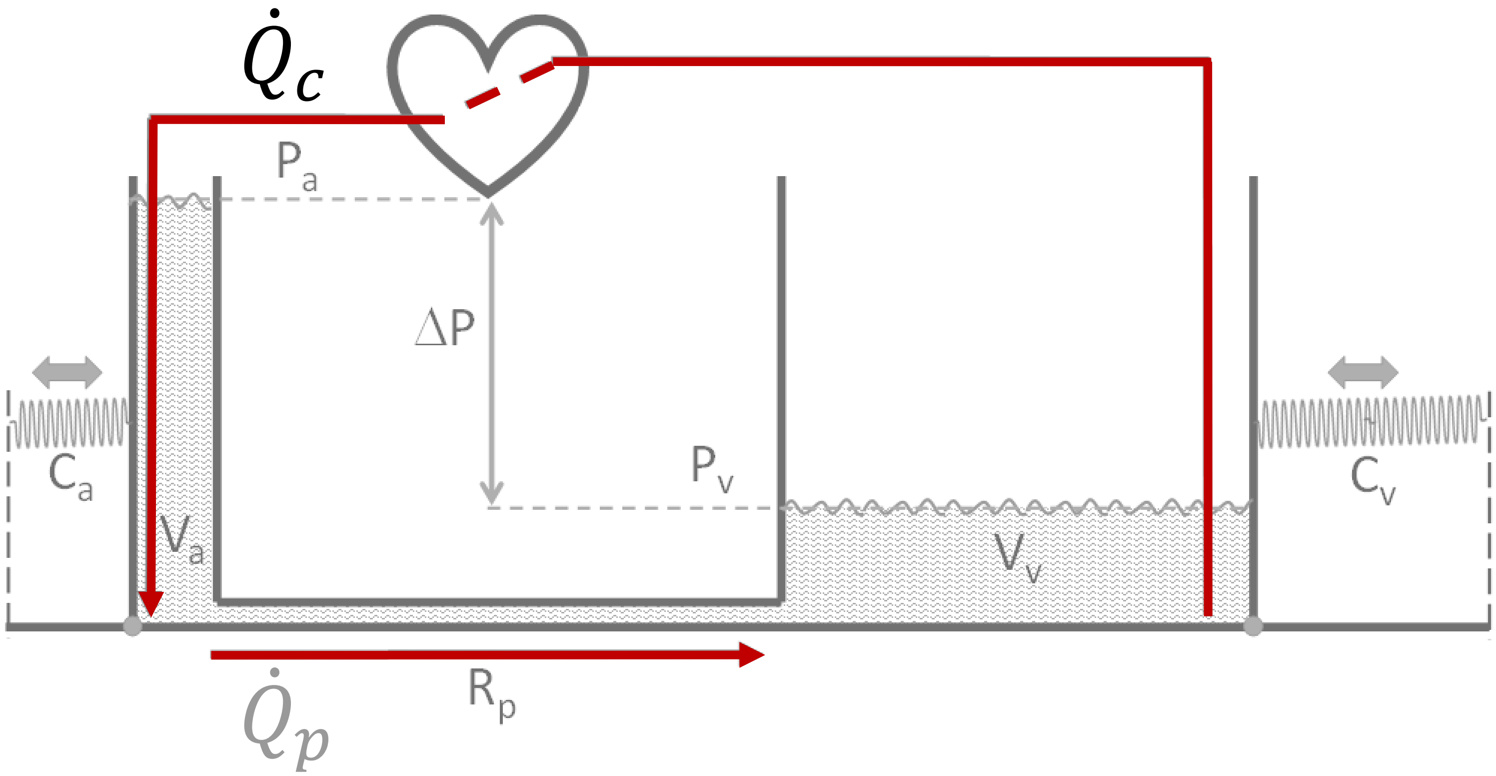
NO MODELO, IDENTIFICAMOS DOIS FLUXOS A SEREM MODELADOS:

1. FLUXO PERIFÉRICO
2. FLUXO CARDÍACO

O DC é dado pela frequência cardíaca vezes o volume sistólico

O volume sistólico é, pela lei de Frank-Starling, resultado da força de contração ventricular, a qual depende do volume diastólico final, o qual, por sua vez, é resultado da pressão venosa central.

$$\dot{Q}_c = f \cdot V_S$$



$$V_S = K \cdot P_v = K \cdot \frac{V_v}{C_v}$$

CONDIÇÃO DINÂMICA – FLUXOS

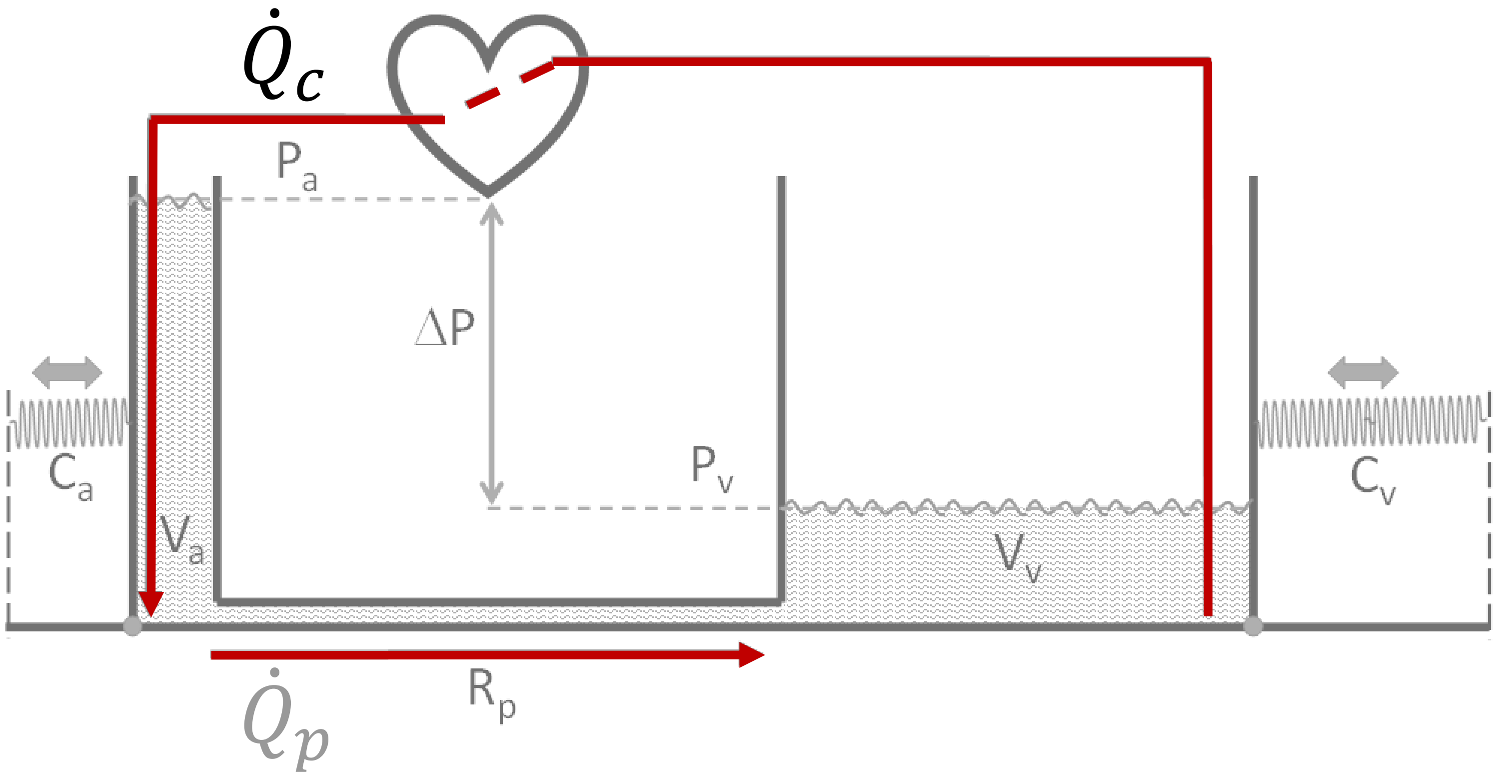
No modelo, identificamos dois fluxos a serem modelados:

1. Fluxo periférico
2. Fluxo cardíaco

O DC é dado pela frequência cardíaca vezes o volume sistólico

O volume sistólico é, pela lei de Frank-Starling, resultado da força de contração ventricular, a qual depende do volume diastólico final, o qual, por sua vez, é resultado da pressão venosa central.

$$\dot{Q}_c = f \cdot V_S = \frac{f \cdot K \cdot V_v}{C_v}$$

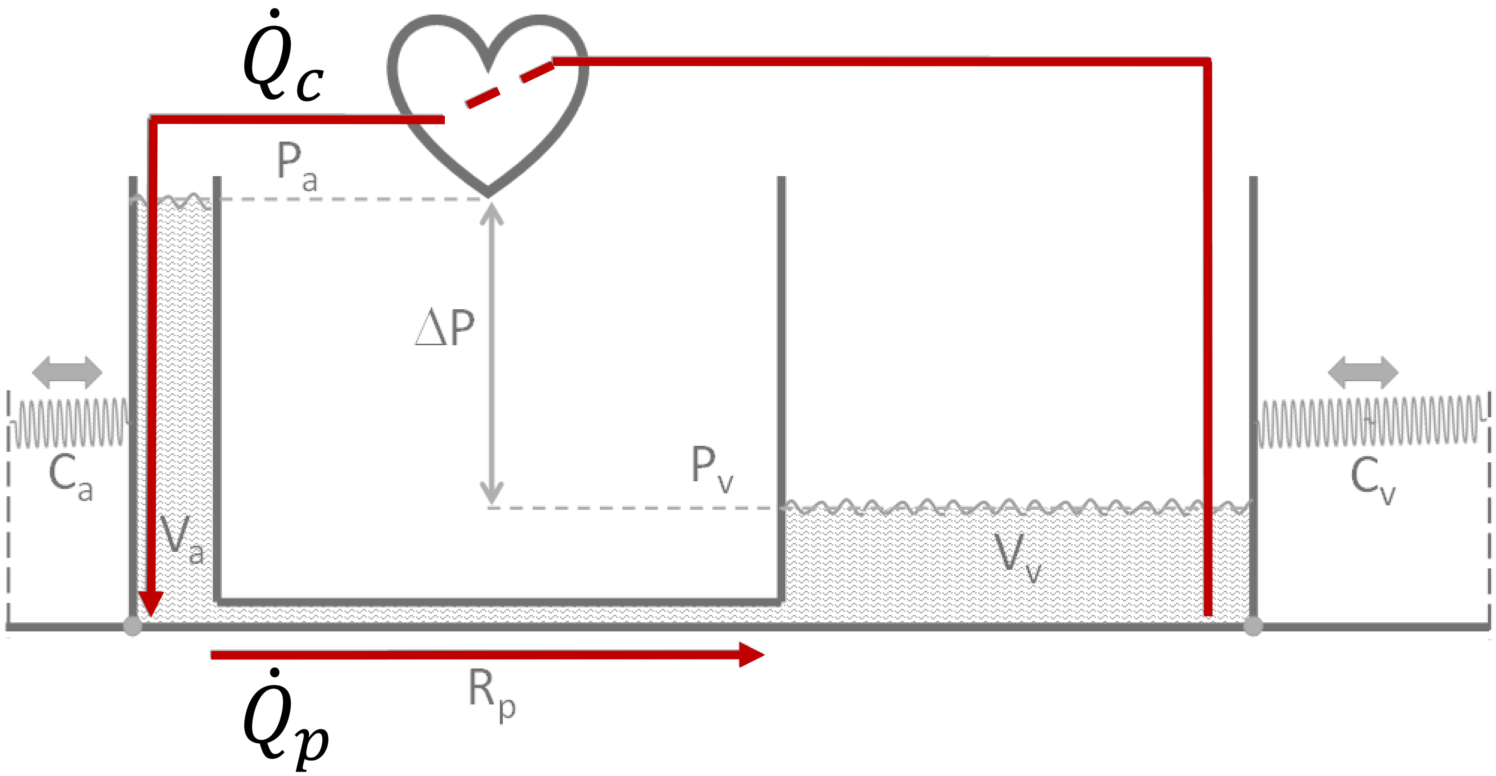


$$V_S = K \cdot P_v = K \cdot \frac{V_v}{C_v}$$

Condição dinâmica – regime permanente

Na condição de operação em regime permanente, o fluxo periférico é igual ao fluxo cardíaco

$$\dot{Q}_c = \frac{f \cdot K \cdot V_v}{C_v}$$

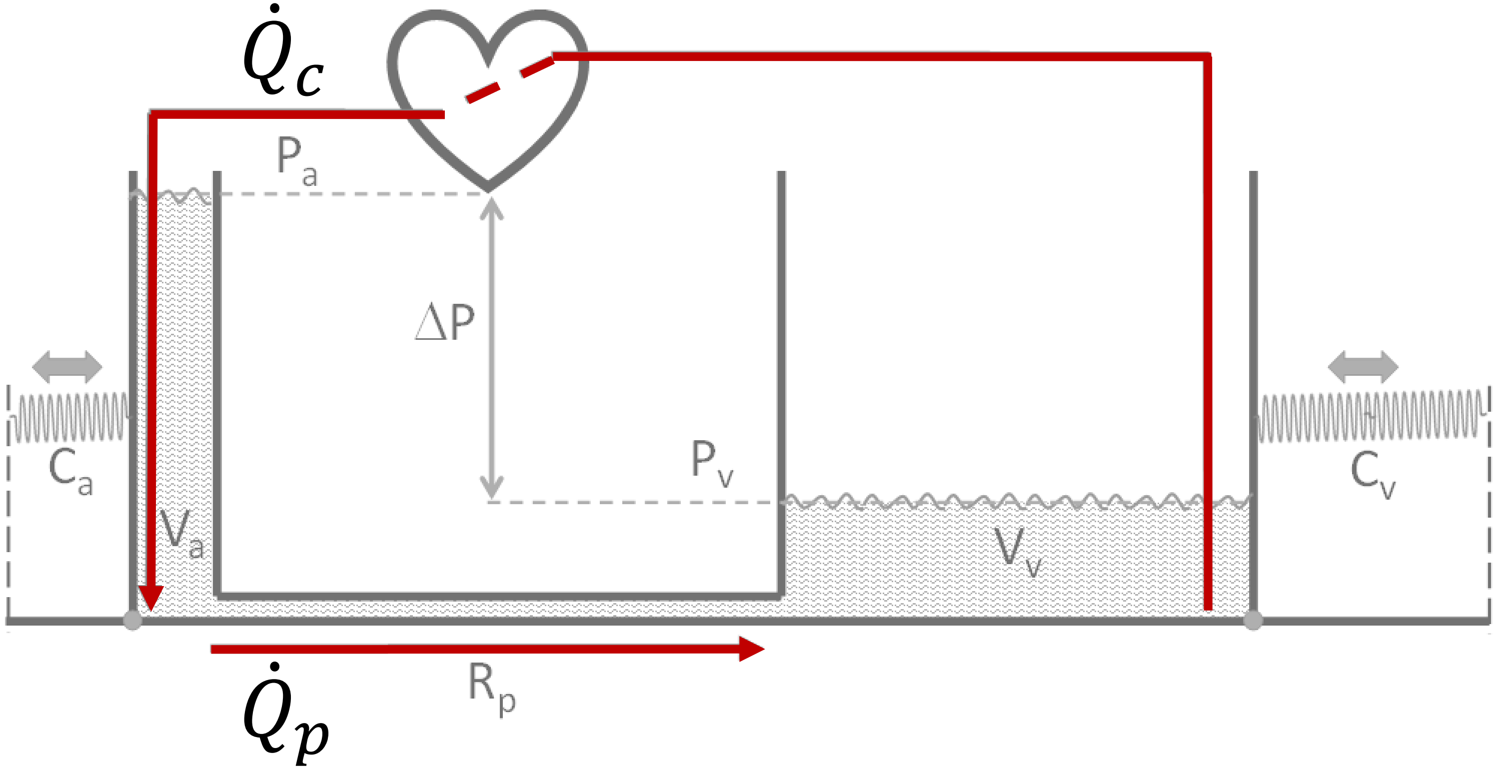


$$\dot{Q}_p = \frac{V_T \cdot C_v - (C_a + C_v)V_v}{C_a \cdot C_v \cdot R_p}$$

Condição dinâmica – regime permanente

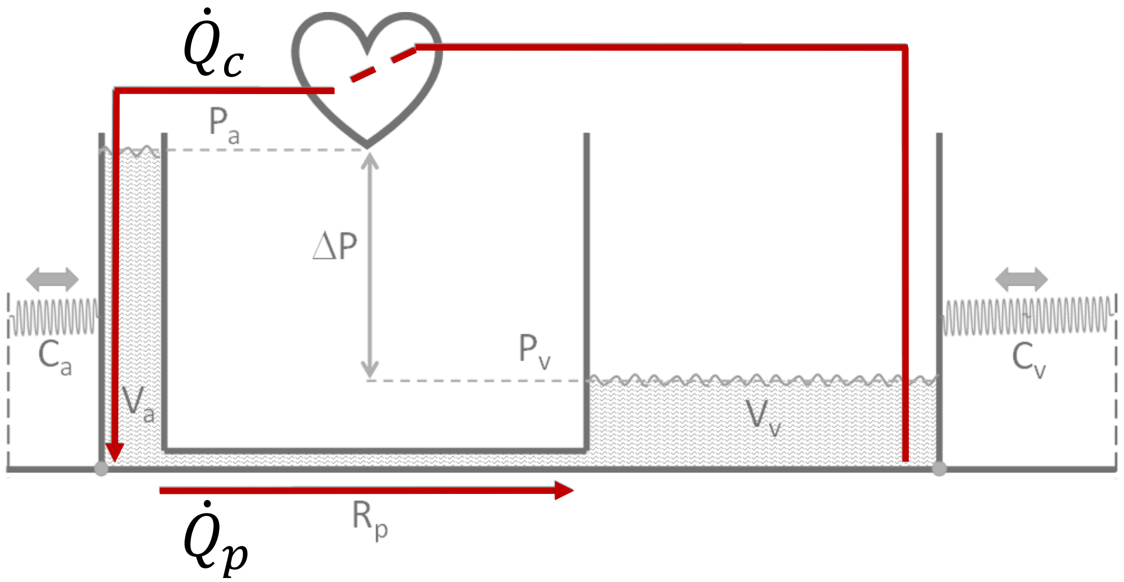
Na condição de operação em regime permanente, o fluxo periférico é igual ao fluxo cardíaco

$$\frac{V_T \cdot C_v - (C_a + C_v)V_v}{C_a \cdot C_v \cdot R_p} = \frac{f \cdot K \cdot V_v}{C_v}$$



CONDIÇÃO DINÂMICA – REGIME PERMANENTE

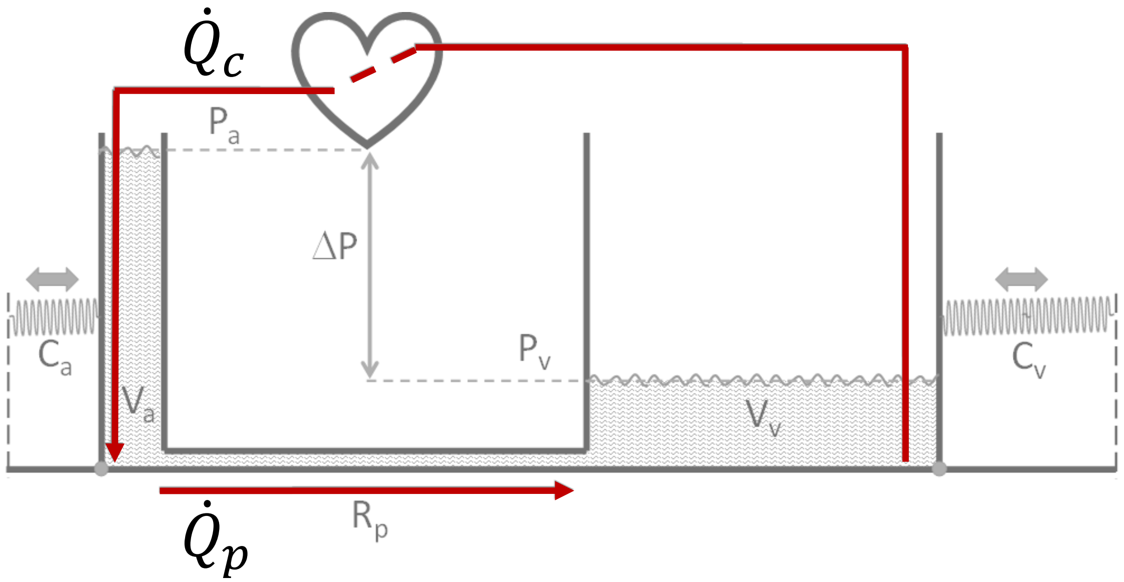
Rearranjos e simplificações



$$V_T \cdot C_v - \left(f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v\right) \cdot V_v = 0$$

Condição dinâmica – Regime permanente

Problema: mostre que o termo realçado é adimensional.



