



الفيزيولوجيا والتشريح

الجزء الثاني: الفيزيولوجيا

السنة: الثانية

القسم: هندسة طبية - كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية



منشورات جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم الهندسة الطبية

# الفيزيولوجيا والتشريح

الجزء الثاني: الفيزيولوجيا

الدكتور

عبدالوهاب شهلا

مدرس في قسم الفيزيولوجيا والأدوية

كلية الطب البشري

١٤٢٩-١٤٣٠ هـ

م ٢٠٠٨-٢٠٠٩

جامعة دمشق



## الفهرس

الصفحة	الموضوع
٧	المقدمة
٩	الفصل الأول: فيزيولوجيا الخلية
١٧	الفصل الثاني: نقل الشوارد والجزئيات عبر غشاء الخلية
٢٧	الفصل الثالث: كامن الغشاء وكامن الفعل
٤١	الفصل الرابع: الجهاز القلبي الوعائي
٥٧	الفصل الخامس: مخطط كهربائية القلب
٦٣	الفصل السادس: الفيزياء الطبية للضغط والجريان والمقاومة
٧٩	الفصل السابع: قياس الضغط الشرياني عند الإنسان
٨٩	الفصل الثامن: الجهاز التنفسى
١١٩	الفصل التاسع: الجهاز العصبى
١٤١	الفصل العاشر: النسيج العضلى
١٦١	الفصل الحادى عشر: تخطيط العضلات الكهربائي عند الإنسان
١٦٥	الفصل الثاني عشر: الجهاز البولى
١٨٥	الفصل الثالث عشر: الجهاز الهضمى
١٩٧	الفصل الرابع عشر: الوظائف الإفرازية للسبيل الهضمى
٢٠٩	الفصل الخامس عشر: الغدد الصم

٢٣٥	الفصل السادس عشر : حاسة الرؤية
٢٤٥	الفصل السابع عشر : حس السمع
٢٦١	المراجع



## المقدمة

إن هدف الفيزيولوجيا إيضاح العوامل الفيزيائية والكيميائية عن أصل الحياة وتطورها، إن كل نمط من الحياة من أصغر حبة إلى أعقد كائن (الكائن البشري) له خصائصه الوظيفية الذاتية. لذلك يمكن تقسيم حقل الفيزيولوجيا الواسع إلى الفيزيولوجيا الحموية والفيزيولوجيا الجرثومية والفيزيولوجيا الخلوية وفيزيولوجيا النبات والفيزيولوجيا البشرية، بالإضافة إلى تقسيمات أخرى أصغر من التي ذُكرت.

### **الفيزيولوجيا البشرية Human Physiology**

نَهَمْ فِي دراستنا للفيزيولوجيا البشرية بتوسيع الخصائص والآليات النوعية لجسم الإنسان التي تجعل منه كائناً حياً. إن حقيقة بقائنا أحياء هي نتيجة تنظيمنا الذاتي، فالجوع يجعلنا ننسد الطعام، والخوف يجعلنا ننسد الملح، وإحساسنا بالبرد يدفعنا للبحث عن الدفء، وتدفعنا القوى الأخرى نحو الصحبة والتکاثر. بناءً على ما تقدم فإن الكائن البشري هو في الحقيقة آلة تلقائية، وحقيقة كوننا كائنات ذكية تشعر وتحس وتعلّم هو جزء من السلسلة التلقائية للحياة، وهذه الميزات المعاصرة تسمح لنا بالبقاء ضمن ظروف متنوعة بشدة ستجعل الحياة مستحيلة لو لا ذلك.



٨

## الفصل الأول

### فيزيولوجيا الخلية

الخلايا هي الوحدات الفعالة الحية في الجسم

### Cells as the living units of the body

تعتبر الخلية الوحدة الأساسية الفعالة (الحية) في الجسم، يتتألف كامل الجسم البشري من حوالي ١٠٠ - ٧٥ تريليون خلية، تتشكل الخلية المتشابهة مع بعضها لتشكل الأنسجة، وتتشكل الأنسجة ذات الوظائف المتكاملة يشكل الأعضاء، وتشكل الأجهزة systems من عدة أعضاء ذات وظائف متكاملة.

يتتشكل الجسم البشري من مجموعة أجهزة تتكون من مجموعات وظائفها مع بعضها وكل نمط من الخلايا مهيأ لإنجاز عمل خاص واحد أو لإنجاز عدة أعمال في بعض الأحيان (مثل كريات الدم الحمر تنقل الأكسجين من الرئة إلى النسج).

وعلى الرغم من أن الكثير من الخلايا في الجسم تختلف غالباً بشكل ملحوظ عن بعضها ، فإن لها خصائص أساسية محددة متشابهة، وعلى سبيل المثال يتحد الأكسجين مع السكريات والدهون والبروتينات لتحرير الطاقة التي تحتاجها الخلية لأداء وظائفها، والآليات العامة لتحويل الغذاء Nutrients إلى طاقة هي واحدة بشكل أساسي في جميع الخلايا، كما أن جميع الخلايا تطرح أيضاً النواتج النهائية لتفاعلاتها الكيميائية إلى السوائل المحيطة.

لفهم وظائف الأعضاء والأجهزة لا بد أولاً من فهم تنظيم الخلية ومعرفة وظائف مختلف مكوناتها بشكل مختصر.

## **تنظيم الخلية Organization of the cell**

تتألف الخلية النموذجية كما ترى بالمجهر الضوئي من جزأين رئيسيين هما النواة والهيولى وتكون النواة مفصولة عن الهيولى بوساطة الغشاء النووي، كما يفصل غشاء الخلية الخلية عن السوائل المحيطة بها.

تدعى مجموعة المواد التي تكون الخلية بالجملة **Protoplasm** وهي مكونة بشكل رئيسي من خمس مواد أساسية هي:

### **١ — الماء Water**

يشكل الماء حوالي ٧٥ — ٨٥ % من الخلية وهو الوسط السائل الأساسي للخلية.

### **٢ — الكهارل Electrolytes**

تعتبر الشوارد التالية هي الشوارد الأكثر أهمية في الخلية وهي: البوتاسيوم والمغنيسيوم والفوسفات والسلفات والبيكربونات وكمية قليلة من الصوديوم والكلور والكالسيوم. تعد الكهارل العناصر الكيميائية اللاعضوية الضرورية للتفاعلات الخلوية كما أنها ضرورية لبعض آليات التحكم الخلوية.

مثال: تسمح الكهارل التي تعمل على غشاء الخلية بنقل الدفعات **Impulses** الكهربائية في الأعصاب والألياف العضلية بينما تحدد الكهارل داخل الخلية فعالية التفاعلات الأنزيمية الضرورية للاستباب الخلوي.

### **٣ — البروتينات Proteins**

هي المادة الأكثر وفرة في الخلايا بعد الماء فهي تشكل في الحالة السوية ١٠ — ٢٠ % من كتلة الخلية، ويمكن أن تقسم إلى نمطين مختلفين، البروتينات البنوية والبروتينات الكريوية.

تحتختلف البروتينات البنوية عن البروتينات الكريوية بعاليٍ:

تتألف البروتينات البنوية من مكاثير **Polymers** جزيئات بروتينية عديدة وهي توجد بشكل خاص في الألياف بمحن مختلف أنواعها، في حين أن البروتينات الكريوية هي جزيئات بروتينية مفردة وهي على الغالب أنزيمات الخلية.

#### ٤ - الشحميات **Lipids**

هي عبارة عن عدة أنماط من المواد مجموعة مع بعضها لأن لها خاصية مشتركة وهي انحلالها في مذيبات الدسم، والشحميات الأكثر أهمية في معظم الخلايا هي الشحميات الفوسفورية والكوليسترول وتشكل حوالي ٦٢٪ من الكتلة الكلية للخلية، والأهمية الخاصة للشحميات الفوسفورية والكوليسترول هي أنها بشكل عام غير منحلة بالماء ولذلك فهي تستخدم لتشكيل الحواجز **Barriers** (الحواجز) الغشاءية لفصل مختلف الأقسام داخل الخلية.

تحوي بعض الخلايا (الخلايا الشحمية) بالإضافة إلى الشحميات الفوسفورية والكوليسترول كميات كبيرة من الغليسيريدات الثلاثية بحيث تشكل حوالي ٩٥٪ من كتلة الخلية، وتشكل مادة الدسم المخزونة في هذه الخلايا المستودع الرئيس للغذيات المعطرة للطاقة في الجسم.

#### ٥ - السكريات **Carbohydrates**

تملك الكاربوهيدرات وظيفة بنوية ضئيلة في الخلية ما عدا قسم منها هي البروتينات السكرية، ولكنها تقوم بدور كبير في التغذية وتشكل ٦١٪ من كامل كتلة الخلية.

#### البني الفيزيائية المكونة للخلية

#### **Physical structure of the cell**

ليست الخلية مجرد كيس للسوائل والأنزيمات والمواد الكيميائية، بل تحوي أيضاً بني فيزيائية دقيقة البنية تدعى العضيات **Organelles**. وبالتالي فإن البنية الفيزيائية للخلية هي عبارة عن البنية الغشاءية والعضيات كما يظهر في الشكل (١).

#### ٤- البني الغشائية في الخلية

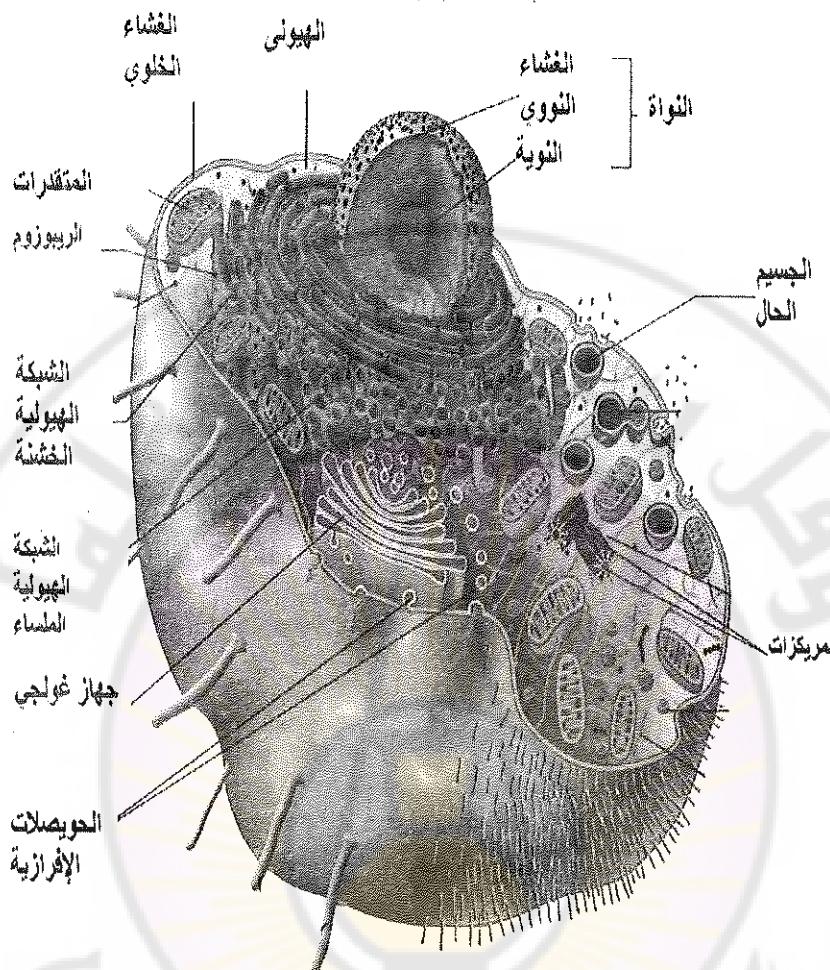
إن جميع مكونات الخلية تكون محاطة بواسطة غشاء مؤلف بشكل أساسى من الشحوميات والبروتينات . تتضمن هذه الأغشية غشاء الخلية والغشاء النووي وغشاء الشبكة الهيولية الباطنة وأغشية المتقدرات .

تشكل الشحوميات في الأغشية الحاجل الذي يمنع الحركة الحرة للماء والماء المنحل به بين مختلف أقسام الخلية، وبالمقابل فإن جزيئات البروتين الموجودة في الغشاء والتي تختلف من جهة إلى أخرى تشكل ثمرات تنفذ عبرها المواد المختلفة وفقاً لآليات معينة.

بالإضافة إلى أن العديد من بروتينات الغشاء هي أنزيمات تحفز عدداً كبيراً من التفاعلات الكيميائية المختلفة.

#### الغشاء الخلوي **Cell membrane**

يغلف الغشاء الخلوي الخلية بشكل كامل وهو رقيق جداً ذو بنية مرنة، تبلغ ث�باته ٣,٥ إلى ١٠ نانو متر، وهو نصف نفوذ **Semipermeable** ويتألف بشكل كامل تقريباً من البروتينات والشحوميات (٥٥% بروتينات، ٢٥% شحوميات فوسفورية، ١٣% كوليسترول، ٤% شحوميات أخرى، ٣% سكريات) .



الشكل (١). بنية الخلية كما تظهر بال المجهر الالكتروني.

## ٢— الهيولى وعضياتها Cytoplasm and its organelles

تتطلع الهيولى بالعديد من الجزيئات والعضيات المتشرة سواء الكبيرة منها أم الصغيرة، حيث يتراوح حجمها من بعض نانومترات إلى عدة ميكرومترات، ويدعى الجزء الصافي من الهيولى والذي تنتشر فيه الجزيئات العصارة الخلوية وهي تحوي بروتينات منحللة وكهارل وغلوكوز وكثبيات ضئيلة من المركبات الشحمية، وتنشر في الهيولى كريات الدسم المحايدة وحبسيات الغليوكجين والريبياسات والحبسيات الإفرازية بالإضافة إلى خمس عضيات هامة بشكل خاص هي:

- الشبكة الهيولية الباطنة

تقسم إلى الشبكة الهيولية الباطنة الحبيبية (توجد الريبوزمات على سطحها) ووظيفتها تركيب البروتينات في الخلية، والشبكة الهيولية الباطنة اللاحبيبية وتعمل على تركيب المواد الشحمية.

- جهاز غوجي

يرتبط جهاز غوجي بعلاقة وثيقة مع الشبكة الهيولية الباطنة، حيث تنقل المواد التي تصنع في الشبكة الهيولية الباطنة إلى جهاز غوجي وبعد ذلك تعامل لتشكيل الجسيمات الحالة والحوسيصلات الإفرازية Secretory Vesicles ومكونات سيتو بلاسمية أخرى.

- الجسيمات الحالة

عضيات حويصلية تشكل بواسطة جهاز غوجي لتنشر بعد ذلك في الهيولى، تحيط هذه الجسيمات بالغشاء النموذجي وتملأ بأعداد كبيرة من الأنزيمات الخلمية (هذا النوع من الأنزيمات يقوم بتحويل البروتينات والدهم والكاربوهيدرات إلى المواد الأولية المكونة لهذه المواد وهي مثلاً تحول البروتينات إلى حمض أميني). تشكل

الجسيمات الحالة الجهاز المضمي داخل الخلايا الذي يسمح للخلية بضم وإزالة المواد أو البني غير المرغوب فيها وخاصة المؤذية أو الغريبة مثل الجراثيم.

### • الجسيمات فوق المؤكسدة **Peroxisomes**

تشبه فيزيائياً الجسيمات الحالة لكنها تختلف عنها بأمرتين هامين:

١. يعتقد أنها تتشكل بالترعم من الشبكة الهيولية الباطنة الملساء وليس من جهاز غولجي.

٢. تحوي أنزيمات أكسيداز (أكسدة) أكثر من أنزيمات الحلمهة.

يكون العديد من أنزيمات الأكسيداز هذه قادرة على ربط شوارد الأكسجين مع شوارد الهيدروجين من مختلف المواد الكيميائية داخل الخلية وينتج عن ذلك الماء الأكسجيني ( $H_2O_2$ ) Hydrogen Peroxide وهي مادة مؤكسدة بشدة وتعمل بالتعاون مع الكاتالاز (وهو أنزيم مؤكسد آخر يوجد بكميات كبيرة في الجسيمات فوق المؤكسدة) لأكسدة العديد من المواد التي قد تكون سامة للخلايا.

### • المتقدرات **Mitochondria**

تدعى المتقدرات بمحطات توليد الطاقة في الخلية حيث تصبح الخلية دونها غير قادرة على استخلاص الطاقة من الغذيات والأوكسجين وبالتالي سوف تتوقف جميع الوظائف الخلوية.

## ٣-النواة **Nucleus**

هي مركز التحكم في الخلية (ينظم عمل الخلية) وتحوي كميات كبيرة من DNA التي تدعى الجينات Genes والجينات هي التي تحكم بالفعاليات التي تحدث في الهيولى، كما أنها تحكم بالتوالد أيضاً.



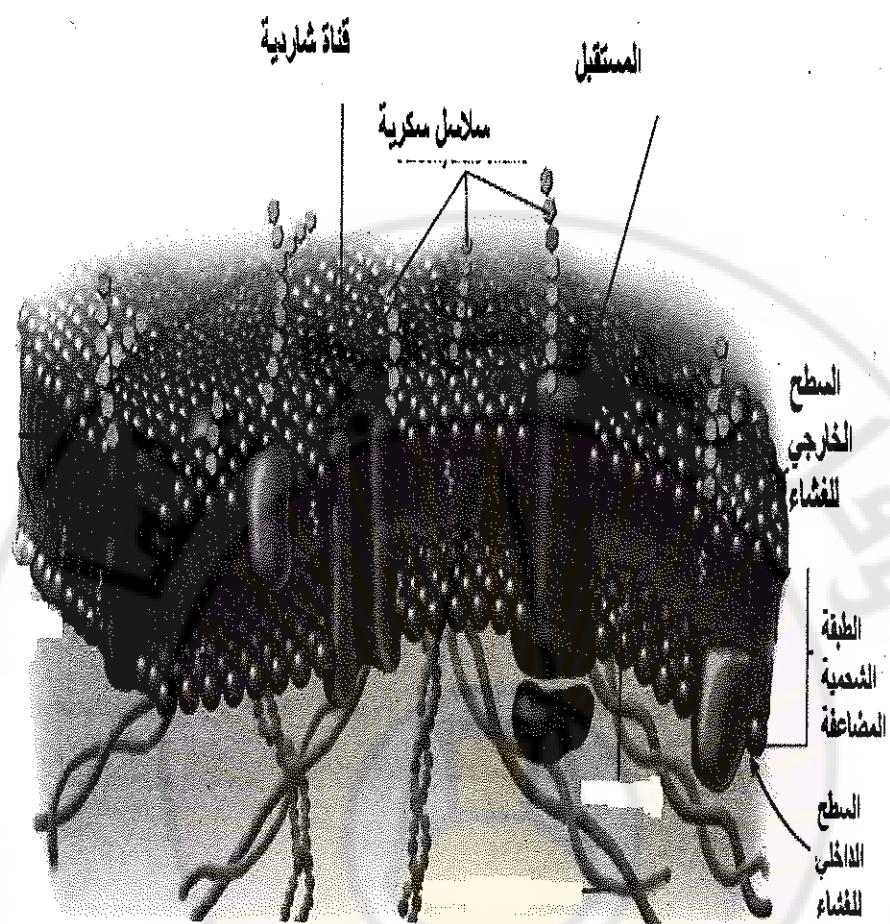
## الفصل الثاني

### نقل الشوارد والجزيئات عبر غشاء الخلية

يفصل غشاء الخلية بين السائل خارج الخلايا والسائل داخل الخلايا، ويكون السائل خارج الخلايا محتواً على كميات كبيرة من الصوديوم وكمية صغيرة من البوتاسيوم بينما يحتوي السائل داخل الخلايا على كميات كبيرة من البوتاسيوم وكمية قليلة من الصوديوم، بالنسبة لبقية الشوارد والجزيئات يحتوي السائل خارج الخلايا على كميات كبيرة من الكلور، أما تراكيز الفوسفات والبروتينات فهي أكبر بكثير في السائل داخل الخلايا، هذه الاختلافات العديدة ضرورية جداً للمحافظة على حياة الخلية.

يتألف غشاء الخلية من طبقة شحمية مضاعفة مع أعداد كبيرة من جزيئات البروتين العائمة في الشحم والكثير منها يخترق الغشاء من جانب إلى آخر كما يظهر في الشكل (٢).

تكون هذه الطبقة الشحمية مضاعفة غير قابلة للانحلال مع أي من السائل خارج أو داخل الخلايا، ولذلك فهي تشكل حائلاً أمام حركة معظم جزيئات الماء والمواد المنحلة به بين أقسام السائل داخل الخلايا والسائل خارج الخلايا ومع ذلك يمكن للكثير من المواد أن تخترق هذه الطبقة الشحمية مضاعفة وتدخل إلى الخلية أو تغادرها مارةً مباشرةً عبر المادة الشحمية نفسها.



الشكل (٢). بنية غشاء الخلية.

ومن ناحية أخرى تملك جزئيات البروتين خواص نقل مختلفة تماماً، فبنيتها الجزيئية تعترض استمرارية الطبقة الشحمية المضاعفة ولذلك فهي تشكل مسلكاً غير غشاء الخلية.

### طرق النقل عبر الغشاء الخلوي

يحدث النقل عبر غشاء الخلية عبر الطبقة الشحمية المضاعفة أو عبر البروتينات بوحدة من الطريقتين الأساسيةتين التاليتين:

#### أ— الانتشار **Diffusion** ويدعى أيضاً النقل المنفعل.

ويعني الانتشار حركة الجزيئات بشكل عشوائي إما عبر الفراغات بين الجزيئات في الغشاء أو بالاتحاد مع البروتين الحامل، والطاقة التي تسبب الانتشار هي الطاقة الحرارية السوية لحركة المادة ،الشكل (٣).

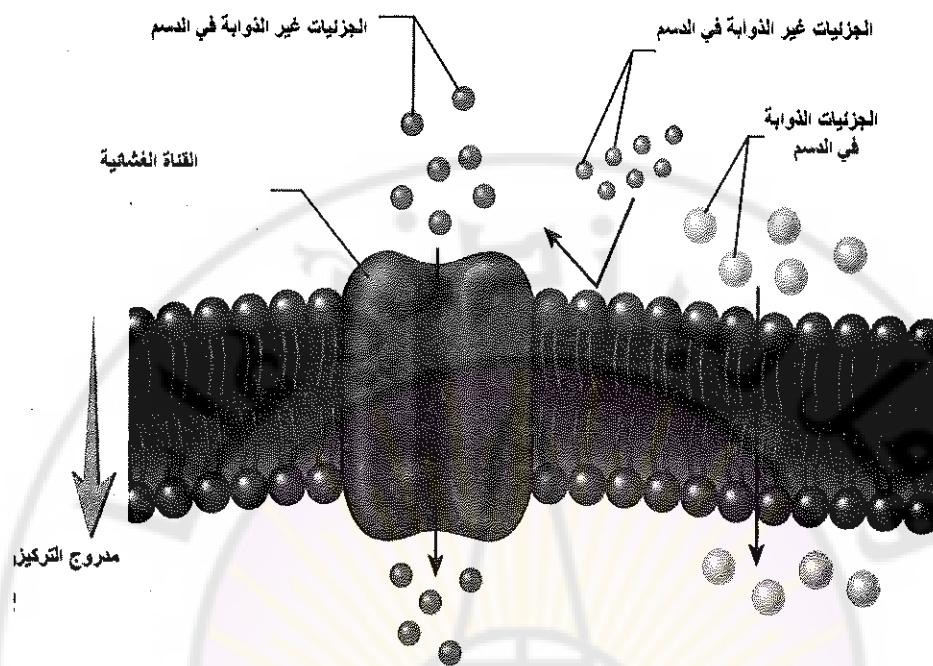
يقسم الانتشار عبر غشاء الخلية إلى نمطين منفصلين:

#### أولاً— الانتشار البسيط **Simple Diffusion**

هو حركة الجزيئات أو الشوارد عبر فتحات الغشاء أو الأفضية بين الجزيئات دون الحاجة للارتباط بالبروتينات الموجودة في الغشاء وطبقاً لذلك يمكن للانتشار البسيط أن يحدث بسهيلين:

#### ١- الانتشار البسيط عبر الطبقة الشحمية المضاعفة

تم في دراسات تجريبية فصل شحوم الخلية عن البروتينات ثم إعادة تركيبها من جديد وتشكيل أغشية صناعية تتالف من طبقة شحمية مضاعفة بدون أي بروتينات ناقلة وبوساطة ذلك تم تحديد خصائص النقل لهذه الطبقة الشحمية المضاعفة وهذه الخصائص هي كما يلي.



الشكل (٣). الانتشار عبر الغشاء الخلوي.

- يعد الذوبان الشحمي للمادة أحد أهم العوامل التي تحدد السرعة التي ستتحرك بها مادة ما عبر الطبقة الشحمية المضاعفة وطبقاً لذلك تتاسب سرعة انتشار بعض المواد مع درجة ذوبانها الشحمي (الأكسجين - الأزوت - الكحول)، نقل الأكسجين إلى داخل الخلية يتم كما لو أن غشاء الخلية غير موجود.
- نقل الماء: على الرغم من أن الماء لا يذوب في شحوم الغشاء فهو يخترق غشاء الخلية بسرعة كبيرة والكثير منه يعبر مباشرة عبر الطبقة الشحمية، ولكن ما يمر منه عبر قنوات البروتين أكثر، وسرعة اختراق الماء لغشاء الخلية

مذهلة جداً (تبلغ كمية الماء التي تعبير الغشاء الخلوي للكرينة الحمراء كل ثانية مقداراً يعادل حجم الكرينة الحمراء نفسها مئة مرة). ويعتقد أن السبب هو صغر حجم جزيئات الماء وامتلاكها طاقة حرارية كبيرة إلى حد كاف بحيث تستطيع أن تعبير بسهولة (كالرخصة) الجزء الشحمي للغشاء قبل أن تتمكن كراهية الماء التي تتميز بها الشحوم من إيقافها.

• و تستطيع الجزيئات الأخرى غير الذروبة في الشحم أيضاً أن تمر بالطريقة نفسها التي تمر بها جزيئات الماء إذا كانت صغيرة إلى حد كاف وتنقص سرعة الانتشار بشكل كبير جداً كلما أصبحت هذه الجزيئات أكبر، مثل على ذلك فإن قطر جزيئات البيوريا أكبر من قطر جزيئات الماء بـ ٥٢٠% فقط ومع ذلك فإن نفاذها عبر غشاء الخلية أقل ألف مرة من الماء .

• أما بالنسبة للشوارد حتى الصغيرة منها كشوارد الهيدروجين والصوديوم والبوتاسيوم فإنهما تخترق الطبقة الشحمية المضاعفة بسرعة أقل من الماء بحوالي مليون مرة، ولذلك فإن أي نقل ذي أهمية لهذه الشوارد عبر غشاء الخلية يجب أن يتم عبر القنوات الموجودة في البروتين، ويعود سبب عدم نفوذية الطبقة الشحمية المضاعفة للشوارد إلى الشحنة الكهربائية لهذه الشوارد التي تعوق الحركة الشاردية لسبعين:

١. تسبب الشحنة الكهربائية لهذه الشوارد ارتباط الكثير من جزيئات الماء بها مما يؤدي إلى زيادة حجم الشوارد بشكل كبير الأمر الذي يعوق وحده انتراق الطبقة الشحمية المضاعفة.
٢. الأمر الأكثر أهمية أن شحنات الطبقة الشحمية المضاعفة تؤخر إلى حد كبير من انتشار الشوارد.

## ٢- الانتشار البسيط عبر قنوات البروتين

يعتقد أن قنوات البروتين تشكل مسالك مائية عبر أخيلة جزيئات البروتين ، إن إعادة البناء ثلاثي الأبعاد المحسوب لبعض هذه الجزيئات أظهر بوضوح وجود قنوات أنبوية الشكل تتدفق من النهايات خارج الخلايا إلى النهايات داخل الخلايا، وبالتالي يمكن للمواد أن تنتشر مباشرةً عبر هذه القنوات من أحد جوانب الغشاء إلى الجانب الآخر.

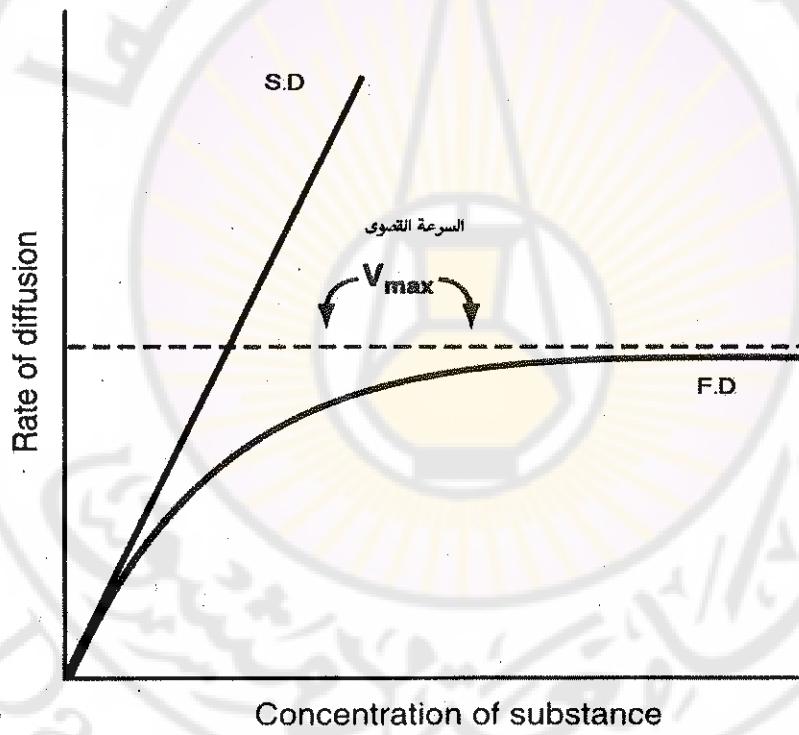
تصف هذه القنوات بصفتين هامتين:

١. غالباً ما تكون هذه القنوات نفوذة بشكل انتقائي .
٢. يمكن فتح وإغلاق الكثير من هذه القنوات بواسطة البوابات Gates ويتم التحكم بانفتاح وإنغلاق البوابات بطريقتين رئيسيتين:
  - بوابة الفولطاج. يستجيب في هذه الطريقة الشكل الجزيئي للبوابة لكامن الفعل الكهربائي عبر غشاء الخلية. فعلى سبيل المثال عندما توجد شحنة سلبية شديدة على باطن غشاء الخلية تبقى بوابات الصوديوم مغلقة بإحكام ومن ناحية أخرى عندما يفقد باطن الغشاء شحنته السلبية تنفتح هذه البوابات فجأة وتسمح بدخول كميات كبيرة من الصوديوم.
  - بوابة الريبيطة Ligand gating تفتح هذه البوابات عن طريق ارتباط جزء آخر بالبروتين وهذا الارتباط يحدث تبليلاً شكلياً في جزئي البروتين يؤدي إلى فتح أو إغلاق البوابة وهذا يدعى بوابة الريبيطة وتدعى المادة المرتبطة مع البروتين الريبيطة ومثال على ذلك(قناة الأستيل كورلين).

## ثانياً- الانتشار الميسر

تنتشر المادة عبر الغشاء بمساعدة بروتين حامل وهذا السبب يدعى الانتشار الميسر، ويختلف الانتشار الميسر عن الانتشار البسيط عبر قناة مفتوحة بالأمور التالية:

- إن سرعة الانتشار تزداد بشكل يتناسب مع تركيز المادة المتشرة في الانتشار البسيط بينما في الانتشار الميسر نجد أن سرعة الانتشار تزداد بزيادة تركيز المادة حتى تقترب من حد أقصى يدعى السرعة القصوى بحيث لا تزداد بعدها سرعة الانتشار . هذا الفرق بين الانتشار البسيط والانتشار الميسر يبدو واضحًا في الشكل(٤) ويعتبر الغلوكوز من أكثر المواد التي تعبر غشاء الخلية بوساطة الانتشار الميسر أهمية.



الشكل (٤). شكل يُظهر الفرق بين الانتشار الميسر والانتشار البسيط (SD = الانتشار الميسر، FD = الانتشار البسيط Rate of diffusion = معدل الانتشار، Concentration of substance = تركيز المادة).

العوامل التي تؤثر على معدل الانتشار الصافي.

الأمر المهم بالنسبة للخلية ليس المقدار الإجمالي المنتشر في كلا الاتجاهين وإنما الفرق

بينهما و هو عبارة عن معدل الانتشار الصافي **Net rate of diffusion**

والعوامل التي تؤثر على هذا المعدل هي:

### ١ — نفوذية الغشاء

تعرف نفوذية الغشاء بالنسبة لمادة ما على أنها معدل الانتشار الصافي للمادة عبر كل وحدة مساحة من الغشاء عندما يكون فرق التركيز مساوياً وحدة واحدة ( مع عدم وجود اختلاف كهربائي أو في الضغط بين طرفي الغشاء) والعوامل المختلفة التي تؤثر على نفوذية غشاء الخلية هي:

- ثخانة الغشاء . كلما كانت أكبر كانت سرعة الانتشار أقل.
- الذوبان الشحمي. كلما كان ذوبان المادة في شحوم الغشاء أكبر كانت سرعة الانتشار أكبر.
- عدد القنوات البروتينية الموجودة في الغشاء والتي يمكن للمادة أن تمر عبرها. يتعلّق معدل الانتشار مباشرةً بـ عدد القنوات البروتينية الموجودة في وحدة المساحة.
- درجة الحرارة. كلما كانت أكبر كانت سرعة الانتشار أكبر.
- الوزن الجزيئي للمادة المنتشرة: يملك هذا العامل تأثيراً معدداً، بحيث تتناسب سرعة الحركة الحرارية عكسياً مع الجذر التربيعي لوزنه الجزيئي، ومن ناحية أخرى كلما اقترب القطر الجزيئي من قطر القناة تزداد مقاومة المرور بشكل كبير.

### ٢ — اختلاف تركيز المادة المنتشرة على جانبي الغشاء.

يتناصف الانتشار طرداً مع فرق التركيز على جانبي الغشاء.

### ٣- فرق الضغط عبر الغشاء.

يتناسب الانتشار طرداً مع فرق الضغط على جانبي الغشاء

### ٤ - فرق الكمون الكهربائي بين طرفي الغشاء في حالة الشوارد.

## ب - النقل الفاعل Active Transport

يعني حركة الشوارد أو المواد الأخرى عبر الغشاء بالاتحاد مع بروتين حامل وتم هذه الحركة عكس مدروج الطاقة (التحرك من منطقة ذات تركيز منخفض إلى منطقة ذات تركيز مرتفع) ويطلب حدوث هذه الحركة مصدراً إضافياً للطاقة إضافة إلى الطاقة الحركية.

تطلب الأمور، في بعض الأحيان، وجود مادة ما بتركيز عالٍ في السائل داخل الخلايا على الرغم من أن تركيزها في السائل خارج الخلايا منخفض (شوارد البوتاسيوم). وعلى العكس من ذلك فمن الضروري أن تبقى تراكيز الشوارد الأخرى منخفضة جداً داخل الخلية على الرغم من أن تركيزها في السائل خارج الخلايا كبير جداً (شوارد الصوديوم) ومن الواضح أنه لا يمكن لأي مما سبق أن يحدث بوساطة الانتشار البسيط وإنما يحتاج إلى النقل الفاعل وهو العملية التي يتم في أثنائها نقل جزيئات أو شوارد عكس مدروج التركيز ويتم صرف طاقة في أثناء عملية النقل.

يقسم النقل الفاعل إلى نصتين بحسب مصدر الطاقة المستخدمة في عملية النقل :

### ١- النقل الفاعل الأولي

يتم الحصول على الطاقة مباشرة من تحلل الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) ومن بين المواد التي يتم نقلها بوساطة النقل الفاعل الأولي هناك الصوديوم، البوتاسيوم،

الكالسيوم، الهيدروجين، الكلور، وأهم آلية درست بشكل مفصل هي مضخة الصوديوم، البوتاسيوم وهي عملية النقل التي تضخ شوارد الصوديوم نحو الخارج عبر غشاء الخلية وفي الوقت نفسه تضخ شوارد البوتاسيوم من الخارج إلى الداخل، وهذه المضخة موجودة في كل خلايا الجسم ومهماها الحفاظ على فرق التركيز عبر غشاء الخلية بالإضافة إلى توطيد الكمون الكهربائي السلبي داخل الخلايا وتشكل هذه المضخة عنصراً أساسياً في وظيفة العصب لنقل التنبيهات العصبية عبر الجهاز العصبي.

## ٢ - النقل الفاعل الثانوي

يتم الحصول على الطاقة بشكل ثانوي من مdroج التركيز الشاردي الذي حصل بوساطة النقل الفاعل الأولي.

وفي حال (الأولي والثانوي) يعتمد النقل على وجود بروتين حامل ليتم احتراق الغشاء عبره كما في النقل الميسر، ولكن في النقل الفاعل تختلف خصائص الحامل البروتيني عن الحامل في الانتشار الميسر بقدرته على نقل الطاقة إلى المادة المقولقة لتحريكها بعكس المدروج الكهربائي.

### الفصل الثالث

## كامن الغشاء و كامن الفعل

### Membrane potential and action potential

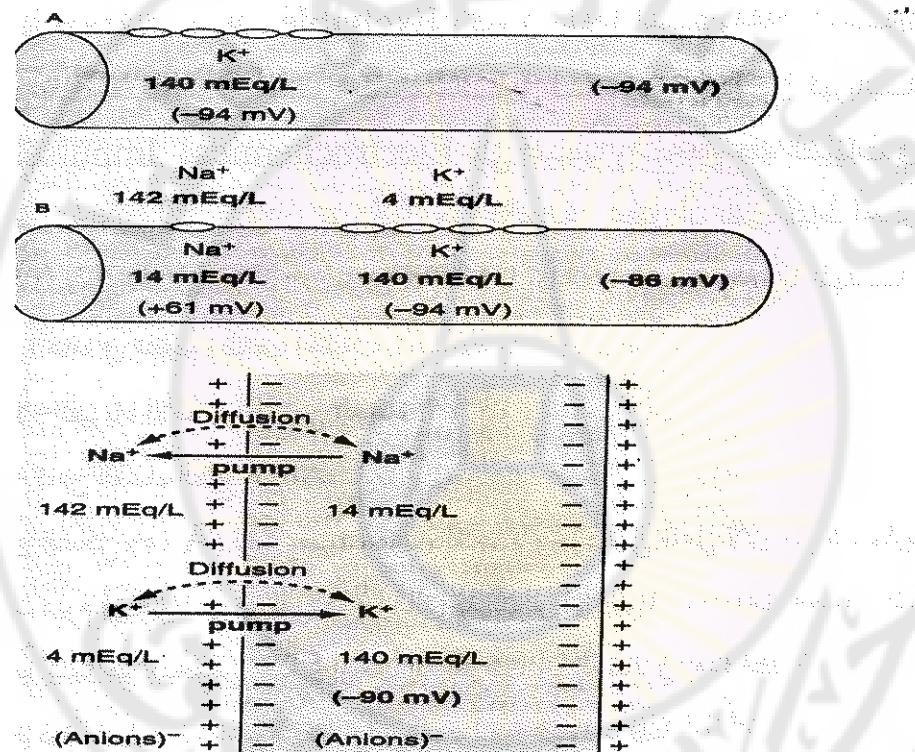
يوجد كامن كهربائي عبر أغشية كافة خلايا الجسم، وبالإضافة إلى ذلك تكون بعض هذه الخلايا مستشاره **Excitable** (كما في الخلايا العصبية والخلايا العضلية)، يعني ذلك أنها قادرة على التوليد الذاتي لدفعتين كيميائية كهربائية **Electrochemical Impulses** على أغشيتها واستخدام هذه التبيهات في معظم الحالات لنقل إشارات على طول هذه الأغشية. يحتمل أن تلعب أنماط أخرى من تبدلات الغشاء، في أنواع أخرى من الخلايا كالخلايا العقدية والخلايا المهدبة، دوراً هاماً في تنظيم وظائف الخلية.

#### أولاً- الفيزياء الأساسية لكامن الغشاء

##### ١- كامن الغشاء الناتج عن الانتشار.

يبين الشكل (٥، A) ليفاً عصبياً وهو بحالة عدم وجود نقل فاعل لأي من شوارد الصوديوم أو البوتاسيوم، ففي هذه الحالة نجد أن تركيز البوتاسيوم داخل الغشاء كبير جداً بينما هو منخفض جداً خارجه. إذا افترضنا أن الغشاء في هذا المثال شديد التفوهية لشوارد البوتاسيوم فقط وغير نفوذ لبقية الشوارد فإننا نجد أنه نتيجة المدروج الكبير لشوارد البوتاسيوم من الداخل إلى الخارج يحدث ميل شديد لانتشار شوارد البوتاسيوم نحو الخارج، يؤدي ذلك إلى حدوث حالة من الكهرجائية خارج الغشاء والكهربائية داخل الغشاء (تحجم السلبية داخل الغشاء عن وجود الصواعد السالبة التي لا تستطيع الانتشار نحو الخارج). إن هذا الاختلاف الجديد في الكامن الكهربائي يدفع شوارد البوتاسيوم بالاتجاه راجع من الخارج إلى الداخل. إن هذا التغير في الكامن

سرعان ما يصبح خلال ملي ثانية كبيراً جداً للدرجة يوقف معها أي انتشار إضافي لشوارد البوتاسيوم نحو الخارج على الرغم من مdroج تركيز شاردة البوتاسيوم المرتفع. يعادل فرق الكامن اللازم لذلك في الليف العصبي السوي الكبير عند التدبيبات ٩٤ ملي فولط حيث توجد السلبية داخل غشاء الليف.



الشكل (٥). A، الليف في هذه الحالة وبشكل افتراضي نفوذ لشوارد البوتاسيوم فقط.  
B، الليف في هذه الحالة وبشكل افتراضي نفوذ لشوارد الصوديوم فقط.  
يمثل الجزء السفلي من الشكل حالة الغشاء عندما يكون نفوذاً لكل من شاردي الصوديوم والبوتاسيوم.

يبين الشكل (A، B) الظاهرة نفسها الموجودة في الشكل (5، 5) ولكن مع وجود تركيز عالٍ لشوارد الصوديوم خارج الغشاء وتركيز منخفض لها داخل الغشاء. كما أن الغشاء في هذه المرة شديد النفوذية لشوارد الصوديوم وغير نفوذ لأي من الشوارد الأخرى. يؤدي انتشار شوارد الصوديوم إلى الداخل إلى إحداث كامن غشاء ذي قطبية متعاكسة سليتها في الخارج وإيجايتها في الداخل. بزداد كامن الغشاء ولمدة قدرها ميلي ثانية إلى درجة يوقف عندها أي انتشار جديد لشوارد الصوديوم نحو الداخل وفي هذه الحالة نجد أن كامن الليف العصبي عند الثديات يعادل 61 ميلي فولط مع ايجاية في داخل الليف.

نجد في الحالتين (A و B) أنه يمكن لفرق تركيز الشوارد عبر غشاء انتقائي النفوذ أن يؤدي في شروط معينة إلى خلق كامن في الغشاء وسوف نرى لاحقاً كيف أن عدة تبدلات سريعة قد لوحظت في كامن الغشاء في أثناء عملية نقل الدفعات العصبية والعضلية، وهذه التبدلات نتيجة حدوث كوامن انتشار سريعة التغير في هذا النوع من الخلايا.

## ٢- العلاقة بين كامن الانتشار وفرق التركيز

يدعى المستوى من الكامن عبر الغشاء والذي يمنع الانتشار الصافي لشاردة ما بشكل تام وفي أي اتجاه عبر الغشاء بкамن نيرنست Nernst potential لهذه الشاردة. إن ما يحدد مقدار هذا الكامن هو نسبة تركيز الشاردة على جانبي الغشاء (كلما ازدادت هذه النسبة زاد ميل الشاردة إلى الانتشار عبر الغشاء وبالتالي يصبح كامن نيرنست أكبر). يمكن من خلال استخدام المعادلة التالية والتي تدعى معادلة نيرنست حساب كامن نيرنست لأي شاردة أحادية التكافؤ في درجة حرارة الجسم السوية.

٩٨,٦ فهرنهايت (37 درجة مئوية).

## التركيز في الداخل

القوة المحرّكة الكهربائية(ميلي فولط) =  $61 \pm 6$  لغ

## التركيز في الخارج

ويفترض عند استخدام هذه المعادلة أن يبقى الكامن خارج الغشاء مساوياً للصفر تماماً ويكون كامن نيرنسن عندئذٍ هو الكامن داخل الغشاء. كما أن إشارة هذا الكامن موجبة عندما تكون الشاردة التي يحسب من أجلها هذا؟ الكامن سالبة وسالبة عندما تكون هذه الشاردة موجبة. فعلى سبيل المثال، عندما يكون تركيز شاردة البوتاسيوم في الداخل عشرة أضعاف تركيزها في الخارج، يكون كامن نيرنسن لهذه الشاردة مساوياً - ٦١ ميلي فولط داخل الغشاء (لأن لغاريتم ١٠ هو ١).

### ٣- حساب كامن الانتشار عندما يكون الغشاء نفوذاً لعدة شوارد مختلفة

يعتمد كامن الانتشار الذي ينشأ في غشاء نفوذ لعدة شوارد مختلفة على ثلاثة عوامل:

١. قطبية (Polarity) الشحنة الكهربائية لكل شاردة.

٢. نفوذية الغشاء لكل شاردة.

٣. التركيز الخاص بكل شاردة في داخل الغشاء وخارجها.

وهكذا فإن المعادلة التالية التي تدعى معادلة كولدمان-هودجكين-كاتر تعطي كامن الغشاء المحسوب على الوجه الداخلي للغشاء عندما تشتريك ثلاثة شوارد في إحداث هذا الكامن وهي البوتاسيوم والصوديوم والكلور.

$$C_{Na^+}P_{Na^+} + C_{K^+}P_{K^+} + C_{Cl^-}P_{Cl^-}$$

$$\text{EMF} = - \frac{1}{N} \log \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \quad \dots$$

$$\text{CNa}_{+o}\text{PNa}_+ + \text{CK}_{+o}\text{PK}_+ + \text{Ccl}_{-i}\text{Pcl}-$$

ولندرس الآن أهمية ومعنى هذه المعادلة.

٩. تعتبر شوارد الصوديوم والبوتاسيوم والكلور هي الشوارد الأكثر أهمية التي تشارك في نشوء كامن الغشاء في كل الألياف العصبية وفي الخلايا العضلية والخلايا العصبية وبالتالي يفيدنا معرفة تركيز كل من هذه الشوارد على جانبي الغشاء في تحديد فولطاج الغشاء.

تناسب أهمية كل شاردة من هذه الشوارد في تحديد فولطاج الغشاء مع نفوذية الغشاء لهذه الشاردة، فإذا كان الغشاء (على سبيل المثال) غير نفوذ لكل من شوارد البوتاسيوم والكلور فإن التحكم التام بكامن الغشاء يتم بوساطة مdroج تركيز شوارد الصوديوم ويكون الكامن الناتج مساوياً تماماً لـ كامن نيرنست للصوديوم، ويصبح المبدأ نفسه لأي شاردة أخرى إذا كان الغشاء نفوذاً لهذه الشاردة فقط.

٣- يسبب مdroج تركيز شاردة موجبة من داخل الغشاء إلى خارجه (يكون تركيز هذه الشاردة داخل الغشاء أعلى منه خارج الغشاء) سلبية كهربائية داخل الغشاء، والسبب في ذلك هو انتشار هذه الشوارد طبقاً لمدروج التركيز نحو الخارج و يحدث العكس تماماً عندما يكون المدروج لشاردة ساللة.

٤. سوف نرى لاحقاً أن نفوذية كل من قنوات الصوديوم و البوتاسيوم تخضع للتبدلات سريعة جداً في أثناء توصيل الدفعات العصبية. (نقل التبيهات العصبية ) بينما لا تتبدل نفوذية قنوات الكلور كثيراً في أثناء هذا الحدث، و طبقاً لذلك فإن تبدل نفوذية الصوديوم و البوتاسيوم هو المسؤول الرئيس عن نقل الإشارات في الأعصاب .

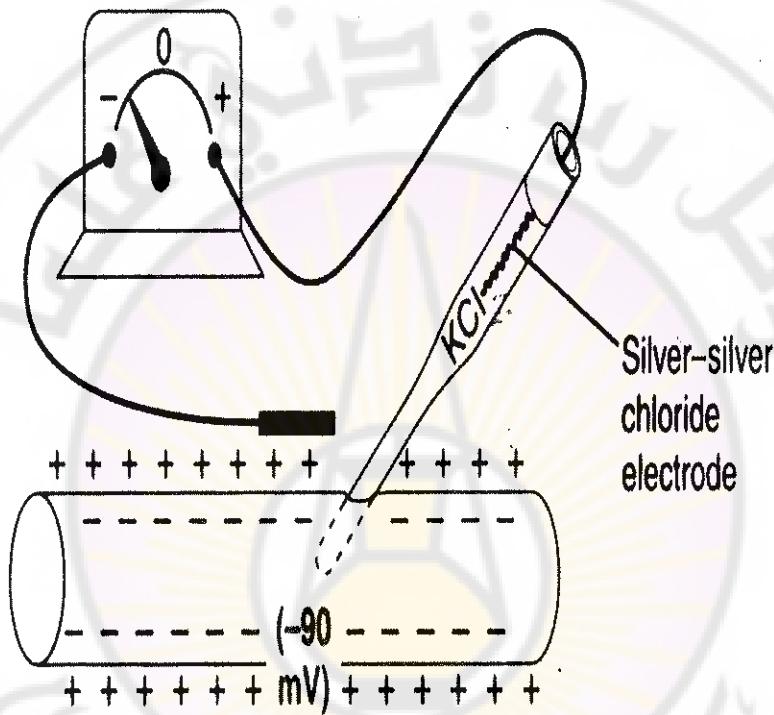
#### ٤- قياس كامن الغشاء

إن طريقة قياس كامن الغشاء سهلة نظرياً، لكن من الناحية العملية فهي غاية في الصعوبة بسبب الحجوم الصغيرة لمعظم الألياف . يبين الشكل (٦) مصاً صغيراً مليئاً بمحلول كهربائي قوي جداً (KCl ) يمرر عبر غشاء الخلية إلى باطن الليف .

يغمس مسرى آخر يدعى المسرى المحايد في السائل الخلالي، ويقاس فرق الكامن بين داخل الليف و خارجه باستخدام مقاييس فولط مخصص لهذا الغرض .

إن هذا الجهاز الإلكتروني شديد التعقيد قادر على قياس الفولطاجات الصغيرة جداً على الرغم من المقاومة الكبيرة جداً للجريان الكهربائي عبر ذروة المقص الشعري الذي يملك قطراً يقاس أقل من ١ ميكرومتر عادة، و مقاومة كبيرة قد تعادل بليون أوم أحياناً.

و لتسجيل التبدلات السريعة في كامن الغشاء في أثناء نقل الدفعات العصبية يوصل المسرى الشعري إلى منظار الذبذبة Oscilloscope .



الشكل (٦). شكل يوضح الطريقة التي يُقاس بها كامن الغشاء.

#### ٥ - كامن الغشاء في الأعصاب في أثناء الراحة

#### Resting Membrane Potential of Nerves

يكون كامن الغشاء في الألياف العصبية الكبيرة في أثناء الراحة (عندما لا تنقل هذه الألياف إشارات عصبية) حوالي  $-90$  ميلي فولط. وهذا يعني أن الكامن داخل الليف

أكثـر سلـبية بـمقدار ٩٠ مـيلي فـولط من كـامـن السـائل الـخـالـي خـارـج الـليـفـ. وـقـبـل درـاسـة العـوـاـمـ الـيـ تـحدـد مـسـتـوى هـذـا الكـامـن لـابـدـ مـن درـاسـة خـواـصـ كـلـ من شـوارـد الصـودـيـومـ وـالـبوـتاـسيـومـ لـلـانتـشـارـ عـبـرـ غـشـاءـ العـصـبـ فيـ أـثـنـاءـ الـراـحةـ.

#### • مضخة الصوديوم - البوتاسيوم

تملك أغشية جميع خلايا الجسم مضخة صوديوم - بوتاسيوم تعمل بشكل مستمر على ضخ الصوديوم خارج الليف والبوتاسيوم إلى داخله، وهذه المضخة هي مضخة مولدة للكهرباء لأنها تضخ شحنات موجبة إلى الخارج أكثر مما تضخه إلى الداخل (٣ شوارد صوديوم إلى الخارج مقابل شاردي بوتاسيوم إلى الداخل) وهذا يؤدي إلى حدوث شحنة سلبية داخل غشاء الخلية.

كما أن مضخة الصوديوم - البوتاسيوم تحدث مdroجات كبيرة في التركيز بالنسبة لكل من الصوديوم والبوتاسيوم عبر غشاء العصب في أثناء الراحة وهذه المdroجات هي كالتالي:

Na في الخارج = ١٤٢ ميلي مكافئ / ليتر.

Na في الداخل = ١٤ ميلي مكافئ / ليتر .

K في الخارج = ٤ ميلي مكافئ / ليتر .

K في الداخل = ١٤٠ ميلي مكافئ / ليتر .

#### • تسريب البوتاسيوم والصوديوم عبر غشاء العصب

يمكن لـكلـ من شـوارـدـ الـبوـتاـسيـومـ وـالـصـودـيـومـ أـنـ تـتسـربـ عـبـرـ قـنـواتـ بـروـتـينـيةـ موجودـةـ فيـ الغـشـاءـ تـدعـىـ هـذـهـ القـنـواتـ — Potassium-Sodium Leak — channel . وتـكونـ هـذـهـ القـنـواتـ أـكـثـرـ نـفـوذـيةـ لـشـوارـدـ الـبوـتاـسيـومـ منـ الصـودـيـومـ بـمـقـدـارـ ١٠٠ـ مـرـةـ فيـ الـحـالـةـ السـوـيـةـ.

## ٦- منشأ كامن الغشاء السوي في أثناء الراحة

يبين الشكل(٥) العوامل المأمة في توطيد كامن الغشاء السوي في أثناء الراحة بمقدار ٩٠ ميلي فولط وهذه العوامل هي .

١. مساعدة كامن انتشار البوتاسيوم. إذا افترضنا أن حركة الشوارد الوحيدة عبر الغشاء هي شوارد البوتاسيوم فإن كامن نيرنسن الموفق لهذه النسبة هو ٩٤ ميلي فولط لأن لغ ٣٥ هو ١,٥٤ وبضرب هذه القيمة بـ ٦١ تكون النتيجة هي ٩٤ ميلي فولط، لذلك عندما تكون شوارد البوتاسيوم هي العامل الوحيد المسئب لacamن الراحة فإن هذا الكامن سيكون مساوياً لـ ٩٤ ميلي فولط.

٢. مساعدة انتشار الصوديوم عبر غشاء العصب. بما أن الغشاء شديد النفوذية للبوتاسيوم وقليل النفوذية للصوديوم فمن المنطقي أن تكون نسبة مساعدة انتشار البوتاسيوم أكبر بكثير من مساعدة انتشار الصوديوم من هذا الكامن وكلا العاملين يجعل كامن الغشاء حوالي ٨٦ ميلي فولط.

٣. مساعدة مضخة الصوديوم والبوتاسيوم. تساهم هذه المضخة في إضافة درجة إضافية من السلبية (-٤ ميلي فولط) وهكذا فإن كامن الانتشار وحدها والناتجة عن انتشار الصوديوم والبوتاسيوم تعطي كامن غشاء يعادل تقريراً -٨٦ ميلي فولط، وناتجة في معظمها عن انتشار البوتاسيوم. ثم هناك مضخة الصوديوم - البوتاسيوم المولدة للكهرباء التي تساهم بمقدار -٤ ميلي فولط، وبذلك نحصل على كامن غشاء هائلي في أثناء الراحة ومقداره -٩٠ ميلي فولط.

## ٧- كامن فعل العصب Nerve Action Potential

هو عبارة عن تبدلات سريعة في كامن الغشاء . يبدأ كل كامن فعل بتبدل فجائي من كامن راحة سوي سالب إلى كامن غشاء موجب ثم يعود ثانية إلى كامن سالب و غالباً ما تكون سرعة العودة مساوية لسرعة التبدل .

ويحتاج نقل الإشارة العصبية إلى انتقال كامن الفعل على طول الليف العصبي حتى يصل إلى نهاية الليف .

ييدي الشكل (٧) رسماً بيانياً للتبدلات المتعاقبة في كامن الغشاء خلال بضعة أجزاء من الثانية ويوضح هذا الرسم البدء السريع لacamن الفعل الذي يساوي غالباً العودة السريعة وإن تالي مراحل كامن الفعل حسب حدوثها كما يلي :

- دور الراحة: وهو عبارة عن كامن الغشاء في أثناء الراحة قبل حدوث كامن الفعل ويقال إن الغشاء في هذه المرحلة في حالة استقطاب polarized نتيجة وجود كامن الغشاء الشديد السلبية .

### • مرحلة نزع الاستقطاب Depolarization Stage

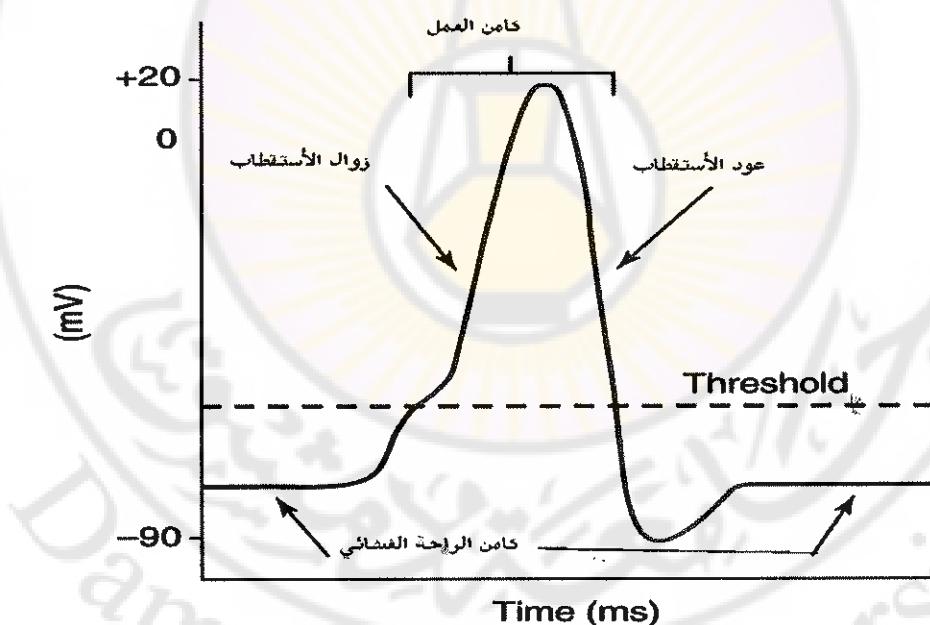
يصبح الغشاء في هذه المرحلة وفجأة شديد النفوذية لشوارد الصوديوم مما يسمح بتدفق أعداد هائلة من شوارد الصوديوم إلى داخل الخلية وتزول حالة الاستقطاب السوية التي مقدارها - ٩٠ ملي فولط مع ارتفاع سريع لacamن بالاتجاه الموجب وهذا يدعى نزع الاستقطاب أو إزالة الاستقطاب .

يتحاوز كامن الفعل في الألياف العصبية الكبيرة مستوى الصفر ويصبح إيجابياً إلى حد ما ولكنه في بعض الألياف الأصغر كما في معظم عصبونات الجملة العصبية المركزية يقترب من مستوى الصفر فقط دون أن يتجاوزه إلى الحالة الإيجابية .

## • مرحلة عود الاستقطاب Repolarization Stage

بعد عدة أجزاء من العشرة آلاف من الثانية التي يصبح خلالها الغشاء شديد النفوذية لشوارد الصوديوم ، تبدأ قنوات الصوديوم بالانغلاق وتأخذ قنوات البوتاسيوم بالانفتاح أكثر من الحالة السوية ، ثم يحدث انتشار سريع لشوارد البوتاسيوم إلى الخارج مما يؤدي إلى إعادة توطيد كامن الغشاء السوي السالب في أثناء الراحة وهذا ما يدعى عودة استقطاب الغشاء .

ويجب أن نذكر في هذا المجال أن القنوات لكل من شوارد الصوديوم والبوتاسيوم التي يطرأ عليها تحولات من افتتاح وإنغلاق خلال زوال الاستقطاب والعودة للاستقطاب هي من نوع القنوات المبوبة بالفولطاج ومعنى ذلك أن تغيرات معينة في الفولطاج عبر غشاء الخلية هي التي تسبب افتتاحها أو انغلاقها .



