الفيزيولوجيا والتشريح

الجزء الثاني: الفيزيولوجيا

السنة: الثانية

القسم: هندسة طبية –كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية

منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية
قسم الهندسة الطبية

الفيزيولوجيا والتشريح

الجزء الثاني: الفيزيولوجيا

الدكتور
عبدالوهاب شهلا
مدرس في قسم الفيزيولوجيا والأدوية
كلية الطب البشري

١٤٢٩-١٤٣٠ هـ

جامعة دمشق

٢٠٠٨-٢٠٠٩ م

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفهرس

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

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

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المقدمة

إن هدف الفيزيولوجيا إيضاح العوامل الفيزيائية والكيميائية عن أصل الحياة وتطورها.إن كل نمط من الحياة من أصغر حمة 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

نهتم في دراستنا للفيزيولوجيا البشرية بتوضيح الخصائص والآليات النوعية لجسم الإنسان التي تجعل منه كائناً حياً.إن حقيقة بقائنا أحياء هي نتيجة تنظيمنا الذاتي،فالجوع يجعلنا ننشد الطعام، والخوف يجعلنا ننشد الملجأ،وإحساسنا بالبرد يدفعنا للبحث عن الدفء،وتدفعنا القوى الأخرى نحو الصُحبة والتكاثر. بناءً على ما تقدم فإن الكائن البشري هو في الحقيقة آلة تلقائية، وحقيقة كوننا كائنات ذكية تشعر وتحس وتتعلم هو جزء من السلسلة التلقائية للحياة، وهذه الميزات الخاصة تسمح لنا بالبقاء ضمن ظروف متنوعة بشدة ستجعل الحياة مستحيلة لولا ذلك.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

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، يتألف كامل الجسم البشري من حوالي ٧٥ - ١٠٠ تريليون خلية، تتجمع الخلايا المتشابهة مع بعضها لتشكل الأنسجة، وتجمع الأنسجة ذات الوظائف المتكاملة يشكل الأعضاء، وتتشكل الأجهزة systems من عدة أعضاء ذات وظائف متكاملة.

يتشكل الجسم البشري من مجموعة أجهزة تتكامل وتنتظم وظائفها مع بعضها وكل نمط من الخلايا مهيأ لإنجاز عمل خاص واحد أو لإنجاز عدة أعمال في بعض الأحيان (مثال 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 والدسم والبروتينات لتحرير الطاقة التي تحتاجها الخلية لأداء وظائفها، والآليات العامة لتحويل الغذيات 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 رئيسين هما النواة والهيولى وتكون النواة مفصولة عن الهيولى بوساطة الغشاء النووي، كما يفصل غشاء الخلية Cell membrane الخلية عن السوائل المحيطة بها.

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

١ ــ الماء Water

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

٢ ــ الكهارل Electrolytes

تعتبر الشوارد التالية هي الشوارد الأكثر أهمية في الخلية وهي: البوتاسيوم والمغنيزيوم 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 للاستتباب الخلوي.

٣ ــ البروتينات Proteins

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

تختلف البروتينات البنيوية عن البروتينات الكريوية بمايلي:

تتألف البروتينات البنيوية من مكاثير Polymers لجزئيات بروتينية عديدة وهي توجد بشكل خاص في الألياف بمختلف أنواعها، في حين أن البروتينات الكريوية هي جزئيات بروتينية مفردة وهي على الغالب أنزيمات الخلية.

٤- الشحميات Lipids

هي عبارة عن عدة أنماط من المواد مجموعة مع بعضها لأن لها خاصة مشتركة وهي انحلالها في مذيبات الدسم، والشحميات الأكثر أهمية في معظم الخلايا هي الشحميات الفوسفورية والكولسترول وتشكل حوالي ٢% من الكتلة الكلية للخلية، والأهمية الخاصة للشحميات الفوسفورية والكولسترول هي أنها بشكل عام غير منحلة بالماء ولذلك فهي تستخدم لتشكيل الحوائل Barriers (الحواجز) الغشائية لفصل مختلف الأقسام داخل الخلية.

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

٥ ــ السكريات Carbohydrates

تملك الكاربوهيدرات وظيفة بنيوية ضئيلة في الخلية ما عدا قسم منها هي البروتينات السكرية، ولكنها تقوم بدور كبير في التغذية وتشكل ١% من كامل كتلة الخلية.

البنى الفيزيائية المكونة للخلية

Physical structure of the cell

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

١ –البنى الغشائية في الخلية

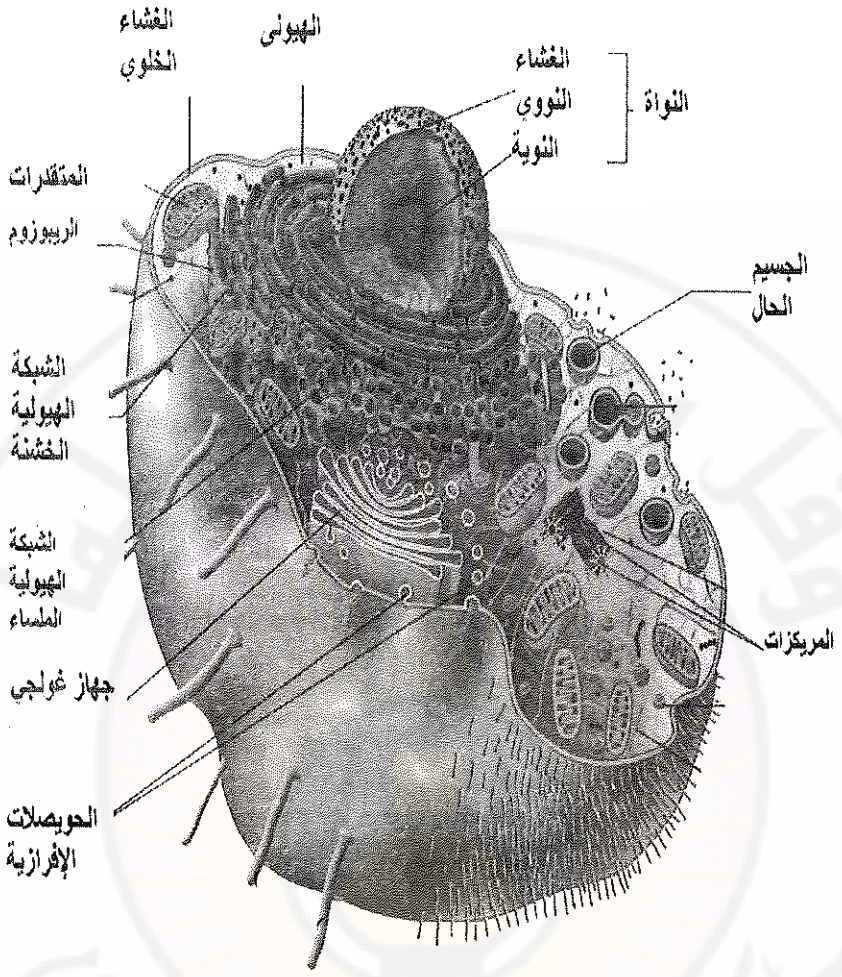
إن جميع مكونات الخلية تكون محاطة بوساطة غشاء مؤلف بشكل أساسي من الشحميات والبروتينات . تتضمن هذه الأغشية غشاء الخلية والغشاء النووي وغشاء الشبكة الهيولية الباطنة وأغشية المتقدرات .

تشكل الشحميات في الأغشية الحائل الذي يمنع الحركة الحرة للماء والمواد المنحلة به بين مختلف أقسام الخلية، وبالمقابل فإن جزئيات البروتين الموجودة في الغشاء والتي تخترقه من جهةٍ إلى أخرى تشكل ممرات 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 وذو بنية مرنة، تبلغ ثخانته ٣,٥ إلى ١٠ نانو متر، وهو نصف نفوذ Semipermeable ويتألف بشكل كامل تقريباً من البروتينات والشحميات (٥٥% بروتينات، ٢٥% شحميات فوسفورية، ١٣% كولسترول، ٤% شحميات أخرى، ٣% سكريات) .



الشكل(١).بنية الخلية كما تظهر بالمجهر الالكتروني.

Damascus University

٢ــ الهيولى وعضياتها Cytoplasm and its organelles

تمتلئ الهيولى بالعديد من الجزيئات والعضيات المنتشرة سواء الكبيرة منها أم الصغيرة، حيث يتراوح حجمها من بضع نانومترات إلى عدة ميكرومترات، ويدعى الجزء الصافي من الهيولى والذي تنتشر فيه الجزيئات العصارة الخلوية وهي تحوي بروتينات منحلة وكهارل وغلوكوز وكميات ضئيلة من المركبات الشحمية، وتنتشر في الهيولى كريات الدسم المحايدة وحبيبات الغليكوجين والرياسات والحبيبات 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 غولجي**

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

- **الجسيمات الحالة**

عضيات حويصلية تشكل بوساطة جهاز غولجي لتنتشر بعد ذلك في الهيولى، تحاط هذه الجسيمات بالغشاء النموذجي وتملأ بأعداد كبيرة من الأنزيمات المحلمهة (هذا النوع من الأنزيمات يقوم بتحويل البروتينات والدسم والكاربوهيدرات إلى المواد الأولية المكونة لهذه المواد وهي مثلاً تحول البروتينات إلى حموض أمينية). تشكل

الجسيمات الحالة الجهاز الهضمي داخل الخلايا الذي يسمح للخلية بهضم وإزالة المواد أو البنى غير المرغوب فيها وخاصة المؤذية أو الغريبة مثل الجراثيم.

- **الجسيمات فوق المؤكسدة Peroxisomes**

تشبه فيزيائياً الجسيمات الحالة لكنها تختلف عنها بأمرين هامين:

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

٢. تحوي أنزيمات اكسيداز (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 Hydrogen Peroxide (H_2O_2) 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 تتحكم بالفعاليات التي تحدث في الهيولى، كما أنها تتحكم بالتوالد أيضاً.


وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

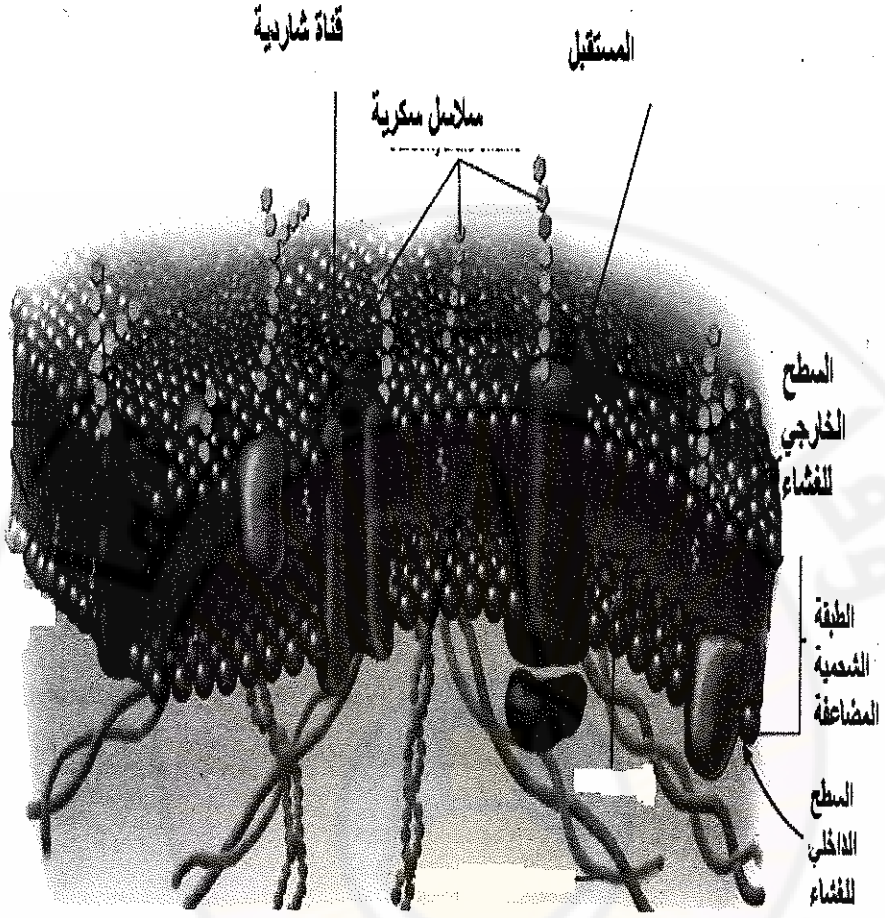
الفصل الثاني

نقل الشوارد والجزيئات عبر غشاء الخلية

يفصل غشاء الخلية بين السائل خارج الخلايا والسائل داخل الخلايا، ويكـــون السائل خارج الخلايا محتوياً على كميات كبيرة من الصوديوم وكمية صـــغيرة مـــن البوتاسيوم بينما يحتوي السائل داخل الخلايا على كميات كبيرة من البوتاسيوم وكمية قليلة من الصوديوم، بالنسبة لبقية الشوارد والجزيئات يحتوي السائل خارج الخلايـــا على كميات كبيرة من الكلور، أما تراكيز الفوسفات والبروتينات فهي أكبر بكثير في السائل داخل الخلايا، هذه الاختلافات العديدة ضرورية جداً للمحافظة على حيـــاة 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 كمـــا يظهـــر في الشكل(٢).

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



الشكل (٢). بنية غشاء الخلية.

Damascus University

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

طرق النقل عبر الغشاء الخلوي

يحدث النقل عبر غشاء الخلية عبر الطبقة الشحمية المضاعفة أو عبر البروتينات بواحدة من الطريقتين الأساسيتين التاليتين:

أ ــ الانتشار Diffusion ويدعى أيضاً النقل المنفعل.

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

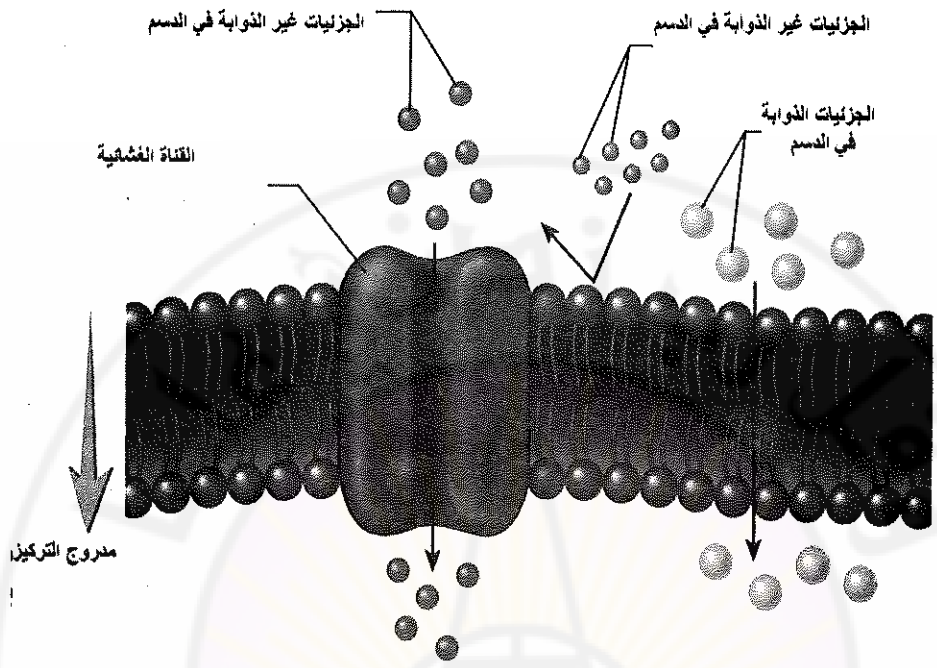
يقسم الانتشار عبر غشاء الخلية إلى نمطين منفصلين:

اولاً- 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 بسبيلين:

١-الانتشار البسيط عبر الطبقة الشحمية المضاعفة

تم في دراسات تجريبية فصل شحوم الخلية عن البروتينات ثم إعادة تركيبها من جديد وتشكيل أغشية صنعية تتألف 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 تتناسب سرعة انتشار بعض المواد مع درجة ذوبانها الشحمي (الأكسجين ــ الآزوت ــ 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 تعبر الغشاء الخلوي للكرية الحمراء كل ثانية مقداراً يعادل حجم الكرية الحمراء نفسها مئة مرة). ويعتقد أن السبب هو صغر حجم جزيئات الماء وامتلاكها طاقة حركية كبيرة إلى حد كاف بحيث تستطيع أن تعبر بسهولة (كالرصاصة) الجزء الشحمي للغشاء قبل أن تتمكن كراهية الماء التي تتميز بها الشحوم من إيقافها.

- وتستطيع الجزيئات الأخرى غير الذوابة 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، مثال على ذلك فإن قطر جزيئات اليوريا أكبر من قطر جزيئات الماء بـ ٢٠% فقط ومع ذلك فإن نفاذها عبر غشاء الخلية أقل ألف مرة من الماء .
- أما بالنسبة للشوارد حتى الصغيرة منها كشوارد الهيدروجين والصوديوم والبوتاسيوم فإنها 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 لسببين:

١. تسبب الشحنة الكهربائية لهذه الشوارد ارتباط الكثير من جزئيات الماء بها مما يؤدي إلى زيادة حجم الشوارد بشكل كبير الأمر الذي يعوق وحده اختراق 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 أغلة جزيئات البروتين ،إن إعادة البناء ثلاثي الأبعاد المحوسب لبعض هذه الجزئيات أظهر بوضوح وجود قنوات أنبوبية الشكل تمتد من النهايات خارج الخلايا إلى النهايات داخل الخلايا،وبالتالي يمكن للمواد أن تنتشر مباشرةً عبر هذه القنوات من أحد جوانب الغشاء إلى الجانب الأخر.

تتصف هذه القنوات بصفتين هامتين:

١. غالباً ما تكون هذه القنوات نفوذة بشكل انتقائي.

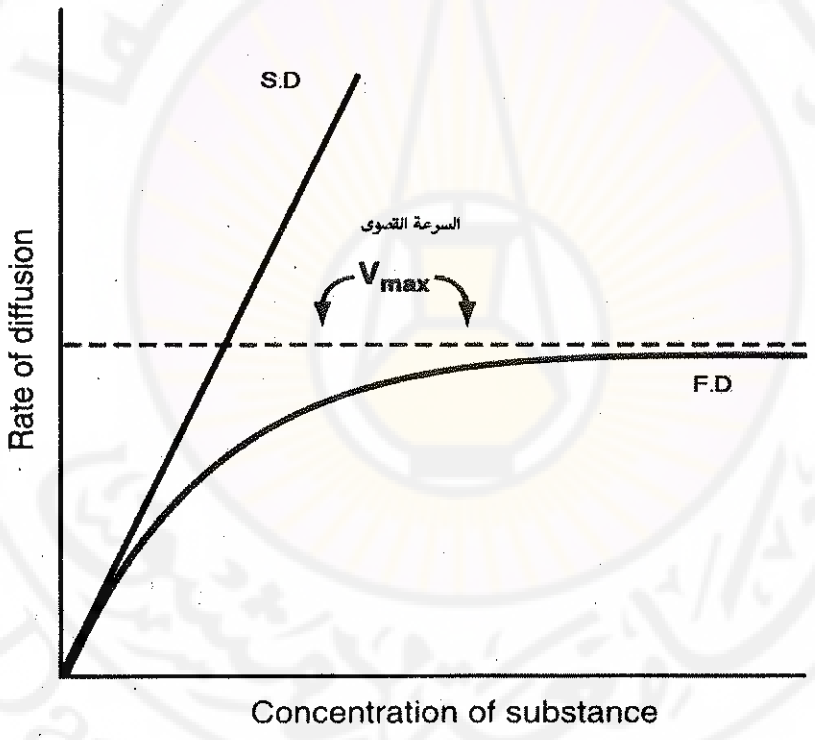
٢. يمكن فتح وإغلاق الكثير من هذه القنوات بوساطة البوابات Gates ويتم التحكم بانفتاح وانغلاق البوابات بطريقتين رئيسيتين:

- 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 الربيطة Ligand gating تنفتح هذه البوابات عن طريق ارتباط جزء آخر بالبروتين وهذا الارتباط يحدث تبدلاً شكلياً في جزئي البروتين يؤدي إلى فتح أو إغلاق البوابة وهذا يدعى بوابة الربيطة وتدعى المادة المرتبطة مع البروتين الربيطة ومثال على ذلك(قناة الأستيل كولين).

ثانياً- الانتشار الميسر Facilitated diffusion

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

- إن سرعة الانتشار تزداد بشكل يتناسب مع تركيز المـــادة المنتـــشرة في الانتشار البسيط بينما في الانتشار الميسر نجد أن سرعة الانتشار تـــزداد بزيادة تركيز المادة حتى تقترب من حد أقصى يدعى السرعة القـــصوى بحيث لا تزداد بعدها سرعة الانتشار . هذا الفرق بين الانتشار البسيط و الانتشار الميسر يبدو واضحاً في الشكل(٤) ويعتبر الغلوكوز من أكثـــر المواد التي تعبر غشاء الخلية بوساطة الانتشار الميسر أهمية.



الشكل (٤). شكل يُظهر الفرق بين الانتشار الميسر والانتشار البسيط
(FD = الانتشار الميسر، SD = 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 الفـــرق بينهما و هو عبارة عن معدل الانتشار الصافي Net rate of diffusion

والعوامل التي تؤثر على هذا المعدل هي:

١ ـــ 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 أوفي الضغط بين طرفي الغشاء) والعوامل المختلفة التي تـــؤثر على نفوذية غشاء الخلية هي:

- ثخانة الغشاء .كلما كانت اكبر كانت سرعة الانتشار أقل.
- الذوبان الشحمي. كلما كان ذوبان المادة في شحوم الغشاء اكبر كانت سرعة الانتشار أكبر.
- عدد القنوات البروتينية الموجودة في الغشاء والتي يمكن للمـــادة أن تمـــر عبرها. يتعلق معدل الانتشار مباشرةً بعدد القنوات البروتينية الموجودة في وحدة المساحة.
- درجة الحرارة.كلما كانت أكبر كانت سرعة الانتشار أكبر.
- الوزن الجزيئي للمادة المنتشرة:يملك هذا العامل تـــأثيراً معقـــداً،بحيـــث تتناسب سرعة الحركة الحرارية عكسياً مع الجـــذر التربيعـــي لوزنـــه الجزيئي،ومن ناحية أخرى كلما اقترب القطر الجزيئي من قطـــر القنـــاة تزداد مقاومة المرور بشكل كبير.

٢ ـــ اختلاف تركيز المادة المنتشرة على جانبي الغشاء.

يتناسب الانتشار طرداً مع فرق التركيز على جانبي الغشاء.

٣- فرق الضغط عبر الغشاء.

يتناسب الانتشار طرداً مع فرق الضغط على جانبي الغشاء

٤ ــ فرق الكمون الكهربائي بين طرفي الغشاء في حالة الشوارد.

ب ــ النقل الفاعل Active Transport

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

تتطلب الأمور، في بعض الأحيان، وجود مادة ما بتركيز عال 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 نمطين 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 ومهمتها 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 ــ النقل الفاعل الثانوي

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

وفي حالي (الأولي والثانوي) يعتمد النقل على وجود بروتين حامل ليتم اختراق 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 المنقولة لتحريكها بعكس المدروج الكهربائي.

