# ظواهر النقل عبر الأغشية
# Phenomenon Of The Transport Trans-Membranes

د.نبيل درغام

# ظواهر النقل عبر الأغشية
# Phenomenon Of The Transport Trans-Membranes

1 – مدخل Introduction

2 – آليات النقل عبر الأغشية Mechanisms of the transport trans-membranes

3 – القوى المؤثرة في النقل عبر الأغشية The affecting forces in the transport trans-membranes

4 – أنواع الأغشية Types of membranes

5 – الانتشار وقانون فيك The diffusion and Fick law's

6 – نقل الجزيئات المتعادلة كهربائياً Transport of the neutral electrical molecules

7 – نقل الشوارد أو الجزيئات المشحونة Transport of the ions or the charged molecules

8 – الحلول The osmosis

9 – الضغط الحلولي (التناضحي) The osmotic pressure

10 – الضغط الأنكوتي The oncotic pressure

11 – تطبيقات طبية للضغط الحلولي Medical applications for the osmotic pressure

12 – العمل الكلوي Renal work

13 – الانجماد – قانون راؤول Freezing – Raool's law

## 1 – مدخل Introduction:

من المعروف بأن الخلية ومكوناتها فوق الخلوية (ميتاكوندريات، ريبوزومات، أنوية،....) تتبادل المعلومات والطاقة الضرورية لتجديد تركيبها الخلوي عن طريق نقولات (تبادلات) مستمر لمواد منحلة (متعادلة أو مشحونة، جزيئات ضخمة أو مجهرية) ضرورية لبقائها على قيد الحياة بين الأوساط (الحجيرات) الداخل والخارج خلوية عبر تكوينات مميزة أطلق عليها اسم الأغشية، ومن أهم هذه الأغشية نذكر الأغشية الخلوية والتي تلعب دوراً مزدوجاً وهاماً في حياة الخلايا: تشريحي يتجلى باعتبار الغشاء حاجزاً يفصل بين وسطي الخلية (الداخلي والخارجي)، وآخر وظيفي يتحكم في نقل المواد والمعلومات منها وإليها. يتميز الغشاء الخلوي بكونه يحتوي على ثقوب، وبأنه يحفظ بصورة انتقائية اختلافات في التركيز بين وجهيه (طبقتيه). إضافة لذلك، تعتبر هذه النقولات (التبادلات) الأصل في الوظائف الخلوية الهامة (مثال ذلك النشاط الكهربائي). يتحكم بعملية النقل (التبادل) عبر الغشاء قوى وآليات مختلفة ترتبط بعدة عوامل هي: طبيعة الغشاء، طبيعة المواد المنقولة (المتبادلة)، حلولية مكونات أوساط التبادل، والضغط الميكانيكي أو الهيدروستاتيكي المطبق على الغشاء.

## 2 – آليات النقل عبر الغشاء Mechanisms of the transport trans-membranes:

### 2 – 1 – النقل المنفعل (العفوي) Passive transport:

يتصف هذا النوع من النقل بما يلي:

أ – يحدث دائماً من وسط أكثر تركيزاً باتجاه وسط أقل تركيزاً (التدرج في التركيز).

ب – لا يستلزم حدوثه استهلاك في الطاقة.

ج – يحدث بسهولة كبيرة وذلك بقدر ما تكون المادة المنقولة كارهة للماء.

د – من الممكن أن يحدث مباشرة عبر الطبقة الليبيدية المضاعفة أو عبر الأقنية البروتينية.

### 2 – 2 – النقل المنفعل الميسر:

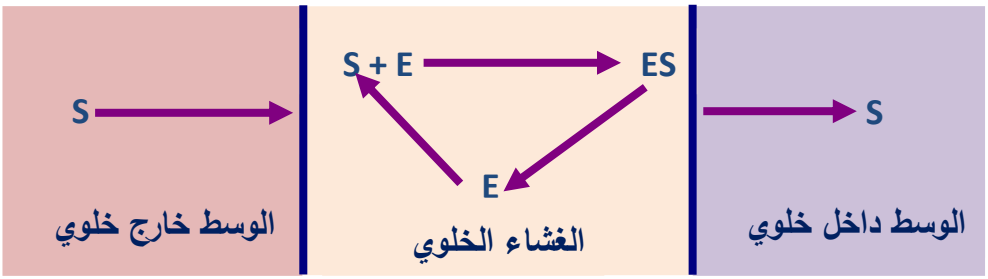
يتصف هذا النوع من النقل بما يلي:

أ – يحدث دائماً من وسط أكثر تركيزاً باتجاه وسط أقل تركيزاً (التدرج في التركيز).

ب – لا يستلزم حدوثه استهلاك في الطاقة.

ج – في بعض الأحيان يحدث النقل المنفعل الميسر بسهولة أكبر من النقل المنفعل (العفوي) وذلك من أجل نفس التدرج في التركيز. ويفسر ذلك باعتبار أن النقل المنفعل الميسر يوجب تدخل ناقلات غشائية والتي يتجلى دورها بالمشاركة مع المادة المنحلة المنقولة لتسهيل وتسريع عبورها.