الشكل(٧). كامن الراحة والتبدلاته التي تحدث في أثناء كامن العمل.

## دور الشوارد الأخرى في أثناء كامن العمل

حتى الآن لم نأخذ بعين الاهتمام إلا دور كل من شوارد الصوديوم والبوتاسيوم في نشوة كامن العمل ، ولكن هناك على الأقل ثلاثة شوارد أخرى يجب أن تؤخذ باهتمام :

### ١. الشوارد ذات الشحنة السلبية وغير النفوذة الموجودة داخل الخوار.

يوجد داخل الخوار Axon الكثير من الشوارد السالبة التي لا يمكنها المرور عبر قنوات الغشاء وتضم هذه الشوارد جزيئات السيروتين و الكثير من مركبات الفوسفات العضوية و مركبات السلفات وغيرها.

### ٢. شوارد الكالسيوم . يمتلك غشاء الخلية في معظم خلايا الجسم مضخة

كالسيوم مشابهة لمضخة الصوديوم . وكما في مضخة الصوديوم ، تقوم هذه المضخة بدفع شوارد الكالسيوم من داخل غشاء الخلية إلى خارجه (أو إلى الشبكة الهيولية الباطنة ) محدثة مدرجاً في تركيز شاردة الكالسيوم يعادل ١٠٠٠ ضعف أي يكون تركيز شوارد الكالسيوم خارج الخلايا أعلى بعشرة آلاف مرة من داخلها . بالإضافة إلى ذلك، توجد قنوات الكالسيوم المبوبة بالفولطاج، وهذه القنوات عندما تفتح يتدفق عبرها كل من شوارد الكالسيوم والصوديوم ولذلك فإن هذه القنوات تدعى في بعض الأحيان قنوات الكالسيوم-الصوديوم. تتفعل قنوات الكالسيوم ببطء وتحتاج لزمن أكبر ب ١٠ - ٢٠ مرة مما تحتاجه قنوات الصوديوم لتفعل، لذلك تدعى القنوات البطيئة بعكس قنوات الصوديوم التي تدعى القنوات السريعة. تتواجد قنوات الكالسيوم بوفرة شديدة في كل من العضلة القلبية والعضلات الملمس.

٣. شوارد الكلور. تتسرب شوارد الكلور عبر الغشاء في أثناء الراحة بالطريقة نفسها التي تتسرب بها شوارد البوتاسيوم والصوديوم عبر هذا الغشاء. وتكون سرعة انتشار الكلور عبر الغشاء في الليف العصبي أكبر بمرة ونصف من انتشار البوتاسيوم ولكن السؤال: لماذا لم نأخذ شوارد الكلور بالاهتمام في أثناء شرح كامن الفعل؟ والجواب على ذلك هو أن وظيفة شوارد الكلور منفعلة في هذه العملية، كما أن نفوذية قنوات تسرب الكلور لا تتبدل بشكل ملحوظ في أثناء كامن العمل كما أن كامن نيرنسست لهذه الشاردة يساوي تماماً كامن الغشاء الذي تبلغ قيمته - ٩٠ ميلي فولط.

#### نظمية النسج المستشار

#### Rhythmicity of certain Excitable Tissues

يحدث التفريغ المتكرر المحرض ذاتياً أو ما يدعى النظمية في الحالة السوية في كل من:

١. القلب

٢. معظم العضلات الملساء

٣. الكثير من عصبونات الجملة العصبية المركزية

تؤدي هذه التفريغات النظمية إلى حدوث كل من نظم القلب والحركات الحيوية في الأمعاء وكل ما يقابل ذلك من الحوادث العصبية (كما في النظمية التي تسيطر على التنفس).

ويمكن لجميع النسج الأخرى المستشار أن تفرغ بشكل متكرر إذا كانت عتبة التباه منخفضة إلى حد كافٍ.

ولحدوث النظمية ينبغي أن يكون الغشاء نفوذاً بشكل كاف حتى في الحالة السوية لشوارد الصوديوم (أو شوارد الكالسيوم والصوديوم عبر قنوات الكالسيوم البطيئة) حتى يسمح بحدوث إزالة استقطاب الغشاء بشكل ذاتي.

## الفصل الرابع

# الجهاز القلبي الوعائي

مقدمة. يتتألف الجهاز القلبي الوعائي من:

### ١ — القلب (مضخة مرکزية)

يتقلص في أثناء الانقباض ليدفع الدم ويرتخي في أثناء الانبساط ليمتلئ بالدم. إن العمل الرئيسي للقلب هو إحداث مدروج في الضغط يكفي لإحداث جريان الدم بشكل مستمر في الدوران، لذلك فإن القلب يضرب بشكل ذاتي ومنتظم خلال الحياة.

### ٢ — جملة مغلقة من الأوعية الدموية وهي:

١. الشرايين: تملك جدار ثخين وتنقل الدم من القلب إلى جميع أعضاء الجسم تحت ضغط عال، لذلك فإن جدران الشرايين الكبيرة (كالأور) تحتوي ألفافاً مرنة في جدرها أكثر من الألياف العضلية بينما تملك الشرايين الأصغر ألفافاً عضلية أكثر من المرونة.

٢. الشريانات Arterioles : وهي عبارة عن تفرعات الشرايين الكبيرة، ذات قطر أقل من قطر الشرايين الكبيرة وتملك جداراً عضلياً سميكاً، تستطيع الشريانات التضيق والتتوسيع كي تحكم بكمية الدم التي تجري إلى الشعيرات وذلك حسب حاجة وفعالية النسج، ومن أجل ذلك تبدي مقاومة عالية لجريان الدم وتسمى أوعية المقاومة Resistance Vessels وطبقاً لذلك فهي المكان الرئيسي للمقاومة الحيطية التي تبديها الأوعية الدموية لجريان الدم.

٣. الشعيريات Capillaries : تشكل شبكة من الأوعية الرقيقة الجدر، يتتألف جدارها من طبقة واحدة من الخلايا، وظيفتها الرئيسية تبادل السوائل والغازات والغذيات بين الدم والأنسجة ولذلك تدعى أوعية التبادل . Exchange vessels

٤. الوريدات والأوردة Venules and Veins : تملك جدرًا رقيقة قابلة للتوسيع بشكل كبير وهي تحمل الدم من مختلف أعضاء الجسم إلى القلب.

### التشريح الفيزيولوجي للقلب

### Physiologic Anatomy of the heart

القلب عضو عضلي يقع في جوف الصدر خلف عظم القص وزين حوالي ٣٠٠ غ عند الشخص البالغ. يأخذ القلب شكل مخروط مقلوب قاعدته في الأعلى وقمه في الأسفل، ويعتبر القلب مؤلفاً من مضمحتين منفصلتين، القلب الأيمن الذي يضخ الدم عبر الرئتين والقلب الأيسر الذي يضخ الدم إلى كافة أعضاء الجسم الأخرى. يتتألف كل من هذين الجزأين من حجرتين هما الأذين والبطين، يعمل الأذين بشكل أساسي كمستودع للدم ومدخل إلى البطين، أما البطين فيقوم بتأمين القوة الرئيسية التي تدفع الدم عبر كل من الدوران الرئوي والدوران المحيطي (الشكل ٨).



الشكل(٨) الجهاز القلبي الوعائي ويظهر القلب كمضخة مرکبة تضخ الدم عبر كلّ من الدورانين الرئوي والجهاري.

يوجد في القلب ثلاثة أنماط رئيسية من العضلات هي العضلة الأذينية والعضلة البطينية وألياف عضلية متخصصة نقلية واستشارية (الجهاز العقدي في القلب).

إن كلاً من العضلة الأذينية والعضلة البطينية يتقلص بشكل مشابه تماماً للعضلات الهيكلية غير أن فترة تقلصها أطول، أما الألياف المتخصصة النقلية والاستشارية فتتقلص بشكل ضعيف وبدلاً من ذلك فإنها تظهر نظميات وسرعات مختلفة للتوصيل مشكلة بذلك جهازاً استشارياً للقلب وجهاز نقل لتوصيل التنبيهات الاستشارية بشكل منظم عبر القلب.

### العضلة القلبية كمخلوي **Cardiac muscle as syncytium**

تشكل العضلة القلبية بأقسامها المختلفة من عدد كبير من الألياف المشابهة في بنيتها للألياف العضلية المخططة وتختلف عنها في عدة نواح، وأهم هذه الاختلافات وجود مناطق اتصال بين الألياف المجاورة بحيث يتم انتقال الشوارد بحرية عبر مناطق الاتصال هذه، ويدعى هذا النوع من العضلات بالمخلي، يعني ذلك أن كامن العمل المتولد في ليف قلبي ما (خلية قلبية) يستطيع الانتشار بسهولة إلى الخلايا المجاورة وهذا لا يحدث في الليف العضلي الهيكلي.

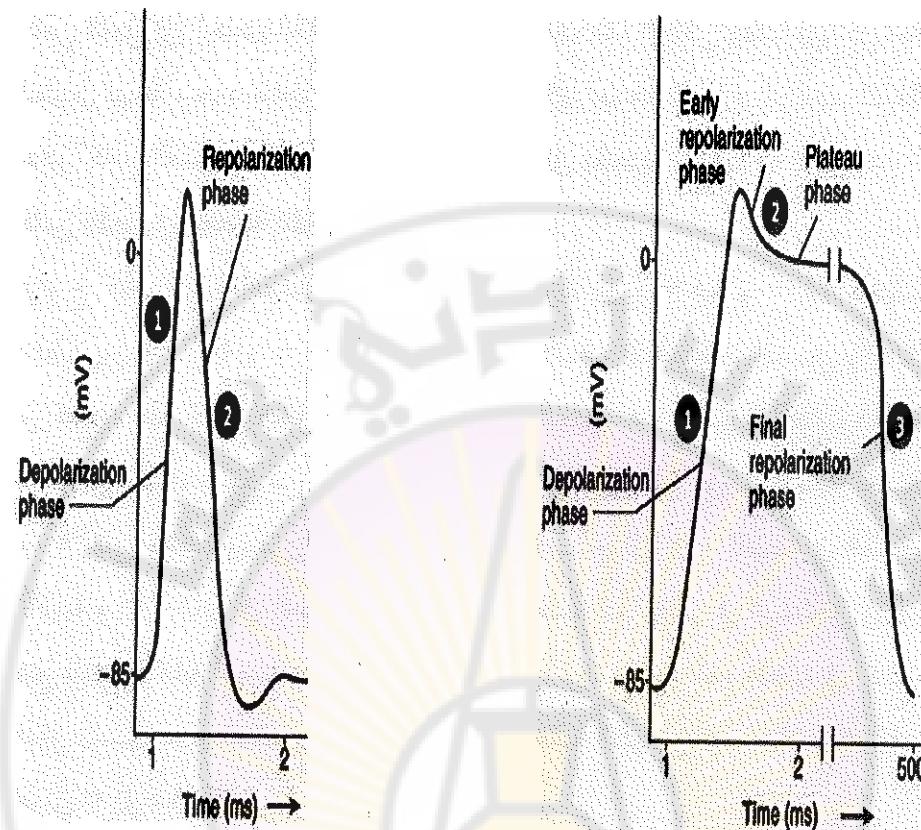
يتألف القلب من مخلين منفصلين: المخلوي الأذيني المؤلف من جدران كلا الأذينين والمخلوي البطيني المؤلف من جدران كلا البطينين، وينفصل الأذينان عن البطينين بنسيج ليفي، ويتم نقل كامن الفعل من المخلوي الأذيني إلى المخلوي البطيني في الحالة السوية فقط عبر جهاز توصيل متخصص في القلب (هو **الحزمة الأذينية البطينية V – A bundle**).

كلمة مخلوي تعني أن العضلة (الأذينية أو البطينية) المؤلفة من مجموعة من الألياف (الخلايا) تتقلص كلها في نفس الوقت أو لا يحدث التقلص (يعني أنه عندما يصل

كامن الفعل إلى إحدى الخلايا القلبية في البطين فإن هذا الكامن ينتشر إلى كل خلايا البطين نتيجة وجود مناطق اتصال بين هذه الخلايا تعبّرها الشوارد بحرية)، لذلك ينتشر كامن العمل في كل الخلايا القلبية وتؤدي إلى تقلصها جميعها في آن واحد.

### **كامن الفعل في العضلة القلبية**

يتراوح كامن الراحة الغشائي للعضلة القلبية السوية بين ( - ٩٥ و - ٨٥ ) ميلي فولط وبين ( - ١٠٠ و - ٩٠ ) ميلي فولط للإلياف المتخصصة بالنقل (ألياف بوركنج)، يبلغ كامن الفعل المسجل في العضلة البطينية ١٠٥ ميلي فولط، وهذا يعني أن كامن الغشاء يرتفع من قيمته السوية السالبة جداً إلى قيمة موجبة قليلاً تعادل ٢٠+ ميلي فولط، ويقع الغشاء مزال الاستقطاب حوالي ٢٠،٠ ثانية في العضلة الأذينية و ٣٠،٠ ثانية في العضلة البطينية مظهراً هضبة كما يظهر في الشكل (٩)، ثم يتبع ذلك في نهاية المضبة عود استقطاب مفاجع، وإن وجود هذه المضبة في كامن الفعل يسبب دوام التقلص العضلي في العضلة القلبية أكثر من العضلات الهيكيلية بحوالي ٣ إلى ١٥ مرة.



الشكل (٩). شكل يظهر مقارنة بين كامن عمل في العضلة القلبية (في يمين الشكل حيث تظهر فيه مراحل ومدة كامن العمل) وكامن عمل في ليف عضلي هيكلي (في يسار الشكل).

ما هو سبب طول فترة كامن الفعل وسبب وجود المضبة في العضلة القلبية؟  
يوجد اختلافان كبيران على الأقل بين خصائص الغشاء في العضلة القلبية والعضلة الهيكيلية يفسران السبب هما:

- ينتج كامن الفعل في العضلة الهيكيلية بالكامل تقريباً عن افتتاح مفاجئ لعدد كبير من القنوات التي تعرف بقنوات الصوديوم السريعة مما يسمح بدخول عدد كبير من شوارد الصوديوم إلى داخل الليف العضلي الهيكيلي . تتميز

هذه القنوات بأنها قنوات سريعة الانفتاح وسريعة الانغلاق (تبقي مفتوحة فقط لعدة أجزاء من عشرة ألف جزء من الثانية)، بينما يحدث كامن الفعل في العضلة القلبية نتيجة افتتاح نمطين من القنوات، النمط الأول هو قنوات الصوديوم السريعة نفسها كما في العضلات الميكلية، والنمط الثاني هو مجموعة أخرى من القنوات التي تدعى قنوات الكالسيوم البطيئة أو قنوات الكالسيوم-الصوديوم البطيئة، وتختلف هذه المجموعة من القنوات عن المجموعة الأولى في كونها أولاً أبطأ افتتاحاً من القنوات الأولى وثانياً - وهو أعظم أهميةً أنها تبقى مفتوحة لعدة عشرات من الثانية، تغير خلال هذا الزمن كميات كبيرة من كل من شوارد الكالسيوم والصوديوم إلى داخل الليف العضلي القلبي وبالتالي تحافظ على فترة طويلة من زوال الاستقطابحدثه المضبة في كامن الفعل.

• تناقص بعد بدء كامن الفعل مباشرةً نفوذية غشاء الليف العضلي القلبي لشوارد البوتاسيوم حوالي خمس مرات بينما لا يحدث هذا الأمر في العضلة الميكلية، يؤدي ذلك إلى نقص كبير في خروج شوارد البوتاسيوم خلال هضبة كامن الفعل مانعاً بذلك العودة إلى الحالة السوية بشكل مبكر كما في الليف العضلي الميكلبي. وعندما تتغلق قنوات الكالسيوم البطيئة بعد مضي ٢٠،٣٠ ثانية تزداد نفوذية الغشاء للبوتاسيوم بشكل سريع جداً ويتناقص محتوى الليف العضلي من البوتاسيوم بسرعة مما يعيّد كامن الغشاء إلى مستوى في أثناء الراحة فيتهيئ بذلك كامن الفعل.

## سرعة الفعل في العضلة القلبية

إن سرعة توصيل كامن الفعل في كل من الألياف العضلية الأذينية والبطينية حوالي .٣٠٠ متر/ثا وتختلف سرعة التوصيل في جهاز التوصيل المتخصص من .٢٠٠ إلى ٤ متر في الثانية.

## فترة عصيان العضلة القلبية

تشبه العضلة القلبية كافة النسج القابلة للاستشاره بأها لا تستجيب في أثناء فترة كامن العمل لأي تنبية آخر وهي ما تدعى فترة العصيان المطلق . تقدر فترة العصيان السوية للبطين بحوالي ٢٥٠ إلى ٣٠٠ ميلي ثانية وهذه مدة كامن الفعل تقريباً . إضافة إلى ذلك هناك فترة عصيان أخرى تسمى فترة العصيان النسيي Relative refractory period تقدر بحوالي ٥ ميلي ثانية تكون خلالها استشاره العضلة القلبية أصعب من الحالة السوية ولكن يمكن إثارتها بمنبه شدته أعلى من شدة المنبه الفيزيولوجي السوي .

## الإثارة النظمية للقلب

يهوي القلب جهازاً متخصصاً :

١. توليد الدفعات النظمية التي تسبب التقلص النظمي لعضلة القلب .

٢. توصيل هذه الدفعات بسرعة عبر القلب .

عندما يعمل هذا الجهاز بشكل سوي فإن الأذينات تسبق بتناقضها التقلص البطيني بمقدار ٦/١ من الثانية وهذا يسمح بزيادة ملء البطينات قبل أن تضخ الدم عبر الرئتين والدوران الحيطي ، وهناك أهمية خاصة لهذا الجهاز المتخصص تكمن في أنه يسمح لكافة أجزاء البطينات أن تتناقض معاً في وقت واحد تقريباً وهذا ضروري لتوليد ضغط فعال في الأجوف البطينية .

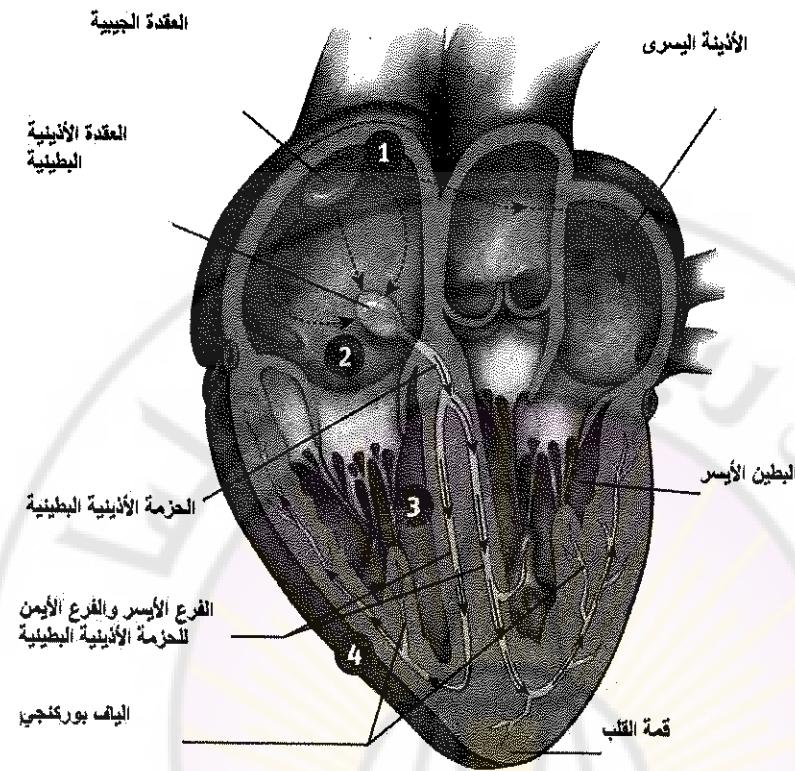
## جهاز القلب المتخصص في النقل والإثارة

يتتألف جهاز القلب المتخصص في الإثارة و النقل الذي يتحكم بالتلصلات القلبية من البن التالية :

- ١ - العقدة الجلدية **Sinus Node** : تنشأ فيها الدفعات النظمية السوية .
- ٢ - المسالك بين العقد **Internodal pathways** : توصل التبيه من العقدة الجلدية إلى العقدة الأذينية البطينية .
- ٣ - العقدة الأذينية البطينية **Atrioventricular Node** : تأخر فيها الدفعات القادمة من الأذينتين إلى البطينين .
- ٤ - الخرمة الأذينية البطينية **Atrioventricular Bundle** : توصل التبيه من الأذينتين إلى البطينين .
- ٥ - الخرمي اليسرى واليمني لألياف بوركنجي **Bundles of Purkinje Fibers** : توصلان الدفعات إلى كافة أقسام البطينين الشكل (١٠).

### العقدة الجلدية

تتوسط هذه العقدة في الجدار الوحشي العلوي للأذين الأيمن و تقيس حوالي ٣ ملم عرضاً و ١٥ ملم طولاً و ١ ملم ثخاناً . لا تحتوي ألياف هذه العقدة غالباً على خيوط قلوصية و هي أصغر عادة من الألياف العضلية الموجودة في الأذينة و البطين ، كما أن هذه الألياف الموجودة في العقدة الجلدية تتصل مع الألياف الأذينية و لهذا فإن أي كامن فعل يبدأ في العقدة الجلدية ينتشر مباشرة إلى الأذينتين .



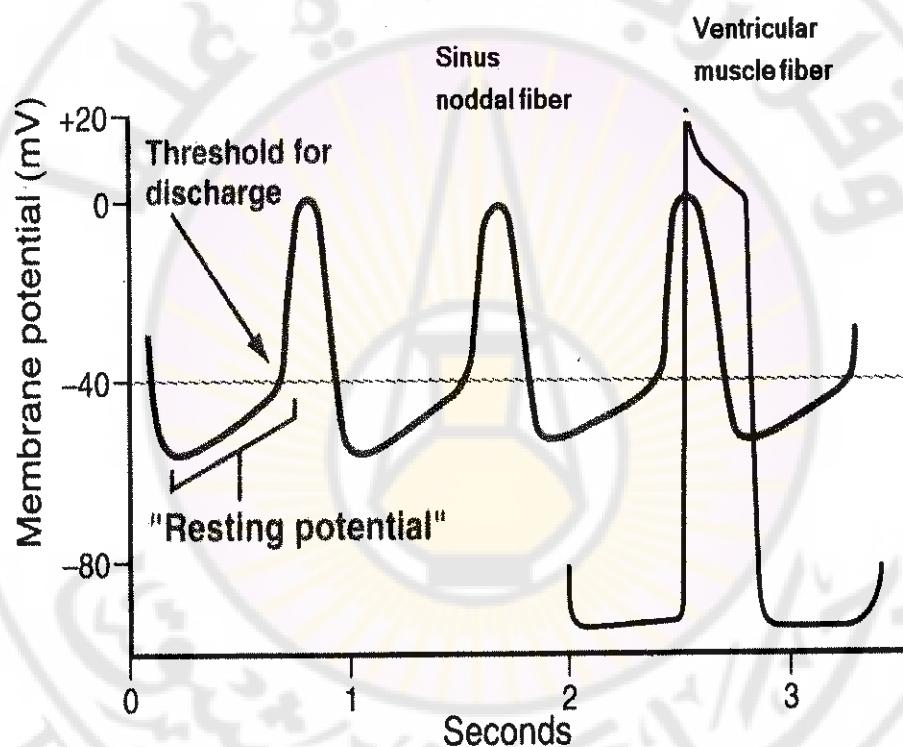
الشكل (١٠) الجهاز العقدي الناقل في القلب.

#### النظمية الكهربائية التلقائية لألياف العقدة الجيبيّة

تمتلك العديد من ألياف العضلة القلبية القدرة على الإثارة الذاتية self excitation و هي العملية التي تستطيع إحداث إثارة ذاتية نظمية و تقلص ، و ينطبق هذا الأمر بشكل خاص على جهاز التوصيل المتخصص في القلب و يبدو أن ألياف العقدة الجيبيّة هي الجزء من هذا الجهاز الذي يظهر أكبر قدرة ممكنة على الإثارة الذاتية ، و لهذا السبب فإن العقدة الجيبيّة تحكم عادة بسرعة ضربات القلب.

## كامن الفعل في ألياف العقدة الجيبية

بيين الشكل (١١) كامن فعل مسجل من ليف عقدي جيبي لثلاث ضربات قلبية و كامن فعل واحد لليف عضلي بطيني للمقارنة . يظهر في الشكل (١١) أن كامن الليف العقدي الجيبي بين التفريغات ذو سلبية تعادل ما بين -٥٥ إلى -٦٠ ملي فولط مقارنة مع كامن الليف البطيني المساوي إلى -٨٥ حتى -٩٠ ملي فولط .



الشكل (١١). شكل يُظهر ثلاثة كامن عمل في ليف عقدي جيبي وكامن عمل واحد في ليف عضلي بطيني .

تحوي العضلة القلبية ثلاثة أنماط مختلفة من قنوات الغشاء الشاردية تلعب أدواراً هامة في إحداث تبدلات في فولطاج كامن العمل وهي :

١. قنوات الصوديوم السريعة .
٢. قنوات البوتاسيوم .
٣. قنوات الكالسيوم – الصوديوم البطيئة .

إن افتتاح قنوات الصوديوم السريعة بجموعة أجزاء من ١٠٠٠٠ جزء من الثانية مسؤول عن الشوكة الكمونية لкамن الفعل الملاحظ في العضلة البطينية و الناجم عن التدفق السريع لشوارد الصوديوم الموجبة إلى داخل الليف ، في حين تتحكم المضبة في كامن الفعل في الألياف البطينية من افتتاح أبطأ لقنوات الكالسيوم – الصوديوم البطيئة التي تستمر بجموعة أعشار من الثانية ، و أخيراً فإن الانفتاح المتزايد لقنوات البوتاسيوم و انتشار كمية كبيرة من شوارد البوتاسيوم الإيجابية خارج الليف يعيّد كامن الغشاء إلى مستوى في أثناء الراحة .

لكن يوجد فارق في وظيفة هذه القنوات في الليف العقدي الجيبي و يرجع السبب في ذلك إلى قلة سلبية كامن الراحة التي تعادل فقط - ٥٥ ميلي فولط بالمقارنة مع درجة من السلبية في أثناء الراحة تصل إلى - ٩٠ ميلي فولط في الألياف البطينية ، ففي هذا المستوى من السلبية تصبح قنوات الصوديوم السريعة عاطلة inactivated ولذلك تستطيع فقط قنوات الكالسيوم – الصوديوم البطيئة أن تفتح و تحدث كامن العمل، و لذلك فإن كامن الفعل يحدث بشكل أبطأ مما هو في العضلة البطينية ، و ينتهي أيضاً بتناقص بطيء للكامن بدلاً من الانتهاء المفاجئ الذي يحدث في الليف البطيني.

## الإثارة الذاتية للألياف العقدية الجلدية

تميل شوارد الصوديوم و بشكل طبيعي إلى النفاذ إلى داخل الخلايا العقدية و ذلك بسبب فارق التركيز بين داخل الخلايا و خارجها حيث يكون تركيز الصوديوم خارج الخلايا مرتفعاً و داخل الخلايا منخفضاً ، و بسبب الشحنة السلبية الموجدة داخل الخلايا التي تساعد على دخول الشوارد الإيجابية .

يضاف إلى ذلك وجود بعض القنوات التي تكون مفتوحة تماماً بين الضربيتين مما يؤدي إلى دخول شوارد الصوديوم بشكل تدريجي بين كل ضربتين قليلاً ، و عندما يصل فولطاج الغشاء إلى  $-40$  ميلي فولط ( عتبة التنشيط Threshold ) تصبح قنوات الكالسيوم - الصوديوم مفعلة و تؤدي إلى دخول سريع جداً لشوارد الكالسيوم مسببة نشوء كامن الفعل لذلك فإن التسريب المتأصل ( الموروث ) للألياف العقدية الجلدية لشوارد الصوديوم يسبب إثارتها الذاتية .

لكن السؤال: لماذا لا يؤدي هذا التسريب لشوارد الصوديوم إلى بقاء الألياف العقدية الجلدية مزالة الاستقطاب طوال الوقت ؟

الجواب على ذلك يتمثل بأمرتين يحدثان خلال سير كامن العمل :

١- تعطل قنوات الكالسيوم - الصوديوم و تغلق فترة تقارب  $100 - 150$  ميلي ثانية بعد الانفتاح .

٢- انفتاح عدد كبير من قنوات البوتاسيوم في الوقت نفسه تقريباً أو بعد انفتاح قنوات الكالسيوم - الصوديوم بزمن صغير جداً يؤدي بعد فترة من الزمن إلى توقف دخول شوارد الكالسيوم بسبب تعطل القنوات ، و إلى خروج كبير لشوارد البوتاسيوم مما يؤدي إلى إنهاء كامن الفعل ، و أكثر من ذلك ، تبقى قنوات البوتاسيوم مفتوحة بضعة أعشار أخرى من الثانية فتخرج كميات

كبيرة من شحنات البوتاسيوم الموجبة خارج الخلية مما يسبب زيادة كبيرة في السلبية داخل الخلية وهذا يدعى فرط الاستقطاب **Hyperpolarization** حيث ينخفض كامن الغشاء إلى حوالي -٥٥ أو -٦٠ ملي فولط .

**المسالك بين العقد و انتقال الدفعات القلبية عبر الأذينتين**  
تندمج نهايات الألياف العقدية الجلدية مع ألياف العضلة الأذينية المحيطة بها ، و يتنتقل كامن الفعل الناشئ في العقدة الجلدية نحو الخارج إلى هذه الألياف عبر قنوات الاتصال **Gap junction** . و بهذه الطريقة ينتشر كامن الفعل عبر كامل ألياف العضلة الأذينية وأخيراً إلى العقدة الأذينية البطينية . تبلغ سرعة التوصيل في العضلة الأذينية ٣ م/ثا ، و توجد عدة حزم صغيرة من ألياف العضلة الأذينية أسرع توصيلاً حيث تبلغ سرعة التوصيل في هذه الحزم ١ م/ثا و هذه الحزم هي المسالك بين العقد و إحدى هذه الحزم تصل إلى الأذينة اليسرى ، و الحزمتان الباقيتان توصلان التببيه إلى العقدة الأذينية البطينية .

#### **العقدة الأذينية البطينية و تأخير توصيل الدفعات**

إن جهاز التوصيل مصمم بحيث لا يسمح للدفعات القلبية أن تنتقل بسرعة كبيرة من الأذينتين إلى البطينين ، هذا التأخير في النقل يسمح للأذينين بالتعلق قبل البطينين و بالتالي يفرغان محتواهما داخل البطينين قبل أن ينقض البطينيان ، و يحدث تأخير للنقل في العقدة الأذينية البطينية بقدر ١٣ ، ٠ ثانية تقريباً .

#### **الانتقال في جهاز بوركنجي**

تسير ألياف بوركنجي من العقدة الأذينية البطينية عبر الحزمة الأذينية البطينية إلى البطينين ، و تبلغ سرعة النقل في هذه الألياف ٤،٥ م/ثا مما يسمح بنقل فوري تقريباً للدفعات القلبية عبر كامل الجهاز البطيني .

## الدورة القلبية The cardiac cycle

تدعى الفترة بين بدء ضربة قلبية وبدء الضربة التالية بالدورة القلبية، وتبدأ كل دورة بкамن فعل يتولد عفويًا في العقدة الجيبية، وينتقل كامن الفعل بسرعة عبر كلا الأذينين ومن ثم عبر الحزمة الأذينية البطينية  $A - V$  bundle إلى البطينين، على أنه يوجد تأخير في مرور الدفعة القلبية Cardiac Impulse من الأذينين إلى البطينين تزيد مده عن  $1/10$  من الثانية وسببه تنظيم خاص في جهاز النقل من الأذينات إلى البطينات، ويسمح هذا التأخير للأذينات بالتقلص قبل البطينات فتضخ الدم إلى البطينات قبل حدوث تقلص البطينات القوي جداً وهكذا تعمل الأذينات كمضخات أولية تساعده في ضخ الدم إلى البطينات تقوم بعدها هذه الأخيرة بتأمين المصدر الرئيس للقوة الدافعة للدم عبر الجهاز الوعائي.

تتألف الدورة القلبية من فترة ارتخاء تدعى الانبساط Diastole يمتلك خلالها القلب بالدم، يتلوها فترة تقلص تدعى الانقباض Systole .



## الفصل الخامس

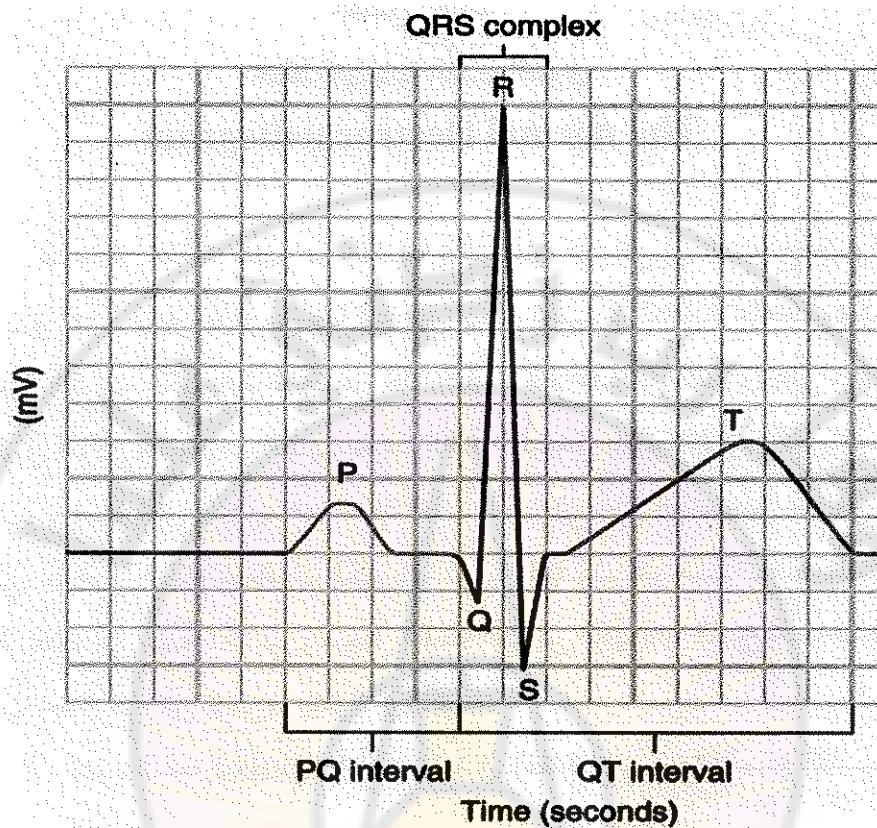
### مخطط كهربائية القلب السوي

### The normal electrocardiogram

عندما تمر الدفعة القلبية عبر القلب، ينتشر تيار كهربائي إلى النسج حول القلب و تنتشر نسبة ضئيلة من هذا التيار إلى سطح الجسم في كافة الاتجاهات. يمكن تسجيل الكوامن الكهربائية الناتجة عن هذا التيار بوضع عدد من المسارين على سطح الجلد في أماكن متقابلة من القلب. يعرف الكامن المسجل باسم مخطط كهربائية القلب، واستناداً إلى ذلك يعرف مخطط القلب الكهربائي على أنه تسجيل خارجي ، خطبي ، متواصل لمحصلة الفعاليات الكهربائية القلبية كما تبدو عبر مسار توضع على نقاط محددة من سطح الجسم، (تسجيل محصلة الكوامن الكهربائية التي تحدث في القلب خلال فترة من الزمن) ويشارك في تكوينه.

١. نشوء الدفعة **Impulse** الكهربائية في العقدة الجيبية (ناظمة القلب البدئية).
٢. انتشار الدفعة الكهربائية عبر الجهاز الناقل القلبي.
٣. زوال استقطاب الخلايا الأذينية ومن ثم البطينية.
٤. عود استقطاب الخلايا السابقة وفق تسلسل معين.

يتكون مخطط القلب الكهربائي من تالي مجموعة من موجات زوال الاستقطاب وموحات عود الاستقطاب (موجة P و مركب QRS و موجة T و عدد من الوصلات والشدف ) كما يظهر في الشكل (١٢) .



الشكل (١٢). مخطط القلب الكهربائي السوي، بين الموجات بمددها الزمنية و فولطاجها السوي.

### الساحة الكهربائية للقلب

تنقل القوى الكهربائية التي مصدرها الأساسي العضلة القلبية، المتوضعة عميقاً في حوف الصدر إلى السطح الخارجي للجسم عن طريق وسط ناقل يتكون من مجموعة من الأنسجة المختلفة من حيث البنية الخبيطة بالقلب، وقد اقترح العالم اينتهوفن عددة افتراضات لتسهيل فهم مخطط القلب الكهربائي و دراسته هي:

١. وجود منع كهربائي وحيد مزدوج القطب، متعادل القوى هو القلب.

٢. تجانس الجسم كنافل حجمي، أي اعتبار كافة الأنسجة الناقلة للقوى الكهربائية وال مختلفة البنية وكأنها من طبيعة واحدة فيما يتعلق بعملية الإيصال (مثال: اعتبار ناقلة العظم للكهرباء مثل ناقلة العضلات).
٣. توضع المتبع الكهربائي الوحيد (القلب) في مركز النافل الحجمي المتجانس.
٤. تناظر المناخي.

### **مخطط كهربائية القلب والاتجاهات القلبية**

إن مخطط كهربائية القلب مقاييس غلغاني غاية في الدقة يستطيع التقاط تغيرات محصلة الكوامن الكهربائية وتسجيلها على ورق خاص وبوساطة مسار Electrodes معينة توضع على نقاط محددة من سطح الجسم ويستعمل نظام المساري الذي يعتمد على افتراضات ايتھوفن المنوه عنه أعلاه، خمسة مسار يثبت أربعة منها على الأطراف في حين ينقل الخامس على أماكن مختلفة من سطح جدار الصدر، ويمثل كل اتجاه تسجيلاً متواصلاً لتبدل الكامن الكهربائي بين اثنين من المساري، بينما يؤمن الطرف السفلي الأيمن الاتصال السريع غير الفعال (الأرضي) للاتجاهات كافة.

واستناداً لما تقدم هناك نوعان من الاتجاهات

#### **١ — الاتجاهات ثنائية القطب (الاتجاهات المعيارية)**

وتسمى أيضاً الاتجاهات القياسية وهي الاتجاهات المدرسية التي استعملها ايتھوفن وتقيس فرق الكامن بين نقطتين متوضعتين على طرفي من الأطراف وعددتها ثلاثة.  
 أ — الاتجاه الأول I : يقيس فرق الكامن بين الذراعين اليسرى واليمين بحيث يوضع المسرى الموجب على الذراع اليسرى والسلب على اليمين.

ب — الاتجاه الثاني  $\text{II}$  : يقيس فرق الكامن بين الذراع اليمنى والقدم اليسرى بحيث يوضع المسرى الموجب على القدم اليسرى والساں على الذراع اليمنى.

ج — الاتجاه الثالث  $\text{III}$  : يقيس فرق الكامن بين الذراع اليمنى والقدم اليسرى بحيث يوضع المسرى الموجب على القدم اليسرى.

## ٢ — الاتجاهات وحيدة القطب

يستخدم هنا مسرى مستقص (مستكشف) إيجابي واحد يوضع على الأطراف أو على نقاط محددة من جدار الصدر بينما المسرى الآخر يتتج عن وصل النهايات المركزية لمسارى الذراعين والساں اليسرى بقصد إلغاء كموناها (يتافق مع المركز الكهربائي للقلب) وهي على نوعين:

### أ — الاتجاهات وحيدة القطب للأطراف

— الاتجاه  $\text{avR}$  : يوضع المسرى الموجب على الذراع اليمنى.

— الاتجاه  $\text{avL}$  : يوضع المسرى الموجب على الذراع اليسرى.

— الاتجاه  $\text{avF}$  : يوضع المسرى الموجب على القدم اليسرى.

### ب — الاتجاهات قرب القلبية

— الاتجاه  $\text{V}_1$  : يوضع المسرى الفعال على المسافة الوربية الرابعة أيمن القص.

— الاتجاه  $\text{V}_2$  : يوضع المسرى الفعال على المسافة الوربية الرابعة أيسر القص.

— الاتجاه  $\text{V}_3$  : يوضع المسرى الفعال في وسط المسافة بين  $\text{V}_2$  و  $\text{V}_4$ .

— الاتجاه  $\text{V}_4$  : يوضع المسرى الفعال على الخط الناصف للترقوة في السورب الخامس.

— الاتجاه  $\text{V}_5$  : يوضع المسرى الفعال على الخط الإبطي الأمامي في السورب الخامس.

— الاتجاه  $V_6$  : يوضع المسرى الفعال على الخط الأيسر المتوسط في السورب الخامس.

### ورق التسجيل

يستعمل لتسجيل مخططات القلب الكهربائية ورق خاص شديد التأثير بالحرارة ويسمح بقياس سريع للفوائل الزمنية لفرق الكامن الكهربائي لجميع مكونات مخطط القلب، وهو مؤلف من مربعات صغيرة متساوية ضلع كل واحد منها 1 ملم، وتمكنا هذه المربعات عمودياً قياس الكامن الكهربائي لكل مكون من مركبات المخطط الكهربائي المسحولة، وإن تبيهاً شدته 1 ميلي فولط يسجل المحرافاً مقداره 10 ملم إذا ما تمت معايرة الجهاز بدقة، كما يستطيع تحديد زمن مكونات مخطط القلب باستعمال هذه المربعات أفقياً إذ إن كل مربع يمثل وحدة زمنية تعادل 0.04 ثانية، وتكون السرعة المعيارية لأجهزة التخطيط التقليدية 25 ملتمتراً في الثانية.



## الفصل السادس

### الفيزياء الطبية للضغط والجريان والمقاومة

### Medical Physics of Pressure, Flow, and Resistance

مقدمة عن الدوران:

وظيفة الدوران :

١. تأمين حاجات النسج (نقل الغذيات Nutrients إلى النسج وتخليصها من الفضلات).

٢. نقل الهرمونات من أحد أقسام الجسم إلى قسم آخر.

٣. الحفاظ بشكل عام على بيئة ملائمة في كافة سوائل النسج من أجل وظيفة مثلی للخلايا.

الأجزاء الوظيفية للدوران:

ينقسم الدوران كما هو موضح في الشكل (٨) إلى:

- الدوران الجهازي الذي يزود جميع النسج بالدم (باستثناء الرئتين) ولذلك يدعى بالدوران الكبير .

- الدوران الرئوي.

يشترك الجهاز الدوراني بالصفات العامة نفسها على الرغم من ذلك توجد بعض الصفات الخاصة التي تميز كل نسيج على حدة .

إن الأجزاء الوظيفية للدورة الدموية هي:

١. الشرايين **Arteries** وظيفتها نقل الدم تحت ضغط عال إلى النسج.
٢. الشريانات **Arterioles** هي الفروع النهائية للجهاز الشرياني وتعمل كسدامات تحكم يمر عبرها الدم إلى الشعيرات.
٣. الشعيرات **Capillaries** ويحدث فيها تبادل السوائل والغذيات والكهرباء والهرمونات والمواد الأخرى بين الدم والسائل الخلالي.
٤. الأوردة **Veins** تعمل كقنوات لإعادة الدم من النسج إلى القلب.

### حجوم الدم في أقسام الدوران المختلفة

إن النسبة العظمى من دم الدوران موجودة في الأوردة الجهازية. يتوضع نحو ٨٤٪ من كامل حجم الدم في الدوران الجهازي، و٦٤٪ يتوضع في الأوردة، و١٣٪ يتوضع في الشرايين، و٧٪ يتوضع في الشريانات والشعيرات الجهازية، و٧٪ من الدم تتواجد في القلب و٩٪ في الأوعية الرئوية.

### النظرية الأساسية لوظيفة الدوران

#### Basic Theory of Circulatory Function

على الرغم من أن تفاصيل الوظيفة الدورانية معقدة ولكن توجد ثلاثة مبادئ أساسية تشكل أساس جميع وظائف هذا الجهاز وهذه المبادئ:

١. يتم التحكم بالجريان الدموي إلى كل نسيج بدقة وفقاً لحاجة النسيج. ترداد حاجة النسيج للدم بمقدار ٢٠ — ٣٠ ضعفاً في أثناء الفعالية الشديدة، ولما كان القلب لا يستطيع زيادة نتاجه أكثر من ٤ — ٧ أضعاف لذلك لا بد

من وجود آلية تؤدي إلى توزيع الدم بشكل تفضيلي بين مختلف النسج حسب فعاليتها.

٢. يتم التحكم بتناسق القلب بأن يضخ القلب جميع الدم الذي يرده من مختلف أنسجة الجسم مرجعاً إياه إلى تلك الأنسجة وبذلك يعمل القلب كآلية ذاتية الحركة تستجيب لمتطلبات النسج، ومع ذلك فإنه ليس دقيقاً في استجابته لذلك فهو يحتاج غالباً لمساعدة بشكل إشارات عصبية خاصة تجعله يضخ الكميات المطلوبة من الدم.

٣. يتم تنظيم الضغط الشرياني بشكل مستقل عن كل من تنظيم جريان الدم الموضعي وتنظيم النساج القلبي. إن الجهاز الدوراني مزود بجهاز شامل للتحكم بالضغط الشرياني، ويتم ذلك بواسطة جهاز عصبي وجهاز هرموني.

العلاقات المتبادلة بين الضغط والجريان والمقاومة

يتحدد الجريان عبروعاء دموي كلياً بوساطة عاملين:

- فرق الضغط Pressure Difference بين فايني الوعاء الذي يشكل القوة الدافعة للدم عبر الوعاء.

- إعاقة جريان الدم عبر الوعاء التي تدعى مقاومة الوعاء، وتظهر من المعادلة التالية هذه العلاقات:

$$\Delta \text{ ض} = \frac{\text{جر}}{m}$$

حيث جر : هي الجريان.  $\Delta \text{ ض} =$  فرق الضغط بين بداية الوعاء ونهايته.  
 $m =$  المقاومة.

تنص هذه المعادلة في الواقع على أن الجريان الدموي يتناسب طرداً مع فرق الضغط وعكساً مع المقاومة، ويلاحظ بشكل خاص أن فرق الضغط بين نهايتي الوعاء وليس الضغط المطلق هو الذي يحدد معدل الجريان الدموي عبر الوعاء.

فمثلاً إذا كان الضغط عند كلا النهايتين مساوياً لـ  $100$  مللم زئبقي ولا يوجد فارق في الضغط بينهما فلن يكون هناك جريان رغم وجود ضغط يساوي  $100$  مللم زئبقي.

## الجريان الدموي Blood flow

هو كمية الدم التي تجتاز نقطة معينة من الدوران خلال فترة معينة من الزمن، ويعبر عادة عن الجريان بالمللي لتر أو لتر في الدقيقة أو ميلي لتر في الثانية. يبلغ الجريان الدموي الكلوي في دوران الشخص البالغ في حالة الراحة  $5000$  مل/د وهذا يدعى نتاج القلب Cardiac Output، وهو كمية الدم التي يضخها البطين في دقيقة واحدة.

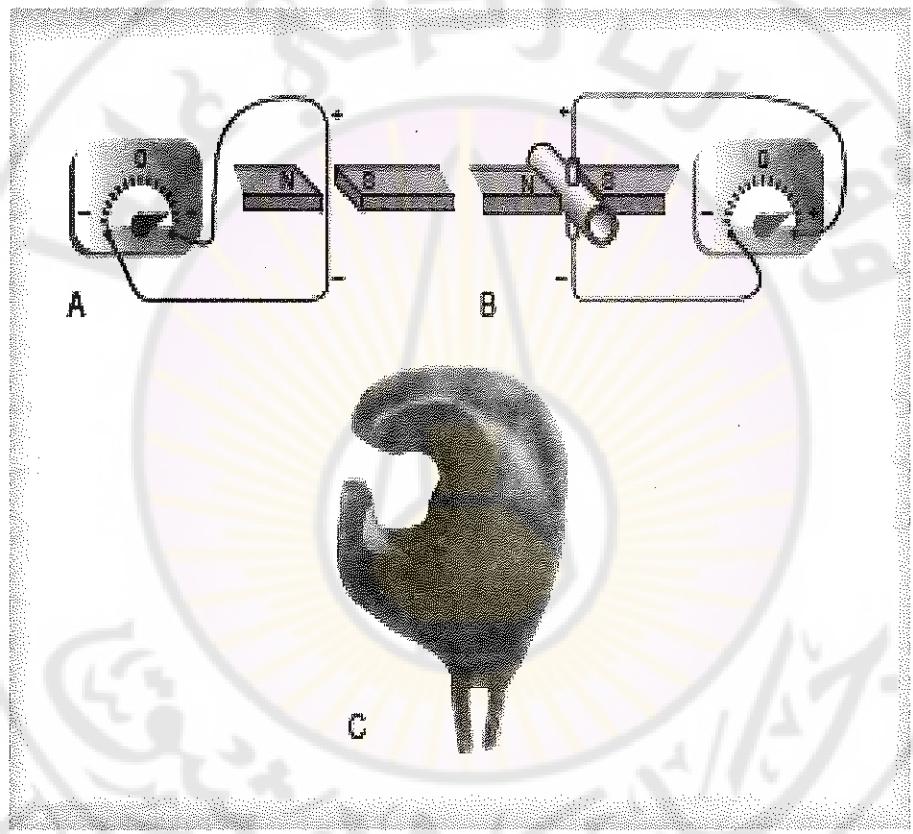
## طريقة قياس الجريان الدموي

يمكن قياس الجريان الدموي بوساطة إدخال بعض الأجهزة الآلية أو الآلية الكهربائية على التسلسل مع الأوعية الدموية أو تطبيقها على السطح الخارجي للوعاء وتدعى هذه الأجهزة مقاييس الجريان Flow meters.

## مقاييس الجريان الكهربائي Electromagnetic Flowmeters

إن مقاييس الجريان الكهربائي هو أحد أهم أجهزة قياس الجريان الدموي دون فتح الوعاء، ويعتمد المبدأ على تولد القوة الحركية الكهربائية Electromotive force في السلك الذي يشكل تصالباً مع حقل مغناطيسي، وهذا هو المبدأ المعروف لإنتاج الكهرباء من المولدات الكهربائية. يظهر من الشكل (١٣) أن الدم في أثناء جريانه في الوعاء الدموي الموضوع بين قطبي مغناطيسي قوي يولّد القوة الحركية

الكهربائية التي تكون متناسبة مع سرعة الجريان، ويتم تسجيله باستخدام مقياس أو جهاز إلكتروني ملائم كما يظهر في الشكل (١٣) ويوضح الجزء السفلي منه المسار كلاً من المغناطيس القوي والمسرين. والميزة الخاصة لمقياس الجريان الكهرطيسي أنه يستطيع تسجيل تغيرات الجريان التي تحدث في أقل من  $0.01$  من الثانية.

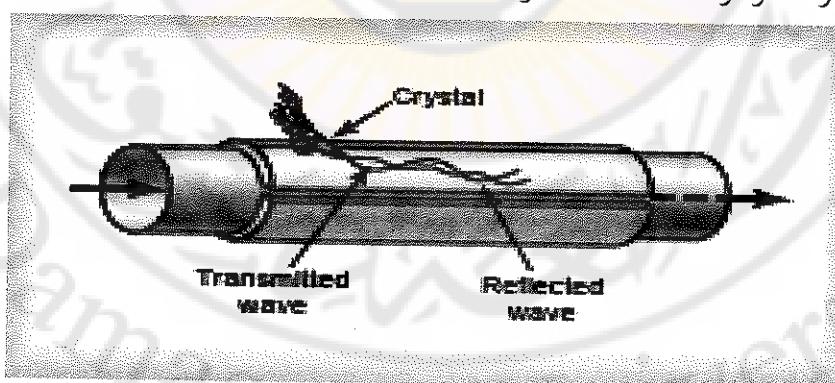


الشكل (١٣). مقياس جريان من النمط الكهرطيسي ويوضح A تولد قوة حركية كهربائية في السلك عند مروره في الحقل الكهرطيسي. B تولد قوة حركة وعائية في المساري الموضعية على الوعاء الدموي عند وضع هذا الوعاء في حقل مغناطيسي قوي والدم يجري عبره. C مسار لمقياس جريان كهرطيسي يوضع حول الوعاء لفترة طويلة.

## مقياس الجريان دوبлер فوق الصوتي

### Ultrasonic Doppler Flowmeter

هو غط آخر من مقاييس الجريان التي يمكن تطبيقها على السطح الخارجي للوعاء التي تملك ميزات المقياس الكهروطيسي، ويعتمد المبدأ في عمله على وضع بلورة دقيقة كهربائية ضغطية Piezoelectric على جدار الجهاز، عندما تعطي هذه البلورة طاقة بوساطة جهاز كهربائي مناسب فإنها تمر صوتاً يبلغ تواتره عدة ملايين دورة/ثا في اتجاه بجرى الدم، فيعكس قسم من الصوت بوساطة الكريات الحمر الجاربة، ولذلك تعود الأمواج الصوتية المنعكسة من الدم باتجاه البلورة وتملك هذه الأمواج المنعكسة تواتراً أقل من تواتر الموجات المرسلة، لأن الكريات الحمر تتحرك مبتعدة عن البلورة المرسلة وهذا ما يدعى تأثير الدوبлер (نفس التأثير الذي يلاحظه الشخص عندما يقترب منه القطار ثم يتجاوزه مطلقاً صافرته)، فعندما يتجاوز القطار الشخص يصبح صوت الصافرة فجأة أكثر انخفاضاً في طبقة الصوت منها عندما كان القطار مقرباً، وتقطع الموجات المرسلة بشكل متتابع وتستقبل الموجات المنعكسة إلى البلورة ثم تضخم بشكل كبير بوساطة جهاز إلكتروني، ويحدد جهاز آخر فرق التواتر بين الموجات المرسلة والموجلات المنعكسة، وهكذا تحدد سرعة الجريان الدموي (الشكل ١٤).



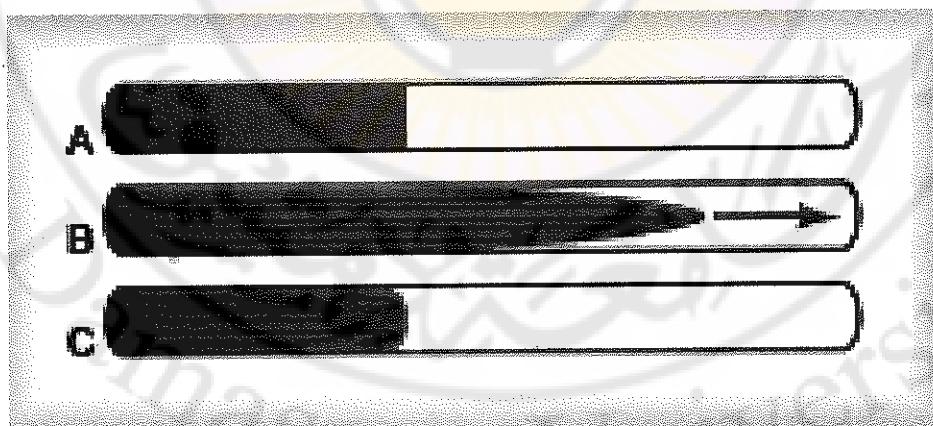
الشكل (١٤). مقياس الجريان دوبлер فوق الصوتي.

## الجريان الصفائي للدم في الأوعية

### Laminar Flow of Blood Vessels

عندما يجري الدم بسرعة ثابتة عبر وعاء أملس طويل فإنه يجري في خطوط انسانية Stream line بحيث تحافظ كل طبقة من الدم على المسافة نفسها بينها وبين جدار الوعاء، وأيضاً يبقى القسم المركزي من الدم في مركز الوعاء، يدعى هذا النمط من الجريان الجريان الصفائي أو الانسيابي، وهذا يعากس الجريان المضطرب Turbulent flow حيث يجري الدم في جميع الاتجاهات في الوعاء.

عندما يحدث الجريان الصفائي تكون سرعة الجريان في مركز الوعاء أكبر بكثير منها في الحيط ويكون مظهر السرعة بشكل قطع مكافئ في أثناء الجريان الصفائي كما في الشكل (١٥) حيث يوجد في الوعاء A سائلان مختلفان، الموجود في الأيسير ملون والآخر غير ملون ولكن لا يوجد جريان في الوعاء، وعند إحداث الجريان يتشكل بين السائلين سطح مشترك بشكل قطع مكافئ كما يظهر بعد ثانية واحدة في الوعاء B ، بينما يظهر الجريان المضطرب في الوعاء C .



الشكل (١٥) جريان الدم في الأوعية الدموية في الحالة السوية (B) وجريان الدم المضطرب (C) .

## جريان الدم المضطرب

قد يصبح جريان الدم مضطرباً بدلاً من كونه انسانياً في الحالات التالية:

١. عندما تصبح سرعة جريان الدم كبيرة جداً.

٢. عندما يختار الدم عائقاً داخل الوعاء.

٣. عندما يغير بحرى الدم اتجاهه بمدة وبشكل فجائي .

٤. عندما يمر الدم فوق سطح خشن.

وعند ذلك يجري الدم بشكل عرضي إضافة إلى جريانه على طول الوعاء مشكلاً ما يسمى تيارات الدوامة Eddy Currents وتردد مقاومة جريان الدم عند ذلك. يتناصف الميل للجريان المضطرب طرداً مع سرعة جريان الدم وكذلك مع قطر الوعاء الدموي ويتناسب عكساً مع لزوجة الدم مقسومة على كثافته وفقاً للمعادلة التالية:

$$\text{سر} \times \text{ر} \times \text{ك}$$

$$\text{رن} = \frac{\text{ز}}{\text{ر}}$$

ز

حيث رن هو رقم رينولد، سر: سرعة الجريان (مقداره بالستمتر في الثانية)،

ز = اللزوجة (In poises)، ر = قطر الوعاء(مقداره بالستمتر، ك = الكثافة).

عندما يرتفع رقم رينولد ليصل إلى ٤٠٠ يحدث الجريان المضطرب في بعض فروع الأوعية الدموية خاصةً في الأماكن غير الملساء منها بينما يختفي هذا الجريان المضطرب في الأماكن الملساء من هذه الأوعية. ومن ناحية أخرى يحدث الجريان المضطرب في الأوعية عندما يصل رقم رينولد إلى ٢٠٠٠ ويحدث ذلك حتى إذا كانت الأوعية مستقيمة وملساء. يرتفع رقم رينولد وبشكل طبيعي في بعض الأوعية الدموية كبيرة

القطر كالأهرم مثلاً إلى ٢٠٠٠ في الحالات الطبيعية و كنتيجة لذلك يكون الجريان الدموي في الأهرم مضطرباً بشكل دائم تقريباً.

## مقاومة جريان الدم Resistance to Blood flow

هي إعاقة جريان الدم في الوعاء ولا يمكن قياسها بأي وسيلة مباشرة، ولكن يجب بدلاً من ذلك حساب المقاومة من قياسات جريان الدم وفرق الضغط في الوعاء فإذا كان فرق الضغط بين نقطتين من الوعاء ١ ملم زئبقي وكان الجريان ١ مم/ثا يقال بأن المقاومة تساوي وحدة مقاومة محيطية واحدة.

### المقاومة المحيطية الكلية والمقاومة الرئوية الكلية

إن معدل جريان الدم عبر جهاز الدوران (عندما يكون الشخص في حالة الراحة) يعادل ما قيمته حوالي ١٠٠ مل/ثا، وفرق الضغط بين الشرايين الجهاzie والأوردة الجهاzie حوالي ١٠٠ مل زئبقي . يستنتج من ذلك أن المقاومة المحيطية الكلية تكون معادلة لوحدة مقاومة محيطية واحدة.

ترتفع المقاومة المحيطية الكلية في بعض الحالات التي تنقبض فيها جميع الأوعية الدموية لتصل إلى ٤ وحدات من المقاومة، كما أنها بالمقابل قد تنخفض في بعض الحالات لتصل إلى ٠,٢ ويحدث ذلك عندما تتسع الأوعية بشدة.

يبلغ متوسط الضغط الشرياني في الجهاز الرئوي ١٦ مليمتر زئبقي ، ومتوسط الضغط في الأذينة اليسرى ٢ مليمتر زئبقي (فرق الضغط هو ١٤ ملتر زئبقي)، ولذلك فإن المقاومة الرئوية الكلية في حالة الراحة تقترب من ٠,١٤ وحدة مقاومة محيطية.