الفصل الثالث

كامن الغشاء وكامن الفعل

Membrane potential and action potential

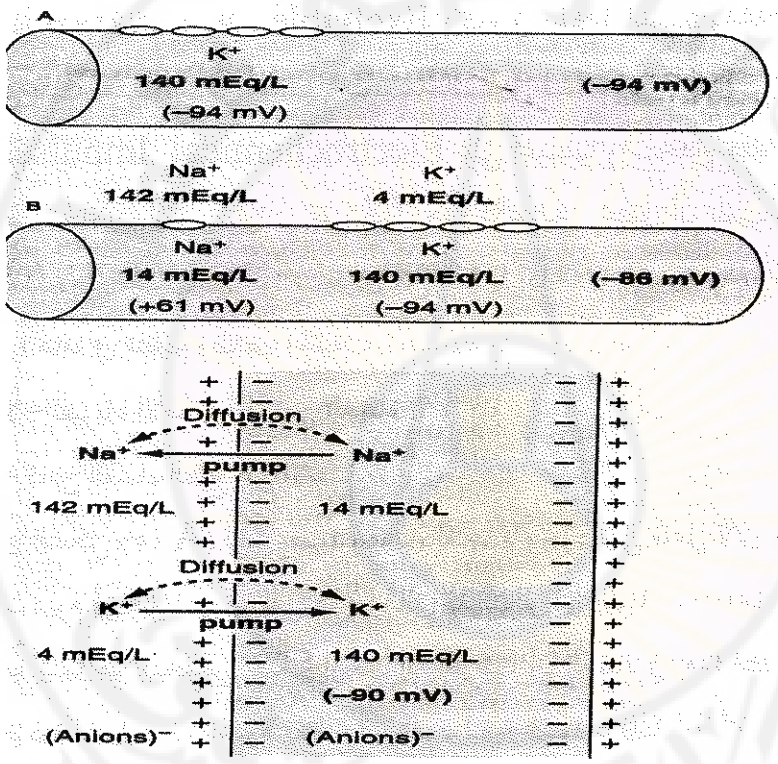
يوجد كامن كهربائي عبر أغشية كافة خلايا الجسم،وبالإضافة إلى ذلك تكون بعض هذه الخلايا مستثارة Excitable (كما في الخلايا العصبية والخلايا العضلية)، يعني ذلك أنها قادرة على التوليد الذاتي لدفعات كيميائية كهربائية Electrochemical Impulses على أغشيتها واستخدام هذه التنبيهات في معظم الحالات لنقل إشارات على 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 النفوذية 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 الكهرجابية خارج الغشاء والكهرسلبية داخل الغشاء (تنحم السلبية داخل الغشاء عن وجود الصواعد السالبة التي لاتستطيع الانتشار نحو الخارج). إن هذا الاختلاف الجديد في الكامن الكهربائي يدفع شوارد البوتاسيوم باتجاه راجع من الخارج إلى الداخل .إن هذا التغير في الكامن

سرعان ما يصبح خلال ميلي ثانية كبيراً جداً لدرجة يوقف معها أي انتشار إضـــافي لشوارد البوتاسيوم نحو الخارج على الرغم من مدروج تركيز شـــاردة البوتاســـيوم المرتفع. يعادل فرق الكامن اللازم لذلك في الليف العصبي السوي الكبير عند الثدييات ٩٤ ميلي 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 شاردتي الصوديوم والبوتاسيوم.

يبين الشكل(٥،B) الظاهرة نفسها الموجودة في الشكل(٥، A) 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 سلبيتها في الخارج وإيجابيتها في الداخل .يزداد 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 الثدييات يعادل ٦١ ميلي فولط مع ايجابية 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 لحدوث 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 بكامن 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 اكبر). 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(٣٧ درجة مئوية).

التركيز في الداخل

القوة المحركة الكهربائية(ميلي فولط) = ±٦١لغ ———————

التركيز في الخارج

ويفترض عند استخدام هذه المعادلة أن يبقى الكامن خارج الغشاء مساوياً للصفر تماماً ويكون كامن نيرنست 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 نيرنست 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 وخارجه.

وهكذا فإن المعادلة التالية التي تدعى معادلة كولدمان–هودجكن–كاتز تعطي كامن الغشاء المحسوب على الوجه الداخلي للغشاء عندما تشترك ثلاثة شوارد في إحداث هذا الكامن وهي البوتاسيوم والصوديوم والكلور.

$$EMF = -61 \log \frac{C_{Na+i}P_{Na+} + C_{K+I}P_{K+} + C_{cl-\ o}P_{cl-}}{C_{Na+o}P_{Na+} + C_{K+o}P_{K+} + C_{cl-I}P_{cl-}}$$

Concentration =C Permeability =P Inside=I Outside=O .

ولندرس الآن أهمية ومعنى هذه المعادلة.

١. 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.

٢. تتناسب 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 مدروج تركيز شوارد الصوديوم ويكون الكامن الناتج مساوياً تماماً لكامن نيرنست للصوديوم، ويصح المبدأ نفسه لأي شاردة أخرى إذا كان الغشاء نفوذاً لهذه الشاردة فقط.

٣. يسبب مدروج 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 سالبة.

٤. سوف نرى لاحقاً أن نفوذية كل من قنوات الصوديوم و البوتاسيوم تخضع لتبدلات سريعة جداً في أثناء توصيل الدفعات العصبية. (نقل التنبيهات 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 .

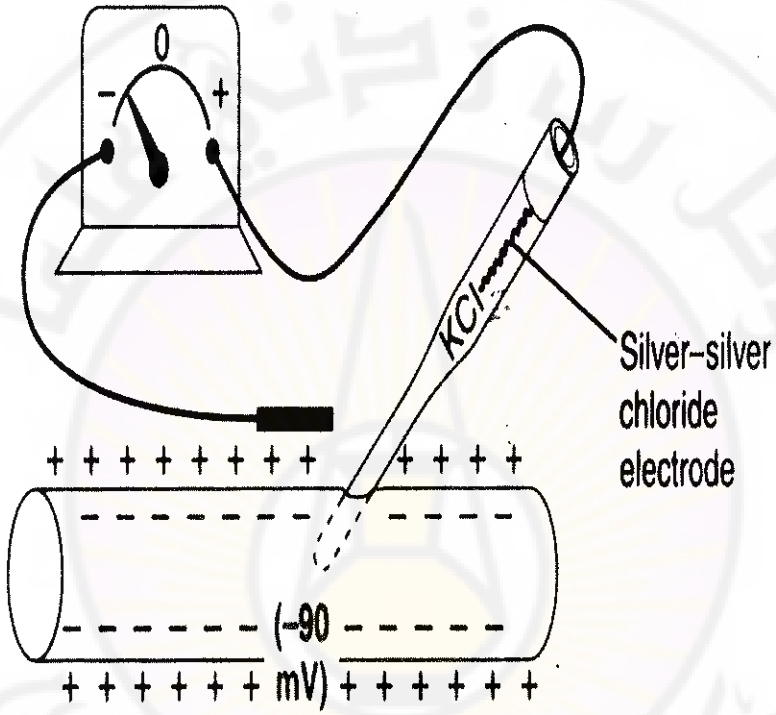
٤– قياس كامن الغشاء

إن طريقة قياس كامن الغشاء سهلة نظرياً، لكن من الناحية العملية فهي غاية في الصعوبة بسبب الحجوم الصغيرة لمعظم الألياف . يبين الشكل (٦) ممصاً صغيراً مليئاً بمحلول كهرلي 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 مقياس فولط مخصص لهذا الغرض .

إن هذا الجهاز الالكتروني شديد التعقيد قادر على قياس الفولطاجات الصغيرة جداً على الرغم من المقاومة الكبيرة جداً للجريان الكهربائي عبر ذروة الممص الشعري الذي يملك قطراً يقيس أقل من ١ مكرو متر 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 هـــذه الألياف اشارات عصبية)حوالي –٩٠ ميلي فولط.وهذا يعني أن الكامن داخل الليف

أكثر سلبية بمقدار ٩٠ ميلي فولط من كامن السائل الخلالي خارج الليـــف. وقبـــل دراسة العوامل التي تحدد مستوى هذا الكامن لابد من دراسة خواص كل من شوارد الصوديوم والبوتاسيوم للانتشار عبر غشاء العصب في أثناء الراحة.

- **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 شاردتي بوتاسيوم إلى الداخل) وهذا يؤدي إلى حـــدوث شحنة سلبية داخل غشاء الخلية.

كما أن مضخة الصوديوم –البوتاسيوم تحدث مدروجات كبيرة في التركيز بالنـــسبة لكل من الصوديوم والبوتاسيوم عبر غشاء العصب في أثناء الراحة وهذه المدروجات هي كالتالي:

Na في الخارج =١٤٢ ميلي مكافئ / ليتر.

Na في الداخل =١٤ ميلي مكافئ / ليتر .

K في الخارج = ٤ميلي مكافئ / ليتر .

K في الداخل =١٤٠ ميلي مكافئ / ليتر .

- **تسريب البوتاسيوم والصوديوم عبر غشاء العصب**

يمكن لكلّ من شوارد البوتاسيوم والصوديوم أن تتسرب عبر قنوات بروتينية موجودة في الغشاء تـــدعى هـــذه القنـــوات بـــــ Potassium-Sodium Leak channel . وتكون هذه القنوات أكثر نفوذية لشوارد البوتاسيوم من الـــصوديوم بمقدار ١٠٠ مرة في الحالة السوية.

٦-منشأ كامن الغشاء السوي في أثناء الراحة

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

١. **مساهمة كامن انتشار البوتاسيوم.** إذا افترضنا أن حركة الشوارد الوحيدة عبر الغشاء هي شوارد البوتاسيوم فإن كامن نيرنست الموافق 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 المسبب لكامن الراحة فإن هذا الكامن سيكون مساوياً ل - ٩٤ ميلي فولط.

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

٣. **مساهمة مضخة الصوديوم والبوتاسيوم.**تساهم هذه المضخة في إضافة درجة إضافية من السلبية (-٤ ميلي فولط) وهكذا فإن كوامن الانتشار وحدها والناتجة عن انتشار الصوديوم والبوتاسيوم تعطي كامن غشاء يعادل تقريباً - 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 نهائي 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 .

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

- **دور الراحة:** و هو 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**

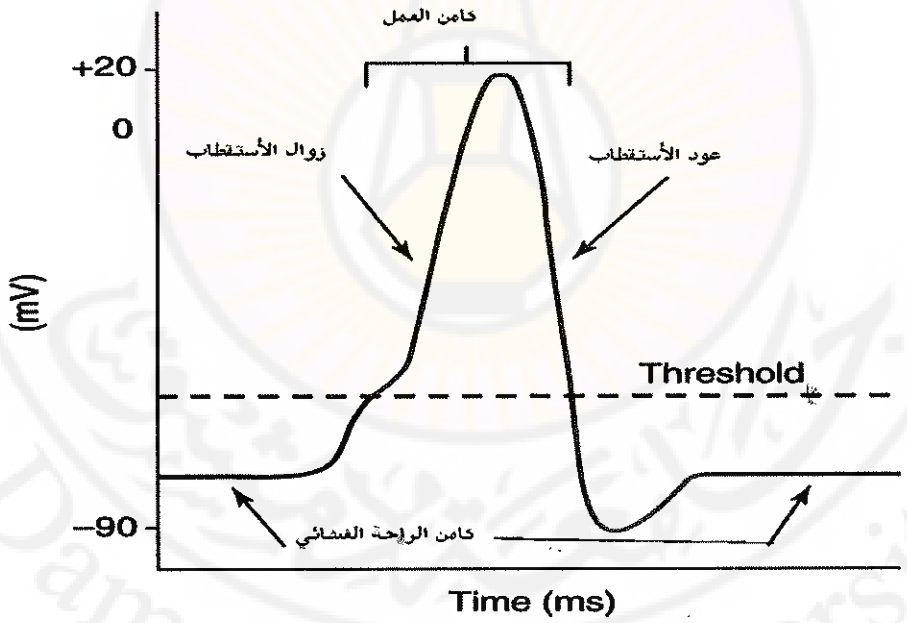
يصبح الغشاء في هذه المرحلة وفجأةً شديد النفوذية لشوارد الصوديوم مما يسمح بتدفق أعداد هائلة من شوارد الصوديوم إلى داخل الخلية وتزول حالة الاستقطاب السوية التي مقدارها – ٩٠ ميلي فولط مع ارتفاع سريع للكامن بالاتجاه الموجب وهذا يدعى نزع الاستقطاب أو إزالة الاستقطاب .

يتجاوز كامن الفعل في الألياف العصبية الكبيرة مستوى الصفر ويصبح ايجابياً 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 الايجابية .

• 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 انفتاح وانغلاق خلال زوال الاستقطاب والعودة للاستقطاب هي من نوع القنوات المبوبة بالفولطاج ومعنى ذلك أن تغيرات معينة في الفولطاج عبر غشاء الخلية هي التي تسبب انفتاحها أو انغلاقها .



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

دور الشوارد الأخرى في أثناء كامن العمل

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

١. **الشوارد ذات الشحنة السلبية وغير النفوذة الموجودة داخل المحوار.** يوجد داخل المحوار Axon الكثير من الشوارد السالبة التي لا يمكنها المرور عبر قنوات الغشاء وتضم هذه الشوارد جزيئات البروتين و الكثير من مركبات الفوسفات العضوية ومركبات السلفات وغيرها.

٢. **شوارد الكالسيوم** . يمتلك غشاء الخلية في معظم خلايا الجسم مضخة كالسيوم مشابهة لمضخة الصوديوم . وكما في مضخة الصوديوم ، تقوم هذه المضخة بضخ شوارد الكالسيوم من داخل غشاء الخلية إلى خارجه (أو إلى الشبكة الهيولية الباطنة) محدثة مدروجاً في تركيز شاردة الكالسيوم يعادل ١٠٠٠٠ 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 اكبر ب ١٠- ٢٠ مرة مما تحتاجه قنوات الصوديوم لتتفعل، لذلك تدعى القنوات البطيئة بعكس قنوات الصوديوم التي تدعى القنوات السريعة. تتواجد قنوات الكالسيوم بوفرة شديدة في كل من العضلة القلبية والعضلات الملس.

٣. **شوارد الكلور**.تتسرب شوارد الكلور عبر الغشاء في أثناء الراحة بالطريقة نفسها التي تتسرب بها شوارد البوتاسيوم والصوديوم عبر هـذا الغـشاء. وتكون سرعة انتشار الكلور عبر الغشاء في الليف العصبي اكبر بمرة ونصف من انتشار البوتاسيوم ولكن السؤال: لماذا لم نأخذ شوارد الكلور بالاهتمام في أثناء شرح كامن الفعل؟ والجواب على ذلك هو أن وظيفـة شـوارد الكلور منفعلة في هذه العملية، كما أن نفوذية قنوات تـسرب الكلـور لا تتبدل بشكل ملحوظ في أثناء كامن العمل كما أن كامن نيرنـست لهـذه الشاردة يساوي تماماً كامن الغشاء الذي تبلغ قيمته -٩٠ ميلي فولط.

نظمية النسج المستثارة

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 الملس
٣. الكثير من عصبونات الجملة العصبية المركزية

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

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

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

الفصل الرابع

الجهاز القلبي الوعائي Cardio Vascular System

مقدمة. يتألف الجهاز القلبي الوعائي من:

١ ــ القلب (مضخة مركزية)

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 ــ 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 (كالأبهر) تحتوي أليافاً مرنة في جدرها أكثر من الألياف العضلية بينما تملك الشرايين الأصغر أليافاً عضلية أكثر من المرنة.

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

٣. الشعريات Capillaries : تشكل شبكة من الأوعية الرقيقة الجدر، يتألف 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 جدراً رقيقة قابلة للتوسع 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 ويزن حوالي ٣٠٠ غ عند الشخص البالغ. يأخذ القلب شكل مخروط مقلوب قاعدته في الأعلى وقمته في الأسفل، ويعتبر القلب مؤلفاً من مضختين منفصلتين، القلب الأيمن الذي يضخ الدم عبر الرئتين والقلب الأيسر الذي يضخ الدم إلى كافة أعضاء الجسم الأخرى. يتألف 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 مركزية تضخ الدم عبر كلّ من الدورانين الرئوي والجهازي.

يوجد في القلب ثلاثة أنماط رئيسية من العضلات هي العضلة الأذينية والعضلة البطينية وألياف عضلية متخصصة نقلية واستثارية (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 والاستثارية فتتقلص بشكل ضعيف وبدلاً من ذلك فإنها تظهر نظميات وسرعات مختلفة للتوصيل مشكلة بذلك جهازاً استثارياً للقلب وجهاز نقل لتوصيل التنبيهات الاستثارية بشكل منظم عبر القلب.

العضلة القلبية كمخلى Cardiac muscle as syncytium

تتشكل 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 المتجاورة بحيث يتم انتقال الشوارد بحرية عبر مناطق الاتصال هذه، ويدعى هذا النوع من العضلات بالمخلى، 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.

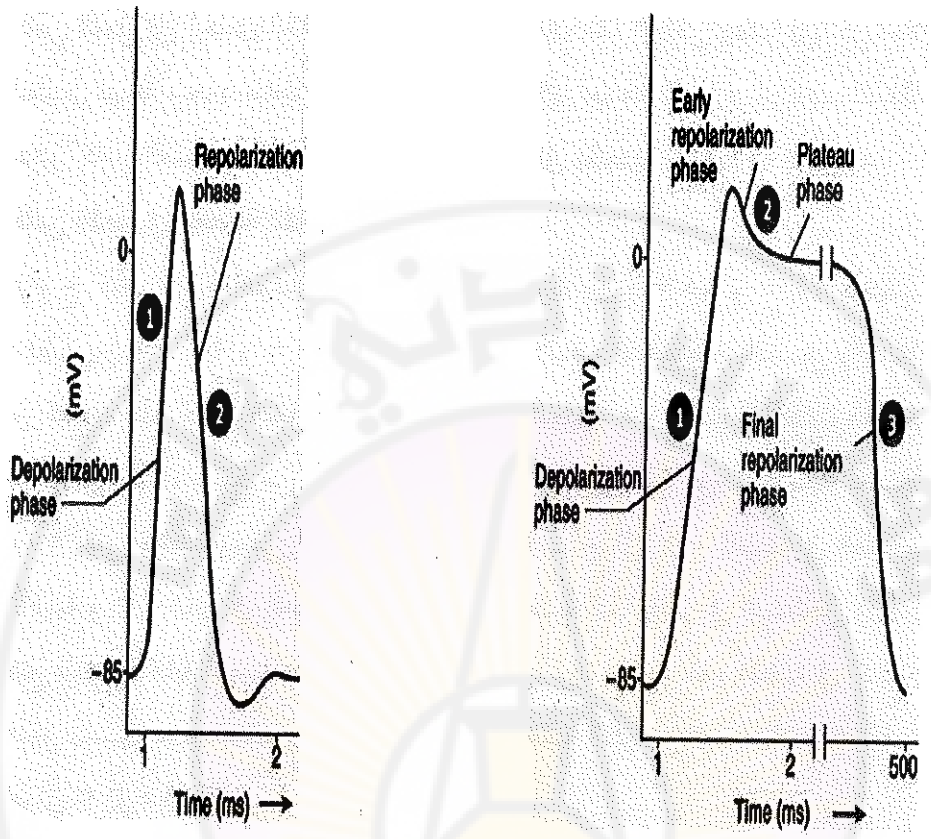
يتألف القلب من مخليين منفصلين: المخلى الأذيني المؤلف من جدران كلا الأذينين والمخلى البطيني المؤلف من جدران كلا البطينين، وينفصل الأذينان عن البطينين بنسيج ليفي، ويتم نقل كامن الفعل من المخلى الأذيني إلى المخلى البطيني في الحالة السوية فقط عبر جهاز توصيل متخصص في النقل (**هو الحزمة الأذينية البطينية A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

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

كامن الفعل إلى إحدى الخلايا القلبية في البطين فإن هذا الكامن ينتشر إلى كل خلايا البطينين نتيجة وجود مناطق اتصال بين هذه الخلايا تعبرها الشوارد بحرية)، لـذلك 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 (— ٨٥ و — ٩٥) ميلي فولط وبين (— ٩٠ و — ١٠٠) ميلي فولط للألياف 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، ويبقى الغشاء مزال الاستقطاب حوالي ٠,٢ ثانية في العضلة الأذينية و ٠,٣ ثانية في العضلة البطينية مظهراً هضبة كما يظهر في الشكل (٩)، ثم يتبع ذلك في نهاية الهضبة عود استقطاب مفاجئ، وإن وجود هذه الهضبة في كامن الفعل يسبب دوام التقلص العضلي في العضلة القلبية أكثر من العضلات الهيكلية بحوالي ٣ إلى١٥ مرة.



الشكل(٩). شكل يُظهر 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 الهضبة في العضلة القلبية ؟

يوجد اختلافان كبيران على الأقل بين خصائص الغشاء في العضلة القلبية والعضلة الهيكلية يفسران السبب هما:

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

هذه القنوات بأنها قنوات سريعة الانفتاح وسريعة الانغلاق (تبقى مفتوحة فقط لعدة أجزاء من عشرة ألاف جزء من الثانية)، بينما يحدث كامن الفعل في العضلة القلبية نتيجة انفتاح نمطين من القنوات، النمط الأول هو قنوات الصوديوم السريعة نفسها كما في العضلات الهيكلية، 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 انفتاحاً من القنوات الأولى و ثانياً- وهو أعظم أهميةً أنها تبقى مفتوحة لعدة أعشار من الثانية، تعبر خلال هذا الزمن كميات كبيرة من كل من شوارد الكالسيوم والصوديوم إلى داخل الليف العضلي القلبي وبالتالي تحافظ على فترة طويلة من زوال الاستقطاب محدثةً الهضبة في كامن الفعل.

- تنقص بعد بدء كامن الفعل مباشرةً نفوذية غشاء الليف العضلي القلبي لشوارد البوتاسيوم حوالي خمس مرات بينما لايحدث هذا الأمر في العضلة الهيكلية، 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 الهيكلي. وعندما تنغلق قنوات الكالسيوم البطيئة بعد مضي ٠,٢ إلى ٠,٣ ثانية تزداد نفوذية الغشاء للبوتاسيوم بشكل سريع جداً ويتناقص محتوى الليف العضلي من البوتاسيوم بسرعة مما يعيد كامن الغشاء إلى مستواه في أثناء الراحة فينتهي بذلك كامن الفعل.

سرعة النقل في العضلة القلبية

إن سرعة توصيل كامن الفعل في كل من الألياف العضلية الأذينية والبطينية حوالي ٠,٣ ـــ ٠,٥ متر/ثا وتختلف سرعة التوصيل في جهاز التوصيل المتخصص من ٠,٠٢ إلى ٤ متر في الثانية.

فترة عصيان العضلة القلبية

تشبه العضلة القلبية كافة النسج القابلة للاستثارة بأنها لا تستجيب في أثناء فترة كامن العمل لأي تنبيه أخر وهي ما تدعى فترة العصيان المطلق . تقدر فترة العصيان السوية للبطين بحوالي ٢٥٠ إلى ٣٠٠ ميللي ثانية وهذه مدة كامن الفعل تقريباً . إضافة إلى ذلك هناك فترة عصيان أخرى تسمى فترة العصيان النسبي Relative refractory period تقدر بحوالي ٥٠ ميللي ثانية تكون خلالها استثارة العضلة القلبية أصعب من الحالة السوية ولكن يمكن إثارتها بمنبه شدته أعلى من شدة المنبه الفيزيولوجي السوي.

الإثارة النظمية للقلب

يحوي القلب جهازاً متخصصاً لـ :

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 بتقلصها التقلص البطيني بمقدار ١/٦ من الثانية وهذا يسمح بزيادة ملء البطينات قبل أن تضخ الدم عبر الرئتين والدوران المحيطي، وهناك أهمية خاصة لهذا الجهاز المتخصص تكمن في أنه يسمح لكافة أجزاء البطينات أن تتقلص معاً في وقت واحد تقريباً وهذا ضروري لتوليد ضغط فعال في الأجواف البطينية.

جهاز القلب المتخصص في النقل والإثارة

يتألف جهاز القلب المتخصص في الإثارة و النقل الذي يتحكم بالتقلصات القلبية من البنى التالية :

١- العقدة الجيبية **Sinus Node** : تنشأ فيها الدفعات النظمية السوية .

٢- المسالك بين العقد **Internodal pathways** : توصل التنبيه من العقدة الجيبية إلى العقدة الأذينية البطينية .

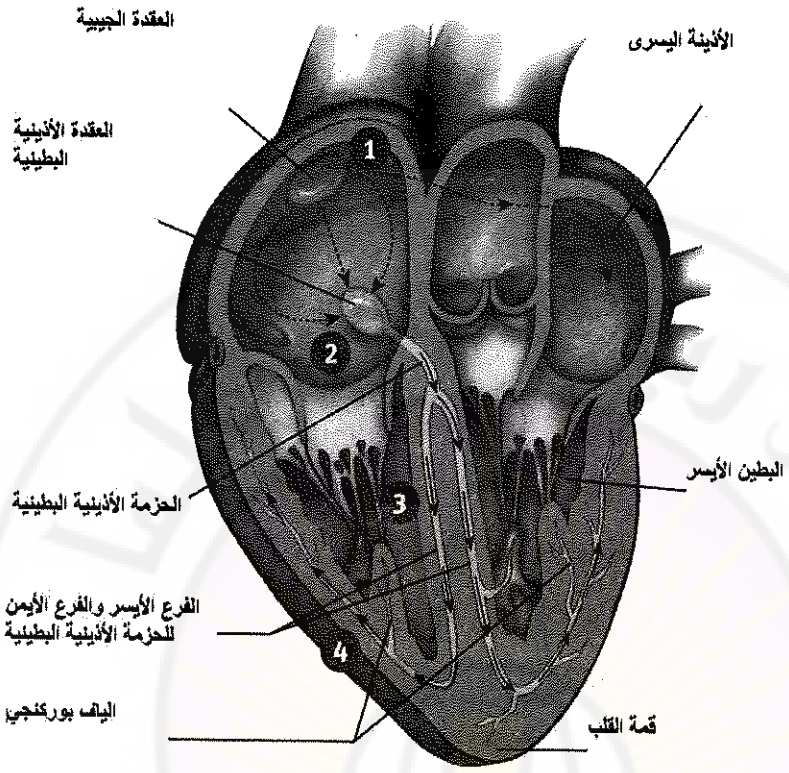
٣- العقدة الأذينية البطينية **Atrioventricular Node** : تتأخر فيها الدفعات القادمة من الأذينتين إلى البطينين .

