

ULTRAFILTRAÇÃO

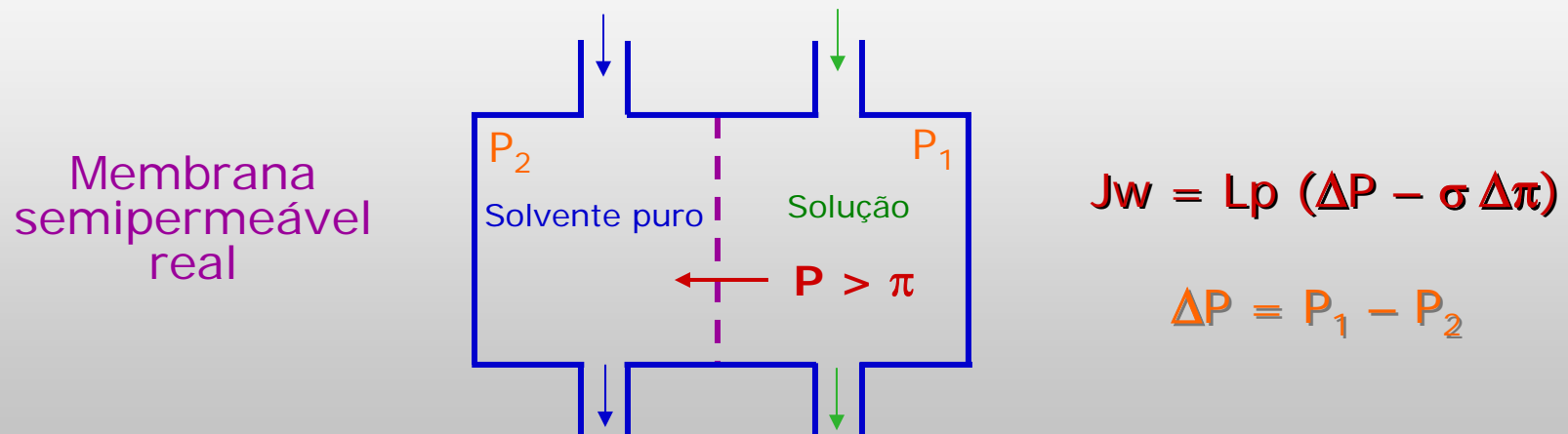
M Filomena Botelho

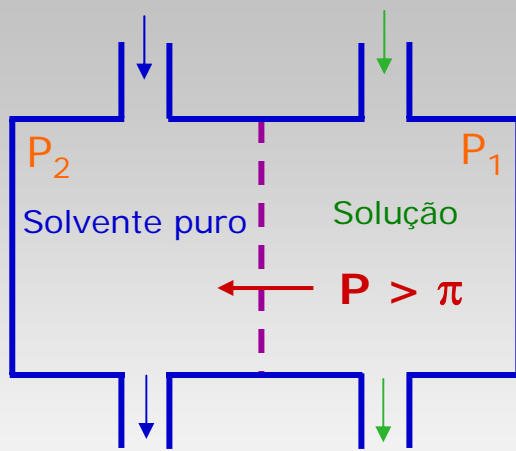
Ultrafiltração renal

A ultrafiltração renal, é uma situação muito importante, dependente dos movimentos do solvente

Processo de filtração glomerular no rim, com formação da urina primitiva

Vamos ver esquematicamente o que sucede:





Membrana semipermeável real

$$J_w = L_p (\Delta P - \sigma \Delta \pi)$$

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

A pressão hidrostática P (ΔP) é superior à pressão osmótica efectiva (π), donde resulta uma:

→ corrente de solvente da solução para o solvente puro

Nesta situação, a pressão hidrostática:

Ultrafiltração

- anula a osmose ← Forças de difusão a actuar sobre as moléculas do solvente
- fornece uma força de pressão adicional que faz deslocar o solvente para o lado do solvente puro, através da membrana

Filtração glomerular renal

No caso da filtração glomerular renal:

→ a nível da componente sanguínea →

→ a pressão hidrostática do sangue nos capilares glomerulares (resultante da acção mecânica do coração) é superior à pressão oncótica do sangue



a nível da parede dos capilares glomerulares há uma corrente de solvente (solvente mais pequenas moléculas e iões) que vai dos capilares para o espaço glomerular
(solução → solvente)