## إيصاله الدم في الوعاء وعلاقتها بالمقاومة

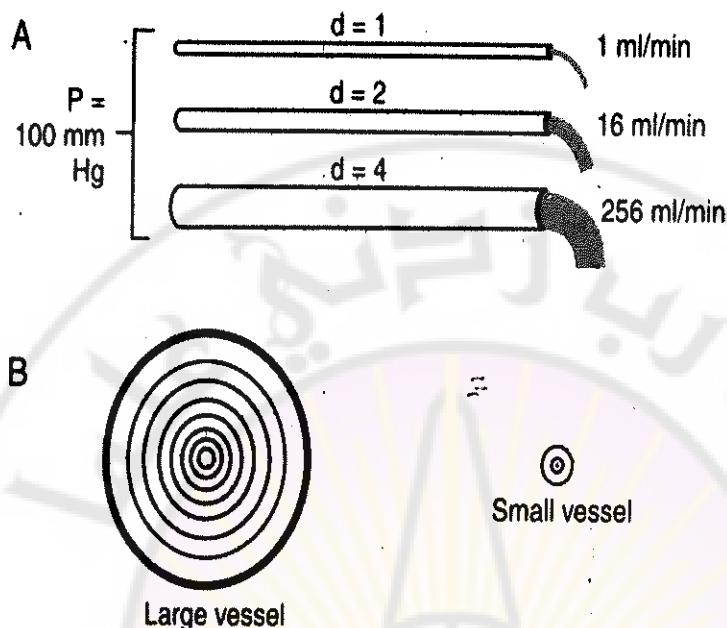
تعني الإيصالية Conductance قياس جريان الدم عبر وعاء دموي من أجل فرق ضغط معين ويعبر عنها بالعبارة مل/ثا/سم زئبقي من الضغط، ويبدو جلياً أن الإيصالية تعاكس المقاومة وفقاً للمعادلة التالية:

١

الإيصالية =

المقاومة

وتسبب التغيرات الطفيفة في قطر الأوعية تغيرات ضخمة في قدرها على إيصال الدم عندما يجري الدم بشكل انسياي، وهذا موضع بشكل جيد في التجربة التي تظهر ثلاثة أوعية منفصلة ذات أقطار متناسبة، النسبة بينها كنسبة ٤ ، ٢ ، ١ (قطر الوعاء الثاني هو ضعف قطر الوعاء الأول وقطر الوعاء الثالث هو أربعة أضعاف قطر الوعاء الأول) وفرق الضغط بين كل من بداية ونهاية كل منها واحد ويساوي ١٠٠ ملم زئبقي وعلى الرغم من أقطار هذه الأوعية تزداد بمقدار أربعة أضعاف فقط فإن الجريانات الخاصة بكل منها تزداد بحيث تكون النسب بينها كنسبة ٢٥٦ ، ١٦ ، ١ . فالإيصالية تتناسب مع القوة الرابعة لقطر (الشكل ١٦).



الشكل(١٦). A يظهر من خلال الشكل تأثير قطر الوعاء على جريان الدم، B الحلقات المتراكمة من الدم الجاربة بسرعات مختلفة، فالأسرع جرياناً هي الأبعد عن جدار الوعاء(d=diameter) قطر الوعاء الدموي).

**أهمية قطر الوعاء في تحديد المقاومة الشرينية(قانون القوة الرابعة)**

يحدث حوالي ثلثي المقاومة لجريان الدم في الدوران الجهازي في الشرينات الصغيرة التي يتراوح قطرها الداخلي بين ٨ و ٣٠ ميكرومتر ، ويعود السبب في ذلك إلى امتلاك هذه الأوعية لجدر عضلي قوية تسمح لأقطارها الداخلية بالتغيير بشكل كبير قد يصل أحياناً حتى أربعة أضعاف . ومن قانون القوة الرابعة يمكننا أن نرى أن زيادة مقدارها أربعة أضعاف في قطر الوعاء ستزيد الجريان نظرياً حتى ٢٥٦ ضعفاً. وهذا فإن الشرينات وحسب قانون القوة الرابعة تستطيع زيادة الجريان الدموي بشكل كبير

كما أنها تستطيع إنقاذه الجريان الدموي إلى درجة الصفر وذلك بحدوث تبدلات في قطرها استجابةً لـ إشارات عصبية أو إشارات نسيجية موضعية.

تأثير الهيماتوكريت والزوجة على المقاومة الوعائية وعلى جريان الدم

إن زيادة الزوجة تؤدي إلى نقص الجريان الدموي في الوعاء إذا كانت جميع العناصر الأخرى ثابتة. تبلغ لزوجة الدم السوي حوالي ثلاثة أضعاف لزوجة الماء، وترداد لزوجة الدم بشكل واضح عند ازدياد عدد الكريات الحمر في الدم (الذى يدعى بالهيماتوكريت وهو نسبة الخلايا في الدم)، وبالتالي يؤدي هذا الازدياد إلى نقص في سرعة الجريان الذي ينجم بشكل أساسى عن قوى الاحتكاك بين الكريات الحمر المتضاورة وبين الكريات الحمر وجدار الوعاء الدموي.

يبلغ معدل الهيماتوكريت في الرجل السوي حوالي ٤٢٪، بينما يبلغ معدله في المرأة السوية حوالي ٣٨٪ وتختلف هذه القيم بشكل كبير تحت تأثير عوامل مختلفة (فقر الدم، النشاط الجسدي، الارتفاع عن سطح البحر).

تردد لزوجة الدم بشدة عند زيادة الهيماتوكريت، وإذا فرضنا أن لزوجة الدم تساوي ٣ إذا كان الهيماتوكريت سوياً فهذا يعني أن القوة اللازمة لدفع الدم تساوي ثلاثة أضعاف القوة اللازمة لدفع الماء عبر نفس الأنابيب، وعندما يرتفع الهيماتوكريت إلى ٦٠ أو ٦٧٪ كما يحدث في كثرة الحمر، يمكن أن تصبح لزوجة الدم متساوية لعشرة أضعاف لزوجة الماء وبالتالي يعاق جريان الدم بشدة عبر الأوعية.

هناك عامل آخر يؤثر على لزوجة الدم هو تركيز بروتينات المchora، لكن تأثير هذا العامل أقل بكثير من تأثير الهيماتوكريت . تبلغ لزوجة المchora الدموية حوالي ١,٥ لزوجة الماء.

## لزوجة الدم في الأوعية الشعرية

### Blood viscosity in the microcirculation

لأن معظم المقاومة لجريان الدم تحدث في الأوعية الصغيرة جداً، فمن المهم معرفة الطريقة التي تؤثر فيها لزوجة الدم على جريان الدم في هذه الأوعية الدقيقة. يوجد على الأقل ثلاثة عوامل إضافية تؤثر على لزوجة الدم في هذه الأوعية إلى جانب كل من الهيماتوكريت ونسبة البروتينات في المchora و هي:

١. يتعرض الجريان الدموي في الأوعية الدموية الدقيقة إلى تأثير اللزوجة بشكل

أقل بكثير مما في الأوعية الكبيرة، وهذا ما يدعى - Fahraeus

Aقل بكثير مما في الأوعية الكبيرة. يبدأ هذا التأثير بالظهور عندما يقل قطر الوعاء عن ١،٥ ميليمتر تقريباً. وينجم هذا التأثير عن نقص اللزوجة الناجم عن نقص الاحتكاك بين الكريات الحمر في أثناء مرورها عبر الأوعية الدموية بسبب اضطرارها للإرتصاف و مرورها بشكل مفرد .

٢. تزداد لزوجة الدم بشكل كبير عندما تنقص سرعة جريانه، وبما أن سرعة الجريان الدموي في الأوعية الدقيقة صغيرة جداً وأحياناً تصل لأقل من ١ ميليمتر في الثانية، يمكن للزوجة الدم أن تزداد حتى عشرة أضعاف نتيجة لهذا العامل بمفرده .

٣. التأثير الذي تمارسه الخلايا عند التضيقات الوعائية في الأوعية الشعرية يسبب زيادة في اللزوجة وهذا ينجم بسبب بروز نوى الخلايا البطانية إلى داخل الأوعية الدموية (لمعة الشعيريات). عندما يحدث ذلك يمكن أن ينقطع الجريان الدموي بشكل كامل لجزء من الثانية أو لعدة ثوان.

## **Blood Pressure** الضغط الدموي

يُقاس الضغط بشكل دائم تقريباً بـ المليمتر زئبقي (mmHG) لأن مقياس الضغط الزئبقي قد استعمل منذ القدم كمرجع معياري لقياس الضغط الدموي، ويعني ضغط الدم القوة التي يمارسها الدم على كل وحدة مساحة من جدار الوعاء، فعندما يقال إن الضغط في الوعاء هو ٥٥٠ مم زئبقي فهذا يعني أن القوة المطبقة على جدار الوعاء كافية لرفع العمود الزئبقي حتى مستوى ٥٠ مم زئبقي.

أحياناً يُقاس الضغط بالستتمتر ماء، فعندما يساوي الضغط ١٠ سم ماء فهذا يعني أن الضغط كاف لرفع عمود الماء حتى ارتفاع ١٠ سم.  
كل ١ ملليمتر زئبقي = ١,٣٦ سم ماء لأن الثقل النوعي للزئبقي = ١٣,٦ ضعفاً للثقل النوعي للماء، وكذلك ١ سم = ١ مللم.

### **تأثير الضغط على المقاومة الوعائية وجريان الدم في النسج**

يمكن أن نتوقع مما سبق أن زيادة الضغط الشرياني ستسبب زيادة متناسبة في الجريان الدموي عبر النسج المختلفة في الجسم، ولكن ما هو ملاحظ أن تأثير الضغط على الجريان أكبر بكثير مما هو متوقع. إن سبب ذلك هو أن زيادة الضغط الشرياني لا تزيد القوة التي تميل لدفع الدم عبر الأوعية فحسب إنما توسيع الأوعية في الوقت نفسه أيضاً الأمر الذي ينقص مقاومتها، لذلك فزيادة الضغط تزيد الجريان بطريقتين مختلفتين، ويبلغ الجريان الدموي في معظم النسج عند ضغط شرياني قدره ١٠٠ ملليمتر زئبقي حوالي أربعة أضعافه عندما يكون الضغط ٥٠ ملليمتراً زئبقياً.

يؤدي التسبيه الودي إلى تضيق الأوعية الدموية وبالتالي يسبب نقص شديد في الجريان الدموي إلى النسج، وبالمقابل فإن تشريح التسبيه الودي يؤدي إلى توسيع الأوعية وهذا يؤدي بدوره إلى زيادة الجريان الدموي.

## تنظيم الضغط الدموي

إن الضغط الدموي هو حاصل جداء نتاج القلب في المقاومة الوعائية المحيطية، ونتائج القلب هو عبارة عن كمية الدم التي يضخها أحد البطينين في واحدة الزمن وهي الدقيقة ويكون مساوياً لحجم الدم الذي يضخه البطين (الأيسر أو الأيمن) في ضربة واحدة مضروباً بعدد ضربات القلب في الدقيقة.

يتم تنظيم الضغط الدموي بوساطة تنظيم نتاج القلب أو تنظيم المقاومة الوعائية المحيطية أو تنظيم الاثنين معاً وذلك بـ:

١. زيادة أو إنفاس نتاج القلب ويتم ذلك عبر:

- زيادة قوة ضخ القلب أو إنفاسها.
- زيادة سرعة القلب أو إنفاسها.

٢. زيادة أو إنفاس المقاومة الوعائية المحيطية ويتم ذلك عن طريق تضيق الأوعية الدموية أو توسيعها.

٣. اشتراك العاملين السابقين مع بعضهما.

إن الآليات المختلفة التي تساهم في تنظيم الضغط الشرياني تؤثر إما في أحد هذين العاملين أو في كليهما، ويخضع الضغط الشرياني إلى مراقبة عصبية ومراقبة خلطية.



## الفصل السابع

### قياس الضغط الشرياني عند الإنسان

الأجهزة والأدوات المستخدمة:

جهاز قياس الضغط ( زئبي ، هوائي ، إلكتروني ) ، ساعة طبية.

تمهيد:

يعرف الضغط الشرياني بأنه القوة المطبقة على جدر الأوعية الدموية نتيجة وجود الكتلة الدموية فيها وتراروح بين قيمتين عليا توافق انقباض القلب ودنيا توافق استرخاءه ؛ وتتغير قيمة الضغط الشرياني مع تغير الحصيل القلبي أو المقاومة الوعائية أو كليهما معاً وفق معادلة غرين :

$$P = Q \cdot R$$

P : الضغط الشرياني ويقاس عادة بالملم زئبي .

Q : الحصيل القلبي أو نتاج القلب وهو كمية الدم التي يقذفها أحد البطينين خلال واحدة الزمن ويتراوح ما بين ٤,٥ - ٦ لیتر/ دقيقة وهو يتعلق بقيمة العود الوريدي ، وبعدد ضربات القلب ، وبالحالة الوظيفية للعضلة القلبية وقدرها التقلصية .

R : المقاومة الوعائية الخيطية التي تبديها الأوعية الدموية تجاه مرور الدم فيها وهي تتغير تبعاً لقطر الوعاء الدموي ، وطوله ، ودرجة لزوجة الدم (لزوجة الدم تتبع عدد الكريات الحمراء ، وكمية بروتينات الدم ) .

## تنظيم الضغط الشرياني

تكون قيمة الضغط الشرياني ثابتة عادة نظراً لتضافر عمل كل من القلب والأوعية الدموية من جهة ، والجهاز العصبي ، والجملة الخلطية من جهة ثانية .

١. التنظيم العصبي للضغط الشرياني : تساهم الجملة العصبية في تنظيم الضغط الشرياني في مستويات مختلفة :

- البصلة السيسائية : تتلقى البصلة أليافاً حسية واردة من مختلف المستقبلات المتعلقة بالضغط الشرياني ، الموجودة في القوس الأهرية ، والجيدين السباتيين والأذين الأمين ؛ كما تصدر أليافاً حركية (ألياف الرئوي المعدني) تساهم في تنظيم الضغط الشرياني عن طريق مراقبة النظم القلبي في حال زيادة أو نقصان قيمة الضغط الشرياني ، أو اضطرابات قيم وتراكيز كل من الأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون في الدم عن الحدود الطبيعية ؛ كما أن البصلة تحتوي على المركز الحركي الوعائي الذي يراقب توسيع وتقبض الأوعية الدموية .

- الوطاء : ينخفض عدد ضربات القلب وتتوسيع الأوعية الدموية وبالتالي ينخفض الضغط الشرياني عند تنبية الجزء الأمامي من الوطاء فهو يعزز المقوية المهمة ، ويتجزء عن تخريب هذا الجزء إلغاء تأثير منعكس مستقبلات الضغط ، وحدوث ارتفاع حاد في الضغط وتحرر الكاتيكولامينات من لب الكظر ؛ بينما يكون تأثير تنبية الجزء الخلفي للوطاء ارتفاع الضغط الشرياني .

• قشر الدماغ والمنطقة تحت القشرية : تظهر تأثيرات قشر الدماغ في الضغط الشرياني في كثير من المنشعكات الشرطية التي تؤدي لزيادة أو نقصان عدد ضربات القلب ، كما تحدث تبدلات في الضغط الشرياني عند تنبية مناطق محددة من القشر وما تحت القشر كالتلفيف الحزامي ، والمنطقة الجبهية الحاجبية، والساحات الحركية ، وقرب الحركية ؛ حيث ترسل هذه المستويات أليافها الصادرة إلى الوطاء وجذع الدماغ .

٢. التنظيم الخلطي للضغط الشرياني : يخضع الضغط الشرياني لتأثير عوامل خلطية هرمونية وغير هرمونية عديدة ومن مصادر مختلفة تتحول في الكثلة الدموية وتمارس تأثيراً لها الرافع للضغط أو الخافضة له منها:

#### العوامل الخلطية الرافة للضغط

• الور أدرينالين: وهو مقبض وعائي حيث يرفع الضغط عن طريق تأثيره في المستقبلات  $\alpha$  الموجودة في جدر الأوعية .

• الأدرينالين : يسرع القلب نتيجة تأثيره في المستقبلات  $\beta$  القلبية ، وبذلك يزداد الحصيل القلبي ويرتفع الضغط ، كما أن له أثراً مقبضاً لجدر الشرايين بتراكيزه العالية حيث يؤثر بمستقبلات  $\alpha$  فيها .

• السيروتونين وهو مقبض وعائي موضعي .

• القشرانيات المعدنية كالألدوستيرون : وهو يرفع الضغط الشرياني عن طريق حبسه للصوديوم والماء في سوية الكلي كما أنه في مراحل متقدمة من زيادة تركيزه في الدم يدخل إلى داخل الخلايا المبطنة للأوعية حارقاً معه الماء مما يسبب

إن تباجها وتضيق لعاتها وزيادة المقاومة الوعائية بعًا لذلك ، وهو يزيد حساسية الأوعية الدموية للمقبضات الأخرى مثل الكاتيكولات والأنجوتسين II .

- القشرانيات السكرية كالكورتizin : وله تأثير حابس للصوديوم خفيف بتراكيزه الطبيعية ولكنه يصبح شديد التأثير عند زيادة إفرازه كما في متلازمة داء كوشينغ .

● الرينين - أنجوتسين : عندما ينقص الحصيل الدموي الكلوي ولسبب ما كما هي الحال في حالات الإسهالات أو التزوف أو الحروق تلحًا خلاليًا موجودة في الجهاز قرب الكبي في الكلية إلى إفراز الرينين وهو حميرة تؤثر بأحد غلوبولينات الدم ويتحول إلى أنجوتسين I الذي يتحول بدوره إلى أنجوتسين II وهو من أشد المقبضات على الشريانات بشكل خاص كما أنه المسؤول الأول عن حدّ قشر الكظر لإفراز الألدوستيرون ويسهم في إفراز الكاتيكولامينات من النهايات الودية ومن لب الكظر .

- الفازوبريسين وهو حابس للماء بتراكيزه الدنيا فهو مضاد للإدرار أما بتراكيزه العالية فيقبض الأوعية ويزيد المقاومة الوعائية .
- الهرمونات الدرقية .
- الهرمونات الجنسية .

#### العوامل الخلطية الخافضة للضغط الشرياني

- الاستيل كولين : وله التأثيرات السلبية الكبيرة على القلب مما يقلل الحصيل ويخفض الضغط كما أن له ثُرًا موسعاً للأوعية أيضًا .
- الكينين والبراديكتينين : لهما ثُر موسع للأوعية من جهة ومن جهة أخرى يؤثران في الكلية فيزيدان طرح الصوديوم

- الستامين : موسع وعائي موضعي وخاصة للشريانات .
- البروستاغلاندينات : وهي بشكل عام موسعة وعائية خاصة .  
PGI<sub>2</sub> , PGE<sub>2</sub>
- فضلات الاستقلاب العام كحمض اللبني وحمض الفحم حيث تعتبر موسعة وعائية موضعية أيضاً .

### طريقة العمل

يتم قياس الضغط الشرياني عند البشر بالطريقة غير المباشرة عادة حيث إن الطريقة المباشرة تستلزم فصص أحد الشريانين الكبيرة ووصل جهاز القياس به وهذا متعدد من الناحية العملية عند البشر ولكنها قابلة للتطبيق على حيوانات التجربة.

حيث تعتمد الطريقة غير المباشرة في قياس الضغط الشرياني على مبدأ خلق ضغط خارجي محدد القيمة على الشريان المراد قياس قيمة الضغط فيه ثم نبحث لحظات التساوي بين الضغطين الخارجي المعروف والداخلي المجهول الذي نود معرفته ؟ ويمكننا تحديد لحظات التساوي هذه إما بطريقة الإصغاء بواسطة السماعة الطبية وهي طريقة سهلة ودقيقة أو بطريقة الجس وهي طريق تقريرية ؛ ويقاس الضغط الشرياني عند الإنسان عادة عن طريق قياس الضغط الشرياني في الشريان العضدي الذي يعتبر أكثر الشريانين مناسبة لذلك فهو في مكان سهل الوصول إليه كما أنه موجود في نفس مستوى القلب فالضغط فيه يتساوى مع الضغط في الشريان الأبهري .

(الشكل ١٧).

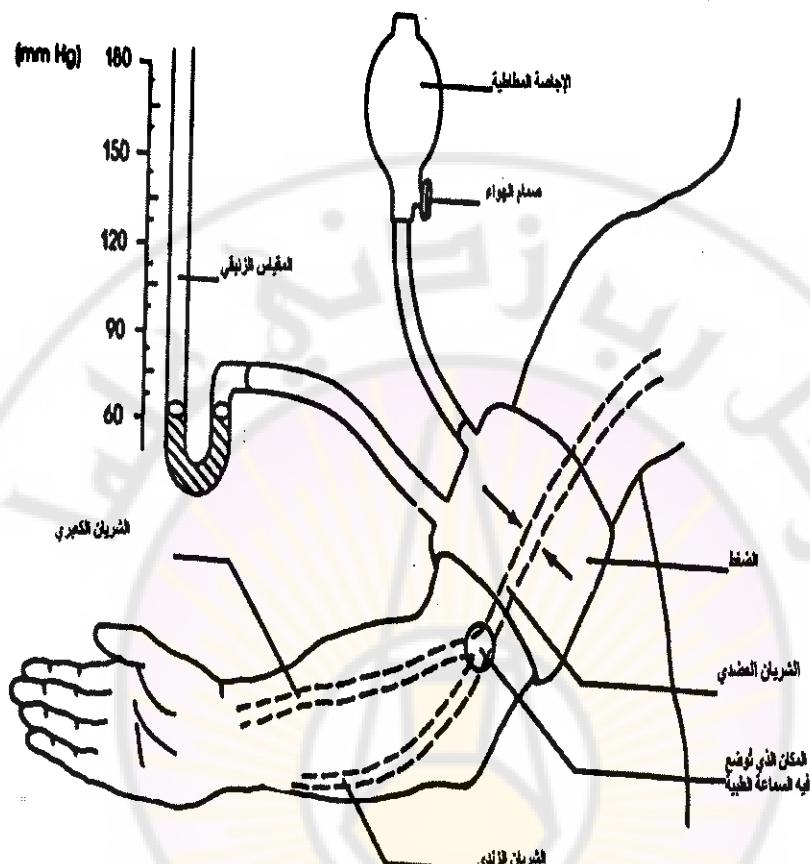
## قياس الضغط الشرياني بطريقة الإصغاء

يلف الكم الهوائي بلطف حول العضد اعتباراً من متتصف الحفرة المرفقية ، ونضع السماuga الطبية على الحفرة المرفقية فيصبح نصف سطحها مغطى بالكم ومثبت بواسطته ، ثم نرفع الضغط في الكم بواسطة ضخ الهواء عن طريق الأحاجحة المطاطية الملحقة إلى قيمة أعلى من قيمة الضغط الشرياني المتوقعة بحوالي ٣٠ - ٢٠ ملم زئبق بعد أن تحكم إغلاق الصمام الخاص بها ، ويكون الوضع في هذه الأثناء كما يلي :

١. الضغط في الكم أعلى من الضغط في الشريان وبذلك يغلق الشريان تماماً ولا نسمع أي صوت يدل على مرور الدم إلى الذراع .

٢. نحاول خفض الضغط في الكم بالتدرج عن طريق فتح صمام الإحاجحة حتى نصل إلى تساوي الضغط في الكم والضغط في الشريان العضدي بل كسر هذا التساوي لصالح الضغط في الشريان عندها تمر دفقة إلى الذراع ويسمع صوت هذه الدفقة بواسطة السماuga عندها نحدد قيمة الضغط الانقباضي ؟

٣. نستمر بخفض الضغط في الكم مع استمرار سماعنا لصوت الدفعات المتتالية وعندما يغيب الصوت من جديد نحدد الضغط، قيمة الضغط الانبساطي .



الشكل (١٧) رسم تخطيطي لكيفية التحضير لقياس الضغط الشرياني في الشريان العضدي بالطريقة الإصغائية.

ملاحظة: لا يسمع في الحالات الطبيعية صوت مرور الدم في الأوعية إلا إذا كان هناك مرور للدم في أوعية غير متساوية القطر وهذا ما يحدث هنا فالشريان ونتيجة الضغط الخارجي الممارس عليه صغ قطره وأصبح مرور الدم فيه مقصوباً، يطلق على الأصوات

هذه اسم أصوات كورتكوف أو ضحيج كورتكوف وهي ناتجة عن اهتزاز جدر الشريان نتيجة مرور الدفقات الدموية فيه بظروف غير طبيعية وتكون هذه الأصوات في البداية خشنة وعافحة تزداد حدها وعلوها في حدود الضغط الوسطي ثم تزداد حدها وينخفض صوتها وتزول فجأة عند الضغط الانبساطي .

يكون الضغط طبيعياً إذا لم يتجاوز ١٥٠ ملم في حالة الانقباض أو ٩٠ ملم في حال الاسترخاء وإن أية قيمة مغايرة يجب أن ينظر لها باهتمام .

#### قياس الضغط الشرياني بطريقة الجس

١. يلف كم الجهاز حول العضد اعتباراً من منتصف الحفرة المرفقية - كما مر معنا - ثم نغلق الصمام المتحرك على الأجاجصة المطاطية .
٢. يجس النبض فوق الشريان الكعيري ثم يرفع الضغط داخل الكلم بالتدرج
٣. عندما يصل الضغط في الكلم إلى قيمة أعلى بقليل من الضغط الانقباضي في الشريان ينغلق هذا الأخير ويغيب النبض في الشريان الكعيري ، نحفظ هذه القيمة ونعتبرها القراءة ( آ ) نرفع الضغط فوق القراءة آ بمقدار ٢٠ ملم زئق ثم نخفض الضغط بالتدرج وبيطء عن طريق فتح الصمام مع بقاء الإصبع في حالة جس للشريان الكعيري .
٤. يعود ظهور النبض عندما ينخفض الضغط في الكلم قليلاً تحت مستوى الضغط الانقباضي ؛ نحفظ هذه القيمة أيضاً ونعتبرها القراءة ( ب ) .
٥. غالباً ما تتساوى القراءتان ( آ و ب ) إذا كان المجرى خبيراً وعندما تكون لهما قيمتان مختلفتان ، فإن قيمة الضغط الشرياني الانقباضي تساوي متوسطهما .

٦. هذه الطريقة تقيس الضغط الانقباضي فقط وغير دقيقة لكنها تعطي فكرة قريبة من الصحة عن الضغط الشرياني عند تعذر وجود السمعة الطبية .

ومن الجدير بالذكر إن قيمة الضغط الشرياني تكون ضمن الحدود الطبيعية إذا تراوحت ما بين ١٠٠ - ١٥٠ ملم زئبق للضغط الانقباضي و ٩٠ - ٦٠ ملم زئبق للضغط الانبساطي مع مراعاة القياس في الشروط المناسبة للقياس .



## الفصل الثامن

# The Respiratory System

## الجهاز التنفسي

مقدمة. إن تعبير التنفس يستخدم للإشارة إلى مفهومين :

- ١- التنفس المخارجي وهو عملية تبادل الغازات بين المحيط المخارجي والرئتين.
- ٢- التنفس الداخلي هو عملية تبادل الغازات بين الخلايا والوسط السائل المحيط بها (استهلاك الخلايا للأكسجين وإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون وتبادل هذه الغازات مع الوسط السائل المحيط بها).

يتكون الجهاز التنفسي وظيفياً من:

- ١ — الرئتين (العضوان اللذان يتم بهما تبادل الغازات).
- ٢— المضخة التي تضخ الهواء إلى الرئتين وتتألف من:
  ١. جدار الصدر.
  - ٢ . العضلات التنفسية التي تزيد وتنقص حجم الجوف الصدري .
  ٣. المناطق الدماغية التي تحكم هذه العضلات .
٤. السبل والأعصاب التي تربط بين هذه المناطق في الدماغ وتلك العضلات.

ومن ناحية أخرى يمكن تقسيم الجهاز التنفسي تشريحياً إلى:

- ١- الجهاز التنفسي العلوي (الطرق التنفسية العلوية) ويتألف من الأنف والأعضاء الملحقة بجوف الأنف والبلعوم (الذي هو طريق مشترك لكل من الجهازين الهضمي والتتنفسي).

٢ - الجهاز التنفسى السفلى (الطرق التنفسية السفلية) ويتألف من الحنجرة، الرغامى،  
القصبات، الرئة (الشكل ١٨).

### وظائف الجهاز التنفسى

١. تبادل الغازات. يسمح الجهاز التنفسى بتبادل الأكسجين وثاني أوكسيد الكربون بين كل من الهواء والدم.

٢. المساعدة في تنظيم PH الدم ، يستطيع الجهاز التنفسى أن يغير PH الدم عن طريق تغيير مستوى  $\text{CO}_2$  في الدم.

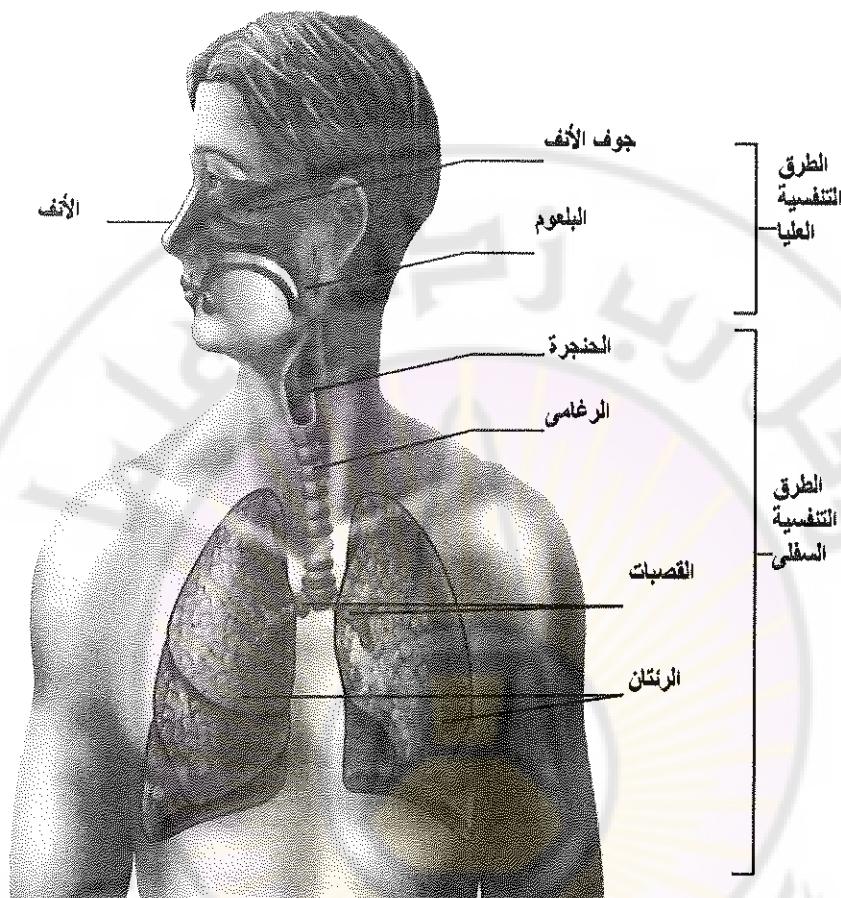
٣. إنتاج الأصوات التي يحتاج الإنسان إليها في أثناء التكلم (مرور الهواء من خلال الحبال الصوتية).

٤. تأمين المناطق التي تعتبر بمثابة مستقبلات لحس الشم.

٥. يقوم بوظيفة حماية للجسم بمنعه الجراثيم من الدخول إلى الجسم.

٦. تركيب بعض المواد أو احتزتها أو إزالتها جزئياً من الدوران أو تفعيلها.  
ويعتبر تأمين الأكسجين للنسج وتخليصها من غاز ثاني أكسيد الكربون هو أهم هدف للتنفس ولإنجاز هذا الهدف يمكن تقسيم التنفس إلى أربعة حوادث وظيفية رئيسية:

- التهوية الرئوية: تعنى تبادل الهواء بين الجوخارجي وأسنان الرئة.
- انتشار الأكسجين وثاني أكسيد الكربون بين الأسنان والدم.
- نقل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون بواسطة الدم وسوائل البدن إلى ومن الخلايا.
- تنظيم التهوية الرئوية.



الشكل (١٨). أقسام الجهاز التنفسي.

### الطرق الهوائية: Air Passages

يعبر الهواء الداخل إلى الرئتين من خلال الأنف أو الفم ثم البلعوم وهذه تدعى الطرق التنفسية العلوية كما تضاف في بعض الأحيان الحنجرة إلى هذه الطرق .

#### الوظائف التنفسية للأنف

تقوم الأحوف الأنفية لدى مرور الهواء في جوف الأنف بالوظائف التالية:

١. تدفئة الهواء بوساطة المسطوح الواسعة الغنية بالتروية الدموية في الأنف (الأصحة والقرينات) حيث تبلغ مساحتها ١٦٠ سم<sup>٢</sup> وترتفع درجة حرارة الهواء المستنشق عادة ١ درجة فهرنهايت عن درجة حرارة الجسم.
٢. ترطيب الهواء ويحصل ذلك بشكل كامل حتى قبل أن يجتاز الهواء الأنف وترتفع نسبة الإشباع ببخار الماء بمقدار ٢ - ٣% من الإشباع الكلي قبل أن يصل إلى الرغامي (عندما يتنفس الشخص الهواء عبر أنبوب يصل مباشرةً إلى الرغامي يمكن أن تحدث ألمًا خطيرًا بسبب البرودة والجفاف).
٣. تنقية الهواء، يتم ذلك بالآليات التالية:
  - بواسطة الأشعاع الموجودة عند مدخل الأنف التي تحتجز الجزيئات الكبيرة التي يزيد حجمها عن ٦ ميكرومتر أما الجزيئات الأصغر من ذلك فتوحد آليات أخرى لاحتيازها ومنها من الوصول إلى الرئتين.

**Turbulent precipitation** يعني ذلك إزالة الجزيئات بواسطة القذف العنيف أي أن الهواء المار عبر الطرق الأنفية يشكل دوارات عند اصطدامه بالقرينات والوترة وجدار البلعوم وفي كل مرة عليه أن يغير اتجاه حركته مما يؤدي إلى ترسب الجزيئات التي يزيد قطرها عن ٤ - ٦ ميكرومتر لأنها لا تستطيع تغيير اتجاه حركتها بنفس سرعة الهواء في تغيير اتجاه حركته وتعتبر هذه الآلة أهم من الأولى.

أما بالنسبة لبقية الجسيمات فيستقر الكثير منها (التي يتراوح قطرها بين ١ و٥ ميكرومتر) خارج القصبات الصغيرة نتيجة الترسب بالجاذبية، وفيما يتعلق بالجزئيات التي يتراوح قطرها بين ٥, ٠ و ١ ميكرومتر فإنها تصل إلى هواء الأنسان وتلتصق

بالسائل السنخي، تبقىالجزئيات التي تبلغ حجماً أقل من نصف ميكرومتر معلقة في هواء الأسنان وتخرج مع الزفير التالي.

البلعوم طريق مشترك لكل من الطعام والهواء، ويحدث خلال البلع إغلاق الطريقة التنفسية حتى لا يدخل الطعام إلى الرئتين ويحدث ذلك بواسطة منعكس عصبي. بعد ذلك يسلك الهواء الداخل إلى الرئتين طريق الحنجرة وهي إضافة إلى وظيفتها في ترطيب الهواء الداخل إلى الرئتين لها دور رئيسي في التصويت **Vocalization** والحنجرة متكونة بشكل خاص لعمل المهاز، والعنصر المهيمن هو الطيمات الصوتية المعروفة باسم الحال الصوتية.

ثم يسلك الهواء طريق الرغامي وبعد ذلك القصبات ثم القصبيات، وتعد الرغامي **Bronchi** الجيل الأول للطرق التنفسية، وتعد القصبتان **Trachea** اليمين واليسرى الجيل الثاني، في حين يكون كل انقسام بعد ذلك جيلاً إضافياً، وهناك ما بين ٢٠ - ٢٥ جيلاً قبل أن يصل الهواء أخيراً إلى الأسنان.

ومن أكثر المسائل أهمية في الطرق التنفسية عملية المحافظة عليها مفتوحة حتى آخرها للسماح بمرور الهواء من وإلى الأسنان، وحتى تبقى الرغامي مفتوحة، يملؤ عدد من الحلقات الغضروفية حوالي خمسة أنسداد الطريق حول الرغامي، كما تنتشر في جدر القصبات صفيحات غضروفية تحافظ على صلابة معقولة في القصبات، مما يسمح بحرية كبيرة للقصبات في التمدد والانحساص، وتغدو هذه الصفيحات الغضروفية أقل انتشاراً كلما تقدمنا بتنفرعات أكثر للقصبات، وتخلو القصبيات **Bronchioles** التي نصف قطرها ١ - ١,٥ ملم منها تماماً وبالتالي فهي تمدد بنفس الضغط غير الرئوي الذي يمدد الأسنان، وهذا يعني أنه كلما كبرت الأسنان تكبيراً معهما القصبيات، وتتركب جدر الرغامي والقصبات في الأماكن الحالية من الصفيحات

الغضروفية بشكل رئيسي من العضلات الملمس، باستثناء أغلب القصبات الانتهائية التي تدعى القصبات التنفسية التي لا تحوي إلا بليافاً قليلة من العضلات الملمس.

### مقاومة جريان الهواء في الشجرة القصبية

يكون جريان الهواء عبر الطرق التنفسية، في الشروط السوية، سهلاً جداً حتى أن اختلافاً زهيداً بمدروج الضغط بمقدار 1 سم ماء بين الجو الخارجي والأسنان يعتبر كافياً لإحداث جريان هوائي كافٍ لتنفس عادي.

### التحكم العصبي بالكتلة العضلية للرغمي والقصبات

تتركب جدر الرغمي والقصبات في الأماكن الخالية من الصفيحات الغضروفية، بشكل رئيس من عضلات ملمس، كما أن معظم جدر القصبات مؤلف من ألياف عضلية ملساء باستثناء معظم القصبات التنفسية التي تقل في جدرها الألياف العضلية الملساء، وتعود هذه العضلات الملمس في الرغمي والشجرة القصبية إلى مجموعة العضلات متعددة الوحدة (لا تملك زواياً تلقائياً للاستقطاب)، كما أن تمددها لا يولد جواباً تلقائياً. تتخلص هذه العضلات تحت تأثير تنبية الجملة اللاودية المعاصرة لها أو نتيجة تأثير عامل خلطني فيها، أي أن هذه العضلات تخضع لتحكم عصبي وأخر خلطني.

### التحكم الودي

يكون التحكم المباشر بالقصبات ضعيفاً بسبب قلة ألياف الأعصاب الودية التي تصل إلى الأجزاء المركزية من الرئة، وعلى الرغم من ذلك فإن تأثير الجملة الودية على القصبات يكون جلياً ويتم ذلك عن طريق التورأينيفرین والأينيفرین الجوالين في الدم المتحررين بالتحريض الودي للب الكظر. يسبب كلّ من هذين الهرمونين (وخصوصاً الأينيفرین) لأنّه أكثر حثاً لمستقبلات بيتا توسيعاً في الشجرة القصبية.

## **التحكم نظير الودي**

يخترق من الرئة القليل فقط من الأعصاب نظيرة الودية (مشتقة من العصب المبهم) وتفرز من هاياتها الأستيل كولين، وتدوي لدى تفعيلها إلى تضيق خفيف إلى متوسط في القصبات ، ولكن عندما توجد حديثة مرضية تسبب التضيق للقصبات كالربو ، فإن حد نظير الودي غالباً ما يسيء كثيراً للحالة، وفي هذه الحالة فإن إعطاء الأنثروبين قد يفيد حيث يؤدي إلى ارتخاء الطرق التنفسية بشكل كاف لتفريج الانسداد.

تنفع الأعصاب نظيرة الودية أحياناً بمعكسات تنشأ في الرئتين ، وتبدأ معظم هذه المعكسات بتحريش الغشاء الظهاري للطرق التنفسية ومن أهم المخرفات الغازات الضارة والغبار والتدخين.

## **العوامل الموضعية المؤثرة على التقلص القصبي**

يتشكل في الرئتين مواد ذات فعالية في إحداث التقلص القصبي، أهمها الهيستامين Slow reactive substance of analphylaxis .

- تحرر كلتا المادتين في نسج الرئة من الخلايا البدنية في أثناء الأرتكاسات الأرجية خاصة الناجمة من وجود غبار الطلع في الهواء، لذلك فهي تلعب دور المفتاح في إحداث انسداد الطريق الهوائي الذي يحدث في الربو الأرجي.
- يؤدي ارتفاع الضغط الجزيئي لغاز ثاني أكسيد الكربون في الهواء الرفيري إلى حدوث استرخاء العضلات الملمس القصبية، وبالتالي حدوث التوسع القصبي.

## **مطاوعة الرئتين Compliance of the lungs**

المطاوعة هي مقدار تمدد الرئتين المقابل لزيادة تعادل وحدة واحدة في الضغط عبر الرئوي، وتعادل المطاوعة الكلية السوية لكليتا الرئتين معاً في الإنسان البالغ، تقريراً ٢٠٠ مل/سم ضغط ماء، وهذا يعني أن كل زيادة في الضغط عبر الرئوي بما يعادل ١ سم ماء، تؤدي لتمدد الرئتين بمقدار ٢٠٠ ملتر.

تحدد ملامح وصفات مخطط المطاوعة بوساطة القوى الرئوية المرنة، والتي يمكن تقسيمها إلى جزأين منفصلين:

-قوى المرنة التابعة لنسيج الرئة خاصة. تتحدد هذه القوى بشكل أساسى بوجود ألياف الكلاجين وألياف Elastin المتوضعة بشكل نسيج في المتن الرئوي. تكون هذه الألياف في الرئتين المنكمشتين متقلصة بشكل جزئي وفي حالة مفتولة وعندما تمدد الرئتان تتمطرط الألياف وتتفك حلقاتها جزئياً وبذلك تكون قد استطالت.

### **القوى المرنة الناجمة عن التوتر السطحي**

تعد هذه القوى مسؤولة عن حوالي ثلثي القوى المرنة في الرئتين السويتين وتتوضح أهمية التوتر السطحي عندما يقارن بين مطاوعة الرئتين عندما تملأ بالهواء وعند ملء الرئة بالسائل الملحي. فعندما تملأ الرئة بالهواء تكون هناك مواجهة بين السائل المبطن للأنساخ والهواء الموجود في الأستانخ، أما في حالة الرئة المملوحة بالسائل ، فلا توجد تلك المواجهة ، ولذلك يكون تأثير قوى التوتر السطحي غير موجود.

تغير قوى التوتر السطحي بشكل كبير جداً لدى انعدام المادة المسماة بالسورفاكتانت.

## **السورفاكتانت والتوتر السطحي**

مبدأ التوتر السطحي: عندما يشكل الماء سطحاً مع الهواء، فإن جزئيات الماء الموجود على السطح قوى جذب تجاه بعضها ، ونتيجةً لذلك يبقى سطح الماء في محاولة مستمرة للانكماش ما يجعل قطرات الماء متماسكة فيما بينها .

يحدث ما يشابه ذلك على السطوح الداخلية للأسنان . ففي هذه الحالة تكون السطوح المائية في محاولة مستمرة للتخلص أيضاً، ولكن في هذه الحالة ، يأخذ سطح الماء المبطن للأسنان والمحيط بهواء السنخ والذي يكون في محاولة مستمرة للتخلص شكل البالون، ومن الواضح أن هذه المحاولات لدفع الهواء خارج الأسنان عبر القصبات تجعل الأسنان تحاول الانخماص.

## **السورفاكتانت وتأثيره على التوتر السطحي**

السورفاكتانت عامل فعال بالسطح، يعني ذلك أنه عندما يتشر على سطح السائل ، فإنه ينقص بشكل كبير التوتر السطحي(عندما يتشر السورفاكتانت على سطح مائي يكون لهذا السطح قوة توتر سطحي تعادل من  $12/1$  إلى  $2/1$  من التوتر السطحي لسطح الماء النقى). يُفرز السورفاكتانت من خلايا ظهارية خاصة تشكل نحو ١٠٪ من مساحة سطح السنخ. يتألف السورفاكتانت من مزيج معقد من الشحميات الفوسفورية والبروتينات والكريبوهيدرات والشوارد، وتعد المادة الشحمية داي بالتيول ليسين بالإضافة إلى صمام البروتين الفعال سطحياً وشوارد الكالسيوم أهم العوامل المسؤولة عن خفض التوتر السطحي، وهي لا تتحل بالسائل بل تنتشر على سطحه.

## **الضغط الانخماصي للأسنان المغلقة الناجم عن التوتر السطحي.**

### **٢ × التوتر السطحي**

#### **الضغط الانخماصي للأسنان**

##### **قطر السنخ**

متوسط قطر الأسنان الرئوية حوالي ١٠٠ ميكرومتر، ويكون مبطنًا بالسورفاكتانت، ومنه يحسب الضغط حوالي ٤ سم ضغط مائي (أو ٣ مم ز)، أما إذا كانت الأسنان مبطننة بملاء التقى فيصبح المقدار حوالي ١٨ سم ضغطاً مائياً. وبذلك يلاحظ المرء مدى أهمية السورفاكتانت في إنفاس كمية الضغط غير الرئوي المطلوب للحفاظ على قدد الرئتين.

#### **تأثير حجم الأسنان على الضغط الانخماصي الناجم من التوتر السطحي**

يلاحظ من المعادلة السابقة أن الضغط الانخماصي المتولد في الأسنان يتناسب عكساً مع قطر السنخ، وهذا يعني أنه كلما صغر السنخ زاد الضغط الانخماصي، وهذا هام جداً وبشكل خاص عند صغار الولدان الخدج الذين يكون قطر الأسنان لديهم أقل من ربع السوي، وعلاوة على ذلك، يكون لديهم نقص في السورفاكتانت.

يلعب السورفاكتانت دوراً هاماً في تثبيت حجم الأسنان ويتمن ذلك بزيادة كمية السورفاكتانت في الأسنان الصغيرة الحجم، بحيث أن السنخ الصغير الحجم يحتوي كمية من السورفاكتانت أكبر من السنخ الأكبر منه في الحجم مما يؤدي إلى إنفاس التوتر السطحي وبالتالي الحفاظ على ثبوت الأسنان.

#### **العضلات التنفسية**

##### **١- العضلات الشهيقية:**

- عضلة الحجاب الحاجز، أهم العضلات الشهيقية التي تفصل بين الجوف الصدرى والجوف البطنى ويؤدى تقلصها إلى انخفاض قبتها نحو البطن، وبالتالي إلى ازدياد القطر العمودي للقفص الصدرى.
- العضلات الوربية الخارجية، تتجه من ضلع إلى آخر بشكل مائل(من الخلف والأعلى إلى الأسفل والأمام) ويسبب تقلصها ارتفاع الأضلاع، مما يؤدى إلى زيادة القطر الأمامى الخلفى للقفص الصدرى .
- العضلات الأ Hemisphere، تساهم في رفع الصالعين الأولين مما يؤدى إلى زيادة القطر الأمامى الخلفى للقفص الصدرى.
- العضلة القصية الترقوية الخشائية، تساهم بتناقصها في رفع الضلع الأول وعظم القص وبالتالي ازدياد القطر الأمامى الخلفى للقفص الصدرى.
- العضلات الشوكية، وهي عضلات باسطة للعمود الفقرى تعمل في أثناء تقلصها على زيادة القطر الأمامى الخلفى للقفص الصدرى.

### **العضلات الرفيفية**

- عضلات البطن، تعد أهم عضلات الرفيف حيث تعمل على ضغط محتويات البطن للأعلى تجاه الحجاب الحاجز.
- العضلات الوربية الداخلية التي تتكون من ألياف عضلية تسير بعكس اتجاه ألياف العضلات الوربية الخارجية أي من الأمام والأعلى إلى الأسفل والخلف، وهي تعمل في أثناء تقلصها إلى هبوط الأضلاع.
- العضلة المنشارية الخلفية السفلية، ويقتصر دور مجموع هذه العضلات على الرفيف القسرى، أما في الرفيف العادي فليس لها دور يذكر لأنها يحدث بشكل منفعل.

## آليات التنفس الرئوية

### Mechanics of Pulmonary Ventilation

يمكن للرئتين أن تمدداً وتقلصاً بطرفيتين:

- حركة الحجاب الحاجز المابطة والصادعة من أجل إطالة أو تقصير حوف الصدر بالاتجاه العمودي.
- ارتفاع وانخفاض الأضلاع لزيادة وإنقصاص القطر الأمامي الخلفي لحوف الصدر.

يحدث التنفس الطبيعي الهادئ في معظمها بوساطة الآلية الأولى، أي بحركة الحجاب، فخلال الشهيق يؤدي تقلص الحجاب الحاجز إلى جر السطوح السفلية للرئتين إلى الأسفل، أما في أثناء الزفير فإن الحجاب يعود إلى وضعية الراحة ويساعد الارتداد المرن لكل من الرئتين وجدار الصدر والأعضاء البطنية على ضغط الرئتين. في أثناء التنفس الثقيل (حيث لا تكفي القوى المرنة السابقة الذكر لإحداث الزفير السريع اللازم) مما يتطلب وجود قوة خارجية يمكن الحصول عليها بتقلص العضلات البطنية التي تدفع المحتويات البطنية للأعلى عكس تغير الحجاب الحاجز.

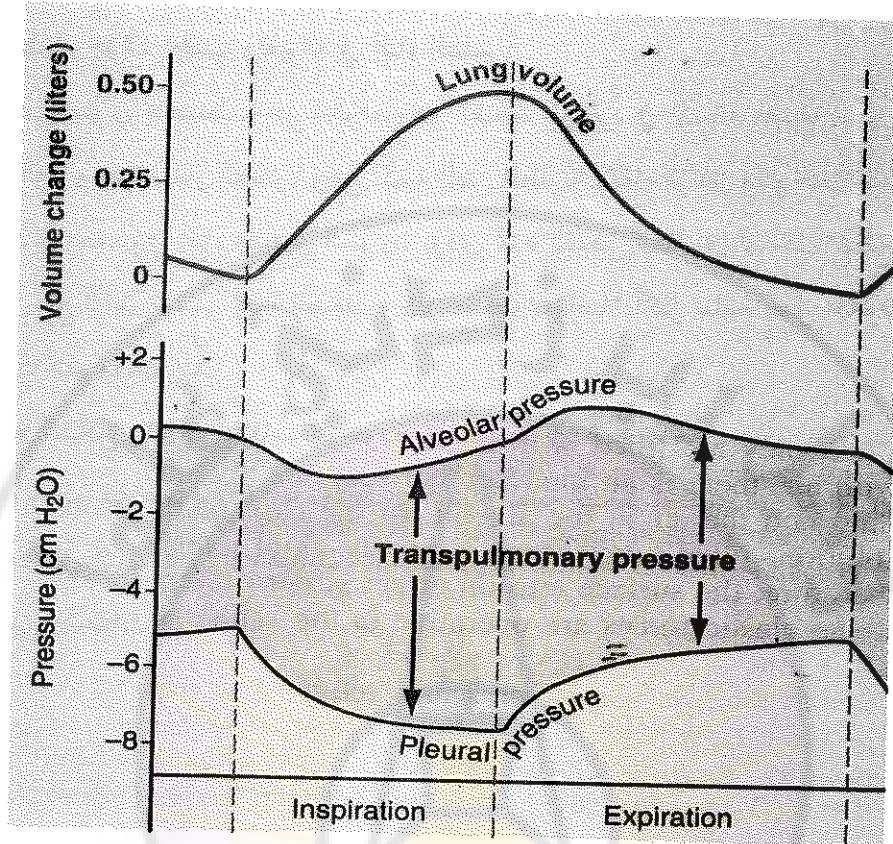
**حركة الهواء الداخل والخارج من الرئتين والضغط الذي تسبب ذلك**

تعد الرئة بنية مرنّة يمكن لها أن تتحمّص كالبالون وتطرد كل الهواء عبر الرغامى في أي وقت لا تتوفر فيه القوة لإبقاءها ممتّنخة، وكذلك لا يوجد رابط بين الرئة وجدار القفص الصدري ما عدا المكان الذي تتعلق فيه الرئة (عند سرتها) مع المنصف. وعوّضاً عن أن تنتشر الرئة في الجوف الصدري، فإنما تحاط بطبيقة رقيقة جداً من سائل الجنب الذي يسهل حركات الرئتين ضمن حوف الصدر.

## الضغط في جوف الجنب وتغيراته في أثناء التنفس

الضغط الجنبي (الضغط داخل الجوف) هو الضغط الموجود في المسافة الضيقية بين جنبة الرئة وجنبة حدار الصدر، وهي كمية المص المطلوبة لإبقاء الرئتين مفتوحتين عند حدود الراحة، وفي أثناء الشهيق السوي، يؤدي تعدد القفص الصدري لسحب سطح الرئتين مع تزايد مستمر لقوة الضغط ويخلق ضغطاً متواصلاً أكثر سلبية يصل لحدود — ٧,٥ سم ماء تقريباً.

يوضح الشكل (١٩) العلاقات الموجودة بين الضغط في جوف الجنب وتغير حجم الرئة، ويبدو فيه عند قاعدة المخطط البياني ارتفاع سلبية الضغط الجنبي من — ٥ إلى — ٧,٥ في أثناء الشهيق، وعند قمة المخطط زيادة حجم الرئة نصف لتر، ومن ثم تعكس الأحداث أثناء الزفير.



الشكل (١٩) تبدلات حجم الرئة والضغط السنتхи والضغط الجنبي والضغط عبر الرئة في أنساء التنفس السوي (Alveolar pressure = الضغط السنتхи، Pleural pressure = الضغط ضمن جوف الجنب، Transpulmonary pressure = الضغط عبر الرئوي).

### الضغط السنتخي Alveolar pressure

هو الضغط الموجود داخل أنساخ الرئة، فعندما يكون المزمار مفتوحاً وليس هناك هواء حار من وإلى الرئتين، تكون الضغوط في كل أجزاء الشجرة التنفسية والطرق المؤدية للأنساخ معادلة تماماً للضغط الجوي الذي يمكن اعتباره متساوياً لصفر سم ماء.

وحتى يحدث جريان هوائي إلى الرئتين في أثناء الشهيق يجب على الضغط ضمن الأسنان أن يهبط إلى قيمة أقل قليلاً من الضغط الجوي، ويوضح الخط البياني الثاني في الشكل (١٩) نقصاً في الضغط السنخي إلى (١) سم ماء تقريراً في أثناء الشهيق السوي وبعد هذا الضغط السلبي الضئيل كافياً لتحريرك حوالي ٥٠ ليتر من الهواء إلى الرئتين خلال الثنائيين المطلوبتين من أجل الشهيق. وتحدث في أثناء الزفير تغيرات معاكسة حيث يرتفع الضغط السنخي إلى حوالي ١ سم ماء وهذا ما يدفع بنصف اللتر من الهواء المستنشق إلى خارج الرئتين خلال ٢ - ٣ ثوانٍ من الزفير.

#### انتشار الأكسجين وثاني أكسيد الكربون عبر الغشاء التنفس

إن الخطوة التي تلي دخول الهواء إلى الأسنان هي انتشار الأكسجين من الأسنان إلى الدم الرئوي وانتشار ثاني أكسيد الكربون في الاتجاه المعاكس . وتم عملية الانتشار بواسطة الحركة العشوائية للجزيئات في كلا الاتجاهين عبر الغشاء التنفس والسوائل المجاورة لهذا الغشاء .

#### فيزياء الانتشار وضغط الغاز

تشكل جميع الغازات التي تدخل في عملية التنفس جزئيات بسيطة حرة الحركة فيما بينها، تدعى تلك الحركة بالانتشار ، وهذا ينطبق أيضاً على الغازات المنحلة بالماء وسوائل الجسم.

ولكي يحدث الانتشار، يجب أن يوجد مصدر للطاقة ويتم تأمين هذا المصدر من حركة الجزيئات النشطة نفسها ( تكون الجزيئات لكل الأجسام المادية في حركة دائمة، إلا في درجة الصفر المطلق).

## ضغط الغاز في مزيج من الغازات

ينجم ضغط الغاز عن الاصطدام المستمر للجزيئات النشطة الحركة في السطح ، وطبقاً لذلك فإن ضغط الغاز على سطح الطرق التنفسية والأسنان الرئوية يتناسب مع قوة التصادم الموجودة في كل الجزيئات التي تصدم السطح في أي وقت ، وهذا يعني أن الضغط الكلي يتناسب مباشرة مع تركيز جزيئات الغاز . على كل حال ، يجب أن نتعامل في فيزيولوجيا التنفس مع مزيج غازي مؤلف بشكل أساسى من التتروجين والأكسجين وثاني أكسيد الكربون . يتناسب معدل انتشار هذه الغازات مباشرة مع الضغط الناجم عن هذه الغازات وحده، وهذا ما نسميه **الضغط الجزئي للغاز**.

يتراكب الهواء تقريباً من 79% من التتروجين و 21% من الأوكسجين ، ويبلغ الضغط الكلي لهذا المزيج 760 ملم زئبقي عند مستوى سطح البحر ، ويتبين مما سبق أن كل غاز يشارك في الضغط الكلي بشكل يتناسب مباشرةً مع تركيزه ، وهذا يعني أن الضغط الجزئي للتتروجين في المزيج 600 ملم زئبقي والضغط الجزئي للأكسجين هو 160 ملم زئبقي . ويمكن تمييز الضغوط الجزئية للغازات في مزيج غازي بالرموز  $P_{N_2}$ ,  $P_{O_2}$ ,  $P_{CO_2}$ ,  $P_{H_2O}$ ,  $P_{He}$

## ضغط الغازات في الماء والنسج

تمارس الغازات المذابة في الماء ونسج الجسم ضغطاً أيضاً ، وينجم ذلك عن كون الجزيئات المنحلة تتحرك عشوائياً وتملك طاقة حركية . ولهذا السبب عندما تذاب جزيئات الغاز في السائل فإنها تواجه سطحاً يشبه غشاء الخلية، وهي تعطي ضغطها بطريقة مشابهة لما يحدث في الحالة الغازية (عندما يعطي الغاز ضغطه الخاص به) . ويرمز إلى الضغوط الجزئية للغازات المذابة بشكل مشابه للضغط في الحالة الغازية أي

$$\dots P_{N_2}, P_{O_2}, P_{CO_2}$$

## **الانتشار الغازات بين المرحلة الغازية في الأسنان والمرحلة المذابة في الدم الرئوي**

يميل الضغط الجزيئي للكل غاز من الغازات الموجودة في المزيج الغازي الموجود في الأسنان الرئوية لإجبار هذا الغاز للذوبان في الغشاء السنخي أولًا ومن ثم في دم الشعيرات السنخية. وبشكل معاكس ، فإن جزيئات الغاز نفسه التي ذابت في الدم تتحرك بشكل عشوائي في سائل الدم ، كما قد يعود بعض هذه الجزيئات إلى الأسنان ، ويتناصف معدل ما يعود منها مباشرة مع ضغطها الجزيئي في الدم ، والسؤال هو في أي اتجاه سوف يحدث الانتشار النهائي للغاز ؟

الجواب على ذلك يتحدد باختلاف الضغط الجزيئي للغاز في كل من الأسنان الرئوية والدم ، فإذا كان الضغط الجزيئي أكبر في المرحلة الغازية أي في الأسنان (كما هو بالنسبة للأكسجين في الحالة السوية) ، عندئذ سوف تمر جزيئات الأكسجين من الأسنان إلى الدم أكثر مما يحدث العكس (انتشار من الدم إلى الأسنان) . ويحدث الأمر بشكل معاكس لـ  $\text{CO}_2$  حيث ينتقل من الدم إلى الأسنان .

## **ضغط بخار الماء**

عندما يدخل الهواء الطرق التنفسية ، يت弟兄 الماء فوراً من سطوح هذه المرات ويرطب الهواء . ويدعى الضغط الناجم عن جزيئات الماء ضغط بخار الماء ، ويساوي هذا الضغط التبخيري ضمن حرارة الجسم السوي (٣٧ م) حوالي ٤٧ ملم زئبقي ويرمز للضغط الجزيئي لبخار الماء بـ  $\text{P}_{\text{H}_2\text{O}}$  .

## **تركيب الهواء السنخي**

يختلف تركيز الغازات في هواء الأسنان عن مثيلاتها في الهواء الجوي بشكل كبير وهناك عدة أسباب لهذه الاختلافات

- ١ - يستبدل هواء الأسنان جزئياً مع الهواء الجوي وليس كلياً في كل نفس .

- ٢- يمتص الأكسجين باستمرار من الهواء السنجي إلى الدم.
- ٣- يتشر غاز ثاني أكسيد الكربون من الدم الرئوي إلى الأسنان.
- ٤- يتم ترطيب الهواء الجوي الجاف الذي يدخل الطرق التنفسية قبل أن يصل إلى الأسنان.