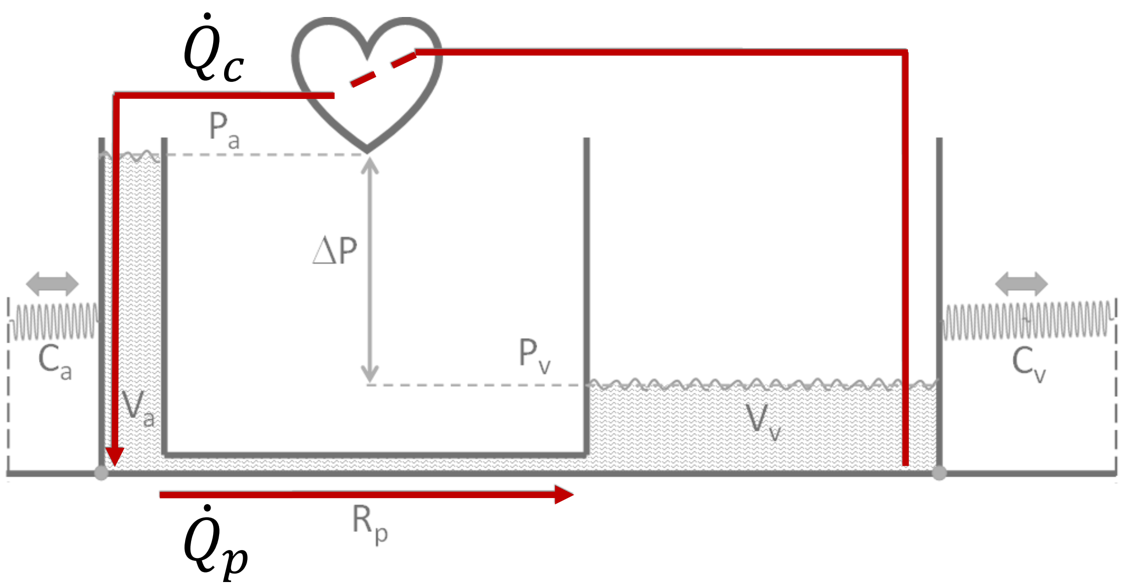
$$V_T \cdot C_v - (f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v) \cdot V_v = 0$$

$$V_S = K \cdot P_v = K \cdot \frac{V_v}{C_v}$$

$$\dot{Q}_p = \frac{\Delta P}{R_p}$$

Condição dinâmica – regime permanente

Problema: mostre que o termo realçado é adimensional.

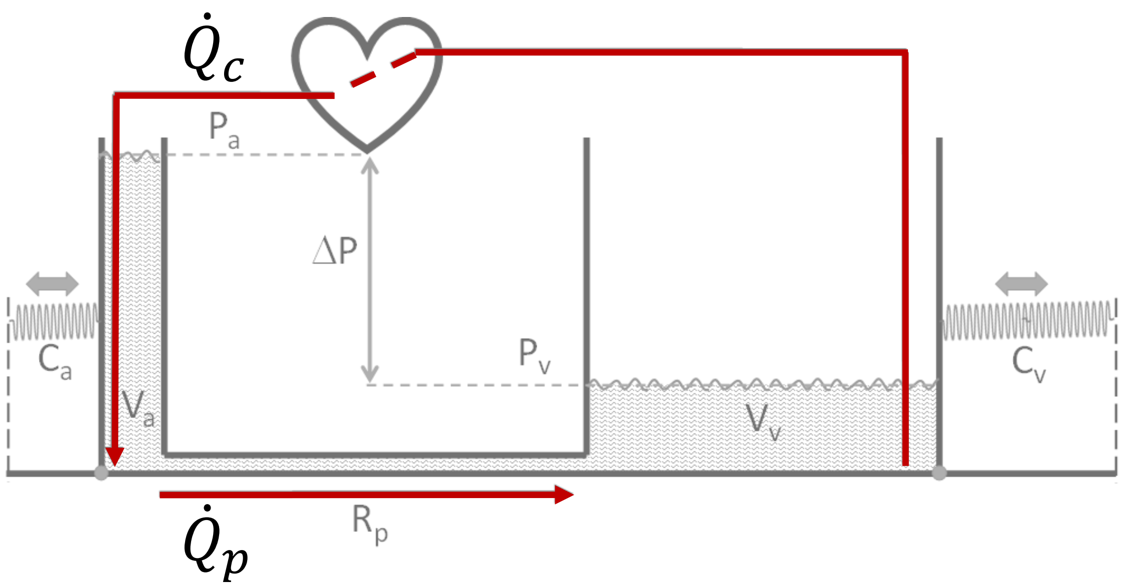


$$V_T \cdot C_v - (f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v) \cdot V_v = 0$$

$$f \rightarrow \left[\frac{1}{tempo}\right]$$

CONDIÇÃO DINÂMICA — REGIME PERMANENTE

PROBLEMA: MOSTRE QUE O TERMO REALÇADO É ADIMENSIONAL.



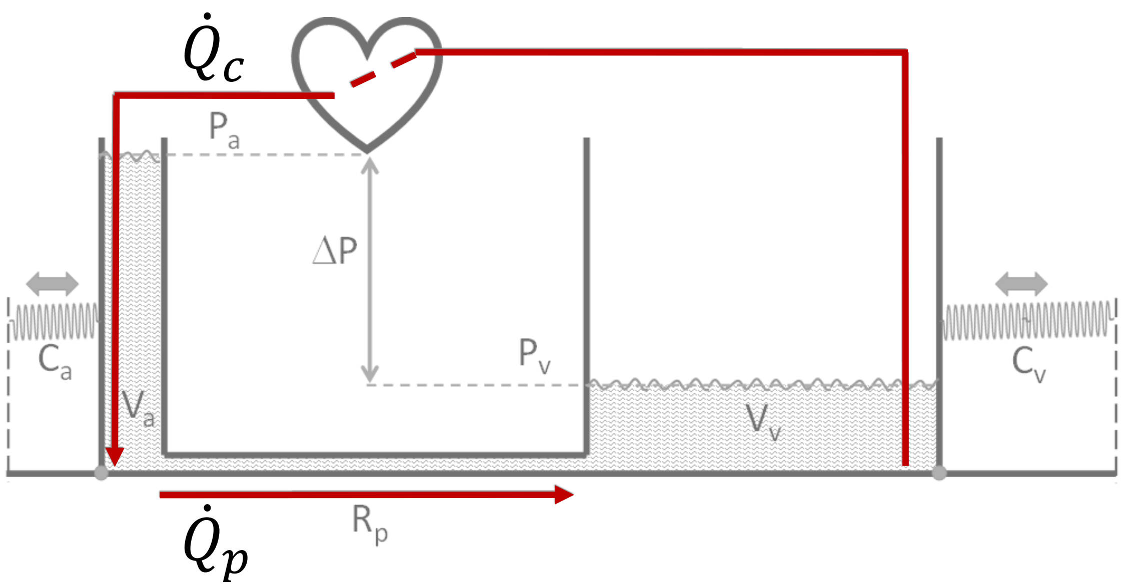
$$V_T \cdot C_v - \left(f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v\right) \cdot V_v = 0$$

$$f \rightarrow \left[\frac{1}{tempo}\right]$$

$$V_S = K \cdot P_v \vdash \mathrm{K} \rightarrow \left[\frac{volume}{pressão}\right]$$

CONDIÇÃO DINÂMICA – REGIME PERMANENTE

Problema: mostre que o termo realçado é adimensional.



$$V_T \cdot C_v - \left(f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v\right) \cdot V_v = 0$$

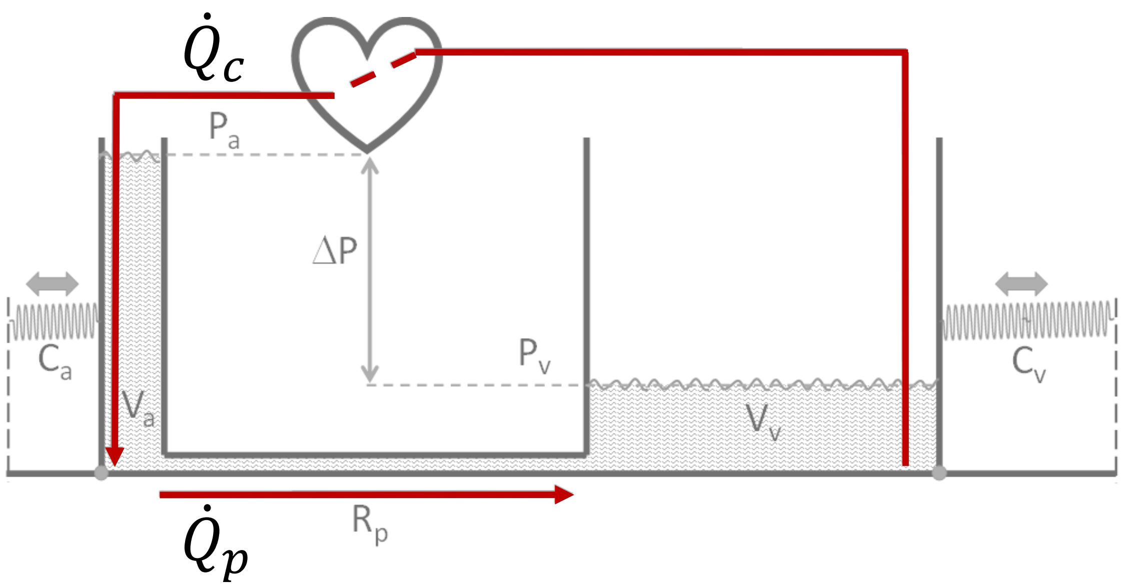
$$f \rightarrow \left[\frac{1}{tempo}\right]$$

$$V_S = K \cdot P_v \vdash \mathrm{K} \rightarrow \left[\frac{volume}{pressão}\right]$$

$$R_p \rightarrow \left[\frac{pressão}{fluxo}\right] \rightarrow \left[\frac{pressão\ tempo}{volume}\right]$$

Condição dinâmica – regime permanente

Problema: mostre que o termo realçado é adimensional.

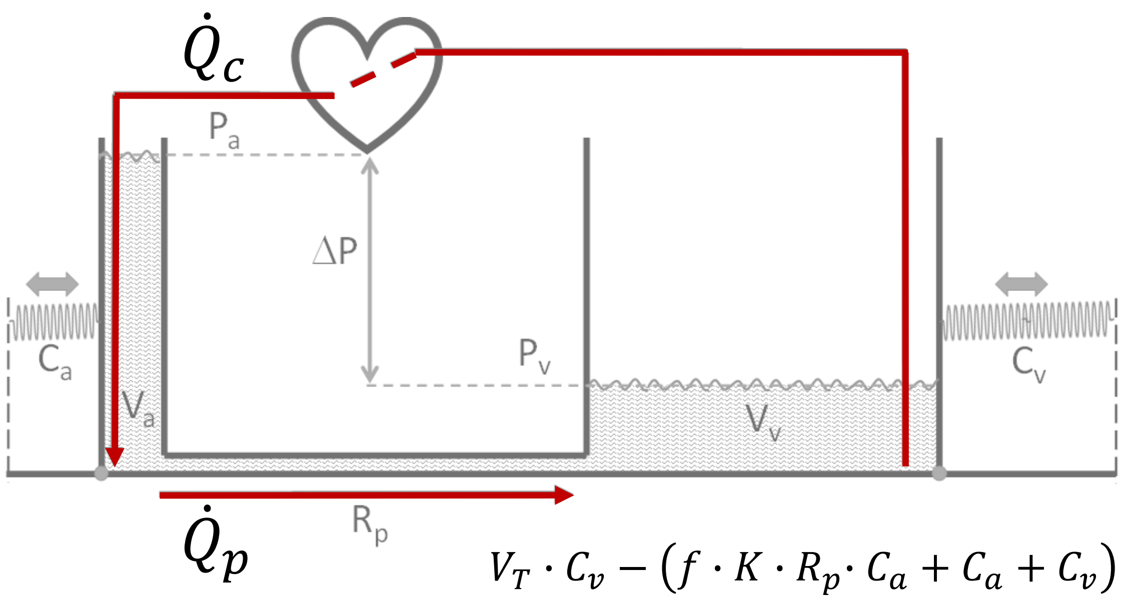


$$V_T \cdot C_v - (f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v) \cdot V_v = 0$$

$$f \cdot K \cdot R_p \rightarrow \left[\frac{1}{tempo}\right]\left[\frac{volume}{pressão}\right]\left[\frac{pressão\ tempo}{volume}\right] \rightarrow adim$$

CONDIÇÃO DINÂMICA – REGIME PERMANENTE
VOLUME VENOSO

DETERMINA-SE O VOLUME VENOSO NA CONDIÇÃO DINÂMICA COMO:

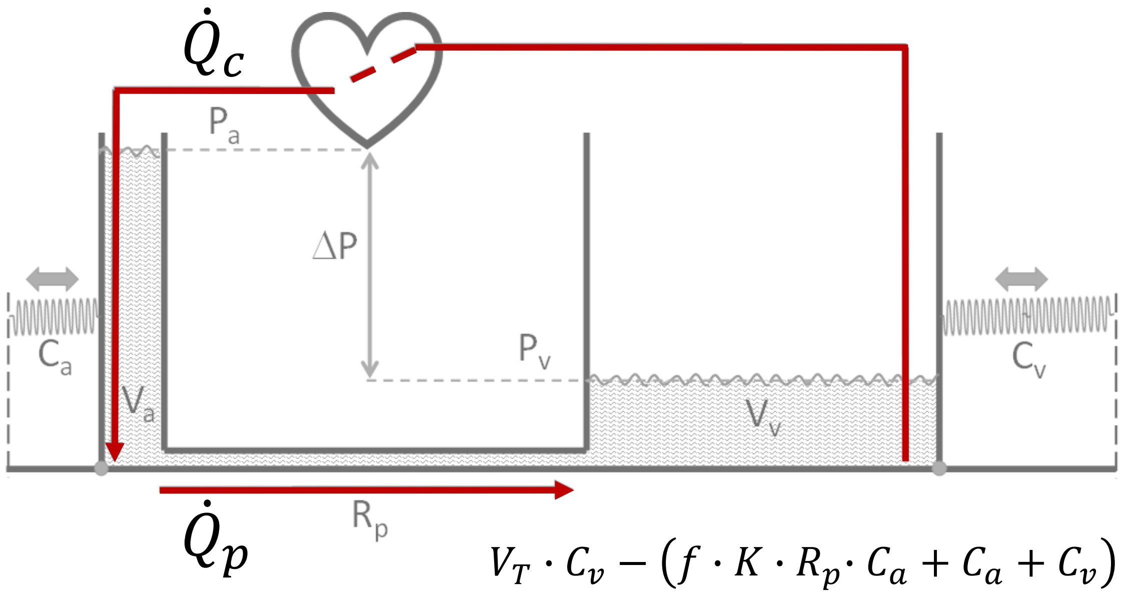


$$V_T \cdot C_v - \left(f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v\right) \cdot V_v = 0$$

$$V_v = \frac{C_v}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \cdot V_T$$

Condição dinâmica – regime permanente
Volume venoso

Comparando-se este volume com o da condição estática, temos:



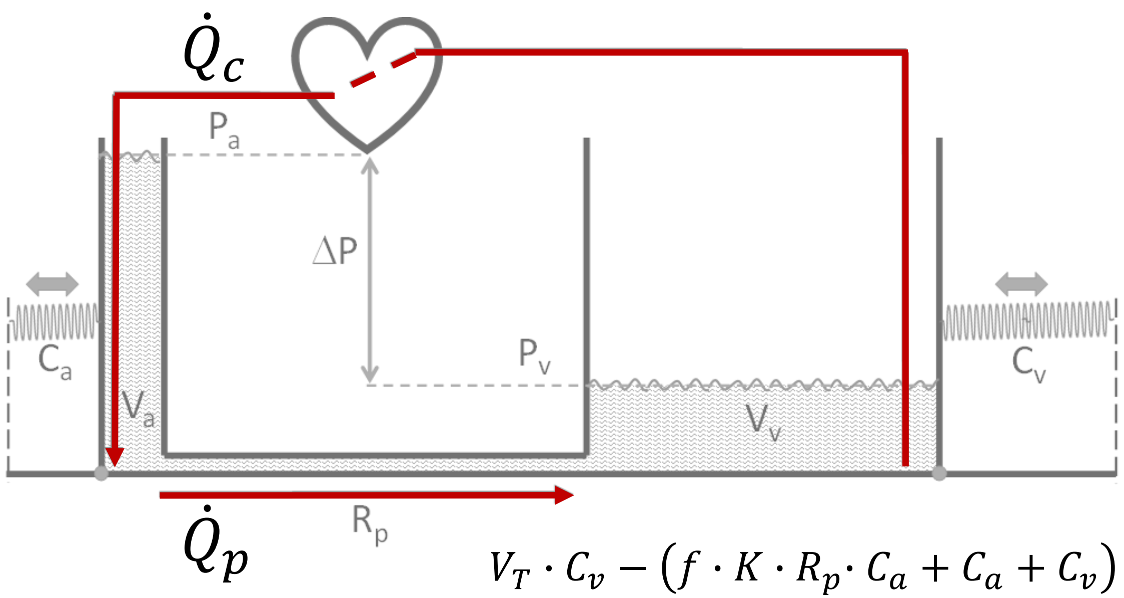
$$V_T \cdot C_v - \left(f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v\right) \cdot V_v = 0$$

$$V_v = \frac{C_v}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \cdot V_T$$

$$V_v = \frac{C_v}{C_a + C_v} \cdot V_T$$

CONDIÇÃO DINÂMICA – REGIME PERMANENTE VOLUME VENOSO

Comparando-se este volume com o da condição estática, temos:



$$V_T \cdot C_v - \left(f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v\right) \cdot V_v = 0$$

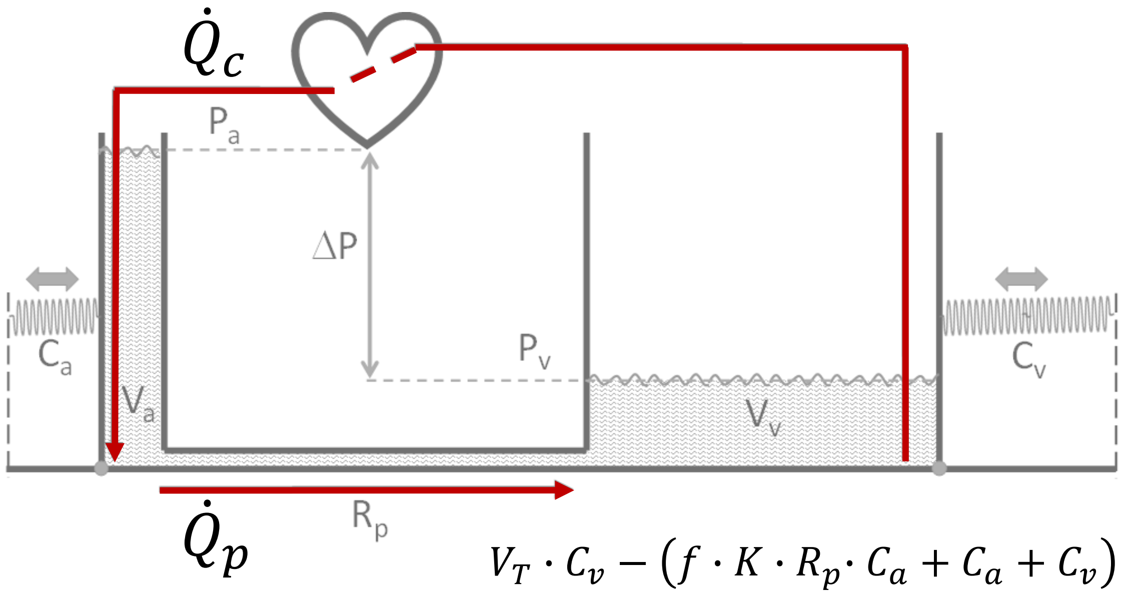
$$V_v = \frac{C_v}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \cdot V_T$$

surge este termo no denominador, o qual é o resultado da atividade cardíaca e reduz o volume venoso em relação à condição de estagnação

$$V_v = \frac{C_v}{C_a + C_v} \cdot V_T$$

Condição dinâmica – Regime permanente
Volume venoso

Desta forma, o aumento da frequência cardíaca e/ou da força de ejeção, causam uma queda de volume venoso pelo coração extrair mais sangue deste compartimento



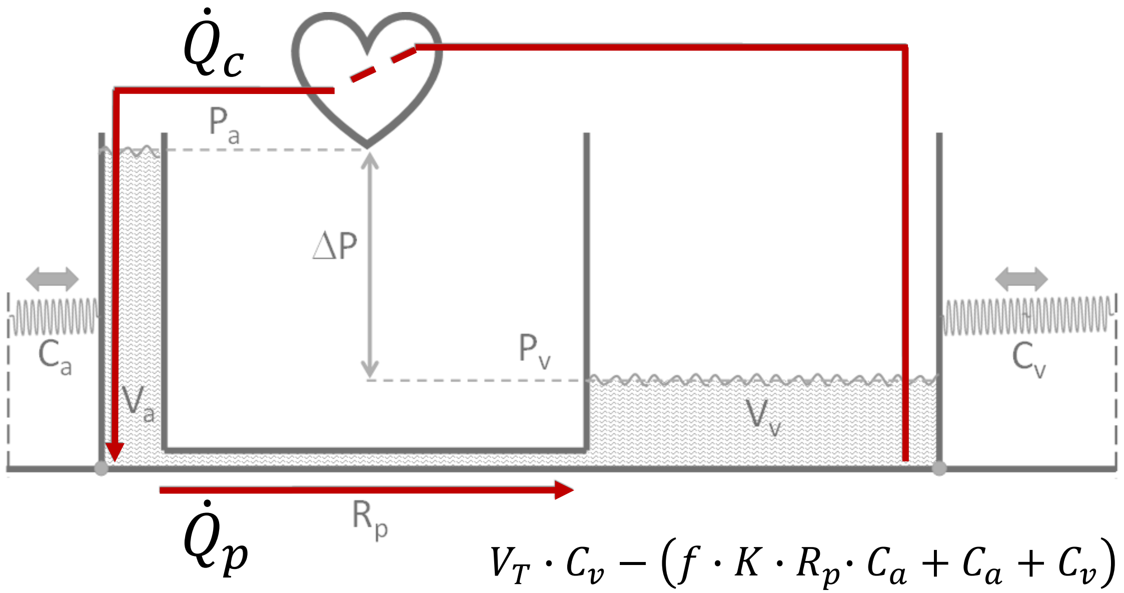
$$V_T \cdot C_v - (f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v) \cdot V_v = 0$$

$$V_v = \frac{C_v}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \cdot V_T$$

Condição dinâmica – Regime permanente
Volume venoso

Desta forma, o aumento da frequência cardíaca e/ou da força de ejeção, causam uma queda de volume venoso pelo coração extrair mais sangue deste compartimento

O aumento da resistência periférica causa uma diminuição do volume venoso por represar o sangue no lado arterial



$$V_T \cdot C_v - (f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v) \cdot V_v = 0$$