Esta corrente de solvente, corresponde à formação de:

- urina primitiva

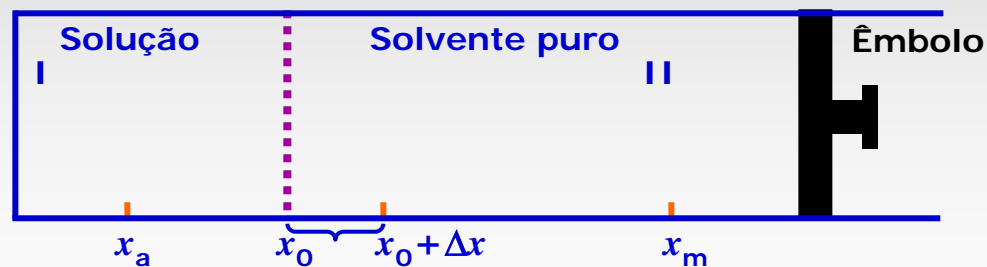
O trabalho dispendido na ultrafiltração glomerular é fornecido pelo coração:

↳ Forças de pressão (P)

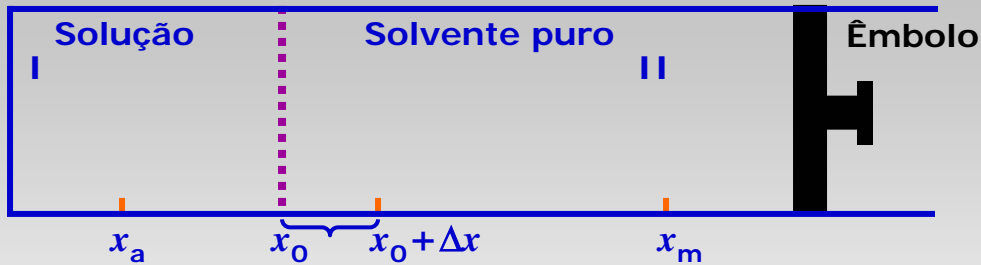
Se o coração não conseguir gerar esta pressão (caso de algumas situações de insuficiência cardíaca) no glomérulo, P pode não conseguir ultrapassar π deixando de se poder realizar a ultrafiltração glomerular

↳ anúria

Trabalho osmótico



- Membrana semi-permeável – tem área A – Funciona como êmbolo
- Lado I – contém solução de macromoléculas com concentração C - (moles/cm³)
- Lado II – contém solvente puro
- Êmbolo E – fixo



- Membrana semi-permeável – área A
Funciona como êmbolo
- Lado I – solução de macromoléculas
- Lado II – solvente puro
- Êmbolo E – fixo

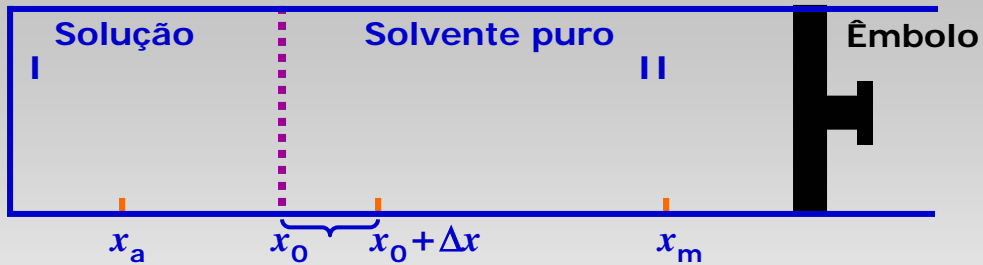
A temperatura constante, e em condições reversíveis:

→ o trabalho das forças de difusão para deslocar a membrana de x_0 para $x_0 + \Delta x$, é:

$$\Delta W = \pi \cdot A \cdot \Delta x$$

(trabalho elementar)

(Após este trabalho π diminui, pois a concentração da solução diminui, isto é, a pressão osmótica π é função de x)



- Membrana semi-permeável – área A
Funciona como êmbolo
- Lado I – solução de macromoléculas
- Lado II – solvente puro
- Êmbolo E – fixo