### تركيز الأوكسجين وضغطه القسمى في الأسنان

باعتبار أن الأوكسجين يمتص بشكل دائم من الرئتين إلى الدم وأن أوكسجينياً جديداً يتم استنشاقه باستمرار من الهواء الجوى إلى الأسنان ، فإنه كلما زادت سرعة امتصاص الأوكسجين كلما أصبح تركيزه أقل ، و من جهة أخرى كلما زادت سرعة استنشاق الأوكسجين الجديد من الهواء الجوى إلى الأسنان ، كلما أصبح تركيزه في الأسنان أعلى.

يلغ الضغط الجزئي للأوكسجين في هواء الأسنان ٤ ١٠ ملم زئبقي في الحالات السوية . و عند الزيادة الشديدة الملحوظة في التهوية السنجية يمكن للضغط الجزئي للأوكسجين أن يصل إلى ١٤٩ ملم زئبقي ، ولكن لا يمكن أن ترتفع فوق ذلك طالما أن الشخص يتنفس هواءً جوياً طبيعياً ، لأن هذه القيمة هي الضغط الأعظمي للأوكسجين في الهواء المرطب .

### تركيز $\text{CO}_2$ وضغطه القسمى في الأسنان

يتم تركيب  $\text{CO}_2$  بشكل دائم في الجسم ، و من ثم يطرح إلى الأسنان ، و تتم إزالتها من الأسنان بوساطة التهوية باستمرار . بما أن المعدل السوي لإطلاق ثاني أكسيد الكربون هو ٢٠٠ مل/د ، و المعدل السوي للتـهـوية السنجـية هو ٤,٢ ل/د ، فإن الضغط الجزئي له في الأسنان هو ٤٠ ملم زئبقي ، يزداد  $\text{PCO}_2$  السنجـي بالتناسب طرداً مع معدل إنتاج  $\text{CO}_2$  و عكساً مع التـهـوية السنجـية .

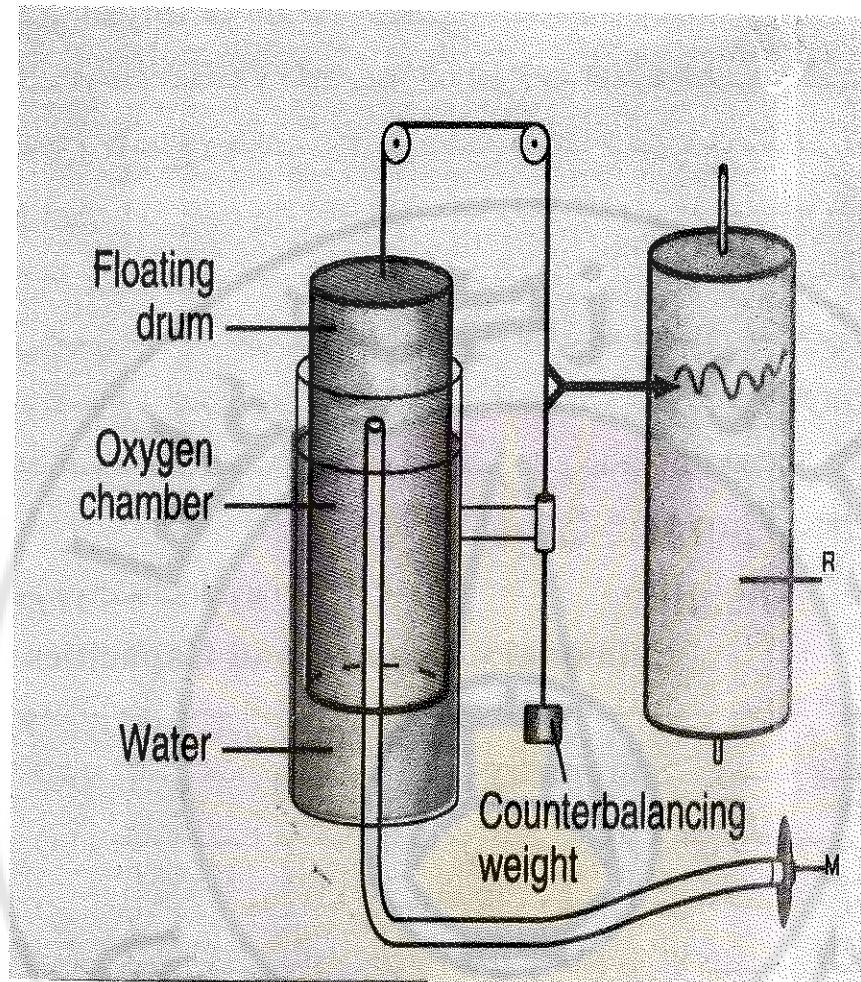
## **انتشار الغازات عبر الغشاء التنفسى**

تتركب الوحدة التنفسية ( مكان تبادل الغازات ) من القصبة التنفسية و القنوات السنبخية و الأسماخ ( هنالك ٣٠٠ مليون سinx في كلتا الرئتين ، متوسط قطر كل سinx حوالي ٢٠ ملم ) ، إن الجدران السنبخية رقيقة جداً و يوجد ضمنها شبكة متواصلة من الشعيرات الدموية ، و بذلك يكون واضحاً أن الغازات السنبخية على تماس حيوي مع دم الشعيرات الدموية ، و نتيجة لذلك يحدث التبادل الغازي بين هواء الأسماخ و الدم الرئوي من خلال كامل أغشية الأجزاء الانتهائية في الرئتين ، و يعرف بمجموع هذه الأغشية باسم الغشاء التنفسى الذي يدعى أيضاً الغشاء الرئوي.

## **الحجوم والسعات الرئوية**

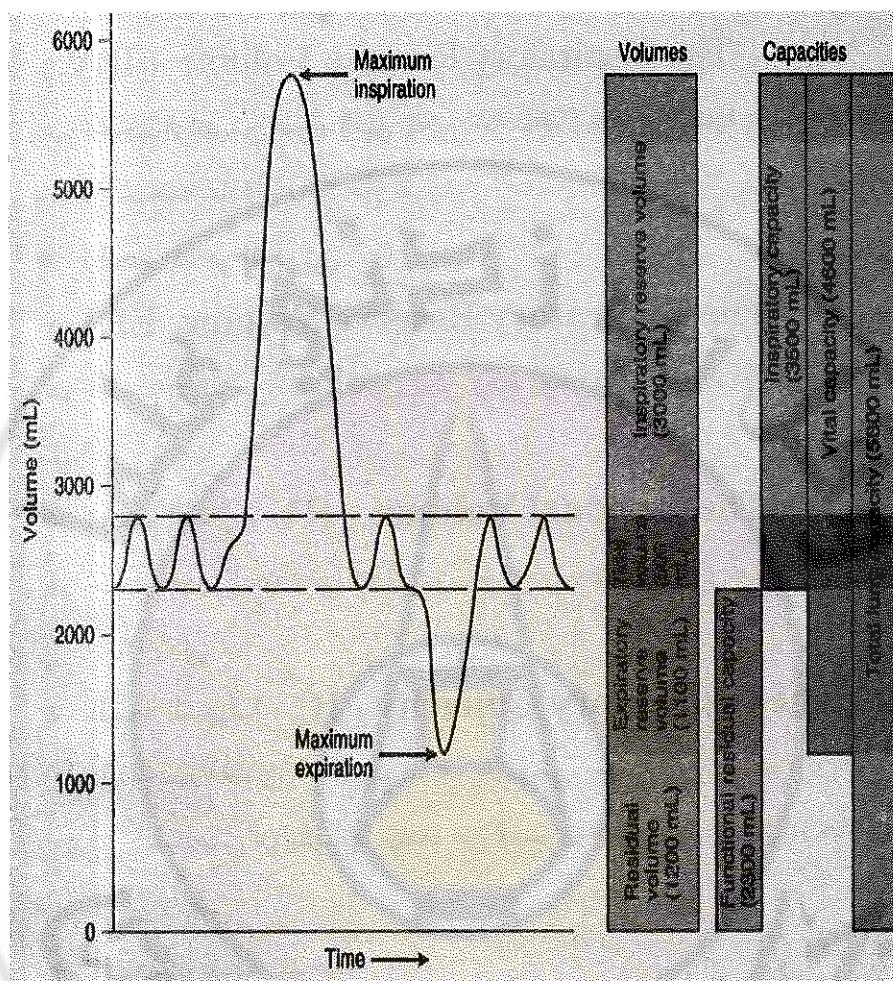
### **Pulmonary Volumes and Capacities**

بعد تسجيل حجم الهواء الحراري من وإلى الرئتين طريقة بسيطة لدراسة التهوية الرئوية وتدعى هذه العملية قياس النفس Spirometry. يوضح الشكل (٢٠) مقياساً تنفسياً نموذجياً. يتالف من اسطوانة مقلوبة على وعاء يحوي الماء، ومن أجل التوازن يعلق بهذه الاسطوانة ثقل، ويوجد داخل الاسطوانة مزيج من غازات التنفس (نفس تركيب الهواء الجوى أو عادة من الأكسجين فقط)، ويوجد أنبوب يصل فم الشخص مع حجرة الغاز، فعندما يتنفس المرء من الحجرة فإن الاسطوانة ترتفع وتنخفض ويتم رسم المخطط الموافق على صفحة الورق المتحرك.



.الشكل (٢٠). مقياس النفس : M تعني Mouthpiece ، R تعني Recording drum

يوضح الشكل ( ٢١ ) رسماً بيانياً تفاصيلياً ييدي التغيرات في حجم الرئة تحت ظروف مختلفة من التنفس، ولتبسيط وصف أحداث التهوية الرئوية، قسم الهواء الموجود داخل الرئتين لمراحل مختلفة على هذا المخطط، توزعه إلى أربعة حجوم مختلفة وأربع ساعات مختلفة.



الشكل (٢١). مخطط يظهر السيوح التنفسية في أثناء التنفس السوي والجهدي.

### • الحجم الجاري (TV)

يدعى أيضاً الحجم المدي و هو حجم الهواء المستنشق أو المزبور في كل نفس سوي يساوي تقريرياً ٥٠٠ مل عند الرجل البالغ.

- الحجم المدخر الشهيقي

### The Inspiratory Reserve Volume (IRV)

هو الحجم الزائد من الهواء الذي يمكن استنشاقه زيادةً عن كمية الهواء الجاري ويعادل حجمه عادةً ٣٠٠٠ مل تقريباً.

- الحجم المدخر الرفيري

### The Expiratory Reserve Volume(ERV)

هو الحجم الزائد من الهواء الذي يمكن زفيره بعد زفير سوي يعادل تقريباً ١١٠٠ مل.

- الحجم الشمالي (RV)

هو حجم الهواء الذي يبقى في الرئتين بعد زفير جهدي قسري ويعادل وسطياً حوالي ١٢٠٠ مل.

- السعة الشهيقية (IC)

تعادل الحجم الجاري + الحجم المدخر الشهيقي. وهي كمية الهواء ( ٣٥٠٠ مل ) التي يمكن للشخص أن يتنفسها ابتداءً من مستوى الرفير السوي إلى درجة تمدد الرئة إلى الحد الأقصى.

- السعة الوظيفية المدخرة

### (FRC)The Functional Residual Capacity

تساوي الحجم المدخر الرفيري + الحجم الشمالي وهو حجم الهواء الذي يبقى في الرئة عند نهاية الرفير السوي ويعادل تقريباً ( ٢٣٠٠ مل ).

- السعة الحيوية (VC) The Vital Capacity

تساوي الحجم المدخر الزفيرى + الحجم الباري + الحجم المدخر الشهيقى.  
وهي أكبر كمية من الهواء يمكن للشخص أن يزفرها من رئتيه بعد أول امتلاء  
لرئتيه بعد إجراء شهيق جهدى وتساوي حوالى ٤٦٠٠ مل.

### • T L C) The Total Lung Capacity

تساوي السعة الحيوية + الحجم الشمالي وتعادل تقريرياً ٥٨٠٠ مل.  
تنقص كافة هذه الحجوم والسعات عند النساء بمقدار ٢٠ - ٢٥ % منها عند  
الرجال، وهي أكبر بشكل ملحوظ عند الرياضيين وضخام الجثة منها عند  
التحليلين والواهنين.

#### تحديد السعة الشمالية الوظيفية (طريقة تتمدد الهليوم)

تعتبر السعة الشمالية الوظيفية، وهي حجم الهواء الذي يبقى في الرئتين بشكل سوى  
بين التنفس والتنفس الذي يليه، هامة جداً لوظيفة الرئة. وتتغير قيمتها بشكل ملحوظ  
في بعض أمراض الرئة، ولهذا السبب غالباً ما يرغب بقياس هذه السعة، ولكن لا يمكن  
استخدام مقياس النفس لقياس هذه السعة بشكل مباشر لأن الحجم الشمالي لا يمكن  
زفره داخل مقياس النفس ويشكل هذا بالحجم حوالي نصف السعة الشمالية الوظيفية  
ولذلك يجب استخدام مقياس النفس بطريقة غير مباشرة ويجرى قياس السعة الشمالية  
الوظيفية عادة بواسطة طريقة تتمدد الهليوم كما يلى:

يملاً مقياس النفس ذو الحجم المعروف بالهواء الممزوج مع الهليوم وتكون نسبة تركيز  
الهليوم معروفة، وقبل التنفس من مقياس النفس يزفر الشخص بشكل سوى وفي نهاية  
الزفير يبدأ بالتنفس من مقياس النفس وتبدأ غازات المقياس بالاحتلال مع غازات  
الرئتين ونتيجة لذلك يتمدد الهليوم بغازات السعة الشمالية الوظيفية ويوقف الشخص

التنفس من مقياس النفس في نهاية الزفير السوي وعندما يمكن حساب السعة الثمالية الوظيفية من درجة تمديد الهليوم باستخدام المعادلة التالية:

$$FRC = \left( \frac{Ci He}{CF He} - 1 \right) Vi spir$$

حيث:

$Ci He$  = التركيز الأولي للهيليوم في مقياس النفس.

$CF He$  = التركيز النهائي للهيليوم في مقياس النفس.

$Vi spir$  = الحجم الأولي لمقياس النفس.

ولدى تحديد قيمة السعة الثمالية الوظيفية، يمكن عندها تحديد الحجم الثمالي، وكذلك يمكن تحديد سعة الرئة الكلية.

### تنظيم النفس

يقوم الجهاز العصبي بضبط معدل التهوية السنتحية طبقاً لمتطلبات الجسم ، ففي الحالة السوية لا تتغير ضغوط كل من الأوكسجين و ثاني أكسيد الكربون في الدم إلا بصعوبة حتى في أثناء التمارين العنيفة أو في الكرب التنفسي . و يتم التحكم و تنظيم عملية التنفس بواسطة المركز التنفسي .

### المركز التنفسي: Respiratory Center

يتكون المركز التنفسي من عدة مجموعات من العصبونات المتشرة و المتوضعة على الجانبين في البصلة السيسائية و الجسر ، و يقسم المركز التنفسي إلى قسمين :

١ - القسم البصلي . يتتألف من مجموعتين من العصبونات :

أ - المجموعة التنفسية الظهرية Dorsal Respiratory Group

تتوسط في القسم الظاهري من البصلة ، و يؤدي تفعيل هذه المجموعة من العصبونات إلى حدوث الشهيق و هي تتألف من نوعين من العصبونات . يدعى النوع الأول م بالعصبونات  $\alpha$  و هذه ترسل دفعاتها نحو الأسفل إلى القرون الأمامية من النخاع الشوكي في الشدفة التي يخرج منها العصب الحجاجي و بالتالي فإن تفعيل هذه العصبونات يؤدي إلى تفعيل العصب الحجاجي و بالتالي تقلص الحاجب الحاجز . و تمتاز العصبونات الموجودة في القسم الظاهري من البصلة بأن لها فعالية داخلية Intrinsic Activity أي لها قدرة على توليد النظم ذاتياً دون الاعتماد على مصدر خارجي . بالإضافة إلى ذلك يوجد نوع ثانٍ من العصبونات يدعى  $\beta$  و تفعيل هذه العصبونات يؤدي إلى تثبيط العصبونات  $\alpha$  . تتلقى العصبونات  $\beta$  تبيهاً من العصبونات  $\alpha$  و بالتالي توجد حلقة دائرة بين العصبونات  $\alpha$  و العصبونات  $\beta$  . فتفعيل العصبونات  $\alpha$  يؤدي إلى تفعيل  $\beta$  (التي لا تمتلك فعالية ذاتية ) . و تفعيل  $\beta$  يؤدي إلى تثبيط  $\alpha$  و لكن هذا الشبيط لا يكفي لإيقاف العصبونات  $\alpha$  و إنما تحتاج إلى تبيهاً من أماكن أخرى حتى تقف عن العمل الضروري لإكمال عملية التنفس الطبيعية . لأن توقف العصبونات  $\alpha$  بعد فترة من الزمن يؤدي إلى توقف التنبه للعصب الحجاجي و بالتالي يسترخي الحاجب الحاجز و يحدث الزفير بشكل منفعل .

### **ب - المجموعة التنفسية البطنية :**

تتوسط عصبونات المجموعة التنفسية البطنية على مسافة 5 ملم أمام و وحشى عصبونات المجموعة التنفسية الظاهرة و تختلف وظيفة هذه المجموعة العصبية عن المجموعة التنفسية الظاهرة بعدة أمور :

- ١ ) يبقى محمل عصبونات المجموعة التنفسية البطنية غير فعال تقريرياً في أثناء التنفس الهادئ السوي . يحدث التنفس الهادئ السوي بوساطة إشارات شهيقية متتالية تصدر

عن المجموعة التنفسية الظهرية و تنتقل بشكل رئيسي إلى الحجاب الحاجز ، و يحدث الزفير نتيجة النكوص المرن للرئتين و القفص الصدري .

٢ ) يؤدي تنبيه الكهربائي لبعض عصبونات المجموعة البطنية إلى إحداث الشهيق بينما يؤدي تنبيه عصبونات أخرى إلى إحداث الزفير . لذلك تسهم هذه العصبونات في كل من الشهيق و الرفير . تكمن أهمية هذه العصبونات في إصدار تنبيهات زفيرية قوية إلى العضلات البطنية في أثناء الزفير ، لذلك تعمل هذه المنطقة عمل آلية مسرعة للتنفس عند الحاجة إلى زيادة مستوى التهوية الرئوية  
ملاحظة: عندما تعمل العصبونات المسؤولة عن الشهيق تتربط العصبونات المسؤولة عن الرفير و العكس صحيح .

## ٢ - القسم الجسري

### Pontine Group Of The Respiratory Center

يتألف من جموعتين من العصبونات :

#### أ - المركز الجسري السفلي Apneustic Center

يدعى المركز الموقف للتنفس . تتوسط عصبونات هذا المركز في الثالث السفلي من الجسر و هو يصدر بشكل مستمر دفعات عصبية Impulses موجهة إلى مركز الشهيق ، و تتحمّل على تقوية الفعل الشهيقي الذي يصبح عميقاً . كما يصدر بتنفس الوقت تنبيهات تسير نحو الأعلى لتنبيه المركز الجسري العلوي . يتلقى هذا المركز دفعات عصبية تشيعطية من مستقبلات التمدد الموجودة في الأسنان الرئوية ، تسير هذه التنبيهات عبر الألياف الحسية للعصب المبهم . كما يتلقى تنبيهات تشيعطية من قبل

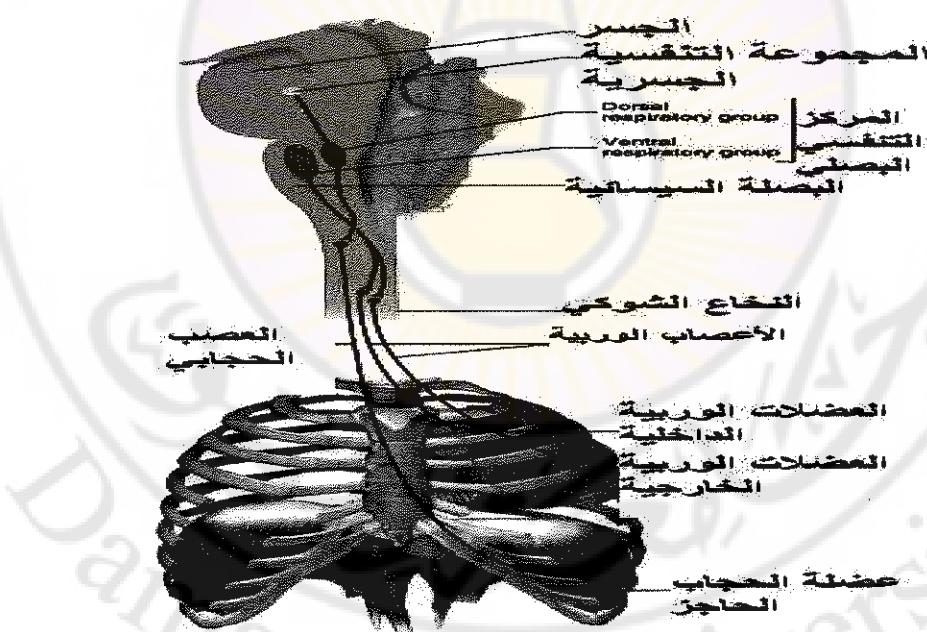
المركز الجسري العلوي ، لذلك يؤدي قطع المبهمين و إلغاء الدفعات القادمة من المركز الجسري العلوي ( بإجراء قطع في منتصف الحدية ) إلى حدوث تنفس يتميز

بشهيق عميق يكون مقطوعاً بزفير قصير سطحي و يستمر ذلك حتى حدوث الموت . و من هنا جاءت تسمية هذا المركز بالمركز الموقف للتنفس .

### **Pneumtaxis Center**

تتوسط عصبونات هذا المركز في الثلث العلوي من الجسر و يتلقى تنبیهاته من المركز الجسري السفلي و بالمقابل فإنه يرسل دفعات عصبية تثبيطية إلى كل من المركز الجسري السفلي و إلى العصبونات المسؤولة عن الشهيق المتوضعة في المجموعة التنفسية الظهرية ، لذلك فإنه يلعب دوراً رئيسياً في تحديد أمد الشهيق ، و بالتالي زيادة سرعة تتابع حركات التنفس و من هنا دعي بالمركز المنظم للتنفس .

ويظهر الشكل ٢٢ ما ذكر سابقاً :



الشكل(٢٢) المركز التنفسى.

## آلية حدوث التنفس الهادئ السوي

يحدث الشهيق بآلية فاعلة و ينجم عن تقلص الحاجز الحجابي يؤدي إلى زيادة حجم حوف الصدر مما يؤدي إلى زيادة الضغط السليبي داخل حوف الحنب ، و هذا بدوره يؤدي إلى انخفاض الضغط السنخي و بالتالي دخول الهواء إلى الرئتين . يتقلص الحاجز و العضلات الشهيقية الأخرى عندما يصلها التبيء من عصبونات الجموعة التنفسية الظهرية التي تملك ذاتية داخلية ( قدرة على إصدار التبيهات بشكل عفوي دون الاعتماد على مصدر خارجي ) .

يحدث الزفير بشكل منفعل و تؤدي الآليات التالية إلى حدوث الزفير :

- يؤدي تبيء العصبونات بيتا إلى تثبيط العصبونات ألفا الموجودة في الجموعة التنفسية الظهرية و بالتالي تتوقف العصبونات ألفا عن التفريغ النظمي و لكن هذه الآلية ضعيفة و لا تكفي لتوقف العصبونات ألفا و بالتالي تحتاج إلى تثبيط من مناطق أخرى .
- يؤدي وجود الهواء في الأسنان و بالتالي تمددها إلى تبيء المستقبلات الموجودة في جدر الأسنان التي ترسل تبيهاتها الشيطانية عبر الألياف الحسية للمبهم إلى كل من الجموعة التنفسية الظهرية ( العصبونات ألفا المسؤولة عن الشهيق ) و إلى المركز الجسري السفلي الذي يرسل تبيهاته إلى الجموعة التنفسية الظهرية ( العصبونات ألفا) و يحرمه من التبيء الذي كان يأتيه عبر هذا المركز ، هذه الآلية قوية و كافية لإيقاف العصبونات ألفا المسؤولة عن الشهيق .
- يرسل المركز الجسري العلوي تبيهات شيطانية إلى كل من المركز الجسري السفلي و إلى العصبونات ألفا المسؤولة عن الشهيق . و بذلك تتضادر

الآليات الثلاثة في إيقاف التفريغ النظمي ، للعصبونات ألفا المسؤولة عن الشهيق مما يؤدي إلى توقفها و يؤدي كل ما سبق إلى حدوث الزفير .





## الفصل التاسع

### الجهاز العصبي

مقدمة:

يعتبر الجهاز العصبي مع الغدد الصماء المسؤول الرئيسي عن تأمين معظم وظائف التحكم والتنظيم في الجسم، يتحكم الجهاز العصبي بالفعاليات السريعة للجسم كالتشنج العضلي، والفعاليات الحشوية سريعة التغير ويتدخل في معدل إفراز بعض الغدد الصماء، بالمقابل تقوم الغدد الصماء وبشكل رئيسي بتنظيم الوظائف الاستقلالية للجسم التي تحتاج إلى مدة زمنية أكثر مما تحتاج إلى سرعة (نمو الجسم، مستوى الكالسيوم ....).

يتميز الجهاز العصبي عن بقية الأجهزة (يعتبر فريداً في هذه الناحية) بدقة وتعقيد الأعمال التي يستطيع إنجازها، فهو يتلقى المعلومات الواردة إليه من الأعضاء الحسية المختلفة ثم يقوم بمعاملة هذه المعلومات بشكل مناسب بحيث تحدث استجابات حركية مناسبة.

البناء العام للجهاز العصبي

General design of the nervous system

تشريحياً تقسم الجملة العصبية إلى:

١ - الجملة العصبية المركبة

تتألف الجملة العصبية المركبة من الدماغ والنخاع الشوكي.

يتتألف الدماغ بدوره من:

## **cerebrum** المخ

- الدماغ المتوسط (المهاد و الوطاء).

- الدماغ المستطيل.

## **Cerebellum** المخيخ

### ٢ - الجملة العصبية الحيوطية Peripheral nervous system

تتألف الجملة العصبية الحيوطية من الأعصاب القحفية والأعصاب الشوكية وهي تقوم بنقل المعلومات من وإلى الجملة العصبية المركبة وهذه المعلومات تنقل إما من داخل الجسم أو من خارجه وبدورها تقسم الجملة العصبية الحيوطية إلى قسم وارد وقسم صادر.

نسبياً: تتألف الجملة العصبية من عدد كبير جداً من الخلايا ويشاهد نوعان من الخلايا في الجهاز العصبي:

١. الخلايا الدبقية ولها عدة أنواع تقوم بوظائف داعمة وغذائية لأنواع أخرى من الخلايا ولا يتولد فيها كوامن عمل.

٢. العصبونات Neurons يتولد في هذا النوع من الخلايا كوامن عمل وتنقل هذه الكوامن إلى خلايا أخرى.

تقسم الجملة العصبية وظيفياً (فيزيولوجياً) إلى ثلاثة أقسام

١. القسم الحسي.

٢. مراكز الدمج.

### ٣. القسم الحركي.



الشكل (٢٣) البناء العام للجهاز العصبي (من الناحية الوظيفية).

قبل دراسة وفهم الجملة العصبية من الناحية الفيزيولوجية لا بد من فهم بنية العصبون الذي يشكل الوحدة التشريحية الأساسية للجهاز العصبي ويحتوي الجهاز العصبي على ما يقرب من ١٠٠ مليار عصبون.

## بنية العصبون

يتتألف العصبون من ثلاثة أقسام رئيسية:

١. **جسم العصبون The Soma** ويشكل الجزء الأساسي للعصبون ويحوي النواة وجهاز غولجي والمكونات الأخرى الموجودة في باقي خلايا الجسم.

٢. **المحور الأسطواني The Axon** هو استطالة سيتوبلاسمية طويلة ومحموع المحاور الأسطوانية يشكل الأعصاب ويوجد في بنية المحور الأسطواني الليفبات العصبية والأجسام الكوندرية كما يوجد في نهايته حويصلات التي تحوي التوابل العصبية ويمتاز المحور الأسطواني بقدراته على نقل كامن العمل إلى نهايته الحيطية وهناك يمكن تحرر توابل تكون مخزنة في حويصلات.

٣. **الاستطلاطات السيتوبلاسمية The Dendrites** يمتد عدد من التفرعات الهيولية خارج جسم العصبون ويختلف عددها من عصبون لآخر ويصل طولها إلى ١مم في بعض الأحيان وعددتها كبير جداً.

تصنف العصبونات إما بحسب شكلها أو بحسب وظيفتها

تصنف العصبونات حسب وظيفتها إلى حسية وحركية وبنية.

ومن الناحية الوظيفية فإن المعلومات الواردة إلى الخلية العصبية تدخل عن طريق المشابك العصبية الموجودة على الاستطلاطات الهيولية وعلى جسم الخلية بينما تنتقل الإشارات الصادرة عن الخلية العصبية عبر المحور الأسطواني الذي يعطي الكثير من الفروع إلى الأجزاء الأخرى من الدماغ والنخاع الشوكي.

## القسم الحسي للجهاز العصبي

تبدأ معظم فعاليات الجهاز العصبي بعمل ينبع من المستقبلات الحسية على اختلاف أنواعها والمنتشرة على سطح الجسم أو الموجودة في داخله ثم يُنقل هذا العمل بعد أن يحول إلى كامن عمل إلى المركز العصبي حيث تجري عليه عمليات مختلفة ويكون الاستجابة بمختلف أنواعها بعد ذلك.

أولاً - أنواع المستقبلات الحسية: يوجد خمسة أنواع من المستقبلات الحسية

١. **المستقبلات الآلية Mechanoreceptors**, تكشف هذه المستقبلات

التغيرات الآلية التي تصيب المستقبلة أو الخلايا المجاورة لها.

٢. **المستقبلات الحرارية Thermo receptors**, تكشف تغيرات

درجة الحرارة حيث يكتشف بعضها البرودة وبعضها الآخر الدفء.

٣. **المستقبلات الألم Nociceptors** ، أو تسمى مستقبلات الألم

تكشف الأذية الحاسقة في النسيج سواء كانت أذية فيزيائية أم أذية كيميائية.

٤. **المستقبلات الكهربائية المغناطيسية Electromagnetic receptors**

، التي تكشف الضوء الساقط على الشبكية في العين.

٥. **المستقبلات الكيميائية Chemo receptors** ، تكشف حس الذوق

في الفم والشم في الأنف ومستوى الأكسجين في الدم الشرياني والأسموylie في

سوائل الجسم ... الخ.

ثانياً - التحسس المختلف للمستقبلات

كل نمط من المستقبلات مصمم بحيث يستجيب بشكل أعظمي (حساس جداً) لنمط معين من المنبهات (يدعى المنبه الملائم) ولا تستجيب على الأغلب للشدة التسوية

للتأنمات الأخرى من التنبية. مثال ( تكون العصي والمخاريط الموجودة في الشبكية حساسة جداً للضوء لكنها غير حساسة ولا تستجيب للمنبهات الأخرى كالحرارة والبرودة والضغط على العين بشدتها الطبيعية التي تثير بها المستقبلات الأخرى الحساسة لها، ولكن إذا كانت شدة هذه المنبهات كبيرة جداً فإنها تثير هذه المستقبلات مثال ذلك ما يحدث عند ضربة قوية على العين (رؤية الشر).

### ثالثاً-شكلية الإحساس Modality of sensation

على الرغم من وجود أنواع مختلفة من الأحاسيس (حس الألم، اللمس، الرؤية، الصوت ...) إلا أن الألياف العصبية التي تنقل هذه الأحاسيس تستطيع نقل شكل واحد من الدفعات العصبية (كومان العمل) لذلك كان السؤال عن كيفية نقل الألياف العصبية لهذه الأشكال المختلفة من الأحاسيس. والجواب أن كل سهل عصبي ينتهي عند نقطة معينة في الجهاز العصبي المركزي وبالتالي تشعر بنمط الإحساس تبعاً للمنطقة التي ينتهي عندها العصب الذي نبه. مثال ذلك عند تنبية الليف العصبي الخاص بالألم يشعر المرء بالألم بغض النظر عن طبيعة المنبه الذي أثار هذا الليف.

### رابعاً-تحويل الطاقة في المنبهات الحسية إلى دفعات عصبية

#### Transduction of sensory stimuli into nerve impulses

بشكل عام فإن جمجمة المستقبلات الحسية طبيعة واحدة، وإن التأثير المباشر للمنبه المثير للمستقبلة هو تغيير كامن غشاء المستقبلة وإحداثه لكامن المستقبلة، ويمكن إثارة المستقبلات بعدة طرق أهمها:

١. فتح قنوات الشوارد في غشاء المستقبلة بوساطة التمطيط.
٢. بتطبيق مادة كيميائية على الغشاء تؤدي إلى فتح القنوات الشاردية.

٣. بتغيير درجة حرارة الغشاء يؤدي إلى تغير نفوذية الغشاء.

٤. بوساطة تأثيرات الإشعاع الكهرومغناطيسي ، كالضوء.

### الوظائف التكاملية للمراكز العصبية

إن الوظيفة الرئيسية للجهاز العصبي هي معاملة المعلومات الواردة إليه بطريقة تسمح بحدوث الاستجابة الحركية المناسبة. إن أكثر من ٩٩٪ من المعلومات الحسية يتم نبذه وإهمالها من قبل الدماغ لأنها غير هامة، فعلى سبيل المثال لا يتبه الإنسان في الحالة السوية لتماس جسمه مع ملابسه ولا لضغط المقعد في أثناء الجلوس، كما أنه لا يشعر بالضجة الدائمة المحيطة به لأنه يعتاد عليها.

بعد أن يختار الدماغ المعلومات الحسية المهمة تنتقل هذه المعلومات إلى المناطق الحركية المناسبة من الدماغ لتعطى الارتكاسات المطلوبة.

تدعى عملية إدخال المعلومات في مسارها بالوظيفة التكاملية للجملة العصبية، وبناء على ذلك إذا وضع شخص ما يده في موقد حار فإن الاستجابة المرغوبه هي إبعاد اليد عن الموقد، كما يشارك هذا الارتكاس ارتكاسات أخرى ثانوية مثل تحريك الجسم بكاملة بعيداً عن الموقد والصراخ بسبب الألم.

### أولاًً-دور المشابك في معاملة المعلومات

تحتاج المعلومات الحسية عندما تنتقل إلى المراكز العصبية في الدماغ إلى ثلاثة عصبونات على الأقل حتى تصل إلى الدماغ كما أنه وبالمقابل تحتاج إلى ثلاثة عصبونات على الأقل أيضاً في وصولها من الأقسام الحركية في الدماغ إلى العضو الهدف (المنفذ للأوامر الحركية)، تنتقل الإشارات (الدفعات العصبية) من عصبون إلى آخر عبر المشبك وهو نقطة الوصل بين عصبون وآخر، ولذلك هو الموضع الهام في التحكم بنقل الإشارات محدداً بذلك الوجهة التي تسلكها الدفعات في الجهاز العصبي،

تنقل بعض المشابك الإشارات بسهولة بينما تعرقل مشابك أخرى مسيرة الدفعات فلا تنقلها إلا بصعوبة.

### ثانياً: التshireح الوظيفي للمشابك

يتشكل المشبك من اتصال بين نهاية المحور الأسطواني للعصبون الأول (العصبون قبل المشبك) وكل من:

١. الاستطالات الهيولية للعصبون الثاني (العصبون بعد المشبك) ويدعى هذا النوع (axodendritic)

٢. مع جسم الخلية للعصبون الثاني ويدعى هذا النوع (axosomatic)

٣. مع المحور الأسطواني للعصبون الثاني ويدعى هذا النوع (axo-axonic)

ينفصل العصبون الأول (العصبون قبل المشبك) عن العصبون الثاني (العصبون بعد المشبك) بالمسافة المشبكية، وتفرع نهاية المحور الأسطواني للعصبون قبل المشبك عند اقتراها من المسافة المشبكية إلى عدة فروع تصل إلى ١٠٠ تفرع، يحيي كل تفرع منطقة متضخمة في نهايته تدعى العقد الانتهائية (Terminal Knob).

يلاحظ في هذا المجال أن نهایات العصبون قبل المشبك (التفرعات النهائية للمحور الأسطواني) يمكن أن تتشابك مع العديد من العصبونات بعد المشبك، وبالمقابل فإنه يمكن للعديد من العصبونات قبل المشبك أن تتجمع وتتشابك على عصبون واحد بعد المشبك، وهكذا فقد لوحظ أن بعض العصبونات يمكن أن تستقبل حوالي ١٠٠٠٠٠ نهاية محورية.

يشكل نوع المشابك الذي يدعى (axosomatic)، حوالي ٥٪٠ - ٢٠٪ من المشابك، بينما يشكل (axodendritic) حوالي ٨٠٪ - ٩٠٪.

ثالثاً: بنية المشابك كما تظهر في المجهر الإلكتروني

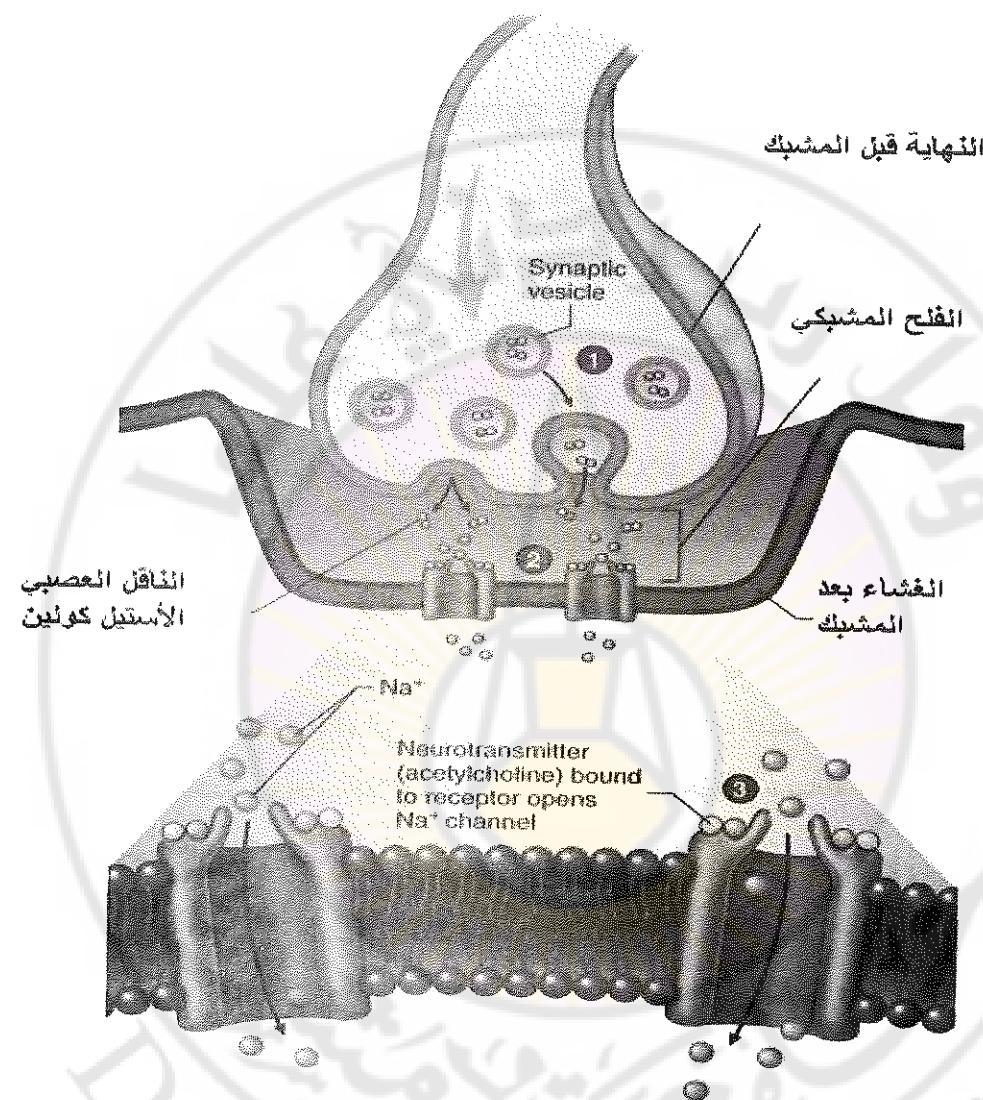
يتشكل المشبك من ثلاث مناطق :

### ١- العقدة المشبكية (The synaptic Knob)

وهي الانفاس النهائي للتفرعات الناجمة عن المحور الاسطوانى للعصبون قبل المشبك وينفصل الغشاء الخلوي للعقدة عن الغشاء الخلوي للعصبون بعد المشبك لمسافة يصل عرضها إلى ٣٠-٥٠ نانومتر وهي التي تمنع العبور المباشر للإشارة العصبية (كامن العمل) من نهاية الغشاء الخلوي للعقدة المشبكية إلى العصبون بعد المشبك.

تحتوي النهايات العقدية على العديد من الحويصلات (Vesicles) بأنواعها المختلفة الحبيبية والرائقة، يضاف إليها العديد من الجسيمات الكوندرية، وتحتوي الحويصلات الرائقة على النواقل العصبية سريعة الفعل المسؤولة عن الفعاليات السريعة للحملة العصبية، بينما تحتوي الحويصلات الحبيبة على البتيدات العصبية (Neuropeptides) التي تعمل ببطء ولكن بقوة أكبر، تتدفقاً لها أيام وأحياناً إلى سنين، ويحرر كلا النوعين من الحويصلات محتواهما بوساطة طريقة تدعى الانفاظ (Exocytosis)

يوجد في نهاية العقدة المشبكية - كما يظهر في الشكل (٢٤) - منطقة كثيفة تحوي العديد من الحويصلات تدعى المنطقة الفعالة (active zone)، تكون الحويصلات الرائقة موجودة بكثرة بالقرب من المنطقة الفعالة، ويوجد في غشائها الخلوي بنية بروتينية تحوي نوعين من البروتينات البنوية يدعى البروتين الأول (synapsin) وظيفته تثبيت الحويصل في مكانه على الشبكة السيتو بلاسمية (cytoplasmic skeleton)



الشكل (٢٤) بنية المشبك كما يظهر بال المجهر الإلكتروني.

ويدعى البروتين الثاني (Steinin) ويمثل هذا البروتين ميلاً كبيراً للاتحاد مع بروتين آخر يدعى (Neurin) يوجد هذا البروتين الأخير في الغشاء الخلوي للعقدة المشبكية في المنطقة الفعالة، ويعتقد أن شوارد الكالسيوم عن طريق تفعيلها للكالموديلين كيناز II تؤدي إلى فسفرة الـ (Synapsin)، تؤدي هذه الفسفرة إلى تحرر الحوبيصلات من مكان ارتباطها على (cytoskeleton) وبالتالي يؤدي ذلك إلى تحرك الحوبيصل إلى المنطقة الفعالة ويتعدد الـ (Steinin) مع الـ (Neurin) وهذا الاتحاد يؤدي إلى ترق الحوبيصل وتحرر الناقل الكيميائي إلى الفلح المشبكي (synaptic cleft).

في بعض المناطق يكون دخول شوارد الكالسيوم غير ضروري لتحرير الناقل الكيميائي.

## ٢ - الفلح المشبكي (The synaptic cleft)

هو المسافة الفاصلة بين العصبون قبل المشبك والعصبون بعد المشبك، يصل عرض هذه المسافة إلى ٣٠٠ - ٢٠٠ أنغستروم وتحتوي هذه المسافة على سائل خارج خلوي غني بشوارد الصوديوم والكلور وفقير بالبوتاسيوم.

## ٣ - الغشاء الخلوي للعصبون بعد المشبك

### (The postsynaptic membrane)

يحتوي غشاء العصبون بعد المشبك كميات كبيرة من المستقبلات البروتينية في منطقة المشبك، وتتألف هذه المستقبلات من قسمين رئيين:

١. الجزء الرابط: يبرز هذا الجزء من الغشاء الخلوي نحو الخارج باتجاه الفلح المشبكي.

٢. الجزء الحامل للشوارد (**An ionphore component**) الذي يحتاز الغشاء إلى داخل العصبون بعد المشبك، وقد وجد أن للجزء الحامل نوعين:

١- قناة لنقل الشوارد تفعل كيميائياً (وتسمى أيضاً بالقنوات التي تتفعّل عند ارتباط مواد بها) (**Ligand-activated channels**).  
القنوات:

- قنوات الصوديوم: تسمح لشوارد الصوديوم بشكل أساسي وبعض شوارد البوتاسيوم بالمرور عبرها.

- قنوات البوتاسيوم: تسمح بشكل رئيسي لشوارد البوتاسيوم بالانتقال عبرها.

- قنوات الكلور: تسمح لشوارد الكلور وقلة من شوارد البوتاسيوم بالمرور عبرها.

٢- الرسول الثاني (**Second messenger**): ذو طبيعة مختلفة عن قنوات الشوارد إذ يكون عبارة عن أنزيم يؤدي ارتباط الناقل العصبي به إلى تفعيله وينجم عن ذلك تحولات استقلالية داخل العصبون بعد المشبك كأن يحيط العصبون بعد المشبك على تشكيل الـ (**CAMP**) الذي يفعل بدوره عمليات كثيرة داخل الخلية أو يفعل الجينات الخلوية ويحرضها على زيادة عدد المستقبلات أو يمكن أن يفعل أنزيمات الكيناز وبالتالي يؤدي إلى إنفاص عدد المستقبلات.

### آلية النقل المشبكي

يحدث النقل المشبكي وفق المراحل التالية:

#### ١- تحرر الناقل الكيميائي

عندما يصل كامن العمل في العصبون قبل المشبك إلى نهاية المحور الأسطواني أو ما يدعى العقدة المشبكية (Terminal Knob) يؤدي ذلك إلى فتح قنوات الكالسيوم المبوية بالفولتاج (توجد هذه القنوات بكثرة وتكون هي المسسيطرة في هذه المنطقة من الغشاء)، يؤدي ذلك إلى دخول شوارد الكالسيوم وذلك وفقاً للمdroج الكيميائي والكهربائي.

يقود دخول شوارد الكالسيوم إلى هجرة الحويصلات المشبكية (الحاوية الناقل العصبي) إلى المنطقة الفعالة - كما تم شرحه سابقاً.

تلتحم هذه الحويصلات مع الغشاء الخلوي للعصبون قبل المشبك، ثم تفتح وتحرر الناقل الكيميائي الموجود داخلها إلى الشق المشبعي، وتناسب كمية الناقل الكيميائي المتحررة طرداً مع كمية شوارد الكالسيوم التي دخلت إلى العصبون قبل المشبك.

## ٢- اتحاد الناقل الكيميائي مع مستقبلاته

يؤدي اتحاد الناقل الكيميائي مع مستقبلاته الخاصة إلى تغيير نفوذية الغشاء الخلوي للعصبون بعد المشبك بتجاه شاردة واحدة أو أكثر.

## ٣- نشوء كامن العمل المشبعي

يقود تدفق الشوارد خلال الغشاء الخلوي إلى تغيير في كامن الراحة للغشاء الخلوي للعصبون بعد المشبك الذي يمكن أن يكون على أحد شكلين:

- يصبح أقل سلبية ويؤدي وبالتالي إلى نشوء كامن الإثارة.
- يصبح أكثر سلبية ويؤدي إلى حدوث كامن التشبيط.

## ٤- إزالة التوأقيع العصبية من الفلح المشبعي

من الملاحظ أنه طالما بقي الناقل العصبي في حالة ارتباط مع مستقبلاته فإن الغشاء (للعصبون ما بعد المشبك) يبقى إما في حالة إثارة أو في حالة تثبيط، لذلك فإنه من المرغوب به أن يزال هذا الناقل من الفلح المشبكي لليستطيع العصبون بعد المشبك أن يستقبل كوامن أخرى من عصبونات قبل المشبك سواء كان من نفس العصبونات قبل المشبك أو من عصبون آخر، لذلك فإن الناقل الكيميائي وبعد اتحاده مع مستقبلاته يزال بأحد الطرق التالية:

- إزالة فعالية الناقل الكيميائي بواسطة أنزيمات متوضعة على الغشاء الخلوي للعصبون بعد المشبك.
- الانتشار المنفعل للناقل الكيميائي بعيداً عن الفلح المشبكي.
- إعادة قبط الناقل الكيميائي بشكل فاعل إلى النهايات العقدية للمحور الأسطواني للعصبون قبل المشبك لتخترن في الحويصلات وتستعمل من جديد أو لخرب بواسطة أنزيمات متوضعة في العصبون قبل المشبك.

### **أنواع المشبeks**

١. **المشبك الكيميائي.** إن معظم المشبeks المستخدمة لنقل الدفعات العصبية في الجهاز العصبي المركزي عند الإنسان هي مشبeks كيميائية، وفي هذه المشبeks يفرز العصبون الأول مادة كيميائية (تدعى الناقل العصبي) في المشبك، يؤثر هذا الناقل على مستقبل بروتيني في غشاء العصبون التالي مؤدياً إما إلى تبيه أو إلى تثبيط أو إلى تعديل فعالية وحساسية العصبون التالي.

٢. **المشبك الكهربائي.** نادر الوجود عند الإنسان ويتميز بوجود قنوات بروتينية بين العصبونات المتجاورة تدعى **Gap junctions** تسمح للشوارد بجريمة

الحركة من عصبون إلى العصبون الذي يليه.

المستويات الرئيسية لوظيفة الجهاز العصبي المركزي

## ١ — مستوى النخاع الشوكي **Spinal cord level**

كان الاعتقاد القديم أن النخاع الشوكي ليس إلا طريراً لنقل الإشارات بين المحيط من الجسم والدماغ بالاتجاهين ولكن تبين أن كثيراً من الدارات العصبية التي تحدث في النخاع لا تحدث في أي مكان آخر وبالتالي فإن قطع النخاع الشوكي عند مستوى عال يؤدي إلى الحفاظ على وظائف كثيرة. فعلى سبيل المثال، إن السيالة العصبية في النخاع تستطيع أن تحدث:

- حركات المشي
- منعكسات سحب أجزاء البدن بعيداً عن الأشياء .
- منعكسات تقوي الساقين لدعم الجسم ضد الجاذبية .
- منعكسات تنظم الجريان الدموي الموضعي وحركات الأمعاء والمعدة
- ووظائف أخرى كثيرة.

وحقيقة أن المراكز الدماغية العليا لا ترسل أوامرها ودفعها إلى المحيط مباشرة وإنما ترسلها إلى مراكز التحكم في النخاع الشوكي ومعنى آخر يأمر مراكز النخاع لتجز وظائفها.

## ٢ — المستوى السفلي للدماغ

يتألف المستوى الدماغي السفلي من البصلة والجسر والدماغ المتوسط والوطاء والمهاد والمخيخ والعقد القاعدية، وهو مسؤول عن معظم نشاط الجسم دون الوعي Subconscious ، فالتحكم بالضغط الشرياني والتنفس دون مستوى الوعي

ينجز بشكل أساسى في البصلة والجسر، بينما تكون بعض أجزاء من المخيخ (المخيخ القديم) مع التشكيلات الشبكية للبصلة والجسر والدماغ المتوسط مسؤولة عن التوازن وهكذا .

### ٣ — المستوى الدماغي العلوي أو المستوى القشرى

بعد أن عرفنا الوظائف العصبية التي تنجز في النخاع الشوكي والمستوى الدماغي السفلي لا بد من التساؤل عن الوظائف التي ينجزها القشر الدماغي؟ والإجابة على هكذا سؤال معقدة جداً لكن يجب أولاً معرفة أن القشر الدماغي مخزن هائل للذاكرة وأنه لا يؤدي وظائفه بمفرده إنما بالاشتراك مع المراكز السفلية للجهاز العصبي.

تبقى وظائف المراكز الدماغية السفلية غامضة دون أي معنى عند غياب القشر الدماغي، لأن المخزون الهائل للمعلومات في القشر يجعل هذه الوظائف محددة ودقيقة. ومع أن القشر الدماغي ضروري جداً لعمليات التفكير فإنه لا يقوم بها وحده وإنما تشارك المراكز السفلية المسؤولة عن اليقظة **Wakefulness** في القشر الدماغي وبذلك تساهم في تحرير الذاكرة التي تشارك في عملية التفكير التي يقوم بها الدماغ.

وهكذا فإن كل قسم من الجهاز العصبي مسؤول عن وظائف معينة، فكثير من وظائف التكامل تحدث بصورة أساسية في النخاع الشوكي، بينما تتولى الماطق السفلية أمر كثير من الوظائف دون الوعي بشكل كامل، أما القشر فهو المهيمن على الباقي.

### ٣ - القسم الحركي للجهاز العصبي

يتضمن القسم الحركي للجملة العصبية الطرق العصبية التي تحكم بنموذج وتسالي التقلصات العضلية، تؤدي هذه التقلصات العضلية إلى اتخاذ الجسم ل مختلف الأوضاع وإلى المنعكستات والفعاليات المنتظمة (الحركات الإرادية).

يتتألف القسم الحركي من الألياف العصبية الذاهبة إلى العضلات التي تتوضع أجسام خلاياها في القرون الأمامية للنخاع الشوكي أو في حالة الأعصاب القحفية فإن أجسام خلاياها تتوضع في نوى الأعصاب القحفية الموجودة في الدماغ المتوسط والجسر والبصلة السيسائية .

### الوظائف الحركية للنخاع الشوكي

تتكامل المعلومات الحسية عند جميع مستويات الجهاز العصبي وتؤدي إلى إحداث الاستجابات الحركية المناسبة ابتداءً من النخاع الشوكي حيث تحدث المنعكستات البسيطة نسبياً ومروراً بجذع الدماغ حيث تصبح الاستجابات أكثر تعقيداً حتى تصل في النهاية إلى المخ حيث يتم التحكم بالاستجابات المعقّدة جداً، ولمعرفة الآلية التي يتحكم بها النخاع الشوكي بالوظائف العضلية لا بد من الإشارة إلى النخاع الشوكي ليس مجرد قناة للإشارات الحسية الذاهبة إلى الدماغ أو الإشارات الحركة العائدية من الدماغ إلى المحيط فحسب، إنما الحقيقة تقول إنه لا يمكن لمعظم أجهزة التحكم الحركة الأساسية في الدماغ أن تحدث أية حركة عضلية هادفة دون الدارات العصبية النخاعية، وكمثال على ذلك لا توجد أي دارة عصبية في الدماغ تحدث الحركة النوعية للمساقين نحو الأمام والخلف الضرورية للمشي، بل توجد هذه الدارات في النخاع الشوكي ويقوم الدماغ بإرسال أوامر كي تُبدئ عملية المشي، ومع ذلك

ضمن شروط معينة يمكن جعل الكلاب أو القطط (التي تم فصل نخاعها الشوكي عن الدماغ في مستوى الرقبة) تمشي.

وعلى أي حال لا يمكن التقليل من دور الدماغ، لأن الدماغ هو الذي يعطي التوجيهات المتتالية للفعالية النخاعية فهو الذي يحض على حركات الدوران عندما تكون مطلوبة ويحيي الجسم نحو الأمام عند الجري، ويغير الحركات من المشي إلى القفز عند الحاجة، ويراقب باستمرار ليتحكم بالتوازن، ويتم القيام بكل ما تم ذكره سابقاً عبر إشارات آمرة قادمة من الدماغ، ولكن وعلى الرغم من ذلك فهناك حاجة أيضاً إلى الدارات العصبية الكثيرة للنخاع الشوكي التي هي نفسها أهداف هذه الأوامر. تؤمن بدورها جميع هذه الدارات ولكن جزءاً صغيراً يكون من التحكم المباشر بالعضلات.

### الموجات الدماغية وتحطيط الدماغ الكهربائي

أوضحت التسجيلات الكهربائية المأخوذة من سطح الدماغ أو من سطح الفروة وجود فعالية كهربائية مستمرة في الدماغ، تتحدد كل من شدة ونماذج هذه الفعالية الكهربائية إلى حد بعيد بمستوى الإثارة في الدماغ الناجمة عن الحالات المختلفة (النوم، اليقظة، الأمراض الدماغية، الذهانات والحالات النفسية).

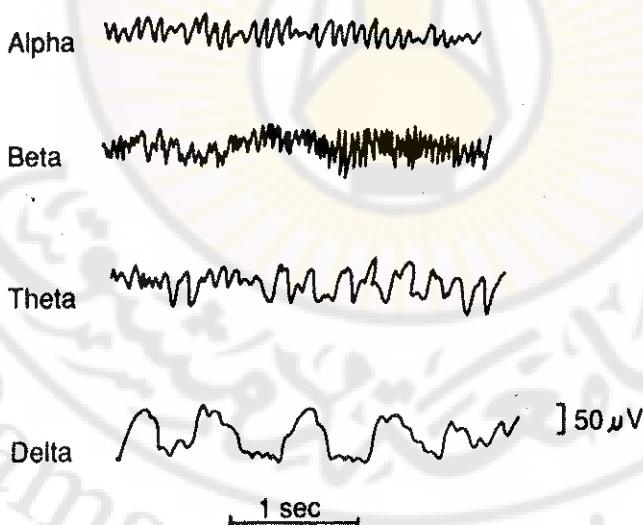
تدعى التموجات في الكوامن الكهربائية المسجلة الموجات الدماغية ويدعى التسجيل بكامله مخطط كهربائية الدماغ **(EEG)** ، تتراوح شدات الموجات الدماغية المسجلة من على سطح الفروة بين (٠ - ٢٠٠) ميكرو فولت ويتراوح توافرها من موجة واحدة كل عدة ثوان إلى ٥٠ موجة أو أكثر

في الثانية الواحدة. تعتمد خصائص الموجات بشكل كبير على درجة فعالية القشرة المخية فتتغير الموجات بشكل ملحوظ عند تغير الحالة من اليقظة إلى النوم إلى السبات.

يمكن تصنيف الأمواج التي تسجل إلى:

## ١ — موجات ألفا **Alpha waves**

وهي موجات منتقطة تحدث بتوتر يتراوح بين  $8 - 13$  ث، وتوجد في مخططات كهربائية الدماغ عند جميع الأشخاص البالغين الأسوبياء عندما يكونون يقظين وهادئين؛ أي في حالة راحة فكرية. تحدث هذه الموجات بشدتها العظمى في المنطقة القدالية ويمكن تسجيلها أيضاً من المقطفين الجدارية والجانبية من الفروة ويقرب فولتاجها عادة من  $50$  ميكرو فولت. تختفي موجات ألفا نهائياً في أثناء النوم العميق، كما تختفي عندما يتحول انتباه شخص يقظ نحو نمط معين من الفعالية العقلية ويستبدل بها موجات بيتا ذات التواتر العالي والفولتاج المنخفض.



الشكل(٢٥) . أنماط مختلفة من موجات مخطط كهربائية الدماغ في الحالة السوية.

## ٢ — موجات بيتا Beta waves

تحدث بتوترات أكثر من ١٤ دورة/ثا وتصل أحياناً إلى ٨٠ دورة/ثا. تسجل دائماً من المنطقتين الجدارية والجبهية للفروة في أثناء الفعالية الرائدة للجملة العصبية المركزية أو في أثناء التوتر.

## ٣ — موجات ثيتا Theta waves

يتراوح تواترها بين ٤ — ٧ دورة/ثا، وتحدث بشكل رئيسي في المنطقتين الجدارية والصدغية عند الأطفال، ولكنها تحدث أيضاً حالاً الحالات الانفعالية عند بعض البالغين (خصوصاً في أثناء الخيبة والإحباط). وتحدث موجات ثيتا أيضاً في العديد من الأضطرابات الدماغية (أمراض الدماغ التدكسية).

## ٤ — موجات دلتا Delta waves

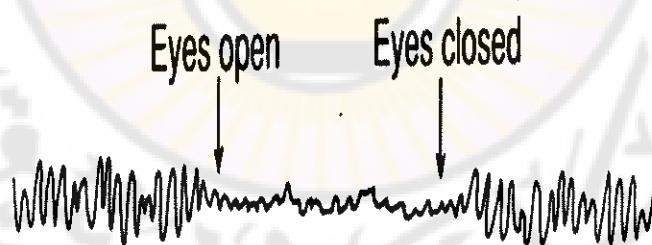
تضم جميع الموجات في مخطط كهربائية الدماغ التي دون ٣,٥ دورة/ثا ويكون فولتاجها عادةً أكبر بأربع مرات من باقي الموجات الدماغية. تحدث في النوم العميق جداً وعند الرضع وعند وجود داء دماغي عضوي خطير. وتحدث أيضاً في قشرة الحيوانات التي أجري لها قطع تحت مستوى القشرة أدى إلى فصل القشرة الدماغية عن المهداد. ولذلك يمكن أن تحدث موجات دلتا في القشرة الدماغية دون الاعتماد على الفعاليات في المناطق السفلية من الدماغ.