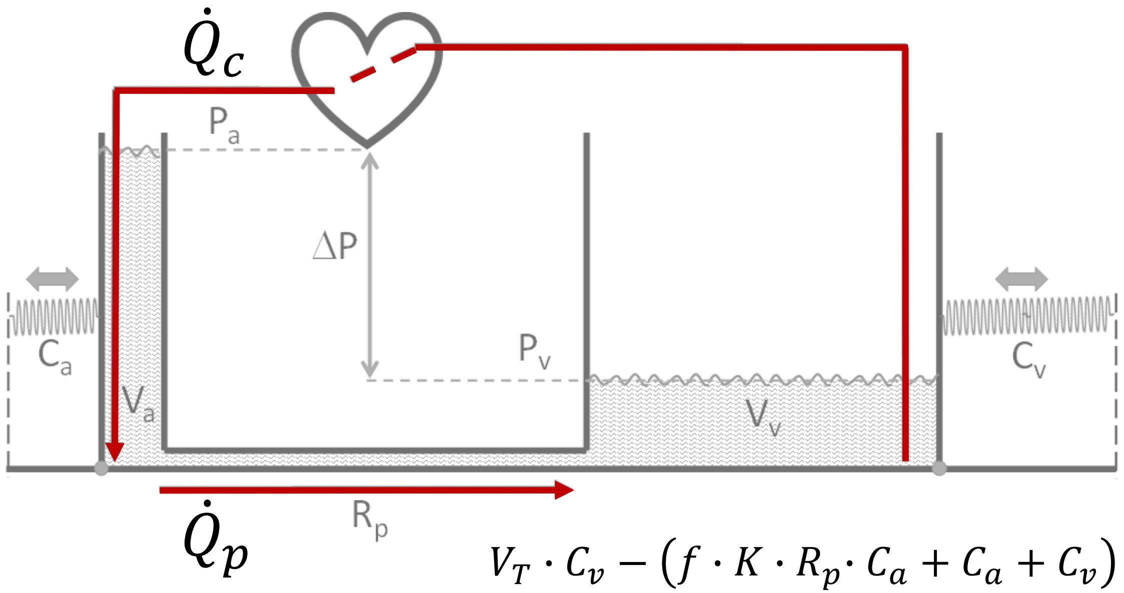
$$V_v = \frac{C_v}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \cdot V_T$$

CONDIÇÃO DINÂMICA – REGIME PERMANENTE
VOLUME VENOSO

DESTA FORMA, O AUMENTO DA FREQUÊNCIA CARDÍACA E/OU DA FORÇA DE EJEÇÃO, CAUSAM UMA QUEDA DE VOLUME VENOSO PELO CORAÇÃO EXTRAIR MAIS SANGUE DESTE COMPARTIMENTO

O AUMENTO DA RESISTÊNCIA PERIFÉRICA CAUSA UMA DIMINUIÇÃO DO VOLUME VENOSO POR REPRESAR O SANGUE NO LADO ARTERIAL

O AUMENTO DA CAPACITÂNCIA ARTERIAL LEVA A UMA DIMINUIÇÃO DO VOLUME VENOSO POR SEQUESTRAR UMA PARCELA MAIOR DO VOLUME TOTAL NA PARTE ARTERIAL DO SISTEMA

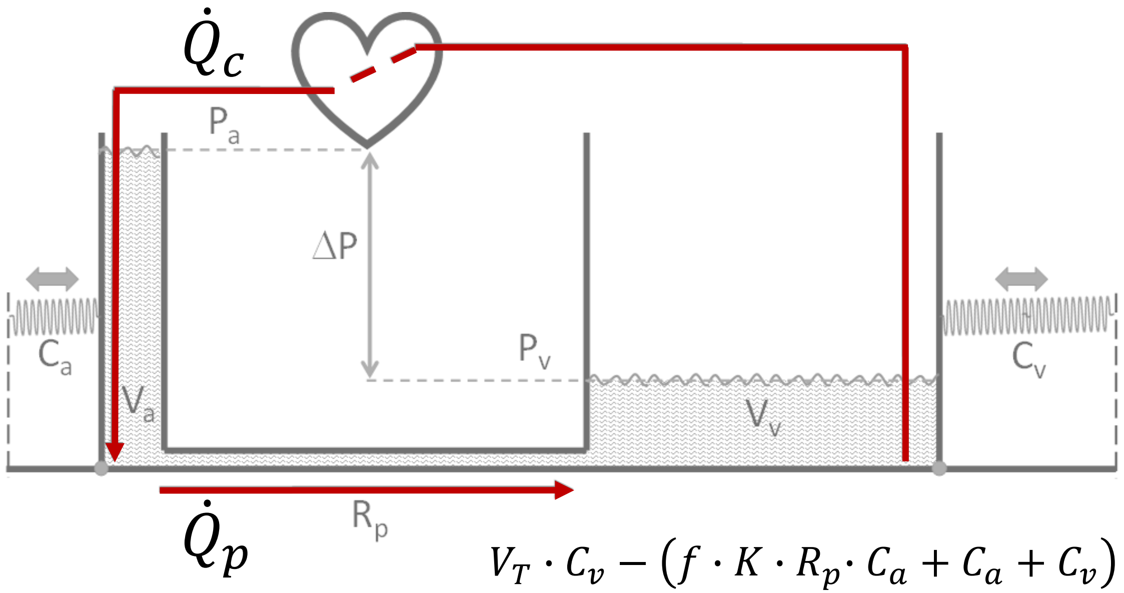


$$V_T \cdot C_v - (f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v) \cdot V_v = 0$$

$$V_v = \frac{C_v}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \cdot V_T$$

CONDIÇÃO DINÂMICA – REGIME PERMANENTE
VOLUME VENOSO

Considerando o caso no qual a capacitância venosa não se altere, todas as condições descritas anteriormente levam a uma diminuição concomitante da pressão venosa.



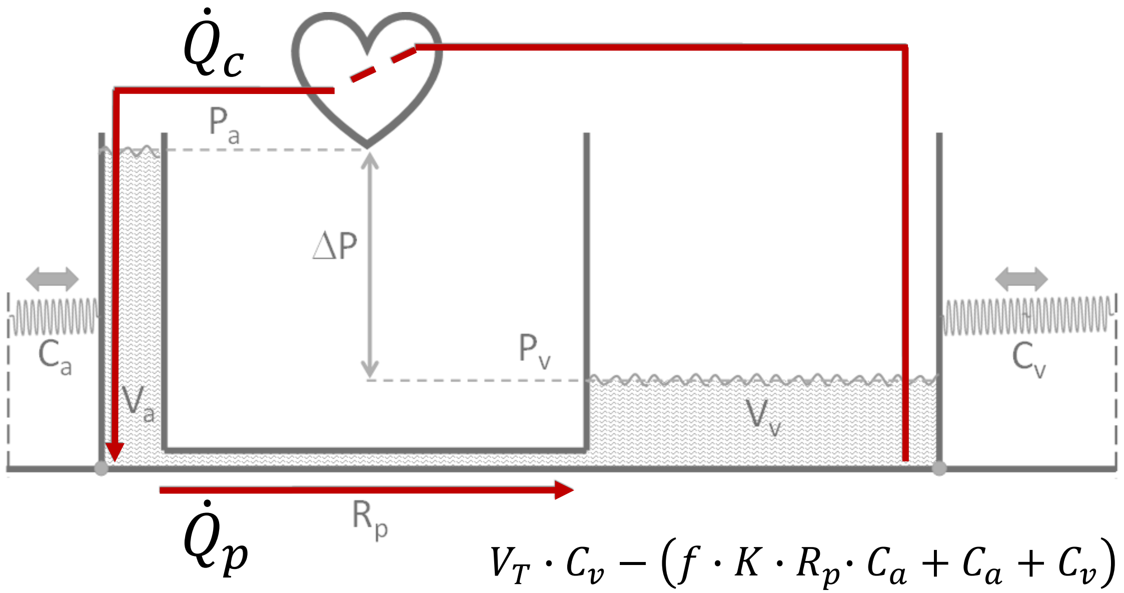
$$V_T \cdot C_v - (f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v) \cdot V_v = 0$$

$$V_v = \frac{C_v}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \cdot V_T$$

Condição Dinâmica – Regime Permanente
Pressão Arterial

Obtém-se o volume arterial do mesmo modo que se obtém o volume venoso (rearranjo da equação ao lado).

A partir do volume arterial, obtém-se a P.A. dividindo-se pela capacitância arterial

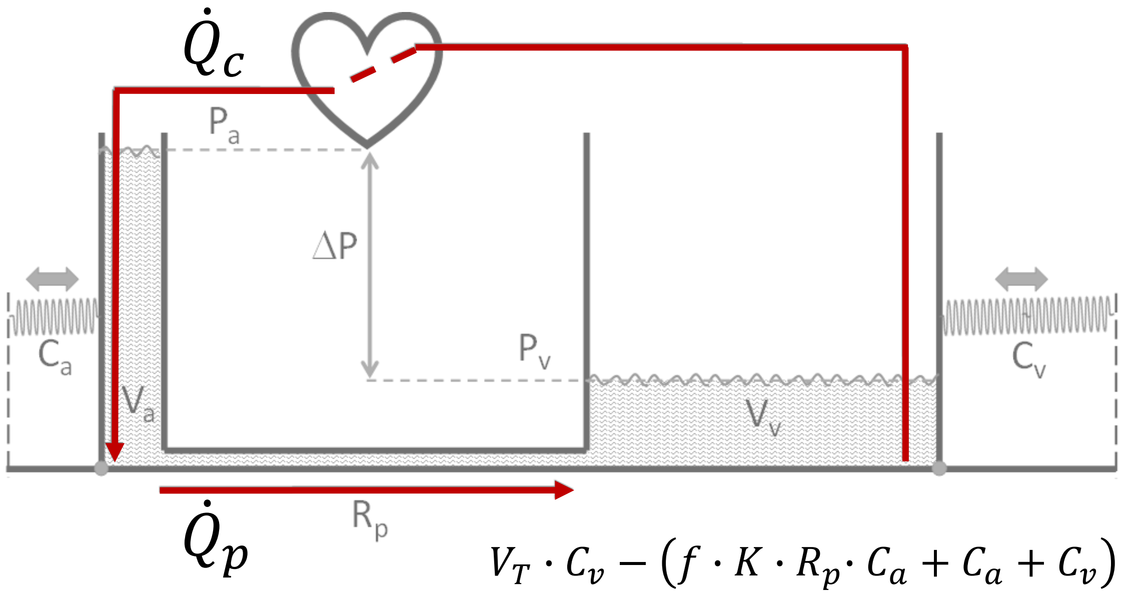


$$V_T \cdot C_v - \left(f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v\right) \cdot V_v = 0$$

Condição dinâmica – Regime permanente
Pressão arterial

Obtém-se o volume arterial do mesmo modo que se obtém o volume venoso (rearranjo da equação ao lado).

A partir do volume arterial, obtém-se a P.A. dividindo-se pela capacitância arterial



$$V_T \cdot C_v - (f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v) \cdot V_v = 0$$

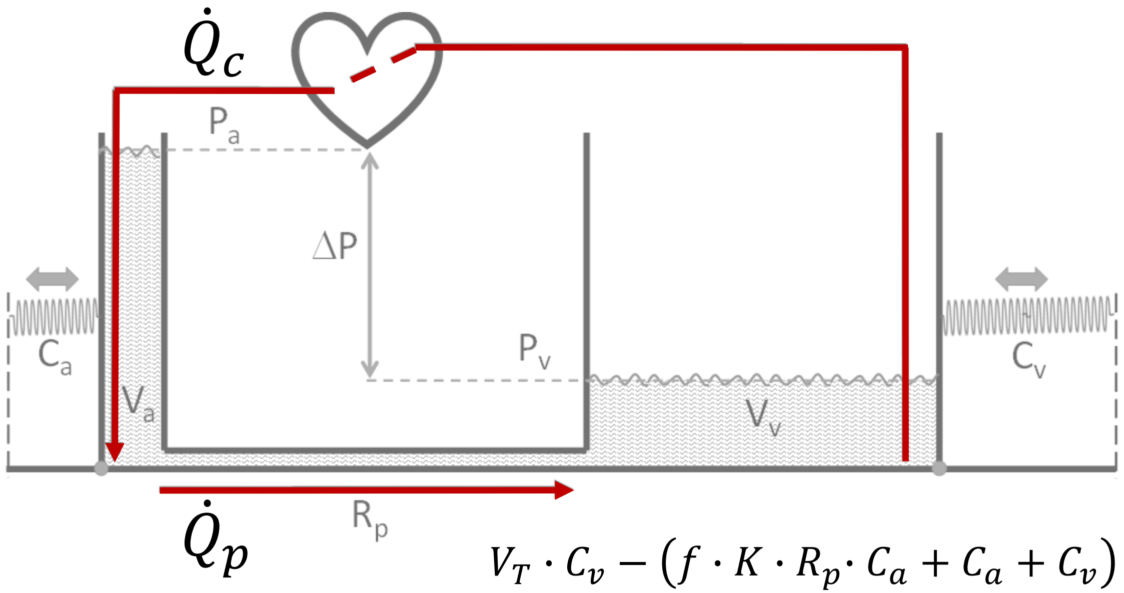
$$V_a = \frac{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \cdot V_T$$

$$P_a = \frac{f \cdot K \cdot R_p + 1}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \cdot V_T$$

CONDIÇÃO DINÂMICA – REGIME PERMANENTE
PRESSÃO ARTERIAL

PROBLEMAS:

1. DETERMINE O QUE OCORRE COM O VOLUME ARTERIAL E COM A PRESSÃO ARTERIAL SE A FREQUÊNCIA CARDÍACA E/OU A FORÇA DE CONTRAÇÃO SE ELEVAM MUITO.
2. PARA QUAL VALOR DO PRODUTO F·K · R_P A PRESSÃO ARTERIAL É O DOBRO DA PRESSÃO DE ESTAGNAÇÃO?



$$V_T \cdot C_v - (f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v) \cdot V_v = 0$$

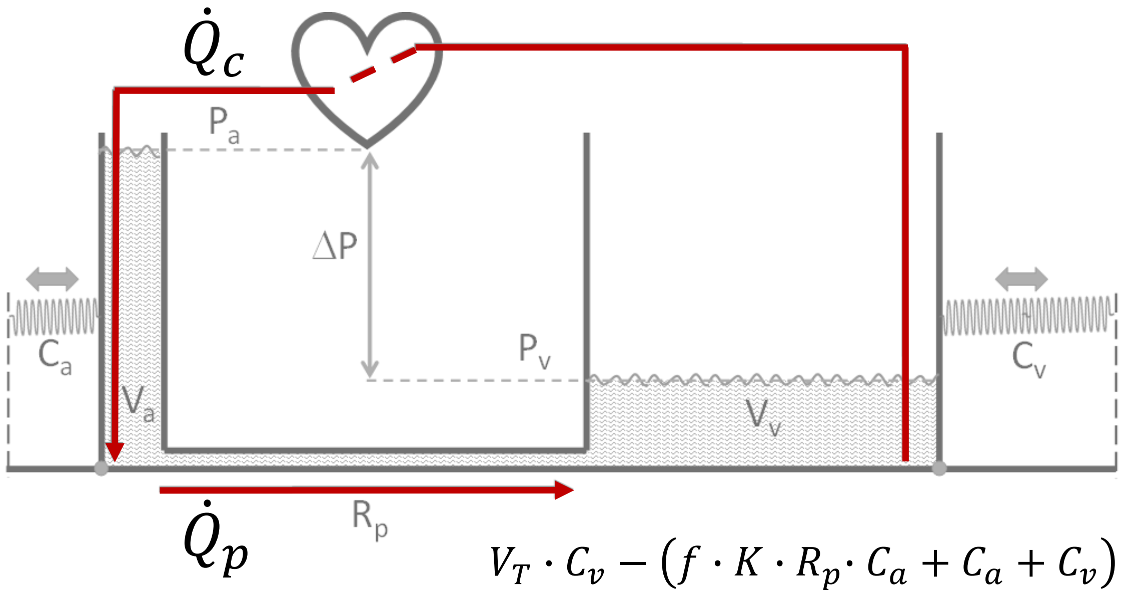
$$V_a = \frac{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \cdot V_T$$

$$P_a = \frac{f \cdot K \cdot R_p + 1}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \cdot V_T$$

CONDIÇÃO DINÂMICA – REGIME PERMANENTE
PRESSÃO ARTERIAL

PROBLEMAS:

1. DETERMINE O QUE OCORRE COM O VOLUME ARTERIAL E COM A PRESSÃO ARTERIAL SE A FREQUÊNCIA CARDÍACA E/OU A FORÇA DE CONTRAÇÃO SE ELEVAM MUITO.
2. PARA QUAL VALOR DO PRODUTO F·K · R_P A PRESSÃO ARTERIAL É O DOBRO DA PRESSÃO DE ESTAGNAÇÃO?



$$V_T \cdot C_v - (f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v) \cdot V_v = 0$$

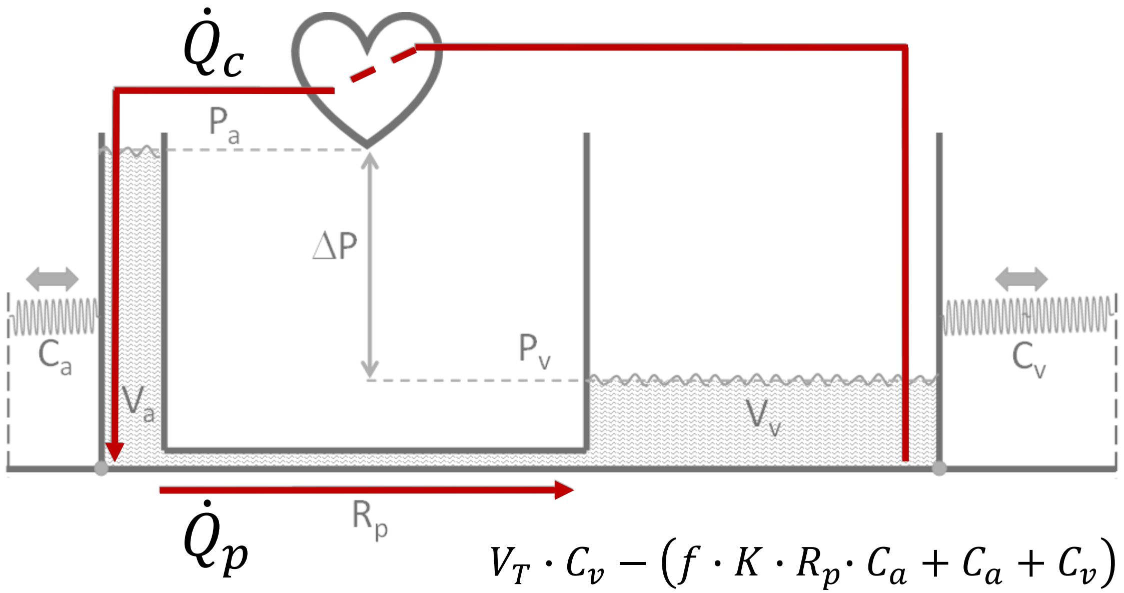
$$V_a = \frac{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \cdot V_T \rightarrow \frac{f K C_a R_p}{f K C_a R_p} \cdot V_T = V_T$$

$$P_a = \frac{f \cdot K \cdot R_p + 1}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \cdot V_T \rightarrow \frac{f \cdot K \cdot R_p}{f \cdot K \cdot R_p C_a} \cdot V_T = \frac{V_T}{C_a}$$

CONDIÇÃO DINÂMICA – REGIME PERMANENTE PRESSÃO ARTERIAL

PROBLEMAS:

1. DETERMINE O QUE OCORRE COM O VOLUME ARTERIAL E COM A PRESSÃO ARTERIAL SE A FREQUÊNCIA CARDÍACA E/OU A FORÇA DE CONTRAÇÃO SE ELEVAM MUITO.
2. PARA QUAL VALOR DO PRODUTO F·K · R_P A PRESSÃO ARTERIAL É O DOBRO DA PRESSÃO DE ESTAGNAÇÃO?



$$V_T \cdot C_v - (f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v) \cdot V_v = 0$$

$$V_a = \frac{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \cdot V_T$$

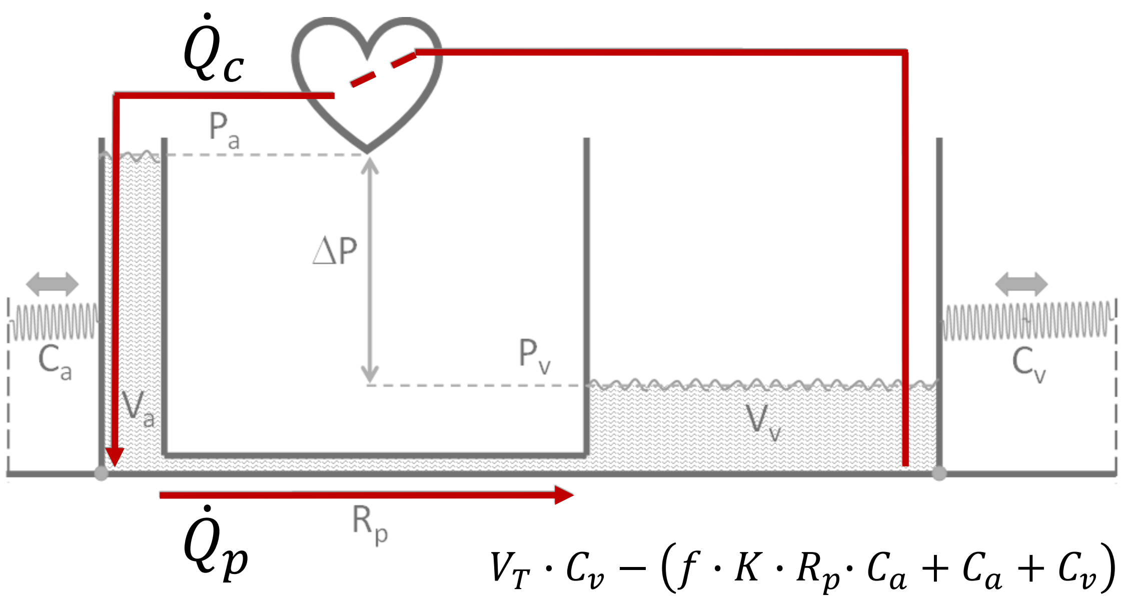
$$P_a = \frac{f \cdot K \cdot R_p + 1}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \cdot V_T = 2 \cdot P_e = \frac{2V_T}{C_a + C_v}$$

CONDIÇÃO DINÂMICA – REGIME PERMANENTE
PRESSÃO ARTERIAL

PROBLEMAS:

1. DETERMINE O QUE OCORRE COM O VOLUME ARTERIAL E COM A PRESSÃO ARTERIAL SE A FREQUÊNCIA CARDÍACA E/OU A FORÇA DE CONTRAÇÃO SE ELEVAM MUITO.