تعتبر آلية عمل الناقلات الغشائية مشابهة لعمل الأنزيمات حيث يمكن تمثيل ذلك وفق المخطط التالي:




**S**: المادة المنحلة المنقولة، **E**: الناقل الغشائي و **ES**: المعقد الناقل الغشائي – المادة المنحلة المنقولة.

## 3 – 2 – <u>النقل الفعّال (النشط) Active transport</u>:

يتصف هذا النوع من النقل بما يلي:

أ – يحدث دائماً بعكس التدرج في التركيز (ينزع باتجاه زيادته).

ب – يستلزم حدوثه استهلاك في الطاقة وذلك على شكل ATP.

## 3 – القوى المؤثرة في النقل عبر الغشاء:

## The affecting forces in the transport trans-membranes:

يتحكم بالنقل عبر الغشاء أربع أنواع من القوى هي:

### 3 – 1 – قوى الانتشار Diffusion forces:

وتتصف بما يلي:

أ – تتجه باتجاه التدرج في التركيز.

ب – تنزع إلى مجانسة التراكيز على جانبي الغشاء.

### 3 – 2 – قوى كهربائية Electric forces:

وتتصف بما يلي:

أ – عبارة عن قوى كولونية.

ب – تتدخل فقط في حالة نقل الشوارد.

ج – تنزع إلى إعادة الحيادية (التعادلية) الكهربائية على جانبي الغشاء.

### 3 – 3 – قوى مرتبطة بآليات فعّالة (نشطة):

تتصف بما يلي:

أ – من الممكن أن يعاكس اتجاهها اتجاه التدرج في التركيز.

ب – تعزى إلى مضخات ATP – مرتبطة.

ج – تتدخل بصفة نوعية في حالة النقل الفعّال.

**4 – 3 – قوى هيدروديناميكية Hydrodynamic forces:**

في الحالة العامة يمكن إهمال هذه القوى، ولا تتدخل سوى في حال تواجد الغشاء على تماس مع محل متحرك (نذكر على سبيل المثال جريان الدم بتماس مع الخلايا البطانية).

**4 – أنواع الأغشية Types of membranes:**

يمكن أن نميز عدة أنواع من الأغشية هي:

**4 – 1 – الأغشية نصف النفوذة المثالية:**

هي الأغشية التي لا تسمح سوى بمرور الماء.

**4 – 2 – الأغشية نصف النفوذة البيولوجية:**

هي الأغشية التي تسمح بمرور الماء، البولة، والغليكوز، إلا أنه في بعض الأحيان لا يمكن للغليكوز أن ينتشر عبرها إلا بعد انقضاء فترة من الزمن، لذلك نقول في هذه الحالة بأن الغليكوز قابل للانتشار عبر هذا النوع من الأغشية على المدى الطويل (نذكر على سبيل المثال الغشاء الهيماثي).

**4 – 3 – الأغشية النفوذة:**

هي الأغشية التي تسمح بمرور الماء وكل الجزيئات الصغيرة والشوارد ذات الوزن الجزيئي الذي يقل عن 10000 دالتون، بالإضافة إلى المواد التي تقل أبعادها عن مساحة مقطع الثقوب في الغشاء (نذكر على سبيل المثال الغشاء البطاني للشعريات).

## 4 – 4 – الأغشية النوعية (الانتقائية):

هي الأغشية المكوّنة من جزيئات أطلق عليها اسم ناقلات مستهلكة أو غير مستهلكة للطاقة.

## 5 – الانتشار وقانون فيك The diffusion and Fick law's:

الانتشار بالتعريف عبارة عن نقل مجهري مرتبط بشكل أساسي باختلاف التركيز.

لقد أثبت العالم فيك بأن تدفق المادة المنحلة (أي الوزن المنتشر بواحدة الزمن ويسمى أيضاً بالمعدل الوزني) $\left(\frac{dm}{dt}\right)_{t,x}$ يتناسب طرداً مع قيمة التدرج في التركيز الوزني $\left(\frac{dc}{dx}\right)_{t,x}$ وكذلك مع مقطع سطح القناة (أو سطح التبادل بين الوسطين) $S$ ويعبر عن ذلك رياضياً بالعلاقة التالية:

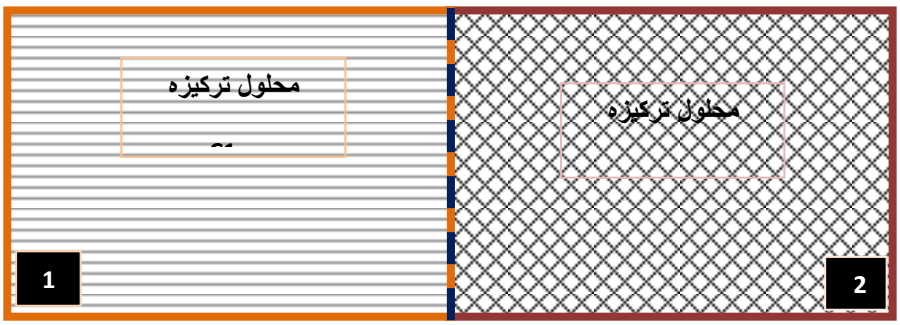
$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_{t,x} = -\mathbf{D} \times S \times \left(\frac{dc}{dx}\right)_{t,x}$$