### منشاً الموجات الدماغية في الدماغ

لا يمكن تسجيل تفريغات عصبيون واحد بمفرده في الدماغ من سطح الفروة، وإنما لا بد من تفريغ آلاف أو ملايين العصبونات بشكل متوازن؛ وفقط عندما تجتمع

الكومان من العصبونات المفردة أو الألياف مع بعضها لكي تصبح كافية لتسجيلها عبر فروة الرأس.

وهكذا تتحدد شدة الموجات الدماغية المسجلة من فروة الرأس بعدد العصبونات والألياف التي تفرغ في نفس الوقت وليس بالمستوى الكلي لفعالية الكهربائية في الدماغ. إذ إن الإشارات العصبية القوية غير المتواقة يفني بعضها الآخر لأنها تملك قطبية متعاكسة. هذا الموضوع موضح في الشكل (٢٦) الذي يُظهر تغيرات متواتقة (عندما تكون العينان مغلقتين) لعصيبونات كثيرة في القشرة المخية بتواتر يقارب ١٢ دورة/ثا مععطيه موجات ألفا. تزداد فعالية الدماغ بشكل كبير بعد فتح العينين ولكن توافت الإشارات يصبح ضعيفاً لدرجة أن الموجات الدماغية يلغى بعضها الآخر بحيث تصبح معها موجات الدماغ ذات فولتاج منخفض وتوتر مرتفع وغير منتظم وهي ما تُدعى موجات بيتا.



الشكل (٢٦). استبدال نظم ألفا بنظم غير مزامن هو نظم بيتا وذلك عند فتح العينين.



## الفصل العاشر

# Muscle Tissue النسيج العضلي

مقدمة: لو أمعنا التفكير للحظات في حالة حياة الإنسان دون النسيج العضلي، تخيل أن الإنسان غير قادر على الجلوس أو المشي أو الكلام أو الإمساك بالأشياء التي هي في محيطه، وتخيل أيضاً حالة الأعضاء الداخلية كيف ستتأثر بغياب العضلات، فإن الدم لن يجري في العروق دون وجود عضلة القلب التي تدفعه خلال الأوعية وكذلك فإن الرئتين لن تمتلاقاً وتتفرغاً من الهواء بشكل منتظم وأيضاً الطعام لن يتحرك خلال الجهاز الهضمي (أي لن تحدث حركة خلال أي عضو داخلي). هذا لا يعني أن الحياة معتمدة بالكامل على العضلات لأنها توجد في بعض الأحياء حياة دون العضلات لكنها أشبه بحياة النباتات، وبالخلاصة فإن حياة الإنسان بشكلها الحالي ما كانت لترى لولا وجود العضلات.

تقسم العضلات إلى ثلاثة أنواع هي الهيكيلية وعضلة القلب والعضلات الملساء.

### ١ - العضلات الهيكيلية:

تشكل حوالي ٤٠٪ من وزن الجسم تقريباً، بينما تشكل العضلات الملساء والعضلة القلبية ٥١٪ منه، وينطبق كثير من مبادئ الانقباض (التضالع) على جميع هذه الأنماط المختلفة من العضلات.

#### التشريح الفيزيولوجي للعضلات الهيكيلية

تتألف العضلة الهيكيلية من عدد كبير من الألياف يتراوح قطرها بين ١٠ و ٨٠ ميكرومتر ويكون كل ليف بدوره من تحت وحدات أصغر فأصغر موضحة في الشكل (٢٧).

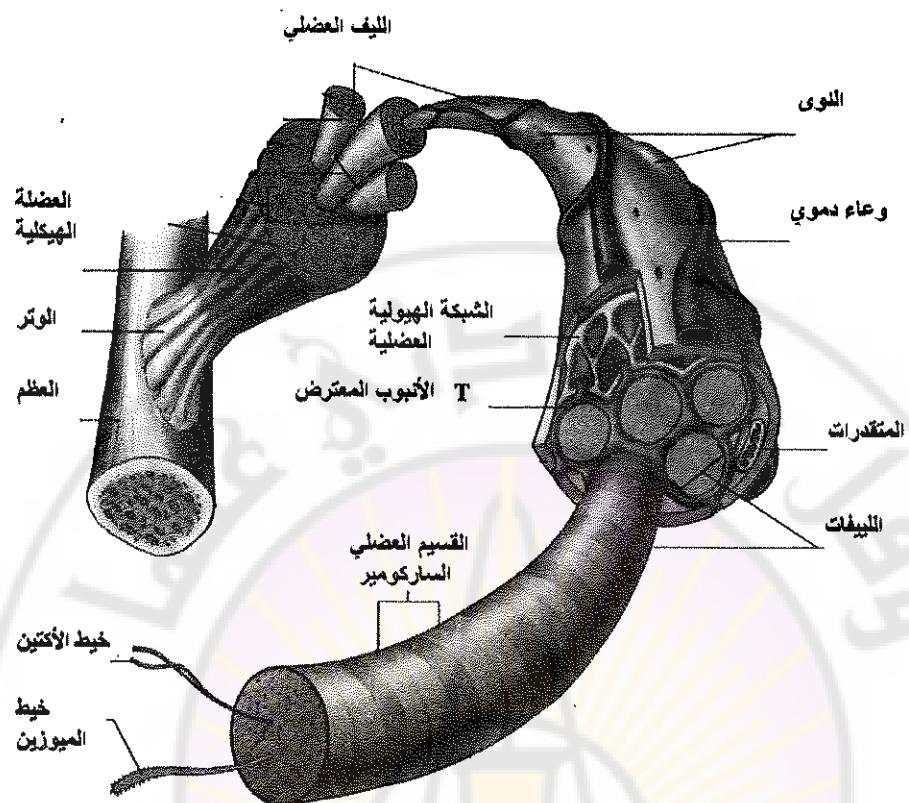
يمتد الليف العضلي في معظم العضلات على كامل طول العضلة (يُستثنى من ذلك ٢% من الألياف) ويعصب كل ليف بوساطة نهاية عصب واحد تقع في وسط الليف. إن بنية الليف العضلي هي كالتالي:

١— **غمد الليف العضلي** عبارة عن الغشاء الخلوي للليف العضلي ويتألف من الغشاء الميوولي وغلالة خارجية مكونة من طبقة رقيقة من المادة عديدة السكريد تحتوي ألياف الكولاجين وتندمج هذه في غمد الليف العضلي عند نهايته بليف الوتر، وتتجمع ألياف الوتر بدورها في حزم لتشكل أوتار العضلة التي ترتبط مع العظام.

## ٢— **الليفيات العضلية— خيوط الأكتين والميوزين.**

يحوي كل ليف عضلي عدة آلاف من الليفيات العضلية، ويتألف كل واحد من هذه الليفيات العضلية بدوره من حوالي ١٥٠٠٠ خيط من خيوط الميوزين و ٣٠٠٠ من خيوط الأكتين (الشكل ٢٧).

ويلاحظ أن خيوط الميوزين والأكتين تتدخل فيما بينها بشكل جزئي مما يسبب وجود الشرائط الفاتحة والقامة المتناوبة في الليف العضلي ، تحوي الشرائط الفاتحة خيوط الأكتين فقط وتدعى شريط I لأنها Isotropic أي أنها متجانسة على الضوء المستقطب، بينما تحوي الشرائط القامة خيوط الميوزين إضافة لنهائيات خيوط الأكتين عند تشابكها مع الميوزين، وتدعى شرائط A لأنها Anisotropic أي غير متجانسة على الضوء المستقطب، ويلاحظ كذلك وجود نوافذ صغيرة تبرز من جوانب خيوط الميوزين تدعى الجسور المترضة وهي تتتألف من سطوح الميوزين على امتداد الخيط ما عدا الجزء المركزي الصغير، وإن التداخل بين الجسور المترضة وخيوط الأكتين هو الذي يسبب التقلص.



الشكل (٢٧) بنية العضلة الهيكلية

يُظهر الشكل (٢٨) أنّ نهايات خيوط الأكتين تتصل بما يدعى القرص  $Z$  ومن هذا القرص تمتد الخيوط في كلا الاتجاهين لتتدخل مع خيوط الميوزين، أما القرص  $Z$  فهو يعبر من ليف عضلي إلى آخر رابطاً الليفيات مع بعضها على كامل عرض الليف العضلي، ولذلك يحوي الليف العضلي بكماله شرائط فاتحة وشرائط قاتمة كما في الليف وهذه الشرائط تعطي العضلات الهيكلية والعضلة القلبية مظهرها المخطط. يدعى الجزء من الليف العضلي (أو كامل الليف العضلي) المتوضع بين قرصي  $Z$

المتعاقبين بالقسم العضلي Sarcomer الذي يبلغ طوله 2 ميكرومتر عندما يأخذ الليف العضلي طول الراحة السوي حيث يكون في كامل تمده ويكون عند هذا الطول قادرًا على توليد قوة التقلص العظمى.

٣- الهيولى العضلية: يعلق الليف العضلي داخل الليف العضلي في مادة خالية تدعى الهيولى العضلية وهي مولعة من المكونات داخل الخلايا المعتادة، وتحوي سائل الهيولى العضلية كميات كبيرة من البوتاسيوم والمغزريوم والفوسفات والإنزيمات البروتينية، وكذلك يوجد أعداد ضخمة من المتقدرات التي تتوضع بين الليف العضلي موازية لها، وهذا الأمر ذو دلالة هامة على حاجة الليف العضلي المتقلصة الشديدة إلى ATP المصنوع بوساطة المتقدرات.

٤- الشبكة الهيولية العضلية Sarcoplasmic reticulum: عبارة عن الشبكة الهيولية الباطنة وهي تملك تنظيماً خاصاً ذا أهمية كبيرة في التحكم بتقلص العضلة ومن المعلوم أن أنماط العضلات الأسرع تقلصاً تملك شبكة هيولية عضلية كبيرة كونها تمثل مخازن الكالسيوم الضروري جداً لتقلص العضلة.

### الأآلية العامة للتقلص العضلي

يحدث بدء وتنفيذ التقلص العضلي وفق المراحل التالية:

١. يسير كامن الفعل Action potential على طول العصب المحرك إلى نهاية الألياف العصبية.

٢. يفرز العصب عند كل نهاية عصبية كمية من مادة ناقلة عصبية تدعى الأستيل كولين.

٣. يؤثر الأستيل كولين على منطقة موضعية من غشاء الليف العضلي فيفتح عدة فنوات بروتينية مبوبة بالأستيل كولين في غشاء الليف العضلي.

٤. يسمح انفتاح قنوات الأستيل كولين لكميات كبيرة من شوارد الصوديوم بالدخول إلى داخل الليف العضلي عند نقطة النهاية العصبية وهكذا يتكون كامن فعل الليف العضلي.

٥. يسير كامن الفعل على طول غشاء الليف العضلي بالطريقة نفسها التي يسير بها على طول الغشاء العصبي.

٦. يزيل كامن الفعل استقطاب غشاء الليف العضلي ويتوجه عميقاً داخل الليف العضلي وهنا يؤدي إلى تحرير كميات كبيرة من شوارد الكالسيوم من قبل الشبكة الهيولية العضلية (حيث تكون مخزنة ضمنها) إلى داخل الليف العضلي.

٧. تحدث شوارد الكالسيوم قوى جذب بين خيوط الأكتين والميوزين مسبباً انزلاقها على بعضها وهذا الانزلاق هو الحدث التقلصي.

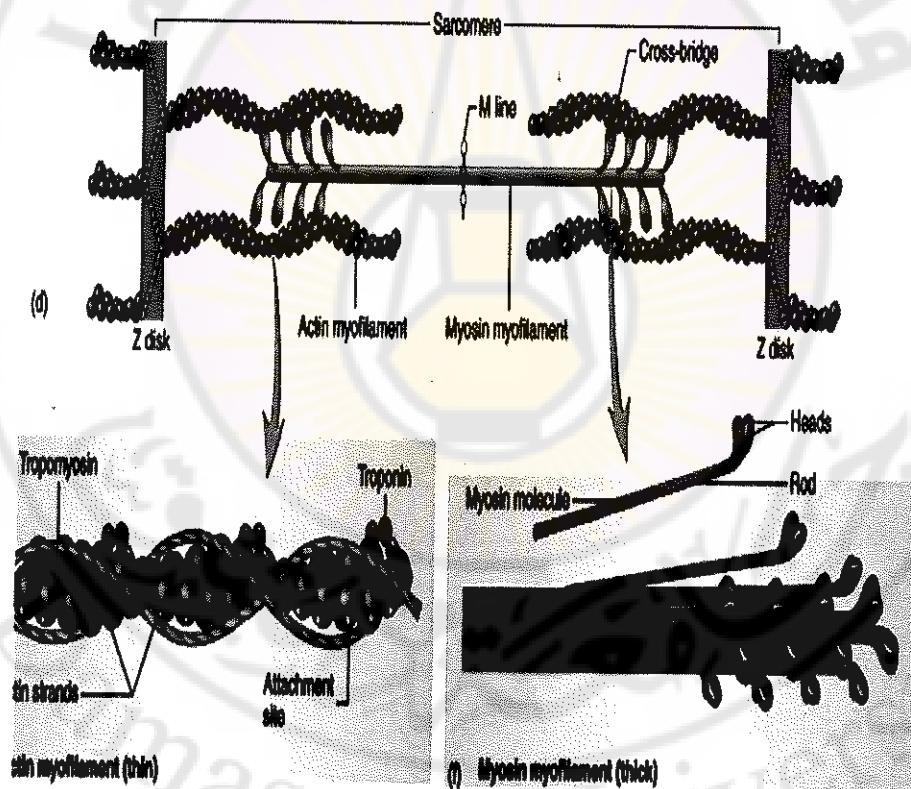
٨. تضخ شوارد الكالسيوم بعد جزء من الثانية عائدة إلى الشبكة الهيولية حيث تبقى هناك حتى يأتي كامن فعل عضلي جديد وهكذا يتوقف تقلص العضلة.

### الأالية الجزيئية للتقلص العضلي

خيوط الميوزين .يتركب خيط الميوزين من جزئيات ميوزين عديدة، يتركب جزيء الميوزين من ست سلاسل عديدة البيبتيد، اثنان منها سلاسل ثقيلة وأربع سلاسل خفيفة. تلتف السلاسلان الثقيلتان كل منهما حول الأخرى حلزونياً لتشكل حلزوناً مضاعفاً يدعى ذيل خيط الميوزين، بينما تتطوى إحدى نهايتي كل من السلاسلتين لتشكل بروتيناً كروياً يدعى رأس الميوزين، وبالتالي يوجد رأسان حران في إحدى نهايتي جزيء الميوزين .تشكل السلاسل الخفيفة أجزاء من رأس جزيء الميوزين(سلسلتان لكل رأس). تساعد هذه السلاسل الخفيفة في التحكم بوظيفة الرأس

في أثناء التقلص العضلي. يتتألف خيط الميوزين من ٢٠٠ جزيء ميوزين أو أكثر ويبين الجزء المركزي لأحد هذه الخيوط اجتماع جزئيات الميوزين مع بعضها بشكل حزم لتشكل جسم الخيط، بينما تبرز رؤوس العديد من الجزيئات معلقة على جوانب الجسم ويز معها على الجانب قسم من الجزء الحلزوني لكل جزيء مشكلاً ذراعاً يعلق به الرأس بعيداً عن الجسم.

إن الطول الكلي لجميع خيوط الميوزين واحد ويساوي ٦١ ميكرومتر. ويلاحظ عدم وجود رؤوس الجسورة المعرضة في الجزء المركزي من خيط الميوزين لمسافة ٠,٢ ميكرومتر تقريباً (الشكل ٢٨).



الشكل (٢٨) البية المجزئية لخيوط الأكتين والميوزين.

## فعالية رأس الميوزين المشاهدة لفعالية الـ ATPase

يمتاز رأس الميوزين بأنه يملك تأثيراً مشابهاً لتأثير إنزيم الـ ATPase ، وتسمح هذه الخاصة لرأس الميوزين بشرط الأدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP واستخدام الطاقة المشتقة من روابط الفوسفات عالية القدرة فيه لتزويد عملية التقلص بالطاقة. خيط الأكتين.

يتتألف من ثلاثة مكونات بروتينية مختلفة وهي:

١. الأكتين F يشكل العمود الفقري لخيط الأكتين . يتتألف كل طاق من حلزون أكتين F المزدوج من جزيئات أكتين مكثورة ويوجد عليها المواقع الفعالة.

٢. جزيئات التروبوميوزين. تتوضع في حالة الراحة فوق المواقع الفعالة لطaci الأكتين لذلك لا يمكن أن يحصل جذب بين خيوط الأكتين والميوزين كي يحدث التقلص.

٣. التربونين. يرتبط قرب إحدى نهايتي كل جزء من التروبوميوزين جزء بروتيني آخر هو التربونين وهو مركب فعلياً من ثلاثة تحت وحدات مرتبطة بشكل رخو،يلعب كل منها دوراً خاصاً في التحكم بالتشكل العضلي (تربونين I و T و C).

## آلية حدوث التقلص

١. تتحد رؤوس الجسor المعرضة قبل بدء التقلص بالـ ATP التي تُشطر حالاً بفضل فعالية رؤوس الميوزين المشاهدة للـ ATPase لكن متى تحدث هذا الشطر تبقى مربوطة إلى الرأس.

٢. يتسبّط التأثير التثبيطي لعقد تروبونيون تروبوميوزين بوساطة شوارد الكالسيوم وتكشف الواقع الفعالة على خيط الأكتين ثم ترتبط بها رؤوس الميوزين.
٣. ضربة القدرة. يسبب الاتحاد بين رأس الجسر المعترض والموقع الفعال تغييراً شكلياً في الرأس حاثاً إياه للميل باتجاه ذراع الجسر المعترض، وهذا يعطي ضربة القدرة بذبح خيط الأكتين.
٤. بعد أن يميل رأس الجسر المعترض يسمح بتحرر  $\text{ADP}$  والفوسفور ويرتبط مكانه  $\text{ATP}$  وهذا ما يسبب انفصال الرأس عن الأكتين.
٥. بعد انفصال الرأس عن الأكتين يُشطر الجزيء الجديد من  $\text{ATP}$  وتقوم القدرة المتحررة بإعادة الرأس إلى وضعيته العمودية استعداداً للبداء ضربة قدرة جديدة.
٦. يبدأ الارتباط على موقع فعال جديـد على خيط الأكتين يطلق الزناد مرة أخرى وتحـدث ضربة قدرة جديدة.
٧. يتواصل الحدث مرات عديدة حتى تذبح خيوط الأكتين الفشاء  $Z$  إلى نهايات خيوط الميوزين أو حتى يصبح الحمل على العضلة كبيراً جداً بحيث لا يحدث معه مزيد من الجر.

درجة التداخل بين خيوط الأكتين والميوزين والتأثير على التوتر الحاصل بوساطة العضلة المتقلصـة.

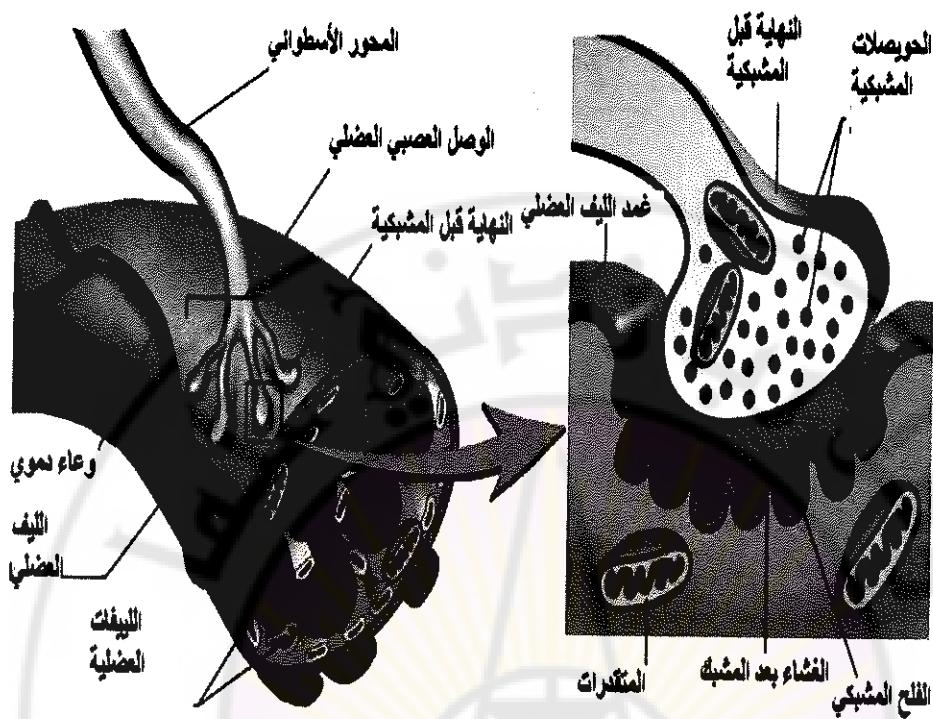
إن التقلص الأعظمي يحدث عندما يكون التداخل أعظمياً بين خيوط الأكتين والجسور المعترضة لخيوط الميوزين، مما يشير إلى أنه كلما ازداد عدد الجسور المعترضة التي تجر خيوط الأكتين كانت قوة التقلص أكبر.

## علاقة سرعة التقلص بالحمل

تقلص العضلة بشكل سريع جداً عندما لا تعاكس حملًا، حيث تصل إلى تقلص كامل في حوالي ١٠٠ من الثانية بالنسبة للعضلة المتوسطة. أما عندما يطبق حمل ما تنقص سرعة التقلص تدريجياً بشكل يتناسب مع زيادة الحمل وعندما يصبح الحمل مساوياً لأعظم قوة تستطيع العضلة بذلها فإن سرعة التقلص تصبح متساوية للصفر ولا يتبع أي تقلص بالرغم من تفعيل الليف العضلي.

## نقل الدفعات من الأعصاب إلى ألياف العضلات الهيكيلية

تعصب الألياف العضلية بألياف عصبية خاعية كبيرة تنشأ من العصبونات الحركية الكبيرة في القرون الأمامية للنخاع الشوكي، ويترعرع كل ليف عصبي في الحالة السوية إلى عدة فروع وينتهي من ثلاثة إلى عدة مئات من الألياف العضلية الهيكيلية. تصنع نهاية الليف العصبي مع الليف العضلي قرب متصفحه موصلًا يدعى الموصل العصبي العضلي Neuromuscular junction ويدعى هذا الموصل الصفيحة المحركة الانتهائية. ومنه ينتقل كامن الفعل في الليف العضلي في كلا الاتجاهين إلى نهاية الليف العضلي. يتفرع الليف العصبي عند نهاية ليشكل مجموعة من النهايات العصبية المتفرعة التي تتغلف في الليف العضلي لكنها تتوضع بكمالها خارج الغشاء الهيوي للليف العضلي، تدعى هذه البنية بكمالها الصفيحة الانتهائية المحركة، الشكل ٢٩.



الشكل (٢٩) الوصل العصبي العضلي

### إفراز الأستيل كولين من الهاييات العصبية

عندما تصل دفعة (Impulse) من العصب إلى الموصل العصبي العضلي يتحرر حوالي ٣٠٠ حويصل من حويصلات الأستيل كولين من النهايات إلى المسافة المشبكية ويتحدد الأستيل كولين مع مستقبلات موجودة على غشاء الليف العضلي مؤدية إلى افتتاح هذه القنوات (بنية هذه القنوات تسمح بمرور الشوارد الموجبة بسبب وجود الشحنة السالبة في بنية هذه القنوات) وافتتاحها يؤدي إلى دخول شوارد الصوديوم إلى داخل الليف العضلي ودخول هذه الشوارد يؤدي إلى نشوة كامن فعل الليف العضلي.

## كامن فعل العضلة

- يبلغ كامن الغشاء في أثناء الراحة حوالي ( - ٨٠ إلى - ٩٠ ملي فولط) وهو نفسه في ألياف الأعصاب الكبيرة النخاعية.
- مدة كامن الفعل: ١ - ٥ ملي ثانية في الألياف العضلية الهيكلية وهي أكبر بحوالي خمس مرات من كامن الفعل في الألياف العصبية الكبيرة النخاعية.
- سرعة التوصيل: ٣ - ٥ م/ثا تساوي حوالي ١٨/١ من سرعة التوصيل في ألياف الأعصاب النخاعية الكبيرة التي تنبه العضلات الهيكلية.

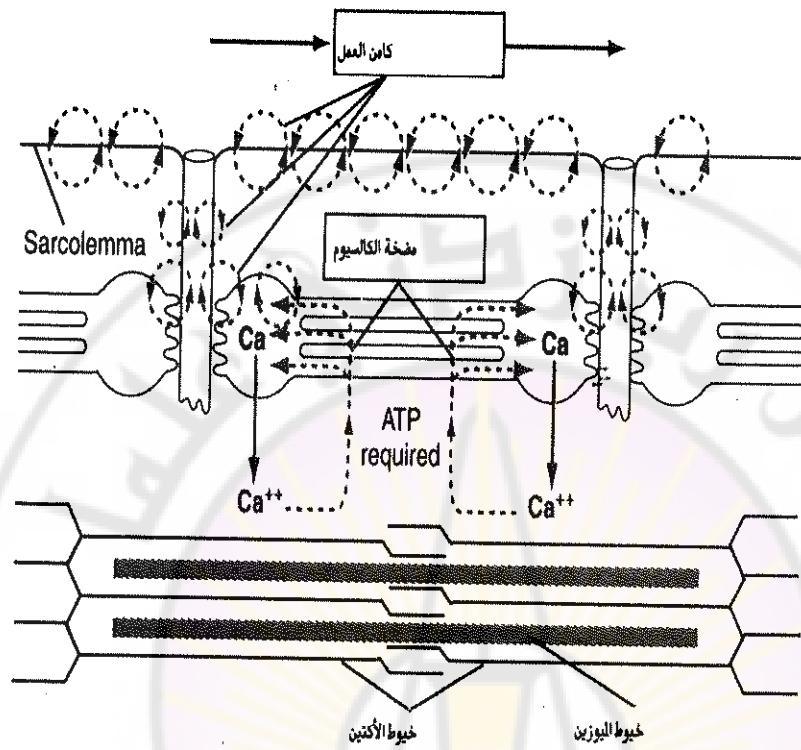
## انتشار كامن الفعل إلى داخل الليف العضلي

ينتقل كامن الفعل إلى داخل الليف العضلي عن طريق جهاز T المستعرض وهو ضروري كون الليف العضلي كبير الحجم ويستلزم وصول كامن الفعل إلى جميع أنحاء الليف العضلي وجود جهاز يضمن سرعة في توصيل كامن الفعل.

## اقتران الاستئارة - التقلص

يُظهر الشكل (٣٠) انتشار كامن الفعل في الليف العضلي ووصوله إلى جوار الليف العضلي وتحرر شوارد الكالسيوم من مخازنها في الشبكة الهيولية العضلية وحدوث ارتباط خيوط الأكتين مع الميوزين وانطلاقها وبالتالي حدوث التقلص.

يُظهر الشكل (٣٠) كامن الفعل الذي يسبب تحرر شوارد الكالسيوم من الشبكة الهيولية العضلية ومن ثم إعادة طرد شوارد الكالسيوم بوساطة مضخة الكالسيوم.

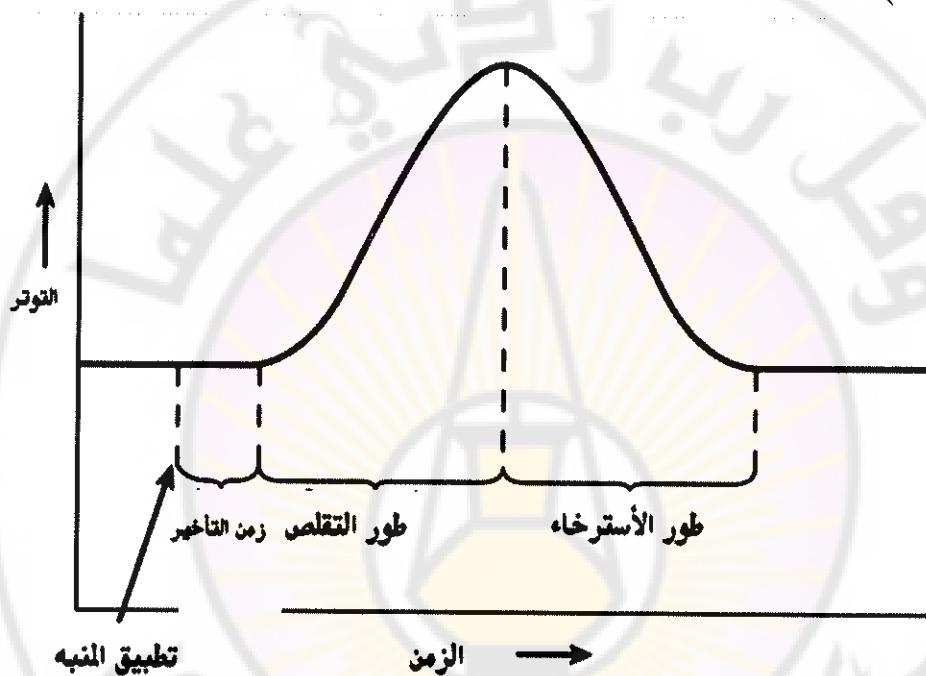


الشكل (٣٠) اقتران الاستimulation - التقلص. يُظهر الشكل كامن الفعل الذي يُسبب تحرر شوارد الكالسيوم من الشبكة الميولية العضلية ومن ثم إعادة طرد شوارد الكالسيوم بوساطة مضخة الكالسيوم.

### الاستجابة التقلصية للعضلة

من المهم التفريق بين الحوادث الكهربائية والميكانيكية في العضلة حيث يبدأ زوال الاستقطاب لغشاء الليف العضلي عند الموصل العصبي العضلي وينتقل كامن الفعل على طول الليف العضلي محدثاً بدء الاستجابة التقلصية التي تعرف بالنفضة العضلية حيث يؤدي كامن فعل واحد لحدوث تقلص سريع يتبع بمرحلة استرخاء ويظهر في

الشكل (٣١) كامن الفعل والنفضة العضلية حيث تبدأ النفضة بعد ٢ ميلي ثانية من زوال استقطاب الغشاء وقبل فترة عود الاستقطاب التام وتختلف مدة النفضة بحسب نوع العضلة فهي تساوي ٢٥ ميلي ثانية في العضلات سريعة التقلص كالعضلة العينية وتصل حوالي ٦٧ ميلي ثانية في العضلات بطيئة التقلص كالعضلة النعبلة (الشكل .٣١).



الشكل (٣١). النفضة العضلية.

### ميزات تقلص كامل العضلة

يمكن إظهار الكثير من ملامح التقلص العضلي بشكل جيد خاصة بوساطة إحداث نفضات عضلية Muscle twitches مفردة، ويمكن إنجاز ذلك بإثارة عصب

العضلة مباشرةً أو بوساطة ترير تنبهات كهربائية قصيرة عبر العضلة نفسها وهي تسبب تقلصاً مفاجئاً يستمر جزءاً من الثانية.

## التقلص أسوى المقاسات إزاء التقلص أسوى التوتر **Isometric versus isotonic contraction**

يقال إن تقلص العضلة أسوى المقاسات عندما لا تقصر العضلة في أثناء التقلص أما التقلص أسوى التوتر فهو عندما تقصّر العضلة مع بقاء التوتر المطبق عليها ثابتاً.

### مصادر الطاقة لتقلص العضلة

يعتمد التقلص العضلي على الطاقة المأخوذة من الـ **ATP** ، و تستخدم الطاقة في تنشيط آلية السير على الطول التي تجذب الجسور المعترضة بوساطتها خيوط الأكتين بينما تستخدم كميات إضافية من الطاقة في:

١. ضخ الكالسيوم من الهيولى العضلية إلى داخل الشبكة الهيولية العضلية بعد انتهاء التقلص.
٢. ضخ شوارد الصوديوم والبوتاسيوم عبر غشاء الليف العضلي للحفاظ على وسط شاردي مناسب لنقل كوامن الفعل.

### فعالية التقلص العضلي

تحسب فعالية آلة أو محرك بالنسبة المئوية من مدخل الطاقة الذي ينقلب إلى عمل بدلاً من الحرارة، والنسبة المئوية لمدخل طاقة العضلة(طاقة الكيميائية في الغذيات) الذي يمكنه أن يُقلب إلى عمل أقل من  $20\%-25\%$  والباقي يصبح حرارة، والسبب في ذلك فقد نصف طاقة عناصر الطعام في أثناء تشكيل الـ **ATP** وكذلك فإن  $40\%-50\%$  فقط من طاقة الأتب ذاتها تحول إلى عمل فيما بعد.

يمكن الحصول على الفعالية العظمى فقط عندما تقلص العضلة بسرعة معتدلة فإذا تقلصت العضلة ببطء شديد أو دون أي حركة إطلاقاً فإن كميات كبيرة من الحرارة تُطلق خلال حدث التقلص مع أنه أنجز عمل قليل جداً، ولذلك تنخفض الفعالية. وبالمقابل تستخدم في حالة التقلص السريع نسبة كبيرة من الطاقة لتجاوز الاحتكاك للرج ضمن العضلة ذاتها وهذا ينقص كذلك فعالية التقلص. ويُستحصل عادةً على الفعالية العظمى عندما تكون سرعة التقلص حوالي ٣٠% من السرعة العظمى.

### دراسة طاقة التقلص العضلي

#### نتائج العمل أثناء التقلص العضلي

عندما تقلص العضلة معاكسة حملأ فإنها تنتج عملاً وهذا يعني أن الطاقة قد انتقلت من العضلة إلى الحمل الخارجي، كرفع مادة إلى الأعلى أو التغلب على مقاومة الحركة. يُحدد العمل بالمعادلة التالية:  $عم = ك \times م$

حيث: عم = نتاج العمل و ك = الحمل و م = مسافة الحركة عكس الحمل، و تُشتق الطاقة اللازمة لإنجاز العمل من التفاعلات الكيميائية في الخلايا العضلية في أثناء التقلص.

#### ٢- الألياف العضلية السريعة إزاء البطيء

##### الألياف السريعة

١. أكبر من أجل قوة تقلص كبيرة.
٢. الشبكة الميولية العضلية واسعة من أجل تحرير سريع لشوارد الكالسيوم لبدء التقلص.
٣. كميات الأنزيمات التي تحلل السكر كبيرة من أجل إطلاق سريع للطاقة.
٤. الإمداد الدموي أقل لأن الاستقلاب التأكسدي ثانوي الأهمية.
٥. عدد المتقدرات أقل لأن الاستقلاب التأكسدي ثانوي.

## الألياف البطيئة

١. الألياف أصغر ومحصبة بـألياف عصبية أصغر.
٢. جهاز الأوعية الدموية والشعريات أكثر غزاره .
٣. أعداد المتقدرات أكبر لتأمين المستوى العالى من الاستقلاب التأكسدي الفضوري.
٤. تحوي كميات كبيرة من الميوغلوبين وهذا يسرع نقل الأكسجين للمتقدرات بشكل كبير. (العضلات الحمر).

## الدراسة الحركية للتقلص العضلي

### Mechanics of skeletal muscle contraction The Motor unit

يعصب كل عصبون محرك (يوجد جسم العصبون في القرن الأمامي للنخاع الشوكي ويغادر المحور الأسطواني النخاع الشوكي متوجهًا نحو العضلات) عدداً من الألياف العضلية المختلفة، ويعتمد هذا العدد على نمط العضلة. تدعى جميع الألياف العضلية المعصبة بـعصبون محرك واحد بالوحدة الحركية. يختلف عدد الألياف العضلية المكونة للوحدات الحركية من عضلة لأخرى، وبشكل عام فإن العضلات ذات الإرتكاس السريع التي تحتاج لتنظيم دقيق تحتوي في كل وحدة حركية على عدد قليل من الألياف العضلية (٢ إلى ٣ في العضلات الحنجرية). وبالمقابل قد تحتوي العضلات الكبيرة التي لا تحتاج لتنظيم دقيق جداً مثل عضلة الساق على عدة مئات من الألياف العضلية في كل وحدة حركية. لا يزال العدد المتوسط للألياف العضلية في الوحدات الحركية لجميع عضلات الجسم موضع خلاف ولكن يعتقد أنه قريب من المئة.

لا تجتمع الألياف العضلية في كل وحدة حركية في العضلة مع بعضها بل تنتشر في العضلة في حزم صغيرة مكونة من ٣-١٥ ليفاً وهي تتوضع بين حزم صغيرة مشابهة من وحدات حركية أخرى. يسمح هذا التداخل للوحدات الحركية المترتبة أن تقلص داعمةً بعضها بعضاً أكثر مما لو كانت كوحدات منفصلة بشكل عام.

## جمع القوة

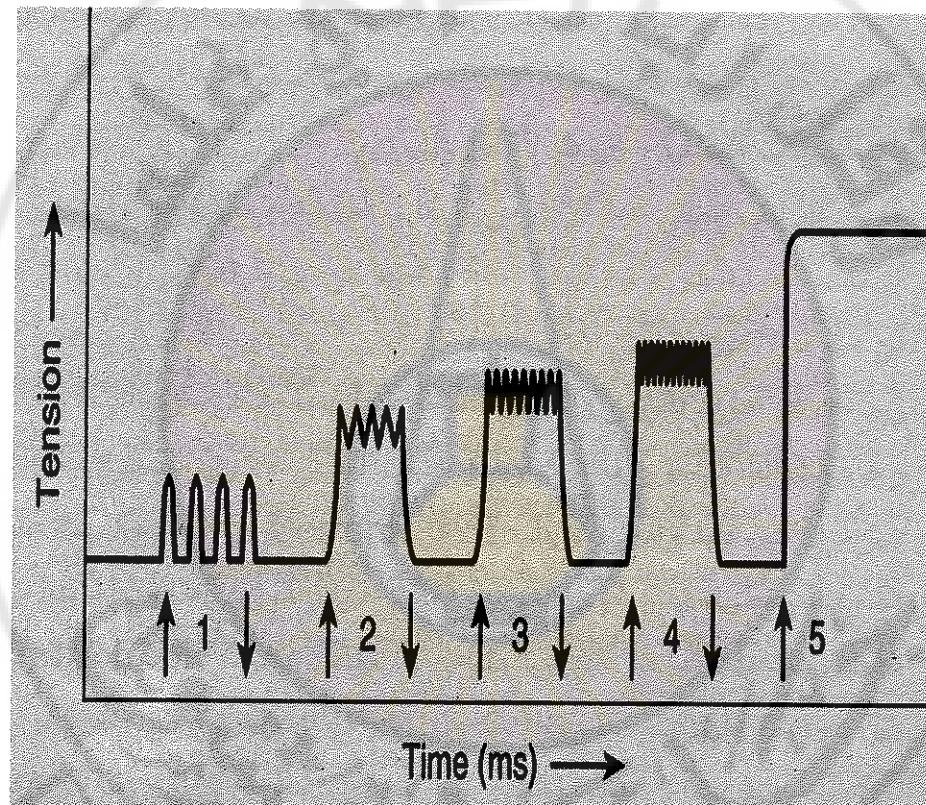
### ١- التراكم عديد الألياف.

عندما ترسل الجملة العصبية المركبة إشارة ضعيفة لتقلص العضلة فإن الوحدات الحركية الحاوية الألياف الأقل والأصغر في العضلة تتبعه بشكل أفضل من الوحدات الحركية الأكبر. وعندما تزداد قوة الإشارة تبدأ الوحدات الحركية الأكبر فالأخير بالتبعه حتى أكبر وحدة حركية التي تملك قوة تقلص تفوق أصغر وحدة بخمسين مرة. يُدعى هذا مبدأ القد، وهذا الأمر مهم لأنه يسمح بحصول التدرج في القوة العضلية في إنشاء التقلص بخطوات قصيرة جداً، وتصبح هذه الخطوات كبيرة بشكل متزايد، عندما تستدعي الحاجة كميات كبيرة من القوة. وسبب هذا المبدأ أن الوحدات الحركية الأصغر تُعصب بالألياف العصبية الأصغر، وكما هو معلوم فإن العصيونات الحركية الصغيرة في النخاع الشوكي أسهل استئارة من الكبيرة ولذلك من الطبيعي أن تُشار أولاً.

### ٢- تراكم التواتر والتكرير.

يوضح الشكل (٣٢) مبادئ تراكم التواتر والتكرير حيث يظهر على اليسار تقلصات لنفضات منفصلة تحدث الواحدة بعد الأخرى يتواتر منخفض للتبيه، وبعد ذلك وحالما نصل إلى نقطة يحدث فيها التقلص الجديد قبل انتهاء التقلص القديم مما يؤدي

إلى إضافة التقلص الثاني إلى الأول ولذلك ترداد القوة الكلية للتقلص يشكل متدرج مع ازدياد التواتر، وعندما يصل التواتر إلى مستوى حرج تصبح التقلصات المتعاقبة سريعة جداً بحيث تندمج في النهاية مع بعضها. وعندما يزداد التواتر ويصل قيمة أكبر فإن قوة التقلص تصل إلى ذروتها، لذلك فإن أي إضافة في التواتر فوق هذه النقطة لن تزيد القوة القلوصة مطلقاً.



الشكل (٣٢) تراكم التوتر والتكثير.

قوة التقلص العظمي. تترواح قوة التقلص الكهربائي العظمي لعضلة تعمل بطوطها السوي ما بين ٣-٤ كغ/سم<sup>2</sup> من العضلة.

## توتر العضلات الهيكلية

تحافظ العضلة على مستوى معين من التوتر حتى في حالة الراحة تُدعى بـ Muscle tone . وعما أن الألياف العضلية الهيكلية لا تتقلص دون كامن فعل حقيقي ينبعها فإن توفر العضلات الهيكلية يتبع بشكل كامل عن دفعات عصبية تأتي من النخاع الشوكي، وهذه بدورها تنظم جزئياً بدفعات تنتقل من الدماغ إلى العصبونات المحركة الأمامية المناسبة، وكذلك جزئياً بواسطة دفعات تنشأ في المعاذل العضلية الموضعية في العضلة ذاتها.

## العضلات الملساء

تتألف العضلة الملساء من ألياف أكثر صغرًا يبلغ قطرها عادة ٢ - ٥ ميكرومتر وطولها ٢٠ - ٥٠٠ ميكرومتر فقط وهي صغيرة بالمقارنة مع ألياف العضلات الهيكلية التي تكبرها بعشرين مرة من ناحية القطر وبالآلاف المرات من حيث الطول ورغم ذلك ينطبق الكثير من مبادئ التقلص على العضلات الملساء كما تطبق على العضلات الهيكلية، والأكثر أهمية أن القوى الحاذبة بين خيوط الأكتين والميوzin هي التي تسبب تقلص العضلات الملسة كما في العضلات الهيكلية ولكن الترتيب الفيزيائي الداخلي لألياف العضلات الملسة مختلف تماماً.

## أنواع العضلات الملسة

يمكن تقسيم العضلات الملسة إلى ثنتين رئيسيتين:

١ - العضلات الملسة عديدة الوحدة Multi unit smooth muscles

يتالف هذا النمط من العضلات الملمس من ألياف عضلية ملساء مستقلة يعمل كل منها بشكل مستقل تماماً عن الألياف الأخرى ويعصب كذلك بوساطة نهاية عصبية مفردة كما يحدث في ألياف العضلات الهيكيلية.

إن الخاصية الأكثر أهمية للألياف العضلية الملمس عديدة الوحدة أن كل ليف يمكنه أن يتخلص بشكل مستقل عن الألياف الأخرى، وإن التحكم بها يتم بشكل رئيس بوساطة الإشارات العصبية وهذا يعكس القسم الأكبر من تحكم العضلات الملمس الحشوية الذي يتم بتبيهات غير عصبية.

ومن الأمثلة على العضلات الملمس عديدة الوحدة الموجودة في الجسم هي الألياف العضلية الملمس الموجودة في العضلة المهدية للعين وحدقة العين.

## ٢ — العضلات الملمس وحيدة الوحدة

### Single - unit smooth muscles

إن عبارة وحيدة الوحدة تعني أن الكتلة الكاملة تؤثر إلى ملايين الألياف العضلية تتخلص مع بعضها كأها وحدة واحدة.

تتحمّل الألياف عادة في صفائح أو حزم وتكون أغشيتها الخلوية متصلة ببعضها في عدة نقاط لذلك يمكن للقوة التي تنشأ من أحدها أن تنتقل إلى ألياف مجاورة بالإضافة إلى ذلك فإن أغشية الخلايا تتصل بوساطة الكثير من gap junction التي يمكن للشوارد أن تمر عبرها بحرية من خلية إلى أخرى تليها ولذلك فإن كامن الفعل ينتقل من ليف إلى مجاوره ويسبب تخلص جميع ألياف العضلة مع بعضها، وهذه العضلات موجودة في جدران معظم الأحشاء في الجسم بما فيها المعي والأقيمة الصفراوية والحالبين والرحم والكثير من الأوعية الدموية ولذلك فإنها تدعى كذلك العضلات الملمس الحشوية.

## ٣ — عضلة القلب: درست في فصل سابق.

## الفصل الحادي عشر

# تخطيط العضلات الكهربائي عند الإنسان

## Electromyography (EMG)

تتألف العضلة المخططة وظيفياً من وحدات حركية motor units حيث يعصب فيها كل محور أسطواني axon تابع لعصبون محرك أمامي في النخاع الشوكي ألياف عضلية كثيرة ، إذ يمكن تعصيب مئات الألياف العضلية بمحور واحد . وتنحصر الألياف الموجودة في كل وحدة عضلية لقانون " كل شيء أو لا شيء " ( All - or- none ) الوحدات الحركية ، أو من التفعيل المتكرر لعدد معين من الوحدات الحركية .

يتكون كامن العمل العضلي من مجموعة كوامن العمل الناشئة من وحدات حركية كثيرة ، هذا وينشأ كامن العمل في الليف العضلي عند اللوحة الحركة الانتهائية ، حيث تحرض السائلة العصبية الوالصلة إلى منطقة الوصل العضلي العصبي ، على تحرر وسيط كيميائي الذي يبدل من نفوذية أغشية الألياف العضلية ويتيح عن ذلك التقلص العضلي ، هذا وإن التقلص العضلي ذاته لا ينتج أية فعالية كهربية .

يمكن تسجيل الكوامن الكهربية، بعد تضخيمها ، على ورق خاص ( مخطط اهتزاز ) تابع لرسم الاهتزاز المهبطي السابق ، كما في تسجيل ECG ، ويسمح هذا الجهاز بإجراء دراسات سريرية ، كما يسمح بالتسجيل من عضلات عديدة في الوقت نفسه ، كما أنه يمكن استخدام هذه المخططات في المراقبة Control ، يمكن استخدام المساري السطحية Surface المثبتة على العضلة بالكولوديون في عملية تسجيل كوامن العمل العضلية .

نستعمل من أجل تسجيل الكوامن الكهربائية مسامي في غاية الدقة . توضع هذه المساري إما على تماس مع الجلد أو تغرس في داخل العضلة المدروسة . وتتراوح سعة إفراغات الوحدة الحركية الواحدة ( الموجات ثنائية الطور أو الموجات ثلاثة الطور ) بين ٢٠ إلى ٢٠٠٠ ميكروفولط ، أما مددها فهي تختلف بين ٣٠٠٠ و ١٥ ثانية ، بينما يختلف تواترها بين ٦ إلى ٣٠ هرتز ( دورة / ثا ) .

تشير الدراسات السريرية إلى أن العضلة لا تبدي في زمن الراحة أي كامن عمل ( نشاط كهربائي ) وتشكل كوامن العمل في العضلة عند تبيهها. منه خارجي ذي شدة مناسبة ، بينما لا تتشكل أية كوامن عمل في العضلة في حال كون شدة التبيه غير كافية ، ويطلق على أقل شدة تبيه كافية لحدوث استجابة عضلية بالتيار القاعدي ( الريوباز ) . أما شدات التبيه الأصغر من التيار القاعدي فإنها لا تؤدي إلى حدوث كامن عمل في العضلة مهما طال زمن ممارسة هذه التبيهات وكلما ازدادت شدة التبيه فوق سوية التيار القاعدي كلما احتجنا إلى زمن أقل لممارسة التبيه بالمقارنة مع زمن ممارسة التبيه للتيار القاعدي ، وذلك من أجل الحصول على استجابة عضلية . أما الكرونوكسي ( الكرونوكسيا ) فهي زمن ممارسة التبيه اللازم لحدوث استجابة في عضلة تحت تأثير تيار شدته ضعف التيار القاعدي ، ويشكل المنهجي الناتج عن علاقة الشدة مع زمن ممارسة التبيه لعضلة ما أهمية كبيرة في دراسة الحالة الوظيفية لهذه العضلة، حيث يتبدل هذا المنهجي عند إصابة العضلة بأفة ما ( انضغاط ، أو انسام ) أو عند إصابة المحور العصبي المغذب لهذه العضلة .

من جهة ثانية يمكن دراسة النقل العصبي في الأعصاب الحركية عن طريق تبيه العصب الحركي لعضلة ما ، وتسجيل تبدلات الكامن في هذه العضلة وذلك بقياس المسافة الفاصلة ما بين نقطة التبيه ونقطة تسجيل تبدلات الكامن وتقدير هذه المسافة

بالمتر ، وبقياس الزمن المستغرق ما بين لحظة إحداث التنبية ولحظة تسجيل تبدلات الكمون في العضلة ، ويقدر هذا الزمن بالثانية .

### طريقة العمل

تغرس إبرة خاصة في العضلة حيث يتم تسجيل تبدلات الكمون ما بين رأس الإبرة المغروسة والصفيحة المعدنية الموضوعة على سطح الجلد ، ثم تضخم التبدلات الكمونية المسجلة لحظة بدء التقلص العضلي بوساطة جهاز السيبيتو ، وبذلك يمكن تسجيل هذه التبدلات على شاشة هذا الجهاز ، كما يمكن تسجيلها أيضاً على ورق جهاز الأوسيلوغراف بعد وصل هذا الأخير مع جهاز السيبيتو .

يُلاحظ عند أداء المريض تقلصاً بسيطاً للعضلة المدروسة بأن مخطط كهربية العضل لا يشمل إلا نشاط عدد بسيط من الوحدات الحركية المتماثلة والتي تفرغ نشاطها الكهربائي بتواتر أقل من ٢٠ دورة في الثانية ، يطلق على هذا المخطط بالمخيط البسيط ، وحينما ينفذ المريض تقلصاً عضلياً بشدة أكبر من السابق يزداد توادر كوامن العمل السابقة ويضاف إليها كوامن عمل جديدة نتيجة لتفعيل عدد آخر من الوحدات الحركية ويطلق على المخطط الناتج بالمخيط المتوسط . و حينما يطلب من المريض تنفيذ تقلصاً أعظمياً للعضلة المدروسة ، تنضم جميع الوحدات الحركية الأخرى للنشاط ، وذلك بتواتر أعظم يترواح ما بين ٤٠ إلى ٦٠ دورة في الثانية ، وتكون سعة الكوامن المسجلة كبيرة بالمقارنة مع كوامن العمل المفردة والتي لا يمكن تمييزها في هذا المخطط الجديد الذي يدعى بالمخيط التداخلي .

أما فيما يتعلق بقياس سرعة النقل في العصب المحرك لعضلة ما ، فإننا نلحو على سبيل المثال لتتبّيه العصب المتوسط الذي ينبع عضلة راحة اليد ( العضلة مبعدة الإهام القصيرة ) وذلك في نقطتين ، تقع النقطة الأولى في الحفرة المرفقة ، وتقع النقطة

الثانية في منطقة المعصم . ونسجل تبدلات كامن هذه العضلة الناتجة عن التبيه ، ونقيس الزمن الفاصل ما بين كل تبيه ولحظة ظهور التبدلات في الكامن الناتجة عنه ( وهو الزمن الكامن ) ، وإن التفاضل ما بين هذين الزمنين يمثل زمن النقل ما بين نقطتي التبيه ( الذي يقدر بالثانية ) ، وبمعرفة المسافة الفاصلة ما بين هاتين نقطتين يمكن تحديد سرعة النقل العصبي في القطعة العصبية الفاصلة ما بين نقطتي التبيه .

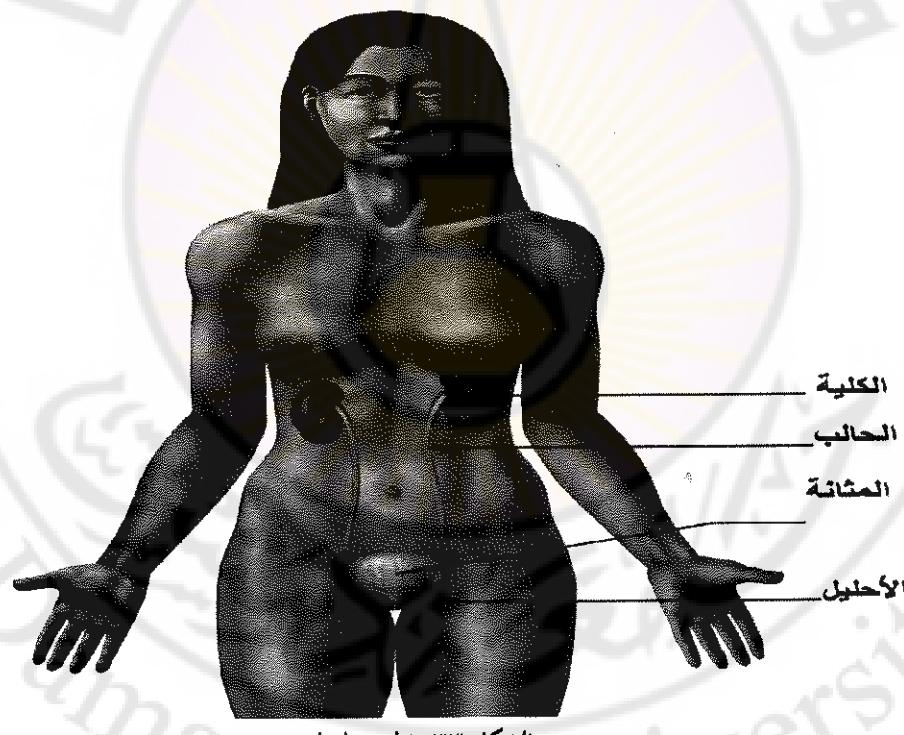
## الفصل الثاني عشر

### الجهاز البولي

يتتألف الجهاز البولي من

١. الكليتين Kidney (يمين ويسرى).
٢. الحالبين Ureter (يخرج من كل كلية حالب يحمل البول إلى المثانة).
٣. المثانة Bladder.
٤. الإحليل Urethra.

ويُظهر الشكل (٣٣) أقسام الجهاز البولي.



الشكل (٣٣). الجهاز البولي.

سنهتم في هذا الفصل بدراسة وظيفة و التشريح الكلية.

### أ-وظائف الكليتين

١. تخليص الجسم من الفضلات التي تنتج عن الاستقلاب أو التي تأتي الجسم من مصدر خارجي.

٢. التحكم بحجم وتركيب سوائل الجسم. تقوم الكلية بإحراط توازن دقيق بين ما يدخل الجسم من ماء وشوارد وبين ما يخرج منه وهي بهذه الوظيفة تحافظ على ثبات البيئة الداخلية الضرورية لاستمرار وأداء الخلايا لوظائفها بشكل أمثل. إن هاتين الوظيفتين أهم وظيفتين للكلية.

٣. تنظيم اسمية الجسم.

٤. تنظيم PH الدم (تنظيم الحمض الأساس).

٥. تنظيم الضغط الدموي.

٦. إفراز بعض الهرمونات (تعتبر الكلية كندة صماء) كالأرثروبيوتين والرينين والبراديكينين.

٧. تساهم في استحداث السكر (Gluconeogenesis) خاصة في أثناء الصيام، ويتم اصطناع الغلوكوز من المخض الأمينية وبعض المشتقان الأخرى وتكون كمية الغلوكوز المصنعة في الكلية بعد صيام طويل معادلة تقريباً للكمية المصنعة في الكبد.

### ب - التشريح الوظيفي للكلية

تتوسط الكلية خلف حوف البريتوان، بمحاذاة الجدار الخلفي للبطن، تزن كل كلية عند الإنسان البالغ ١٥٠ غ، ويبلغ حجمها حجم قبضة اليد المغلقة بإحكام.

يوجد في وسط الكلية ثلمة تدعى سرة الكلية يدخل وينخرج من خلالها الشريان والأوردة والأوعية المفاوية والأعصاب الكلوية، كما يخرج منها الحالب الذي يحمل البول من الكلية إلى المثانة. وإذا أجرينا مقطعاً طولاً في الكلية من الأعلى إلى الأسفل، يمكن أن نرى فيها منطقتين، منطقة خارجية تدعى القشر ومنطقة داخلية تدعى اللب. كما يظهر في الشكل (٣٤).



الشكل (٣٤). مقطع طولي في الكلية.

## جـ-التروية الدموية للكلى

تبلغ كمية الدم التي تغذى الكليتين في الحالة الطبيعية حوالي ٢٢٪ من ناتج القلب (حوالي ١١٠٠ مل/د). يدخل الشريان الكلوي من خلال السرة ويتفرع بشكل متدرج ليشكل الشريانين بين الفصوص ، الشريانين المقوسة، الشريانين بين الفصوص ثم الشريانين الواردة التي تنتهي في الكبيبات الكلوية. تتحمّل النهايات البعيدة لشريانات الكبيبات لتشكل الشرين الصادر الذي يقود إلى نوع ثانٍ من الشعيرات الدموية (شبكة الشعيرات الدموية حول الأنابيب)، التي تحيط بالأنبوب الكلوي).

يتمتع الدوران الكلوي بخاصية فريدة في كونه يحوي نوعين من الأوعية الدموية، الأوعية الدموية الكبيرة والأوعية الدموية حول الأنابيب. يكون هذان التوعان سلسلة تنفصل عن بعضها بواسطة الشريانات الصادرة التي تساعد في تنظيم الضغط المائي السكولي في كلا السريرين الوعائين.

يسبب الضغط المائي السكولي العالي في السرير الكي الوعائي (حوالي ٦٠ مم ز) رشح سريع للسوائل، بينما يحيط الضغط المائي السكولي المنخفض في الأوعية الدموية حول الأنابيب (حوالي ١٣ مم ز) إعادة سريعة لامتصاص السوائل بواسطة تعديل المقاومة لكلٍ من الشرين الوارد والصادر. تستطيع الكليتان تنظيم الضغط المائي السكولي في كلا النوعين من الأوعية الدموية. وطبقاً لذلك تتغير نسبة الرشح الكي أو عود الامتصاص استجابة لمتطلبات الاستباب في الجسم.

## دـ-النفرون هو الوحدة الوظيفية للكلية

لا تستطيع الكلية تشكيل نفرونات جديدة. لذلك السبب ، يحدث مع أذية الكلية (بسبب المرض أو بسبب التقدم في السن) نقص تدريجي في عدد النفرونات. يتناقص عدد النفرونات العاملة عادةً بعد سن الأربعين بمعدل ١٠٪ كل ١٠ سنوات. يعني

ذلك أنه في عمر الثمانين يملك معظم الناس عدد من النفرونات العاملة أقل بحوالي ٤٠٪ من الموجود عند الذين أعمارهم ٤٠ سنة.

لا يكون هذا النقص مهدداً للحياة بسبب حصول تغيرات تأقلمية في النفرونات الباقية تسمح لها بإفراج كميات مناسبة من الماء والكهارل وفضلات الاستقلاب. تحتوي الكليتان معاً حوالي ٢ مليون نفرون، ويشكل النفرون وحدة وظيفية مستقلة، إذ يستطيع كل نفرون تشكيل البول بمفرده، ولذلك يكفي الحديث في معظم الأحيان عن وظيفة النفرون بمفرده بدلاً عن التحدث عن وظيفة الكلية مجملها.

يتتألف كل نفرون بشكل رئيسي من:

#### • **Glomerulus** الكبة الكلوية

يصل الدم إلى الكبة عبر الشرين الوارد **Afferent arteriole** ويعادرها عبر الشرين الصادر **Efferent arteriole**. الكبة الكلوية عبارة عن شبكة من الشعيرات الدموية المتغاغرة فيما بينها، قد يصل عدد التفرعات فيها إلى ٥٠ تفرعاً متوازياً، تحاط هذه الشعيرات بمحملها بوساطة محفظة بومان، يؤدي الضغط الدموي في الكبة إلى رشح السائل إلى محفظة بومان ثم ينتقل السائل الراشح إلى النبيب.