2. PARA QUAL VALOR DO PRODUTO F·K · R_P A PRESSÃO ARTERIAL É O DOBRO DA PRESSÃO DE ESTAGNAÇÃO?



$$V_T \cdot C_v - (f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v) \cdot V_v = 0$$

$$V_a = \frac{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \cdot V_T$$

$$\frac{F + 1}{F \cdot C_a + C_a + C_v} = \frac{2}{C_a + C_v}$$

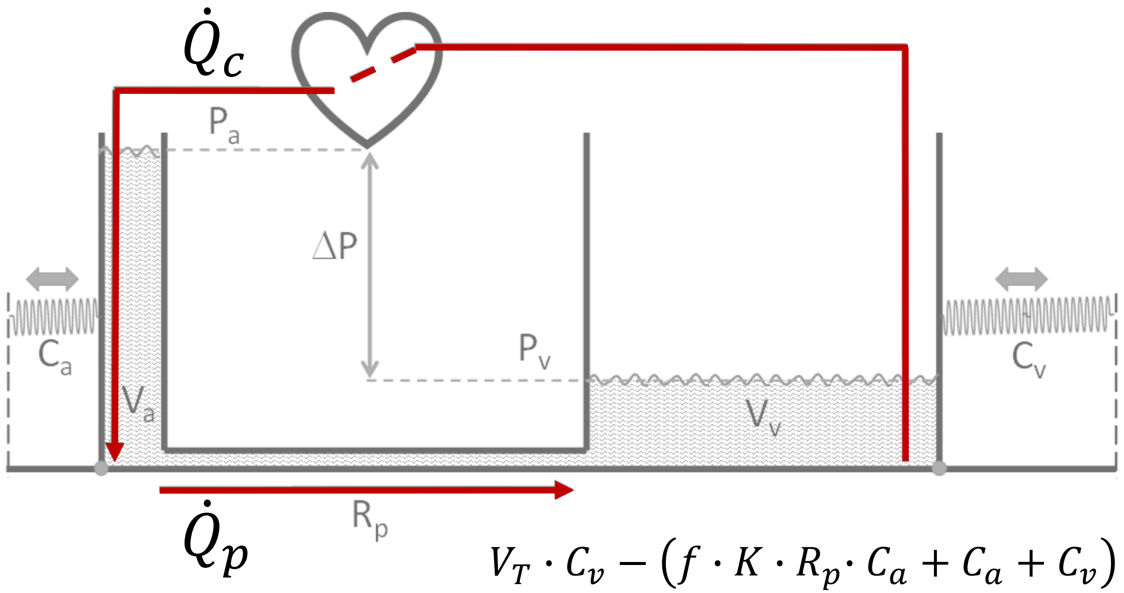
$$\boxed{f \cdot k \cdot R_p = \frac{C_v + C_a}{C_v - C_a}}$$

CONDIÇÃO DINÂMICA – REGIME PERMANENTE
PRESSÃO ARTERIAL

PROBLEMAS:

1. DETERMINE O QUE OCORRE COM O VOLUME ARTERIAL E COM A PRESSÃO ARTERIAL SE A FREQUÊNCIA CARDÍACA E/OU A FORÇA DE CONTRAÇÃO SE ELEVAM MUITO.

2. PARA QUAL VALOR DO PRODUTO F·K · R_P A PRESSÃO ARTERIAL É O DOBRO DA PRESSÃO DE ESTAGNAÇÃO?



$$V_T \cdot C_v - (f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v) \cdot V_v = 0$$

$$V_a|_{P_a=2P_e} = \frac{2C_a}{C_a + C_v} \cdot V_T$$

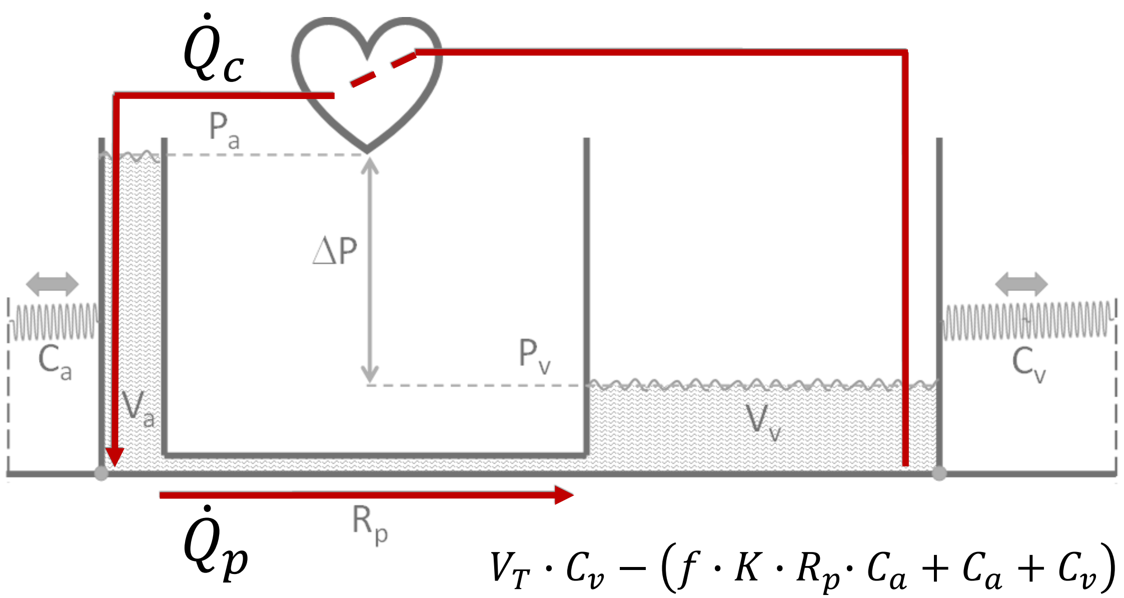
$$\boxed{f \cdot k \cdot R_p = \frac{C_v + C_a}{C_v - C_a}}$$

CONDIÇÃO DINÂMICA – REGIME PERMANENTE
PRESSÃO ARTERIAL

PROBLEMAS:

1. Determine o que ocorre com o volume arterial e com a pressão arterial se a frequência cardíaca e/ou a força de contração se elevam muito.
2. Para qual valor do produto f·K · R_P a pressão arterial é o dobro da pressão de estagnação?

$$\boxed{P_e \simeq 10\ torr}$$



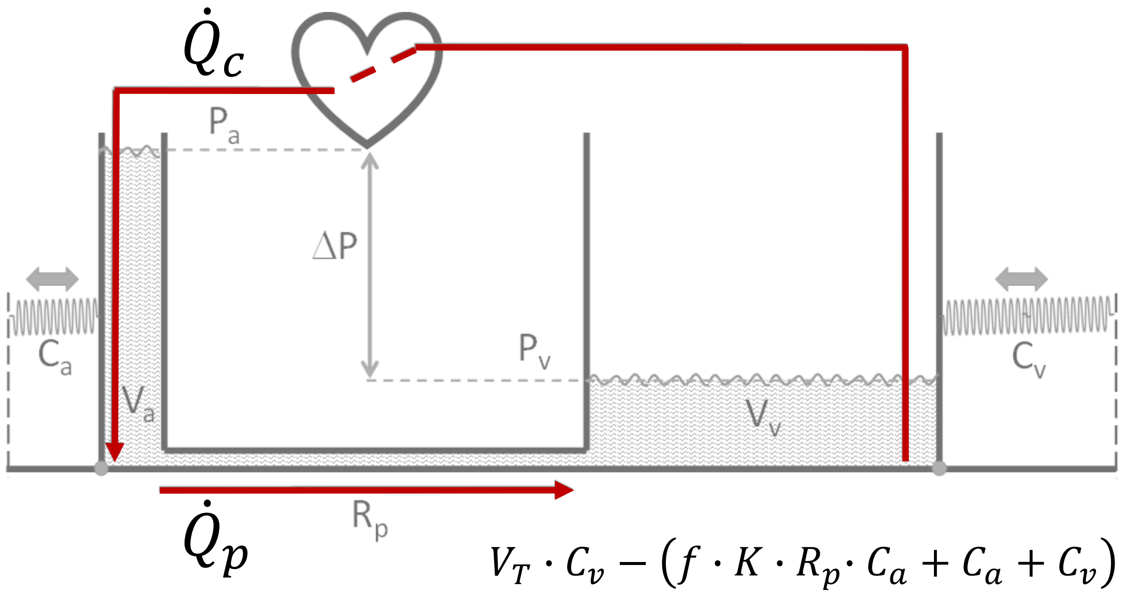
$$V_T \cdot C_v - (f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v) \cdot V_v = 0$$

$$\boxed{V_a|_{P_a=P_e} = \frac{2C_a}{C_a + C_v} \cdot V_T}$$

$$\boxed{f \cdot k \cdot R_p = \frac{C_v + C_a}{C_v - C_a}}$$

CONDIÇÃO DINÂMICA – REGIME PERMANENTE
PRESSÃO ARTERIAL

QUAIS AS CONSEQUÊNCIAS DESTAS RELAÇÕES?



$$V_T \cdot C_v - \left(f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v\right) \cdot V_v = 0$$

$$\boxed{V_a\big|_{P_a=P_e} = \frac{2C_a}{C_a + C_v} \cdot V_T}$$

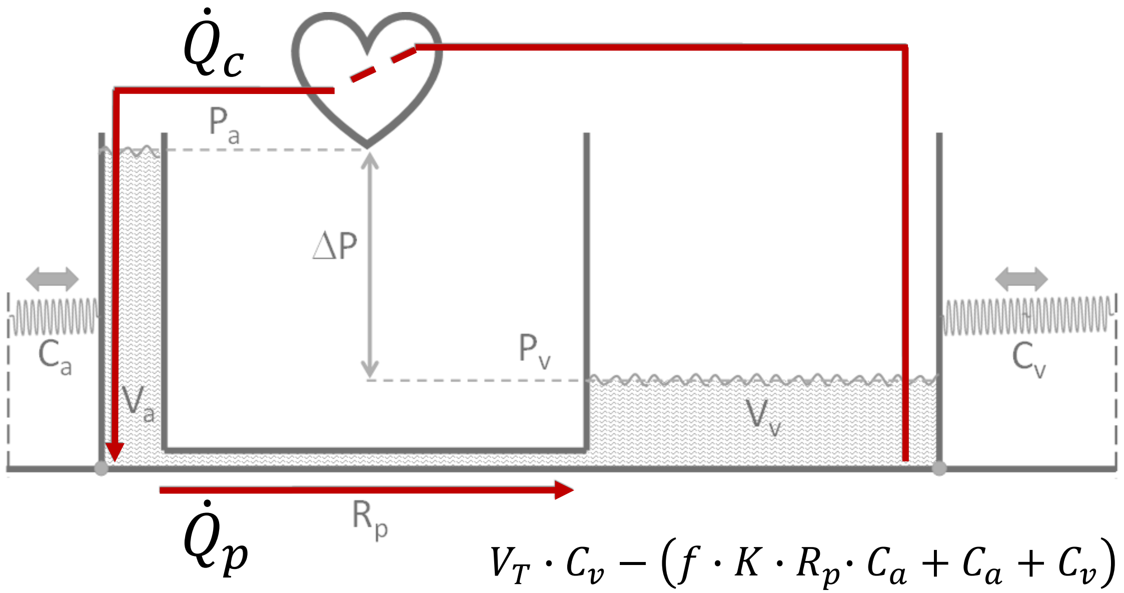
$$\boxed{P_e \cong 10\ torr}$$

$$\boxed{f \cdot k \cdot R_p = \frac{C_v + C_a}{C_v - C_a}}$$

Condição dinâmica – regime permanente
Pressão arterial

Quais as consequências destas relações?

1. Se $C_A \geq C_V$, a pressão arterial nunca poderia ser o dobro da pressão de estagnação.
2. Se $C_A \geq C_V$, o volume arterial deveria conter todo o volume sanguíneo, ou mais.



$$V_T \cdot C_v - (f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v) \cdot V_v = 0$$

$$\boxed{V_a|_{P_a=P_e} = \frac{2C_a}{C_a + C_v} \cdot V_T}$$

$$\boxed{P_e \cong 10\ torr}$$

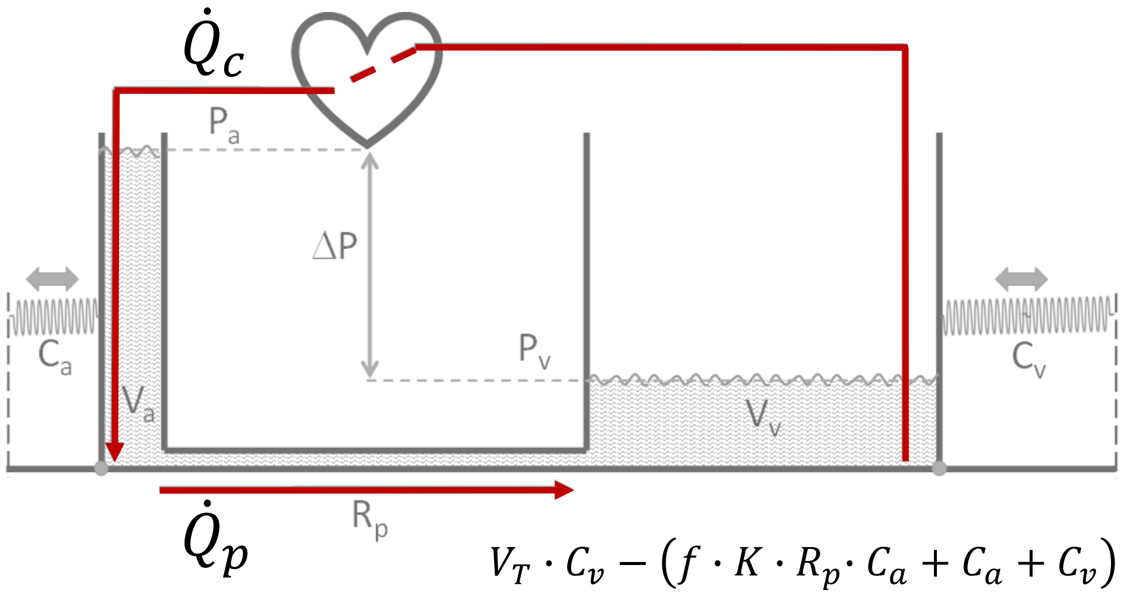
$$\boxed{f \cdot k \cdot R_p = \frac{C_v + C_a}{C_v - C_a}}$$

Condição dinâmica – regime permanente
Pressão arterial

Quais as consequências destas relações?

1. Se $C_A \geq C_V$, a pressão arterial nunca poderia ser o dobro da pressão de estagnação.
2. Se $C_A \geq C_V$, o volume arterial deveria conter todo o volume sanguíneo, ou mais.

O que se pode concluir disto?



$$V_T \cdot C_v - (f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v) \cdot V_v = 0$$

$$\boxed{V_a|_{P_a=P_e} = \frac{2C_a}{C_a + C_v} \cdot V_T}$$

$$\boxed{P_e \cong 10\ torr}$$

$$\boxed{f \cdot k \cdot R_p = \frac{C_v + C_a}{C_v - C_a}}$$

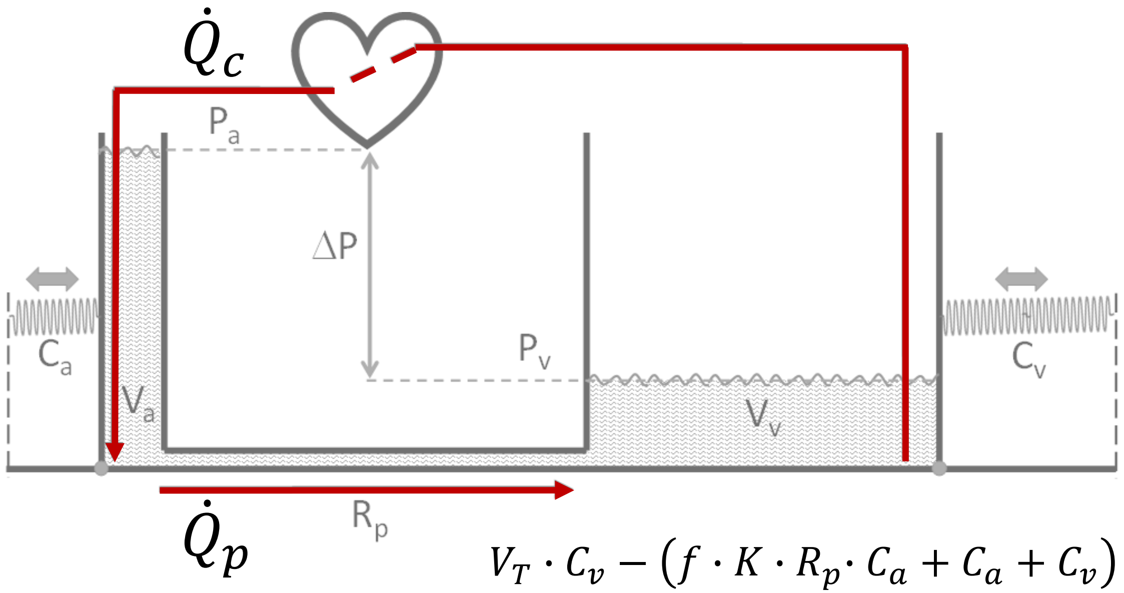
CONDIÇÃO DINÂMICA – REGIME PERMANENTE
PRESSÃO ARTERIAL

QUAIS AS CONSEQUÊNCIAS DESTAS RELAÇÕES?

1. SE $C_A \geq C_V$, A PRESSÃO ARTERIAL NUNCA PODERIA SER O DOBRO DA PRESSÃO DE ESTAGNAÇÃO.
2. SE $C_A \geq C_V$, O VOLUME ARTERIAL DEVERIA CONTER TODO O VOLUME SANGUÍNEO, OU MAIS.

O QUE SE PODE CONCLUIR DISTO?

QUE A CAPACITÂNCIA VENOSA SER MAIOR QUE A ARTERIAL NÃO É MERAMENTE UMA QUESTÃO DE SER RESERVATÓRIO SANGUÍNEO, MAS É, TAMBÉM, CONDIÇÃO PRIMÁRIA PARA REGULAÇÃO DA PRESSÃO ARTERIAL E POSSIBILIDADE DE MANTÊ-LA ELEVADA.



$$V_T \cdot C_v - (f \cdot K \cdot R_p \cdot C_a + C_a + C_v) \cdot V_v = 0$$

$$\boxed{V_a|_{P_a=P_e} = \frac{2C_a}{C_a + C_v} \cdot V_T}$$

$$\boxed{f \cdot k \cdot R_p = \frac{C_v + C_a}{C_v - C_a}}$$

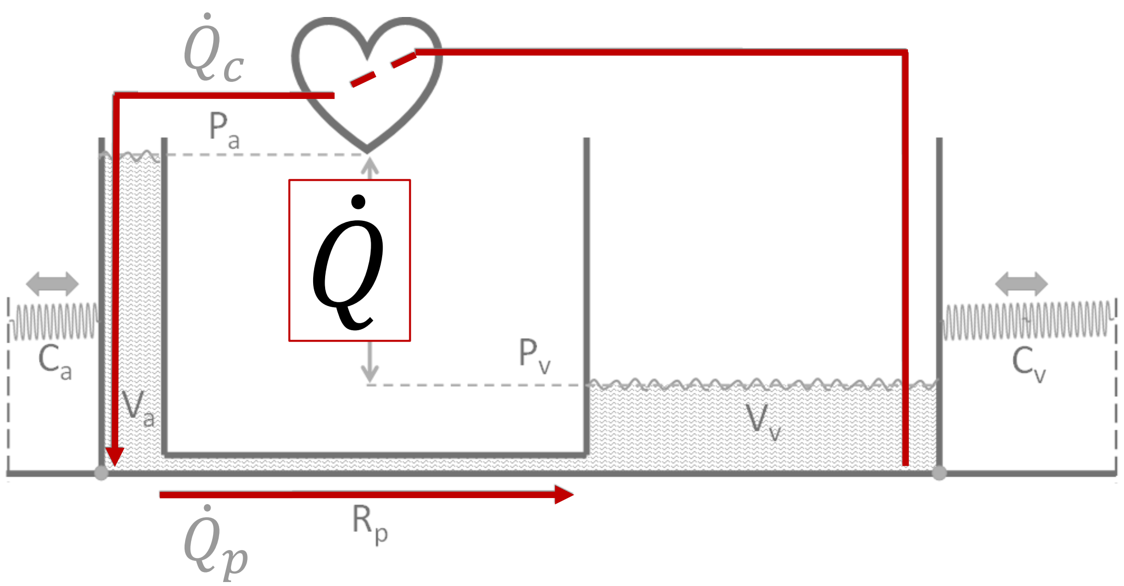
$$\boxed{P_e \cong 10 \text{ torr}}$$

DÉBITO CARDÍACO

- Até este momento, vimos como os parâmetros do sistema atuam na pressão arterial (e volume), que é a variável regulada de maneira global
- Contudo, para os tecidos, o que importa é o fluxo que recebem
- Portanto, vamos escrever como os parâmetros do sistema atuam no DC