يقدر $\left(\frac{dm}{dt}\right)_{t,x}$ حسب جملة الوحدات الدولية بإحدى الوحدتين التاليتين: $\mathrm{Kg} \times \mathrm{s}^{-1}$ أو $\mathrm{mol} \times \mathrm{s}^{-1}$

ويقدر $\left(\frac{dc}{dx}\right)_{t,x}$ حسب جملة الوحدات الدولية بإحدى الوحدتين التاليتين: $\mathrm{Kg} \times \mathrm{m}^{-4}$ أو $\mathrm{mol} \times \mathrm{m}^{-4}$

يسمى **D** معامل الانتشار ويقدر حسب الجملة الدولية بال $\mathrm{m}^2 \times \mathrm{s}^{-1}$ أما $S$ فتقدر بال $\mathrm{m}^2$

تجدر الإشارة إلى أن دراسة التدرج في التركيز من خلال حجيرة واحدة أمر في غاية الصعوبة وخاصةً في مجال البيولوجيا، لذلك نعمد إلى دراسة انتشار المادة بين حجيرتين (1) و (2) يفصل بينهما غشاء نفوذ (أنظر الشكل – 1) تحتويان على محلولين ممددين بنفس المادة المنحلة لكن بتراكيز ابتدائية $c_{1,o}$ و $c_{2,o}$ ، وعلى فرض أن $c_{1,o} > c_{2,o}$ نلاحظ بأن جزيئات المادة المنحلة تنتشر عبر ثقوب الغشاء من الوسط الأكثر تركيزاً باتجاه الوسط الأقل تركيزاً حتى يحصل تساوٍ في التركيز على جانبي الغشاء.




**(الشكل – 1)**

بناءً على ذلك، يمكن صياغة قانون فيك الأول بحيث يصبح قابل للتطبيق في حالة الجمل البيولوجية بالصيغة الرياضية التالية:

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_{t,x} = -\mathbf{D} \times S_p \times \left(\frac{dc}{dx}\right)_{t,x}$$

حيث $S_p$ تمثل السطح الإجمالي للثقوب العائدة للغشاء وتقدر حسب الجملة الدولية بال $m^2$

بفرض أن الثقوب العائدة للغشاء ذات أنصاف أقطار متساوية قدرها $a$ وأن عددها الإجمالي هو $N$ وعلى فرض أن $p$ يمثل عدد الثقوب بواحدة السطح من الغشاء عندئذٍ نجد بأن:

$$S_p = N \times \pi \times a^2 = p \times S \times \pi \times a^2$$

**ملاحظات Remarks:**

1 – التدرج في التركيز ذات مقدار سالب وذلك لأنه يتم باتجاه المناطق ذات التركيز المنخفض.

2 – إذا كان التركيز مستقلاً عن الفاصلة x (حالة التنقية أو التصفية خارج كلوي) فإن:

$$c = c_{\mathrm{o}} \times e^{-\frac{\mathbf{D} \times S_p}{l \times V_{eT}} \times t}$$

حيث $c$ تمثل التركيز البولي الدموي و $c_{\mathrm{o}}$ تمثل التركيز البولي الدموي البدئي و $l$ يمثل ثخانة الغشاء و $V_{e_T}$ تمثل الحجم الإجمالي للماء في الجسم.

نظراً لصعوبة قياس ثخانة الغشاء بصورة دقيقة نلجأ إلى استبدال الحد $\frac{\mathbf{D}}{l}$ بمصطلح يدعى بمعامل نفوذية الغشاء ويرمز له بالرمز $p_d$ وتقدر نفوذية الغشاء بحسب جملة الواحدات الدولية بال $\mathrm{m} \times \mathrm{s}^{-1}$

3 – عندما تنتشر المادة المنحلة من الحجيرة (1) باتجاه الحجيرة (2) فإن جزيئات الماء سوف تنتشر بالاتجاه المعاكس للأسباب نفسها.

4 – نعرف التدفق الوزني الصافي J بأنه عبارة عن المعدل الوزني بواحدة السطح للغشاء أي أن:

$$\mathrm{J} = \frac{1}{S_p} \times \left( \frac{dm}{dt} \right)_{\mathrm{t,x}}$$

يقدر J حسب الجملة الدولية بإحدى الواحدتين التاليتين: $\mathrm{mol} \times \mathrm{m}^{-2} \times \mathrm{s}^{-1}$ أو $\mathrm{Kg} \times \mathrm{m}^{-2} \times \mathrm{s}^{-1}$