#### • **Tubule** النبيب

هو عبارة عن أنبوب طويل تتحول فيه السوائل الراشحة من الكبة الكلوية إلى بول وذلك في أثناء سير هذا السائل باتجاه الحويضة الكلوية ويتألف الأنبوب الكلوي من الأقسام التالية:

##### ١. الأنبوب الداني **Proximal tubule**: يتوضع في القشر

الكلوي و يتلقى السائل مباشرة من محفظة بومان.

٢. عروة هانلي Loop of Henle : التي تغوص عميقاً في الكتلة الكلوية، تقسم كل عروة إلى طرف نازل وطرف صاعد، يدعى الطرف النازل والنهاية السفلية للطرف الصاعد بالقطعة الدقيقة من عروة هانلي لأن الجدار فيها يكون رقيقاً جداً، ويعد جدار الطرف الصاعد للتشخن من جديد في أثناء عودته إلى القشر ويطلق على الجزء المتشخن من عروة هانلي بالقطعة الشخينة.

٣. الأنابيب القاصي Distal tubule : يتوضع في القشر الكلوي وتتجمع كل ثمانية أنابيب قاصية تقربياً لتشكل القناة الجامعية القشرية.

٤. الأنابيب الجامع Collecting duct : المشكل من استمرار القناة الجامعية القشرية ويتبع سيره إلى اللب الكلوي.

#### النظرية الأساسية حول وظيفة النفرون

إن الوظيفة الرئيسية للنفرون تنظيف (تصفية) المchora الدموية من المواد غير المرغوب بها في أثناء عبورها الكلية، ومن أهم المواد التي يجب التخلص منها:

- نواتج الاستقلاب النهائية (كاليلوريا والكرياتين وحمض البول والبولات).

- المواد التي تميل إلى التراكم في الجسم بكميات كبيرة (شوارد الصوديوم والبوتاسيوم والميدروجين والكلور) حيث إن النفرون يعمل على تصفية المchora من هذه الشوارد .

الآلية الرئيسية التي يقوم من خلالها النفرون بتصفية المchorة من المواد غير المرغوبة هي كالتالي:

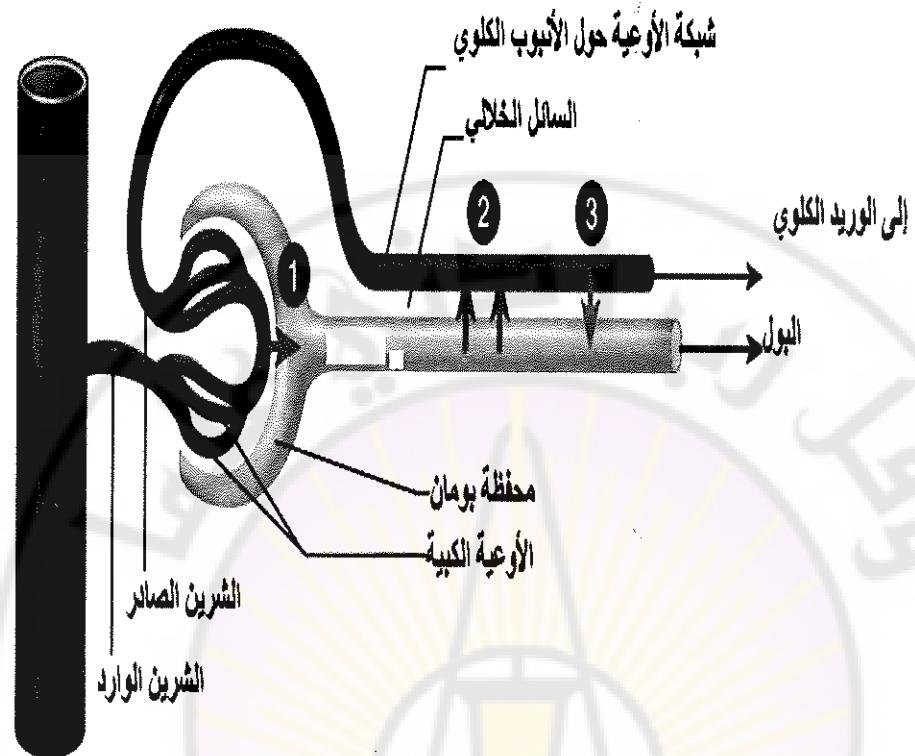
#### ١-آلية الرشح وعود الامتصاص:

١. يرشح نحو خمس المchorة الدموية من الغشاء الكبي إلى الجهاز النبيبي للنفرون في أثناء عبورها الكبيات.

٢. يعاد امتصاص المواد المطلوبة (خاصة الماء والشوارد) حيث يعاد امتصاص معظم الماء وكمية كبيرة من الشوارد في أثناء عبور السائل الراشح من الكبيات إلى الأنوب الكلوي حيث تضاف هذه المواد إلى المchorة الموجودة في الشعيرات حول الأنابيب بينما تبقى المواد غير المرغوبة في الأنابيب ليصار إلى طرحها مع البول.

#### ٢-آلية الإفراز:

يتم بهذه الآلية إفراز بعض المواد مباشرة من المchorة الموجودة في شبكة الشعيرات حول الأنابيب إلى الأنابيب، وهكذا يتراكب البول المتشكل من قسمين: مواد مرشحة ومواد مفرزة.



الشكل(٣٥). شكل يوضح الوظيفة الأساسية للنفرون (١=الرشح، ٢ = إعادة الامتصاص، ٣ = الإفراز).

#### ح-تشكيل البول

إن نسبة إفراز المواد المختلفة في البول تمثل مجموع العمليات الكلوية الثلاث الموضحة

في الشكل(٣٥) :

١-الرشح الكبي.

٢-عود امتصاص المواد من الأنبيب الكلوي إلى الدم.

٣-إفراز المواد من الدم إلى الأنبيب الكلوي.

يعبر عنها رياضياً بالمعادلة التالية:

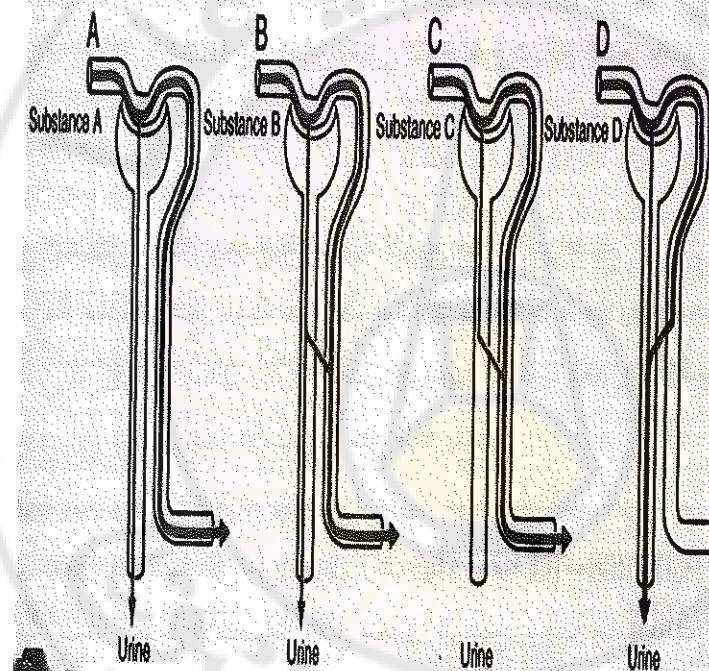
معدل الإفراغ البولي=Mعدل الرشح - (معدل عود الامتصاص + م معدل الإفراز).  
يبدأ تشكيل البول مع رشح كمية كبيرة من سوائل البلازما(الخالية من البروتينات) من الأوعية الشعرية الكبيرة إلى محفظة بومان. ترشح معظم المواد الموجودة في البلازما(ماعدا البروتينات) بحرية لذلك يكون تركيز هذه المواد في السائل الراشح إلى محفظة بومان مساوياً لتركيزها في البلازما. يمر السائل بعد أن يرشح إلى محفظة بومان عبر الأنوب الكلوي. يطرأ على هذا السائل تعديل من خلال عود الامتصاص للماء والشوارد إلى الدم إضافة إلى إفراز بعض المواد من شبكة الشعيريات الدموية حول الأنابيب إلى الأنوب البولي.

يوضح الشكل (٣٦ ) معاملة الكلية لأربع مواد افتراضية في الجزء أ مادة ترشح بحرية عبر الأوعية الشعرية الكبيرة ولا يطرأ عليها أي عود امتصاص أو إفراز. لذلك يكون معدل إفراغها مساوياً لمعدل رشحها. ثعامل بعض الفضلات في الجسم بهذا الأسلوب مثل الكرياتينين.

في الجزء ب ترشح المادة بحرية ويطرأ عليها عود امتصاص جزئي من الأنوب. ولذلك يكون معدل إفراغها أقل من معدل رشحها. ويحسب معدل الإفراغ في هذه الحالة بإقصاص معدل عود الامتصاص من معدل الرشح. وهذا ما يحدث بشكل غزوذجي للعديد من الشوارد في الجسم.

في الجزء ج ترشح المادة بحرية ولا يفرغ منها شيء عن طريق البسول لأنه يعاد امتصاصها بالكامل إلى الدم (الحموض الأمينية والغلو كوز).

في الجزء D ترشح المادة بحرية ولا يُعاد امتصاص أي جزء منها إنما بالإضافة لذلك يجري لإفراز كمية منها من الأوعية الدموية حول الأنابيب. وهذا يسمح بتنظيفها من البلازما بشكل سريع.



الشكل (٣٦). مخطط يبين معاملة الكلية لأربع مواد افتراضية: في الجزء A مادة ترشح بحرية عبر الأوعية الشعرية الكبيرة ولا يطرأ عليها أي عود امتصاص أو إفراز، في الجزء B ترشح المادة بحرية ويطرأ عليها عود امتصاص جزئي من الأنابيب ، في الجزء C ترشح المادة بحرية ولا يفرغ منها شيء عن طريق البول لأنه يعاد امتصاصها بالكامل إلى الدم، في الجزء D ترشح المادة بحرية ولا يُعاد امتصاص أي جزء منها إنما بالإضافة لذلك يجري إفراز كمية منها من الأوعية الدموية حول الأنابيب.

## كــ الرشحــ عود الامتصاصــ الإفراز ل مختلف الموار

عموماً، يكون عود الامتصاص الأنبوبي أكثر أهمية من الإفراز الأنبوبي في تشكيل البول، لكن الإفراز يلعب دوراً هاماً في تحديد كمية كل من شوارد البوتاسيوم والميدروجين وعدة مواد تفرغ مع البول.

يعاد امتصاص كميات قليلة لعدد من المواد، التي يجب أن يُنْظَف منها الدم (خاصة المنتجات النهائية للاستقلاب مثل البولة ، حمض البول والكرياتينين)، لذلك فإن تلك المواد تفرغ بكميات كبيرة في البول. كما أن العديد من المواد الأجنبيّة مثل الأدوية يجب أن يُعاد امتصاص القليل منها وبالإضافة إلى ذلك فهي تُفرز من الدم إلى الأنابيب وهكذا يكون معدل إفراغها مرتفعاً. بالمقابل فإن الكهربائيات (مثل شوارد الصوديوم وشوارد الكلور وشوارد البيكربونات ) يعاد امتصاصها بشكل مرتفع وهكذا فإن كمية قليلة منها تظهر في البول.

يُعاد امتصاص بعض المواد الغذائية مثل الحموض الأمينية والغلوكوز بشكل كامل من الأنابيب ولا تظهر في البول على الرغم من الكميات الكبيرة منها التي ترشح عبر الأوعية الشعرية للكبيبات.

تُنظم العمليات الثلاث السابقة الذكر طبقاً لحاجة الجسم.

والسؤال المطروح لماذا يتم رشح كميات كبيرة من النوائب ثم يعاد امتصاصها؟

إن الحكمة من رشح كميات كبيرة من الماء والنواب وبعدها يعاد امتصاص أغلب هذه المواد تتمثل في :

١ــ الميزة الأولى من ارتفاع كمية الرشح الكيــ أن يسمح للكليتين بإزالة سريعة للفضلات من الجسم التي تعتمد في طرحها بشكل كبير على الرشح الكيــ. وأغلب

هذه الفضلات يعاد امتصاصها بشكل قليل من الأنابيب وهذا السبب فإن التخلص منها يعتمد على مستوى رشح كبي عال.

٢-الميزة الثانية يسمح المستوى العالى للرشح الكي لسوائل الجسم أن ترشح وتعامل من قبل الكلية عدة مرات كل يوم. وأن كمية البلازمما في الجسم ٣ ل ب بينما كمية الرشح الكي حوالي ١٨٠ ل / يوم وبالتالي فإن كمية البلازمما ترشح بكاملها وتعامل يومياً ٦٠ مرة ، هذا يسمح للكليتين أن تتحكم بشكل سريع ودقيق بحجم وتركيب سوائل الجسم.

لـ الرشح الكبي والرشحة الكبية

يدعى السائل الراشح من الكبيبات إلى محفظة يومان بالرشاحة الكبية بينما يسمى غشاء الشعيرات الكبية بالغضاء الكبيسي، ورغم التشابه بين الغشاء الكبي والباقي أغشية الجسم عموماً إلا أنه توجد فروق عديدة هي أنه يحوي ثلاث طبقات رئيسية:

١. الطبقة البطانية للوعاء الشعري نفسه.
  ٢. الغشاء القاعدي.
  ٣. طبقة الخلايا الظهارية.

ولكن رغم هذا العدد من الطبقات فإن نفوذية الغشاء الكبي أكبر بـ ١٠٠ - ٥٠٠ ضعف من نفوذ شعيرات الجسم الأخرى.

تتتج النفوذية الشديدة للغشاء الكي عن بنائه الخاصة فهناك آلاف الثقوب في الخلايا البطانية الشعرية التي تستر الكبة تدعى هذه الثقوب النوافذ، أما الغشاء القاعدي فهو عبارة عن شبكة من ألياف الكلاجين والسكريات البروتينية التي ترك بينها فراغات واسعة يرشح المسائل من خلالها. كما يوجد أيضاً مسافات بين الخلايا الظهارية التي هي آخر طبقة ترك في بناء الغشاء وتستر السطح الخارجي للكتيبات.

هذا يعني أن الرشاحة الكبيرة تمر عبر ثلاث طبقات مختلفة قبل دخولها محفظة يومان وجميع هذه الطبقات سمية (ذات مسام) أكثر بعثات الأضعاف من عدد المسام الموجودة في الأغشية الشعرية العادية، ولذلك تستطيع الكميات الضخمة من الرشاحة الكبيرة أن تعبّر هذه الأغشية في كل دقيقة.

وعلى الرغم من هذه النفوذية المائلة للغشاء الكبي، فهو يمتلك أيضاً قدرة عالية جداً على انتخاب حجوم الجزيئات التي يسمح لها بالعبور.

وفيما يلي تقدير لنفوذية الغشاء الكببي للمواد ذات الأوزان الجزئية المختلفة بشكل تقريري (يعبر عن ذلك بنسبة تركيز المادة المنحلة في الجهة التي رُسحت إليها عبر الغشاء إلى نسبتها في الجهة الأخرى للغشاء أي في المقدمة) الجدول (١).

يستتتاج من هذا الجدول أن المادة المنحلة ذات الوزن الجزيئي ٥٥٠٠ تعبر بكاملها الغشاء بسهولة كسهولة عبور الماء لهذا الغشاء، بينما لا يعبر هذا الغشاء سوى ٥٪ من جزيئات البروتين ذات الوزن الجزيئي الصغير ٦٩٠٠ وهو (الألبومين).

يوجد سببان رئيسان لقدرة الانتخاب الجزئية العالية التي يتمتع بها الغشاء الكببي:

١. حجم المسام الموجودة في الغشاء نفسه الذي يكفي لعبور جزيئات يصل قطرها حتى ٨ نانو متر تقريرياً (٨٠ انغستروم)، ومن المعلوم أن قطر جزيء الألبومين هو ٦ نانومتر تقريرياً أي أقل من قطر المسام في الغشاء، ومع ذلك لا تعبر جزيئات البروتين هذه المسام بكمية كبيرة والسبب في ذلك يعود إلى العامل الثاني المحدد لنفوذية الغشاء وهو.

٢. إن أجزاء الغشاء القاعدي في المسام الكببية مغطاة بطبقة من مركب السكريات البروتينية التي تحمل شحنة كهربائية سلبية قوية جداً ومن المعروف أن بروتينات المقدمة تحمل شحنة سلبية قوية أيضاً وبذلك يحدث تدافع

كهربائي سكوني بين الجزيئات وجدaran المسام مما يمنع عملياً عبور جزيئات البروتين.

النفوذية	الوزن الجزيئي	المادة
١	١٨	الماء
١	٢٣	الصوديوم
١	١٨٠	الغلو كوز
١	٥٥٠٠	الأينولين
٠,٧٥	١٧٠٠٠	الميو غلوبين
٠,٠٠٥	٦٩٠٠٠	الألبومين

الجدول(١). نفوذية مواد ذات أحجام جزيئية مختلفة عبر الغشاء الكبي.

### م — معدل الرشح الكبي ( The glomerular filtration rate )

تطلق هذه التسمية على كمية الرشاحة الكبية المتشكلة في كل دقيقة في جميع النفرونتات في كلا الكليتين، وهي تساوي تقريباً ١٢٥ مل/د عند الشخص السوي، وهكذا نجد أن كمية الرشاحة الكبية المتشكلة في اليوم تعادل ١٨٠ لترًا تقريباً، يعاد امتصاص أكثر من ٩٩% من هذه الرشاحة عند الأشخاص الأسواء ويعبر الباقى مع البول.

## دينيميات الرشح عبر الغشاء الكبي

تنطبق القوى التي تسبب رشح السائل من أي وعاء شعري عالي الضغط على الرشح من الكبيبات إلى محفظة بومان هي:

١. الضغط داخل الشعيرات الكبية تسمح بالرشح وتبلغ عند الإنسان حوالي

٦٠ ملم زئبقي.

٢. الضغط داخل محفظة بومان وهو يعاكس الرشح ويبلغ ١٨ ملم زئبقي.

٣. الضغط التناضحي الغرواني لبروتينات المchorة ويبلغ بشكل متوسط ٣٢ ملم زئبقي و يعاكس الرشح.

٤. الضغط التناضحي الغرواني للبروتينات داخل محفظة بومان يساعد على الرشح ولكن كمية البروتينات الموجودة زهيدة لدرجة يهمل بها هذا العامل ويوضح الشكل (٣٧) هذه الضغوط.

$$\text{الضغط الرشحي} = \text{الضغط الكبي} - (\text{الضغط التناضحي الغرواني} + \text{ضغط محفظة بومان}) = 60 - (18 + 32) = 10 \text{ ملم زئبقي.}$$



الشكل (٣٧). يوضح الضغوط التي تسبب الرشح عبر الغشاء الكببي.

### أسس التناضح والضغط التناصحي

إذا كان الغشاء الفاصل بين وسطين سائلين نفوذاً للماء وكتيماً بالنسبة لبعض الذوائب (أي أن للغشاء نفوذية انتقائية)، وكان تركيز بعض الذوائب مرتفعاً في إحدى جهتي الغشاء أكثر من الأخرى، فسيعبر عندي الماء الغشاء إلى جهة الذوائب ذات التركيز الأعلى، تسمى هذه الظاهرة: التناضح osmosis أو الخلول.

يعرف الخلول على أنه ظاهرة انتشار الماء عبر الغشاء الخلوي من وسط منخفض التوتر إلى وسط مرتفع التوتر.

عند الفصل ما بين وعائين متداخلين، أحدهما (أ) يحتوي على ماء مقطر فقط والآخر (ب) يحتوي على محلول كلور الصوديوم بوساطة غشاء نصف نفوذ (يسمح بمرور الماء ولا يسمح بمرور العناصر المذابة فيه) وجعل سوية السائل واحدة في الوعائين.

نلاحظ بعد فترة من الزمن ارتفاع سوية السائل في الوعاء (ب) نتيجة دخول الماء إليه من الوعاء (أ)، بمقدار (ع) مما يتبع عنه تناقص تركيز محلول الملح، تدعى هذه الظاهرة ظاهرة الخلول.

يتوقف انتقال الماء من الوعاء (أ) إلى الوعاء (ب) عندما يتساوى ضغط الماء المنتقل مع ضغط آخر معاكس له يدعى بالضغط الخلولي (الضغط التناضحي) وهو قوة الجذب التي يجذبها محلول كلور الصوديوم على جزيئات الماء.

يتعلق الضغط الخلولي بعده الجزيئات (غير المتشربة مثل الغلوكوز) أو بعدد الشوارد (بالنسبة للجزيئات المتشربة مثل كلور الصوديوم) المنحلة في لتر ماء مقطر.

ويقاس الضغط الخلولي بالأوزمول (Osmole) وهو الضغط الخلولي الناتج عن ادخال جزئي غرامي واحد لعنصر غير متشرد (كالغلوكوز) في لتر ماء مقطر أي مول واحد من الغلوكوز في لتر ماء (١٨٠ غ من الغلوكوز في لتر ماء مقطر)، ويعادل هذا الضغط ٤٢٢ ضغطاً جوياً في درجة حرارة صفر مئوية، أما الميلي اوزمول فهو يعادل ١/١٠٠٠ من الاوزمول.

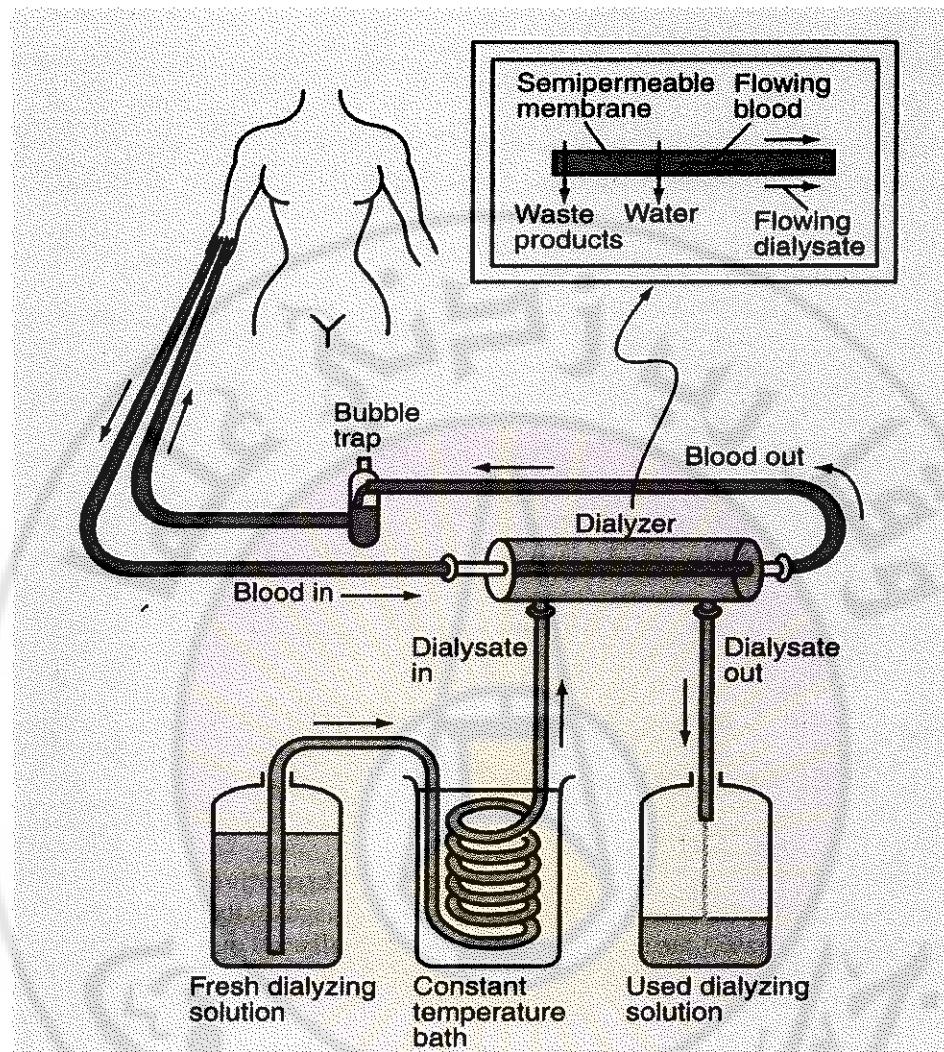
أما إذا كان العنصر المذاب قابلاً للتشرد إلى نوعين من الشوارد (مثل NaCl) فإن الضغط الخلولي الناتج عن ادخال مول واحد من هذا العنصر في لتر ماء مقطر يعادل ٢ اوزمول، وذلك لأن كل شاردة تملك الفعالية الخلولية نفسها لجزيئه غير متشردة. في حال احتواء السائل على أكثر من عنصر فإن الضغط الخلولي لهذا السائل يعادل جموع الضغوط الخلولية الناجمة عن كل عنصر على حدة وبذلك يبلغ الضغط الخلولي للمصورة ٣٠٠ ملي اوزمول تقريباً.

## **معالجة القصور الكلوي بوساطة الكلية الصناعية (الديلزنة)**

تستعمل الكلية الصناعية في علاج أنماط معينة من القصور الكلوي الحاد والمزمن لتخلص الجسم من الفضلات الناجمة عن الاستقلاب وبالتالي الحفاظ على تركيب سوائل الجسم قريباً من الطبيعي، طورت الكلية الصناعية إلى درجة سمحت بواسطتها لآلاف المرضى المصاين بقصور كلوي دائم أو المستأصلة عندهم الكلى بكاملها بالمحافظة على صحتهم عدة سنوات مع أن حياتهم تعتمد كلياً على الكلية الصناعية. إن المبدأ الأساسي في الكلية الصناعية هو إمرار الدم عبر غشاء دقيق جداً مغطاة بغشاء رقيق، يوجد على الجهة الأخرى من الغشاء سائل الديال (dialyzing fluid) الذي تم إليه المواد غير المرغوبة الموجودة في الدم بآلية الانتشار.

يوضح الشكل (٣٨) مكونات أحد أنماط الكلية الصناعية التي يجري فيها الدم باستمرار بين غشائين رقيقين من السيلوفان، ويتوسط على الوجه الخارجي للأغشية سائل الديال وتسمح مسام غشاء السيلوفان بعبور جميع مكونات المchora عدا البروتينات بالاتجاهين (أي من المchora إلى سائل الديال وبالعكس) فإذا كان تركيز مادة ما في المchora أعلى منه في سائل الديال فسيتم نقل المادة إلى سائل الديال، وتعتمد كمية المادة المنقوله على:

١. فرق تركيز المادة بين جانبي الغشاء.
٢. الخصائص التفوية للغشاء بالنسبة لهذه المادة.
٣. مساحة سطح الغشاء التفويذ.
٤. المادة التي يبقى فيها الدم وسائل الديال بتماس الغشاء.
٥. الحجم الجزيئي لهذه المادة إذ تنتشر الجزيئات الصغيرة بشكل أسرع من الكبيرة.



الشكل (٣٨). مكونات أحد أنماط الكلية الصناعية.



## الفصل الثالث عشر

### الجهاز الهضمي

#### مقدمة

يتتألف الجهاز الهضمي من :

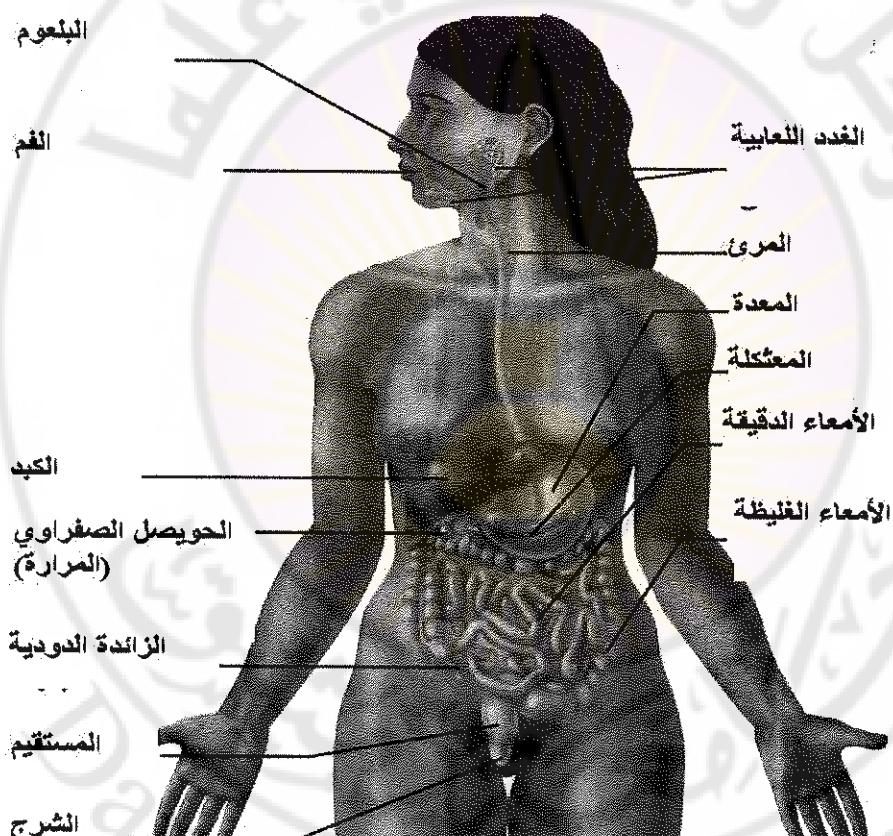
١. أنبوب الهضم. هو عبارة عن أنبوب يمتد من الفم إلى الشرج (يتتألف من الفم-البلعوم- المريء-المعدة- الأمعاء الدقيقة- الأمعاء الغليظة-الشرج).
٢. الأعضاء الملتحقة بأنبوب الهضم. تقوم هذه الأعضاء بإفراز السوائل (بما تحتويه من أنزيمات ومواد أخرى) إلى الأنبوب الهضمي. تشمل هذه الأعضاء كلاً من الغدد اللعابية، الكبد ،المعتقلة و تظهر هذه الأعضاء مع أنبوب الهضم في الشكل (٣٩).

#### المبادئ العامة لوظيفة الجهاز الهضمي.

يؤمن الجهاز الهضمي احتياجات الجسم من الماء والكهارل والغذيات، ولتحقيق ذلك يتطلب ما يلي:

١. حركة الأطعمة عبر السبيل الهضمي( الوظائف الحركية للجهاز الهضمي).
٢. إفراز العصارات الهضمية التي تهضم الطعام( الوظائف الإفرازية للجهاز الهضمي).
٣. امتصاص محتويات الهضم من ماء وكهارل وغذيات( الوظائف الامتصاصية للجهاز الهضمي).
٤. جريان الدم عبر الأعضاء الهضمية ونقل المواد الممتصة.
٥. التحكم بجميع هذه الوظائف بواسطة الأجهزة العصبية والهرمونية.

يظهر الشكل (٣٩) السبيل الهضمي بأكمله وقد تألف كل جزء لتأدية وظائف خاصة مختلفة عن الوظائف الأخرى لبقية الأجزاء وكمثال على ذلك فإنه من المعروف أن وظيفة المريء هي فقط مرور الطعام عبر هذا الجزء إلى المعدة التي تعمل على تخزين الطعام بشكل مؤقت بينما تختص الأمعاء الدقيقة بالهضم والامتصاص.

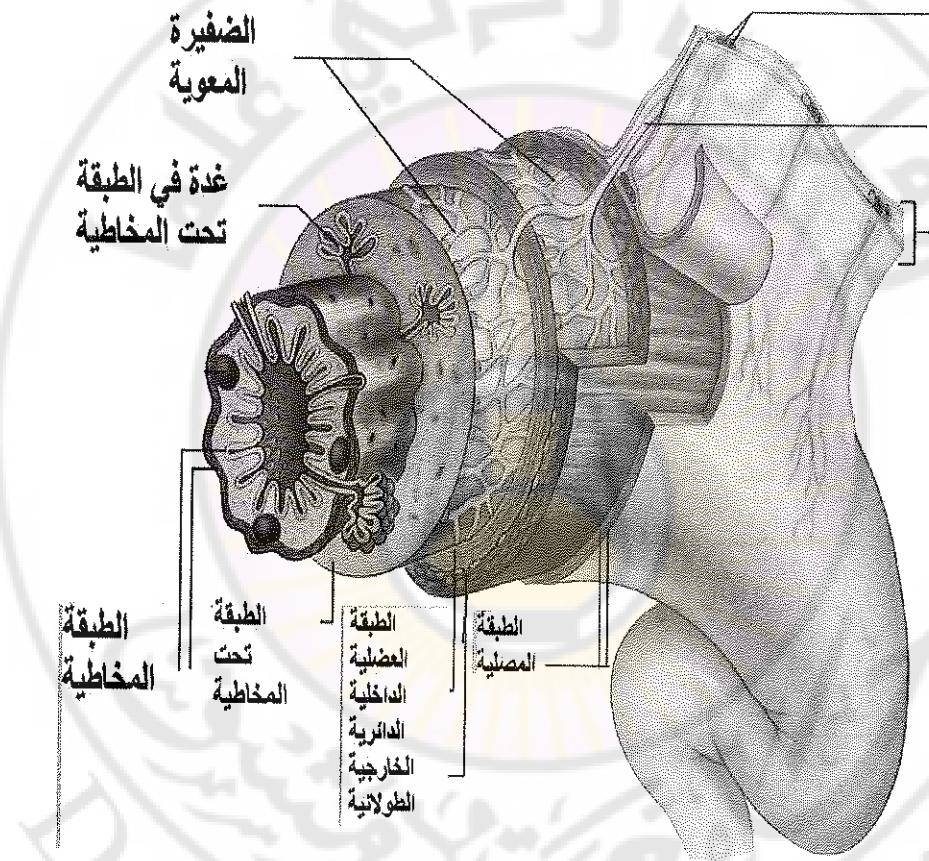


الشكل (٣٩). الجهاز الهضمي

المبادئ العامة للتحرك الهضمي.

#### أ-ميزات الجدار الهضمي.

يوضح الشكل (٤٠) مقطعاً نموذجياً في الجدار المعوي و تظهر فيه الطبقات التالية من الخارج نحو الداخل:



الشكل (٤٠) مقطع في الجدار المعوي يظهر طبقات الجدار المعوي.

## ١- الطبقة المصلية The Serosa

- . ٢- طبقة العضلة الطولانية a Longitudinal muscle layer
- . ٣- طبقة العضلة الدائرية a circular muscle layer
- . ٤- الطبقة تحت المخاطية The submucosa
- . ٥- العضلة المخاطية The muscularis mucosae

تنجز الوظائف الحركية لجهاز الهضم بوساطة الطبقات المختلفة من العضلات الملساء.

## بـ- العضلة الملساء الهضمية Gastrointestinal Smooth muscle

يبلغ طول الليف العضلي الأملس في السبيل الهضمي ما بين ٢٠٠-٥٠٠ ميكرومتر وقطره ما بين ٢-١٠ ميكرومتر. تتوضع تلك الألياف بشكل متواز في حزم تحوى الواحدة منها نحو ١٠٠٠ ليف، وتمتد هذه الحزم في الطبقة العضلية الطولانية يشكل طولاني وذلك باتجاه أسفل السبيل المعاوي أما في الطبقة العضلية الدائرية فتمتد حول المعى. تتصل الألياف العضلية في كل حزمة مع بعضها بوساطة عدد كبير من القنوات وهي من نوع موافق الفسحة Junction Gap التي تسمح بحدوث مقاومة منخفضة لحركة الشوارد من ليف إلى ليف مجاور آخر. وطبقاً لذلك يمكن للإشارات الكهربائية أن تنتقل فوراً من ليف إلى ليف الذي يليه.

تنفصل كل حزمة من الألياف العضلية الملساء بشكل جزئي عن الحزمة التي تليها بنسيج ضام رخو، ولكن هذه الحزم تتحد فيما بينها عند عدة نقاط ولذلك تعد كل طبقة عضلية عبارة عن تعرية Latticework متفرعة من الحزم العضلية الملساء. ولهذا السبب تعمل كل طبقة عضلية كمتخلقي Syncytium. يعني ذلك أنه عندما يثار كامن فعل في أي مكان من الكتلة العضلية فإنه يتشر في جميع الاتجاهات داخل العضلة. تعتمد مسافة انتقال الإشارة (كامن الفعل) على استثمارية

العضلة إذ إن الإشارة تتوقف أحياناً بعد عدة ملتمرات وتسير أحياناً عدة سنتتمرات أو حتى على كامل السبيل المعاوي. كما توجد عدة اتصالات لكنها قليلة بين الطبقنة العضلية الطولانية والدائرية بحيث تؤدي إثارة إحدى هاتين الطبقتين إلى إثارة الأخرى أيضاً.

### جـ- الفعالية الكهربائية للعضلة الملساء الهضمية

تخضع العضلة الملساء في السبيل الهضمي لاستشارة كهربائية متواصلة غالباً ولكنها بطبيعة وهذه الاستشارة هي من نمط الاستشارة الذاتية **Intrinsic activity** وهذه الفعالية الكهربائية نطان أساسيان من الموجات كما يظهر في الشكل (٤١) :

#### ١ـ الموجات البطيئة.

هي تغيرات متموجة بطيئة في كامن الراحة الغشائي للعضلة الملساء، تراوح شدتها بين ٥ و ١٥ ملي فولط بينما يتراوح مجال تواترها باختلاف أجزاء السبيل الهضمي البشري (٣ موجات بالدقيقة في جسم المعدة و ١٢ في الثاني عشرى وما بين ٨ أو ٩ في نهاية اللفافى). لا يزال سبب الموجات البطيئة غير معروف بشكل دقيق وبين فيما بعد أنها تنجم التداخل المعقد بين الخلايا العضلية الملساء وبين خلايا خاصة تدعى بالخلايا الخلالية (خلايا كاجال) يعتقد أنها تعمل كناظمة حطا كهربائية للخلايا العضلية الملساء. تتصل خلايا كاجال مع بعضها من جهة ومع الخلايا العضلية الملساء بما يشبه المشابك العصبية من جهة أخرى.

تخضع الخلايا الخلالية لكافال لتغيرات دورية في كامن الغشاء بسبب وجود قنوات شوارد فريدة تفتح بشكل دوري ويترافق عن افتتاحها تيار من حركة الشوارد نحو الداخل يكون مسؤولاً عن الموجات البطيئة.

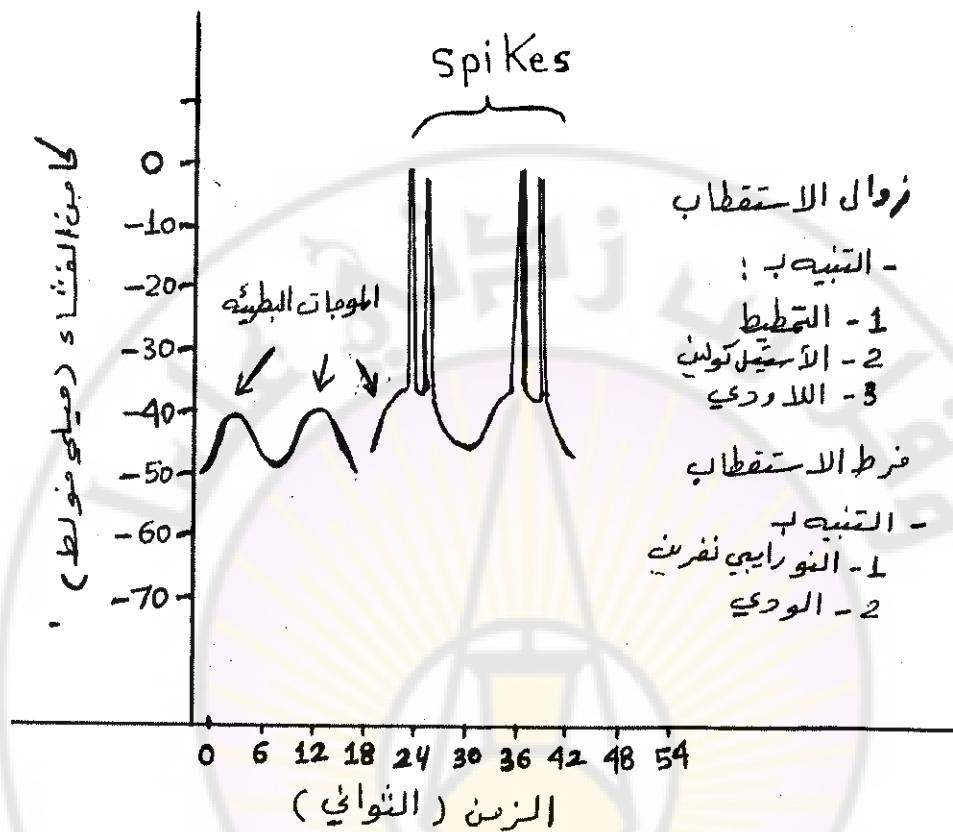
ومن المعتقد أنها ناجمة عن التموجات البطيئة لفعالية الضخ في مضخة الصوديوم-بوتاسيوم.

لا تسبب الموجات البطيئة بذلك تقلص العضلة بشكل مباشر عادةً وإنما تقوم بالتحكم بظهور الشوكة الكمونية التي تؤدي فعلياً إلى تقلص العضلة.

## ٢- الشوكة الكمونية Spike potentials

تعتبر **Spike potentials** كوامن فعل حقيقة وتحدث تلقائياً عندما يصبح كامن الراحة لغشاء العضلة الملساء الهضمية أكثر إيجابية من  $-40$  ميلي فولط (يتراوح كامن الراحة للغشاء السوي بين  $-50$  و  $-60$  ميلي فولط). يلاحظ من الشكل (٤١) أنه في كل مرة ترتفع فيها ذرى الموجات البطيئة لتتصبح أقل سلبية من  $-40$  ميلي فولط تظهر عندئذ كوامن العمل على هذه الذرى وكلما كان ارتفاع كامن الموجة البطيئة أعلى من هذا المستوى كان تكرار كوامن العمل أكبر وهي تتراوح عادةً بين  $10-1$  ميلي ثانية.

تدوم الشوكة الكمونية في العضلة الملساء الهضمية مدة أطول بـ  $10-40$  ضعفاً من مدة كامن الفعل في الألياف العصبية الكبيرة إذ تدوم كل شوكة كمونية من  $20-10$  ميلي ثانية. كما يوجد فرق آخر مهم بين كوامن فعل العضلة الملساء الهضمية وكوامن الفعل في الألياف العصبية حيث تندحر كوامن الفعل بشكل كامل تقربياً من الدخول السريع لشوارد الصوديوم عبر قنوات الصوديوم إلى داخل الألياف بينما بالنسبة للعضلة الملساء الهضمية تكون القنوات المسئولة عن كوامن الفعل مختلفة تماماً، إذ إنها تسمح بشكل رئيسي بدخول أعداد كبيرة من شوارد الكالسيوم مع أعداد أقل بكثير من شوارد الصوديوم عبر قنوات تدعى قنوات الصوديوم-الكالسيوم. تتميز هذه القنوات بأها أبطأ افتتاحاً وأبطأ انغلاقاً من قنوات الصوديوم السريعة بكثير.



الشكل (٤١) كامن الغشاء في عضلة ملساء مغوية، يشاهد في الشكل الموجات الطبيعية وكامن السفة وزوال استقطاب كامل وفرط استقطاب وتحدث جميعها تحت ظروف فيزيولوجية مختلفة.

#### التعديلات في فولطاج كامن الراحة الغشائي.

يوجد بعض العوامل التي تزيل استقطاب الغشاء (أي تجعله أكثر استشاره) هي:

- تقطّط العضلة.
- التسبّب بالأستييل كولين.

- التنبه بواسطة هرمونات هضمية نوعية متعددة.
- أما العوامل الماءة التي تجعل كامن الغشاء أكثر سلبية (أي التي تؤدي إلى فرط استقطاب و يجعل الليف العضلي أقل استشاراً) فهي:
  - التوراينفرين أو الأبيينفرين على غشاء العضلة.
  - تنبه الأعصاب الودية التي تفرز التوراينفرين عند نهايتها.

### **شوارد الكالسيوم والتقلص العضلي**

التقلص التوتري للعضلة الملساء الهضمية.

تبدي بعض العضلات الملساء في الأنابيب الهضمي تقلصات توتيرية إضافة أو عوضاً عن التقلصات النظمية. تكون هذه التقلصات مستمرة وغير مترافقه مع النظم الكهربائي الأساسي للموجات البطيئة.

قد تتفاوت شدة التقلصات زيادةً أو نقصاناً لكنها تحافظ على استمراريتها.

تنجم التقلصات التوتيرية عن:

١. سلسلة متعاقبة من كوامن السفة.
٢. في بعض الأحيان عن الهرمونات أو العوامل الأخرى التي تسبب زوال استقطاب جزئي متواصل في الغشاء العضلي الأملس دون إحداث كوامن فعل.

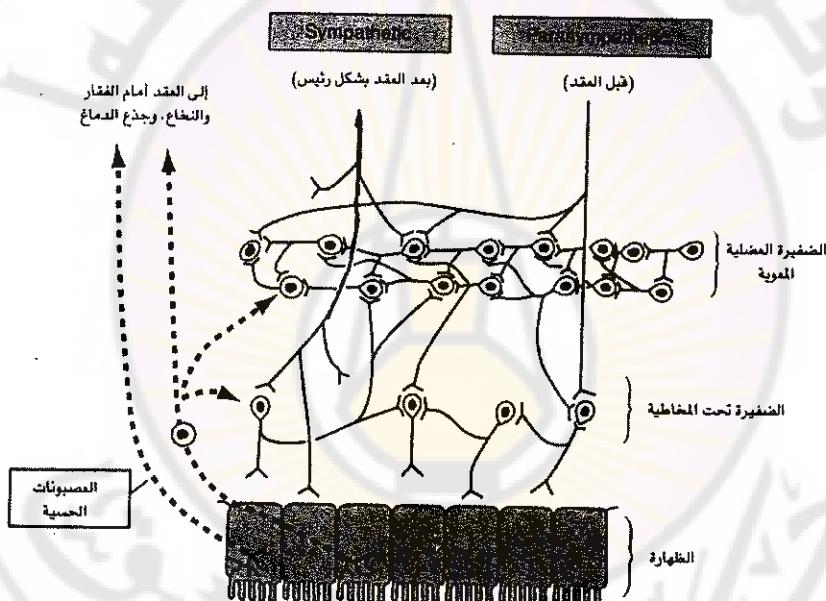
٣. الدخول المستمر لشاردة الكالسيوم .

### **التحكم العصبي بوظيفة الهضم**

يمتلك السبيل الهضمي جملة عصبية خاصة به تدعى الجملة العصبية المغوية Enteric Nervous System.

تتوسط هذه الجملة بأكملها في جدار المعي، وتبدأ في المري ومتقد حتى تصل إلى الشرج. يبلغ عدد العصبونات في هذه الجملة ١٠٠ مليون عصبون تقريباً، وهذا الرقم يساوي تقريباً عدد العصبونات في كامل النخاع الشوكي مما يوضح أهمية الجملة المعاوية في التحكم بالوظيفة الهضمية، حيث تقوم بالتحكم بالحركات الهضمية وبالإفراز بشكل خاص.

تتألف الجملة العصبية المعاوية بشكل رئيسي من ضفيرتين - كما هو موضح في الشكل (٤٢).



الشكل (٤٢) الجملة العصبية الذاتية واتصالها مع الجملة العصبية المعاوية.

١. ضفيرة خارجية تتواجد بين الطبقتين العضلتين الدائرية والطولانية وتدعى الضفيرة المعاوية العضلية Myenteric Plexus أو ضفيرة اورباخ.

٢. ضفيرة داخلية تدعى الضفيرة تحت المخاطية أو ضفيرة مايسنر وتتوسط في الطبقة تحت المخاطية.

يوضح الشكل (٤٢) الاتصالات العصبية ضمن وبين هاتين الضفيرتين، وتحكم الضفيرة المغوية العضلية بالحركات الهضمية بشكل رئيسي، بينما تحكم الضفيرة تحت المخاطية بالإفراز الهضمي والجريان الدموي الموضعي بشكل رئيسي.

يلاحظ في الشكل (٤٢) الألياف الودية واللاودية التي تتصل مع كل من الضفيرتين تحت المخاطية والمغوية العضلية. وعلى الرغم من أن الجملة العصبية المغوية يمكنها أن تقوم بوظيفتها باستقلال تام عن هذه الأعصاب الخارجية، إلا أن تبه الجملتين الودية أو اللاودية يمكنه أن يزيد فعالية الوظائف الهضمية أو ينقصها.

كما يظهر في الشكل (٤٢) نهايات العصب الحسية التي تنشأ في الظهارة الهضمية أو في جدار المعي ومن ثم تقوم بإرسال ألياف واردة إلى كل من ضفيري الجملة المغوية وإلى العقد أمام الفقرية التابعة للجملة العصبية الودية أيضاً. يذهب بعضها عبر الأعصاب الودية إلى النخاع الشوكي وبعضها الآخر عبر المبهمين إلى جذع الدماغ. تقوم هذه الأعصاب الحسية بتحريض منعكسات موضعية ضمن المعي نفسه بالإضافة إلى منعكسات أخرى تعود إلى المعي من العقد أمام الفقار أو الجملة العصبية المرkitية.

التحكم بالسبيل الهضمي من قبل الجملة العصبية المستقلة

### ١- التعصيب اللاودي **Parasympathetic Innervation**

يقسم التعصيب اللاودي للمعي إلى جزء قحفي وجزء عجزي. تصل ألياف الجزء القحفي إلى السبيل الهضمي بواسطة العصبين المبهمين باشتثناء بضعة ألياف تصل إلى نواحي الفم والبلعوم. تؤمن هذه الألياف تعصيباً غيراً للكل من المريء، المعدة، المعشقة والنصف الأول من الأمعاء الغليظة وبشكل أقل غزاره للأمعاء الدقيقة.

تنشأ ألياف القسم العجزي من الشدف العجزية الثانية والثالثة والرابعة للنخاع الشوكي ثم تمر عبر الأعصاب الحوضية إلى النصف القاuchi من المعي الغليظ. يؤدي تنبية الأعصاب اللاودية إلى زيادة فعالية كامل الجملة العصبية المعوية مما يعزز فعالية معظم الوظائف الهضمية ولكن ليس على الإطلاق إذ توجد بعض العصبونات المعوية المشبطة تعمل على تثبيط وظائف معينة.

## ٢- التعصيب الودي **Sympathetic Innervation**

تنشأ الألياف الودية العصبية للسبيل الهضمي من الشدف الصدرية الخامسة وحتى القطنية الثانية للنخاع الشوكي. تقوم الأعصاب الودية بتعصيب جميع أجزاء السبيل الهضمي تقريباً ولكنها أكثر غزارة في أقسام السبيل الهضمي القريبة من الفم أو الشرج.

يؤدي تنبية الجملة العصبية الودية إلى تثبيط فعالية السبيل الهضمي محدثاً تأثيرات معاكسة لتأثيرات الجملة اللاودية.

### التحكم الهرموني بالتحريك الهضمي

بالإضافة إلى التحكم العصبي بالسبيل الهضمي لابد من الإشارة إلى عدة هرمونات تؤثر بشكل مهم على السبيل الهضمي سواء من ناحية الإفراز أم من ناحية حركية بعض أجزاء السبيل الهضمي وأهم هذه الهرمونات :

١. الغاسترين. يفرز من قبل خلايا متوضعة في مخاطية غار المعدة وال贲ح ويختصر إفراز هذا الهرمون لعوامل متعددة أهمها تنبية المبهم ومدد غار المعدة وارتفاع

الـ PH . يعمل هذا الهرمون على إفراز الحمض من المعدة.

٢. السكريتين. يفرز من مخاطية الع贲ح استجابة للعصارة المعدية الحامضة المنفرجة من المعدة عبر البواب وله تأثير مشبطة معتدل على تحريك معظم أجزاء السبيل الهضمي.

٣. الكوليسيستوكينين. يفرز من مخاطية الصائم بشكل رئيسي استجابة لوجود المواد الدسمة في محتويات الأمعاء، وله تأثير هام وشديد في زيادة قلوصية المراة.

٤. البيبيتيد المعوي المثبط. يفرز من قبل مخاطية الجزء العلوي من الأمعاء الدقيقة استجابة للدسم بشكل رئيسي وللسكريات بدرجة أقل وله تأثير معتدل في إنقاص الفعالية الحركية للمعدة.

الأنماط الوظيفية للحركات في السبيل الهضمي  
يحدث نمطان أساسيان من الحركات في السبيل الهضمي.

#### ١- الحركات الدفعية .

تسبب هذه الحركات تحرك الطعام إلى الأمام على طول السبيل الهضمي وبمعدل ملائم للهضم والامتصاص. إن الحركة الدفعية الأساسية في السبيل الهضمي هي التموج Peristalsis وهي خاصة متصلة في كثير من الأنابيب العضلية الملساء المخلوية ويمكن لتبنيه أي نقطة أن يؤدي إلى ظهور حلقة قلوصية تنتشر على طول الأنوب. يعد التمدد هو المتبه المعتمد للتموج فإذا تجمعت كمية كبيرة من الطعام في أي نقطة من المعي فإن تقطط الجدار المعوي سيتبه المعي فوق هذه النقطة بـ ٣-٢ سم فتظهر حلقة قلوصية تطلق الحركة التموجية.

#### ٢- الحركات المازجة.

تحتليف الحركات المازجة باختلاف أقسام السبيل الهضمي، وفي بعض الأجزاء تسبب التقلصات التموجية نفسها معظم المزج، وتحدث في أجزاء أخرى تقلصات مضيقية موضعية كل بضعة سنتمرات في جدار المعي. والهدف الرئيسي من هذه الحركات الحفاظ على محتويات الأمعاء ممزوجة بشكل جيد.

## الفصل الرابع عشر

### الوظائف الإفرازية للسبيل الهضمي

تعمل الغدد الإفرازية في السبيل الهضمي على أداء وظيفتين رئيسيتين:

١. إفراز إنزيمات هاضمة في أغلب مناطق السبيل الهضمي بدءاً من الفم وحتى النهاية القاصية للفاقي.
٢. إفراز المخاط الذي يقوم بوظيفة الترقيق والحماية لكل أجزاء السبيل الهضمي.

تشكل غالبية المفرزات الهضمية فقط استجابةً لوجود الطعام في السبيل الهضمي وتكون هذه الاستجابة كمية ونوعية.

#### الأسس العامة للإفراز في السبيل الهضمي

أولاً: الأنماط التشريحية للغدد في السبيل الهضمي:

١. الغدد المخاطية ذات الخلايا المفردة.
  - تنتشر على سطح معظم مناطق الأنابيب الهضمي.
  - تقوم بوظيفتها بشكل رئيسي استجابة للتبيني الموضعي للظهوراء.
  - تطرح مخاطها مباشرةً إلى السطح الظهاري لتقوم بفعل مزلق وحامى.
- ٢-(وهدات Pits) انفلاغفات ظهارية إلى ما تحت المخاطية تدعى خبايا ليبركون وهي عميقة وتحوي خلايا إفرازية متخصصة.
- ٣-الغدد الأنبوية العميقة (المعدة وأعلى العفج) ومثلها الغدة المفرزة للحمض ومولد البيسين في المعدة.

### ٣- الغدد المركبة (الغدد اللعائية والمعثكلة والكبدي).

#### ثانياً- الآليات الرئيسية المتبعة لغدد السبيل الهضمي

##### ١. تأثير التماس الموضعي للطعام مع الظهارة.

يساهم وجود الطعام (التماس الميكانيكي للطعام مع الظهارة) إلى قيام غدد تلك المنطقة والمناطق المجاورة لها بإفراز كميات كبيرة إلى معتدلة من العصارات الهاضمة. (جزء يعود للتماس المباشر والأخر للحملة العصبية المعوية)

وأنماط التنبيه التي تقوم بذلك هي:

- التنبيه اللمسي.
- التهيج الكيميائي.
- تمدد جدران الأنابيب الهضمية.

وتبيه المنعكفات العصبية الناتجة كلاً من الحاليا المخاطية على السطح الظهاري والغدد الأعمق في المخاطية بحيث تزيد إفراز هاتين المجموعتين.

#### ٢- تببيه الجملة العصبية المستقلة

- تببيه نظير الودي يؤدي إلى ازدياد معدلات الإفراز في أغلب غدد السبيل الهضمي (غدد القسم العلوي من السبيل الهضمي (العصبة بالتناسع والعشر) وهذا صحيح في غدد القسم البعيد من المعي الغليظ المعصبة بالأعصاب الحوضية نظيرة الودية (الإفراز فيما تبقى من الأمعاء الدقيقة وثلاثي الأمعاء الغليظة يحدث بشكل رئيسي استجابةً لنبهات عصبية وخلطية موضعية.
- تببيه الودي يؤدي إلى زيادة خفيفة إلى معتدلة في الإفراز من قبل بعض الغدد وتقبض الأوعية الدموية المغذية لهذه الغدد.

له تأثير مزدوج وحده وإذا جاء بعد تنبية لاودي أو هرموني يؤدي إلى نقص الإفراز.

### ٣-تنظيم الإفراز الغدي بوساطة الهرمونات

توجد في المعدة والأمعاء هرمونات هضمية مختلفة تساعد في تنظيم حجم وميزات المفرزات، وتتحرر هذه الهرمونات من المخاطية الهضمية استجابة لوجود الأطعمة في لعنة المعوي، ومن ثم تختص هذه الهرمونات إلى الدم وتحمل معه إلى الغدد حيث تنبه الإفراز، وهذا النمط من التنبية قيمة هامة في زيادة نتاج العصارة المعدية والعصارة المغذكية لدى دخول الطعام إلى المعدة أو العفج، كما أن التنبية الهرموني لجدار المريارة يؤدي إلى إفراج الصفراء المخزونة فيها إلى العفج.

### خصائص المخاط وأهميته في السبيل الهضمي

إن المخاط عبارة عن مفرز لزج مكون بشكل رئيسي من الماء والكتهارل ومزيج من عدة بروتينات سكرية (عديدات السكرييد المرتبطة مع كميات صغيرة من البروتينات). يختلف المخاط بشكل طفيف بصفاته وخصائصه بين منطقة وأخرى في السبيل الهضمي لكنه أينما وجد فإنه يمتلك ميزات هامة ومتعددة تجعله مزلاقاً وحامياً ممتازاً لجدار الأنابيب الهضمي.

إن هذه الخصائص:

- خصائص لاصقة تجعله يتصلق بشدة مع الطعام أو الجزيئات الأخرى وينتشر على شكل فلم رقيق على سطحها.
- يملك المخاط حجماً كافياً يغطي جدار الأنابيب الهضمي ويمنع التماس الفعلي بجزئيات الطعام مع المخاطية.
- للمخاط مقاومة منخفضة تجاه الانزلاق.

- يسبب التصاق الجزرئيات الغائطية مع بعضها ليسهل عملية طرحها.
- يقوم المخاط بشدة المضم بالإنزيمات المضمية.
- للبروتينات السكرية خصائص مذبذبة (يمكن أن يعمل كحمض أو كأساس).
- يحوي كمية من شوارد البيكربونات.

## المعدة

إن الوظيفة الرئيسية للمعدة هي استيعاب وتخزين الطعام وخلطه بشكل جيد مع مفرزات المعدة ومن ثم إرساله على شكل دفعات بشكل يتوافق مع قدرة الأمعاء على الهضم والامتصاص، وعلى الرغم من ذلك، فإن بعضاً من المضم وكمية قليلة من الامتصاص تحصل في المعدة.

## الوظائف الحركية للمعدة

يمكن تصنيف الوظائف الحركية للمعدة في ثلاث جمادات:

١. تخزين كميات كبيرة من الطعام إلى أن يصبح بالإمكان احتواها في العفج.

٢. مزج الطعام بالمفرزات المعدية حتى يتشكل مزيج نصف سائل يدعى الكيموس.

٣. الإفراج البطيء لكتويات المعدة إلى الأمعاء الدقيقة وبمعدل ملائم للهضم والامتصاص في الأمعاء الدقيقة.