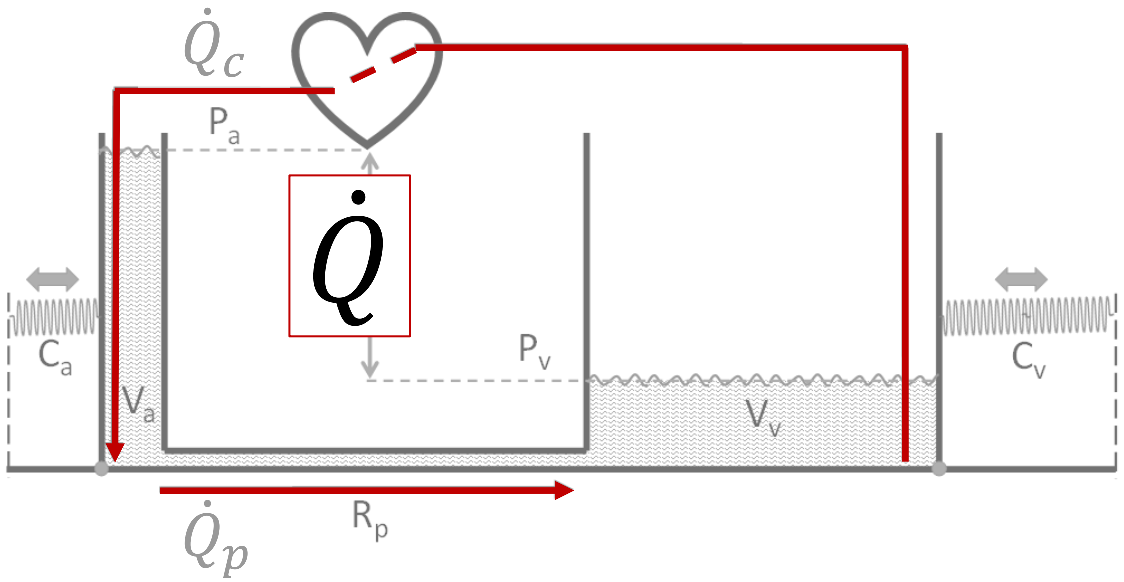
Débito cardíaco

Assumindo a condição de regime permanente, o débito cardíaco é o fluxo instalado no sistema (e não será indexado por "c" ou "p")



DÉBITO CARDÍACO

Assumindo a condição de regime permanente, o débito cardíaco é o fluxo instalado no sistema (e não será indexado por "c" ou "p")



Inserindo-se a equação de volume venoso na do débito cardíaco, obtemos:

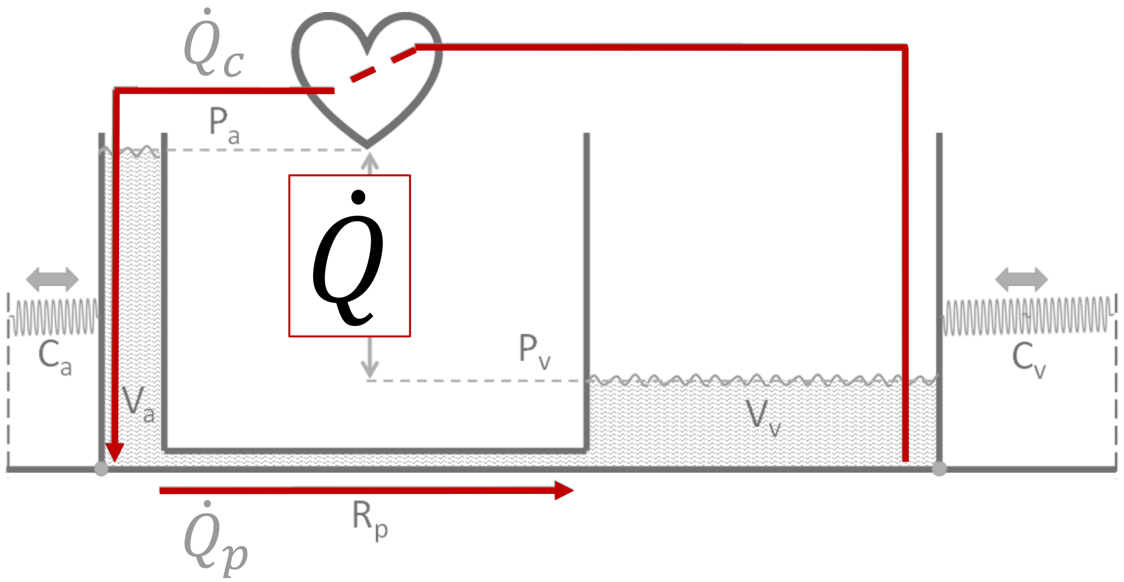
$$V_v = \frac{C_v}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \cdot V_T$$

$$\dot{Q}_c = \frac{f \cdot K \cdot V_v}{C_v}$$

$$\boxed{\dot{Q} = V_T \cdot \frac{f \cdot K}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v}}$$

DÉBITO CARDÍACO

COMPARANDO COM A EQUAÇÃO OBTIDA PARA A PRESSÃO ARTERIAL



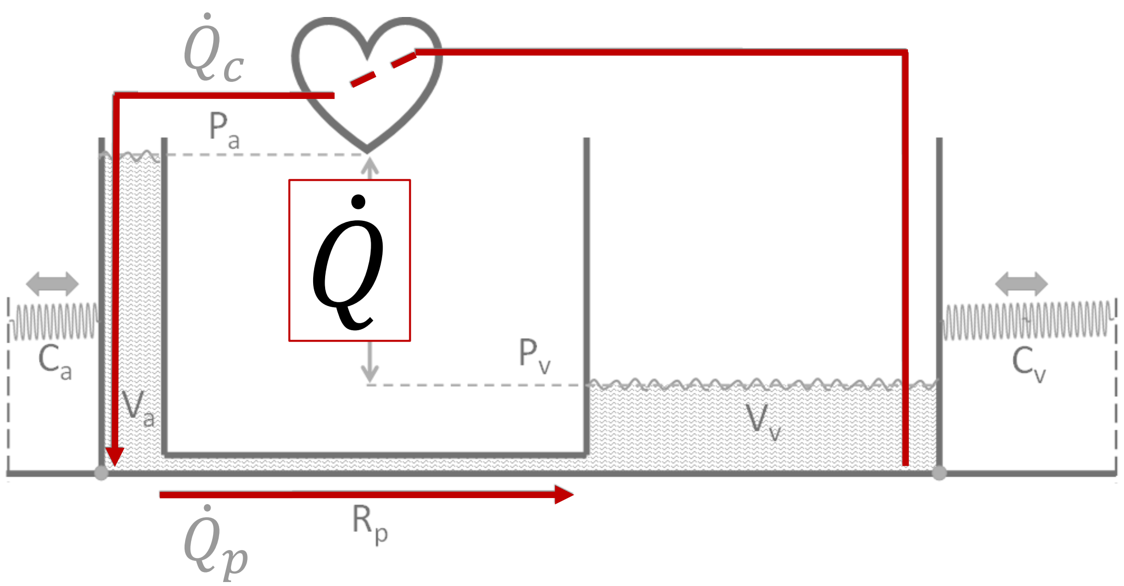
$$\dot{Q} = V_T \cdot \frac{f \cdot K}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v}$$

$$P_a = \frac{f \cdot K \cdot R_p + 1}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \cdot V_T$$

DÉBITO CARDÍACO

Comparando com a equação obtida para a pressão arterial

Note que a regulação sobre a pressão arterial ***NÃO É*** o mesmo que regulação sobre o débito cardíaco

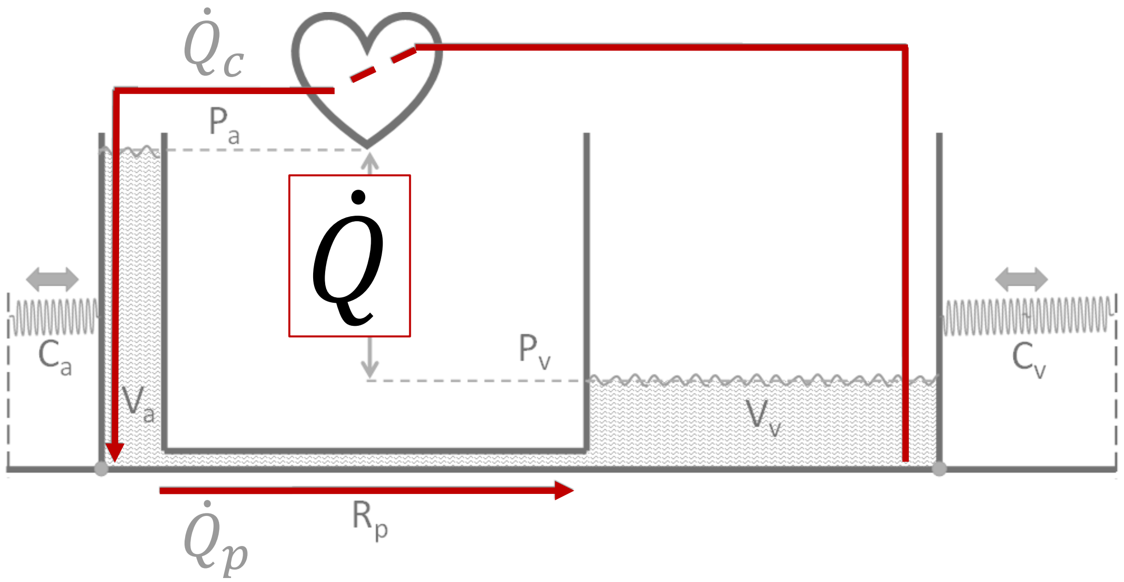


$$\boxed{\dot{Q} = V_T \cdot \frac{f \cdot K}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v}}$$

$$\boxed{P_a = \frac{f \cdot K \cdot R_p + 1}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \cdot V_T}$$

DÉBITO CARDÍACO

COMPARANDO COM A EQUAÇÃO OBTIDA PARA A PRESSÃO ARTERIAL



NOTE QUE REGULAÇÃO SOBRE A PRESSÃO ARTERIAL ***NÃO É*** O MESMO QUE REGULAÇÃO SOBRE O DÉBITO CARDÍACO

$$\dot{Q} = V_T \cdot \frac{f \cdot K}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v}$$

PARTICULARMENTE, A ELEVAÇÃO DA RESISTÊNCIA PERIFÉRICA, QUE CAUSA AUMENTO DA PRESSÃO ARTERIAL, LEVA A UMA QUEDA DO DÉBITO CARDÍACO

$$P_a = \frac{f \cdot K \cdot R_p + 1}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \cdot V_T$$

NOTE, NO ENTANTO, QUE ESTAMOS FALANDO EM TERMOS GLOBAIS, E NÃO REGIONAIS

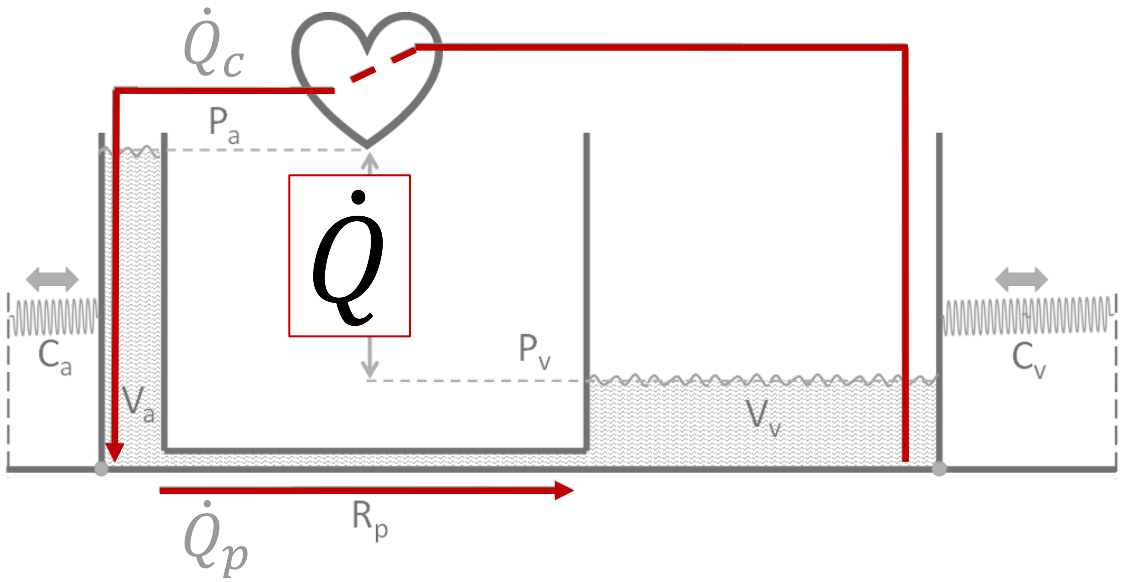
DÉBITO CARDÍACO

COMBINANDO AS DUAS EQUAÇÕES, TEMOS:

$$\dot{Q} = V_T \cdot \frac{f \cdot K}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v}$$

$$\div$$

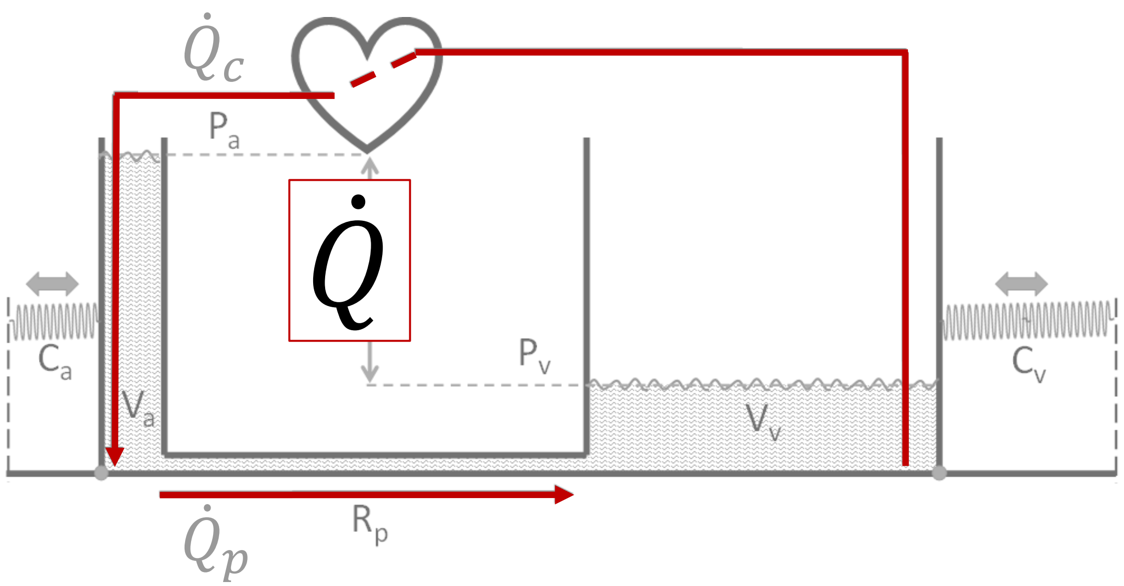
$$P_a = \frac{f \cdot K \cdot R_p + 1}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \cdot V_T$$



$$\dot{Q} = P_a \frac{f \cdot K}{f \cdot K \cdot R_p + 1}$$

DÉBITO CARDÍACO

Comparando com a equação de Hagen-Poiseuille

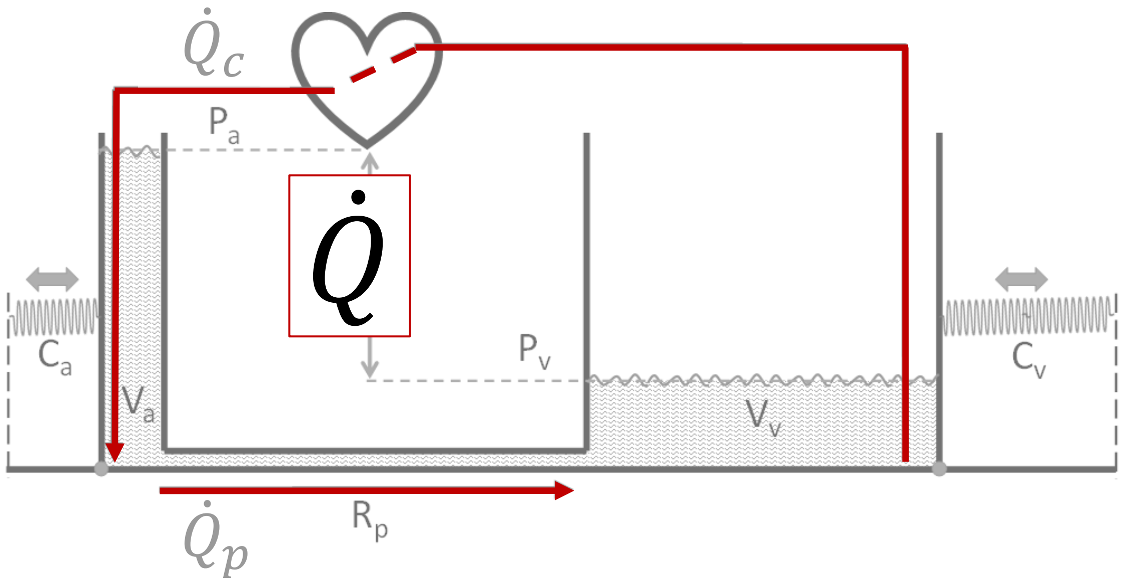


$$\dot{Q} = P_a \frac{f \cdot K}{f \cdot K \cdot R_p + 1}$$

$$\dot{V} = \frac{\pi r^4}{8 \mu L} \Delta P$$

DÉBITO CARDÍACO

Comparando com a equação de Hagen-Poiseuille



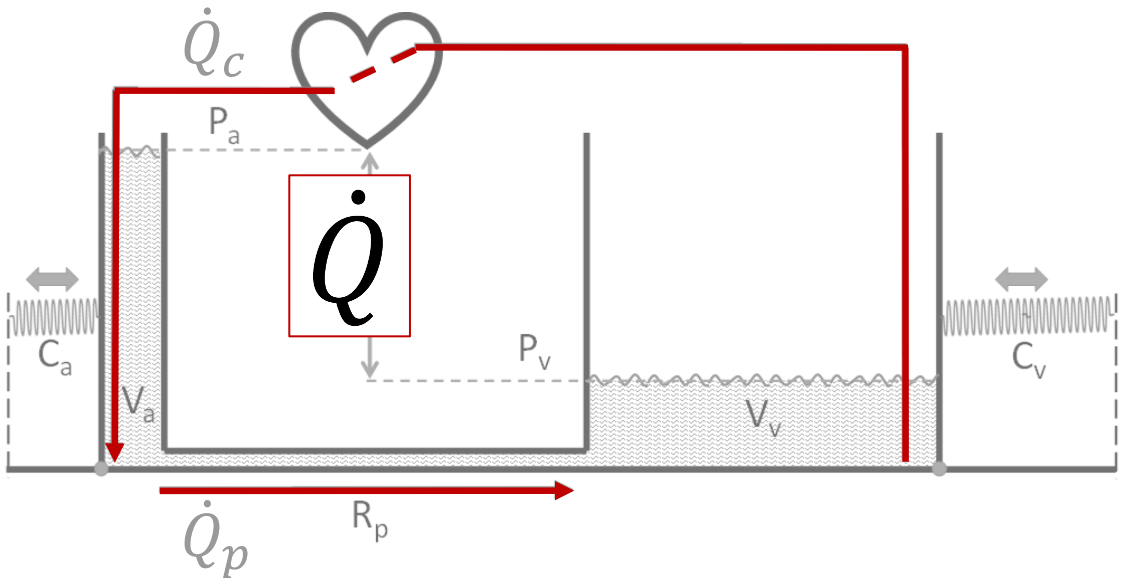
$$\dot{Q} = P_a \frac{f \cdot K}{f \cdot K \cdot R_p + 1}$$

vimos que se este termo aumenta em muitos locais, a PA cai e o fluxo também

$$\dot{V} = \frac{\pi r^4}{8\mu L} \Delta P$$

DÉBITO CARDÍACO

VAMOS CONSIDERAR R_P = 0 (É UM CASO EXTREMADO, HIPOTÉTICO)

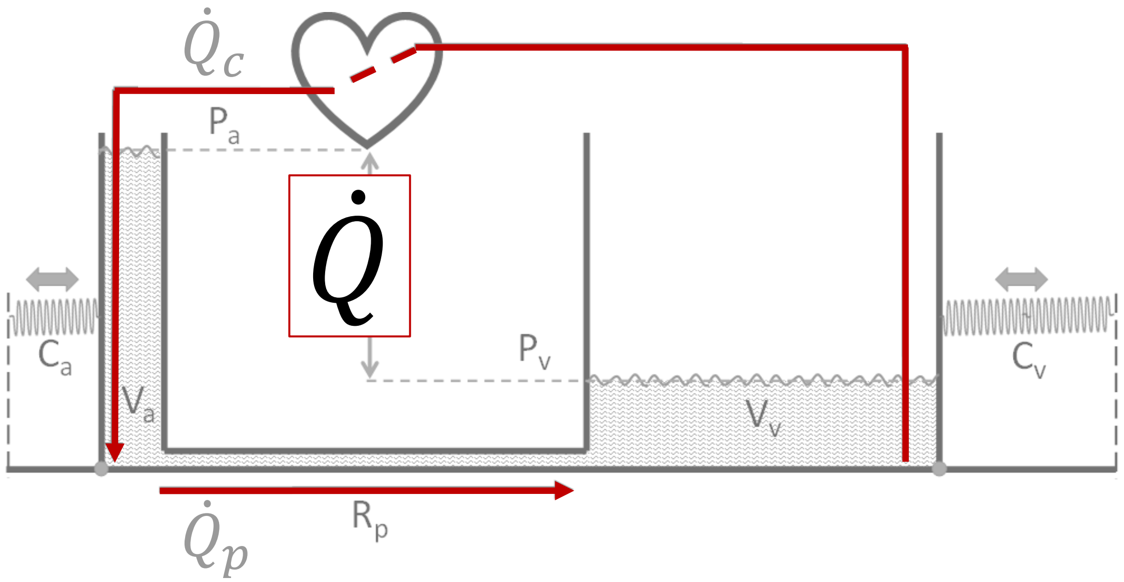


$$P_a(0) = \frac{f \cdot K \cdot 0 + 1}{f \cdot K \cdot C_a \cdot 0 + C_a + C_v} \cdot V_T = \frac{V_T}{C_a + C_v}$$

$$\dot{Q}(0) = V_T \cdot \frac{f \cdot K}{f \cdot K \cdot C_a \cdot 0 + C_a + C_v} = \frac{V_T}{C_a + C_v} f \cdot K$$