٤- الحزمة الأذينية البطينية **Atrioventricular Bundle** : توصل التنبيه من الأذينتين إلى البطينين .

٥- الحزمة اليسرى و اليمنى لألياف بوركنجي **Left & Right Bundles of Purkinje Fibers**: توصلان الدفعات إلى كافة أقسام البطينين الشكل(١٠).

العقدة الجيبية

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



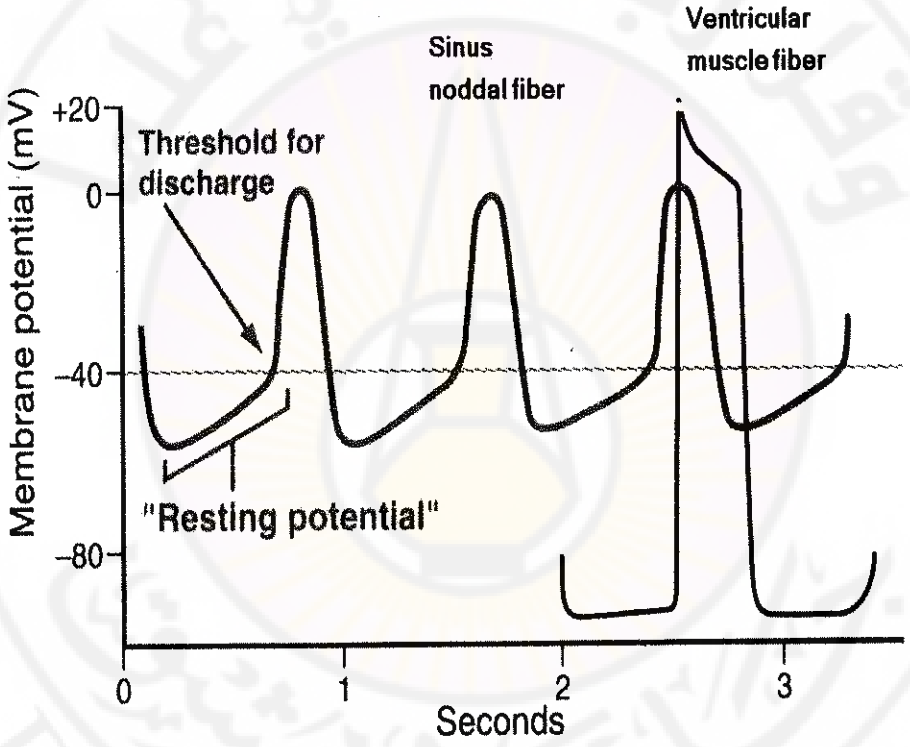
الشكل (١٠) الجهاز العقدي الناقل في القلب.

النظمية الكهربائية التلقائية لألياف العقدة الجيبية

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 الجيبية هي الجزء من هذا الجهاز الذي يظهر أكبر قدرة ممكنة على الإثارة الذاتية ، و لهذا السبب فإن العقدة الجيبية تتحكم عادة بسرعة ضربات القلب.

كامن الفعل في ألياف العقدة الجيبية

يبين 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 ميلي فولط مقارنة مع كامن الليف البطيني المساوي إلى – ٨٥ حتى – ٩٠ ميلي فولط .



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

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

١. قنوات الصوديوم السريعة .

٢. قنوات البوتاسيوم .

٣. قنوات الكالسيوم – الصوديوم البطيئة.

إن انفتاح قنوات الصوديوم السريعة بضعة أجزاء من ١٠٠٠٠ جـــزء مـــن الثانيـــة مسؤول عن الشوكة الكمونية لكامن الفعل الملاحظ في العضلة البطينية و الناجم عن التدفق السريع لشوارد الصوديوم الموجبة إلى داخل الليف ، في حين تنجم الهـــضبة في كامن الفعل في الألياف البطينية من انفتاح أبطأ لقنوات الكالـــسيوم – الـــصوديوم البطيئة التي تستمر بضعة أعشار من الثانية ، و أخيراً فإن الانفتاح المتزايـــد لقنـــوات البوتاسيوم و انتشار كمية كبيرة من شوارد البوتاسيوم الإيجابية خارج الليف يعيـــد كامن الغشاء إلى مستواه في أثناء الراحة .

لكن يوجد فارق في وظيفة هذه القنوات في الليف العقدي الجـــيبي و يرجـــع السبب في ذلك إلى قلة سلبية كامن الراحة التي تعادل فقـــط – ٥٥ ميلـــي فـــولط بالمقارنة مع درجة من السلبية في أثناء الراحة تصل إلى – ٩٠ ميلي فولط في الألياف البطينية ، ففي هذا المستوى من السلبية تصبح قنوات الـــصوديوم الـــسريعة عاطلـــة inactivated و لذلك تستطيع فقط قنوات الكالسيوم – الصوديوم البطيئـــة أن تفتح و تحدث كامن العمل، و لذلك فإن كامن الفعل يحدث بشكل أبطأ مما هـــو في العضلة البطينية ، و ينتهي أيضاً بتناقص بطيء للكامن بدلاً من الانتهاء المفاجئ الذي يحدث في الليف البطيني.

الإثارة الذاتية للألياف العقدية الجيبية

تميل شوارد الصوديوم و بشكل طبيعي إلى النفوذ 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 الموجودة داخل الخلايا التي تساعد على دخول الشوارد الإيجابية .

يضاف إلى ذلك وجود بعض القنوات التي تكون مفتوحة تماماً بين الضربتين مما يؤدي إلى دخول شوارد الصوديوم بشكل تدريجي بين كل ضربتين قلبيتين ، و عندما يصل فولطاج الغشاء إلى – ٤٠ ميلي فولط (عتبة التنبيه Threshold voltage) تصبح قنوات الكالسيوم – الصوديوم مفعلة و تؤدي إلى دخول سريع جداً لشوارد الكالسيوم مسببة نشوء كامن الفعل لذلك فإن التسريب المتأصل (الموروث) للألياف العقدية الجيبية لشوارد الصوديوم يسبب إثارتها الذاتية .

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

الجواب على ذلك يتمثل بأمرين يحدثان خلال سير كامن العمل :

١- تتعطل قنوات الكالسيوم – الصوديوم و تنغلق فترة تقارب ١٠٠ – ١٥٠ 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 و هذا يدعى فرط الاستقطاب Hyperpolarization بحيث ينخفض كامن الغشاء إلى حوالي – ٥٥ أو – ٦٠ ميلي فولط .

المسالك بين العقد و انتقال الدفعات القلبية عبر الأذينتين

تندمج نهايات الألياف العقدية الجيبية مع ألياف العضلة الأذينية المحيطة بها ، و ينتقل كامن الفعل الناشئ في العقدة الجيبية نحو الخارج إلى هذه الألياف عبر قنوات الاتصال Gap junction . و بهذه الطريقة ينتشر كامن الفعل عبر كامل ألياف العضلة الأذينية و أخيراً إلى العقدة الأذينية البطينية . تبلغ سرعة التوصيل في العضلة الأذينية ٠,٣ 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 التنبيه 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 بالتقلص قبل البطينين و بالتالي يفرغان محتواهما داخل البطينين قبل أن ينقبض البطينيان ، و يحدث تأخر للنقل في العقدة الأذينية البطينية بمقدار ٠,١٣ 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 ١,٥ – ٤ 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 بكامن فعل يتولد عفوياً 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 مدته عن ١/١٠ 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 تساعد 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 يمتلئ خلالها القلب بالدم، يتلوها فترة تقلص تدعى الانقباض Systole .

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الخامس

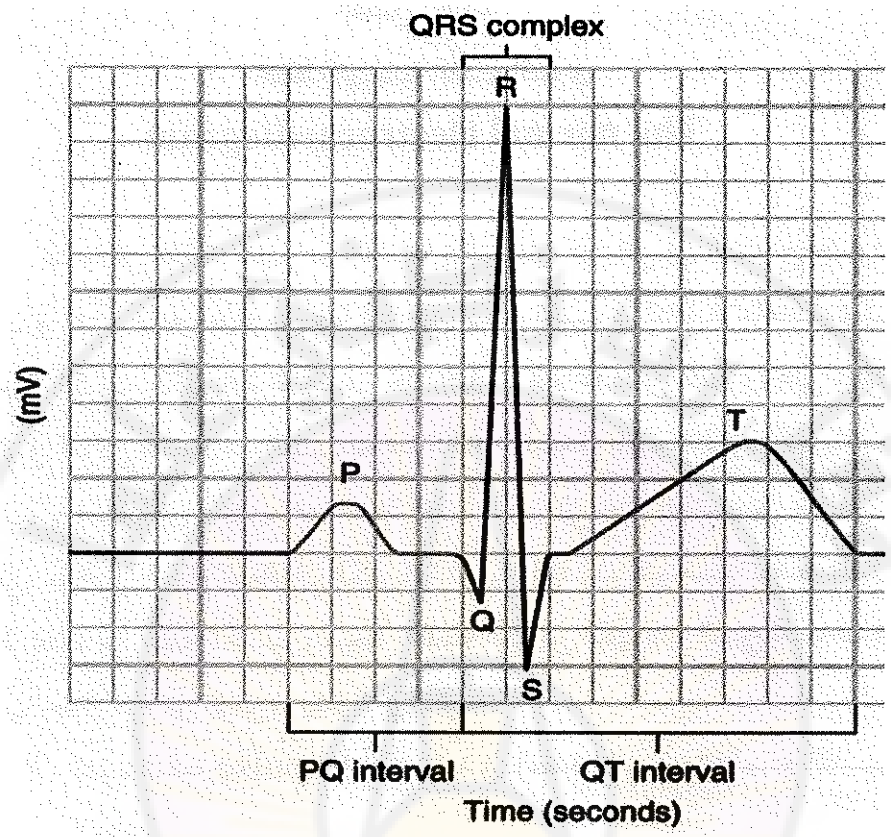
مخطط كهربائية القلب السوي

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 المساري على سطح الجلد في أماكن متقابلة من القلب. يعرف الكامن المسجل باسم مخطط كهربائية القلب، و استناداً إلى ذلك يعرف مخطط القلب الكهربائي على أنه تسجيل خارجي ، خطي، متواصل لمحصلة الفعاليات الكهربائية القلبية كما تبدو عبر مسار توضع على نقاط محددة من سطح الجسم، (تسجيل لمحصلة الكوامن الكهربائية التي تحدث في القلب خلال فترة من الزمن) ويشترك 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.

يتألف مخطط القلب الكهربائي من تتالي مجموعة من موجات زوال الاستقطاب وموجات عود الاستقطاب(موجة P و مركب QRS و موجة T وعدد من الوصلات والشدف)كما يظهر في الشكل (١٢) .



الشكل(١٢).مخطط القلب الكهربائي السوي يبين الموجات بمددها الزمنية و وفولطاجها السوي.

الساحة الكهربائية للقلب

تنتقل القوى الكهربائية التي مصدرها الأساسي العضلة القلبية، المتوضعة عميقاً في جوف الصدر إلى السطح الخارجي للجسم عن طريق وسط ناقل يتكون من مجموعة من الأنسجة المختلفة من حيث البنية المحيطة بالقلب، وقد اقترح العالم اينتهوفن عدة افتراضات لتسهيل فهم مخطط القلب الكهربائي ودراسته هي:

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

٢. تجانس الجسم كناقل حجمي، أي اعتبار كافة الأنسجة الناقلة للقوى الكهربائية والمختلفة البنية وكأنها من طبيعة واحدة فيما يتعلق بعملية الإيصال (مثال: اعتبر ناقلية العظم للكهرباء مثل ناقلية العضلات).

٣. توضع المنبع الكهربائي الوحيد (القلب) في مركز الناقل الحجمي المتجانس.

٤. تناظر المناحي.

مخطاط كهربائية القلب والاتجاهات القلبية

إن مخطاط كهربائية القلب مقياس غلفاني 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 اينتهوفن 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 ــ الاتجاهات ثنائية القطب (الاتجاهات المعيارية)

وتسمى أيضاً الاتجاهات القياسية وهي الاتجاهات المدرسية التي استعملها اينتهوفن وتقيس فرق الكامن بين نقطتين متوضعتين على طرفين من الأطراف وعددها ثلاثة.

أ ــ الاتجاه الأول I : يقيس فرق الكامن بين الذراعين اليسرى واليمنى بحيث يوضع المسرى الموجب على الذراع اليسرى والسالب على اليمنى.

ب ــ الاتجاه الثاني II : يقيس فرق الكامن بين الذراع اليمنى والقدم اليسرى بحيث يوضع المسرى الموجب على القدم اليسرى والسالب على الذراع اليمنى.

ج ــ الاتجاه الثالث III : يقيس فرق الكامن بين الذراع اليسرى والقدم اليسرى بحيث يوضع المسرى الموجب على القدم اليسرى.

٢ ــ الاتجاهات وحيدة القطب

يستعمل هنا مسرى مستقص (مستكشف) إيجابي واحد يوضع على الأطراف أو على نقاط محددة من جدار الصدر بينما المسرى الآخر ينتج عن وصل النهايات المركزية لمساري الذراعين والساق اليسرى بقصد إلغاء كموناتها (يتوافق مع المركز الكهربائي للقلب) وهي على نوعين:

أ ــ الاتجاهات وحيدة القطب للأطراف

ــ الاتجاه avR :يوضع المسرى الموجب على الذراع اليمنى.

ــ الاتجاه avL :يوضع المسرى الموجب على الذراع اليسرى.

ــ الاتجاه avF :يوضع المسرى الموجب على القدم اليسرى.

ب ــ الاتجاهات قرب القلبية

ــ الاتجاه V_1 : يوضع المسرى الفعال على المسافة الوربية الرابعة أيمن القص.

ــ الاتجاه V_2 : يوضع المسرى الفعال على المسافة الوربية الرابعة أيسر القص.

ــ الاتجاه V_3 : يوضع المسرى الفعال في وسط المسافة بين V_2 و V_4 .

ــ الاتجاه V_4 : يوضع المسرى الفعال على الخط الناصف للترقوة في الورب الخامس.

ــ الاتجاه V_5 : يوضع المسرى الفعال على الخط الإبطي الأمامي في الورب الخامس.

ـــ الاتجاه $V_٦$: يوضع المسرى الفعال على الخط الأيسر المتوسط في الورب الخامس.

ورق التسجيل

يستعمل لتسجيل مخططات القلب الكهربائية ورق خاص شديد التأثر بالحرارة ويسمح بقياس سريع للفواصل الزمنية لفرق الكامن الكهربائي لجميع مكونات مخطط القلب، وهو مؤلف من مربعات صغيرة متساوية ضلع كل واحد منها ١ملم، وتمكننا هذه المربعات عمودياً قياس الكامن الكهربائي لكل مكون من مركبات المخطط الكهربائي المسجلة، وإن تنبيهاً شدته ١ ميلي فولط يسجل انحرافاً مقداره ١٠ملم 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 ٠,٠٤ ثانية، وتكون السرعة المعيارية لأجهزة التخطيط التقليدية ٢٥ ملمتراً في الثانية.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

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 مثلى 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 للدوران هي:

١. الشرايين Arteries وظيفتها نقل الدم تحت ضغط عال إلى النسج.

٢. الشرينات Arterioles هي الفروع النهائية للجهاز الشرياني وتعمل كدسامات تحكم يمر عبرها الدم إلى الشعيرات.

٣. الشعيرات Capillaries ويحدث فيها تبادل السوائل والغذيات والكهارل 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 الشرينات والشعيرات الجهازية، و ٧% من الدم تتوضع 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. تزداد حاجة النسيج للدم بمقدار ٢٠ ــ ٣٠ ضعفاً في أثناء الفعالية الشديدة، ولما كان القلب لا يستطيع زيادة نتاجه أكثر من ٤ ــ ٧ أضعاف لذلك لا بد

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

٢. يتم التحكم بنتاج 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 و تنظيم النتاج القلبي. إن الجهاز الدوراني مزود بجهاز شامل للتحكم بالضغط الشرياني، ويتم ذلك بوساطة جهاز عصبي وجهاز هرموني.

العلاقات المتبادلة بين الضغط والجريان والمقاومة

يتحدد الجريان عبر وعاء دموي كلياً بوساطة عاملين:

- فرق الضغط Pressure Difference بين نهايتي الوعاء الذي يشكل القوة الدافعة للدم عبر الوعاء.
- إعاقة جريان الدم عبر الوعاء التي تدعى مقاومة الوعاء، وتظهر من المعادلة التالية هذه العلاقات:

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

حيث جر : هي الجريان. Δ ض = فرق الضغط بين بداية الوعاء ونهايته.

م = 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 ١٠٠ملم زئبقي ولا يوجد فارق في الضغط بينهما فلن يكون هناك جريان رغم وجود ضغط يساوي ١٠٠ملم زئبقي.

الجريان الدموي Blood flow

هو كمية الدم التي تجتاز نقطة معينة من الدوران خلال فترة معينة من الزمن، ويعبر عادة عن الجريان بالملي لتر أو لتر في الدقيقة أو ميلي لتر في الثانية.

يبلغ الجريان الدموي الكلي في دوران الشخص البالغ في حالة الراحة ٥٠٠٠ مل/د وهذا يدعى نتاج القلب Cardiac Output، وهو كمية الدم التي يضخها البطين في دقيقة واحدة.

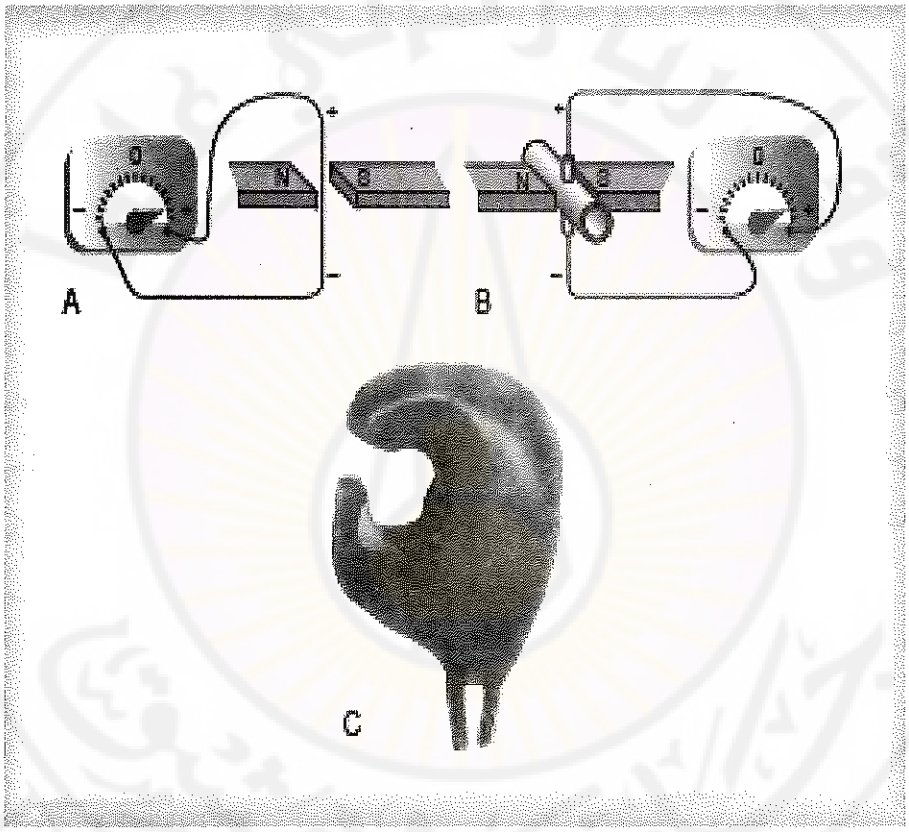
طريقة قياس الجريان الدموي

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.

مقياس الجريان الكهرطيسي Electromagnetic Flowmeters

إن مقياس الجريان الكهرطيسي 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 مغناطيس قوي يولد القوة الحركية

الكهربائية التي تكون متناسبة مع سرعة الجريان، ويتم تسجيله باستخدام مقيـــاس أو جهاز إلكتروني ملائم كما يظهر في الشكل (١٣) ويوضح الجزء السفلي منه المسبار Probe كلاً من المغناطيس القوي والمسريين. والميزة الخاصـــة لمقيـــاس الجريـــان الكهرطيسي أنه يستطيع تسجيل تغيرات الجريان التي تحدث في أقل من ٠,٠١ مـــن الثانية.

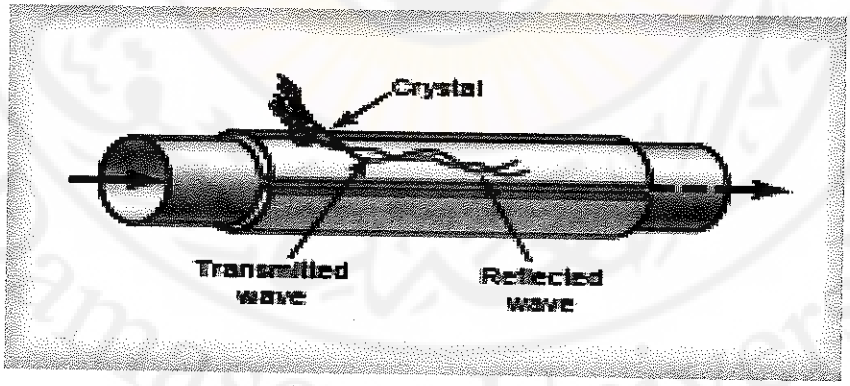


الشكل(١٣). مقياس جريان من النمط الكهرطيسي ويوضح A تولد قوة حركية كهربائية في السلك عنـــد مروره في الحقل الكهرطيسي. B تولد قوة محركة وعائية في المساري الموضوعة على الوعاء الـــدموي عنـــد وضع هذا الوعاء في حقل مغناطيسي قوي والدم يجري عبره. C مسبار لمقياس جريان كهرطيـــسي يوضـــع حول الوعاء لفترة طويلة.

مقياس الجريان دوبلر فوق الصوتي

Ultrasonic Doppler Flowmeter

هو نمط آخر من مقاييس الجريان التي يمكن تطبيقها على السطح الخارجي للوعاء التي تملك ميزات المقياس الكهرطيسي، ويعتمد المبدأ في عمله على وضع بللورة دقيقة كهربائية ضغطية Piezoelectric على جدار الجهاز، عندما تعطي هذه البلورة طاقة بوساطة جهاز كهربائي مناسب فإنها تمرر صوتاً يبلغ تواتره عدة ملايين دورة/ثا في اتجاه مجرى الدم، فيعكس قسم من الصوت بوساطة الكريات الحمر الجارية، 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 الدوبلر (نفس التأثير الذي يلاحظه الشخص عندما يقترب منه القطار ثم يجتازه مطلقاً صافرته، فعندما يجتاز القطار الشخص يصبح صوت الصافرة فجأة أكثر انخفاضاً في طبقة الصوت منها عندما كان القطار مقترباً)، 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 والموجات المنعكسة، وهكذا تحدد سرعة الجريان الدموي (الشكل (١٤).

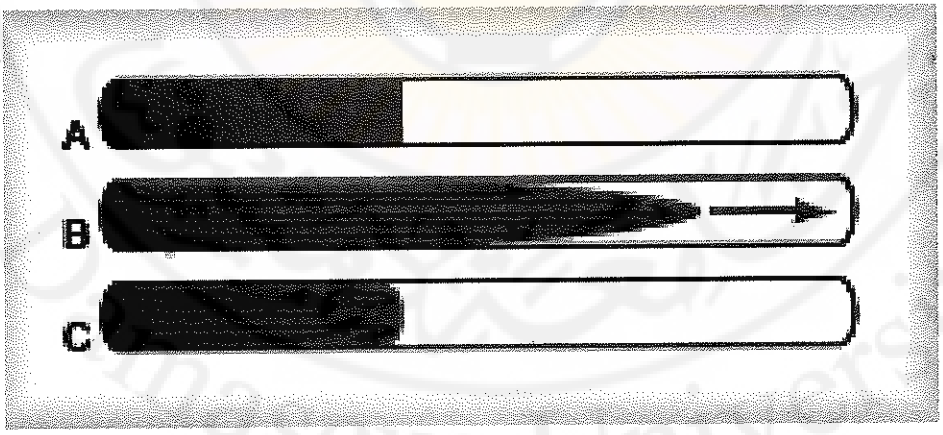


الشكل(١٤). مقياس الجريان دوبلر فوق الصوتي.