## الوظائف الإفرازية للمعدة

تتضمن مفرزات المعدة مايلي:

- حمض كلور الماء (وظيفته تأمين وسط ملائم لعمل أنزيمات المعدة ، كما أنه يشكل الوسط الملائم لتحول مولد البيسين إلى البيسين).
  - المخاط (وظيفة المخاط حماية جدار المعدة من تأثيرات كل من حمض كلور الماء ومن تأثيرات الأنزيمات المعدية).
  - البيسين. يُفرز هذا الأنزيم على شكل طليعة أنزيم هو مولد البيسين ويتحول إلى الشكل الفعال بوجود حمض كلور الماء . وظيفة هذا الأنزيم هضم البروتينات وخاصة البروتينات المتواجدة في اللحوم .
  - هرمون الغاسترين. يلعب دوراً هاماً في التحكم بالإفراز المعدني إضافةً إلى دوره الأقل أهمية في الحركة المعدية.
  - إفراز العامل الداخلي. يعد العامل الداخلي مادة أساسية لامتصاص الفيتامين ب ١٢ .
- تنظيم الإفراز المعدني.**

إن العوامل الأساسية التي تنبئ بالإفراز المعدني هي:

١. الأستيل كولين . الناقل العصبي الذي يُفرز من نهايات العصب المهم استجابةً لجموعة من العوامل أهمها رائحة الطعام ورؤية الطعام وحتى تذكرة الطعام وجود الطعام في المعدة .
٢. الغاسترين. هرمون يُفرز استجابةً لتتبّع المهم ولوجود الطعام في المعدة.

٣. الميستامين. تتشكل على الدوام كمية قليلة من الميستامين في المخاطية المعدية وذلك إما استجابةً لوجود حمض في المعدة أو بسبب عوامل أخرى.

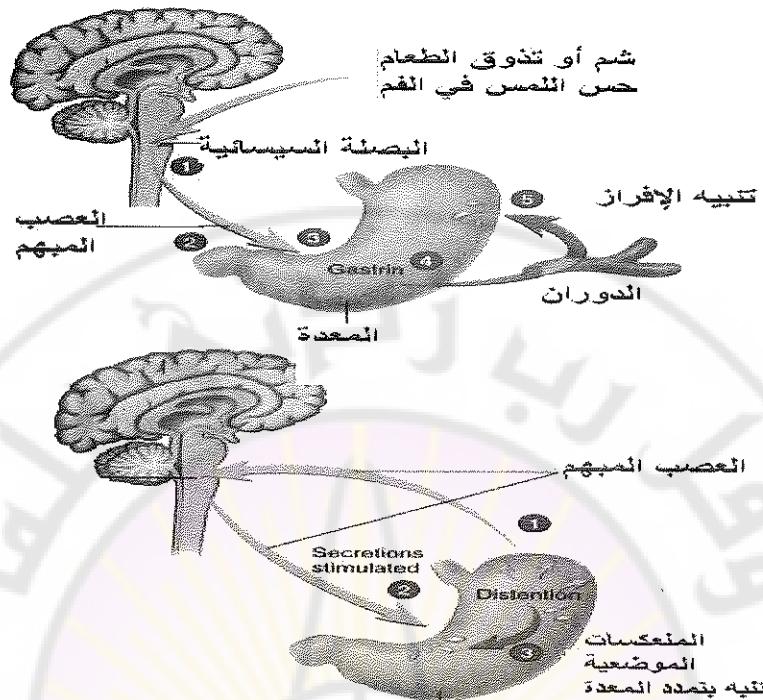
#### مراحل الإفراز المعدني.

يمثل الإفراز المعدني بثلاث مراحل متصلة موضحة في الشكل(٤٣)، ولكن هذه المراحل متداخلة فيما بينها إلى درجة الاندماج.

١. المرحلة الرئيسية. تحدث هذه المرحلة من الإفراز المعدني قبل دخول الطعام إلى المعدة أو في أثناء تناوله وهي ناتجة عن رؤية الطعام أو طعمه أو رائحته أو حتى التفكير به. يُعزى إلى هذه المرحلة نحو حوالي خمس مفرزات المعدة.

٢. المرحلة المعدية. دخول الطعام إلى المعدة يثير آلية إفراز الغاسترين التي تسبب بدورها استمرار إفراز العصارة المعدية، ويعزى لهذه المرحلة من الإفراز حوالي ثلثي المفرزات المعدية.

٣. المرحلة المغوية. يمكن لوجود طعام في القسم العلوي من الأمعاء الدقيقة وخاصةً الفرج أن يدفع المعدة لإفراز كميات صغيرةً من العصارة المعدية، وبشكل عام خلال هذه المرحلة يحدث تشبط في الإفراز المعدني.



الشكل (٤٣) يوضح المراحلين الأولى والثانية من مراحل الإفراز المعدى أما المرحلة الثالثة فهى مرحلة تشريحية.

### المعشكلة

تقع غدة المعشكلة أسفل المعدة وبشكل مواز لها وهي مؤلفة من قسمين:

- القسم خارجي الإفراز. يشكل حوالي ٩٥٪ من المعشكلة ويقوم بإفراز الأنزيمات التي تقوم بضم مختلف أنواع الطعام إضافةً لإفرازها العصارة المعشكليّة التي تلعب دوراً هاماً في تعديل العصارة المعدية الحمضية وتؤمن الوسط الملائم لعمل أنزيمات المعشكلة.

٢. القسم داخلي للإفراز . يشكل هذا القسم حوالي ٥٥٪ من المعنكلاة ويقوم بإفراز مجموعة من الهرمونات إلى الدم مباشرةً.

### الإفراز المعنكلي

تُفرز العصارة المعنكلاة بغزارة استجابة لوجود الكيموس في الأجزاء العلوية من المعي الدقيق وتحدد خصائص العصارة المعنكلاة إلى حد ما بأنماط الطعام في الكيموس.

تحتوي العصارة نوعين من المفرزات:

#### ١. الأنزيمات:

• الهاضمة للبروتينات (التربيسين، الكيموتروبيسين، الكربوكسي بولي بيتيداز) . وظيفة هذه الأنزيمات هضم البروتينات إلى بيتيدات مختلفة الحجم.

• الهاضمة للسكريات (الأمیلاز المعنكلي الذي يحلمه النشاء والغليکوجین ومعظم السكريات الأخرى (عدا السللوز) ويجوها إلى ثلاثيات وثنائيات السكريد.

#### • الهاضمة للدهن:

١. اللياز المعنكلاة (حلمه الدسم المعتدلة إلى حموض دسمة ووحيدات الغليسيريد).

٢. إستراز الكولستروول (يحلمه استرات الكولستروول).

٣. الفوسفوليزي (يشطر الحموض الدسمة من الشحميات الفوسفورية).

٤. شوارد البيكاربونات والماء. تفرز المعنكلاة عصارة قلوية تلعب دوراً هاماً في تعديل العصارة المعدية وفي تأمين وسط ملائم لعمل أنزيمات المعنكلاة.

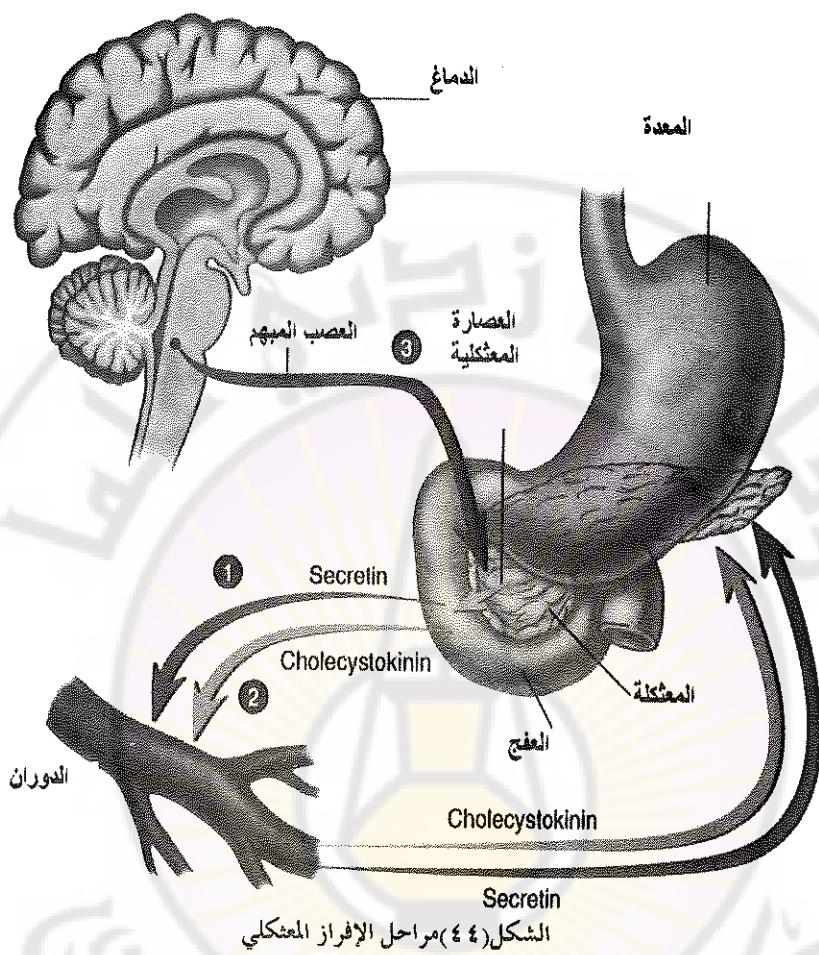
## **تنظيم الإفراز المثكلـي:**

**محضات الإفراز المثكلـي هي ثلاثة منبهات أساسية:**

**١. الأستيل كولين.** ناقل عصبي يُفرز من نهايات العصب المبهم ويحرض المثكلة على إفراز الأنزيمات.

**٢. الكولي سيستوكينـين.** يُفرز من مخاطية العفع والصائم استجابة لوجود نوافع هضم أولية للبروتينات وحموض دسمة طويلة السلسلة (يحدث ذلك عند دخول الطعام المهضوم جزئياً إلى المعي الدقيق) ويحرض المثكلة على إفراز الأنزيمات.

**٣. السكريـتين.** يُفرز من مخاطية العفع والصائم استجابة لدخول طعام عالي الحموضة إلى الأمعاء الدقيقة ويقوم هذا الهرمون بتحريض المثكلة على إفراز كميات كبيرة من محلول بيكاربونات الصوديوم.



### التأثير المضاعف ل مختلف المنبهات.

إذا حدثت جميع منبهات الإفراز المعثكلي في وقت واحد يصبح الإفراز أكبر بكثير من مجموع إفرازاتها كلاً على حدة.

### مراحل الإفراز المعثكلي.

يحصل الإفراز المعثكلي في ثلاث مراحل مختلفة ، هي نفسها مراحل الإفراز المعدى.

- المرحلتان الرأسية والمعدية. تُفرز ٢٠٪ من الأنزيمات خلال المرحلة الرأسية وكمية قليلة من البيكاربونات والماء، كما تُفرز ٥-١٠٪ من الأنزيمات خلال المرحلة المعدية وايضاً كمية قليلة من البيكاربونات والماء.
- المرحلة المغوية. يحدث إفراز غزير للماء والبيكربونات استجابة للسكريين مما يساعد في تحرك جميع مفرزات المغوية بما فيها الأنزيمات إلى العفج(الشكل

(٤٤)

### **الإفراز الصفراوي للكبد**

يعتبر الإفراز الصفراوي للكبد من أهم الوظائف التي يقوم بها ، تبلغ الكمية المفرزة في الحالة السوية (٦٠٠ - ١٠٠٠) مل/يوم .  
تقوم الصفراء بوظيفتين هامتين:

- ١- هضم وامتصاص الدسم (الحموض الصفراوية). لا يوجد في الصفراء أي إنزيم هاضم للدهون ولكن يأتي دور الصفراء في هضم الدهن من خلال:
  - استحلاب جزيئات الدهن الكبيرة(إنفاص التوتير السطحي لجزئيات الدهن)
  - تساعد في عملية امتصاص الدهن المهضومة .
- ٢- تخدم كوسيلة لإفراج عدة فضلات هامة من الدم أهمها البيليروبين .

### **التشریح الفیزیولوژی للإفراز الصفراوي.**

- تُفرز الصفراء من الكبد على مرحلتين.
- ١-المفرز الأولي. يُفرز من الخلايا الكبدية بالخاصة ويكون من الحموض الصفراوية والكوليسترون ومكونات عضوية أخرى .
  - ٢-المفرز النهائي. يتبع بإضافة الماء والكهارل( محلول بيكربونات الصوديوم والماء) إلى المفرز الأولي في أثناء مروره بالقنوات الصفراوية .

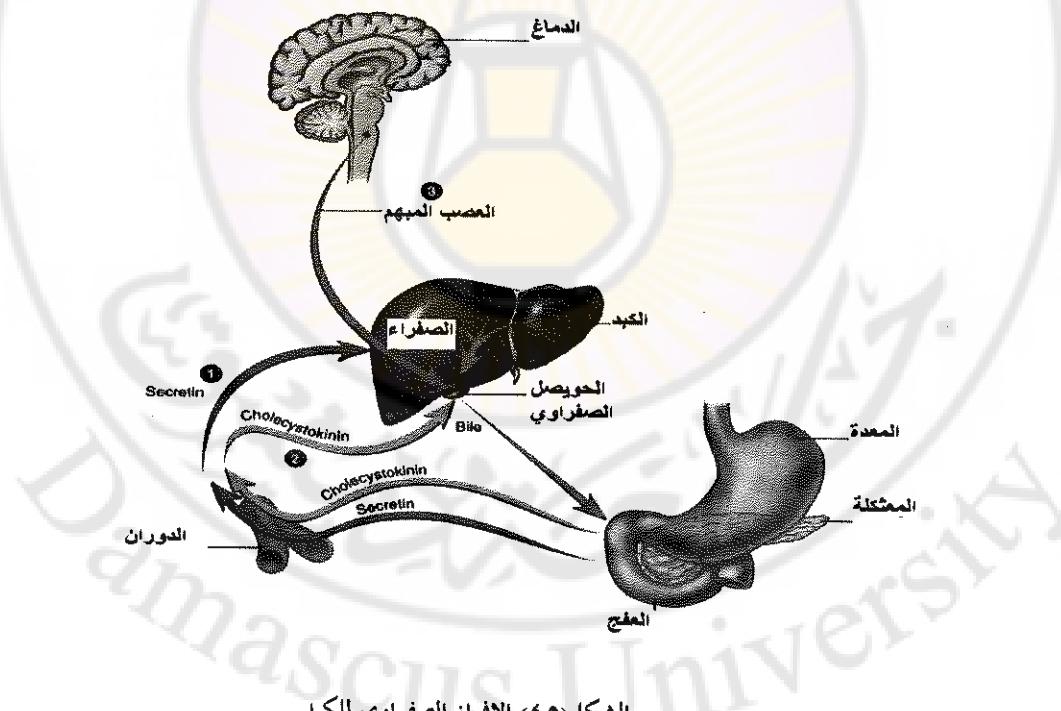
## تخزين وتركيز الصفراء في المرارة.

يدخل المفرز الصفراوي النهائي إلى المرارة ويُخزن فيها إلى حين الحاجة له.

تستطيع المرارة تخزين ٦٠-٣٠ مل فقط من المفرز الصفراوي ومع ذلك فهي تمتلك القدرة على تخزين مفرزات ١٢ ساعة من الصفراء عن طريق امتصاص الماء والشوارد وزيادة تركيز الصفراء إلى عدة أضعاف، يزداد تركيز الصفراء في الحالات السوية خمسة أضعاف ويمكن أن يصل في الحالات القصوى إلى ٢٠ ضعفاً.

## إفراغ المرارة.

يحدث إفراغ المرارة لحتوياتها إلى العفج بعد ٣٠ دقيقة من الوجبة الغنية بالدهن ويحدث ذلك بوساطة حدوث تقلصات نظمية في جدار المرارة يتبعها ارتخاء معصنة أولدي.



الشكل(٤٥) الإفراز الصفراوي للكبد.

## الفصل الخامس عشر

### الغدد الصم

#### مقدمة

يتم تنظيم مختلف وظائف الجسم بواسطة جهازي تحكم رئيسيين :

١. الجهاز العصبي
  ٢. الجهاز الهرموني أو جهاز الغدد الصم . Endocrine system
- و يُعني الجهاز الهرموني بشكل رئيسي بالتحكم بالوظائف الاستقلالية المختلفة في الجسم مثل معدلات التفاعلات الكيميائية في الخلايا أو نقل المواد عبر أغشية الخلايا أو المظاهر الأخرى للاستقلاب الخلوي مثل النمو والإفراز.

توجد علاقات متبادلة بين الجهازين الهرموني والعصبي، فعلى سبيل المثال توجد غدتان تفرزان هرموناً هما بشكل كامل تقريراً استجابة لنبهات عصبية مناسبة لها لب الكظر والغدة النخامية، و بالمقابل فإن الجهاز العصبي يتأثر بهرمونات بعض الغدد مثل التирوكسين الذي يفرز من الغدة الدرقية.

#### طحة عن الغدد الصم الهامة و هرموناتها

#### ١- هرمونات الوطاء Hypothalamic hormones

يعتبر الوطاء وهو جزء من الجملة العصبية غدة صماء، و يتم تركيب عدة هرمونات في أجسام الخلايا العصبية الموجودة في الوطاء، ثم ترسل إلى الغدة النخامية بواسطة مسلكين:

1. عبر المخاور الاسطوانية التي تنتهي في منطقة البارزة الناصفة Median eminence حيث تتحرر من نهاياتها إلى الدم الذي يغذي النخامى الغدية (الفص الأمامي للغدة النخامية).

2. عبر المخاور الاسطوانية التي تصل مباشرة إلى الفص الخلفي للغدة النخامية كما يظهر في الشكل (٤٦).

الهرمونات أو الحثاثات التي تفرز من الوطاء يفرز الوطاء عدداً من الهرمونات أو الحثاثات التي تنبه أو تبسط إفراز النخامى هي :

١. الهرمون المطلق للحالة الدرقية

**Thyrotropin-releasing hormone (TRH)**

٢. الهرمون المطلق للحالة القشرية

**Corticotropin-releasing hormone (CRH)**

٣. العامل المحرر لهرمون النمو

**Growth hormone-releasing factor (GRF)**

٤. السوماتوستاتين (العامل المثبط لهرمون النمو)

**Growth-inhibiting H. (GIH)**

٥. الهرمون المحرر لحالة الأقناد

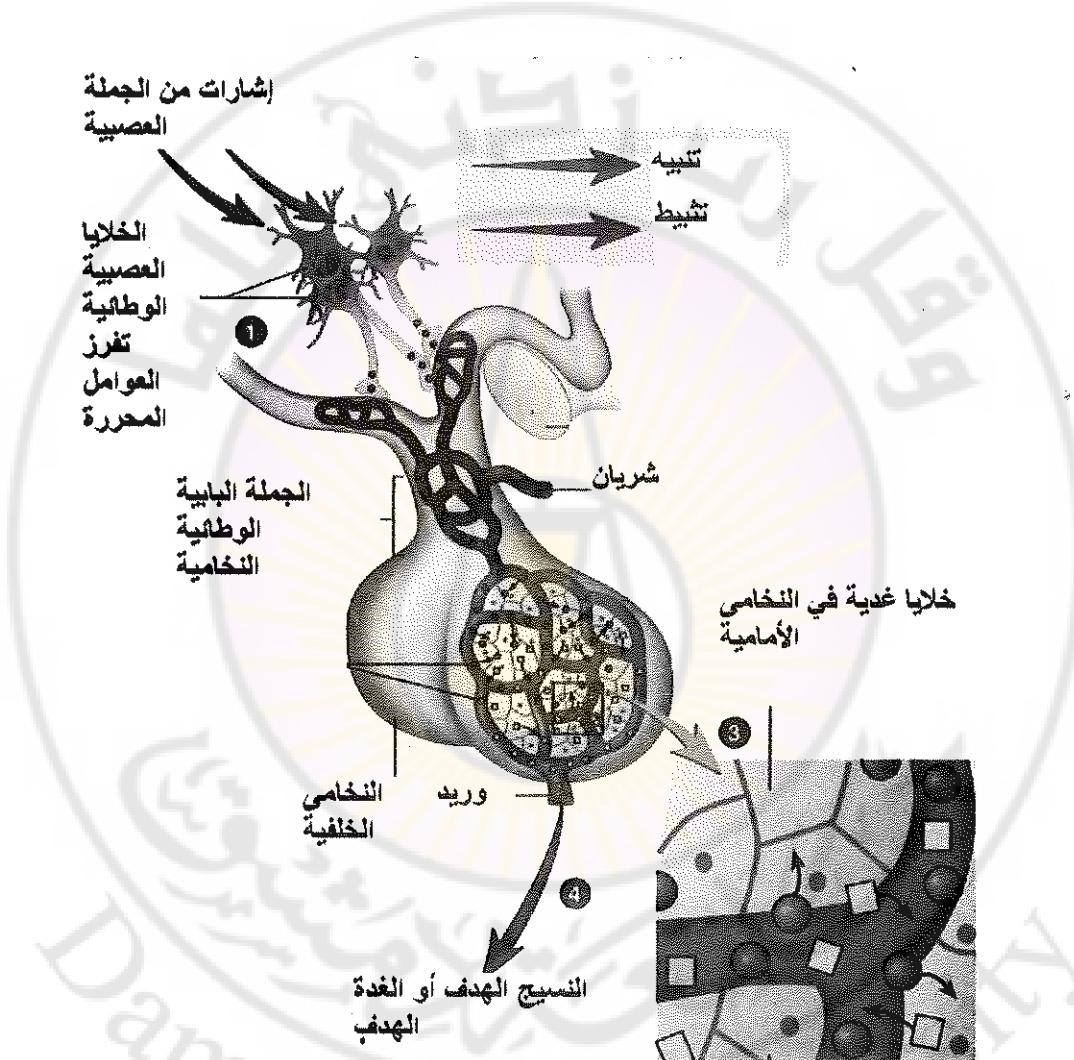
**Gonadotropin-releasing hormone (GnRH)**

٦. العامل المثبط للبيرولاكتين (PIF)

٧. العامل المحرر للبيرولاكتين

**Prolactin-releasing hormone (PRH)**

تفرز هرمونات الوطاء تحت تأثير تنظيم عصبي يتضمن إفراز بعض النواقل العصبية (السيروتونين و الكاتيكولامينات)، كما ينظم إفرازها أيضاً بجملة التلقيم الراجع الدموية التي تتضمن نواتج إفرازية من منشأ نخامي و من الخلايا الصماءية الهدف.



(٤). المخور الوظائي النخامي وظهور فيه المراحل المختلفة لإفراز الهرمونات بدءاً من كسوام العمل التي تخرج من الجملة العصبية وصولاً إلى الهرمونات التي تصل الأعضاء الهدف.

## **الغدة النخامية وعلاقتها بالوطاء**

إن الغدة النخامية عبارة عن غدة صغيرة وزنها ٥ - ١٠ غ وتقع ضمن السرج التركي عند قاعدة الدماغ، وترتبط مع الوطاء بوساطة السوسيقة النخامية، ويمكن تقسيم الغدة النخامية فيزيولوجياً إلى قسمين منفصلين: النخامي الأمامي التي تُعرف بالنخامي الغدي والنخامي الخلفي والتي تُدعى كذلك بالنخامي العصبي.

تُفرز من النخامي الأمامي ستة هرمونات بيبيدية هامة جداً إضافة إلى عدة هرمونات أقل أهمية، ويُفرز من النخامي الخلفي هرمونان هامان. تلعب النخامي الأمامية الدور الرئيس في ضبط الوظائف الاستقلالية في كامل الجسم، والهرمونات التي تفرزها النخامي الأمامي هي:

١- هرمون النمو Growth hormone : يؤدي إلى نمو جميع خلايا ونسج الجسم تقريرياً.

### **الوظائف الفيزيولوجية لهرمون النمو**

تمارس جميع هرمونات النخامي الأمامي الرئيسية (عدا هرمون النمو) تأثيراًها الأساسية بوساطة تنبيه الغدد الهدفية (الغدة الدرقية، قشر الكظر، المبيضين، الخصيتين، غدد الثدي) وترتبط وظيفة كل من هذه الهرمونات بوظائف الغدد الهدفية المعينة أما فيما يخص هرمون النمو فإن تأثيراته:

أ-تأثير هرمون النمو على النمو.

يسبب هرمون النمو نمو جميع نسج الجسم القابلة للنمو تقريرياً فهو يحرض زيادة في عدد الخلايا (يحرض الانقسام الفتيلي) ويزيد في حجم الخلايا، كما يحرض التمايز النوعي لأنماط معينة من الخلايا مثل خلايا النمو العظمي والخلايا العضلية الباكرة.

ب-التأثيرات الاستقلالية لهرمون النمو.

- زيادة اصطناع البروتين في جميع خلايا الجسم .

- زيادة تحرير الهرمون الدسمة من النسج الشحمية، وزيادة استعمال الهرمون الدسمة للحصول على القدرة.
  - إنفاس استعمال الغلوكوز في جميع أنحاء الجسم.
- يمارس هرمون النمو معظم تأثيراته بواسطة مواد وسيطة تدعى السوماتوميدينات. عندما يُضاف هرمون النمو مباشرةً إلى خلايا غضروفية مزروعة خارج الجسم، فإن هذه الخلايا تفشل في التكاثر أو النمو، بينما يسبب زرق هرمون النمو إلى حيوان سليم إلى تكاثر ونمو الخلايا نفسها.

وباختصار فقد وجد أن هرمون النمو يحرض الكبد على تشكيل (ورما نسج أخرى إنما بشكل أقل) بروتينات متعددة صغيرة تدعى السوماتوميدينات وهي بدورها تملك تأثيراً قوياً جداً في زيادة جميع مظاهر النمو العضلي.

٢- موجهة قشر الكظر (ACTH)  
تحكم بإفراز بعض هرمونات قشر الكظر التي تؤثر بدورها في استقلاب الغلوكوز والبروتين والدهون.

٣- الهرمون الحاث للدرق (TSH)  
يبحث الغدة الدرقية على إفراز هرموناتها (التiroكسين وثالث يود التيروين).

٤- الهرمون الحاث للجريبات  
.Follicle-stimulating hormone (FSH)

يحرض على نمو الجريبات في المبيضين قبل الإباضة، و يحرض تشكيل النطاف في الخصيتين.

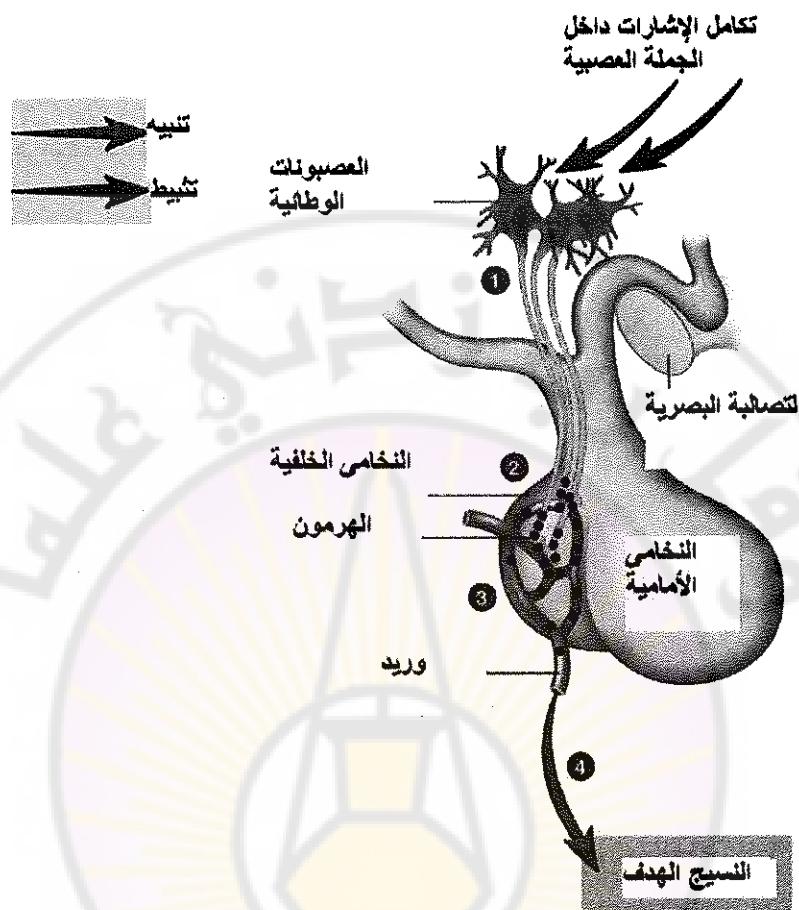
٥- الهرمون الملوتن (LH):  
يلعب دوراً هاماً في إحداث الإباضة، و يحرض إفراز الهرمونات الجنسية الأنوثية من المبيضين و التستوستيرون من الخصيتين.

- ٦- البرولاكتين **Prolactin** : ينهي نمو الثديين و تكوين الحليب.
- ٧- الهرمون الحاث للخلية الملانية **Melanocyte-stimulating H.**

### هرمونات النخامي الخلفية

تتألف الغدة النخامية الخلفية، و تدعى النخامي العصبية أيضاً، من خلايا نخامية تشبه الخلايا الدبقية. لا تفرز هذه الخلايا هرمونات إنما تعمل ببساطة كبنية داعمة للأعداد الضخمة من نهايات الألياف العصبية لسبيل الأعصاب التي تنشأ في النوى فوق البصرية وجنب البطنية للوطاء كما هو موضح في الشكل (٤٧). تمثّل هذه السبيل إلى النخامي العصبية عبر السوسيقة النخامية. إنّ نهايات العصب عبارة عن عقد بصيلية تحوّي عدداً من الحبيبات الإفرازية. تتواضع هذه النهايات على سطوح الشعيرات الدموية، وتقوم بإفراز هرمون النخامي الخلفية إليها وهما:

- ١- الهرمون مضاد الإبالة **(ADH)** و يدعى كذلك الفازوبريسين الذي يتحكم بمعدل إطراح الماء إلى البول ويساهم بذلك في ضبط تركيز الماء في سوائل الجسم.
- ٢- الأوسيتوسين الذي يساعد في خروج الحليب من غدد الثدي إلى الحلمتين في أثناء المرض، كما أنه من المحمّل أنه يلعب دوراً في ولادة الجنين عند نهاية الحمل.



الشكل (٤٧). يوضح الشكل الآلية التي تُفرز وفقطها هرمونات النخامي الخلفية

إذا قُطعت السويقية النخامية فوق الغدة النخامية وأُبقي الوطاء بكامله سليماً يتواصل إفراز هرمونات النخامي الخلفية، بعد نقص عابر لعدة أيام، بشكل سوي تقريباً؛ تُفرز بعد ذلك من النهايات المقطوعة للألياف ضمن الوطاء ولا تُفرز من نهايات الألياف العصبية في النخامي الخلفية. يعود السبب في ذلك ، لأن الهرمونات تصنع بدايةً في أجسام الخلايا العصبية الموجودة في النواتين فوق البصرية وجنب البطنية، ثم تنقل بعد

ذلك بمرافقة بروتينات حاملة تدعى النوروفيزينات Neurophysins نحو الأسفل

إلى النهايات العصبية في الغدة النخامية الخلفية وتحتاج عدة أيام كي تصل الغدة.

يتم تشكيل هرمون **ADH** بشكل رئيس في النواة فوق البصرية بينما يتم تشكيل الأوستوسين بشكل رئيس في النواة جنوب البطنية، لكن كلاً من هاتين النواتين تستطيع اصطناع نحو سدس كمية الهرمون الثاني المصنوع في النواة الأخرى.

يفرز الهرمون فوراً من الحبيبات الإفرازية في النهايات العصبية بالية الالتفاظ ويحدث ذلك بعد وصول الدفعات العصبية، الناشئة من أجسام الخلايا في النواتين فوق البصرية وجنوب البطنية، عبر الألياف العصبية المنتهية في الغدة النخامية الخلفية. تختص بعد ذلك إلى الشعيرات المجاورة ويفرز كل من النوروفيزين والهرمون معاً، ولكن كون الارتباط بينها ضعيفاً فإن الهرمون ينفصل فوراً عن النوروفيزين . لا يعرف للنوروفيزين أي وظيفة بعد تركه النهايات العصبية.

### يتم تنظيم إفراز **ADH** بوساطة

١. الضغط التناضحي الكلي لسوائل الجسم ويحدث ذلك بآلية التلقيم الراجع

كمالي: عندما تصبح سوائل الجسم كثيفة بشكل كبير(ازدياد الضغط

التناضحي) تستشار النوى فوق البصرية، بتوسط المستقبلات التناضجية في

**ADH** الوطاء، وتمرر الدفعات العصبية إلى النخامي الخلفية ويفرز **ADH**

وينتقل الهرمون بوساطة الدم إلى الكلي حيث يزيد نفوذية القنوات الجامعة

للماء ، ونتيجة لذلك يعاد امتصاص معظم الماء من السائل النبوي في حين

يستمر فقد الكهارل إلى البول وهذا يمدد السائل خارج الخلايا مما يعيده إلى

تركيزه التناضحي السوي المعتدل.

٢. نقص حجم الدم . إن نقص حجم الدم هو أحد التنبهات المسببة لإفراز

**ADH** ، ويحدث ذلك بشكل شديد عندما ينخفض حجم الدم بمقدار

١٥% حيث يرتفع معدل الإفراز أحياناً إلى ٥٠-٢٠ ضعف المقدار السوي والآلية هي : تملك الأذينات خاصة الأذين الأيمن مستقبلات للتمدد Stretch receptors تُستثار بالامتلاء الزائد وعند استثارتها ترسل إشارات إلى الدماغ ليضبط إفراز الـ **ADH**. بالمقابل، عندما لا تستثار (بسبب نقص الامتلاء) يحدث العكس حيث يزداد إفراز الـ **ADH** بشكل كبير.

### ٣. نقص تعدد مستقبلات الضغط Baroreceptors في المناطق السباتية والأهرمية والرئوية يشارك في زيادة إفراز الـ **ADH**.

#### هرمون الأوسيتوسين

طبقاً لأسمه ينبه الرحم الحامل بقوة وخاصة قرب نهاية الحمل، ولذلك يعتقد عدد من المولدين أن هذا الهرمون مسؤول جزئياً عن إحداث الولادة. إن ذلك مدعاوم بالحقائق التالية:

١. يكون زمن المخاض طويلاً عند الحيوانات التي تكون النخامي مستأصلة لديها مما يشير إلى التأثير الممكن للأوسيتوسين في أثناء الولادة.
٢. تزداد كمية الأوسيتوسين في المصورة خلال المخاض وخاصة خلال المرحلة الأخيرة.
٣. يحرض تنبية عنق الرحم عند الحيوان الحامل إشارات عصبية تمر إلى النخامي وتسبب زيادة إفراز الأوسيتوسين.

#### تأثير الأوسيتوسين على قذف الحليب من الأنثاء

يلعب الأوسسيتوسين دوراً هاماً بشكل حاصل في عملية الإرضاع وهو دور مؤكّد للأوسسيتوسين أكثر بكثير من دوره المحتمل في ولادة الطفل. يؤدي الأوسسيتوسين في أثناء الإرضاع إلى تحريك الحليب من الأسنان إلى القنوات مما يمكن الطفل من الحصول عليه بوساطة المص و تعمل هذه الآلة كما يلي:

تسبب تبيهات المص على حلمة الثدي إشارات تُنقل عبر الأعصاب الحسية إلى الدماغ وتصل هذه التبيهات أخيراً إلى عصبونات الأوسسيتوسين في النوى حين يُحمل البطنية و فوق البصرية في الوطاء لتسبّب إطلاق الأوسسيتوسين، ويُحمل الأوسسيتوسين بعد ذلك بوساطة الدم إلى الثديين حيث يسبّب تقلص الخلايا العضلية الظهارية التي تتوضع خارج أسنان غدة الثدي، وبعد أقل من دقيقة من بدء المص يبدأ الحليب بالتدفق. تدعى هذه الآلة جريان الحليب أو قذف الحليب.

### قشر الكظر

مقدمة : تقع غدتا الكظر (تنز كل واحدة منها حوالي 4 غ) عند القطبين العلوين للكلويتين، و تتألف كل منها من قسمين مختلفين هما لب الكظر Adrenal Medulla و قشر الكظر Adrenal Cortex . يرتبط لب الكظر وظيفياً مع الجهاز العصبي الودي فهو يفرز هرمون الأدرينالين و النورادرينالين استجابة للتبيه الودي، و يسبب هذان الهرمونان التأثيرات نفسها التي يسببها التبيه الودي المباشر في جميع أنحاء الجسم .

يفرز من قشر الكظر نوعين هامين من الهرمونات :

القشرانيات المعدنية Mineralocorticoids (تفرز من المنطقة الكبية و هي الطبقة الخارجية المولفة من طبقة رقيقة من الخلايا).

وظائف القشرانيات المعدنية

يسbib الفقد الكلـي لـفـرـزـات قـشـرـ الكـظـرـ الموـت عـادـةً خـالـلـ ٣ـ أـيـام إـلـى أـسـبـوعـين ما لم يـتـاـولـ الشـخـصـ معـاجـلـةـ مـفـرـطـةـ المـلـحـ أوـ معـاجـلـةـ بـالـقـشـرـانـيـاتـ المـعـدـنـيـةـ. يـؤـديـ فـقـدـ هـذـهـ هـرـمـوـنـاتـ إـلـىـ اـرـتـنـاعـ تـرـكـيـزـ الـبـوتـاسـيـومـ فـيـ السـائـلـ خـارـجـ الـخـلـاـيـاـ بـشـكـلـ مـلـحـوـظـ،ـ وـيـقـضـيـ تـرـكـيـزـ كـلـ مـنـ الصـودـيـومـ وـالـكـلـورـيـدـ،ـ كـمـاـ يـقـضـيـ الـحـجـمـ الـكـلـيـ لـلـسـائـلـ خـارـجـ الـخـلـاـيـاـ وـحـجـمـ الـدـمـ بـشـكـلـ كـبـيرـ،ـ وـيـحـدـثـ لـدـىـ الشـخـصـ نـقـصـ فـيـ التـنـاجـ القـلـيـ فـورـاـ الـأـمـرـ الـذـيـ يـفـضـيـ إـلـىـ حـالـةـ تـشـبـهـ الصـدـمـةـ يـلـيـهاـ الـمـوـتـ.ـ وـيـمـكـنـ منـعـ هـذـهـ النـتـيـجـةـ بـإـعـطـاءـ الـالـدـوـسـتـيـرـونـ أوـ قـشـرـانـيـاتـ مـعـدـنـيـةـ أـخـرـ،ـ وـهـذـاـ السـبـبـ يـقـالـ إـنـ الـقـشـرـانـيـاتـ مـعـدـنـيـةـ هـيـ الـجزـءـ مـنـ هـرـمـوـنـاتـ قـشـرـ الـكـظـرـ الـضـرـوريـ لـلـحـفـاظـ عـلـىـ الـحـيـاةـ.

يعـتـبـرـ الـالـدـوـسـتـيـرـونـ أـهـمـ هـرـمـونـ قـشـرـانـيـ مـعـدـنـيـ وـيـمـارـسـ نـحـوـ ٩٠%ـ مـنـ الـفـعـالـيـةـ الـقـشـرـانـيـةـ مـعـدـنـيـةـ لـفـرـزـاتـ قـشـرـ الـكـظـرـ.

إنـ اـهـمـ تـأـثـيـرـاتـ الـالـدـوـسـتـيـرـونـ هيـ إـعادـةـ اـمـتـصـاصـ الصـودـيـومـ وـالـكـلـورـ بـشـكـلـ فـاعـلـ وـيـتـبعـهـماـ عـوـدـ اـمـتـصـاصـ الـمـاءـ بـشـكـلـ مـنـفـعـلـ مـقـابـلـ إـفـرـازـ كـلـ مـنـ شـوـارـدـ الـبـوتـاسـيـومـ وـشـوـارـدـ الـهـيـدـرـوجـينـ،ـ وـيـمـارـسـ هـذـاـ الفـعـلـ بـصـورـةـ رـئـيـسـيـةـ فـيـ الـكـلـيـةـ.

### **الـقـشـرـانـيـاتـ السـكـرـيـةـ**

تـفـرـزـ مـنـ كـلـ مـنـ الـمـنـطـقـةـ الـحـزـمـيـةـ وـهـيـ الـطـبـقـةـ الـمـتوـسـطـةـ وـالـمـنـطـقـةـ الـشـبـكـيـةـ وـهـيـ الـطـبـقـةـ الـعـمـيقـةـ مـعـ إـمـكـانـيـةـ أـنـ يـكـوـنـ إـفـرـازـ هـذـهـ هـرـمـوـنـاتـ مـنـ الـمـنـطـقـةـ الـحـزـمـيـةـ أـكـثـرـ مـنـ الشـبـكـيـةـ.

رـغـمـ أـنـ الـقـشـرـانـيـاتـ مـعـدـنـيـةـ تـسـتـطـعـ أـنـ تـنـقـذـ حـيـاةـ الـحـيـوانـ الـذـيـ يـسـتأـصلـ الـكـظـرـ لـدـيهـ بـشـكـلـ مـفـاجـعـ،ـ إـلـاـ أـنـ ذـلـكـ الـحـيـوانـ لـاـ يـعـودـ إـلـىـ حـالـتـهـ السـوـيـةـ إـطـلاـقاـ،ـ بلـ تـكـوـنـ أـجـهـزـتـهـ الـاـسـتـقـلـالـيـةـ الـلـازـمـةـ لـاـسـتـهـلـاكـ الـبـروـتـيـنـاتـ وـالـدـسـمـ وـالـسـكـرـيـاتـ مـخـتـلـةـ بـشـكـلـ كـبـيرـ.ـ وـأـكـثـرـ مـنـ ذـلـكـ لـاـ يـمـكـنـ لـلـحـيـوانـ أـنـ يـقاـومـ الـأـنـمـاطـ الـمـخـتـلـفـةـ مـنـ الـكـرـبـ الـفـيـزـيـائـيـ أـوـ حـقـ النـفـسـيـ،ـ وـيـمـكـنـ لـأـمـرـاـضـ صـغـيـرـةـ مـثـلـ أـخـمـاجـ السـيـلـ التـنـفـسيـ أـنـ تـؤـديـ إـلـىـ الـمـوـتـ.

لذلك فالقشرانيات السكرية لها وظائف هامة من أجل استمرار حياة الحيوان مدة طويلة بقدر أهمية وظائف القشرانيات المعدنية.

ويفرز إضافة إلى ذلك كميات ضئيلة من الهرمونات الجنسية وبشكل خاص الهرمونات الأندروجينية Androgenic Hormones (تفرز من المنطقتين الخزمية والشبكية).

### الغدة الدرقية

تفرز الغدة الدرقية هرمونين هامين هما التيروكسين وثالث يود التيروينين لهما تأثير قوي في زيادة المعدل الاستقلابي في الجسم، كما تفرز الكالسيتونين وهو هرمون ضروري لاستقلاب الكالسيوم. يسبب العوز التام للمفرزات الدرقية عادةً انخفاض معدل الاستقلاب الأساسي نحو ٦٤٪ تحت المعدل السوي، فيما يمكن لف्रط الإفراز الدرقي أن يسبب ازدياداً في المعدل الاستقلابي الأساسي يصل حتى ١٠٠-٦٠ فوق السوي.

### تركيب وإفراز الهرمونات الدرقية .

يمثل التيروكسين( $T_4$ ) نحو ٩٣٪ من المفرزات الهرمونية للغدة الدرقية بينما يمثل ثالث يود التيروينين  $T_3$  ٦٪ الباقية، وفي الواقع فإن معظم  $-T_4$  يُقلّب في النسج إلى  $T_3$  ، ولذلك فإن كل من هذين الهرمونين يعتبر هاماً من وجهة نظر وظيفية، حيث إن وظائف كل منها من الناحية النوعية واحدة ولكنهما مختلفان في سرعة وشدة الفعل، إذ تبلغ فعالية  $-T_3$  نحو أربعة أضعاف فعالية  $-T_4$  ، لكنه يوجد في الدم بكميات صغيرة جداً كما أن فترة بقائه أقصر من فترة بقاء  $-T_4$ .

## **التشريح الفيزيولوجي للغدة الدرقية.**

تتركب الغدة الدرقية من عدد كبير من الجريبات المغلقة ملوءة بمادة مفرزة تُدعى الغرواني ومبطنة بخلايا ظهارانية مكعبة تلقي عفراها إلى داخل الجريبات.

إن المكون الرئيسي للغرواني هو بروتين سكري كبير يدعى البغلوبرولين الدرقي الذي يحوي الهرمونات الدرقية ضمن جزيئه. يحتاج تشكيل الكمييات السوية من التирوكسين سنوياً نحو ٥٠ مليغرام من اليود المتناول عن طريق الفم على شكل يوديدات، أي نحو ١ مغ في الأسبوع ولمنع عوز اليود يجب يومنة ملح الطعام العادي بجزء من يوديد الصوديوم.

## **الوظائف الفيزيولوجية للهرمونات الدرقية**

١. تؤدي الهرمونات الدرقية إلى زيادة انتساخ أعداد كبيرة من الجينات الذي يؤدي إلى زيادة في عدد كبير من الأنزيمات البروتينية وبروتينات النقل وبالتالي إلى زيادة معممة في الفعالية الوظيفية في جميع أنحاء الجسم.
٢. تزيد الهرمونات الدرقية الفعالية الاستقلالية في جميع نسخ الجسم تقريباً، ويمكن ل معدل الاستقلاب الأساسي أن يزداد بنسبة ٦٠ - ١٠٠٪ فوق المعدل السوي عندما تُفرز كميات كبيرة من هذه الهرمونات.
٣. تؤدي الهرمونات الدرقية إلى زيادة في عدد وحجم المتقدرات.
٤. تزيد النقل الفاعل للشوارد عبر أغشية الخلايا.

## جزر لأنغرهانس في المعشكلة

تفرز :

- الأنسولين
- الغلو كاكون
- السوماتوستاتين
- عديد الببتيد المعشكري.

### تنظيم غلو كوز الدم

يتم التحكم بتركيز غلو كوز الدم عند الشخص السوي ضمن مجال ضيق جداً وعادة يكون تركيزه بين ٩٠-٨٠ ملغم / ١٠٠ ململ في الشخص الصائم على الريق، ويزداد هذا التركيز حتى ١٤٠-١٢٠ ملغم ١٠١ ململ خلال الساعة الأولى التالية للوجبة، لكن أجهزة التلقييم الراجم للتحكم بغلوكوز الدم، تعيّد تركيز غلو كوز الدم بشكل سريع جداً باتجاه مستوى التحكم وعادة خلال ساعتين بعد آخر امتصاص لالسكريات. وعلى عكس ذلك ففي المحمصة تقوم وظيفة استحداث السكر في الكبد بإعطاء الغلو كوز الضروري لصيانته مستوى غلو كوز الدم الصيامي.

و تلخص آلية إنجاز هذه الدرجة العالية من التحكم كما يلي:

- يعمل الكبد كجهاز دارئ لغلوكوز الدم وهذا العمل هام جداً، فعندما يرتفع تركيز غلو كوز الدم إلى تركيز مرتفع جداً بعد الوجبة يزداد معدل إفراز الأنسولين و يؤدي ذلك إلى تخزين مقدار ثلثي الغلو كوز المتخصص من الأمعاء مباشرة في الكبد على شكل غликوجين، وبعد ذلك خلال الساعات التالية عندما ينخفض تركيز غلو كوز الدم وينخفض معدل إفراز الأنسولين يقوم الكبد بإطلاق الغلو كوز مرجعاً إياه إلى الدم. ينقص الكبد، بهذه الطريقة، التموجات في تركيز غلو كوز الدم بمقدار ثلث ما كان

سيحدث لولاه. و في الحقيقة فمن المستحيل الحفاظ على مجال ضيق لتركيز  
غلوکوز الدم لدى المصابين بأمراض كبدية شديدة.

- يدو ويوضح شديد أن كل من الأنسولين و الغلوکاكون يعملا  
كجهازين هامين للتحكم بالتلقييم الراجل لصيانة تركيز غلوکوز الدم  
السوی فعندما يرتفع التركيز إلى مستوى عال جداً يفرز الأنسولين و هذا  
يؤدي إلى نقص تركيز الغلوکوز باتجاه القيمة السویة. و على العكس ينبعه  
نقص الغلوکوز إفراز الغلوکاكون الذي يعمل في الاتجاه المعاكس فيزيد  
الغلوکوز باتجاه القيمة السویة . تكون آلية التلقييم الراجل للأنسولين أهم  
بكثير من آلية الغلوکاكون ضمن أكثر الظروف العادیة، و لكن في حالات  
تحدد تناول الغلوکوز و زيادة استعمال الغلوکوز خلال التمارین و حالات  
الكرب الأخرى تصبح آلية الغلوکاكون ذات قيمة كبيرة جداً.  
إن التأثير المباشر لنقص غلوکوز الدم على الوطاء في حالة نقص سكر الدم  
هو تنبيه الجهاز العصبي الودي و بالتالي يؤدي الإبنفرین المفرز من غدلي  
الكظر إلى إطلاق مزيد من الغلوکوز من الكبد.
- استجابة لنقص سكر الدم المديد( خلال ساعات أو أيام )، يزداد إفراز  
كل من هرمون النمو و الكورتيزول و هذا يسهم في إعادة تركيز غلوکوز  
الدم إلى قيمته السویة.

### أهمية تنظيم غلوکوز الدم

من خلال ما سبق يُطرح السؤال التالي ما هي الأهمية الكبیرى لصيانة تركيز غلوکوز  
الدم ثابتًا خاصة و أن معظم النسج يمكنها أن تتراوح إلى استعمال الدسم و البروتينات  
للحصول على الطاقة في حالة غيابه ؟

الجواب على ذلك أن الغلوکوز يعتبر الغذاء الوحيد الذي يمكن استعماله بشكل سوي من قبل الدماغ و ظهارة الأقناد بكميات كافية ليزودها بالطاقة اللازمة. لذلك من الهام صيانة تركيز غلوکوز الدم عند مستوى عال و كاف ليزودها بتغذيتها الضرورية .

يستخدم معظم الغلوکوز المشكّل باستحداث السكريات في الفترات بين الوجبات من أجل استقلاب الدماغ، و في الحقيقة من المهم أن لا تفرز المثكلة أي مقدار من الأنسولين خلال هذه الفترة و إلا فإن المخزونات الضئيلة المتوفّرة من الغلوکوز ستذهب جميعها إلى العضلات و النسج الحيوانية الأخرى تاركة الدماغ دون مصدر غذائي.

من جهة أخرى من المهم أن لا يرتفع تركيز غلوکوز الدم بشكل كبير جدا لثلاثة أسباب :

١. يمارس الغلوکوز مقداراً كبيراً من الضغط التناضحي في السائل خارج الخلايا و إذا ارتفع تركيز الغلوکوز إلى قيمة مفرطة يستطيع أن يسبب تجفافاً خلويًا.
٢. يسبب المستوى المرتفع من غلوکوز الدم فقد الغلوکوز في البول.
٣. يسبب هذا فقد إبالة تناضحية في الكلية الأمر الذي يمكنه أن يؤدي إلى نفاذ سوائل الجسم و شوارده.

## الغدد جارات الطرق

### استباب الكالسيوم : Calcium Homeostasis

تعتبر شاردة الكالسيوم ذات أهمية حيوية بالغة لكل أجهزة الجسم فهي تتدخل في :

١. العديد من التفاعلات الإنزيمية.
٢. ضرورية لتقلص العضلات بتنوعها (الميكلية و الملمس) ، كما أنها ضرورية لتنفس ونظم عضلة القلب.
٣. تنظيم نفوذية الغشاء الخلوي.
٤. تشكيل العظام و الأسنان و إنتاج الحليب.
٥. ضرورية في أثناء عملية تخثر الدم.
٦. ضرورية جداً في عملية النقل المنشكي العصبي Synaptic Transmission .

يبلغ التركيز الوسطي للكالسيوم في المصورة ٦-٨،٦ ملغم / ١٠٠ مل .

يوجد الكالسيوم في المصورة بأشكال ثلاثة هي :

- ١ - ٥٥% من الكالسيوم موجود بشكل متشرد و قابل للانتشار عبر أغشية الشعيرات الدموية ، و هذا هو الشكل الفعال Active form
  - ٢ - ٩١% من الكالسيوم موجود بشكل غير متشرد و يكون مرتبطاً مع مواد أخرى في المصورة و السوائل الخلالية (السترات و الفوسفات) وهو قابل للانتشار عبر أغشية الشعيرات لكنه غير فعال بهذا الشكل.
  - ٣ - ٤% مرتبط بالبروتينات (خاصة الألبومين) ، و هو هذا الشكل غير فعال و غير قابل للانتشار عبر أغشية الشعيرات.
- يمثل الكالسيوم الموجود في المصورة ١% فقط من كالسيوم الجسم و الباقى ٩٩% موجود في العظام .

يتم التحكم و ضبط مستوى تركيز الكالسيوم في المقدمة بشكل دقيق عند مستوى معين بواسطة العوامل الهرمونية التالية :

١. هرمون جارات الدرق (PTH)

٢. الكالسيتونين.

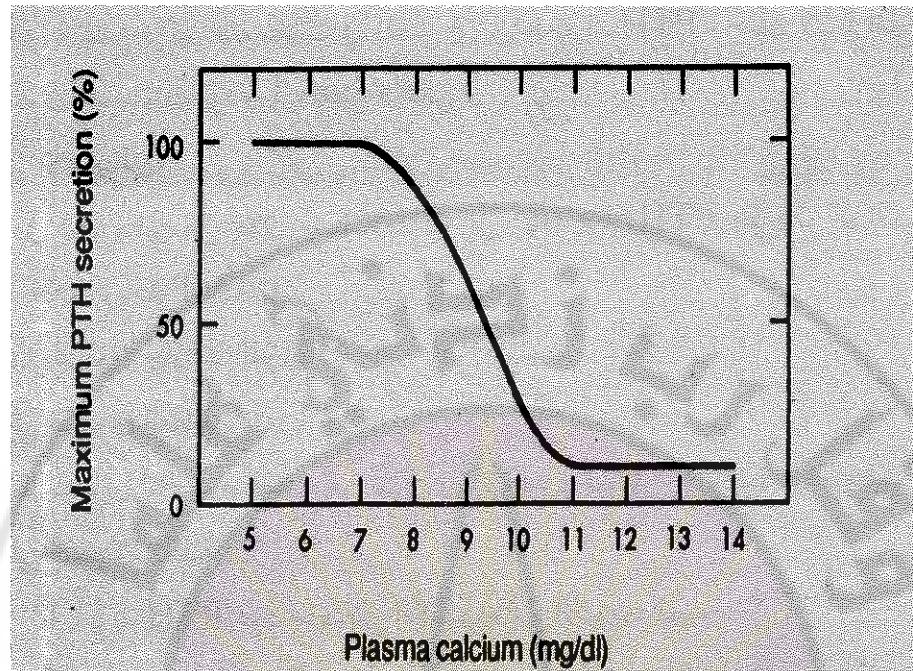
٣. الفيتامين D (الشكل الفعال ١ دهيدروكسي كولي كالسيفروول)

### هرمون جارات الدرق PTH

يفرز هرمون جارات الدرق من الغدد جارات الدرق و تنظم إفرازه العوامل التالية :

- مستوى كالسيوم المقدمة :

هو أهم عامل ينظم إفراز PTH ، ويوجد بين PTH و الكالسيوم تنظيم راجع بحيث إن ارتفاع الكالسيوم ينقص إفراز PTH و انخفاض الكالسيوم يؤدي إلى زيادة إفراز PTH كما يظهر في المخطط التالي(الشكل ٤٨) .



الشكل (٤٨) مخطط يوضح العلاقة بين مستوى تركيز الكالسيوم في الدم ومستوى هرمون جارات الدرق.

يصل المستوى الأعظمي لإفراز PTH عندما ينخفض تركيز الكالسيوم إلى مستوى ٧ ملخ / ١٠٠ مل و بعدها لا يبدي أي ارتفاع .

كما أن مستوى إفراز PTH لا يكون معدوماً أبداً حتى عندما يرتفع تركيز الكالسيوم بل يحافظ على مستوى معين كما يظهر في المخطط .

- مستوى المغذريوم في المchora

توجد علاقة عكسية بين مستوى المغذريوم في المchora و إفراز PTH .

- تركيز الفوسفات في المصل

يؤدي ارتفاع تركيز الفوسفات في المصل إلى زيادة إفراز PTH و ذلك لأن ارتفاع مستوى الفوسفات يؤدي إلى نقص الكلس .

#### • الادرينالين

يؤدي الادرينالين من خلال مستقبلات  $\beta$  إلى زيادة إفراز PTH ، و يبدو أن الآلة من خلال زيادة cAMP . عمل هرمون جارات الدرق

على مستوى العظام :

يزيد مستوى كالسيوم المصل عن طريق زيادة عدد و فعالية الخلايا الكاسرة للعظم.

على مستوى الكلية :

١. يزيد PTH عود امتصاص الكالسيوم من الأنوب البعيد.
٢. يزيد إفراز الكلية للفوسفات بآلية نقص عود الامتصاص في الأنوب القريب
٣. يعزز تشكيل ١-٢٥ دى هيدرو كسي كولي كالسيفرو .

على مستوى الأمعاء

يعزز امتصاص الكالسيوم من الأمعاء بشكل غير مباشر من خلال تشكيله لـ ٢٥-١ دى هيدرو كسي كولي كالسيفرو ، و في المحصلة النهائية يزداد تركيز كالسيوم المصورة و ينقص تركيز الفوسفات.

#### مركبات الفيتامين (D)

يملك الفيتامين د تأثيراً فعالاً في زيادة امتصاص الكالسيوم من السبيل المعاوي ، كما يملك تأثيرات هامة على ترسب الكالسيوم في العظم و ارتشافه منه ، لكن الفيتامين د نفسه ليس هو المادة الفعالة التي تسبب هذه التأثيرات فعلياً إنما يجب أن يحول أولاً عبر

سلسلة من التفاعلات في الكبد و الكلية إلى منتج نهائي هو ٢٥-١ دي هيدروكسى كولي كالسيفروл .

تأثيرات ٢٥-١ دي هيدروكسى كولي كالسيفرول  
يتأثر تركيز ٢٥-١ دي هيدروكسى كولي كالسيفرول في المصورة بشكل عكسي  
بتراكيز الكالسيوم في المصورة .  
هناك سببان لذلك :

١. تؤثر شوارد الكالسيوم في منع تحويل ٢٥ دي هيدروكسى كولي كالسيفرول إلى ٢٥-١ دي هيدروكسى كولي كالسيفرول .

٢. إن معدل إفراز PTH يتباين بشكل كبير عندما يرتفع تركيز شاردة الكالسيوم في المصورة أكثر من ١٠ ملغ / ١٠٠ مل ، و هذا الهرمون هو الذي يحرض تحويل ٢٥ دي هيدروكسى كولي كالسيفرول إلى الشكل الفعال في الكليتين ، و يعتبر العامل الثاني أكثر أهمية من العامل الأول .

يحرض ٢٥-١ دي هيدروكسى كولي كالسيفرول امتصاص المعاوي للكالسيوم عن طريق زيادة تشكيل البروتين الرابط للكالسيوم في الخلايا الظهارية المعاوية ، و يبدو أن معدل امتصاص الكالسيوم يتباين مباشرة مع كمية البروتين الرابط له .

ما يعرف عن تأثير المركب الفعال للفيتامين د على امتصاص الفوسفات أقل مما هو معروف عن تأثيره على امتصاص الكالسيوم لأن الفوسفات تمتلك بشكل سهل نسبياً في أي مكان .

## الكالسيتونين

يفرز من قبل الخلايا جانب الجرارية للغدة الدرقية (الخلايا C)، وينبه إفراز الكالسيتونين عند زيادة مستوى الكالسيوم في السائل خارج الخلوي خاصة بعد الطعام وإفراز الغاسترين، كما يتعرض إفراز الكالسيتونين بمقملات  $\beta$  و الدوبامين و الاستروجين .

يتعزز إفراز الكالسيتونين بعد وجبة الطعام الكبيرة (يفرز بعد الطعام الغاسترين و CCK و السكريتين)، ويعتبر الغاسترين المحرض الأقوى .

## تأثيرات الكالسيتونين

يؤدي الكالسيتونين إلى خفض مستويات الكالسيوم و الفوسفات في البلازما ، و ينبع تأثيره الخافض للكالسيوم عن تثبيط ارتشاف العظم و ذلك بتأثير مباشر . إن الدور الفيزيولوجي الدقيق للكالسيتونين غير معروف بشكل دقيق ، و حتى الآن لم يتم عزل متلازمة يحدث فيها عوز للكالسيتونين .

يمكن أن نشاهد حالات يفرز فيها الكالسيتونين أكثر من الطبيعي هي :

١. مرحلة النمو عند اليافعين للمساهمة في تطور الهيكل العظمي .
٢. بعد الوجبات الطعامية حيث يلعب دوراً في الحماية من حدوث فرط كلس الدم بعد الوجبات .

٣. في أثناء الحمل حيث يلعب دوراً في حماية عظام الأم من فرط خسارة الكلس إن الكالسيتونين مفيد في علاج داء باجييت و هي حالة يؤدي ارتفاع فعالية كاسرات العظم فيها إلى بدء حدوث تشكيل معاوض لعظم جديد غير متعرض .