## 6 – نقل الجزيئات المتعادلة كهربائياً Transport of the neutral electrical molecules:

في هذه الحالة لا تتدخل القوى الكهربائية في آلية النقل، وبالتالي يمكننا عندئذ يمكن وصف مجموعة القوى المشاركة في هذه الآلية بمقدار ترموديناميكي أطلق عليه اسم الكمون الكيميائي ويرمز له بالرمز $\mu$. يعطى الكمون الكيميائي $\mu$ على شكل مجموع كمونين بالعلاقة التالية: $\mu = \mu_c + \mu_A$

حيث $\mu_A$ تعبر عن الكمون الكيميائي المرتبط باحتمال وجود قوى تعزى إلى الآليات الفعّالة

و $\mu_c$ تعبر عن الكمون الكيميائي المرتبط بقوى الانتشار (أي بتركيز المادة المنحلة) ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\mu_c = \mu_c^\circ + R \times T \times Logc$$

حيث $\mu_c^\circ$ تمثل الكمون الكيميائي العياري.

**حالات خاصة:**

1 – في حال كان النقل منفعلاً يكون $\frac{d\mu_A}{dx} = 0$ ونلاحظ عندئذٍ بأن التدفق الصافي J(x) لا يتعلق سوى بالتدرج في التركيز أي $\frac{dc}{dx}$

2 – في حال كان النقل فعّالاً يكون $\frac{d\mu_A}{dx} \neq 0$ وبالتالي يمكن أن نميّز بين حالتين هما:

أ – بفرض أن $\frac{d\mu_A}{dx}$ و $\frac{d\mu_c}{dx}$ لهما نفس إشارة، عندئذٍ فإن النقل الفعّال يحدث بنفس اتجاه النقل المنفعل (العفوي) مما يسمح بتسريع نقل المادة.

ب – بفرض أن $\frac{d\mu_{\mathrm{A}}}{d\mathrm{x}}$ و $\frac{d\mu_{c}}{d\mathrm{x}}$ لهما إشارتين متعاكستين، عندئذٍ فإن النقل الفعّال يعاكس النقل المنفعل.

## 7 – نقل الشوارد أو الجزيئات المشحونة:

## Transport of the ions or the charged molecules:

تُعتبر دراسة ظواهر نقل الشوارد والجزيئات المشحونة ضرورة ملحة وذلك من أجل فهم فيزيولوجية الظواهر الكهربائية. وتفترض هذه الدراسة الفهم الجيد للمفاهيم الأساسية التالية:

**الكمون الكهركيميائي:** يحدد تدرجه جهة النقل المنفعل للشاردة المعنية.

**كمون نرنست:** يميز حالة التوازن من وجهة النظر الكهربائية.

**توازن جيبس – دونان:** يميز حالة التوازن من وجهة نظر توزع الشوارد على جانبي الغشاء البلاسمي.

**فعل دونان:** ينشأ فعل دونان نتيجةً لوجود جزيئات ضخمة مشحونة (بروتينات مثلاً).

### 1 – 7 – الكمون الكهركيميائي:

من المعروف في حالة نقل الشوارد أنه علاوة على قوى الانتشار تتدخل دائماً القوى الكهربائية والتي من الممكن أن تعاكس قوى الانتشار، عندئذٍ يمكن وصف جميع القوى المشاركة في هذه الآلية بمقدار ترموديناميكي أطلق عليه اسم الكمون الكهركيميائي ويرمز له بالرمز $\mu_{\mathrm{EC}}$. يعطى الكمون الكهركيميائي لشاردة ما ولتكن A موجودة في الحجيرة $i$ بالعلاقة التالية:

$$\mu_{\mathrm{EC}}(\mathrm{A})_i = \mu_c^{\circ} + R\times \mathrm{T}\times \mathrm{Log}c(\mathrm{A})_i + z\times \mathrm{F}\times \mathrm{V}_i$$

حيث z يمثل تكافؤ الشاردة A بالقيمة الجبرية و $\mathrm{F}=96500\ \mathrm{coul}$ تمثل ثابت فارادي، و $\mathrm{V}_i$ يمثل كمون الحجيرة $i$ ويقدر حسب الجملة الدولية بال (volt)

## 2 – 7 – كمون نرنست:

يعبر كمون نرنست للشاردة A عن القيمة العددية التي يأخذها فرق الكمون الغشائي ddp عند التوازن وذلك على فرض أن نقل هذه الشاردة بين حجيرتين (1) و (2) يفصل بينهما غشاء نفوذ كان منفعلاً صرفاً ويعطى بالعلاقة التالية: $$\mathrm{V_N}=\mathrm{V_2}-\mathrm{V_1}=\frac{-R\times \mathrm{T}}{z\times \mathrm{F}}\times \mathrm{Log}\frac{[c_2(\mathrm{A})]_{\mathrm{eq}}}{[c_1(\mathrm{A})]_{\mathrm{eq}}}$$

نشير هنا إلى أن $[c_1(\mathrm{A})]_{\mathrm{eq}}$ و $[c_2(\mathrm{A})]_{\mathrm{eq}}$ هي عبارة عن تراكيز الشاردة A في حالة التوازن.