الجريان الصفائحي للدم في الأوعية
Laminar Flow of Blood Vessels

عندما يجري الدم بسرعة ثابتة عبر وعاء أملس طويل فإنه يجري في خطوط انسيابية 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 الصفائحي أو الانسيابي، وهذا يعاكس الجريان المضطرب Turbulent flow حيث يجري الدم في جميع الاتجاهات في الوعاء.

عندما يحدث الجريان الصفائحي تكون سرعة الجريان في مركز الوعاء أكبر بكثير منها في المحيط ويكون مظهر السرعة بشكل قطع مكافئ في أثناء الجريان الصفائحي كما في الشكل (١٥) حيث يوجد في الوعاء A سائلان مختلفان، الموجود في الأيسر 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 انسيابياً في الحالات التالية:

١. عندما تصبح سرعة جريان الدم كبيرة جداً.

٢. عندما يجتاز الدم عائقاً داخل الوعاء.

٣. عندما يغير مجرى الدم اتجاهه بحدة وبشكل فجائي .

٤. عندما يمر الدم فوق سطح خشن.

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

$$رن = \frac{سر \times ر \times ك}{ز}$$

حيث رن هو رقم رينولد، سر: سرعة الجريان (مقدرة بالسنتمتر في الثانية)، ز = اللزوجة(In poises)، ر = قطر الوعاء(مقدرة بالسنتمتر، 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 ناحيةً 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 كالأبهر مثلاً إلى ٢٠٠٠ في الحالات الطبيعية وكنتيجة لذلك يكون الجريان الدموي في الأبهر مضطرباً بشكل دائم تقريباً.

مقاومة جريان الدم Resistance to Blood flow

هي إعاقة جريان الدم في الوعاء ولا يمكن قياسها بأي وسيلة مباشرة، ولكن يحسب بدلاً من ذلك حساب المقاومة من قياسات جريان الدم وفرق الضغط في الوعاء فإذا كان فرق الضغط بين نقطتين من الوعاء ١ملم زئبقي وكان الجريان ١مم/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 الجهازية والأوردة الجهازية 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 تتوسع الأوعية بشدة.

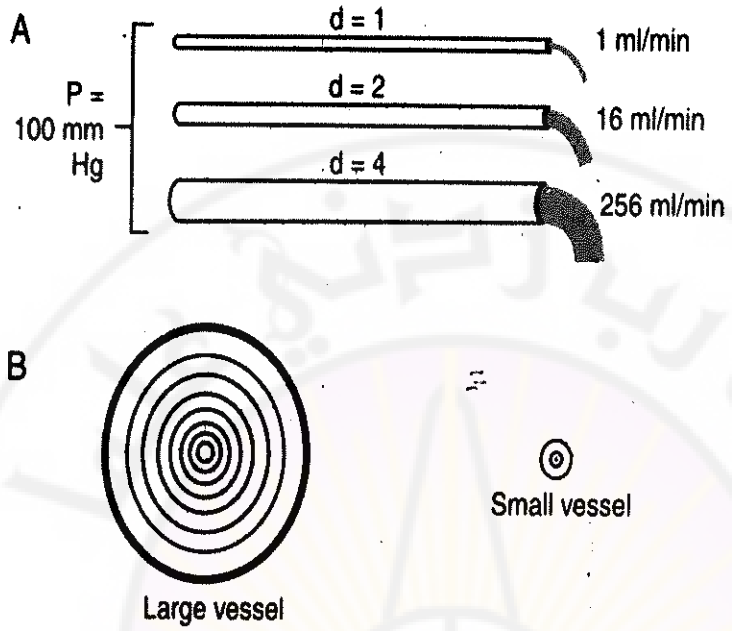
يبلغ متوسط الضغط الشرياني في الجهاز الرئوي ١٦ مليمتر زئبقي ، ومتوسط الضغط في الأذينة اليسرى ٢ مليمتر زئبقي (فرق الضغط هو ١٤ ملمتر زئبقي)، ولذلك فإن المقاومة الرئوية الكلية في حالة الراحة تقترب من ٠,١٤ وحدة مقاومة محيطية.

إيصاليه الدم في الوعاء وعلاقتها بالمقاومة

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

$$\text{الإيصالية} = \frac{1}{\text{المقاومة}}$$

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



الشكل(١٦). **A** يظهر من خلال الشكل تأثير قطر الوعاء على جريان الدم، **B** الحلقات المتراكزة من الدم الجارية 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 و٣٠ ميكرومتر ، ويعود السبب في ذلك إلى امتلاك هذه الأوعية لجدر عضلية قوية تسمح لأقطارها الداخلية بالتغير 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. وهكذا فإن الشرينات وحسب قانون القوة الرابعة تستطيع زيادة الجريان الدموي بشكل كبير

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

تأثير الهيماتوكريت واللزوجة على المقاومة الوعائية وعلى جريان الدم

إن زيادة اللزوجة تؤدي إلى نقص الجريان الدموي في الوعاء إذا كانت جميع العناصر الأخرى ثابتة. تبلغ لزوجة الدم السوي حوالي ثلاثة أضعاف لزوجة الماء، وتزداد لزوجة الدم بشكل واضح عند ازدياد عدد الكريات الحمر في الدم (الذي يدعى بالهيماتوكريت وهو نسبة الخلايا في الدم)، وبالتالي يؤدي هذا الازدياد إلى نقص في سرعة الجريان الذي ينجم بشكل أساسي عن قوى الاحتكاك بين الكريات الحمر المتجاورة 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 الجسمي، الارتفاع عن سطح البحر).

تزداد 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 الأنبوب، وعندما يرتفع الهيماتوكريت إلى ٦٠ أو ٧٠% كما يحدث في كثرة الحمر، يمكن أن تصبح لزوجة الدم مساوية لعشرة أضعاف لزوجة الماء وبالتالي يعاق جريان الدم بشدة عبر الأوعية.

هناك عامل أخر يؤثر على لزوجة الدم هو تركيز بروتينات المصورة، لكن تأثير هذا العامل أقل بكثير من تأثير الهيماتوكريت . تبلغ لزوجة المصورة 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 المصورة وهي:

١. يتعرض الجريان الدموي في الأوعية الدموية الدقيقة إلى تأثير اللزوجة بشكل أقل بكثير مما في الأوعية الكبيرة، وهذا ما يدعى Fahraeus-Lindqvist effect . يبدأ هذا التأثير بالظهور عندما يقل قطر الوعاء عن ١،٥ميليمتر تقريباً. وينجم هذا التأثير عن نقص اللزوجة الناجم عن نقص الاحتكاك بين الكريات الحمر في أثناء مرورها عبر الأوعية الدموية بسبب اضطرارها للإرتصاف ومرورها 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 هذا 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 الشعريات). عندما يحدث ذلك يمكن أن ينقطع الجريان الدموي بشكل كامل لجزء من الثانية أو لعدة ثوان.

الضغط الدموي Blood Pressure

يقاس الضغط بشكل دائم تقريباً بالمليمتر زئبقي (mmHG) لأن مقياس الضغط الزئبقي قد استعمل منذ القديم 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 ٥٠مم زئبقي فهذا يعني أن القوة المطبقة على جدار الوعاء كافية لرفع العمود الزئبقي حتى مستوى ٥٠ مم زئبقي.

أحياناً يقاس الضغط بالسنتمتر ماء، فعندما يساوي الضغط ١٠سم ماء فهذا يعني أن الضغط كاف لرفع عمود الماء حتى ارتفاع ١٠سم.

كل ١ ملمتر زئبق = ١,٣٦ سم ماء لأن الثقل النوعي للزئبق = ١٣,٦ ضعفاً للثقل النوعي للماء، وكذلك ١سم = ١٠ملم.

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 توسع 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 مليمتر زئبقي حوالي أربعة أضعافه عندما يكون الضغط ٥٠ مليمتراً زئبقيّاً.

يؤدي التنبيه الودي إلى تضيق الأوعية الدموية وبالتالي يسبب نقص شديد في الجريان الدموي إلى النسج، وبالمقابل فإن تثبيط التنبيه الودي يؤدي إلى توسع الأوعية وهذا يؤدي بدوره إلى زيادة الجريان الدموي.

تنظيم الضغط الدموي

إن الضغط الدموي هو حاصل جداء نتاج القلب في المقاومة الوعائية المحيطية، ونتاج 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 إنقاص نتاج القلب ويتم ذلك عبر:
   - زيادة قوة ضخ القلب أو إنقاصها.
   - زيادة سرعة القلب أو إنقاصها.
٢. زيادة أو إنقاص المقاومة الوعائية المحيطية ويتم ذلك عن طريق تضيق الأوعية الدموية أو توسعها.
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.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل السابع

قياس الضغط الشرياني عند الإنسان

الأجهزة والأدوات المستخدمة:

جهاز قياس الضغط (زئبقي، هوائي، إلكتروني)، سماعة طبية.

تمهيد:

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

$$P = Q \cdot R$$

P : الضغط الشرياني ويقاس عادة بالملم زئبق .

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

R : المقاومة الوعائية المحيطية 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 الأبهرية ، والجيبين السباتيين والأذين الأيمن ؛ كما تُصدِرُ أليافاً حركيةً (ألياف الرئوي المعدي) 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 المحرك الوعائي الذي يراقب توسع وتقبض الأوعية الدموية .
- الوطاء : ينخفض عدد ضربات القلب وتتوسع الأوعية الدموية وبالتالي ينخفض الضغط الشرياني عند تنبيه الجزء الأمامي من الوطاء فهو يعزز المقوية المبهمية ، وينتج عن تخريب هذا الجزء إلغاء تأثير منعكس مستقبلات الضغط ، وحدوث ارتفاع حاد في الضغط وتحرر الكاتيكولامينات من لب الكظر ؛ بينما يكون تأثير تنبيه الجزء الخلفي للوطاء ارتفاع الضغط الشرياني .

- قشر الدماغ والمنطقة تحت القشرية : تظهر تأثيرات قشر الدماغ في الضغط الشرياني في كثير من المنعكسات الشرطية التي تؤدي لزيادة أو نقصان عدد ضربات القلب ، كما تحدث تبدلات في الضغط الشرياني عند تنبيه مناطق محددة من القشر وما تحت القشر كالتلفيف الحزامي ، والمنطقة الجبهية الحجاجية، 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 تحول في الكتلة الدموية وتمارس تأثيراتها الرافعة للضغط أو الخافضة له منها:

العوامل الخلطية الرافعة للضغط

- النور أدرينالين: وهو مقبض وعائي حيث يرفع الضغط عن طريق تأثيره في المستقبلات α الموجودة في جدر الأوعية .
- الأدرينالين : يسرع القلب نتيجة تأثيره في المستقبلات β القلبية ، وبذلك يزداد الحصيل القلبي ويرتفع الضغط ، كما أن له أثراً مقبضاً لجدر الشرايين بتراكيزه العالية حيث يؤثر بمستقبلات α فيها .
- السيروتونين وهو مقبض وعائي موضعي .
- القشرانيات المعدنية كالألدوستيرون : وهو يرفع الضغط الشرياني عن طريق حبسه للصوديوم والماء في سوية الكلى كما أنه في مراحل متقدمة من زيادة تركيزه في الدم يدخل إلى داخل الخلايا المبطنة للأوعية جارّاً معه الماء مما يسبب

إنتباجها وتضيّق لمعاها وزيادة المقاومة الوعائية تبعاً لذلك ، وهو يزيد حساسية الأوعية الدموية للمقبضات الأخرى مثل الكاتيكولات و الأنجوتنسين II .

- القشرانيات السكرية كالكورتيزن : وله تأثير حابس للصوديوم خفيف بتراكيزه الطبيعية ولكنه يصبح شديد التأثير عند زيادة إفرازه كما في متلازمة داء كوشينغ .
- الرينين – أنجوتنسين : عندما ينقص الحصيل الدموي الكلوي ولسبب ما كما هي الحال في حالات الإسهالات أو التروف أو الحروق تلجأ خلايا موجودة في الجهاز قرب الكبي في الكلية إلى إفراز الرينين وهو خميرة تؤثر بأحد غلوبولينات الدم ويحوله إلى أنجوتنسين I الذي يتحول بدوره إلى أنجوتنسينII وهو من أشد المقبضات على الشرينات بشكل خاص كما أنه المسؤول الأول عن حثّ 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

- الأستيل كولين : وله التأثيرات السلبية الكبيرة على القلب مما يقلل الحصيل ويخفض الضغط كما أن له أثراً موسعاً للأوعية أيضاً .
- الكينين والبراديكينين : لهما أثر موسع للأوعية من جهة ومن جهة أخرى يؤثران في الكلية فيزيدان طرح الصوديوم

- الهستامين : موسع وعائي موضعي وخاصة للشرينات .
- البروستاغلاندينات : وهي بشكل عام موسعة وعائية خاصة PGE_2 , PGI_2 .
- فضلات الاستقلاب العام كحمض اللبن 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 فصد أحد الشرايين الكبيرة ووصل جهاز القياس به وهذا متعذر من الناحية العملية عند البشر ولكنه قابل 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 تقريبية ؛ ويقاس الضغط الشرياني عند الإنسان عادة عن طريق قياس الضغط الشرياني في الشريان العضدي الذي يعتبر أكثر الشرايين مناسبة لذلك فهو في مكان سهل الوصول إليه كما أنه موجود في نفس مستوى القلب فالضغط فيه يتساوى مع الضغط في الشريان الأبهر .

(الشكل ١٧).

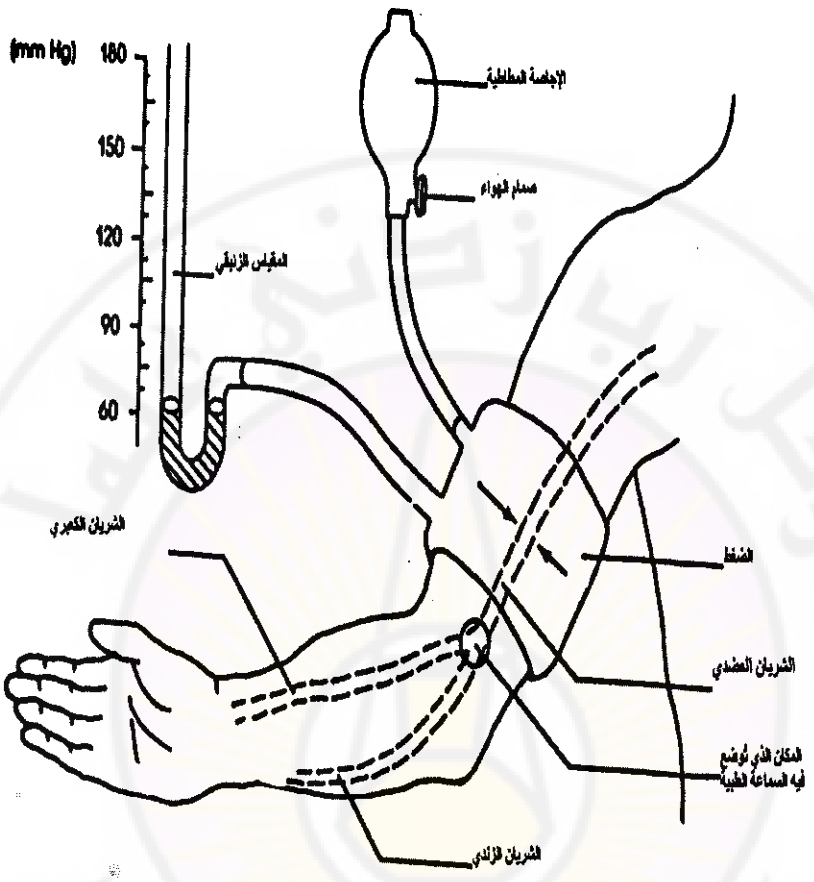
قياس الضغط الشرياني بطريقة الإصغاء

يلف الكم الهوائي بلطف حول العضد اعتباراً من منتصف الحفرة المرفقيـــة ، ونضع السماعة الطبية على الحفرة المرفقية فيصبح نصف سطحها مغطى بالكم ومثبت بواسطته ، ثم نرفع الضغط في الكم بواسطة ضخ الهواء عن طريق الأجاصة المطاطيـــة الملحقة إلى قيمة أعلى من قيمة الضغط الشرياني المتوقعة بحوالي ٢٠- ٣٠ ملم زئبـــق بعد أن نحكم إغلاق الصمام الخاص بها ، و يكون 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 بالتدريج عن طريق فتح صمام الإجاصة حتى نصل إلى تساوي الضغط في الكم والضغط في الشريان العضدي بل كـــسر هذا التساوي لصالح الضغط في الشريان عندها تمر دفقة إلى الذراع ويـــسمع صوت هذه الدفقة بواسطة السماعة عندها نحدد قيمة الضغط الانقباضي ؛

٣. نستمر بخفض الضغط في الكم مع استمرار سماعنا لصوت الدفقات المتتاليـــة 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 صغر قطره وأصبح مرور الدم فيه مصوتاً، يطلق على الأصوات

هذه اسم أصوات كورتكوف أو ضجيج كورتكوف وهي ناتجة عن اهتـــزاز جـــدر الشريان نتيجة مرور الدفقات الدموية فيه بظروف غير طبيعية وتكون هذه الأصوات في البداية خشنة وخافتة تزداد حدتها وعلوها في حدود الضغط الوســـطي ثم تـــزداد حدتها وينخفض صوتها وتزول فجأة عند الضغط الانبساطي .

يكون الضغط طبيعياً إذا لم يتجاوز ١٥٠ ملم في حالة الانقباض أو ٩٠ملم في حال الاسترخاء وإن أية قيم 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 الأجاصة المطاطية .
٢. يجس النبض فوق الشريان الكعبري ثم يرفع الضغط داخل الكم بالتدريج
٣. عندما يصل الضغط في الكم إلى قيمة أعلى بقليل من الضغط الانقباضي في الشريان ينغلق هذا الأخير ويغيب النبض في الشريان الكعبري ، نحفظ هذه القيمة ونعتبرها القراءة (آ) نرفع الضغط فوق القراءة آ بمقدار ٢٠ ملم زئبق ثم نخفض الضغط بالتدريج وببطء عن طريق فتح الصمام مـــع بقاء الإصبع في حالة جس للشريان الكعبري .
٤. يعود ظهور النبض عندما ينخفض الضغط في الكم قليلاً تحت مـــستوى الضغط الانقباضي ؛ نحفظ هذه القيمة أيضاً ونعتبرها القراءة (ب).
٥. غالباً ما تتساوى القراءتان (آ و ب) إذا كان المجرب 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 السماعة الطبية .

ومن الجدير بالذكر إن قيمة الضغط الشرياني تكون ضمن الحدود الطبيعية إذا تراوحت ما بين ١٠٠ - ١٥٠ ملم زئبق للضغط الانقباضي و٦٠- ٩٠ ملم زئبق للضغط الانبساطي مع مراعاة القياس في الشروط المناسبة للقياس .

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثامن

الجهاز التنفسي The Respiratory System

مقدمة. إن تعبير التنفس يستخدم للإشارة إلى مفهومين :

١ -التنفس الخارجي وهو عملية تبادل الغازات بين المحيط الخارجي 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 ـــ 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 تتحكم بهذه 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 والتنفسي).

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

وظائف الجهاز التنفسي

١. تبادل الغازات. يسمح الجهاز التنفسي بتبادل الأكسجين وثاني أو كسيد الكربون بين كل من الهواء و الدم.

٢. المساهمة في تنظيم PH الدم ، يستطيع الجهاز التنفسي أن يغير PH الدم عن طريق تغييره مستوى Co٢ في الدم.

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

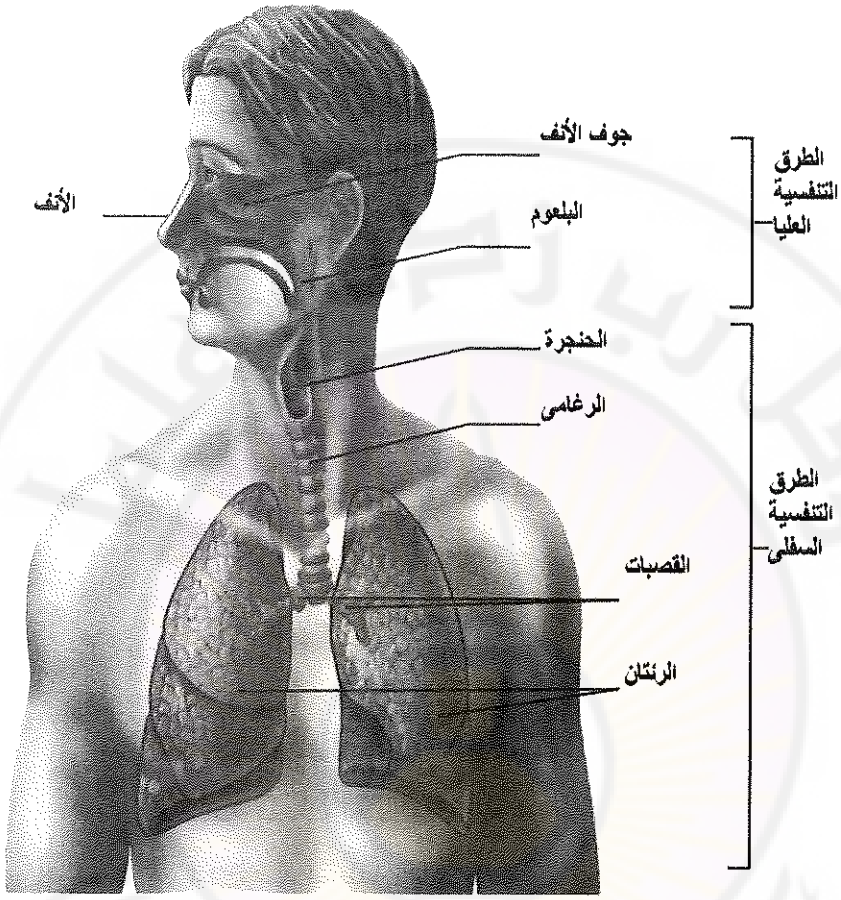
٤. تأمين المناطق التي تعتبر بمثابة مستقبلات لحس الشم.

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

٦. تركيب بعض المواد أو اختزالها 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: تعني تبادل الهواء بين الجو الخارجي وأسناخ الرئة.
- انتشار الأكسجين وثاني أكسيد الكربون بين الأسناخ 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 الأجواف الأنفية لدى مرور الهواء في جوف الأنف بالوظائف التالية:

١. تدفئة الهواء بوساطة السطوح الواسعة الغنية بالتروية الدموية في الأنف (الأصمخة والقرينات) حيث تبلغ مساحتها ١٦٠ سم^{٢} 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 ــ ٣ % من الإشباع الكلي قبل أن يصل إلى الرغامى (عندما يتنفس الشخص الهواء عبر أنبوب يصل مباشرةً إلى الرغامى يمكن أن تحدث أحماج خطيرة بسبب البرودة والجفاف).

٣. تنقية الهواء، يتم ذلك بالآليات التالية:

- بواسطة الأشعار الموجودة عند مدخل الأنف التي تحتجز الجزيئات الكبيرة التي يزيد حجمها عن ٦ ميكرومتر أما الجزيئات الأصغر من ذلك فتوجد آليات أخرى لاحتجازها ومنعها من الوصول إلى الرئتين.
- **Turbulent precipitation** يعني ذلك إزالة الجزئيات بوساطة 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 الجزئيات التي يزيد قطرها عن ٤-٦ مكرومتر لأنها لا تستطيع تغيير اتجاه حركتها بنفس سرعة الهواء في تغيير اتجاه حركته وتعتبر هذه الآلية أهم من الأولى.

أما بالنسبة لبقية الجسيمات فيستقر الكثير منها (التي يتراوح قطرها بين ١ و٥ مكرومتر) خارج القصيبات الصغيرة نتيجة الترسب بالجاذبية، وفيما يتعلق بالجزئيات التي يتراوح قطرها بين ٠,٥ و١ مكرومتر فإنها تصل إلى هواء الأسناخ وتلتصق

بالسائل السنخي، تبقى الجزئيات التي تبلغ حجماً أقل من نصف مكرومتر معلقة في هواء الأسناخ وتخرج مع الزفير التالي.