كما توجد عدة هرمونات تفرز من خلايا متفرقة موجودة في الجهاز المضمي، و تفرز من الكلية هرمونات مثل الرينين والاريتروبيوتين، كما يفرز هرمون من القلب وبالتحديد من الأذينة و يدعى العامل الأذيني المدر للصوديوم ANP.

### كيمياء الهرمونات

تقسم الهرمونات من الناحية الكيميائية إلى ثلاثة أنماط رئيسية:

#### ١. الهرمونات الستيروئيدية

تملك جميعها بين كيميائية تشبه بنية الكولسترون، و يشتق معظمها من الكولسترون نفسه (الكورتيزول، الالدوستيرون، الاستروجين، البروجسترون، التستوسترون).

#### ٢. مشتقات الحمض الأميني (التيروزين)

يشتق من هذا الحمض نطان من الهرمونات:

•  $T_4$  و  $T_3$ : وهي هرمونات ميودنة مضاف إليها اليود لمشتقات

التيروزين.

• هرمونات لب الكظر: الادريناлиين و النورادريناлиين .

#### ٣. البروتينات أو البيتيدات

جميع هرمونات الغدد الصم الهامة المتبقية هي إما بروتينات أو عديدات ببتيد كبيرة.

### التحكم بمعدل إفراز الهرمون - دور التلقييم الراجع السلبي

يتم التحكم بمعدل إفراز جميع الهرمونات، التي درست بشكل دقيق جداً، بواسطة أجهزة التحكم الداخلية، و يمارس هذا التحكم في معظم الحالات بواسطة آلية التلقييم الراجع السلبي كما يلي:

١. تفرز الغدة الصماء كمية من هرموناتها وعادة تملك ميلاً لإفراز كمية كبيرة من الهرمون.
٢. يمارس الهرمون تأثيره على العضو الهدف بشكل متزايد مما يؤدي إلى إنجاز هذا العضو لوظيفته.
٣. عندما تحدث زيادة كبيرة في هذه الوظيفة يقوم عامل ما متعلق بهذه الوظيفة بتلقييم راجع على الغدة الصماء ويسبب تأثيراً سلبياً على الغدة لإنقاص المعدل الإفرازي.

يظهر التأمل الدقيق لآلية التلقييم الراجع السليبي أن العامل المام الذي يتم التحكم به عادة ليس معدل إفراز الهرمون إنما درجة فعالية العضو الهدف و لذلك لا يصبح التلقييم الراجع على الغدة قوياً بشكل يبطئ إفراز مزيد من الهرمون إلا عندما ترتفع فعالية العضو الهدف إلى مستوى ملائم.

إذا كانت استجابة العضو الهدف للهرمون خفيفة فإن الغدة الصماء ستفرز بشكل دائم مزيداً و مزيداً من هرموناتها حتى يصل العضو الهدف أخيراً إلى المستوى الملائم من الفعالية لكن على حساب زيادة إفراز الهرمون المتحكم به.

### آليات فعل الهرمون مستقبلات الهرمون و تفعيلها

لا تعمل هرمونات الغدد الصماء بشكل مباشر على الآلية داخل الخلايا للتحكم لكنها ترتبط دائماً تقريباً مع مستقبلات الهرمون الموجودة على سطوح الخلايا أو داخل الخلايا.

يؤدي هذا الارتباط إلى تفعيل شلال التفاعلات بحيث تصبح كل مرحلة من التفاعل في الشلال أقوى من المرحلة السابقة، و لذلك ينشأ عن الفعل الهرموني المبدئي الصغير

تأثير نهائى قوى جداً. إن جمیع المستقبلات الهرمونية بروتينات كبيرة جداً تحوى كل خلیة نحو ٢٠٠٠ إلى ١٠٠٠٠ مستقبل، و يكون المستقبل عادة نوعياً بدرجة عالية جداً هرمون واحد و هذا يحدد نمط الهرمون الذي يؤثر على نسخ معین. و من الواضح أن النسخ الهدفیة التي تتأثر بالهرمون هي النسخ التي تحوى مستقبلات النوعية.

### تتوسع عادة المستقبلات في الأماكن التالية:

- غشاء الخلیة أو على سطحه: و تكون مستقبلات الغشاء نوعية غالباً للهرمونات البروتینیة و البتیدیة و الكاتیکولامینات.
  - هیولی الخلیة : توجد مستقبلات الهرمونات الستیروئیدیة المختلفة داخل الهیولی تماماً تقريباً.
  - في نواة الخلیة (مستقبلات هرمونات الدرق).
- تؤثر الهرمونات (دون استثناء تقريباً) على نسجها الهدفیة بوساطة التفعیل الأول للمستقبلات الهدفیة في خلايا النسخ ، و هذا يدل وظيفة المستقبل نفسه، و يكون المستقبل بعد ذلك السبب المباشر للتأثيرات الهرمونیة.

### الآليات التي يعمل بها الهرمون

#### ١) تغيير نفوذية الغشاء

عندما يرتبط الهرمون مع المستقبل يسبب دائماً تغيراً شکلیاً في بنية بروتين المستقبل مما يؤدي إلى فتح أو إغلاق واحدة أو أكثر من قنوات الشوارد، و بعد ذلك تؤدي حركة الشوارد عبر القنوات إلى إحداث التأثيرات التالية على الخلايا .

مثال ذلك : الأدرینالین و النورادرینالین على خلايا العضلات الملمس.

#### ٢) تفعيل الإنزيمات داخل الخلية

مثال ذلك الأنسولین .

### ٣) تفعيل الجينات بالارتباط مع المستقبلات داخل الخلايا

يرتبط الكثير من الهرمونات خاصة الستيروئيدية و الدرقية مع المستقبلات البروتينية داخل الخلية، ثم يرتبط المعدل المفعول (هرمون مستقبل) مع أشرطة الـ DNA في نواة الخلية أو بفعل أماكن نوعية عليها الأمر الذي يؤدي لبدء انتساخ جينات نوعية لتشكيل الـ RNA الرسول ، ولذلك يظهر في الخلية بعد عدة دقائق أو ساعات أو حتى أيام من دخول الهرمون إلى الخلية بروتينات حديثة التشكيل، و تصبح المتحكم بالوظائف الخلوية الجديدة.

## الفصل السادس عشر

### حاسة الرؤية

قبل أن نتمكن من فهم الجملة البصرية في العين لا بد من الإلمام بالمبادئ الفيزيائية الأساسية للبصريات، التي تتضمن فيزياء الانكسار والمباعدة (Focusing) وعمق البؤرة وغير ذلك.

#### انكسار الضوء (Refraction of light)

تسير أشعة الضوء في الهواء بسرعة  $300$  ألف كم/ثا تقريرياً، لكنها تسير بسرعة أبطأ من ذلك بكثير عبر الأوساط السائلة والجامعة الشفافة، وإن مناسب انكسار المادة الشفافة هو نسبة سرعة الضوء في الهواء إلى سرعته في هذه المادة.  
مثال على ذلك (إذا كانت سرعة الضوء عبر غط معين من الزجاج  $200$  ألف كم/ثا فإن مناسب الانكسار لها الزجاج هو  $1,5$ ).

عندما تصطدم حزمة من الأشعة الضوئية بسطح فاصل بين وسطين شفافين لهما منسباً انكسار مختلفان فإننا أمام حالتين:

١. عندما يكون الاصطدام بشكل عمودي فإن هذه الأمواج تخترق الوسط الكاسر الثاني دون انحراف بمسيرها والتأثير الذي يحدث هو نقص في سرعة النقل وقصر في طول الموجة.

٢. عندما يكون الاصطدام بشكل مائل فإن الأمواج تتحني، ويعرف المخلاء الأشعة الضوئية على السطح المائل بالانكسار، ويلاحظ أن درجة الانكسار تزداد تبعاً لـ:

- نسبة منسيي انكسار الوسطين الشفافين.
- زاوية ورود الأشعة على السطح الفاصل.

## تطبيق مبادئ الانكسار على العدسات

بالنسبة للعدسات المحدبة فإن الأشعة الضوئية التي تمر عبر مركز العدسة تمر من خلال العدسة دون أن تعانى من أي انكسار لأنها تصطدم بشكل عمودي تماماً، أما إذا اتجهنا إلى إحدى حافتي العدسة فإن الأشعة الضوئية تصدم سطحاً يزداد ميله تدريجياً لذلك فإن الأشعة الخارجة من العدسة تتحنى أكثر فأكثر باتجاه المركز.

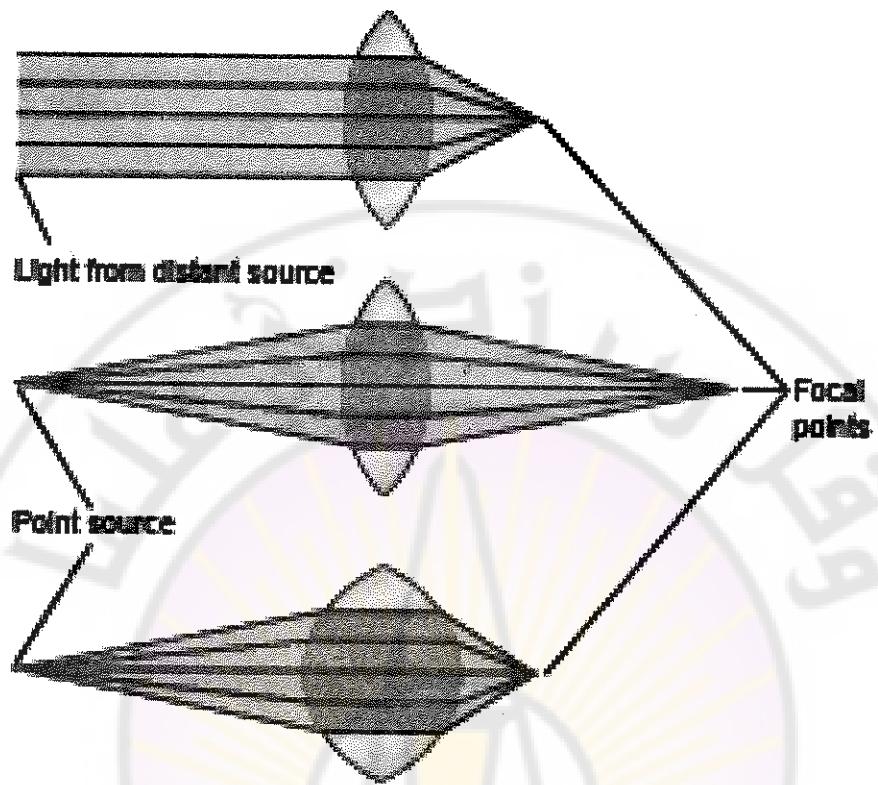
إذا كانت العدسة ذات اخناء مناسب تماماً فإن الأشعة تتحنى وتمر من نقطة واحدة تدعى النقطة البؤرية (Focal point).

بينما الأمر مختلف في العدسات المقعرة التي تبعد الأشعة الضوئية على عكس العدسات المحدبة. وتحدث أمور مشابهة لحد ما في العدسات الأسطوانية بحيث تتحنى العدسات الأسطوانية المحدبة الضوء لتشكل خطأ بؤرياً بالمقارنة مع النقطة البؤرية في العدسات المحدبة الكروية، بينما تبعد العدسات الأسطوانية المقعرة الضوء بشكل مشابه للعدسات المقعرة الكروية.

### البعد البؤري للعدسة

تدعى المسافة الفاصلة بين العدسة المحدبة والنقطة التي تلتقي عندها الأشعة الضوئية (التي تدعى بالنقطة البؤرية) بالبعد البؤري.

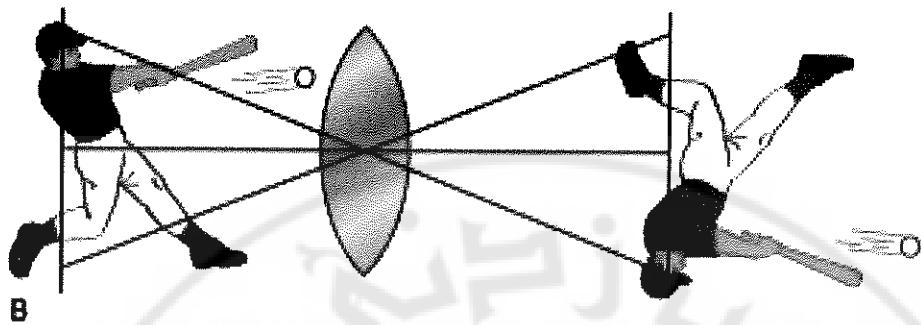
يختلف البعد البؤري للعدسة المحدبة نفسها باختلاف ورود الأشعة على هذه العدسة (متوازية أو متبااعدة)، حيث يكون البعد البؤري أطول في حالة ورود الأشعة بشكل متبااعد منها عندما ترد بشكل متوازٍ علمًاً أن بعد النقطة المصدرة نفسه الشكل (٤٩).



الشكل (٤٩). ف تلك العدسات العلوية القوة ذاتها، لكن الأشعة التي تخترق العدسة العلوية متوازية بينما التي تخترق الثانية متباعدة ويوضح الشكل تأثير الأشعة المتوازية بالمقارنة مع الأشعة المتباعدة على البعد البؤري. ف تلك العدسة السفلية قوة كاسرة أكبر من سابقتها، وهذا يبين أنه كلما ازدادت القوة الكاسرة للعدسة ازداد قرب النقطة البؤرية منها.

### تشكيل صورة بواسطة العدسة المحدبة

تشكل العدسة المحدبة صورة مقلوبة لأي جسم على مسافة معينة من هذه العدسة (الشكل ٥٠).



الشكل (٥٠) تشكيل الصورة المقلوبة بوساطة عدسة محدبة كروية.

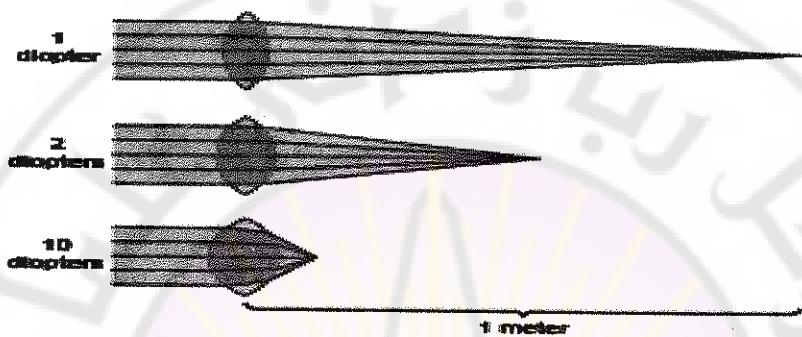
### قياس القوة الكاسرة للعدسة (The Diopter)

تزاد القوة الكاسرة للعدسة بزيادة قدرها على حي الأشعة الضوئية، ويستعمل مصطلح الكسيرة (Diopter) لقياس هذه القوة الكاسرة.

$$\frac{1}{\text{البعد البؤري}} \quad (\text{مقدراً بالمتر}) = \text{القوة الكاسرة للعدسة المحدبة}$$

وهكذا فإن العدسة القادرة على تقويب الأشعة الضوئية المتوازية إلى نقطة بؤرية تبعد ١٠ سم خلف العدسة فإن قوتها الكاسرة هي + ١٠ ديوپتر. أما القوة الكاسرة للعدسة المقعرة فلا نستطيع حسابها بواسطة البعد البؤري خلف العدسة لأنها تقوم بمباعدة الأشعة الضوئية عوضاً عن مقاربتها في نقطة معينة، ولكن إذا كانت العدسة الضوئية تبعد الأشعة الضوئية بالمقدار نفسه الذي تقاربه به عدسة محدبة ذات قوة كاسرة تعادل + ١ ديوپتر فيقال إن تلك العدسة المقعرة ذات قوة كاسرة تعادل - ١ ديوپتر.

وتحسب القوة الكاسرة للعدسات الأسطوانية بالطريقة نفسها التي تمحى بها قوة العدسات الكروية، فإذا كانت العدسة الأسطوانية تقارب الأشعة الضوئية المتوازية في خط بؤري يبعد 1 متر خلف العدسة فهي ذات قوة كاسرة تعادل 1 كاسرة (الشكل ٥١).



الشكل (٥١) تأثير قوة العدسة على المسافة البؤرية، قوة العدسة العليا ١ كاسرة والعدسة الموجودة في منتصف الصورة ٢ كاسرة وقوة العدسة السفلية ١٠ كاسرة.

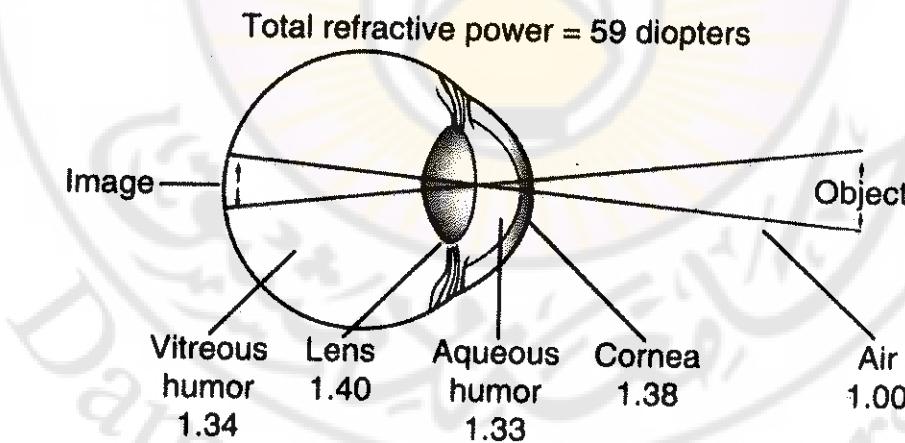
### **(Optics of the Eye)**

يمكن تشبيه العين بكاميرا التصوير الضوئي الاعتيادية كما يظهر في الشكل (٥٢) فهي تتلخص جملة عدسات ونظام الفتحة المتغيرة (المحدقة) والشبكة التي تقوم مقام الفللم، تتتألف جملة العدسات في العين من أربعة سطوح فاصلة كاسرة هي:

١. السطح الفاصل بين الهواء والسطح الأمامي للقرنية.
٢. السطح الفاصل بين السطح الخلفي للقرنية والخلط المائي.
٣. السطح الفاصل بين الخلط المائي والسطح الأمامي لعدسة العين.
٤. السطح الفاصل بين الوجه الخلفي لعدسة العين والخلط الزجاجي.

يبلغ منصب الانكسار للهواء ١، وللقرنية ١,٣٨، وللخلط المائي ١,٣٣، وللعدسة ١,٤٠ (معدل وسطي)، وللخلط الزجاجي ١,٣٤.

إذا جمعت كل السطوح الكاسرة في العين جنرياً وعدّت كعدسة واحدة، فإن بصريات العين السوية تبسط وتمثل ترسيمياً بالعين المختزلة (Reduced eye) ما يفيد في تسهيل الحسابات، ففي العين المختزلة يوجد سطح كاسر واحد نقطته المركزية تقع على بعد ١٧ مم أمام الشبكية، ويمثل هذا السطح قوة كاسرة إجمالية تساوي ٥٩ كسيرة تقريباً. عندما تكون عدسة العين في حالة مطابقة للرؤية البعيدة، تؤمن معظم القوة الكاسرة للعين بواسطة السطح الأمامي للقرنية وليس بواسطة العدسة والسبب الأساسي لذلك هو أن منصب الانكسار للقرنية مختلف بشكل ملحوظ عن منصب الانكسار للهواء، وإن القوة الكاسرة الإجمالية لعدسة العين تبلغ ٢٠ كسيرة في الحالة السوية وعند وجودها في العين، ولكن إذا أخرجت هذه العدسة من العين وأحيطت بالهواء فستكون قوتها الكاسرة أكبر بحوالي ست مرات.



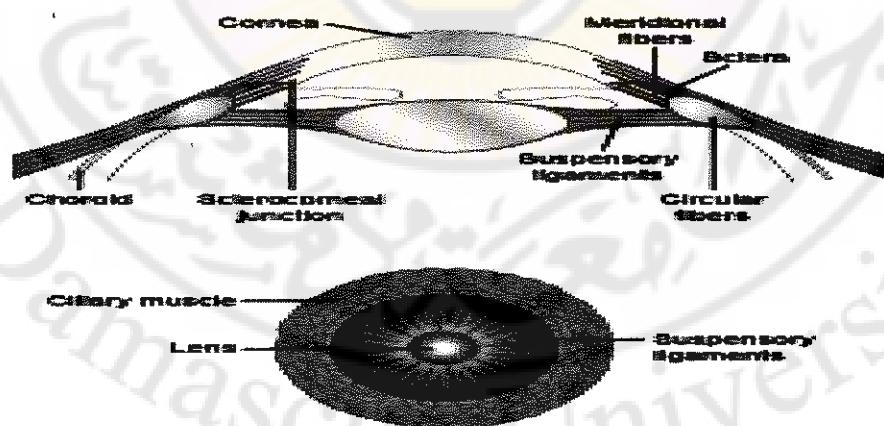
الشكل(٥٢) مناسب الانكسار للأوساط الشفافة في العين.

## آلية المطابقة (Mechanism of accommodation)

يمكن زيادة القوة الكاسرة لعدسة العين إرادياً من ٢٠ كسيرة إلى ٣٤ كسيرة تقريباً عند الأطفال الصغار، وهذه هي المطابقة الكلية التي تساوي ١٤ كسيرة، ولهذه ذلك يتغير شكل عدسة العين من عدسة معتدلة التحدب إلى عدسة شديدة التحدب، إن آلية ذلك هي التالية:

ت تكون العدسة عند الشخص اليافع من محفظة مرنّة ملؤة بـألياف بروتينية لزجة شفافة، فعندما تكون عدسة العين في حالة راحة دون تطبيق أي شد على المحفظة فإنها تتخد شكلاً كروياً تقريباً، ويوجد ما يقارب من ٧٠ رباطاً (الأربطة المعلقة للعدسة) مثبتة بشكل شعاعي حول العدسة ساحبة حواجز العدسة نحو الحواف الأمامية للشبكة وترتبط هذه الأربطة من الناحية الأخرى مع العضلة الهدبية.

يؤدي تقلص العضلة الهدبية إلى ارتخاء الأربطة المتصلة بمحفظة العدسة فتتخد العدسة شكلاً أكثر كروية فتصبح كالبالون بسبب المرونة الطبيعية لمحفظتها. يستنتج من ذلك أن القوة الكاسرة للعدسة تكون في حدودها الدنيا عندما تكون العضلة الهدبية بحالة ارتخاء، وتتصبح بأقصى قوتها عندما تقلص العضلة الهدبية (الشكل ٥٣).



الشكل (٥٣) آلية المطابقة

يتحكم الجهاز العصبي اللاودي بشكل كامل تقريرياً بالعضلة المدبية، وتنقل التنبهات إلى العضلة المدبية بواسطة العصب القحفي الثالث، لذلك فإن تنبه هذا العصب يؤدي إلى تقلص العضلة المدبية مما يؤدي إلى ارتخاء أربطة العدسة وإلى زيادة القوة الكاسرة للعين. ويعلمك التأثير الودي تأثيراً ضعيفاً في إرخاء العضلة المدبية ولكن ذلك يلعب دوراً قليلاً جداً في آلية المطابقة السوية.

### قصو البصر (Presbyopia)

عندما يكبر الإنسان فإن العدسة تصبح أكبر وأثخن وأقل مرونة، لذلك تتناقص قدرة العدسة على تغيير شكلها تدريجياً، وتتناقص قوة المطابقة من ١٤ كسيرة عند الأطفال إلى أقل من ٢ كسيرة في سن ٤٥ - ٥٠ سنة وتصبح صفراءً في سن ٧٠ وتعرف هذه الحالة بالقدع أو قصو البصر.

عندما يصل الشخص إلى حالة القدع يحتاج إلى نظارات مزدوجة الرؤية (الجزء العلوي للرؤية البعيدة والجزء السفلي للرؤية القرية).

### قطر الحدقة (Pupillary Diameter)

إن الوظيفة الأساسية للقزحية زيادة كمية الضوء الداخلة إلى العين في أثناء الظلام وإنقاصها أثناء الضوء الساطع.

تناسب كمية الضوء الداخلة إلى العين حجم الحدقة أو مع مربع قطر الحدقة. والحدقة في العين البشرية يمكن أن تصبح صغيرة القطر إلى حد ١,٥ مم تقريرياً أو أن تصبح كبيرة القطر ٨ مم لذلك فإن كمية الضوء الداخلة إلى العين تزداد تقريرياً حوالي ٣٠ مرة نتيجة التغير في الفتحة الحدقية.

وظائف الشبكيّة المستقبلة والعصبية.

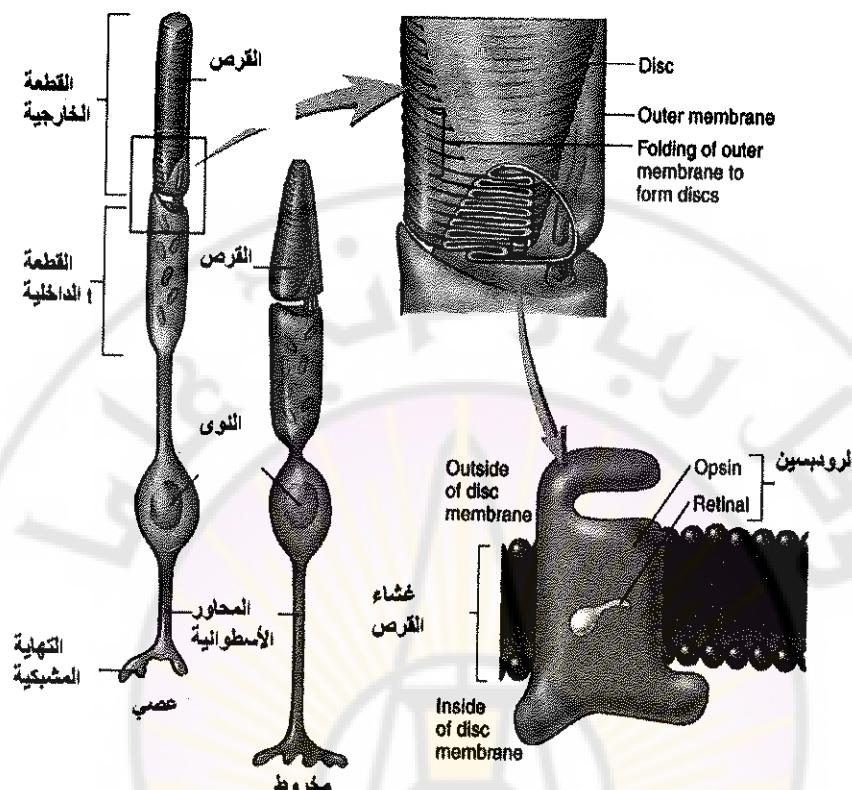
## ١. العصبي والمخاريط (Rods and cones)

يشاهد في الشكل (٥٤) القطع الوظيفية الأربع لكل من العصبي والمخاريط:

- القطعة الخارجية
- القطعة الداخلية
- النواة
- الجسم الشبكي

توجد المادة الكيميائية الضوئية الحساسة للضوء في القطعة الخارجية وهي في العصبي الروذبسين أما في المخاريط فهي واحدة من ثلاثة مواد كيميائية ضوئية (ملونة) تدعى الأصبغة الضوئية وتقوم تقريرياً بنفس الوظيفة التي يقوم بها الروذبسين باستثناء بعض الاختلافات في حساسيتها الطيفية.

إن كلّاً من الروذبسين والأصبغة الضوئية عبارة عن بروتينات مترنة ومتحدلة مع الغشاء الخلوي للقطعة الخارجية وتشكل نحو ٤٠٪ من كامل كتلة القطعة الخارجية. وتحوي القطعة الداخلية الهيكل الاعتيادي ومكوناتها في باقي الخلايا ومن أهمها المتقدرات التي تلعب دوراً هاماً في تأمين الطاقة الضرورية لعمل المستقبلات الضوئية. أما الجسم الشبكي فهو القطعة التي تربط العصبي والمخاريط مع الخلايا العصبية التالية (الخلايا الأفقية والخلايا ثنائية القطب) التي تمثل المراحل التالية في سلسلة الرؤية.



الشكل (٥٤) بنية العصب والمخاريط.

## الفصل السابع عشر

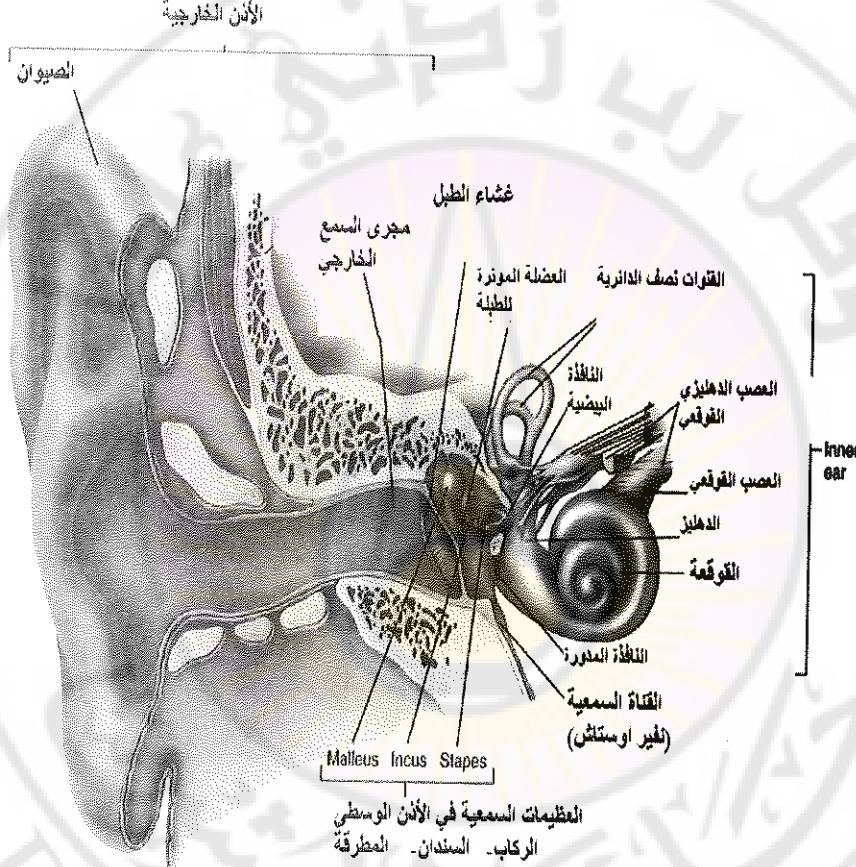
### حس السمع The sense of Hearing

#### مقدمة تشريحية:

يمكن تقسيم الأذن التي تحوي المستقبلات الخاصة بكل من السمع والتوازن إلى ثلاثة أقسام هي: الأذن الخارجية، الأذن الوسطى والأذن الباطنة.

١. تتألف الأذن الخارجية من الصيوان ومحرى السمع الظاهر، يعمل الصيوان على تجميع الموجات الصوتية (كالقمع)، بينما ينقل محرى السمع الظاهر هذه الموجات إلى غشاء الطبيل الذي يفصل الأذن الخارجية عن الأذن الوسطى.
٢. الأذن الوسطى عبارة عن حجرة ضيقة يشغلها جوف هوائي يسمى جوف الطبيل يتوضع بين غشاء الطبيل وبين الجدار الوحشي للأذن الباطنة، ويحافظ هذا الجوف في داخله على ضغط مساو للضغط الجوي عن طريق اتصاله مع القسم الأنفي للبلعوم عبر نفير السمع (نفير أوستاش). تتوضع ثلاث عظميات صغيرة داخل الأذن الوسطى متعددة بين غشاء الطبيل والأذن الباطنة وهي تعمل على نقل اهتزازات غشاء الطبيل إلى الأذن الباطنة.
٣. الأذن الباطنة: تتألف الأذن الباطنة من قسمين
  - التيه العظمي وهو سلسلة من الأجوف ضمن القسم الصخري من العظم الصدغي.
  - التيه الغشائي وهو سلسلة من الأقنية والأكياس تتوضع ضمن التيه العظمي ويشغل التيه الغشائي كُلّاً من الحزون (القوقة) وهي مسؤولة عن حس السمع والأقنية نصف الدائرية الثلاث والقريبة والكيس وهي مسؤولة عن التوازن. انظر الشكل رقم (٥٥).

يهدف هذا الفصل إلى شرح الآليات التي تستقبل بواسطتها الأذن الأمواج الصوتية وتميز تواراتها وتنقل في النهاية المعلومات السمعية إلى الجهاز العصبي المركزي حيث يتم حل رموزها.



الشكل (٥٥) أقسام الأذن

## غشاء الطبل والجهاز العظيمي

### أولاً- توصيل الصوت من الغشاء الطبلي إلى القوقةة

يبين الشكل (٥٥) الغشاء الطبلي (الذي يدعى عادةً طبلة الأذن) والجهاز العظيمي الذي يوصل الصوت عبر الأذن الوسطي. يأخذ الغشاء الطبلي شكلًا مخروطياً، وترتكز قبضة المطرقة على مركز الغشاء الطبلي، أما النهاية الأخرى للمطرقة فترتبط بقمة مع السندان بواسطة الأربطة الدقيقة، ولذلك عندما تتحرك المطرقة يتحرك السندان معها. تتمفصل النهاية المقابلة من السندان مع جذع الركاب والصفحة الوجهية للركاب تتوضع مقابل نهاية التيه الغشائي للقوقةة في فتحة النافذة البيضية حيث يتم إيصال الأمواج الصوتية إلى الأذن الباطنة. تسحب قبضة المطرقة باستمرار نحو الداخل بواسطة العضلة الموترة للطبلة التي تبقى الغشاء الطبلي متورّاً، وهذا يسمح بنقل الاهتزازات الصوتية من أي جزء من الغشاء الطبلي إلى المطرقة وهذا ما كان ليحدث لو كان الغشاء رخواً.

### ب - توافق المعاوقة بواسطة الجهاز العظيمي

إن الطريقة التي يتصل بها الركاب مع المطرقة عن طريق السندان يؤدي إلى زيادة قوة الاهتزاز بمقدار  $1,3$  ضعف. كما أن مساحة غشاء الطبل إلى تزيد بمقدار  $17$  ضعفاً عن مساحة سطح الركاب (تبلغ مساحة سطح الغشاء الطبلي حوالي  $55$  ملم مربع في حين تبلغ مساحة سطح الركاب  $3,2$  ملم مربع) تؤدي إلى زيادة قوة الاهتزاز بمقدار  $17$  ضعفاً، يؤدي جموع العاملين إلى زيادة طاقة الأمواج الصوتية المصطدمه بالغضاء الطبلي بمقدار  $1,3 \times 17 = 22$  ضعفاً عند وصولها إلى سائل القوقةة. وبما أن عطالة السائل أكبر بكثير من عطالة الهواء فمن السهولة أن نفهم سبب الحاجة إلى زيادة كمية الضغط لإحداث اهتزاز في السائل، لذلك فإن الغشاء الطبلي والجهاز العظيمي

يؤمنان توافق المعاوقة Impedance matching بين الأمواج الصوتية في الهواء والاهتزازات الصوتية في سائل القوقة. وفي الحقيقة يبلغ توافق المعاوقة نحو ٥٠% من الحد المثالي عند التواترات الصوتية من ٣٠٠ — ٣٠٠٠ دورة في الثانية، وهذا يسمح بالاستفادة من معظم طاقة الأمواج الصوتية التي تدخل الأذن. وعند غياب الجهاز العظيمي والغشاء الطلبي تسير الأمواج الصوتية مباشرة عبر هواء الأذن الوسطى وتدخل القوقة عند النافذة البيضية، عند ذلك تنقص حساسية السمع ما بين ١٥ — ٢٠ ديسيل مقارنة بحالة وجودهما، وهذا يكفي الفرق ما بين مستوى الصوت المتوسط ومستوى الصوت الذي بالكاد يسمع.

ج — توهين (إضعاف) الصوت بتقلص العضلة الركابية والعضلة الموترة للطلبة عندما تنقل أصوات عالية عبر الجهاز العظيمي إلى الجهاز العصبي المركزي ينشأ بعد فترة قصيرة من الزمن (تبلغ ما بين ٤٠ — ٨٠ ملي ثانية) منعكس يقوم بتقلص العضليتين الركابية والمoterة للطلبة. وتقوم العضلة الموترة للطلبة بسحب قبضة المطرقة إلى الداخل، بينما تسحب العضلة الركابية الركاب نحو الخارج (نحو الأذن الوسطى) وتعاكس هاتان القوتان مما يؤدي إلى نشوء درجة عالية من التصلب في كامل الجهاز العظيمي، وبذلك تنقص بشدة الإيصالية العظمية للأصوات (خاصة ذات التواتر المنخفض) وهي بشكل رئيسي التواترات دون ١٠٠٠ دورة في الثانية. ويستطيع منعكس التوهين reflex Attenuation هذا أن ينقص شدة نقل الصوت المنخفض التواتر ب نحو من ٣٠ إلى ٤٠ ديسيل وهو الفارق نفسه تقريباً بين الصوت العالي والصوت المهموس ومن المحتمل أن تكون وظيفة هذه الآلة مزدوجة:  
١ — حماية القوقة من الاهتزازات المؤذية الناجمة عن الأصوات العالية جداً.

٢ — إخفاء الأصوات ذات التواترات المنخفضة في بيئة صاحبة، وهذا يؤدي عادة إلى إزالة جزء كبير من الضجيج المصاحب والسماع للشخص بالتركيز على الأصوات ذات التواترات الأعلى من ١٠٠٠ دورة بالثانية التي تنقل بوساطتها معلومات التخاطب الصوتي. كما أنه يوجد وظيفة أخرى للعضليتين الركابية والموترة للطبلة هي إنقاص حساسية سمع الشخص لحديثه . ويتم تفعيل هذا التأثير بإرسال إشارات إلى هاتين العضليتين في الوقت نفسه الذي يفعل فيه الدماغ آلية التحدث.

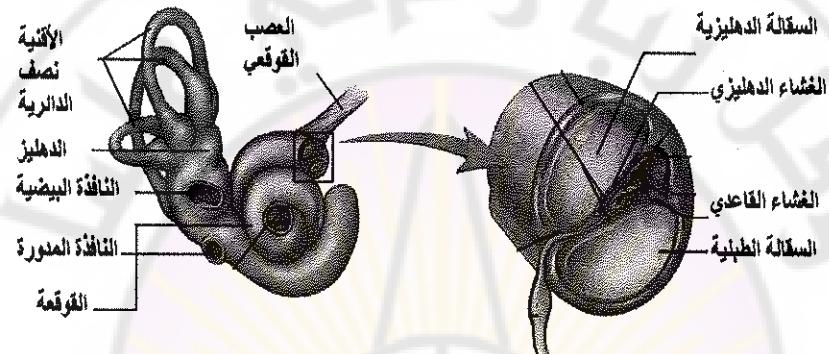
#### د — نقل الأصوات عبر العظم

بما أن الأذن الباطنة — القوقة — تتوضع في تجويف عظمي في العظم الصدغي يدعى التيه العظمي، فإن الاهتزازات في جميع أنحاء الجمجمة تستطيع إحداث اهتزازات في السائل الموجود في القوقة ذاتها، لذلك وضمن شروط مناسبة فإن وضع شوكة رنانة Tuning fork أو هرازة إلكترونية على أن ناشرة عظمية (خاصة على الناتئ الخشائي) يؤدي إلى سمع الشخص للصوت، ولكن الطاقة المتوفرة حتى في الصوت العالي جداً في الهواء غير مؤهلة لإحداث السمع عبر العظم إلا إذا وضعنا جهازاً آلياً كهربائياً لنقل الصوت إلى العظم مباشرة.

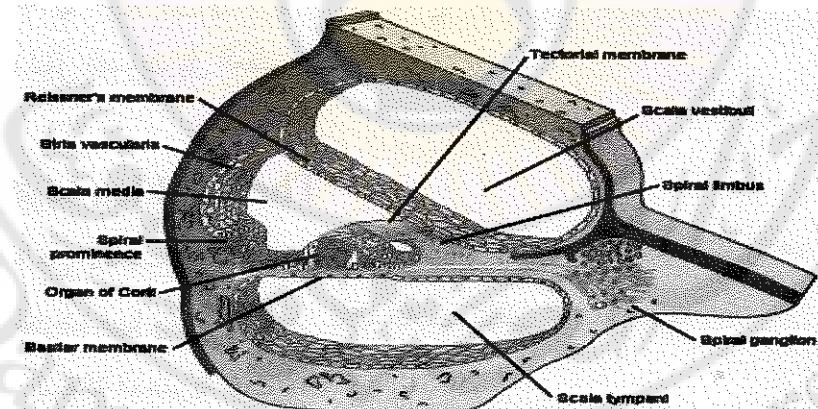
#### ٢ — القوقة The Cochlea

هي جملة من الأنابيب الملتقة، كما يظهر في الشكل (٥٦) وبين الشكلان (٥٧، ٥٨) مقطعاً معترضاً فيها وهي تتألف من ثلاثة أنابيب تلتف بجانب بعضها :

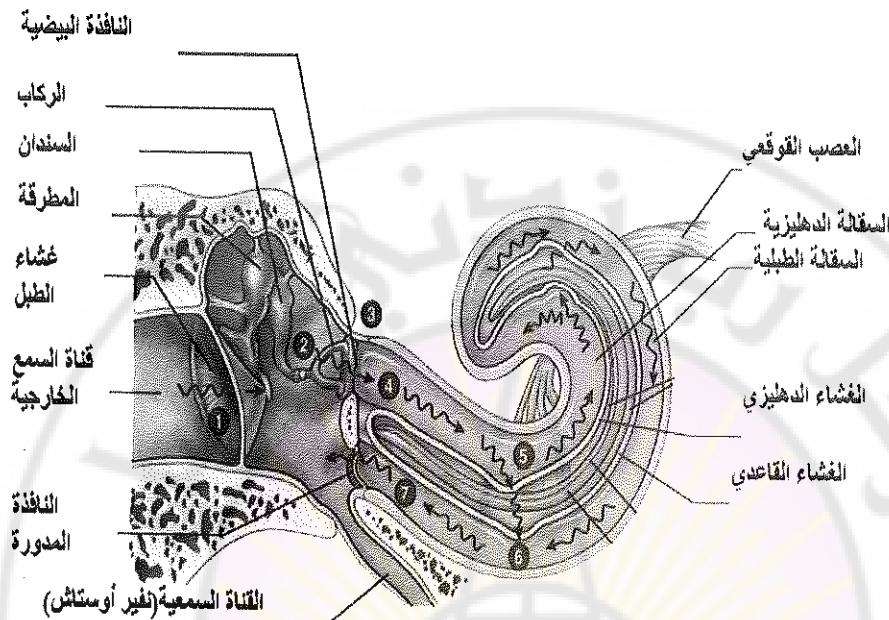
- السقالة الدهليزية Scala vestibule
- السقالة الوسطى Scala media
- السقالة الطبلية Scala tympani



الشكل (٥٦) مقطع معترض في القوقة



الشكل (٥٧) مقطع معترض في القوقة يظهر الأنابيب الثلاثة.



الشكل (٥٨) مقطع معترض في القرقعة يظهر الأنابيب الثلاثة.

تنفصل السقالة الدهليزية عن الوسطى بواسطة غشاء رايستر (الذي يدعى أيضاً الغشاء الدهلizi)، والوسطى عن الطبلية بواسطة الغشاء القاعدي، وتتوسط على سطح الغشاء القاعدي بنية تدعى عضو كوري الذي يحتوي سلاسل من الخلايا الحساسة كهربائياً للتغيرات الآلية، وهذه هي الأعضاء الانتهائية الاستقبالية التي تولد الدفعات العصبية استجابة للاهتزازات الصوتية.

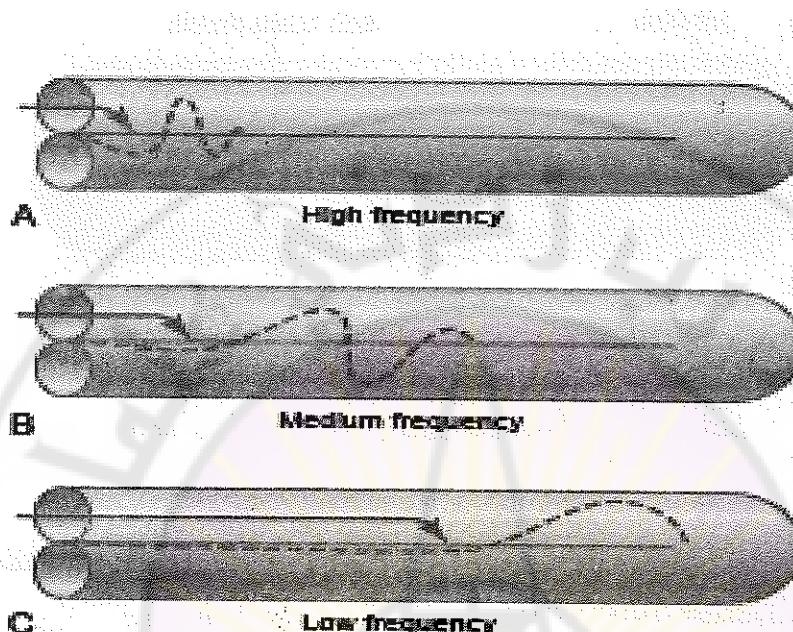
يبين الشكل (٥٧) بشكل تخطيطي الأقسام الوظيفية لقوعة غير ملتفة تقوم بإيصال الاهتزازات الصوتية، ويلاحظ أن غشاء رايستر غير موجود في هذا الشكل. ذلك أن

هذا الغشاء رقيق جداً وسهل الحركة جداً بحيث لا يعيق مرور الاهتزازات الصوتية من السقالة الدهليزية إلى الوسطى بحيث تعتبران غرفة واحدة (إن أهمية غشاء رايستر هي المحفوظة على سائل خاص في السقالة الوسطى تحتاجه الوظيفة السوية للخلايا المشعرة المستقبلة للصوت). تدخل الاهتزازات الصوتية السقالة الدهليزية عبر الصفيحة الوجهية للركاب التي تغطي النافذة البيضية وهي تستطيع التحرك نحو الداخل والخارج مع الاهتزازات الصوتية.

### الغضاء القاعدي والرنين في القوقة

هو غشاء ليفي يفصل السقالة الوسطى عن الطبلية، ويحوي من ٢٠٠٠ إلى ٣٠٠٠ ليف قاعدي، لهذه الألياف بنية قصبية إحدى نهايتيها مشتبة في العظم والأخرى حرة، كما أنها صلبة ومرنة فهي تستطيع الاهتزاز مثل قصبات الهمارمونيكا. ترداد أطوال الألياف القاعدية تدريجياً كلما ابتعدنا عن قاعدة القوقة باتجاه قمتها، حيث يبلغ طولها قرب النافذة البيضية نحو ٤٠٠ ملم ليصل إلى نحو ٥٠٠ ملم عند قمة القوقة وهي زيادة في الطول تعادل ١٢ ضعفاً. ومن جهة أخرى ينقص قطر الألياف باتجاه القمة (ذات القطر الكبير موجودة عند قاعدة القوقة أي النافذة البيضية وتتناقص أقطارها كلما اتجهنا نحو القمة). لذلك تنقص صلابتها الكلية أكثر من ١٠٠ ضعف. وبالتالي فالألياف الصلبة القصيرة قرب النافذة البيضية تهتز عند التواتر العالي، في حين أن الألياف الطويلة المرنة قرب قمة القوقة تهتز عند التواتر المنخفض. وهكذا فإن الرنين عالي التواتر يحدث في الغشاء القاعدي قرب قاعدته، في حين أن الرنين المنخفض التواتر يحدث قرب القمة، والسبب الرئيسي هو الفارق في صلابة الألياف، كما يوجد سبب آخر هو ازدياد حمولة الغشاء القاعدي من المسوائل التي

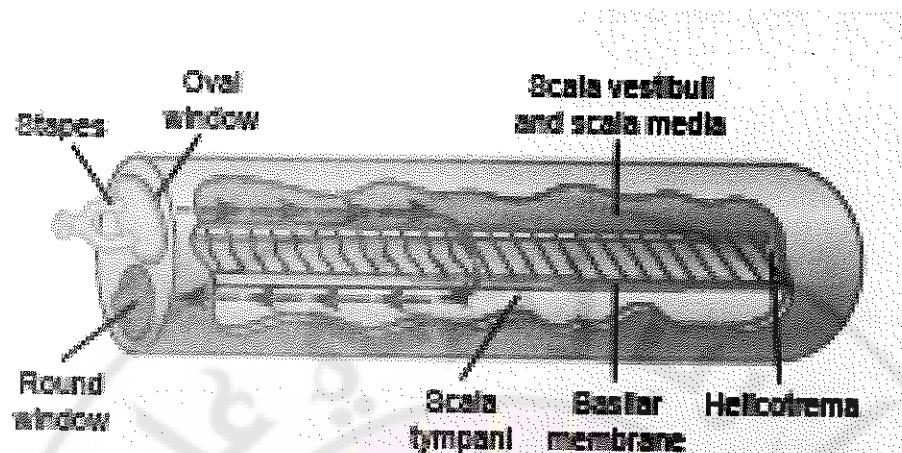
يجب أن تقتصر على طول الطريق بين الغشاء القاعدي في إحدى نهايته والثقبة البيضية في النهاية الأخرى (الشكل ٥٩).



الشكل (٥٩) الموجات المتنقلة على طول الغشاء القاعدي للتواترات المرتفعة والمتوسطة والمنخفضة.

### الانتقال الأمواج الصوتية في القوقة

إذا تحركت قدم الركاب نحو الداخل في لحظة ما فيجب أن تبرز النافذة المدوره نحو الخارج بشكل آني، لأن القوقة محاطة من جميع جوانبها بمحدر عظميه، ولذلك فإن التأثير البديهي جعل الغشاء القاعدي في قاعدة القوقة يتبارز باتجاه النافذة المدوره، ولذلك تؤدي البنية المتوردة المرنة للألياف القاعدية إلى إحداث موجة تنتقل على طول الغشاء القاعدي باتجاه قمة القوقة (الشكل ٦٠).



الشكل (٦٠) حركة المسائل في التوقيعة التالية لاندفاع الركاب نحو الأمام.

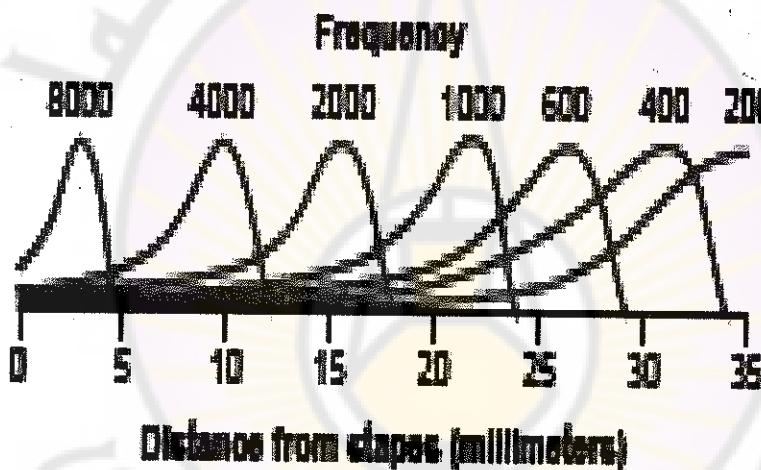
### وظيفة عضو كوري

هو عضو مستقبل يولد الدفعات العصبية استجابة لاهتزاز الغشاء القاعدي ويرسلها عبر العصب السمعي إلى الجهاز العصبي المركزي.

### تحديد تواتر الصوت — مبدأ (الموضع)

إن الأصوات ذات التواترات المنخفضة تسبب تفعيلاً أعظمياً للغشاء القاعدي قرب قمة القوقة، في حين أن التواترات العالية تفعل الغشاء القاعدي قرب قاعدة القوقة وتفعال التواترات المتوسطة الغشاء القاعدي على مسافات متوسطة ما بين طرفيه، بالإضافة إلى ذلك يوجد تنظيم فراغي للألياف العصبية في السبيل القوقي على طول الطريق من القوقة إلى قشرة المخ. لقد أظهر تسجيل الإشارات من السبل السمعية في جذع الدماغ ومن الباحثات المستقبلة السمعية في القشرة المخية أن عصبونات معينة تفعل بوساطة تواترات صوتية معينة. ولذلك فإن الطريقة الرئيسية التي يستعملها

الجهاز العصبي لكشف التواترات المختلفة تحديد الموضع الأكثر تفعيلاً على طول الغشاء القاعدي، ويدعى هذا مبدأ الموضع لتحديد تواتر (أو لحن Pitch) الصوت. كما يظهر في الشكل (٦١) فإن النهاية البعيدة للغشاء القاعدي عند قمة القوقة تنبه بجميع التواترات الصوتية التي هي دون ٢٠٠ دورة في الثانية لذلك كان من الصعب فهم كيف يستطيع الشخص التفريق بين التواترات الصوتية المختلفة من ٢٠٠ حتى ٢٠ اعتناماً على مبدأ الموضع، ولذلك افترض أنه يتم تمييز هذه التواترات المنخفضة بشكل رئيسي بما يدعى مبدأ التكرار أو التواتر.



الشكل (٦١) نقاط الرنين على الغشاء القاعدي لمختلف التواترات.

#### تعيين ارتفاع الصوت

يتم تعيين ارتفاع الصوت بواسطة الجهاز السمعي بثلاث طرق مختلفة على الأقل:

١. يزداد مدى اهتزاز الغشاء القاعدي والخلايا المشعرة الموجودة في عضو كوري كلما أصبح الصوت أكثر ارتفاعاً، وهكذا فإن الخلايا المشعرة تشير إلى النهايات العصبية بمعدلات أسرع.

٢. عندما يزداد مدى الاهتزاز يؤدي ذلك إلى تبخر متزايد للخلايا على حوف الجزء الرنان من الغشاء القاعدي وهذا يؤدي إلى حدوث تراكم مكاني للدفعات (أي انتقال الدفعات Impulses) عبر عدد كبير من الألياف العصبية بدل انتقالها عبر عدد قليل منها).

٣. يوجد خلايا مشعرة في الغشاء القاعدي لا تتبخر حتى يصل اهتزاز الغشاء القاعدي إلى شدة عالية نسبياً، ما يعلم الجهاز العصبي أن الصوت عند ذلك مرتفع جداً.

**تمييز الاتجاه الذي يأتي منه الصوت.**  
يستطيع الشخص أن يحدد الاتجاه الذي يأتي منه الصوت في المستوى الأفقي بـ **الآذنين** رئيسيتين:

١. بواسطة الفاصل الزمني بين دخول الصوت إلى إحدى الأذنين ودخوله إلى الأذن الأخرى.

٢. بواسطة الاختلاف ما بين شدة الأصوات في كلتا الأذنين.

تعمل الآلة الأولى بالشكل الأفضل عند التواترات التي تقل عن ٣٠٠٠ دورة في الثانية، بينما تعمل آلة الشدة بالشكل الأفضل عند التواترات العالية لأن الرأس يعمل ك حاجز للصوت عند هذه التواترات. إن آلة الزمن الفاصل تعامل بشكل أكثر دقة من آلة الشدة ويعود السبب في ذلك لعدم اعتمادها على عوامل خارجية وإنما تعتمد على فترة زمنية حقيقة فاصلة ما بين الإشارات السمعية. فإذا كان الشخص ينظر

مباشرةً باتجاه الصوت بشكل مستقيم فإن الصوت يصل إلى كلتا الأذنين في اللحظة نفسها تماماً ولكن عندما تكون الأذن اليمنى أقرب إلى الصوت من الأذن اليسرى فإن الإشارات الصوتية القادمة من الأذن اليمنى تدخل الدماغ قبل تلك الإشارات القادمة من الأذن اليسرى.

لا تستطيع الآليتان المذكورتان أنفأً أن تحدد المصدر الذي يأتي منه الصوت هل هو من الخلف أو من الأمام أو من الأعلى أو من الأسفل. ينجز هذا التحديد بشكل رئيسي بوساطة الصيوان في كلتا الأذنين. إن شكل الصيوان يؤدي إلى تغيير كمية الصوت التي تدخل الأذن بالاعتماد على الجهة التي يأتي منها الصوت ويتم ذلك مع الحفاظ على توافر الصوت من أي جهة جاء.

#### كشف التغيرات في ارتفاع الصوت (قانون القدرة)

إن الإحساس المفسر — في حالة الصوت — يتغير تقريراً بالتناسب مع الجذر التكعيبي لشدة الصوت الفعلية، أي بمعنى آخر، تستطيع الأذن تمييز الاختلافات في شدة الصوت من أضعف همسة إلى أعلى ضجة ممكنة وفي هذا زيادة في قدرة الصوت تعادل تقريراً تريليون ضعف، أو زيادة في مدى حركة الغشاء القاعدي نحو مليون مرة، ومع ذلك فإن الأذن تميز هذا الاختلاف الكبير في مستوى الصوت بتغير يبلغ تقريراً  $1000$  ضعف فقط.

وهكذا فإن سلم الشدة يضغط بوساطة آليات إدراك الصوت في الجهاز السمعي ومن الواضح أن هذا يسمح للشخص بتمييز اختلافات في شدة الصوت على مدى واسع جداً وأكثر اتساعاً مما يمكن أن يكون إذا لم يوجد ذلك الضغط للسلم.

#### وحدة الديسيبل (وحدة لقياس شدة الصوت)

وحدة لقياس شدة الصوت تساوي  $20$  لغ شدة الصوت

شدة صوت معياري (أقل شدة للصوت)

وهذا لا يعني أن صوتاً شدته صفر ديسيل غير مسموع أو ليس له شدة وإنما يعني أن قيمة طاقته تساوي حد العقبة الدنيا للسمع.

وبحال السمع الطبيعي عند الإنسان هو بين (٠ - ١٤٠ ديسيل) وفوق ديسيل يصبح الصوت قادراً على إيذاء عضو كوري.

### مجال تواترات السمع

تتراوح التواترات الصوتية المسموعة عند البشر بين ٢٠ و ٢٠٠٠٠ دورة في الثانية عند الشاب السوي (قبل أن يحدث الكير في الأذنين).

### مقياس السمع Audio meter

يستعمل مقياس السمع لتحديد طبيعة العجز السمعي (درجة نقص السمع ونوعيته عظمي أو هوائي) الجهاز عبارة عن سماعة تتصل بمذبذبة إلكترونية قادرة على إصدار نغمات صرفة (صافية) تتوافق بين التواترات المنخفضة والتواترات المرتفعة، وقد تمت معالجة هذا الجهاز بحيث يكون المستوى صفر لشدة الصوت عند كل تواتر هو الشدة التي يسمعها الشخص السوي بصعوبة وكل ذلك بناء على دراسات سابقة عند أشخاص أسواء، وعلى كل حال يمكن بواسطة معبر التحكم بشدة الصوت زيادة أو إنقاص شدة الصوت عند كل تواتر إلى قيم أعلى أو أخفض من الصفر، فإذا كان الشخص المفحوص لا يستطيع سماع نغمة ما إلا إذا زيد ارتفاعها إلى ٣٠ ديسيل فوق الحد السوي يقال إن هذا الشخص مصاب بنقص سمع يبلغ ٣٠ ديسيل عند ذلك التواتر.

ولفحص السمع بمقاييس السمع تقوم باختبار من ٨ إلى ١٠ تواترات تقريرياً بحيث  
نعطي الطيف السمعي، ويتم تحديد نقص السمع لكل تواتر في الطيف السمعي،  
بالإضافة إلى أن مقياس السمع مجهر بسماعة لفحص الناقلة الهوائية بوساطة الأذن،  
فإنه مجهر أيضاً بهزارة إلكترونية لفحص الناقلة العظمية من الناتئ الخشائي إلى  
القوعة.



١-Essentials of Anatomy & Physiology.Rod R. Seeley,  
Trent D. Stephens,Philip Tate .٥ th ed, McGraw-Hill,  
٢٠٠٥.

٢-Review of Medical Physiology. William F. Ganong.  
٢٢ th ed, Appleton & Lange, ٢٠٠٥.

٣-Text Book of Medical Physiology. Guyton & Hall.  
١١ th ed, Saunders, ٢٠٠٦.

**الشومي العلمي**

- ١ - أ.د. صباح القحطان.
- ٢ - أ.م.د. أمل الظاهر
- ٣ - أ.م.د. أمل ركاج

**المدقق اللغوي**

أ.د. ناصر حسن علي

**حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب  
والمطبوعات الجامعية**