→ o trabalho das forças de difusão para deslocar o êmbolo de x_0 para x_m , é:

$$W = \sum_{x_0, x_m} \Delta W = \sum \pi \cdot A \cdot \Delta x$$

Como:

$$A \cdot \Delta x = \Delta V \quad (\text{volume do cilindro de área } A \text{ e comprimento de } x \text{ a } x_0 + \Delta x)$$

vem:

$$\Delta W = \sum \pi \cdot \Delta V$$

Mas tendo em atenção que o número de moles de soluto que existe no compartimento I, para as diversas posições do êmbolo (membrana), pode ser escrito:

$$n = C_0 \cdot A \cdot x_0$$

Para a posição x_0

$$n = C_1 \cdot A \cdot x_1$$

Para a posição x_1

$$n = C_2 \cdot A \cdot x_2$$

Para a posição x_2

⋮

⋮

Se $n = 1$, vem:

$$C_0 \cdot A = \frac{1}{x_0}$$

$$C_1 \cdot A = \frac{1}{x_1}$$

$$C_2 \cdot A = \frac{1}{x_2}$$

⋮

Generalizando: $C \cdot A = \frac{1}{x}$

Voltando à equação do trabalho das forças de difusão para o deslocamento do êmbolo de x_0 a x_m :

$$W = \sum \pi \cdot A \cdot \Delta x$$

No limite, quando $dx \rightarrow 0$, o somatório transforma-se no integral definido:

$$W = \int_{x_0}^{x_m} \pi \cdot A \cdot dx$$

Como: $\pi = CRT$

C = concentração molar

Vem:

$$W = \int_{x_0}^{x_m} C \cdot R \cdot T \cdot A \cdot dx$$

$$W = RT \int_{x_0}^{x_m} C \cdot A \cdot dx$$

$$W = R T \int_{x_0}^{x_m} C \cdot A \cdot dx$$

Mas já vimos que:

$$C \cdot A = \frac{1}{x}$$

Então:

$$W = R T \int_{x_0}^{x_m} \frac{1}{x} dx$$

$$W = R T \ln \frac{x_m}{x_0}$$

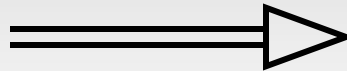
$$W = R T \ln \frac{x_m}{x_0}$$

$$W = \sum \pi \cdot A \cdot \Delta x$$

Mas:

$$\pi_1 = C_1 RT$$

$$\pi_2 = C_2 RT$$



$$\frac{\pi_1}{\pi_2} = \frac{C_1}{C_2}$$

Contudo, sabemos também que:

$$\frac{\pi_1}{\pi_2} = \frac{C_1}{C_2}$$

$$\text{Uma vez que } C A = \frac{1}{x}$$

Sendo assim:

$$W = R T \ln \frac{C_0}{C_m}$$

$$W = R T \ln \frac{C_0}{C_m}$$

$$W = R T \ln \frac{\pi_0}{\pi_m} \left. \vphantom{\frac{\pi_0}{\pi_m}} \right\} \text{Trabalho realizado pelas forças de pressão osmótica para diluir a solução desde a concentração } C_0 \text{ a } C_m$$

π_0 – pressão osmótica da solução para a posição x_0

π_m – pressão osmótica da solução para a posição x_m

C_0 – concentração do soluto para a posição x_0

C_m – concentração do soluto para a posição x_m

Voltando ao esquema anterior:



Se no êmbolo **E** actuar uma força de pressão hidrostática **P**, de tal maneira que se ultrapasse a pressão osmótica da solução π :

- a membrana (que se comporta como um êmbolo) desloca-se para uma posição à esquerda do x_0 .