البلعوم طريق مشترك لكل من الطعام والهواء، ويحدث خلال البلع إغلاق الطريق التنفسي 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 متكيفة بشكل خاص لتعمل عمل المهزاز، والعنصر المهتز هو الطيات الصوتية المعروفة باسم الحبال الصوتية.

ثم يسلك الهواء طريق الرغامى وبعد ذلك القصبات ثم القصيبات، وتعد الرغامى Trachea الجيل الأول للطرق التنفسية، وتعد القصبتان Bronchi اليمنى واليسرى الجيل الثاني، في حين يكون كل انقسام بعد ذلك جيلاً إضافياً، وهناك ما بين ٢٠ ــ ٢٥ جيلاً قبل أن يصل الهواء أخيراً إلى الأسناخ.

ومن أكثر المسائل أهمية في الطرق التنفسية عملية المحافظة عليها مفتوحة حتى أخرها للسماح بمرور الهواء من وإلى الأسناخ، وحتى تبقى الرغامى مفتوحة، يطوق عدد من الحلقات الغضروفية حوالي خمسة أسداس الطريق حول الرغامى، كما تنتشر في جدر القصبات صفيحات غضروفية تحافظ على صلابة معقولة في القصبات، مما يسمح بحرية كبيرة للقصبات في التمدد والانخماص، وتغدو هذه الصفيحات الغضروفية أقل انتشاراً كلما تقدمنا بتفرعات أكثر للقصبات، وتخلو القصيبات Bronchioles التي نصف قطرها ١ ــ ١,٥ ملم منها تماماً وبالتالي فهي تتمدد بنفس الضغط عبر الرئوي الذي يمدد الأسناخ، وهذا يعني أنه كلما كبرت الأسناخ تكبر معها القصيبات، وتتركب جدر الرغامى والقصبات في الأماكن الخالية من الصفيحات

الغضروفية بشكل رئيسي من العضلات الملس، باستثناء أغلب القصيبات الانتهائية التي تدعى القصيبات التنفسية التي لا تحوي إلا اليافاً قليلة من العضلات الملس.

مقاومة جريان الهواء في الشجرة القصبية

يكون جريان الهواء عبر الطرق التنفسية،في الشروط السوية،سهلاً جداً حتى أن اختلافاً زهيداً بمدروج الضغط بمقدار ١ سم ماء بين الجو الخارجي والأسناخ يعتبر كافياً لإحداث جريان هوائي كاف لتنفس عادي.

التحكم العصبي بالكتلة العضلية للرغامى والقصبات

تتركب جدر الرغامى والقصبات في الأماكن الخالية من الصفيحات الغضروفية،بشكل رئيس من عضلات ملس،كما أن معظم جدر القصيبات مؤلف من ألياف عضلية ملساء باستثناء معظم القصيبات التنفسية التي تقل في جدرها الألياف العضلية الملساء، وتعود هذه العضلات الملس في الرغامى والشجرة القصبية إلى مجموعة العضلات متعددة الوحدة(لا تملك زوالاً تلقائياً للاستقطاب،كما أن تمددها لايولد جوابا تقلصياً). تتقلص هذه العضلات تحت تأثير تنبيه الجملة اللاودية المعصبة لها أو نتيجة تأثير عامل خلطي فيها،أي أن هذه العضلات تخضع لتحكم عصبي وأخر خلطي.

التحكم الودي

يكون التحكم المباشر بالقصيبات 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 النورأبينفرين والأبينفرين الجوالين في الدم المتحررين بالتحريض الودي للب الكظر. يسبب كلّ من هذين الهرمونين (وخاصةً الأبينفرين لأنه أكثر حثاً لمستقبلات بيتا) توسعاً في الشجرة القصبية.

التحكم نظير الودي

يخترق متن الرئة القليل فقط من الأعصاب نظيرة الودية(مشتقة من العصب المبـــهم) وتفرز من نهاياتها الأستيل كولين، وتؤدي لدى تفعيلها إلى تضيق خفيف إلى متوسط في القصيبات ، ولكن عندما توجد حدثية مرضية تسبب التضيق للقصيبات كـــالربو ،فإن حث نظير الودي غالباً ما يسيء كثيراً للحالة،وفي هذه الحالـــة فـــإن إعطـــاء الأتروبين قد يفيد حيث يؤدي إلى ارتخاء الطرق التنفسية بـــشكل كـــاف لتفـــريج الانسداد.

تتفعل الأعصاب نظيرة الودية أحياناً بمنعكسات تنشأ في الرئتين ،وتبدأ معظم هـــذه المنعكسات بتخريش الغشاء الظهاري للطرق التنفسية ومن أهم المخرشات الغـــازات الضارة والغبار والتدخين.

العوامل الموضعية المؤثرة على التقلص القصبي

يتشكل في الرئتين مواد ذات فعالية في إحداث التقلص القصبي، أهمهـــا الهيـــستامين والمادة التي تـــدعى مـــادة التـــأق ذات التفاعـــل البطـــيء Slow reactive substance of analphylaxis .

- تتحرر كلتا المادتين في نسج الرئة من الخلايا البدينة في أثنـــاء الأرتكاســـات الأرجية خاصةً 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 الجزئي لغاز ثاني اكسيد الكربون في الهواء الزفيري إلى حدوث استرخاء العضلات الملس 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 لكلتا الرئتين معاً في الإنسان البالغ، تقريباً ٢٠٠ مل/سم ضغط ماء، وهذا يعني أن كل زيادة في الضغط عبر الرئوي بما يعادل ١سم ماء، تؤدي لتمدد الرئتين بمقدار ٢٠٠ مللتر.

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

-القوى المرنة التابعة لنسيج الرئة خاصة. تتحدد هذه القوى بشكل أساسي بوجود ألياف الكلاجين وألياف Elastin المتوضعة بشكل نسيج في المتن الرئوي. تكون هذه الألياف في الرئتين المنكمشتين متقلصة بشكل جزئي وفي حالة مفتولة وعندما تتمدد الرئتان تتمطط الألياف وتنفك 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 تملأن بالهواء وعند ملء الرئة بالسائل الملحي. فعندما تملأ ن بالهواء تكون هناك مواجهة بين السائل المبطن للأسناخ والهواء الموجود في الأسناخ، أما في حالة الرئة المملوءة بالسائل ، فلا توجد تلك المواجهة ، ولذلك يكون تأثير قوى التوتر السطحي غير موجود.

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

السورفاكتانت والتوتر السطحي

مبدأ التوتر السطحي: عندما يشكل الماء سطحاً مع الهواء، فإن لجزئيات 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 للأسناخ . ففي هذه الحالة تكون السطوح المائية في محاولة مستمرة للتقلص أيضاً، ولكن في هذه الحالة ، يأخذ سطح الماء المبطن للأسناخ والمحيط بهواء السنخ والذي يكون في محاولة مستمرة للتقلص شكل البالون، ومن الواضح أن هذه المحاولات لدفع الهواء خارج الأسناخ عبر القصبات تجعل الأسناخ تحاول الانخماص.

السورفاكتانت وتأثيره على التوتر السطحي

السورفاكتانت عامل فعال بالسطح، يعني ذلك أنه عندما ينتشر على سطح السائل ، فإنه ينقص بشكل كبير التوتر السطحي(عندما ينتشر السورفاكتانت على سطح مائي يكون لهذا السطح قوة توتر سطحي تعادل من ١٢/١ إلى ٢/١ من التوتر السطحي لسطح الماء النقي). يُفرز السورفاكتانت من خلايا ظهارية خاصة تشكل نحو ١٠% من مساحة سطح السنخ. يتألف السورفاكتانت من مزيج معقد من الشحميات الفوسفورية والبروتينات والكربوهيدرات والشوارد، وتعد المادة الشحمية داي بالمتيول ليسيتين بالإضافة إلى صمائم البروتين الفعال سطحياً وشوارد الكالسيوم أهم العوامل المسؤولة عن خفض التوتر السطحي، وهي لا تنحل بالسائل بل تنتشر على سطحه.

الضغط الانخماصي للأسناخ المغلقة الناجم عن التوتر السطحي.

$$\text{الضغط الانخماصي للأسناخ} = \frac{\text{٢× التوتر السطحي}}{\text{قطر السنخ}}$$

متوسط قطر الأسناخ الرئوية حوالي ١٠٠ مكرومتر، ويكون مبطناً بالسورفاكتانت ، ومنه يحسب الضغط حوالي ٤ سم ضغط مائي(أو ٣ مم ز)، أما إذا كانت الأسناخ مبطنة بالماء النقي فيصبح المقدار حوالي ١٨ سم ضغطاً مائياً. وبذلك يلاحظ المرء مدى أهمية السورفاكتانت في إنقاص كمية الضغط عبر الرئوي المطلوب للحفاظ على تمدد الرئتين.

تأثير حجم الأسناخ على الضغط الانخماصي الناجم من التوتر السطحي

يلاحظ من المعادلة السابقة أن الضغط الانخماصي المتولد في الأسناخ 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 الأسناخ لديهم أقل من ربع السوي، وعلاوة على ذلك، يكون لديهم نقص في السورفاكتانت.

يلعب السورفاكتانت دوراً هاماً في تثبيت حجم الأسناخ ويتم ذلك بزيادة كمية السورفاكتانت في الأسناخ الصغيرة الحجم، بحيث أن السنخ الصغير الحجم يحوي كمية من السورفاكتانت أكبر من السنخ الأكبر منه في الحجم مما يؤدي إلى إنقاص التوتر السطحي وبالتالي الحفاظ على ثبوت الأسناخ.

العضلات التنفسية

١-العضلات الشهيقية:

- عضلة الحجاب الحاجز، أهم العضلات الشهيقية التي تفصل بين الجوف الصدري والجوف البطني ويؤدي تقلصها إلى انخفاض قبتها نحو البطن،وبالتالي إلى ازدياد القطر العمودي للقفص الصدري.
- العضلات الوربية الخارجية، تتجه من ضلع إلى أخر بشكل مائل(من الخلف والأعلى إلى الأسفل والأمام) ويسبب تقلصها ارتفاع الأضلاع،مما يؤدي إلى زيادة القطر الأمامي الخلفي للقفص الصدري .
- العضلات الأخمعية، تساهم في رفع الضلعين الأولين مما يؤدي إلى زيادة القطر الأمامي الخلفي للقفص الصدري.
- العضلة القصية الترقوية الخشائية، تساهم بتقلصها في رفع الضلع الأول وعظم القص وبالتالي ازدياد القطر الأمامي الخلفي للقفص الصدري.
- العضلات الشوكية، وهي عضلات باسطة للعمود الفقري تعمل في أثناء تقلصها على زيادة القطر الأمامي الخلفي للقفص الصدري.

العضلات الزفيرية

- عضلات البطن،تعد أهم عضلات الزفير 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 الزفير القسري،أما في الزفير العادي فليس لها دور يذكر لأنه يحدث بشكل منفعل.

آليات التهوية الرئوية

Mechanics of Pulmonary Ventilation

يمكن للرئتين أن تتمددا وتتقلصا بطريقتين:

- حركة الحجاب الحاجز الهابطة والصاعدة من أجل إطالة أو تقصير جوف الصدر بالاتجاه العمودي.
- ارتفاع وانخفاض الأضلاع لزيادة وإنقاص القطر الأمامي الخلفي لجوف الصدر.

يحدث التنفس الطبيعي الهادئ في معظمه 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 تقعر الحجاب الحاجز.

حركة الهواء الداخل والخارج من الرئتين والضغوط التي تسبب ذلك

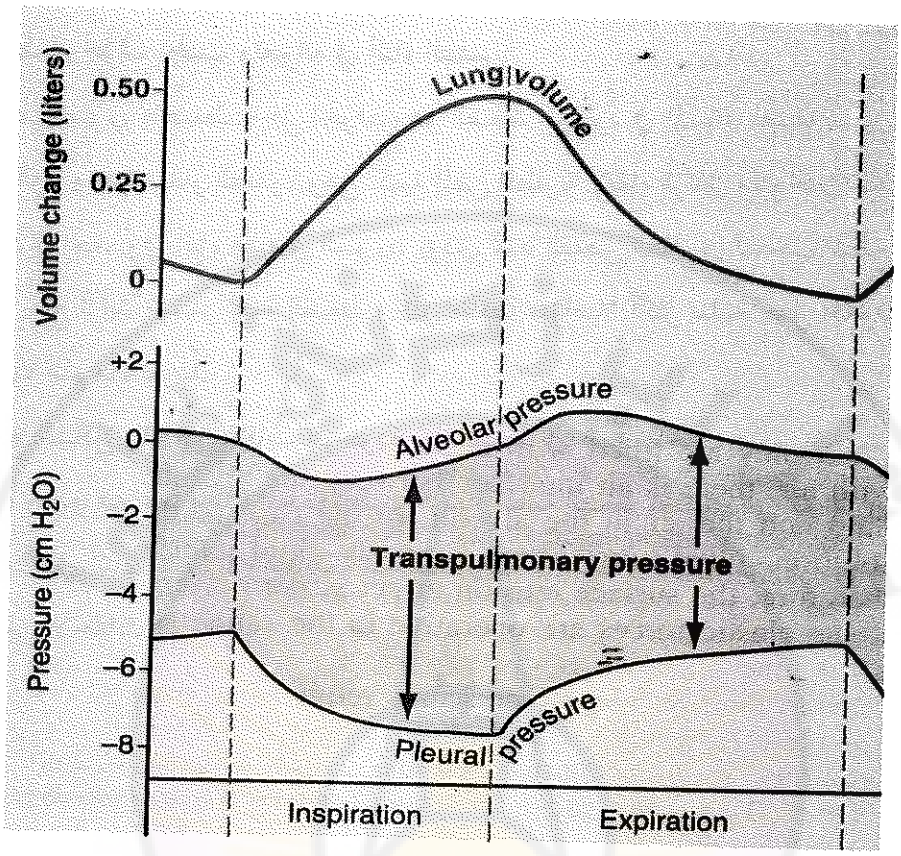
تعد الرئة بنية مرنة يمكن لها أن تنخمص كالبالون وتطرد كل الهواء عبر الرغامى في أي وقت لا تتوفر فيه القوة لإبقائها منتفخة، وكذلك لا يوجد رابط بين الرئة وجدار القفص الصدري ما عدا المكان الذي تتعلق فيه الرئة (عند سرتها) مع المنصف.

وعوضاً عن أن تنتشر الرئة في الجوف الصدري، فإنها تحاط بطبقة رقيقة جداً من سائل الجنب الذي يسهل حركات الرئتين ضمن جوف الصدر.

الضغط في جوف الجنب وتغيراته في أثناء التنفس

الضغط الجنبوي (الضغط داخل الجوف) هو الضغط الموجود في المسافة الضيقة بين جنبة الرئة وجنبة جدار الصدر، وهي كمية المص المطلوبة لإبقاء الرئتين مفتوحتين عند حدود الراحة، وفي أثناء الشهيق السوي، يؤدي تمدد 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 ازدياد سلبية الضغط الجنبوي من ـــ ٥ إلى ـــ ٧,٥ في أثناء الشهيق، وعند قمة المخطط زيادة حجم الرئة نصف ليتر، ومن ثم تنعكس الأحداث أثناء الزفير.



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

الضغط السنخي Alveolar pressure

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

وحتى يحدث جريان هوائي إلى الرئتين في أثناء الشهيق يجب على الضغط ضمن الأسناخ أن يهبط إلى قيمة أقل قليلاً من الضغط الجوي، ويوضح الخط البياني الثاني في الشكل (١٩) نقصاً في الضغط السنخي إلى (ـ١) سم ماء تقريباً في أثناء الشهيق السوي ويعد هذا الضغط السلبي الضئيل كافياً لتحريك حوالي ٠,٥ ليتر من الهواء إلى الرئتين خلال الثانيتين 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 ـ ٣ ثوانٍ من الزفير.

انتشار الأكسجين وثاني أكسيد الكربون عبر الغشاء التنفسي

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

فيزياء الانتشار وضغوط 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 النشيطة نفسها (تكون الجزيئات لكل الأجسام المادية في حركة دائمة، إلا في درجة الصفر المطلق).

ضغوط الغاز في مزيج من الغازات

ينجم ضغط الغاز عن الاصطدام المستمر للجزيئات النشيطة الحركة في السطح ، وطبقاً لذلك فإن ضغط الغاز على سطح الطرق التنفسية والأسناخ 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 أساسي من النتروجين والأكسجين وثاني أكسيد الكربون. يتناسب معدل انتشار هذه الغازات مباشرة مع الضغط الناجم عن هذه الغازات وحده،وهذا ما نسميه **الضغط الجزئي للغاز**.

يتركب الهواء تقريباً من ٧٩% من النتروجين و٢١% من الأوكسجين ، ويبلغ الضغط الكلي لهذا المزيج ٧٦٠ ملم زئبقي عند مستوى سطح البحر ، ويتضح مما سبق أنّ كل غاز يشارك في الضغط الكلي بشكل يتناسب مباشرةً مع تركيزه ، وهذا يعني أن الضغط الجزئي للنتروجين في المزيج ٦٠٠ ملم زئبقي والضغط الجزئي للأكسجين هو ١٦٠ ملم زئبقي. ويمكن ترميز الضغوط الجزئية للغازات في مزيج غازي بالرموز P_{N_2} , P_{O_2} , P_{CO_2} , P_{H_2O}, P_{He}

ضغوط 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 يعطى الغاز ضغطه الخاص به). ويرمز إلى الضغوط الجزئية للغازات المذابة بشكل مشابه للضغوط في الحالة الغازية أي P_{N_2} , P_{O_2} , P_{CO_2} . . .

انتشار الغازات بين المرحلة الغازية في الأسناخ والمرحلة المذابة في الدم الرئوي

يميل الضغط الجزئي لكل غاز من الغازات الموجودة في المزيج الغازي الموجود في الأسناخ الرئوية لإجبار هذا الغاز للذوبان في الغشاء السنخي أولاً 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 الأسناخ ، ويتناسب معدل ما يعود منها مباشرة مع ضغطها الجزئي في الدم ، والسؤال هو في أي اتجاه سوف يحدث الانتشار النهائي للغاز ؟

الجواب على ذلك يتحدد باختلاف الضغط الجزئي للغاز في كل من الأسناخ الرئوية والدم ، فإذا كان الضغط الجزئي اكبر في المرحلة الغازية أي في الأسناخ (كما هو بالنسبة للأكسجين في الحالة السوية) ، عندئذ سوف تمر جزيئات الأكسجين من الأسناخ إلى الدم أكثر مما يحدث العكس (انتشار من الدم إلى الأسناخ) . ويحدث الأمر بشكل معاكس لـ CO_2 حيث ينتقل من الدم إلى الأسناخ .

ضغط بخار الماء

عندما يدخل الهواء الطرق التنفسية ، يتبخر الماء فوراً من سطوح هذه الممرات ويرطب الهواء . ويدعى الضغط الناجم عن جزيئات الماء ضغط تبخر الماء ، ويساوي هذا الضغط التبخري ضمن حرارة الجسم السوي (٣٧ م) حوالي ٤٧ ملم زئبقي ويرمز للضغط الجزئي لبخار الماء بـ P_{H_2O} .

تركيب الهواء السنخي

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

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

٢- يمتص الأكسجين باستمرار من الهواء السنخي إلى الدم.

٣- ينتشر غاز ثاني أكسيد الكربون من الدم الرئوي إلى الأسناخ.

٤- يتم ترطيب الهواء الجوي الجاف الذي يدخل الطرق التنفسية قبل أن يصل إلى الأسناخ.

تركيز الأوكسجين و ضغطه القسمي في الأسناخ

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

يبلغ الضغط الجزئي للأوكسجين في هواء الأسناخ ١٠٤ ملم زئبقي في الحالات السوية . و عند الزيادة الشديدة الملحوظة في التهوية السنخية 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 CO_2 و ضغطه القسمي في الأسناخ

يتم تركيب CO_2 بشكل دائم في الجسم ، و من ثم يطرح إلى الأسناخ ، و تتم إزالته من الأسناخ بوساطة التهوية باستمرار . بما أن المعدل السوي لإطراح ثاني أكسيد الكربون هو ٢٠٠ مل/د ، و المعدل السوي للتهوية السنخية هو ٤,٢ ل/د ، فإن الضغط الجزئي له في الأسناخ هو ٤٠ ملم زئبقي ، يزداد P_{CO_2} السنخي بالتناسب طرداً مع معدل إنتاج CO_2 و عكساً مع التهوية السنخية .

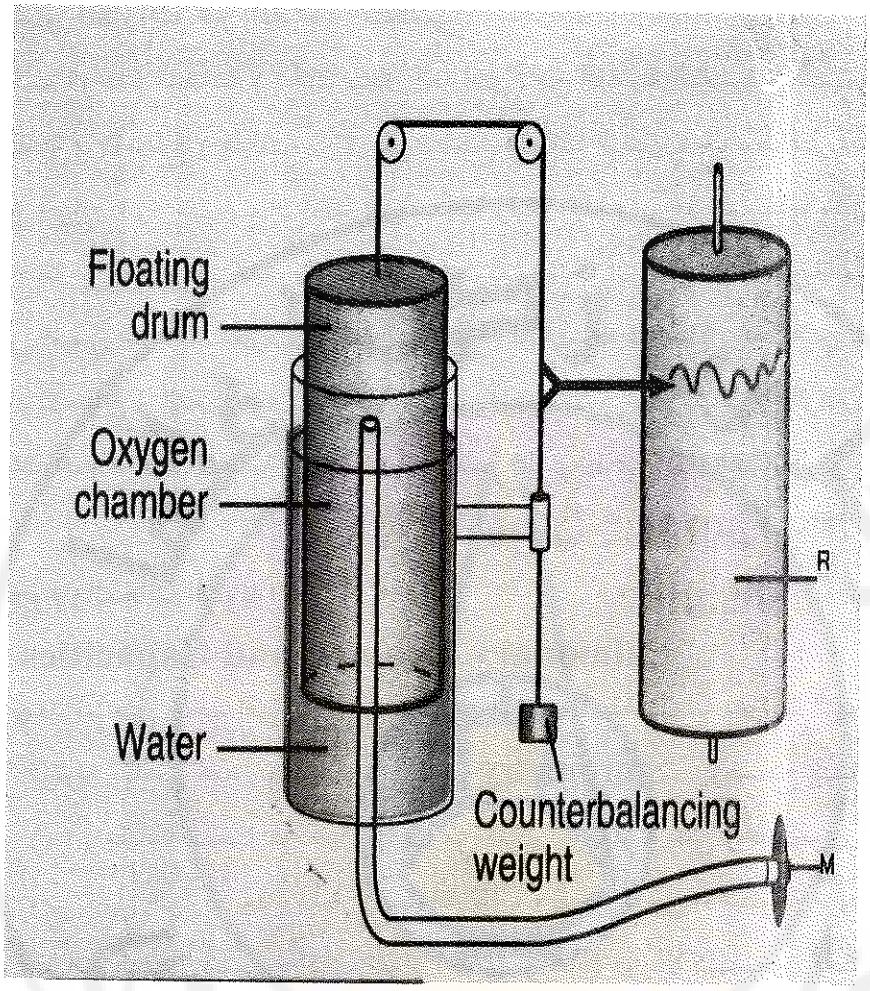
انتشار الغازات عبر الغشاء التنفسي

تتركب الوحدة التنفسية (مكان تبادل الغازات) من القصيبة التنفسية و القنوات السنخية و الأسناخ (هنالك ٣٠٠ مليون سنخ في كلتا الرئتين ، متوسط قطر كل سنخ حوالي ٠,٢ ملم) ، إن الجدران السنخية رقيقة جداً و يوجد ضمنها شبكة متواصلة من الشعيرات الدموية ، و بذلك يكون واضحاً أن الغازات السنخية على تماس حميمي مع دم الشعيرات الدموية ، و نتيجة لذلك يحدث التبادل الغازي بين هواء الأسناخ و الدم الرئوي من خلال كامل أغشية الأجزاء الانتهائية في الرئتين ، و يعرف مجموع هذه الأغشية باسم الغشاء التنفسي الذي يدعى أيضاً الغشاء الرئوي.