بشكلٍ عام، يمكن صياغة كمون نرنست من أجل مركب شاردي AB موجود في كلتا الحجيرتين بتراكيز مختلفة $c_1$ و $c_2$ بالعلاقة التالية:

$$\mathrm{V_N}=\frac{-R\times \mathrm{T}}{z\times \mathrm{F}}\times \mathrm{Log}\frac{[c_2^{+z}(\mathrm{A})]_{\mathrm{eq}}}{[c_1^{+z}(\mathrm{A})]_{\mathrm{eq}}}=\frac{-R\times \mathrm{T}}{z'\times \mathrm{F}}\times \mathrm{Log}\frac{[c_1^{-z'}(\mathrm{B})]_{\mathrm{eq}}}{[c_2^{-z'}(\mathrm{B})]_{\mathrm{eq}}}$$

نشير إلى أن z و $z'$ تمثلان التكافؤ المطلق لكل من الشاردة الموجبة والشاردة السالبة على التوالي.

## 3 – 7 – توازن جيبس – دونان:

يعبر عن توازن جيبس – دونان بالعلاقة الرياضية التالية:

$$\frac{[c_2^{+z}(\mathrm{A})]_{\mathrm{eq}}}{z\times[c_1^{+z}(\mathrm{A})]_{\mathrm{eq}}}=\frac{[c_1^{-z'}(\mathrm{B})]_{\mathrm{eq}}}{z'\times[c_2^{-z'}(\mathrm{B})]_{\mathrm{eq}}}$$

وفقاً لتوازن جيبس – دونان يمكن أن نستخلص النتائج التالية:

أ – يتساوى جداء تراكيز الشوارد القابلة للانتشار في الحجيرة الأولى مع جداء تراكيز الشوارد القابلة للانتشار في الحجيرة الثانية أي أن:

$$z \times [c_1^{+z}(\mathrm{A})]_{eq} \times [c_1^{-z'}(\mathrm{B})]_{eq} = z' \times [c_2^{+z}(\mathrm{A})]_{eq} \times [c_2^{-z'}(\mathrm{B})]_{eq}$$

ب – يبقى شرط التعادل الكهربائي محققاً ضمن كل حجيرة أي أن:

$$z \times [c_1^{+z}(\mathrm{A})]_{eq} = z' \times [c_1^{-z'}(\mathrm{B})]_{eq}$$

$$z \times [c_2^{+z}(\mathrm{A})]_{eq} = z' \times [c_2^{-z'}(\mathrm{B})]_{eq}$$

اعتماداً على توازن جيبس – دونان يمكن أن نعرف معامل دونان r ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\mathrm{r} = \sqrt[z]{\frac{[c_2^{+z}(\mathrm{A})]_{eq}}{[c_1^{+z}(\mathrm{A})]_{eq}}} = \sqrt[z']{\frac{[c_1^{-z'}(\mathrm{B})]_{eq}}{[c_2^{-z'}(\mathrm{B})]_{eq}}} \neq 1$$

**4 – 7 – <u>فعل دونان</u>:**

ينشأ فعل دونان نتيجةً لوجود جزيئة ضخمة مشحونة (البروتين مثلاً) في إحدى الحجيرتين وهي غير قابلة للانتشار عبر الغشاء، في هذه الحالة تعمد الجزيئة الضخمة المشحونة إلى حجز الشوارد ذات الإشارة المعاكسة مشكلة بذلك عدم تساوي في التراكيز الشاردية بين الحجيرتين وبالتالي ينتج لدينا بعد مرور فترة من الزمن حالة توازن جديدة تتصف بفرق كمون غشائي ddp غير معدوم (لا يساوي الصفر) وهذا ما ندعوه بفعل دونان. يمكن تفسير ذلك كما يلي: عند حدوث التوازن تستطيع الشوارد الصغيرة عبور الغشاء في حين لا تستطيع الشوارد الضخمة ذلك، مما يؤدي إلى جعل تراكيز الشوارد على جانبي الغشاء غير متساوية وبالتالي يمكن أن نحدد فرق الكمون بالشكل التالي:

$$V_2 - V_1 = \frac{-R \times T}{z \times F} \times \text{Log} \frac{[c_2^{+z}(A)]_{eq}}{[c_1^{+z}(A)]_{eq}} = \frac{-R \times T}{z' \times F} \times \text{Log} \frac{[c_1^{-z'}(B)]_{eq}}{[c_2^{-z'}(B)]_{eq}} \neq 0$$

وهذا ما ندعوه بكمون دونان.

**ملاحظات Remarks:**

1 – تعتبر الشاردة A في حالة توازن إذا كان $\frac{d\mu_{EC}}{dx} = 0$

2 – يحافظ توازن جيبس – دونان على قوانين الحيادية الكهربائية بالرغم من أن التراكيز غير متساوية، أي بمعنى أن كل محلول من المحاليل الموجودة في كلتا الحجيرتين يكون متعادل كهربائياً.