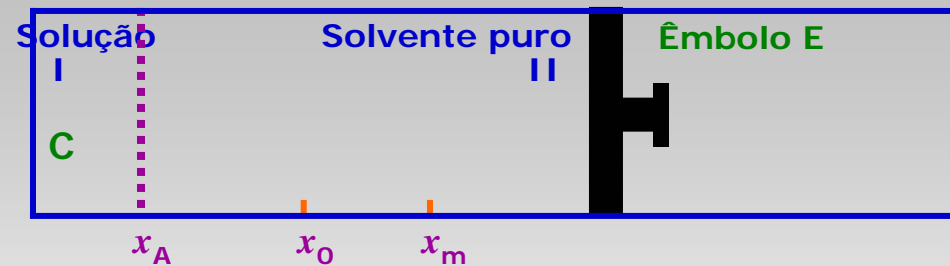
Quando este deslocamento ocorre, a pressão hidrostática da solução fica maior do que a pressão osmótica.

Nesta situação vai haver um:

- deslocamento de solvente do lado da solução para o lado do solvente (a solução tende a concentrar).

 ULTRAFILTRAÇÃO

Voltando ao esquema anterior:



Se a membrana se deslocar para x_A , podemos dizer que a concentração da solução é C_A .

Neste caso, o trabalho efectivo pela força de pressão hidrostática P , em condições de reversibilidade, é de:

$$W = R T \ln \frac{\pi_A}{\pi_0}$$

$$W = R T \ln \frac{C_A}{C_0}$$

Trabalho realizado contra as forças de pressão osmótica

Trabalho do Rim

Poderia por-se então uma pergunta:

→ qual o trabalho renal na excreção de 1 osmole ?

Abaixamento crioscópico do soro:

$$- \Delta\theta = 0,56 \text{ }^\circ\text{C} \quad \rightarrow \quad 0,298 \text{ osmoles/l}$$

Abaixamento crioscópico da urina:

$$- \Delta\theta = 3,5 \text{ }^\circ\text{C} \quad \rightarrow \quad 1,8 \text{ osmoles/l}$$

Isto significa que o rim produz trabalho para aumentar a osmolaridade.

Então:

$$W = R T \ln \frac{C_u}{C_s} = R T \ln \frac{\pi_u}{\pi_s}$$

$$W = R T \ln \frac{C_u}{C_s} = R T \ln \frac{\pi_u}{\pi_s}$$

Como:

$$\Delta\theta = K C_s$$

Vem que:

$$W = R T \ln \frac{\Delta\theta_u}{\Delta\theta_s}$$

$$W = 8,314 \times 310 \times \ln 6$$

$$W = 2600 \times \ln 6 \approx 5000 \text{ J/osmole}$$

Este trabalho, contudo, não é realizado reversivelmente, pois, o rim depende energia noutro tipo de processos

Por dia:

O rim elimina cerca de 1,5 l de urina, o que corresponde a 2,7 osmoles.

Sendo assim:

→ o trabalho total renal é:

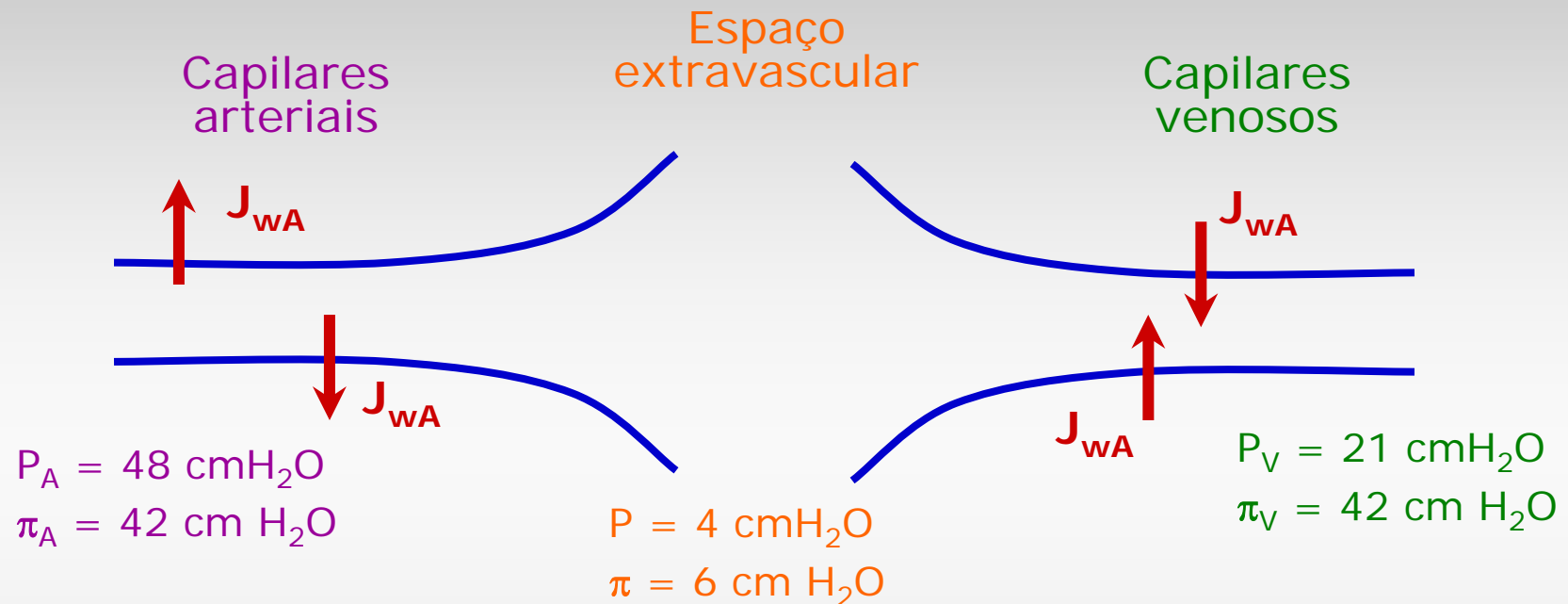
$$W = 13\,500 \text{ J/dia}$$

(Se for realizado reversivelmente)

Na realidade é maior

Fenómeno de Starling

Fenómeno de Starling




- P_A - Pressão hidrostática nos capilares arteriais
- π_A - Pressão osmótica nos capilares arteriais
- P - Pressão hidrostática no espaço extravascular
- π - Pressão osmótica no espaço extravascular
- P_V - Pressão hidrostática nos capilares venosos
- π_V - Pressão osmótica nos capilares venosos

Aplicando a expressão da densidade de corrente de água a cada tipo capilar, e considerando as diferenças de pressões entre o interior e o exterior dos vasos, vem:

Parte arterial

$$\begin{aligned} J_{wA} &= Lp (\Delta P - \Delta \pi) = Lp [(P_A - P) - (\pi_A - \pi)] \\ &= Lp (48 - 4 - 42 + 6) = Lp 8 \end{aligned}$$

 $J_{wA} > 0$

Na porção arterial dos capilares:

→ J_{wA} tem sinal positivo, o que significa que o solvente sai do interior para o exterior do vaso capilar (para o espaço extracelular)

Parte venosa

$$\begin{aligned} J_{wv} &= Lp (\Delta P - \Delta\pi) = Lp [(P_V - P) - (\pi_V - \pi)] \\ &= Lp (21 - 4 - 42 + 6) = - Lp 19 \end{aligned}$$

$J_{wv} < 0$

Na porção venosa dos capilares:

→ J_{wv} tem sinal negativo, pelo o que o solvente passa do espaço extracelular para o interior do capilar venoso



É a esta entrada de solvente para os capilares venosos que constitui o:
Fenómeno de Starling

Qualquer alteração deste mecanismo, pode provocar a acumulação de fluidos no espaço extravascular, provocando os:

→ edemas

Causas para o aparecimento de edemas:

1. Diminuição da concentração de proteínas na plasma

$\downarrow \pi_A \rightarrow$ J_{wA} - aumenta
 J_{wV} - diminui || Situações de nefroses

2. Aumento da pressão hidrostática venosa

$\uparrow P_V \rightarrow$ Insuficiência cardíaca

Membranas Biológicas

As membranas biológicas são:

- modelos de permeabilidade
- outras funções

Constituição da membrana biológica:

- Porção lipídica – barreira à permeabilidade de
→ moléculas e iões hidrossolúveis
- Porção proteica (proteínas intercaladas) – formas de:
 - transporte diferentes (transporte facilitado, transporte activo)
 - transferência de energia
 - transferência de carga eléctrica

Outras funções:

- Dependentes de componentes funcionais próprios
 - bombas iónicas
 - canais de transporte
 - receptores membranares