الحجوم والسعات الرئوية

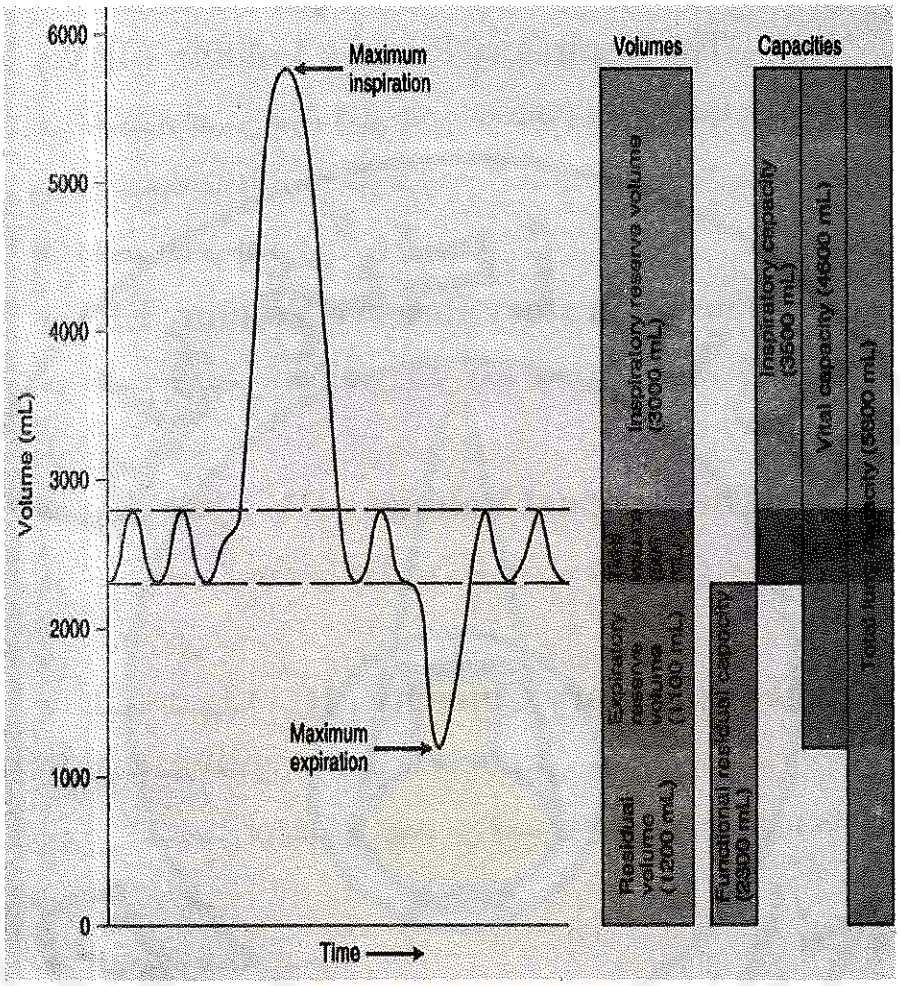
Pulmonary Volumes and Capacities

يعد تسجيل حجم الهواء الجاري من وإلى الرئتين طريقة بسيطة لدراسة التهوية الرئوية وتدعى هذه العملية قياس النفس Spirometry. يوضح الشكل (٢٠) مقياساً تنفسياً نموذجياً. يتألف من اسطوانة مقلوبة على وعاء يحوي الماء، ومن أجل التوازن يعلق بهذه الاسطوانة ثقل، ويوجد داخل الاسطوانة مزيج من غازات التنفس (نفس تركيب الهواء الجوي 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 تنفسياً يبدي 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 سعات مختلفة.



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

- **الحجم الجاري The Tidal Volume(TV)**

يدعى أيضاً الحجم المدي و هو حجم الهواء المستنشق أو المزفور في كل نفس سوي يساوي تقريباً 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 الجـــاري ويعادل حجمه عادةً ٣٠٠٠ مل تقريباً.

- **الحجم المدخر الزفيري**

The Expiratory Reserve Volume(ERV)

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

- **الحجم الثمالي (RV) The Residual Volume**

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

- **السعة الشهيقية (IC) The Inspiratory Capacity**

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

- **السعة الوظيفية المدخرة**

(FRC)The Functional Residual Capacity

تساوي الحجم المدخر الزفيري + الحجم الثمالي وهو حجم الهواء الذي يبقى في الرئة عند نهاية الزفير السوي ويعادل تقريباً (٢٣٠٠ مل).

- **السعة الحيوية (V C) The Vital Capacity**

تساوي الحجم المدخر الزفيري + الحجم الجاري + الحجم المدخر الشهيقي. وهي أكبر كمية من الهواء يمكن للشخص أن يزفرها من رئتيه بعد أول امتلاء لرئتيه بعد إجراء شهيق جهدي وتساوي حوالى ٤٦٠٠ مل.

- **السعة الكلية للرئة** T L C) The Total Lung Capacity

تساوي السعة الحيوية + الحجم الثمالي وتعادل تقريباً ٥٨٠٠ مل.

تنقص كافة هذه الحجوم والسعات عند النساء بمقدار ٢٠ ــ ٢٥ % منها عند الرجال، وهي أكبر بشكل ملحوظ عند الرياضيين وضخام الجثة منها عند النحيلين والواهنين.

تحديد السعة الثمالية الوظيفية (طريقة تمديد الهليوم)

تعتبر السعة الثمالية الوظيفية، وهي حجم الهواء الذي يبقى في الرئتين بشكل سوي 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 الثمالي لا يمكن زفره داخل مقياس النفس ويشكل هذا بالحجم حوالي نصف السعة الثمالية الوظيفية ولذلك يجب استخدام مقياس النفس بطريقة غير مباشرة ويجري قياس السعة الثمالية الوظيفية عادة بوساطة طريقة تمديد الهليوم كما يلي:

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

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

$$FRC = \left(\frac{Ci\ He}{CF\ He} - ١ \right) \quad Vi\ spir$$

حيث:

Ci He = التركيز الأولي للهليوم في مقياس النفس.

CF He = التركيز النهائي للهليوم 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 التنفس

يقوم الجهاز العصبي بضبط معدل التهوية السنخية 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 بوساطة المركز التنفسي .

المركز التنفسي: Respiratory Center

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

١ – القسم البصلي . يتألف من مجموعتين من العصبونات :

أ – المجموعة التنفسية الظهرية Dorsal Respiratory Group

تتوضع في القسم الظهري من البصلة ، و يؤدي تفعيل هذه المجموعة من العصبونات إلى حدوث الشهيق و هي تتألف من نوعين من العصبونات . يدعى النـــوع الأول م بالعصبونات α و هذه ترسل دفعاتها نحو الأسفل إلى القرون الأمامية من النخـــاع الشوكي في الشدفة التي يخرج منها العصب الحجابي و بالتالي فـــإن تفعيـــل هـــذه العصبونات يؤدي إلى تفعيل العصب الحجابي و بالتالي تقلص الحجاب الحـــاجز . و تمتاز العصبونات الموجودة في القسم الظهري من البصلة بأن لها

فعالية داخلية Intrinsic Activity أي لها قدرة على توليد الـــنظم ذاتيـــاً دون الاعتماد على مصدر خارجي . بالإضافة إلى ذلك يوجد نوع ثانٍ من العـــصبونات يدعى β و تفعيل هذه العصبونات يـــؤدي إلى تثبـــيط العـــصبونات α . تتلقـــى العصبونات β تنبيهاتها من العصبونات α و بالتالي توجد حلقة دائرية بين العصبونات α و العصبونات β . فتفعيل العصبونات α يؤدي إلى تفعيل β (الـــتي لا تمتلـــك فعالية ذاتية) . و تفعيل β يؤدي إلى تثبيط α و لكن هذا التثبيط لا يكفي لإيقـــاف العصبونات α و إنما تحتاج إلى تنبيهات من أماكن أخرى حتى تقف عـــن العمـــل الضروري لإكمال عملية التنفس الطبيعية . لأن توقف العصبونات α بعد فترة مـــن الزمن يؤدي إلى توقف التنبه للعصب الحجابي و بالتالي يسترخي الحجاب الحـــاجز و يحدث الزفير بشكل منفعل .

ب – المجموعة التنفسية البطنية : Ventral Respiratory Group

تتوضع عصبونات المجموعة التنفسية البطنية على مسافة ٥ ملـــم أمـــام و وحـــشي عصبونات المجموعة التنفسية الظهرية و تختلف وظيفة هذه المجموعة العـــصبونية عـــن المجموعة التنفسية الظهرية بعدة أمور :

١) يبقى مجمل عصبونات المجموعة التنفسية البطنية غير فعال تقريبا في أثناء التـــنفس 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 التنبيه 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 الزفير . 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 تثبط العصبونات المسؤولة عن الزفير و العكس صحيح .

٢ – القسم الجسري

Pontine Group Of The Respiratory Center

يتألف من مجموعتين من العصبونات :

أ – المركز الجسري السفلي Apneustic Center

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

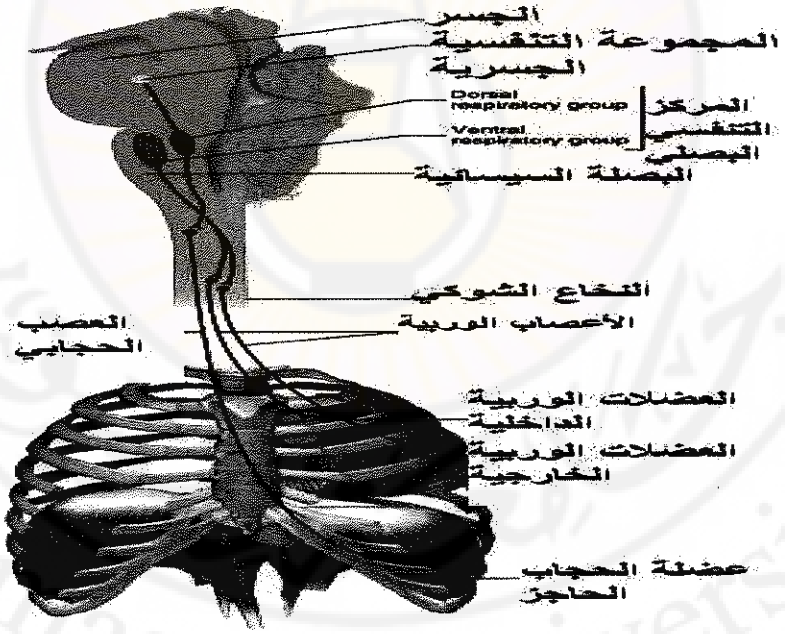
المركز الجسري العلوي ، لذلك يؤدي قطع المبهمين و إلغاء الدفعات القادمة من المركز الجسري العلوي (بإجراء قطع في منتصف الحدبة) إلى حدوث تنفس يتميز

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

ب – المركز الجسري العلوي Pneumtaxic Center

تتوضع عصبونات هذا المركز في الثلث العلوي من الجسر و يتلقى تنبيهاته 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 التنفسي.

آلية حدوث التنفس الهادئ السوي

يحدث الشهيق بآلية فاعلة و ينجم عن تقلص الحجاب الحاجز الذي يؤدي إلى زيادة حجم جوف الصدر مما يؤدي إلى زيادة الضغط السلبي داخل جوف الجنب ، و هذا بدوره يؤدي إلى انخفاض الضغط السنخي و بالتالي دخول الهواء إلى الرئتين . يتقلص الحجاب الحاجز و العضلات الشهيقية الأخرى عندما يصلها التنبيه من عصبونات المجموعة التنفسية الظهرية التي تملك ذاتية داخلية (قدرة على إصدار التنبيهات بشكل عفوي دون الاعتماد على مصدر خارجي) .

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

- يؤدي تنبيه العصبونات بيتا إلى تثبيط العصبونات ألفا الموجودة في المجموعة 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 الأسناخ و بالتالي تمددها إلى تنبه المستقبلات الموجودة في جدر الأسناخ التي ترسل تنبيهاتها التثبيطية عبر الألياف الحسية للمبهم إلى كل من المجموعة التنفسية الظهرية (العصبونات ألفا المسؤولة عن الشهيق) و إلى المركز الجسري السفلي الذي يرسل تنبيهاته إلى المجموعة التنفسية الظهرية (العصبونات ألفا)و يحرمه من التنبيه الذي كان يأتيه عبر هذا المركز، هذه الآلية قوية و كافية لإيقاف العصبونات ألفا المسؤولة عن الشهيق .
- يرسل المركز الجسري العلوي تنبيهات تثبيطية إلى كل من المركز الجسري السفلي و إلى العصبونات ألفا المسؤولة عن الشهيق . و بذلك تتضافر

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

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل التاسع
الجهاز العصبي

مقدمة:

يعتبر الجهاز العصبي مع جهاز الغدد الصم المسؤول الرئيسي عن تأمين معظم وظائف التحكم والتنظيم في الجسم، يتحكم الجهاز العصبي بالفعاليات السريعة للجسم كالتقلص العضلي، والفعاليات الحشوية سريعة التغير ويتدخل في معدل إفراز بعض الغدد الصماء. بالمقابل تقوم الغدد الصماء وبشكل رئيسي بتنظيم الوظائف الاستقلابية 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 ــ الجملة العصبية المركزية Central nervous system

تتألف الجملة العصبية المركزية من الدماغ والنخاع الشوكي.

يتألف الدماغ بدوره من:

- المخ cerebrum
- الدماغ المتوسط (المهاد و الوطاء).
- الدماغ المستطيل .
- المخيخ Cerebellum.

٢ ــ الجملة العصبية المحيطية Peripheral nervous system

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

نسيجياً: تتألف الجملة العصبية من عدد كبير جداً من الخلايا ويُشاهد نوعان من الخلايا في الجهاز العصبي:

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

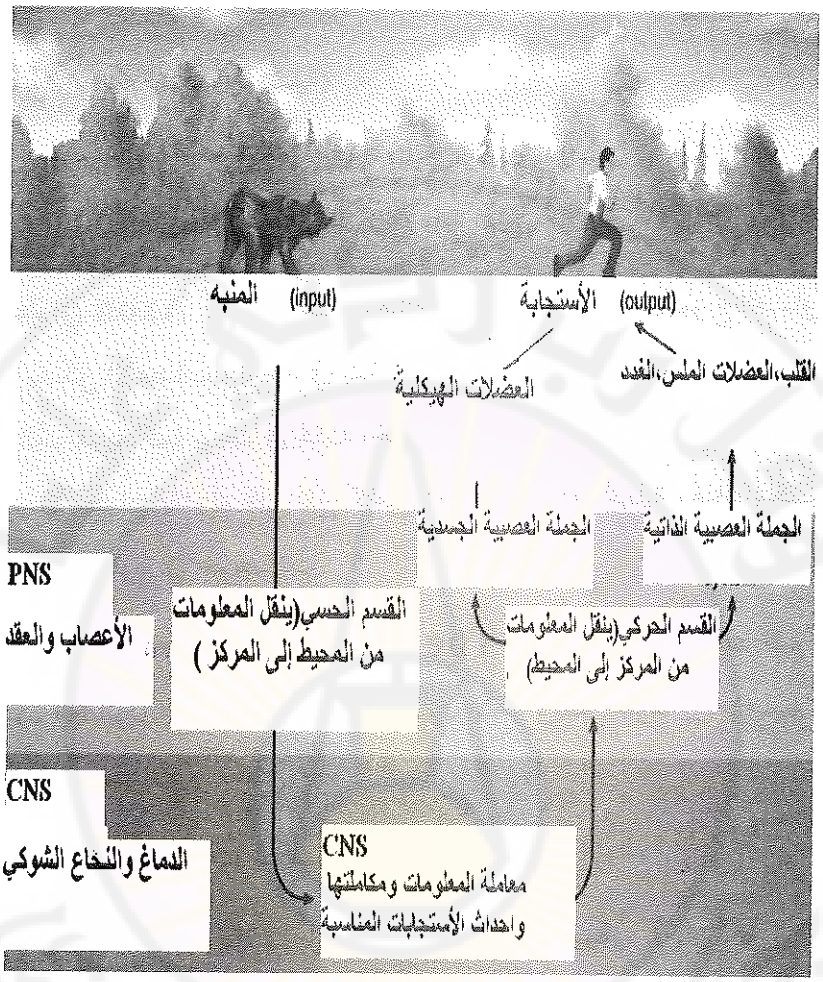
٢. العصبونات Neurons يتولد في هذا النوع من الخلايا كوامن عمل وتنتقل هذه الكوامن إلى خلايا أخرى.

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

يتألف 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 ومجموع المحاور الأسطوانية يشكل الأعصاب ويوجد في بنية المحور الأسطواني الليبفات العصبية والأجسام الكوندرية كما يوجد في نهايته الحويصلات التي تحوي النواقل العصبية ويمتاز المحور الأسطواني بقدرته على نقل كامن العمل إلى نهايته المحيطية وهناك يمكن تحرر نواقل تكون مخزنة في حويصلات.

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

تصنف العصبونات إما بحسب شكلها أو بحسب وظيفتها

تصنف العصبونات حسب وظيفتها إلى **حسية و حركية و بينية.**

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

القسم الحسي للجهاز العصبي

تبدأ معظم فعاليات الجهاز العصبي بعمل ينبعث 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.

اولاً- أنماط 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. **مستقبلات الأذية Nociceptors** ، أو تسمى مستقبلات الألم تكشف الأذية الحاصلة 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 والأسمولية 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 للشدات السوية

للأنماط الأخرى من التنبيه. مثال (تكون العصي والمخاريط الموجـــودة في الـــشبكية حساسة جداً للضوء لكنها غير حساسة ولا تستجيب للمنبهات الأخرى كـــالحرارة والبرودة والضغط على العين بشداتها الطبيعية التي تثير بهـــا المـــستقبلات الأخـــرى الحساسة لها، ولكن إذا كانت شدة هذه المنبهات كبيرة جـــداً فإنهـــا تـــثير هـــذه المستقبلات مثال ذلك ما يحدث عند ضربة قوية على العين (رؤية الشرر).

ثالثاً–شكلية الإحساس Modality of sensation

على الرغم من وجود أنواع مختلفة من الأحاسيس (حس الألم، اللمـــس، الرؤيـــة، الصوت ...) إلا أن الألياف العصبية التي تنقل هذه الأحاسيس تستطيع نقل شـــكل واحد من الدفعات العصبية (كوامن العمل) لذلك كان السؤال عـــن كيفيـــة نقـــل الألياف العصبية لهذه الأشكال المختلفة من الأحاسيس. والجواب أن كـــل ســـبيل عصبي ينتهي عند نقطة معينة في الجهاز العصبي المركـــزي وبالتـــالي تـــشعر بـــنمط الإحساس تبعاً للمنطقة التي ينتهي عندها العصب الذي نبه. مثال ذلك عنـــد تنبيـــه الليف العصبي الخاص بالألم يشعر المرء بالألم بغض النظر عن طبيعة المنبه الذي أثـــار هذا الليف.

رابعاً–تحويل الطاقة في المنبهات الحسية إلى دفعات عصبية
Transduction of sensory stimuli into nerve impulses

بشكل عام فإن لجميع المستقبلات الحسية طبيعة واحدة، وإن التأثير المباشر للمنبه المثير للمستقبلة هو تغيير كامن غشاء المستقبلة وإحداثه لكامن المستقبلة، ويمكـــن إثـــارة 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 الكهرطيسي ، 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 نبذها وإهمالها من قبل الدماغ لأنها غير هامة، فعلى سبيل المثال لا ينتبه 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 لتعطي الارتكاسات المطلوبة.

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

اولاً–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: التشريح 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 (axodendretic)

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، وتتفرع نهاية المحور الأسطواني للعصبون قبل المشبك عند اقترابها من المسافة المشبكية إلى عدة فروع تصل إلى ١٠٠ تفرع، يحوي كل تفرع منطقة متضخمة في نهايته تدعى العقد الانتهائية (Terminal Knob).

يلاحظ في هذا المجال أن نهايات 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 ٥-٢٠% من المشابك، بينما يشكل (axodendretic) حوالي ٨٠-٩٠%.

ثالثاً: بنية المشابك كما تظهر في المجهر الإلكتروني

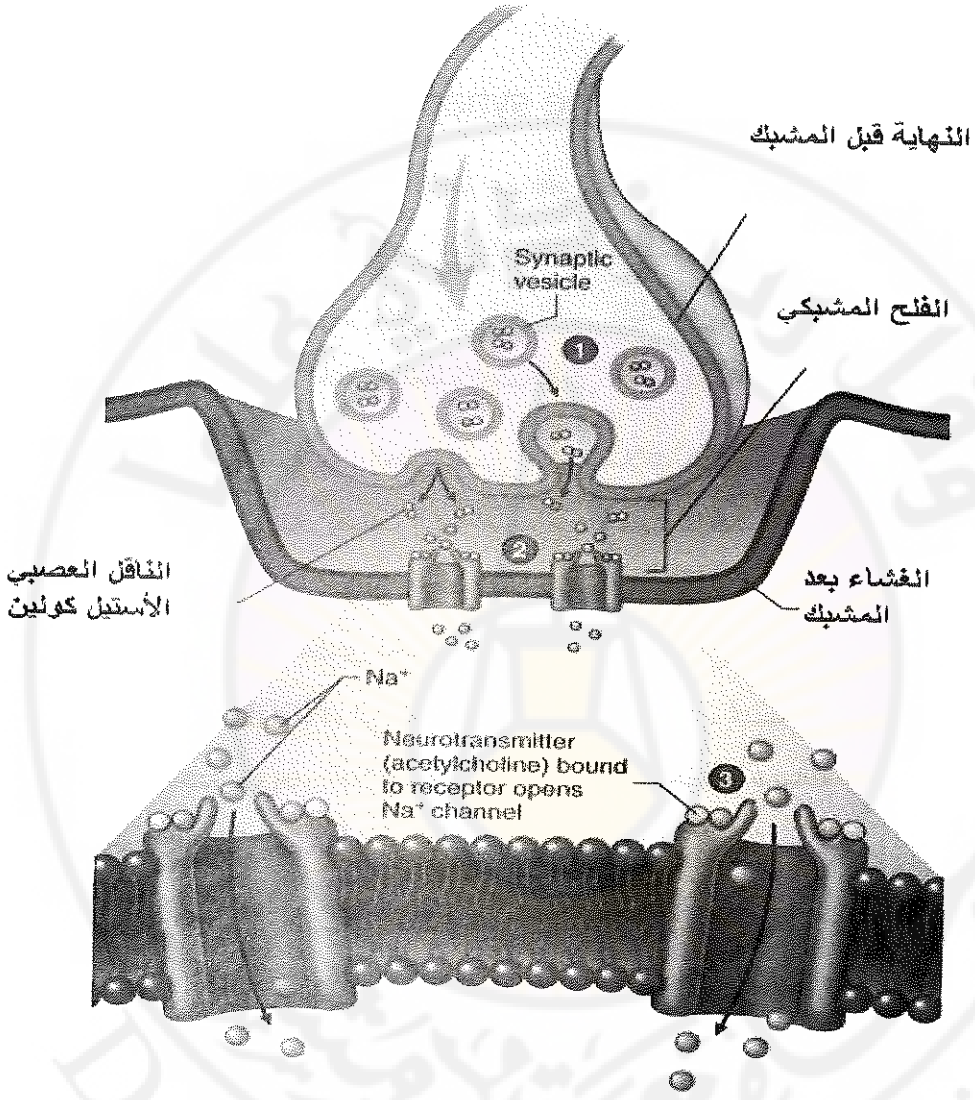
يتشكل المشبك من ثلاث مناطق :

١- العقدة المشبكية (The synaptic Knob)

وهي الانتفاخ النهائي للتفرعات الناجمة عن المحور الاسطواني 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 للجملة العصبية، بينما تحتوي الحويصلات الحبيبية على البتيدات العصبية (Neuropeptides) التي تعمل ببطء ولكن بقوة أكثر، تمتد أفعالها لأيام وأحياناً إلى سنين، ويحرر كلا النوعين من الحويصلات محتواهما بوساطة طريقة تدعى الالتفاظ (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 البنيوية يدعى البروتين الأول الـ (synopsin) وظيفته تثبيت الحويصل في مكانه على الشبكة السيتوبلاسمية (cytoplasmic skeleton)



الشكل (٢٤) بنية المشبك كما يظهر بالمجهر الإلكتروني.

ويدعى البروتين الثاني (Steinin) ويملك 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 للكالموديولين كيناز II تؤدي إلى فسفرة الـ (synopsin)، تؤدي هذه الفسفرة إلى تحرر الحويصلات من مكان ارتباطها على (cytoskeleton) وبالتالي يؤدي ذلك إلى تحرك الحويصل إلى المنطقة الفعالة ويتحد الـ (Steinin) مع الـ (Neurin) وهذا الاتحاد يؤدي إلى تمزق الحويصل وتحرر الناقل الكيميائي إلى الفلح المشبكي (synptic cleft).