DÉBITO CARDÍACO

VAMOS CONSIDERAR $R_P = 0$ (É UM CASO EXTREMADO, HIPOTÉTICO)

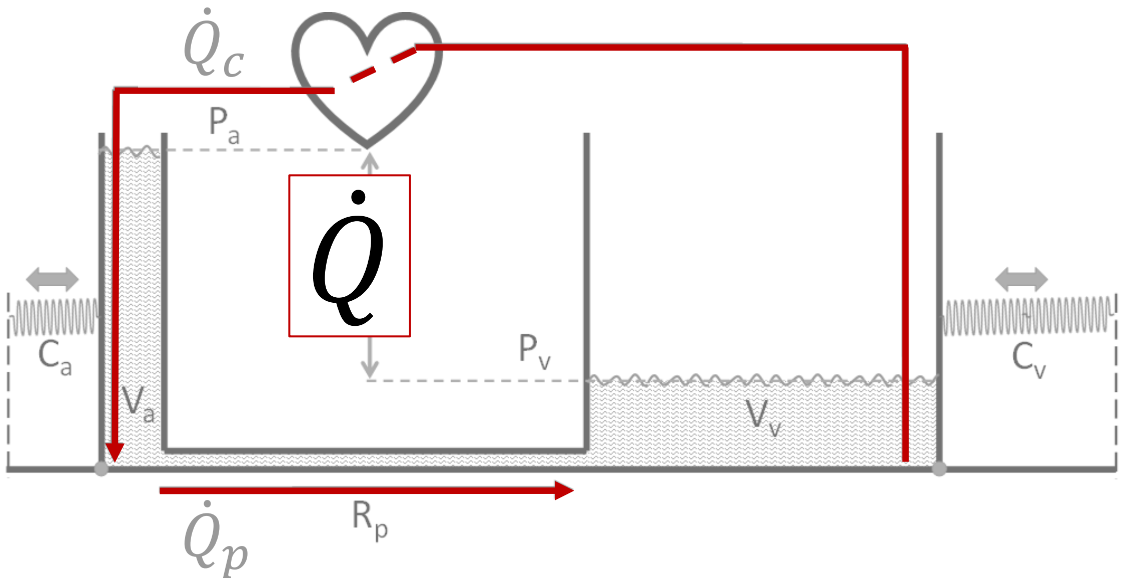


$$P_a(0) = \frac{f \cdot K \cdot 0 + 1}{f \cdot K \cdot C_a \cdot 0 + C_a + C_v} \cdot V_T = \frac{V_T}{C_a + C_v} = P_e = P_v$$

$$\dot{Q}(0) = V_T \cdot \frac{f \cdot K}{f \cdot K \cdot C_a \cdot 0 + C_a + C_v} = \frac{V_T}{C_a + C_v} f \cdot K$$

DÉBITO CARDÍACO

VAMOS CONSIDERAR $R_P = 0$ (É UM CASO EXTREMADO, HIPOTÉTICO)



$$P_a(0) = \frac{f \cdot K \cdot 0 + 1}{f \cdot K \cdot C_a \cdot 0 + C_a + C_v} \cdot V_T = \boxed{\frac{V_T}{C_a + C_v}} = P_e = P_v$$

$$\dot{Q}(0) = V_T \cdot \frac{f \cdot K}{f \cdot K \cdot C_a \cdot 0 + C_a + C_v} = \boxed{\frac{V_T}{C_a + C_v}} f \cdot K$$

DÉBITO CARDÍACO

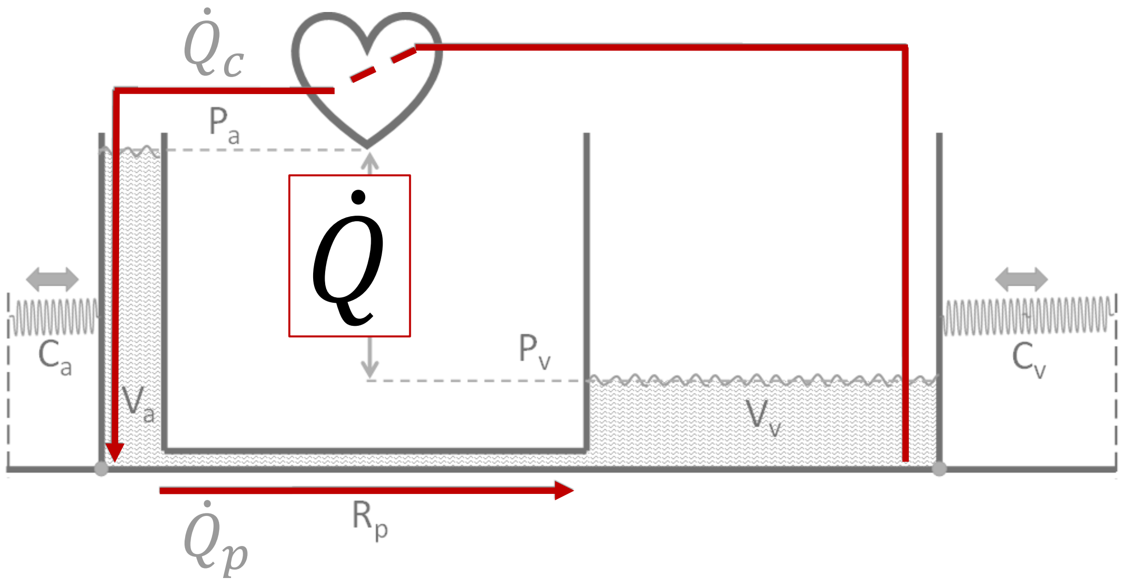
VAMOS CONSIDERAR $R_P = 0$ (É UM CASO EXTREMADO, HIPOTÉTICO)

NOTE QUE, POR DEFINIÇÃO, NÃO PODERIA HAVER FLUXO POIS A PRESSÃO É A DE ESTAGNAÇÃO.

CONTUDO, É ILUSTRATIVO CONTINUARMOS A ANÁLISE

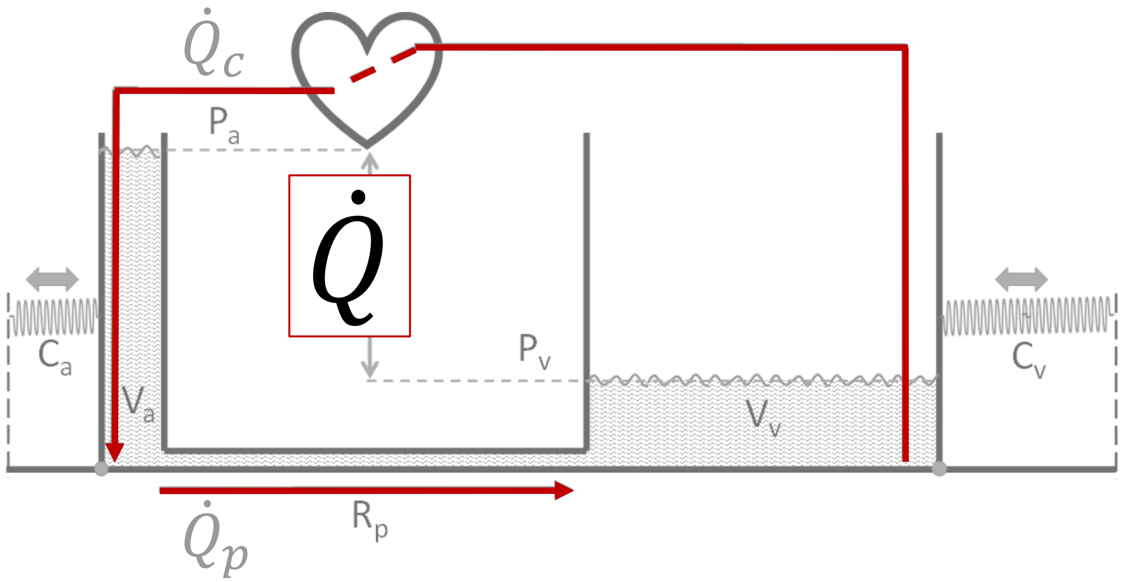
$$P_a(0) = P_e = P_v$$

$$\dot{Q}(0) = P_e \cdot f \cdot K$$



DÉBITO CARDÍACO

VAMOS CONSIDERAR $R_P = 0$ (É UM CASO EXTREMADO, HIPOTÉTICO)



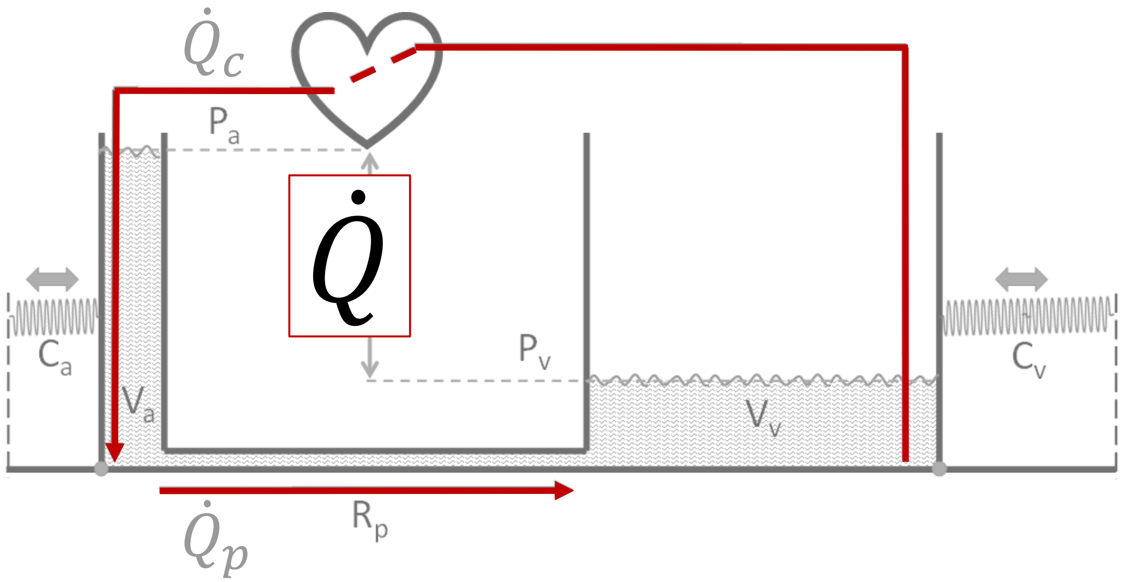
$$P_a(0) = P_e = P_v$$

$$\dot{Q}(0) = P_e \cdot f \cdot K$$

este é o fluxo máximo do sistema

DÉBITO CARDÍACO

VAMOS CONSIDERAR $R_P = 0$ (É UM CASO EXTREMADO, HIPOTÉTICO)



$$P_a(0) = P_e = P_v$$

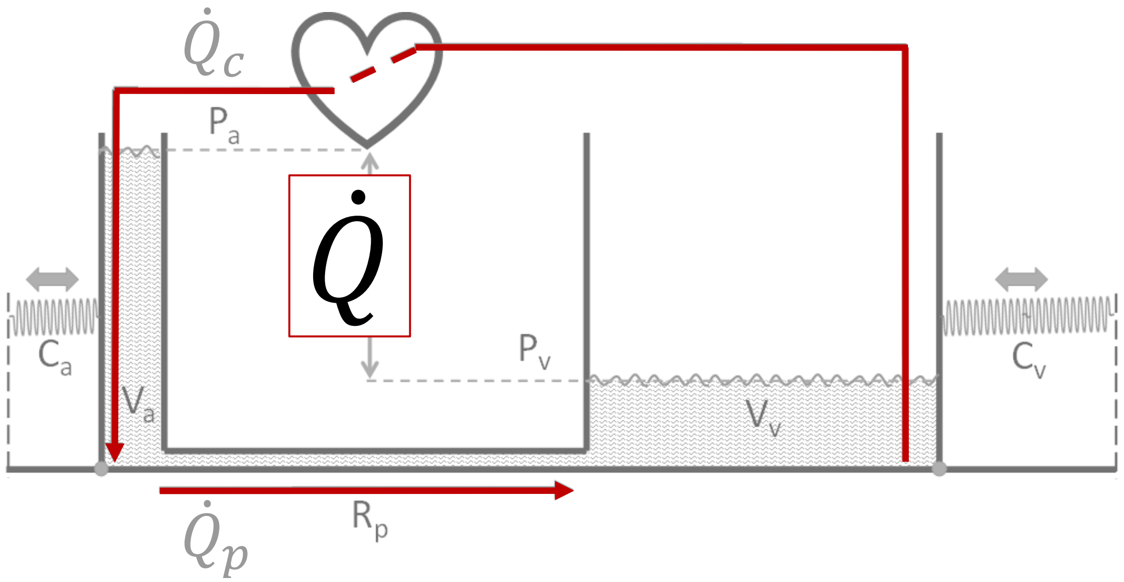
$$\dot{Q}(0) = P_e \cdot f \cdot K$$

este é o fluxo máximo do sistema

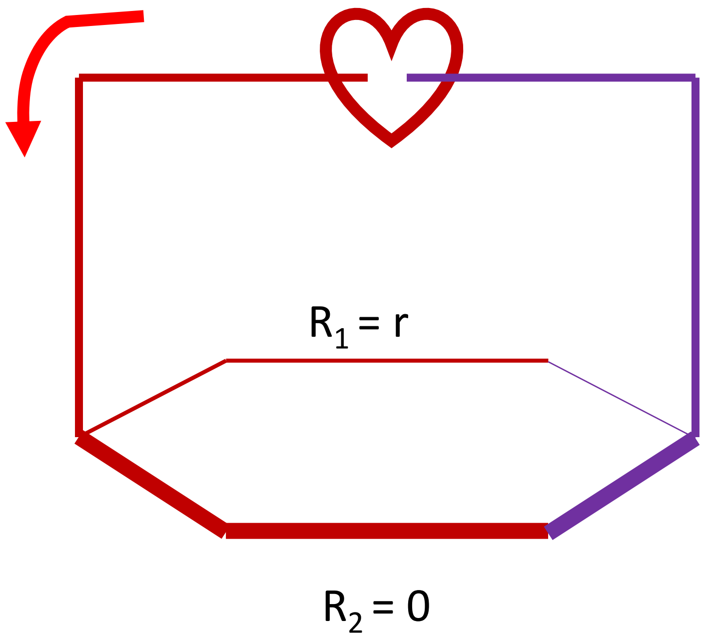
Para onde está indo este fluxo?

DÉBITO CARDÍACO

Vamos considerar $R_P = 0$ (é um caso extremado, hipotético)

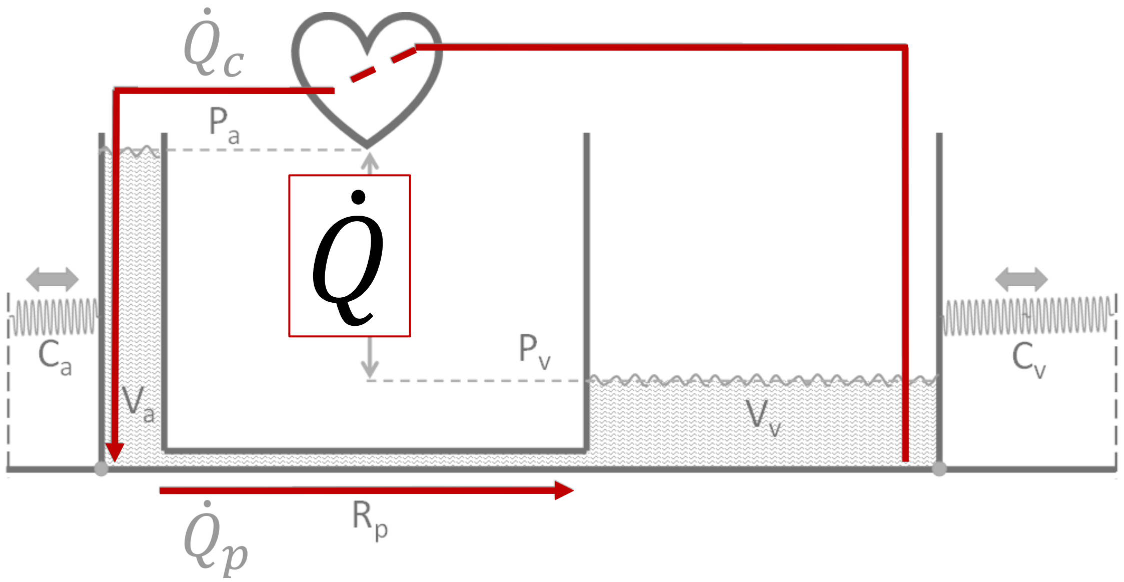


$$\dot{Q}(0) = P_e \cdot f \cdot K$$



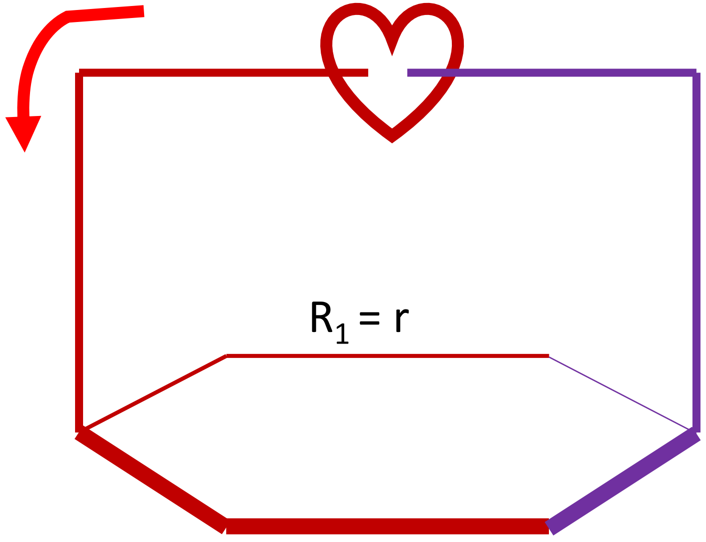
DÉBITO CARDÍACO

Vamos considerar $R_P = 0$ (é um caso extremado, hipotético)



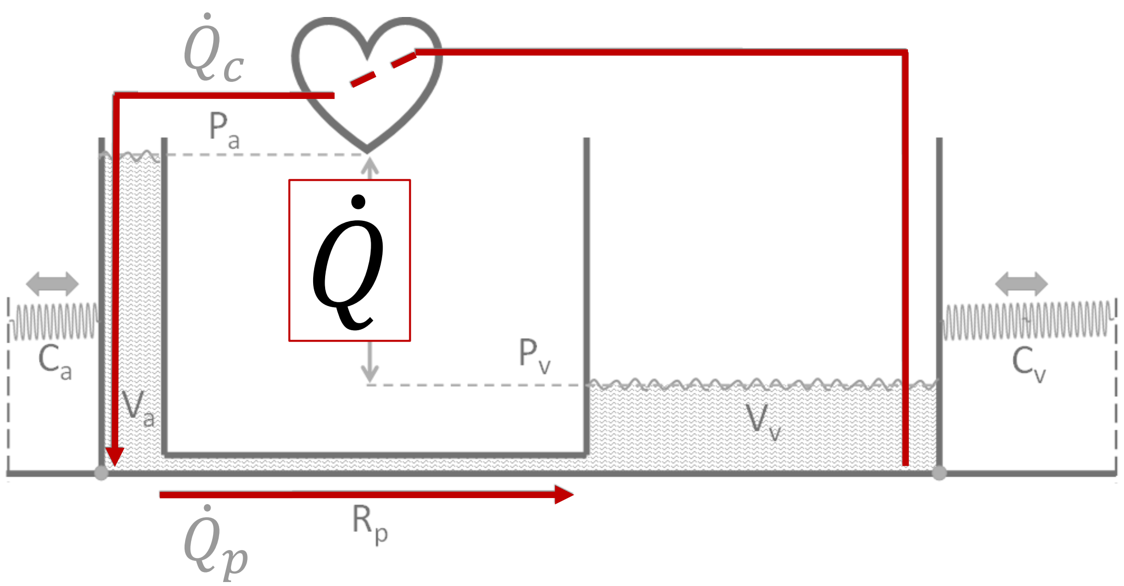
$$\dot{Q}(0) = P_e \cdot f \cdot K$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

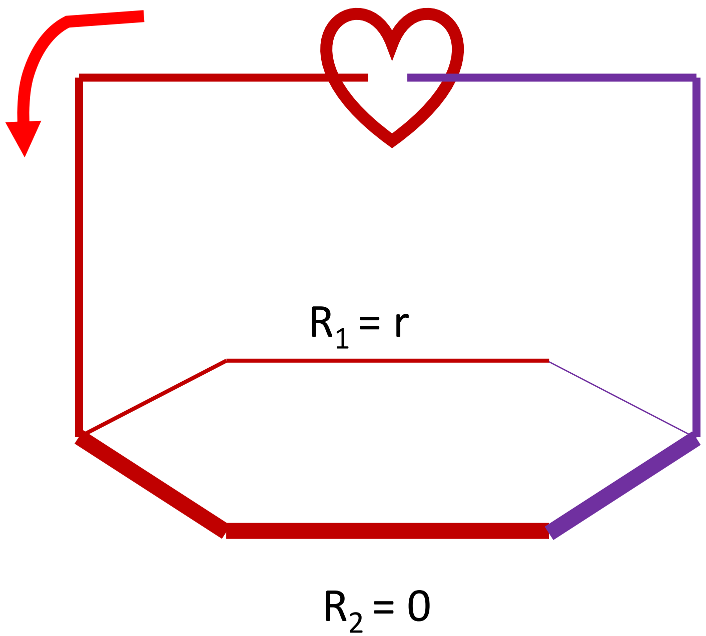


DÉBITO CARDÍACO

VAMOS CONSIDERAR $R_P = 0$ (É UM CASO EXTREMADO, HIPOTÉTICO)