3 – ترتبط إشارة الكمون بمكان وجود الجزيئة الضخمة المشحونة. فعلى سبيل المثال إذا كانت الجزيئة الضخمة المشحونة موجودة في الحجيرة الأولى وكانت مشحونة بشحنة سالبة، في هذه الحالة يكون كمون الحجيرة الأولى سالباً وبالتالي فإن: $V_2 - V_1 > 0$ أو $V_1 - V_2 < 0$

4 – ترتبط إشارة الشحنة ب pH المحلول أي أنه:

إذا كان pH المحلول أكبر من pH الجزيئة الضخمة المشحونة، في هذه الحالة تكون هذه الجزيئة مشحونة بشحنة سالبة، وفي الحالة المعاكسة تكون مشحونة بشحنة موجبة. أما إذا كان pH المحلول يساوي pH الجزيئة الضخمة المشحونة، في هذه الحالة تكون هذه الجزيئة متعادلة كهربائياً، وبالتالي لا تؤدي إلى تغير في النقول الشاردية. وهذا يعني بأنه لا يوجد أي أثر لفعل دونان.

5 – يكون عدد الشوارد القابلة للانتشار في الحجيرة الحاوية على الجزيئة الضخمة أعظمياً.

6 – يكون نقل الشاردة الموجبة أو السالبة فعّالاً إذا تحقق الشرطان التاليين في آن معاً:

$$J_1 = J_2 \qquad \text{و} \qquad \mu_{(EC)_1} \neq \mu_{(EC)_2}$$

7 – لفعل دونان تطبيقات عملية متعددة ضمن نطاق الفيزيولوجية البشرية. ففي حالة الشعريات الدموية (حيث تفصل الطبقة الظهارية الداخلية الحجيرة البلاسمية الوعائية الغنية بالبروتينات عن الحجيرة الخارج خلوية الفقيرة بها نسبياً)، يؤمن الضغط الأنكوتي المرتفع للشعريات الدموية إعادة امتصاص الماء المرتشح منها. وتتكرر هذه الظاهرة أيضاً بصورة مشابهة في حالة الخلايا التي تفصل أغشيتها بين الوسط الداخل خلوي الغني بالبروتينات وبين الوسط الخارج خلوي الفقير بها نسبياً.

## 8 – الحلول The osmosis:

الحلول بالتعريف هو عبارة عن نقل المحل باتجاه المحلول عبر غشاء نصف نفوذ. وهو يصف تدفق المادة الحالة بطريقة الانتشار. ينزع تدفق المحل النقي إلى مساواة التراكيز على جانبي الغشاء.

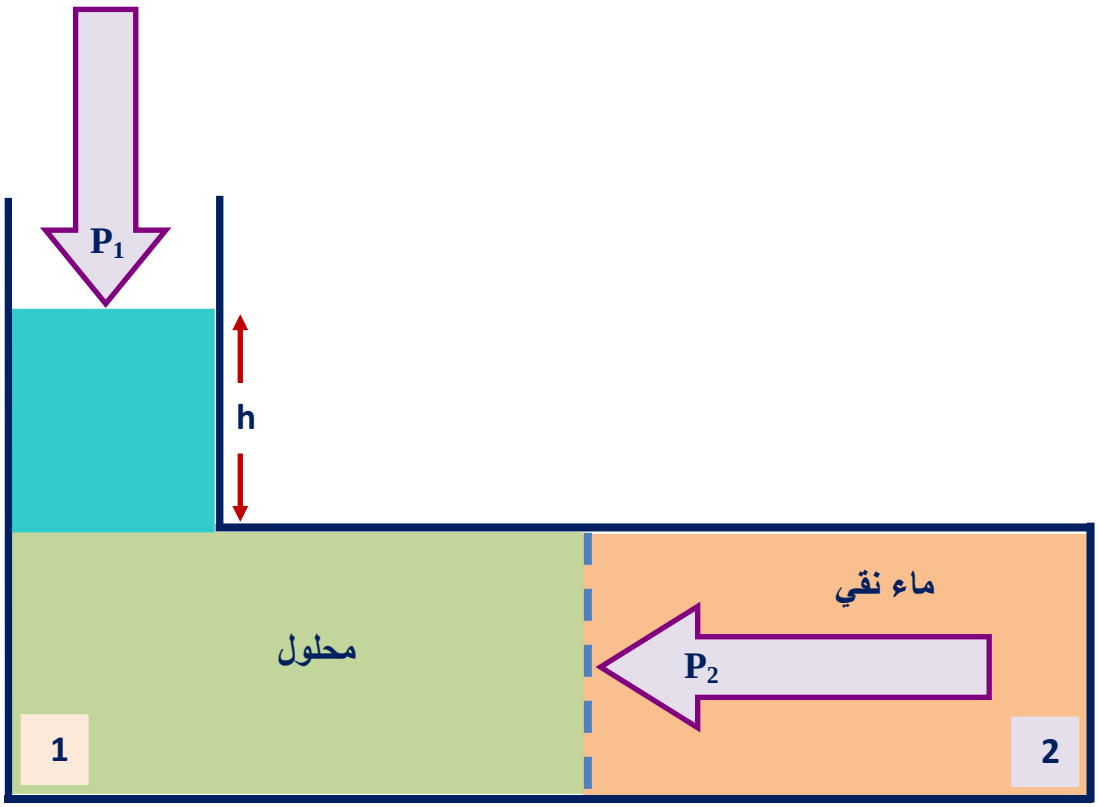
## 9 – الضغط الحلولي (التناضحي) The osmotic pressure:

الضغط الحلولي بالتعريف هو عبارة عن الضغط الذي يجب تطبيقه على محلول

مفصول عن محله النقي بواسطة غشاء انتقائي وذلك من أجل منع المحل من اجتياز هذا الغشاء.