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

٢- الفلح المشبكي (The synaptic cleft)

هو المسافة الفاصلة بين العصبون قبل المشبك والعصبون بعد المشبك، يصل عرض هذه المسافة إلى ٢٠٠_٣٠٠ 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 رئيسين:

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

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

١-قناة لنقل الشوارد تفعل كيميائياً (وتسمى أيضاً بالقنوات التي تتفعل عند ارتباط مواد بها(Ligand-activated channels)) وتوجد ثلاث أنماط من هذه 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 استقلابية داخل العصبون بعد المشبك كأن يحث 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 إنقاص 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 المبوبة بالفولتاج (توجد هذه القنوات بكثرة وتكون هي المسيطرة في هذه المنطقة من الغشاء)، يؤدي ذلك إلى دخول شوارد الكالسيوم وذلك وفقاً للمدروج 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 تنفتح ويتحرر الناقل الكيميائي الموجود داخلها إلى الشق المشبكي، وتتناسب 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 تجاه شاردة واحدة أو أكثر.

٣-نشوء كامن العمل المشبكي

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

- يصبح اقل سلبية ويؤدي بالتالي إلى نشوء كامن الإثارة.
- يصبح أكثر سلبية ويؤدي إلى حدوث كامن التثبيط.

٤-إزالة النواقل العصبية من الفلح المشبكي

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 ليستطيع 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 لتختزن في الحويصلات وتستعمل من جديد أو لتخرب بواسطة أنزيمات متوضعة في العصبون قبل المشبك.

أنماط المشابك Types of Synapses

١. **المشبك الكيميائي.** إن معظم المشابك المستخدمة لنقل الدفعات العصبية في الجهاز العصبي المركزي عند الإنسان هي مشابك كيميائية، وفي هذه المشابك يفرز العصبون الأول مادة كيميائية (تدعى الناقل العصبي) في المشبك، يؤثر هذا الناقل على مستقبل بروتيني في غشاء العصبون التالي مؤدياً إما إلى تنبيه 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 بحرية

الحركة من عصبون إلى العصبون الذي يليه.

المستويات الرئيسية لوظيفة الجهاز العصبي المركزي

١ ــ مستوى النخاع الشوكي Spinal cord level

كان الاعتقاد القديم أن النخاع الشوكي ليس إلا طريقاً 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 ودفعاتها إلى المحيط مباشرة وإنما ترسلها إلى مراكز التحكم في النخاع الشوكي وبمعنى آخر يأمر مراكز النخاع لتنجز وظائفها.

٢ ــ 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 أساسي في البصلة والجسر، بينما تكون بعض أجزاء من المخيخ (المخيخ القديم) مع التشكلات الشبكية للبصلة والجسر والدماغ المتوسط مسؤولة عن التوازن وهكذا .

٣ ــ المستوى الدماغي العلوي أو المستوى القشري

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 تشاركه المراكز السفلية المسؤولة عن اليقظة **Wakefulness** في القشر الدماغي وبذلك تساهم في تحرير الذاكرة التي تشترك 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 المناطق السفلية أمر كثير من الوظائف دون الوعي بشكل كامل، أما القشر فهو المهيمن على الباقي.

٣ ــ القسم الحركي للجهاز العصبي

يتضمن القسم الحركي للجملة العصبية الطرق العصبية التي تتحكم بنموذج وتتالي التقلصات العضلية، تؤدي هذه التقلصات العضلية إلى اتخاذ الجسم لمختلف الأوضاع وإلى المنعكسات والفعاليات المنتظمة (الحركات الإرادية).

يتألف 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 المحركة للنخاع الشوكي

تتكامل المعلومات الحسية عند جميع مستويات الجهاز العصبي وتؤدي إلى إحداث الاستجابات الحركية المناسبة ابتداءً من النخاع الشوكي حيث تحدث المنعكسات البسيطة نسبياً ومروراً بجذع الدماغ حيث تصبح الاستجابات أكثر تعقيداً حتى تصل في النهاية إلى المخ حيث يتم التحكم بالاستجابات المعقدة 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 المحركة العائدة من الدماغ إلى المحيط فحسب، إنما الحقيقة تقول إنه لا يمكن لمعظم أجهزة التحكم المحركة الأساسية في الدماغ أن تحدث أية حركة عضلية هادفة دون الدارات العصبونية النخاعية، وكمثال على ذلك لا توجد أي دارة عصبونية في الدماغ تحدث الحركة النوعية للساقين 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 ويحني 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 العصبونية الكثيرة للنخاع الشوكي التي هي نفسها أهداف هذه الأوامر. تؤمن بدورها جميع هذه الدارات ولكن جزءاً صغيراً يكون من التحكم المباشر بالعضلات.

الموجات الدماغية وتخطيط 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).

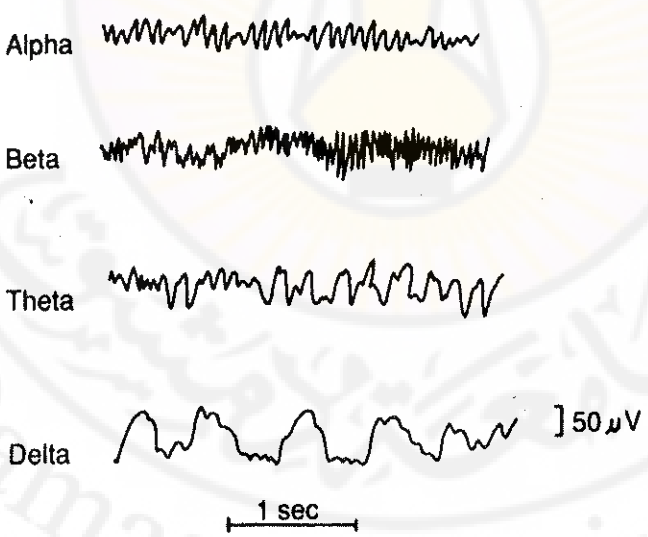
تدعى التموجات في الكوامن الكهربائية المسجلة الموجات الدماغية ويدعى التسجيل بكامله مخطط كهربائية الدماغ **Electroenophalogram (EEG)**، تتراوح شدات الموجات الدماغية المسجلة من على سطح الفروة بين (٠ — ٢٠٠) ميكرو فولت ويتراوح تواترها من موجة واحدة كل عدة ثوان إلى ٥٠ موجة أو أكثر

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 ــ موجات ألفا Alpha waves

وهي موجات منتظمة تحدث بتواتر يتراوح بين ٨ ــ ١٣/ثا، وتوجد في مخططات كهربائية الدماغ عند جميع الأشخاص البالغين الأسوياء عندما يكونون يقظين وهادئين؛ أي في حالة **راحة فكرية**. تحدث هذه الموجات بشدتها العظمى في **المنطقة القذالية** و يمكن تسجيلها أيضاً من المنطقتين الجدارية والجبهية من الفروة ويقرب فولتاجها عادة من **٥٠ 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 ــ موجات بيتا Beta waves

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

٣ ــ موجات ثيتا Theta waves

يتراوح تواترها بين ٤ ــ ٧ دورة/ثا، وتحدث بشكل رئيسي في المنطقتين **الجدارية والصدغية** عند الأطفال، ولكنها تحدث أيضاً خلال الحالات الانفعالية عند بعض البالغين (خصوصاً في أثناء **الخيبة والإحباط**). وتحدث موجات ثيتا ايضاً في العديد من الاضطرابات الدماغية(**أمراض الدماغ التنكسية**).

٤ ــ موجات دلتا Delta waves

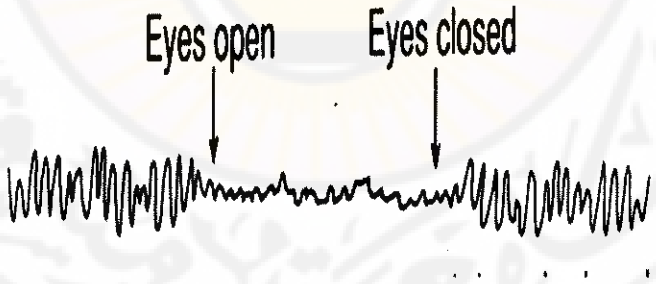
تضم جميع الموجات في مخطط كهربائية الدماغ التي دون ٣,٥ دورة/ثا ويكون فولتاجها عادةً أكبر بأربع مرات من باقي الموجات الدماغية. تحدث في النوم العميق جداً وعند الرضع وعند وجود داء دماغي عضوي خطير. وتحدث ايضاً في قشرة الحيوانات التي أُجري لها قطع تحت مستوى القشرة أدى إلى **فصل القشرة الدماغية عن المهاد**.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

منشأ الموجات الدماغية في الدماغ

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

الكوامن 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 و الألياف التي تفرغ في نفس الوقت وليس بالمستوى الكلي للفعالية الكهربائية في الدماغ. إذ إن الإشارات العصبية القوية غير المتوافقة يفني بعضها الآخر لأنها تملك قطبية متعاكسة. هذا الموضوع موضح في الشكل (٢٦) الذي يُظهر تفريغات متواقتة (عندما تكون العينان مغلقتين) لعصبونات كثيرة في القشرة المخية بتواتر يقارب ١٢ دورة/ثا معطية موجات ألفا. تزداد فعالية الدماغ بشكل كبير بعد فتح العينين ولكن تواقت الإشارات يصبح ضعيفاً لدرجة أن الموجات الدماغية يلغي بعضها الأخر بحيث تصبح معها موجات الدماغ ذات فولتاج منخفض و تواتر مرتفع وغير منتظم وهي ما تُدعى موجات بيتا.



الشكل (٢٦). استبدال نظم إلفا بنظم غير متزامن هو نظم بيتا وذلك عند فتح العينين.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل العاشر

النسيج العضلي Muscle Tissue

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 تمتلئا وتنفرغا 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 لأنه توجد في بعض الأحياء حياة دون العضلات لكنها أشبه بحياة النباتات، وبالخلاصة فإن حياة الإنسان بشكلها الحالي ما كانت لتتم لولا وجود العضلات.

تقسم العضلات إلى ثلاثة أنواع هي الهيكلية وعضلة القلب والعضلات الملس.

١ ــ العضلات الهيكلية:

تشكل حوالي ٤٠ % من وزن الجسم تقريباً، بينما تشكل العضلات الملس والعضلة القلبية ١٠% منه، وينطبق كثير من مبادئ الانقباض(التقلص) على جميع هذه الأنماط المختلفة من العضلات.

التشريح الفيزيولوجي للعضلات الهيكلية

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

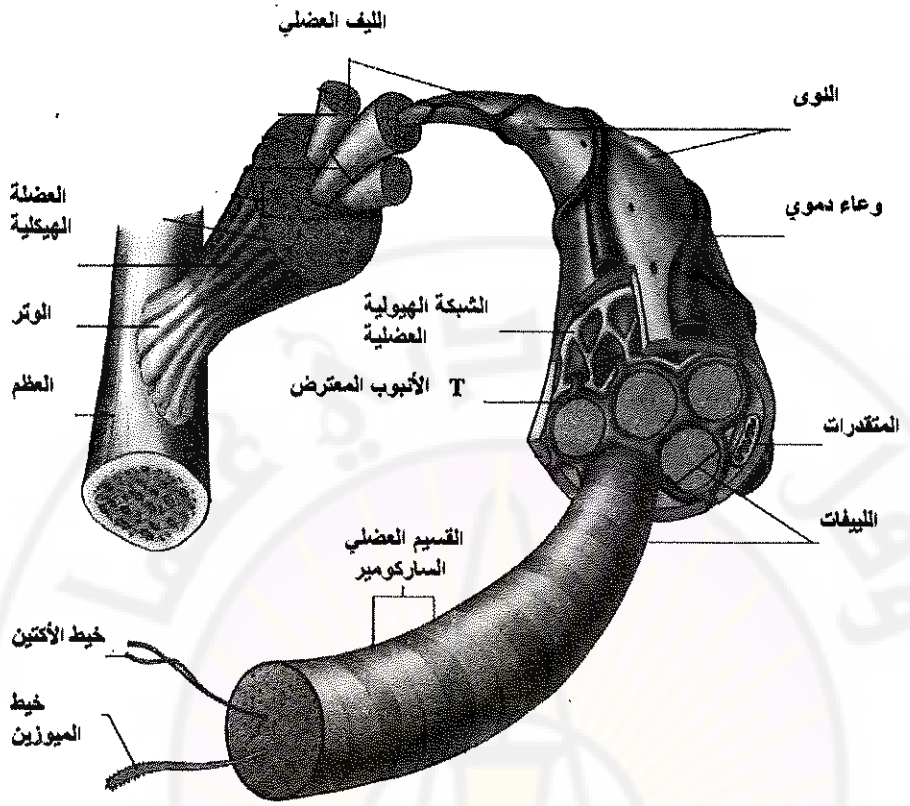
يمتد الليف العضلي في معظم العضلات على كامل طول العضلة(يستثنى من ذلك ٢% من الألياف) ويعصب كل ليف بوساطة نهاية عصب واحد تقع في وسط الليف. إن بنية الليف العضلي هي كالتالي:

١ــ غمد الليف العضلي عبارة عن الغشاء الخلوي لليف العضلي ويتألف من الغشاء الهيولي وغلالة خارجية مؤلفة 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.

٢ــ الليفات العضلية- خيوط الأكتين والميوزين.

يحوي كل ليف عضلي عدة آلاف من الليفات العضلية، ويتألف كل واحد من هذه الليفات العضلية بدوره من حوالي ١٥٠٠ خيط من خيوط الميوزين و ٣٠٠٠ خيط من خيوط الأكتين (الشكل ٢٧).

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



الشكل(٢٧) بنية العضلة الهيكلية

يُظهر الشكل (٢٨) أن نهايات خيوط الأكتين تتصل بما يدعى القرص Z ومن هـذا القرص تمتد الخيوط في كلا الاتجاهين لتتداخل مع خيوط الميوزين، أما القرص Z فهو يعبر من ليف عضلي إلى آخر رابطاً الليفات مع بعضها على كامل عـرض الليـف العضلي، ولذلك يحوي الليف العضلي بكامله شرائط فاتحة وشرائط قاتمـة كمـا في الليف وهذه الشرائط تعطي العضلات الهيكلية والعضلة القلبية مظهرهـا المخطـط. يدعى الجزء من الليف العضلي (أو كامل الليف العضلي)المتوضع بـين قرصـي Z

المتعاقبين بالقسيم العضلي Sarcomer الذي يبلغ طوله ٢ميكرومتر عندما يأخذ الليف العضلي طول الراحة السوي حيث يكون في كامل تمدده ويكون عند هذا الطول قادراً على توليد قوة التقلص العظمى.

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

٤ـ 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.

الآلية 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 قنوات 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 ويتجه عميقاً داخل الليف العضلي وهنا يؤدي إلى تحرير كميات كبيرة من شوارد الكالسيوم من قبل الشبكة الهيولية العضلية (حيث تكون مخزنة ضمنها) إلى داخل الليفات العضلية.

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

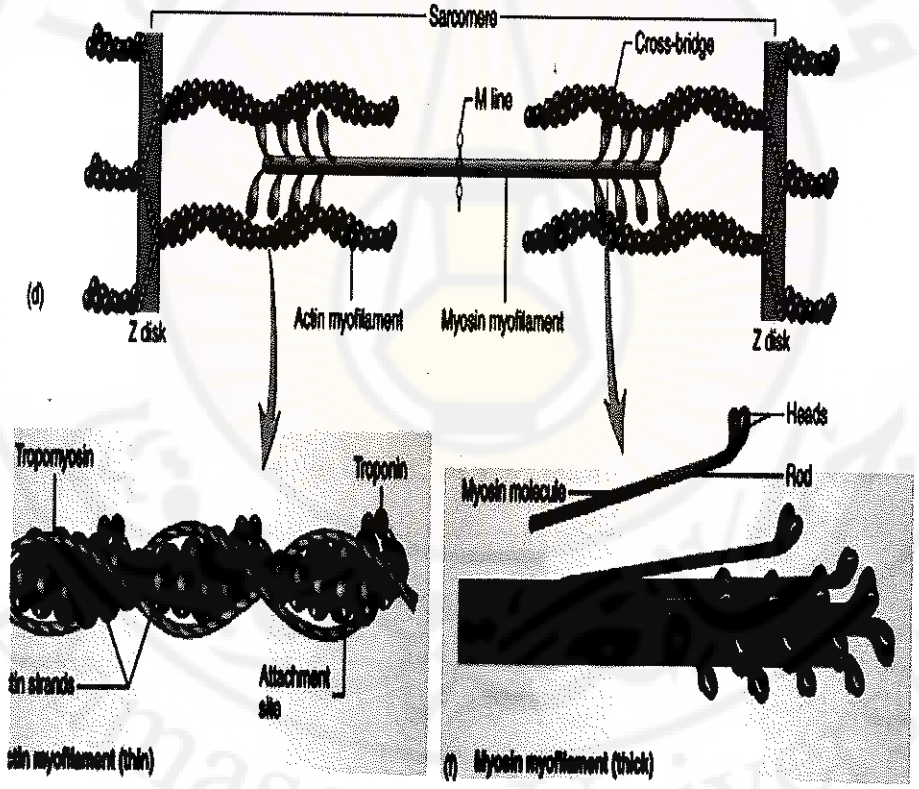
٨. تضخ شوارد الكالسيوم بعد جزء من الثانية عائدة إلى الشبكة الهيولية حيث تبقى هناك حتى يأتي كامن فعل عضلي جديد وهكذا يتوقف تقلص العضلة.

الآلية الجزئية للتقلص العضلي

خيوط الميوزين .يتركب خيط الميوزين من جزئيات ميوزين عديدة،يتركب جزيء الميوزين من ست سلاسل عديدة البيتيد، اثنتان منها سلاسل ثقيلة وأربع سلاسل خفيفة.تلتف السلسلتان الثقيلتان كل منهما حول الأخرى حلزونياً لتشكل حلزوناً مضاعفاً يدعى ذيل خيط الميوزين،بينما تنطوى إحدى نهايتي كل من السلسلتين 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. يتألف خيط الميوزين من ٢٠٠ جزيء ميـــوزين أو أكثـــر ويبين الجزء المركزي لأحد هذه الخيوط اجتماع جزئيات الميوزين مع بعضها بشكل حزم لتشكل جسم الخيط ،بينما تبرز رؤوس العديد من الجزئيات معلقة على جوانب الجسم ويبرز معها على الجانب قسم من الجزء الحلزوني لكل جزيء مشكلاً ذراعـــاً يعلق به الرأس بعيداً عن الجسم .

إن الطول الكلي لجميع خيوط الميوزين واحد ويساوي١,٦ميكرومتر. ويلاحظ عدم وجود رؤوس الجسور المعترضة في الجزء المركزي من خيط الميـــوزين لمـــسافة ٠,٢ مكرومتر تقريباً (الشكل ٢٨).



الشكل (٢٨) البنية الجزيئية لخيوط الأكتين والميوزين.

فعالية رأس الميوزين المشابهة لفعالية الـ ATPase

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

خيط الأكتين.

يتألف من ثلاث مكونات بروتينية مختلفة وهي:

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

٢. جزئيات التروبوميوزين. تتوضع في حالة الراحة فوق المواقع الفعالة لطاقي الأكتين لذلك لايمكن أن يحصل جذب بين خيوط الأكتين والميوزين كي يحدث التقلص.

٣. التربونين. يرتبط قرب إحدى نهايتي كل جزئ من التروبوميوزين جزيء بروتيني أخر هو التروبونين وهو مركب فعلياً من ثلاث تحت وحدات مرتبطة بشكل رخو،يلعب كل منها دوراً خاصاً في التحكم بالتقلص العضلي(تربونين I و T وC).

آلية حدوث التقلص

١. تتحد رؤوس الجسور المعترضة قبل بدء التقلص بالـ ATP التي تُشطر حالاً بفضل فعالية رؤوس الميوزين المشابهة للـ **ATPase** لكن منتجات هذا الشطر تبقى مربوطة إلى الرأس.

٢. يتثبط التآثر التثبيطي لمعقد تروبونين تروبوميوزين بوساطة شوارد الكالسيوم وتكشف المواقع الفعالة على خيط الأكتين ثم ترتبط بها رؤوس الميوزين.

٣. ضربة القدرة.يسبب الاتحاد بين رأس الجسر المعترض والموقع الفعال تغيراً شكلياً في الرأس حاثاً إياه للميل باتجاه ذراع الجسر المعترض، وهذا يعطي ضربة القدرة لجذب خيط الأكتين.

٤. بعد أن يميل رأس الجسر المعترض يسمح بتحرر الـ ADP والفوسفور ويرتبط مكانه الـATP وهذا ما يسبب انفصال الرأس عن الأكتين.

٥. بعد انفصال الرأس عن الأكتين يُشطر الجزيء الجديد من ATP وتقوم القدرة المتحررة بإعادة الرأس إلى وضعيته العمودية استعداداً لبدء ضربة قدرة جديدة.

٦. يبدأ الارتباط على موقع فعال جديد على خيط الأكتين يطلق الزناد مرة أخرى وتحدث ضربة قدرة جديدة.

٧. يتواصل الحدث مرات عديدة حتى تجذب خيوط الأكتين الغشاء 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 المتقلصة.

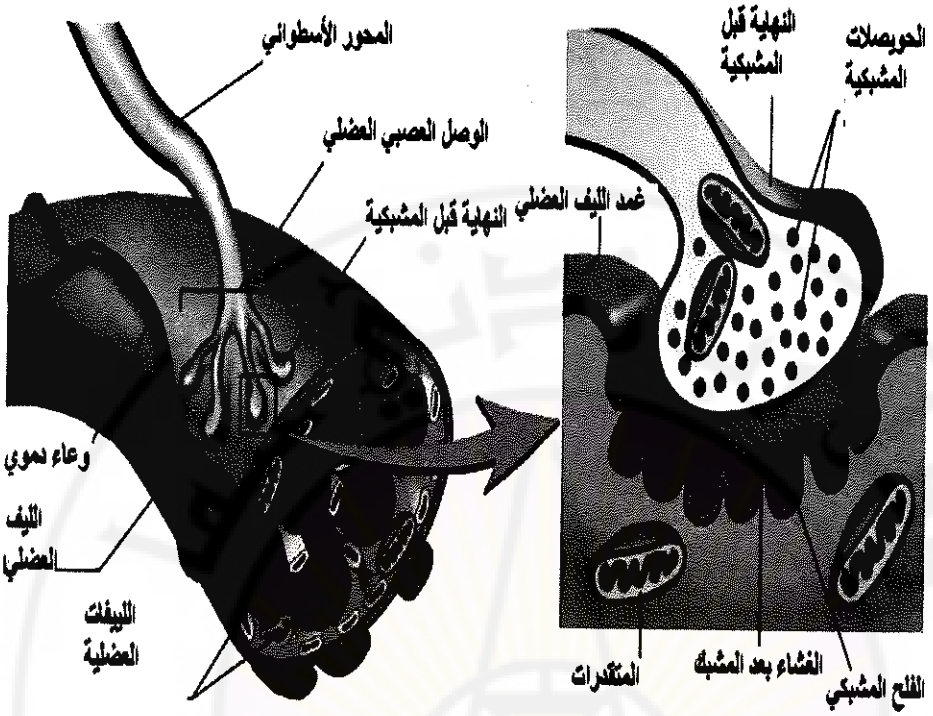
إن التقلص الأعظمي يحدث عندما يكون التداخل أعظمياً بين خيوط الأكتين والجسور المعترضة لخيوط الميوزين، مما يشير إلى أنه كلما ازداد عدد الجسور المعترضة التي تجر خيوط الأكتين كانت قوة التقلص أكبر.

علاقة سرعة التقلص بالحمل

تتقلص العضلة بشكل سريع جداً عندما لا تعاكس حملاً، حيث تصل إلى تقلص كامل في حوالي ٠,١ 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 مساوية للصفر ولا ينتج أي تقلص بالرغم من تفعيل الليف العضلي.

نقل الدفعات من الأعصاب إلى ألياف العضلات الهيكلية

تعصب الألياف العضلية بألياف عصبية نخاعية كبيرة تنشأ من العصبونات الحركية الكبيرة في القرون الأمامية للنخاع الشوكي، ويتفرع كل ليف عصبي في الحالة السوية إلى عدة فروع وينبه من ثلاثة إلى عدة مئات من الألياف العضلية الهيكلية. تصنع نهاية الليف العصبي مع الليف العضلي قرب منتصفه موصلاً يدعى الموصل العصبي العضلي Neuromuscular junction و يدعى هذا الموصل الصفيحة المحركة الانتهائية. ومنه ينتقل كامن الفعل في الليف العضلي في كلا الاتجاهين إلى نهايتي الليف العضلي. يتفرع الليف العصبي عند نهايته ليشكل مجموعة من النهايات العصبية المتفرعة التي تنغلف في الليف العضلي لكنها تتوضع بكاملها خارج الغشاء الهيولي لليف العضلي، تدعى هذه البنية بكاملها الصفيحة الانتهائية المحركة، الشكل ٢٩.