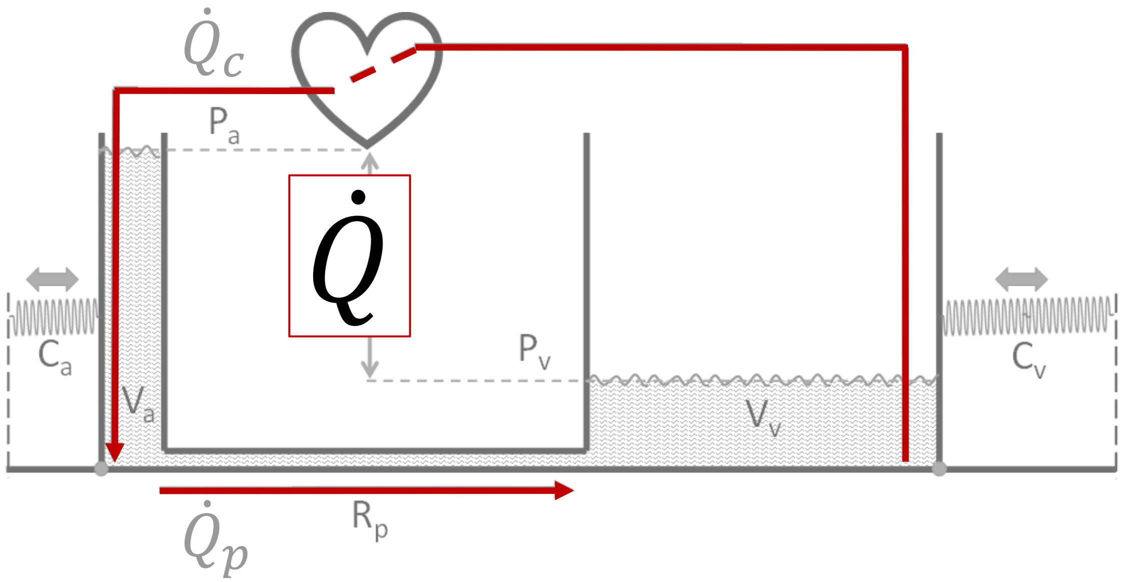
$$\dot{Q}(0) = P_e \cdot f \cdot K$$



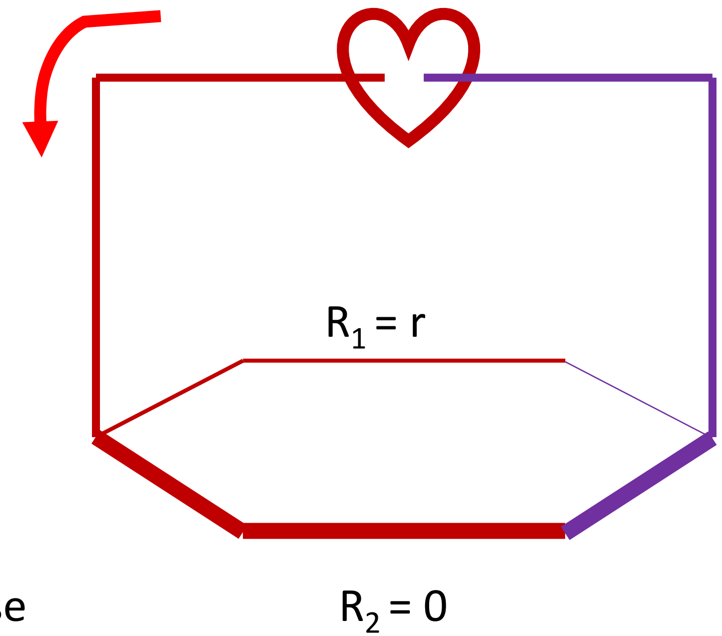
$$R_p = \frac{r \cdot R_2}{r + R_2}$$

DÉBITO CARDÍACO

VAMOS CONSIDERAR $R_P = 0$ (É UM CASO EXTREMADO, HIPOTÉTICO)



$$\dot{Q}(0) = P_e \cdot f \cdot K$$

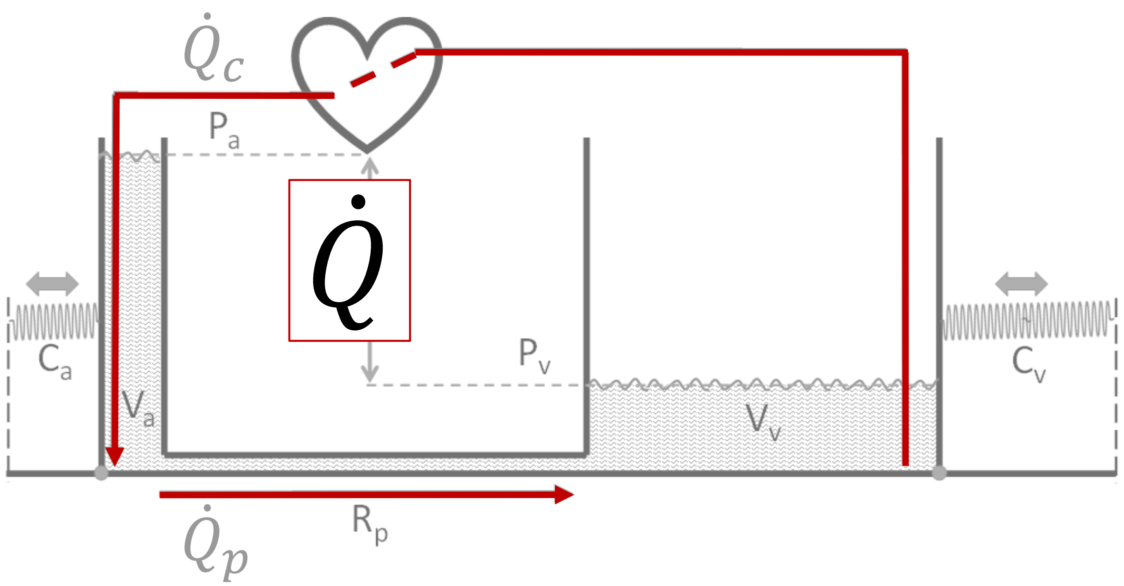


$$R_p = \frac{r \cdot R_2}{r + R_2} = 0$$

como pretendíamos que fosse

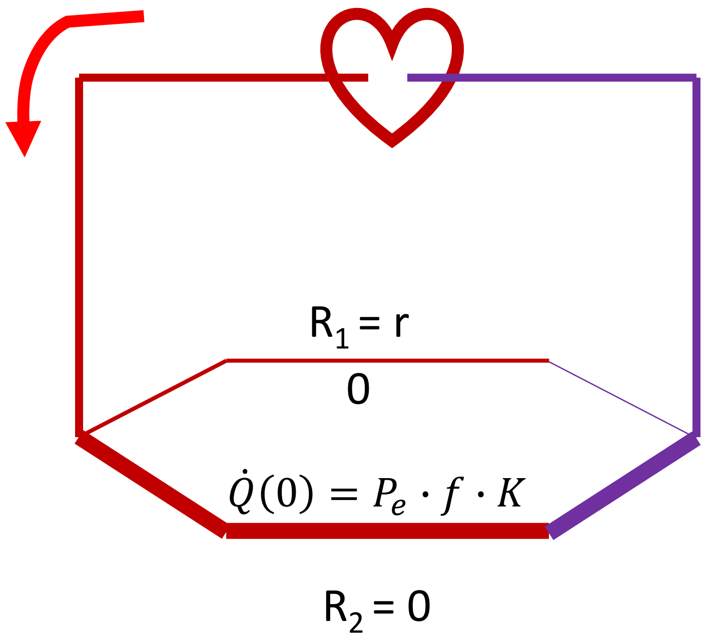
DÉBITO CARDÍACO

VAMOS CONSIDERAR $R_P = 0$ (É UM CASO EXTREMADO, HIPOTÉTICO)



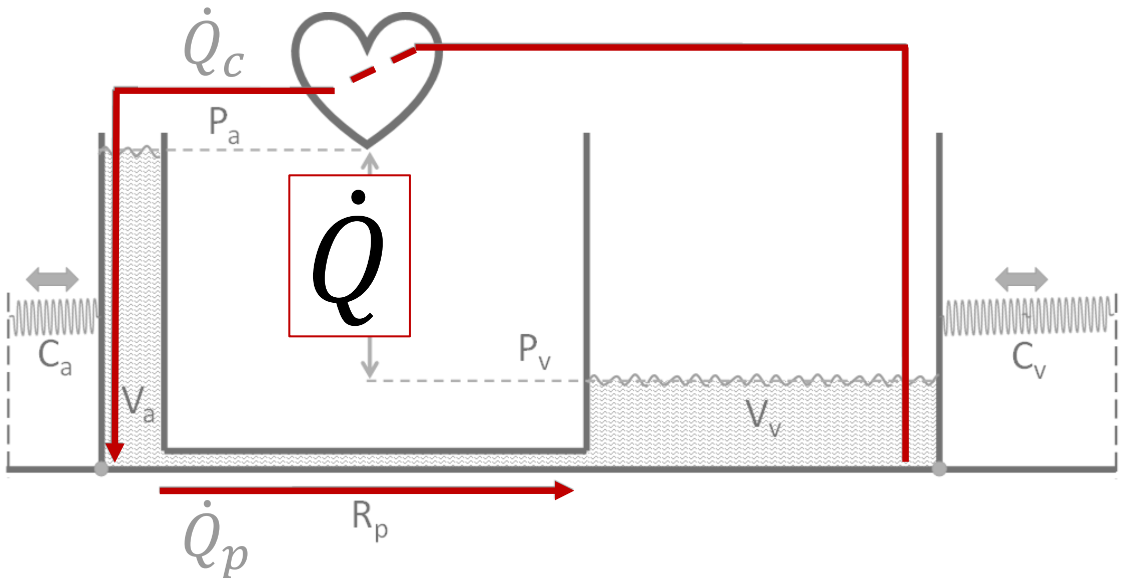
$$\dot{Q}(0) = P_e \cdot f \cdot K$$

$$R_p = \frac{r \cdot R_2}{r + R_2} = 0$$



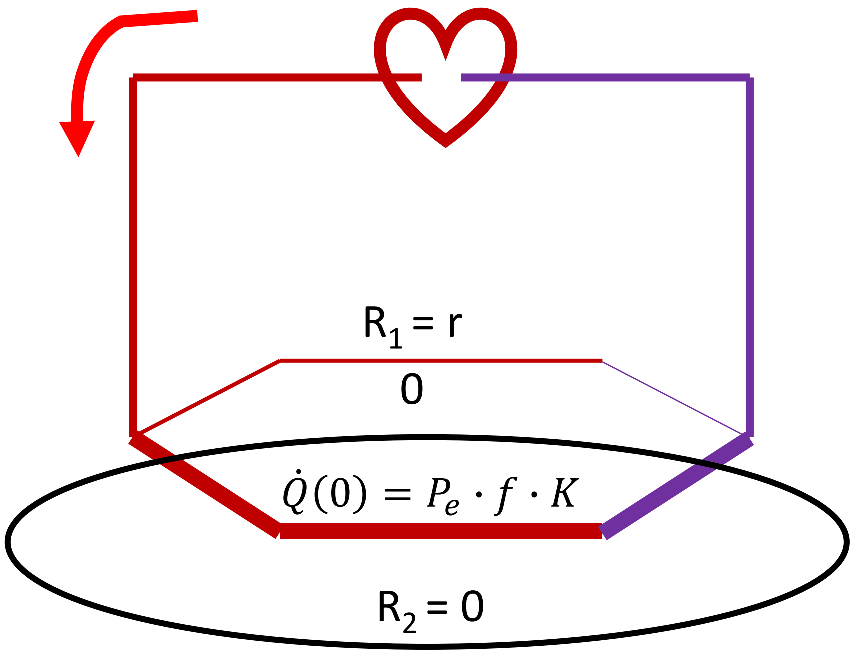
DÉBITO CARDÍACO

VAMOS CONSIDERAR $R_P = 0$ (É UM CASO EXTREMADO, HIPOTÉTICO)



$$\dot{Q}(0) = P_e \cdot f \cdot K$$

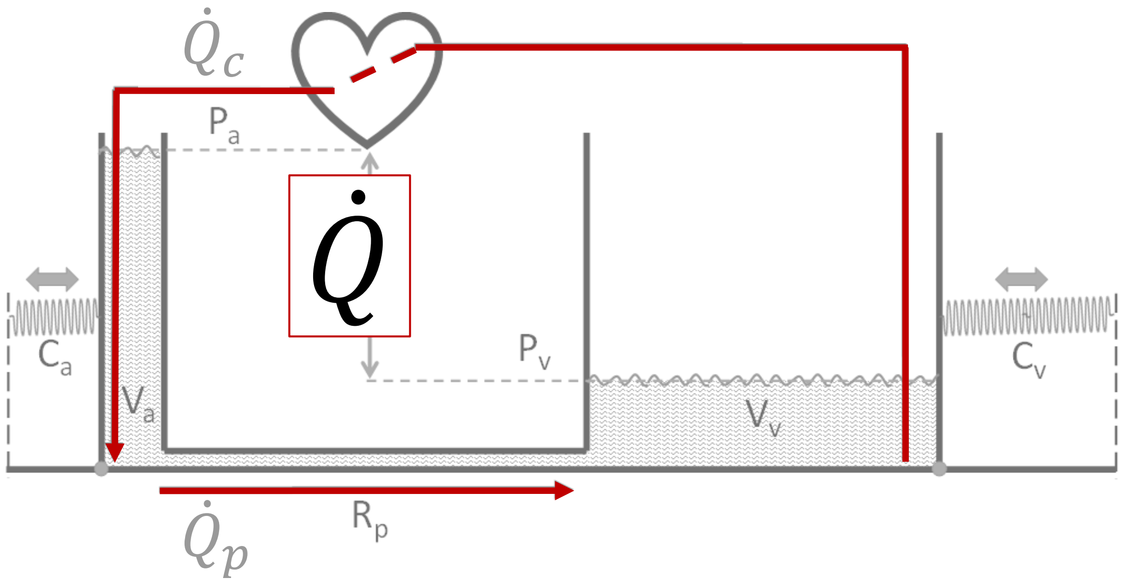
$$R_p = \frac{r \cdot R_2}{r + R_2} = 0$$



ou seja, todo o fluxo passa, somente, pela região de resistência zero

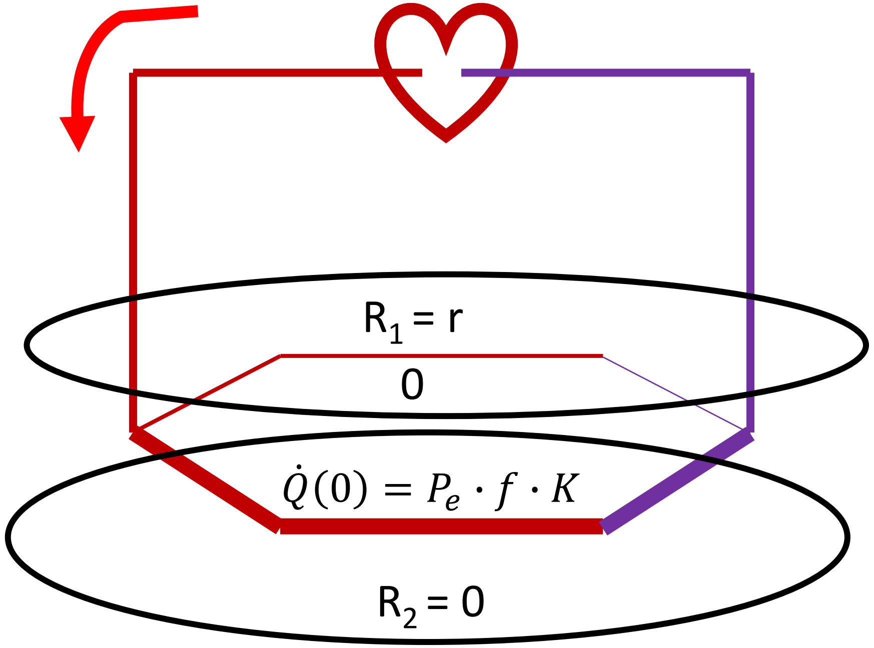
DÉBITO CARDÍACO

Vamos considerar $R_P = 0$ (é um caso extremado, hipotético)



$$\dot{Q}(0) = P_e \cdot f \cdot K$$

$$R_p = \frac{r \cdot R_2}{r + R_2} = 0$$



as demais regiões não recebem fluxo

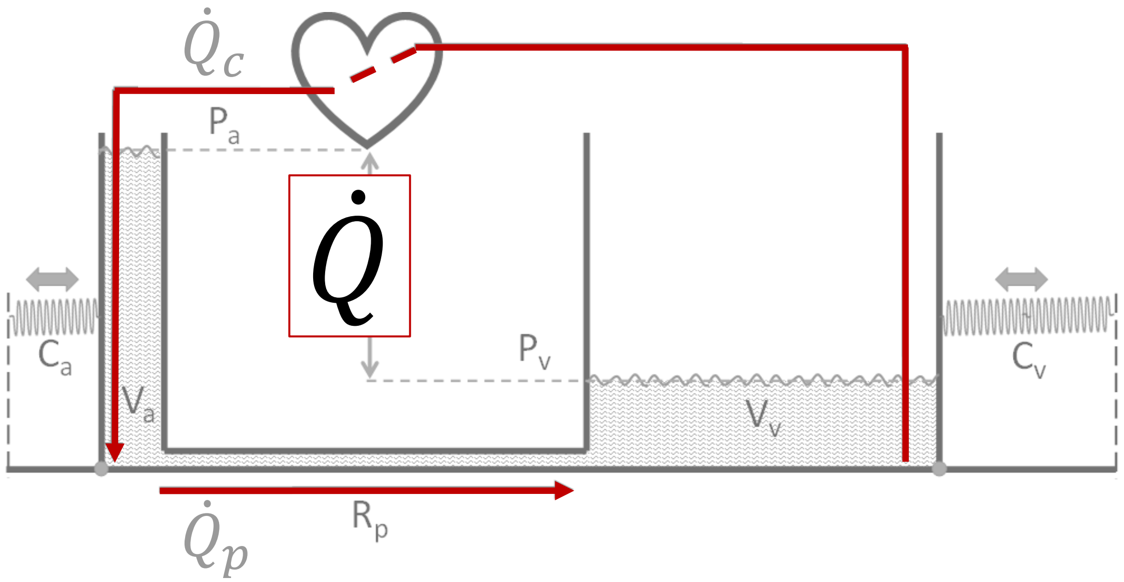
ou seja, todo o fluxo passa, somente, pela região de resistência zero

DÉBITO CARDÍACO

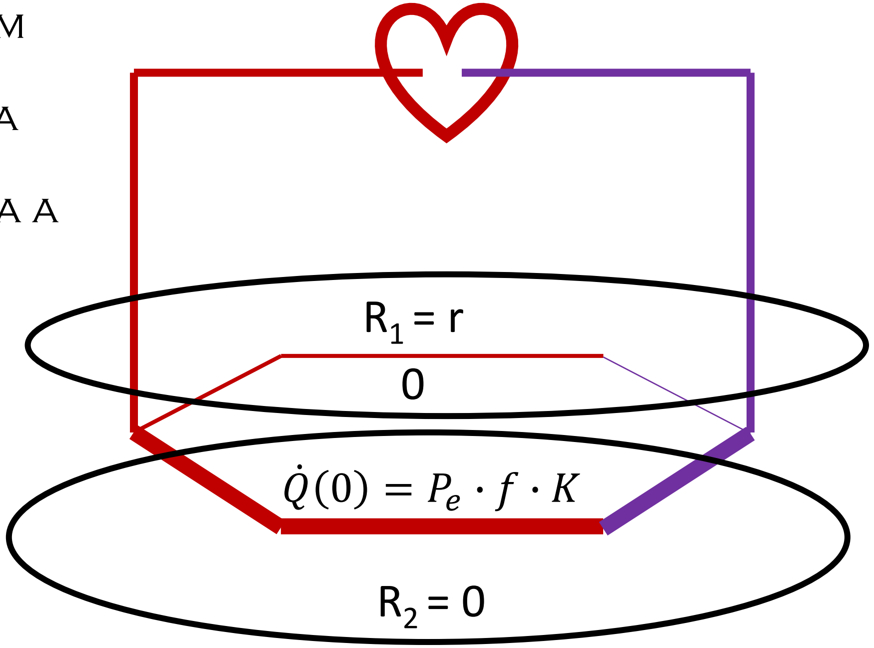
VAMOS CONSIDERAR $R_P = 0$ (É UM CASO EXTREMADO, HIPOTÉTICO)

ASSIM, O CASO DE RESISTÊNCIA ZERO NÃO SIGNIFICA "TODAS AS REGIÕES COM RESISTÊNCIA NULA".

DEVIDO AO ARRANJO EM PARALELO, SE UMA REGIÃO TEM RESISTÊNCIA EXTREMAMENTE DIMINUÍDA, DO PONTO DE VISTA GLOBAL A RESISTÊNCIA PERIFÉRICA SE TORNA PRÓXIMA A ESTE VALOR



$$\dot{Q}(0) = P_e \cdot f \cdot K$$



$$R_p = \frac{r \cdot R_2}{r + R_2} = 0$$

as demais regiões não recebem fluxo

ou seja, todo o fluxo passa, somente, pela região de resistência zero

DÉBITO CARDÍACO

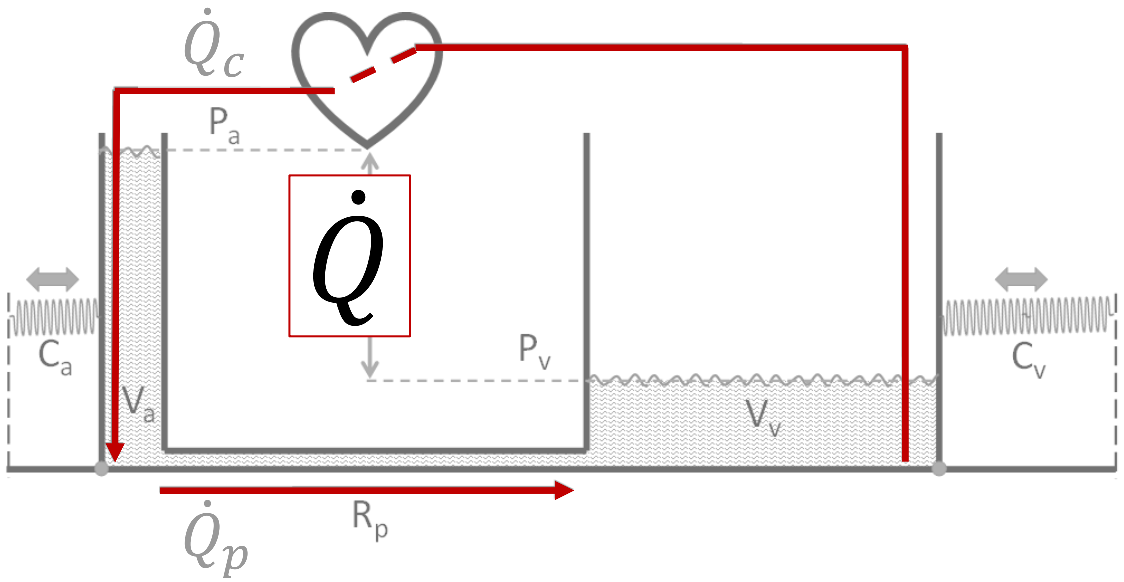
VAMOS CONSIDERAR $R_P = 0$ (É UM CASO EXTREMADO, HIPOTÉTICO)

ASSIM, O CASO DE RESISTÊNCIA ZERO NÃO SIGNIFICA "TODAS AS REGIÕES COM RESISTÊNCIA NULA".