يمكن قياس الضغط الحلولي باستخدام مقياس الحلول لديتروشيه (الشكل – 2) وفق ما يلي:

سوف يتحرك الماء من الحجيرة الثانية باتجاه الحجيرة الأولى أي من الوسط الأقل تركيزاً بالمادة المنحلة باتجاه الوسط الأكثر تركيزاً دون الوصول إلى تساوي في التراكيز على جانبي الغشاء، وينتج عن ذلك ارتفاع في سوية المحلول في الحجيرة الأولى. ويستمر تدفق الماء وبالتالي ارتفاع المحلول في الطرف الآخر من خلال الفتحة الشعرية حتى حدوث التوازن، أي بلوغ المحلول ارتفاع قدره h في القناة الشعرية. تجدر الإشارة إلى أنه عند ارتفاع المحلول في القناة الشعرية يحدث زيادة في الضغط الهيدروستاتيكي وليكن $P_1$ وهذا الضغط يتعاكس مع الضغط الذي يعمل على نشر الماء وليكن $P_2$، ويستمر ذلك حتى حدوث التوازن.



**(الشكل – 2)**

في هذه الحالة ندعو الضغط الهيدروستاتيكي الذي يعمد إلى موازنة الضغط الناجم عن انتشار الماء باتجاه المحلول بالضغط الحلولي (الأوسموزي) ويرمز له بالرمز $\pi$ ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\pi = \frac{\mathrm{n}}{\mathrm{V}} \times R \times \mathrm{T} = \frac{m}{\mathrm{M} \times \mathrm{V}} \times R \times \mathrm{T} = \frac{c}{\mathrm{M}} \times R \times \mathrm{T} = \rho \times g \times \mathrm{h} = R \times \mathrm{T} \times \omega$$

تدعى هذه العلاقة بقانون فانت هوف "**Vant'Hoff**".

حيث: $\pi$ يقدر بال $\mathrm{P}a$ و R ثابت الغازات العام حيث:

$$\mathrm{R} = 8.31\ \mathrm{J} \times {}^{o}\mathrm{K}^{-1} \times \mathrm{mol}^{-1}$$

T درجة الحرارة المطلقة وتقدر بال ${}^{o}\mathrm{K}$، n عدد المولات، V حجم المحلول ويقدر بال $l$ أو $\mathrm{m}^3$

$\omega$ حلولية المحلول وتقدر بال $\mathrm{mol} \times l^{-1}$ أو $\mathrm{mol} \times \mathrm{m}^{-3}$ و $c$ التركيز المولي.

$g$ تسارع الجاذبية الأرضية حيث: $g = 9.8\ \mathrm{m} \times \mathrm{s}^{-2}$ و M الكتلة المولية وتقدر بال g أو Kg

$\rho$ الكتلة الحجمية للمحلول وتقدر بال $\mathrm{Kg} \times \mathrm{m}^{-3}$ و $m$ كتلة المادة المنحلة وتقدر بال g أو Kg

**<u>ملاحظات Remarks</u>:**

1 – بفرض أنه لدينا محلولين مميهين مختلفين بالحلولية $\omega_1$ و $\omega_2$ حيث $\omega_1 > \omega_2$، في هذه الحالة، يعبر عن الضغط الحلولي بالعلاقة التالية:

$$\pi = R \times \mathrm{T} \times (\omega_1 - \omega_2) = R \times \mathrm{T} \times \Delta\omega$$

وهذا الضغط ناتج عن تدفق الماء من الحجيرة الثانية باتجاه الحجيرة الأولى.

2 – ترتبط الحلولية بالمولارية بعلاقة من الشكل التالي:

$$\omega = [1 + (\beta - 1) \times \alpha] \times c$$

حيث $\beta$ تمثل عدد الشوارد بالنسبة لحمض أو أساس أو ملح و $\alpha$ تمثل درجة الانحلال.

## 10 – الضغط الأنكوتي The oncotic pressure:

من المعروف أنه في حال عدم تساوي الحلوليات على جانبي الغشاء ينتج ضغط حلولي مطبق من قبل الحجيرة الحاوية على الجزيئة الضخمة (البروتين مثلاً) على الحجيرة الأخرى يعطى بالعلاقة التالية:

$$\Delta\pi = R \times \mathrm{T} \times (\omega_2 - \omega_1) = R \times \mathrm{T} \times (\Delta\omega_i + \omega_{\mathrm{p}})$$

حيث $\Delta\omega_i$ تمثل فرق حلوليات الشوارد الصغيرة القابلة للانتشار عبر الغشاء.

و $\omega_{\mathrm{p}}$ تمثل حلولية الجزيئة الضخمة (البروتين مثلاً).

يعطى الضغط الأنكوتي بالعلاقة الرياضية التالية: $\pi_{\mathrm{onc}} = R \times T \times \omega_{\mathrm{p}}$

## 11 – تطبيقات طبية للضغط الحلولي Medical applications for the osmotic pressure:

إذا وضعت خلية في أوساط مختلفة الحلولية فإننا نلاحظ بأن الخلية سوف تعاني إما من زيادة في حجمها (انتباج أو انتفاخ) أو من نقص في حجمها (انكماش أو بلزمة). فإذا كان الوسط الخارجي يمتلك حلولية أكبر (وسط زائد التوتر) من الوسط الداخلي، فإننا نلاحظ خروج الماء من الخلية مما يؤدي

إلى انكماشها أو بلزمتها. أما إذا كان الوسط الخارجي يمتلك حلولية أقل (ناقص التوتر) من الوسط الداخلي، فإننا نلاحظ دخول الماء إلى الخلية مما يؤدي إلى انتباجها. أما إذا كان الوسط الخارجي يمتلك نفس حلولية (متماثل التوتر) من الوسط الداخلي، فإننا لا نلاحظ أي تغير يطرأ على شكل الخلية.

بفرض أنه لدينا كريات حمراء تتمتع بغشاء نصف نفوذ مثالي وبحلولية تقارب ال $310\ \mathrm{mo}l\times l^{-1}$ فلو وضعنا هذه الكريات بمحلول مميه ذات حلولية $\omega$ نلاحظ الحالات التالية:

1 – انقباض في البروتوبلاسما أو بلزمة الكريات الحمراء وذلك من أجل $\omega > 310$، يقال عن المحلول في هذه الحالة أنه مفرط الحلولية.

2 – انتفاخ أو إماهة مفرطة للكريات الحمراء وذلك من أجل $\omega < 310$، يقال عن المحلول في هذه الحالة أنه منخفض الحلولية. يكون لدينا انحلال دم وذلك من أجل $\omega < 160$.

3 – لا يحدث أي تغيير للكريات الحمراء وذلك من أجل $\omega = 310$، يقال عن المحلول في هذه الحالة أنه متجانس (متماثل) الحلولية.

## 12 – <u>العمل الكلوي Renal work</u>:

يعطى العمل الكلوي بالعلاقة التالية: $\mathrm{W} = \mathrm{n} \times R \times \mathrm{T} \times \mathrm{Log}\dfrac{\omega_{\mathrm{b}}}{\omega_{\mathrm{U}}}$

حيث $\omega_{\mathrm{b}}$ تمثل حلولية الدم و $\omega_{\mathrm{U}}$ تمثل حلولية البولة و n تمثل عدد الحلول المنقى ويساوي $\mathrm{V_U}\times\omega_{\mathrm{U}}$ حيث $\mathrm{V_U}$ يمثل حجم البول. باعتبار أن $\omega_{\mathrm{U}} > \omega_{\mathrm{b}}$ يكون العمل الكلوي سالب وبالتالي فهو عمل مقدم من قبل الكلية.

## 13 – الانجماد – قانون راؤول Freezing – Raool's law:

لقد أظهرت التجربة بأن وجود مادة منحلة في محل ما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة بداية التجمد للمحلول. ويتناسب مقدار هذا الانخفاض في درجة الحرارة طرداً مع حلولية المحلول وذلك تبعاً لقانون راؤول ويعطى بالعلاقة التالية: $\Delta\theta_c = -K_c \times \omega$

حيث $\Delta\theta_c = \theta_s - \theta_o < 0$ يمثل مقدار انخفاض الانجماد ويقدر بال $^{o}C$

و $\theta_o$ تمثل درجة حرارة تجمد المحل النقي و $\theta_s$ تمثل درجة حرارة تجمد المحلول وتقدران بال $^{o}C$

و $K_c < 0$ يمثل ثابت الانجماد ويرتبط هذا الثابت بنوع المحل ويقدر بال $^{o}C \times l \times mol^{-1}$

و $\omega$ تمثل حلولية المحلول وتقدر بال $mol \times l^{-1}$ أو $mol \times m^{-3}$

يفيد استخدام قانون راؤول في تحديد: حلولية المحلول، وكذلك معامل التأين أي معدل انحلال الكهرليت.

بالواقع، يتصف غشاء الكريات الحمراء بكونه نفوذاً بالنسبة للماء والبولة لذلك يقال عنه بأنه انتقائي، وبالنسبة لحلولية المحلول يجب أن يطرح منها حلولية البولة $\omega_U$ وبالتالي يجب أن نعرف في هذه الحالة الحلولية الفعالة $\omega_e$ حيث: $\omega_e = \omega - \omega_U$