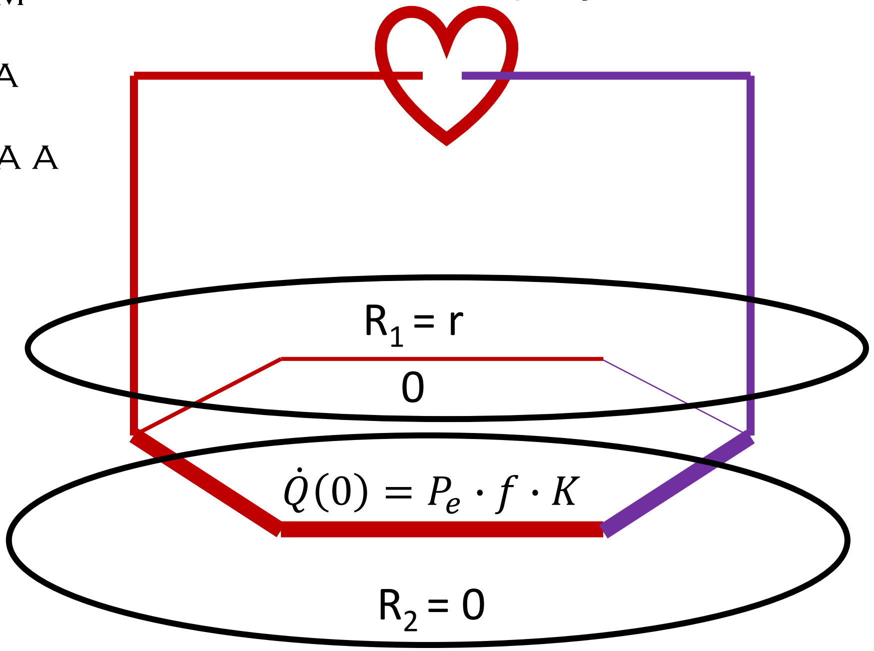
DEVIDO AO ARRANJO EM PARALELO, SE UMA REGIÃO TEM RESISTÊNCIA EXTREMAMENTE DIMINUÍDA, DO PONTO DE VISTA GLOBAL A RESISTÊNCIA PERIFÉRICA SE TORNA PRÓXIMA A ESTE VALOR

A PRESSÃO ARTERIAL CAI

AS DEMAIS REGIÕES NÃO RECEBEM FLUXO



$$\dot{Q}(0) = P_e \cdot f \cdot K$$



$$R_p = \frac{r \cdot R_2}{r + R_2} = 0$$

as demais regiões não recebem fluxo

ou seja, todo o fluxo passa, somente, pela região de resistência zero

DÉBITO CARDÍACO

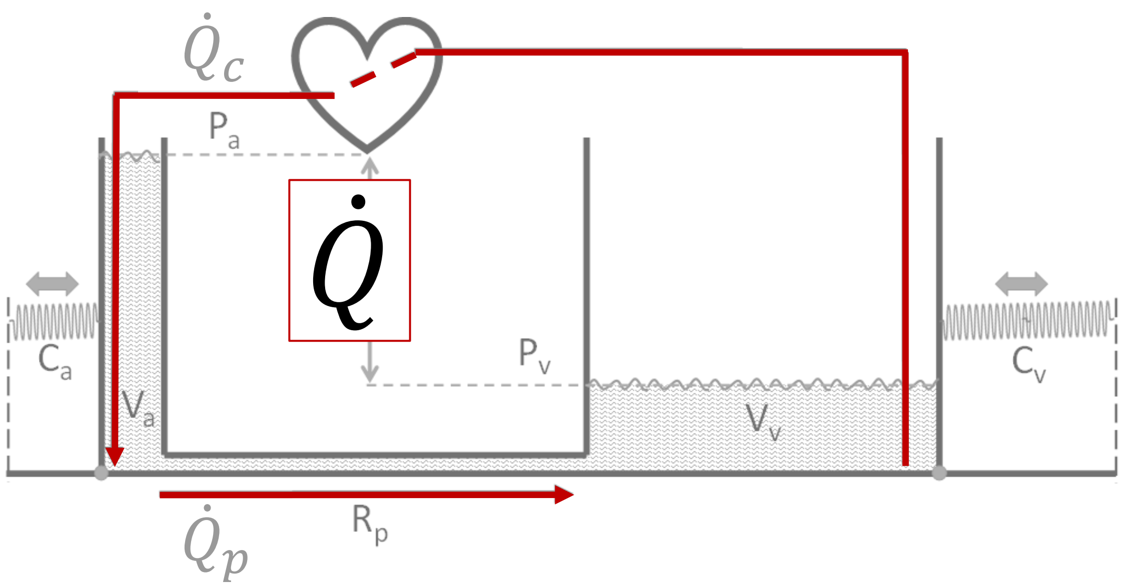
Vamos considerar $R_P = 0$ (é um caso extremado, hipotético)

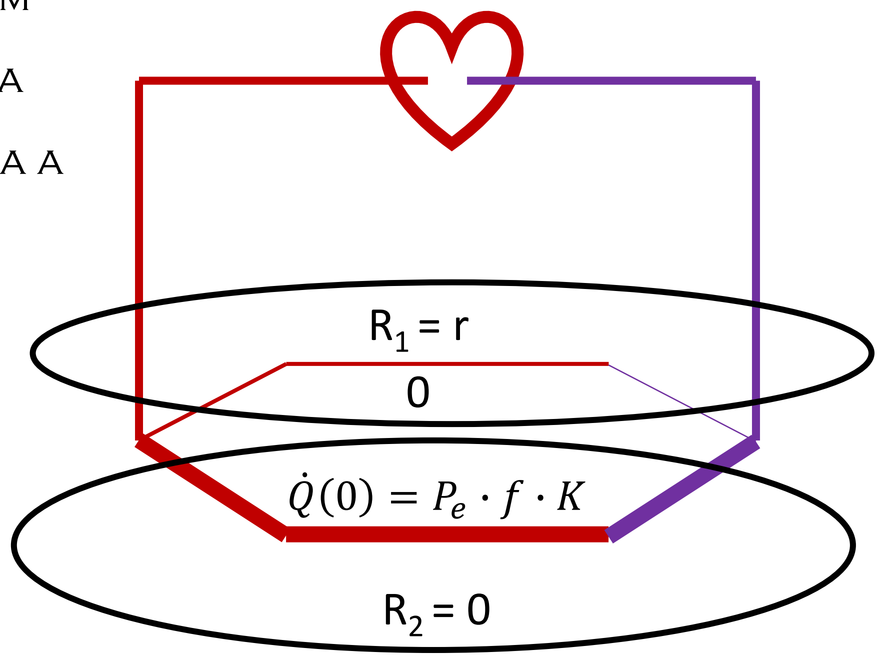
Assim, o caso de resistência zero não significa "todas as regiões com resistência nula".

Devido ao arranjo em paralelo, se uma região tem resistência extremamente diminuída, do ponto de vista global a resistência periférica se torna próxima a este valor

A pressão arterial cai

As demais regiões não recebem fluxo

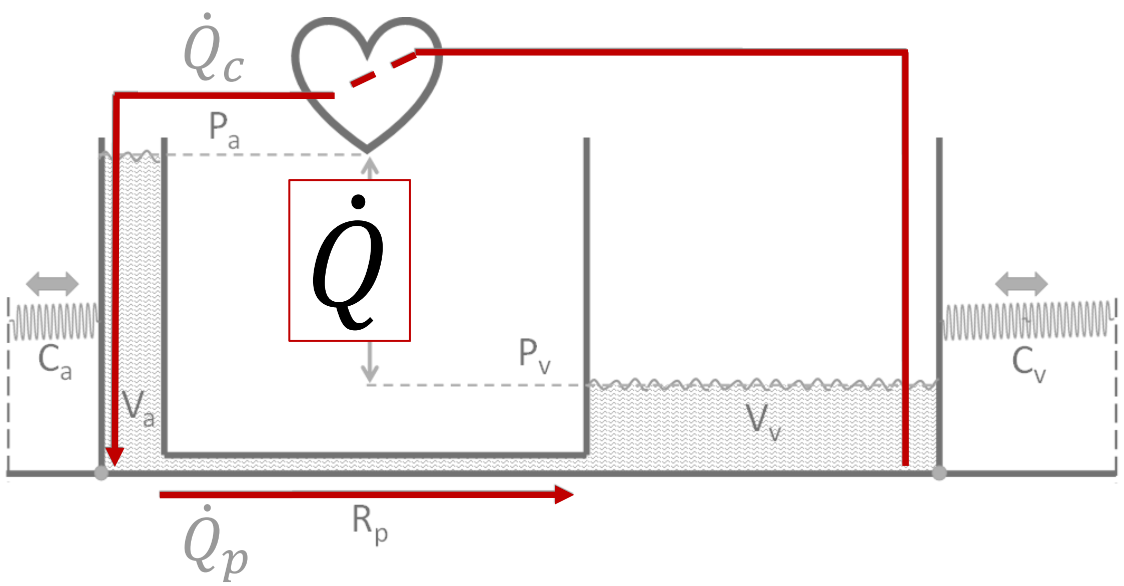




Este é o chamado "roubo de fluxo", o qual pode ocorrer dentro de um mesmo órgão

DÉBITO CARDÍACO

Variações relativas



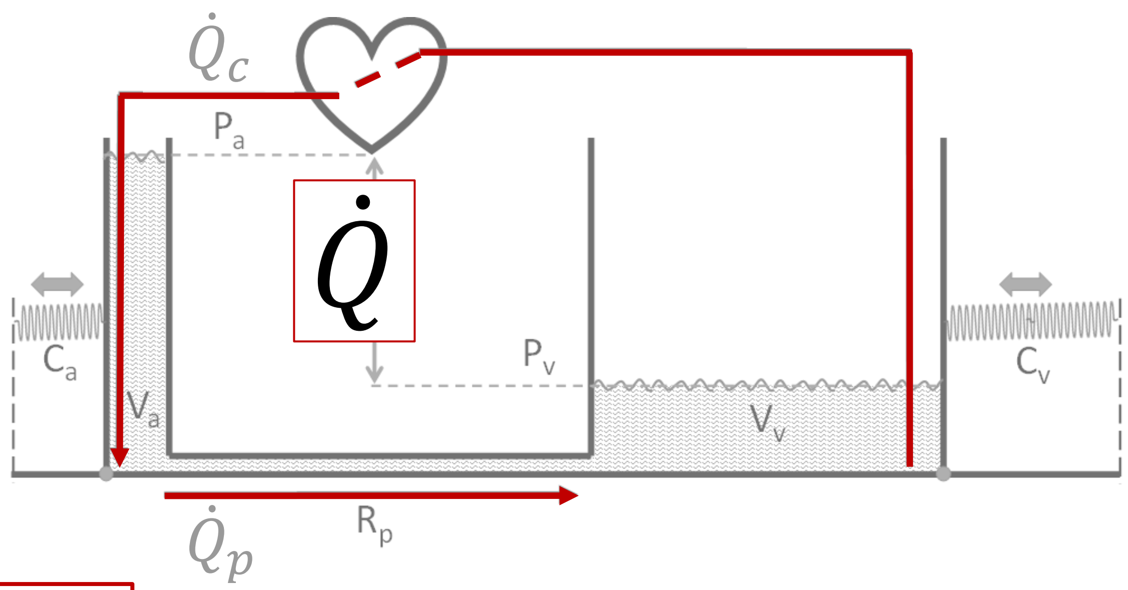
$$\frac{\left(\frac{\partial \dot{Q}}{\dot{Q}}\right)}{\left(\frac{\partial R}{R}\right)} = -\frac{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v}$$

$$\frac{\left(\frac{\partial P_a}{P_a}\right)}{\left(\frac{\partial R}{R}\right)} = \frac{f \cdot K \cdot C_v \cdot R_p}{(f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v) \cdot (f \cdot K \cdot R_p + 1)}$$

DÉBITO CARDÍACO

Variações relativas

$R_p \rightarrow \infty$



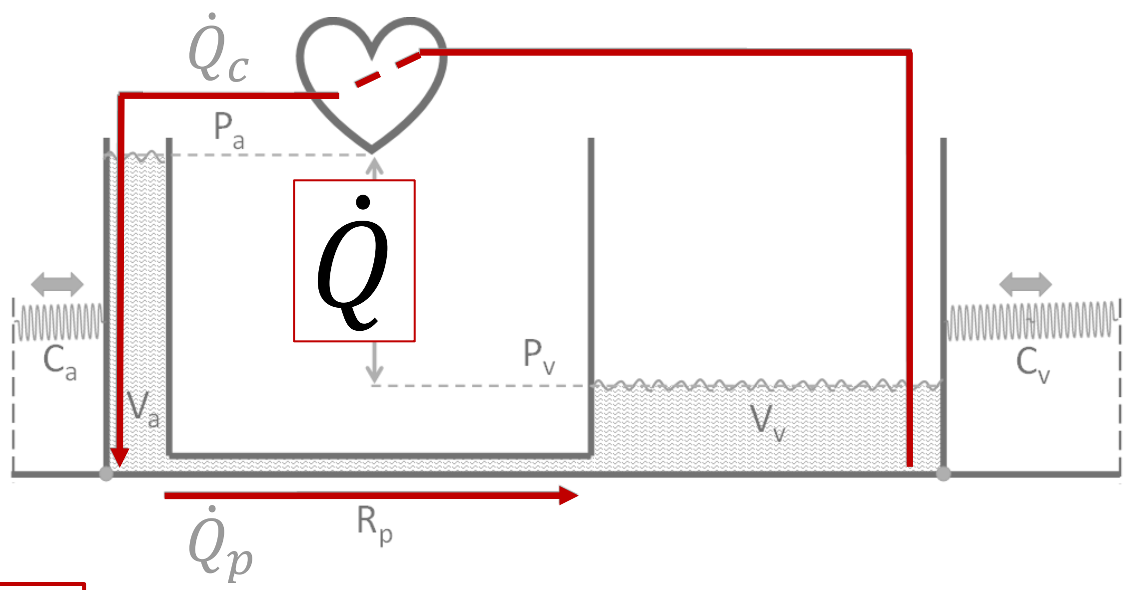
$$\frac{\left(\frac{\partial \dot{Q}}{\dot{Q}}\right)}{\left(\frac{\partial R}{R}\right)} = -\frac{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \rightarrow -1$$

$$\frac{\left(\frac{\partial P_a}{P_a}\right)}{\left(\frac{\partial R}{R}\right)} = \frac{f \cdot K \cdot C_v \cdot R_p}{(f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v) \cdot (f \cdot K \cdot R_p + 1)} \rightarrow 0$$

DÉBITO CARDÍACO

Variações relativas

$R_p \rightarrow 0$



$$\frac{\left(\frac{\partial \dot{Q}}{\dot{Q}}\right)}{\left(\frac{\partial R}{R}\right)} = -\frac{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v} \rightarrow 0$$

$$\frac{\left(\frac{\partial P_a}{P_a}\right)}{\left(\frac{\partial R}{R}\right)} = \frac{f \cdot K \cdot C_v \cdot R_p}{(f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v) \cdot (f \cdot K \cdot R_p + 1)} \rightarrow 0$$

DÉBITO CARDÍACO

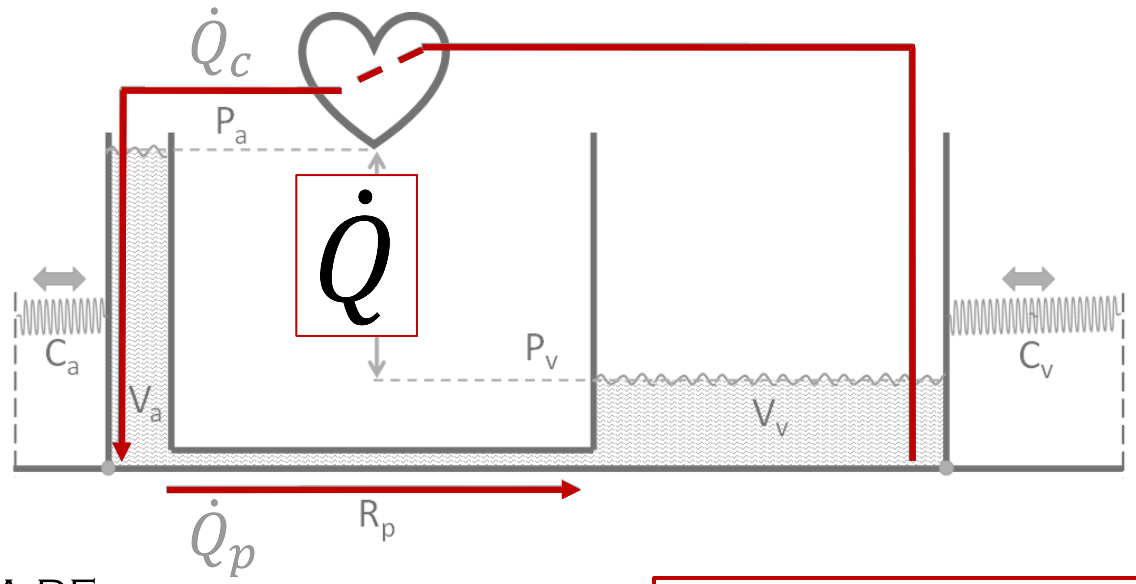
Variações relativas

$R_p \to \infty$

A resistência periférica deixa de ter controle sobre a pressão arterial e mantém controle sobre o fluxo

$R_p \to 0$

A resistência periférica deixa de ter controle sobre a pressão arterial e sobre o fluxo



$$\frac{\left(\frac{\partial \dot{Q}}{\dot{Q}}\right)}{\left(\frac{\partial R}{R}\right)} = -\frac{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v}$$

$$\frac{\left(\frac{\partial P_a}{P_a}\right)}{\left(\frac{\partial R}{R}\right)} = \frac{f \cdot K \cdot C_v \cdot R_p}{(f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v) \cdot (f \cdot K \cdot R_p + 1)}$$

DÉBITO CARDÍACO

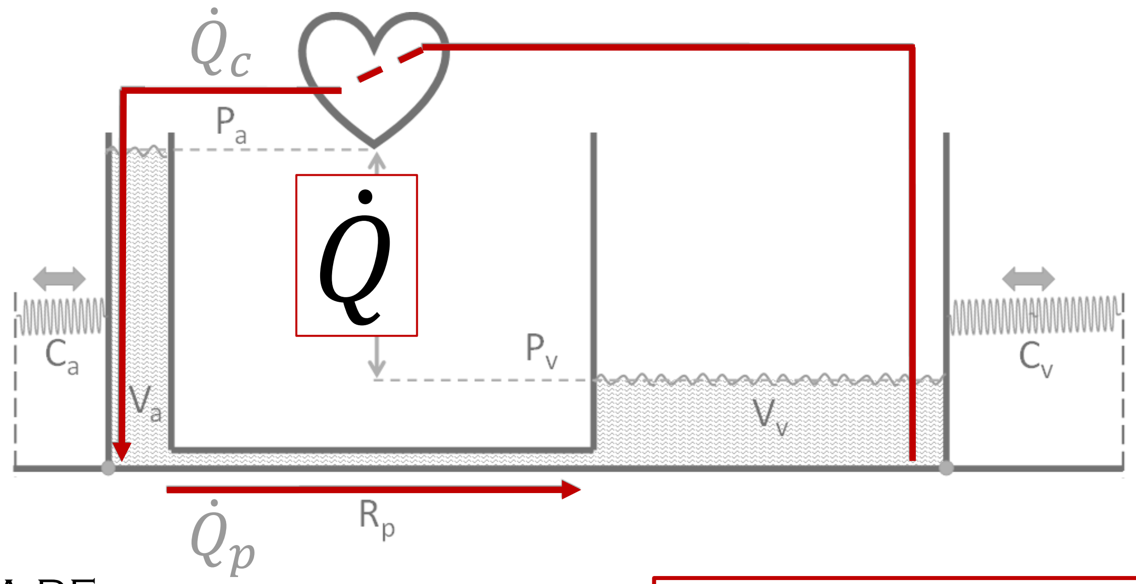
Variações relativas

$R_p \to \infty$

A resistência periférica deixa de ter controle sobre a pressão arterial e mantém controle sobre o fluxo

$R_p \to 0$

A resistência periférica deixa de ter controle sobre a pressão arterial e sobre o fluxo



$$\frac{\left(\frac{\partial \dot{Q}}{\dot{Q}}\right)}{\left(\frac{\partial R}{R}\right)} = -\frac{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p}{f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v}$$

$$\frac{\left(\frac{\partial P_a}{P_a}\right)}{\left(\frac{\partial R}{R}\right)} = \frac{f \cdot K \cdot C_v \cdot R_p}{(f \cdot K \cdot C_a \cdot R_p + C_a + C_v) \cdot (f \cdot K \cdot R_p + 1)}$$

$$\dot{V} = \frac{\pi r^4}{8 \mu L} \Delta P$$