الشكل(٢٩) الوصل العصبي العضلي

إفراز الأستيل كولين من النهايات العصبية

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

كامن فعل العضلة

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

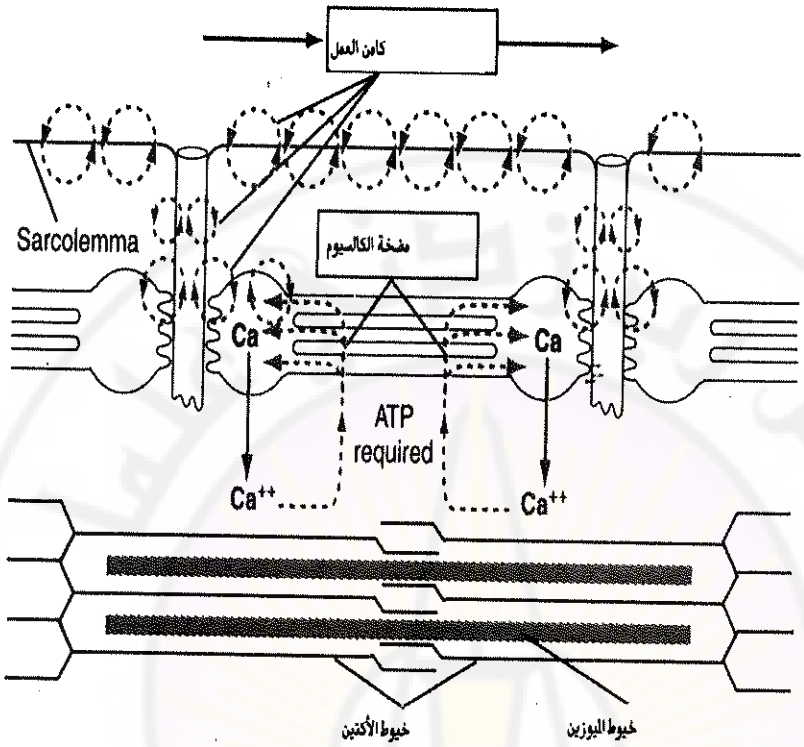
انتشار كامن الفعل إلى داخل الليف العضلي

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 الاستثارة ـــ التقلص

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

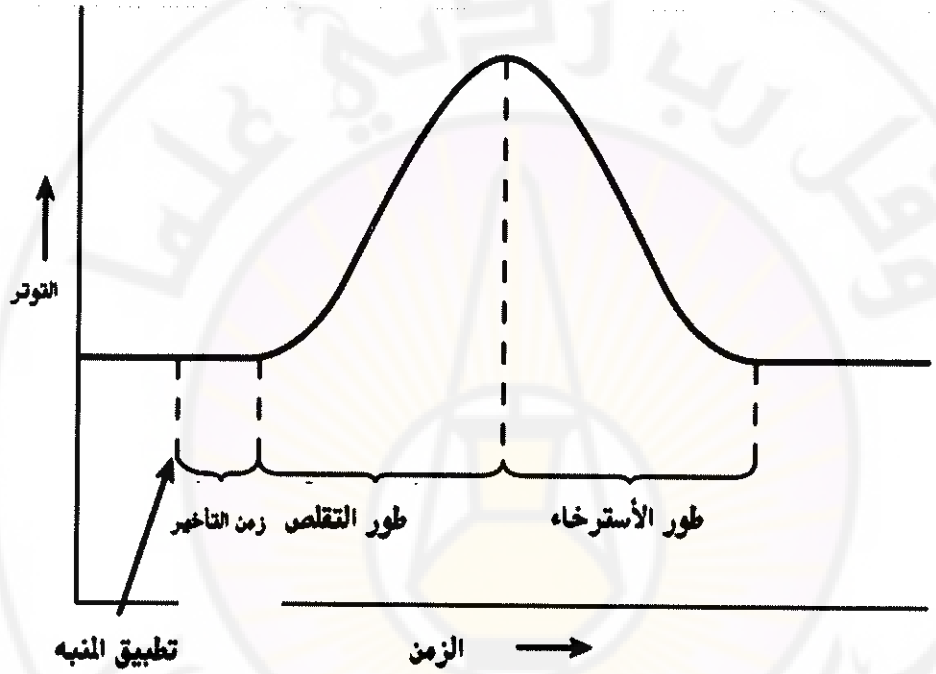


الشكل(٣٠) اقتران الاستثارة –التقلص.يُظهر الشكل كامن الفعل الذي يُسبب تحرر شوارد الكالسيوم من الشبكة الهيولية العضلية ومن ثم إعادة طرد شوارد الكالسيوم بوساطة مضخة الكالسيوم.

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 لحوالي ٦٧ ميلي ثانية في العضلات بطيئة التقلص كالعضلة النعلية(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 مباشرة أو بوساطة تمرير تنبيهات كهربائية قصيرة عبر العضلة نفسها وهي تسبب تقلصاً مفاجئاً يستمر جزءاً من الثانية.

التقلص أسوي المقاسات إزاء التقلص أسوي التوتر
Isometric versus isotonic contraction

يقال إن تقلص العضلة أسوي المقاسات عندما لا تقصر العضلة في أثناء التقلص أما التقلص أسوي التوتر فهو عندما تقصر 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

تُحسب فعالية آلة أو محرك بالنسبة المئوية من مدخول الطاقة الذي ينقلب إلى عمل بدلاً من الحرارة، والنسبة المئوية لمدخول طاقة العضلة(الطاقة الكيميائية في الغذيات) الذي يمكنه أن يُقلب إلى عمل أقل من ٢٠-٢٥% والباقي يصبح حرارة،والسبب في ذلك فقد نصف طاقة عناصر الطعام في أثناء تشكيل الـ ATP وكذلك فإن ٤٠-٥٠% فقط من طاقة الأتب ذاتها تتحول إلى عمل فيما بعد.

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

دراسة طاقة التقلص العضلي

نتاج العمل أثناء التقلص العضلي

عندما تتقلص العضلة معاكسة حملاً فإنها تنتج عملاً وهذا يعني أن الطاقة قد انتقلـــت من العضلة إلى الحمل الخارجي،كرفع مادة إلى الأعلى أو التغلب على مقاومة الحركة. يُحدد العمل بالمعادلة التالية: عم=ك×م

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

٢-الألياف العضلية السريعة إزاء البطيئة

الألياف السريعة

١. أكبر من أجل قوة تقلص كبيرة.
٢. الشبكة الهيولية 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 ومعصبة بألياف عصبية أصغر.

٢. جهاز الأوعية الدموية والشعريات أكثر غزارة .

٣. أعداد المتقدرات أكبر لتأمين المستوى العالي من الاستقلاب التأكسدي الضروري.

٤. تحوي كميات كبيرة من الميوغلوبين وهذا يسرع نقل الأكسجين للمتقدرات بشكل كبير.(العضلات الحمر).

الدراسة الحركية للتقلص العضلي

Mechanics of skeletal muscle contraction

الوحدة المحركة The Motor unit

يعصب كل عصبون محرك(يوجد جسم العصبون في القرن الأمامي للنخاع الشوكي ويغادر المحور الأسطواني النخاع الشوكي متجهاً نحو العضلات)عدداً من الألياف العضلية المختلفة ،ويعتمد هذا العدد على نمط العضلة . تدعى جميع الألياف العضلية المعصبة بعصبون 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 المحركة لجميع عضلات الجسم موضع خلاف ولكن يعتقد أنه قريب من المئة.

لا تتجمع 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 المنفصلة أن تتقلص داعمةً بعضها بعضاً أكثر مما لو كانت كوحدات منفصلة بشكل عام.

جمع القوة

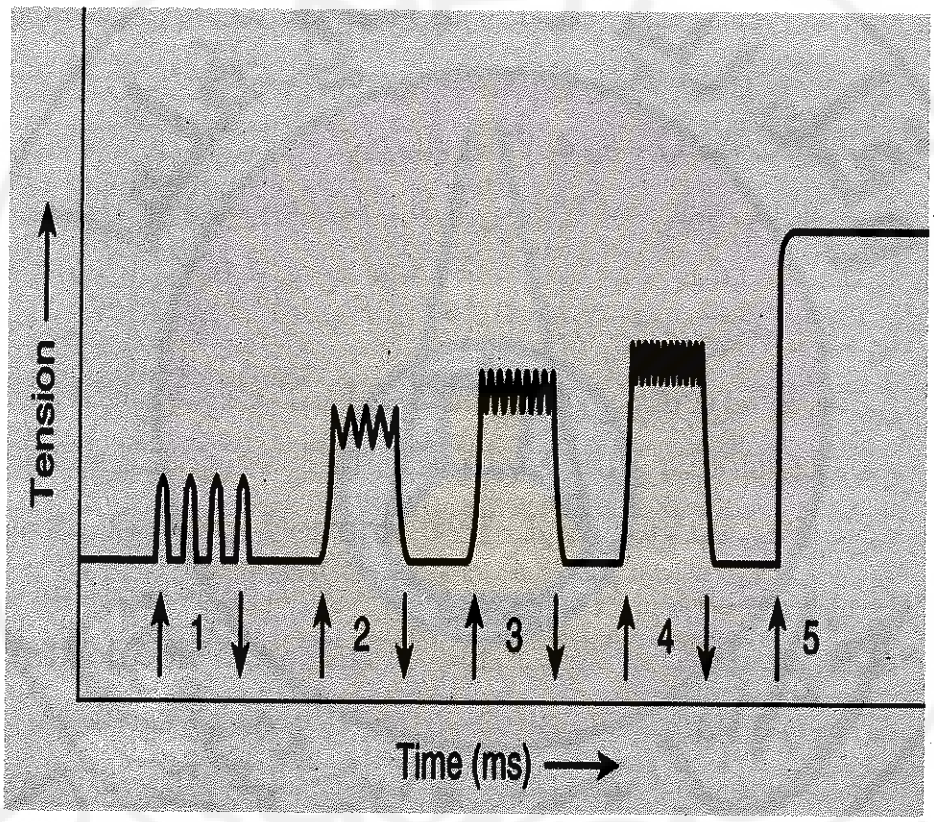
١- التراكم عديد الألياف.

عندما ترسل الجملة العصبية المركزية إشارة ضعيفة لتقلص العضلة فإن الوحدات الحركية الحاوية الألياف الأقل والأصغر في العضلة تتنبه بشكل أفضل من الوحدات الحركية الأكبر. وعندما تزداد قوة الإشارة تبدأ الوحدات الحركية الأكبر فالأكبر بالتنبه 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 أثناء 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 العصبونات المحركة الصغيرة في النخاع الشوكي أسهل استثارة من الكبيرة ولذلك من الطبيعي أن تُثار أولاً.

٢-تراكم التواتر والتكزيز.

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

إلى إضافة التقلص الثاني إلى الأول ولذلك تزداد القوة الكلية للتقلص بشكل متـــدرج مع ازدياد التواتر، وعندما يصل التواتر إلى مستوى حرج تصبح التقلصات المتعاقبـــة 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 والتكزيز.

قوة التقلص العظمى .تتراوح قوة التقلص الكزازي العظمى لعضلة تعمـــل بطولهـــا السوي ما بين ٣-٤ كغ/سم٢ من العضلة.

توتر العضلات الهيكلية

تحافظ العضلة على مستوى معين من التوتر حتى في حالة الراحة تُدعى بـ Muscle tone . وبما أن الألياف العضلية الهيكلية لا تتقلص دون كامن فعل حقيقي ينبهها فإن توتر العضلات الهيكلية ينتج بشكل كامل عن دفعات عصبية تأتي من النخاع الشوكي، وهذه بدورها تُنظم جزئياً بدفعات تُنقل من الدماغ إلى العصبونات المحركة الأمامية المناسبة،وكذلك جزئياً بوساطة دفعات تنشأ في المغازل العضلية الموضعة في العضلة ذاتها.

العضلات الملس

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

أنماط العضلات الملس

يمكن تقسيم العضلات الملس إلى نمطين رئيسين:

١ ــ العضلات الملس عديدة الوحدة Multi unit smooth muscles

يتألف هذا النمط من العضلات الملس 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 الهيكلية.

إن الخاصة الأكثر أهمية للألياف العضلية الملس عديدة الوحدة أن كل ليف يمكنه أن يتقلص بشكل مستقل عن الألياف الأخرى، وإن التحكم بها يتم بشكل رئيس بوساطة الإشارات العصبية وهذا بعكس القسم الأكبر من تحكم العضلات الملس الحشوية الذي يتم بتنبيهات غير عصبية.

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

٢ ــ العضلات الملس وحيدة الوحدة

Single - unit smooth muscles

إن عبارة وحيدة الوحدة تعني أن الكتلة الكاملة لمئات إلى ملايين الألياف العضلية تتقلص مع بعضها كأنها وحدة واحدة.

تتجمع الألياف عادة في صفائح أو حزم وتكون أغشيتها الخلوية ملتصقة 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 التي تليها ولذلك فإن كامن الفعل ينتقل من ليف إلى مجاوره ويسبب تقلص جميع ألياف العضلة مع بعضها، وهذه العضلات موجودة في جدران معظم الأحشاء في الجسم بما فيها المعي والأقنية الصفراوية والحالبين والرحم والكثير من الأوعية الدموية ولذلك فإنها تدعى كذلك العضلات الملس الحشوية.

٣ ــ عضلة القلب: درست في فصل سابق.

الفصل الحادي عشر

تخطيط العضلات الكهربائي عند الإنسان

Electromyography (EMG)

تتألف العضلة المخططة وظيفياً من وحدات حركية motor unites 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. وتخضع الألياف الموجودة في كل وحدة عضلية لقانون " كل شيء أو لا شيء " (All - or- none) ، تزداد القوة التقلصية للعضلات ، إما بتفعيل عدد أكبر من 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 المحركة الانتهائية ، حيث تحرض السيالة العصبية الواصلة إلى منطقة الوصل العضلي العصبي ، على تحرر وسيط كيميائي الذي يبدل من نفوذية أغشية الألياف العضلية وينتج 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 لراسم 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 مساري في غاية الدقة . توضع هـــذه المساري إما على تماس مع الجلد أو تغرس في داخل العضلة المدروسة. وتتراوح سعة إفراغات الوحدة الحركية الواحدة (الموجات ثنائية الطور أو الموجات ثلاثية الطور) بين ٢٠ إلى ٢٠٠٠ ميكروفولط ، أما مددها فهي تختلف بـــين٠,٠٠٣ و ٠,٠١٥ ثانية ، بينما يختلف تواترها بين ٦ إلى ٣٠ هرتز (دورة / ثا) .

تشير الدراسات السريرية إلى أن العضلة لا تبدي في زمن الراحة أي كامن عمـــل (نشاط كهربي) وتتشكل كوامن العمل في العضلة عند تنبيهها بمنبه خارجي ذي شدة مناسبة ، بينما لا تتشكل أية كوامن عمل في العضلة في حال كون شدة التنبيه غـــير كافية ، ويطلق على أقل شدة تنبيه كافية لحدوث استجابة عضلية بالتيار القاعدي (الريوباز) . أما شدات التنبيه الأصغر من التيار القاعدي فإنها لا تؤدي إلى حدوث كامن عمل في العضلة مهما طال زمن ممارسة هذه التنبيهات وكلما ازدادت شـــدة التنبيه فوق سوية التيار القاعدي كلما احتجنا إلى زمن أقل لممارسة التنبيه بالمقارنـــة مع زمن ممارسة التنبيه للتيار القاعدي ، وذلك من أجل الحصول على استجابة عضلية .أما الكروناكسي (الكروناكسيا) فهي زمن ممارسة التنبيـــه اللازمـــة لحـــدوث استجابة في عضلة تحت تأثير تيار شدته ضعف التيار القاعدي ، ويـــشكل المـــنحني الناتج عن علاقة الشدة مع زمن ممارسة التنبيه لعضلة ما أهمية كبرى في دراسة الحالة الوظيفية لهذه العضلة،حيث يتبدل هذا المنحني عند إصابة العضلة بآفة ما (انضغاط، أو انسمام) أو عند إصابة المحور العصبي المعصب لهذه العضلة .

من جهة ثانية يمكن دراسة النقل العصبي في الأعصاب الحركية عـــن طريـــق تنبيـــه العصب المحرك لعضلة ما ، وتسجيل تبدلات الكامن في هذه العضلة وذلك بقيـــاس المسافة الفاصلة ما بين نقطة التنبيه ونقطة تسجيل تبدلات الكامن وتقدر هذه المسافة

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

طريقة العمل

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

يُلاحظ عند أداء المريض تقلصاً بسيطاً للعضلة المدروسة بأن مخطط كهربية العضل لا يشمل إلا نشاط عدد بسيط من الوحدات الحركية المتماثلة والتي تفـــرغ نـــشاطها الكهربائي بتواتر اقل من ٢٠ دورة في الثانية ، يطلق على هذا المخطـــط بـــالمخطط البسيط ، وحينما ينفذ المريض تقلصاً عضلياً بشدة أكبر من السابق يـــزداد تـــواتر كوامن العمل السابقة ويضاف إليها كوامن عمل جديدة نتيجة لتفعيل عدد آخر من الوحدات الحركية ويطلق على المخطط الناتج بالمخطط المتوسط . و حينما يطلـــب من المريض تنفيذ تقلصاً أعظمياً للعضلة المدروسة ، تنضم جميع الوحدات الحركيـــة الأخرى للنشاط ، وذلك بتواتر أعظمي يتراوح 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 بالمخطط التداخلي .

أما فيما يتعلق بقياس سرعة النقل في العصب المحرك لعضلة ما ، فإننا نلجأ على سبيل المثال لتنبيه العصب المتوسط الذي ينبه عضلة راحة اليد (العـــضلة مبعـــدة الإبهـــام القصيرة) وذلك في نقطتين ، تقع النقطة الأولى في الحفرة المرفقية ، وتقـــع النقطـــة

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

الفصل الثاني عشر

الجهاز البولي

يتألف الجهاز البولي من

١. الكليتين Kidney (يمنى 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 وتشريح 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 بإجراء 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 اسمولية الجسم.

٤. تنظيم PHالدم (تنظيم الحمض الأساس).

٥. تنظيم الضغط الدموي.

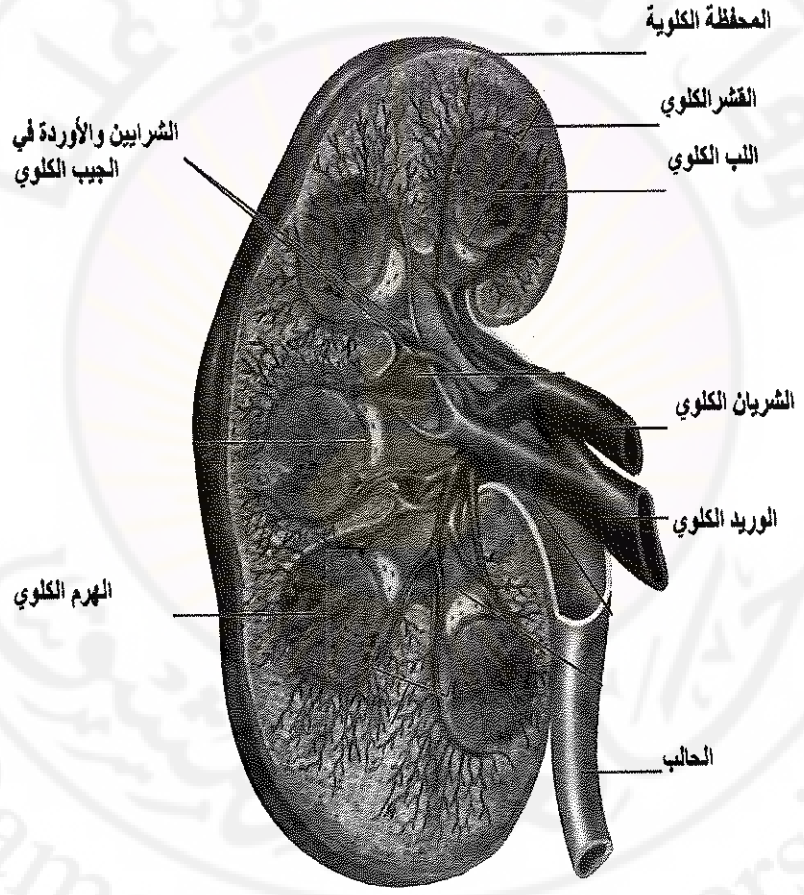
٦. إفراز بعض الهرمونات (تعتبر الكلية كغدة صماوية) كالأرثروبيوتين والرينين والبراديكينين.

٧. تساهم في استحداث السكر (Gluconegenesis) خاصةً في أثناء الصيام، ويتم اصطناع الغلوكوز من الحموض الأمينية وبعض المشتقات الأخرى وتكون كمية الغلوكوز المصنعة في الكلية بعد صيام طويل معادلة تقريباً للكمية المصنعة في الكبد.

ب ــ التشريح الوظيفي للكلية

تتوضع الكلى خلف جوف 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 ويخرج من خلالها الشرايين والأوردة والأوعية اللمفاوية والأعصاب الكلوية، كما يخرج منها الحالب الذي يحمل البول من الكلية إلى المثانة. وإذا أجرينا مقطعاً طولانياً 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 طولاني في الكلية.

ج–التروية الدموية للكلى

تبلغ كمية الدم التي تغذي الكليتين في الحالة الطبيعية حوالي ٢٢% من نتاج القلب (حوالي ١١٠٠ مل/د). يدخل الشريان الكلوي من خلال السرة ويتفرع بشكل متدرج ليشكل الشرايين بين الفصوص ، الشرايين المقوسة، الشرايين بين الفصيصات ثم الشرايين الواردة التي تنتهي في الكبيبات الكلوية. تتجمع النهايات البعيدة لشعريات الكبيبات لتشكل الشرين الصادر الذي يقود إلى نوع ثانٍ من الشعريات الدموية (شبكة الشعريات الدموية حول الأنابيب)، التي تحيط بالأنبوب الكلوي).

يتمتع الدوران الكلوي بخاصية فريدة في كونه يحوي نوعين من الأوعية الدموية، الأوعية الدموية الكبية والأوعية الدموية حول الأنابيب. يكون هذان النوعان سلسلة تنفصل عن بعضها بوساطة الشرينات الصادرة التي تساعد في تنظيم الضغط المائي السكوني في كلا السريرين الوعائيين.

يسبب الضغط المائي السكوني العالي في السرير الكبي الوعائي (حوالي ٦٠ مم ز) رشح سريع للسوائل، بينما يجيز الضغط المائي السكوني المنخفض في الأوعية الدموية حول الأنابيب (حوالي ١٣ مم ز) إعادة سريعة لامتصاص السوائل بوساطة تعديل المقاومة لكلّ من الشرين الوارد والصادر. تستطيع الكليتان تنظيم الضغط المائي السكوني في كلا النوعين من الأوعية الدموية. وطبقاً لذلك تتغير نسبة الرشح الكبي و أو عود الامتصاص استجابة لمتطلبات الاستتباب في الجسم.

د–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 بحـــوالي ٤٠% من الموجود عند الذين أعمارهم ٤٠ سنة.

لا يكون هذا النقص مهدداً للحياة بسبب حصول تغيرات تأقلمية في النفرونات الباقية تسمح لها بإفراغ 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 بمجملها.

يتألف كل نفرون بشكل رئيسي من:

- **الكبة الكلوية Glomerulus**

يصل الدم إلى الكبة عبر الشرين الوارد Afferent arteriole ويغادرهـــا عـــبر الشرين الصادر Efferent arteriole . الكبة الكلوية عبارة عن شبكة مـــن الشعيرات الدموية المتفاغرة فيما بينها، قد يصل عدد التفرعات فيها إلى ٥٠ تفرعـــاً متوازياً، تحاط هذه الشعيرات بمجملها بوساطة محفظة بومان، يؤدي الضغط الدموي في الكبة إلى رشح السائل إلى محفظة بومان ثم ينتقل السائل الراشح إلى النبيب.

- **النبيب Tubule**

هو عبارة عن أنبوب طويل تتحول فيه السوائل الراشحة من الكبة الكلوية إلى بـــول وذلك في أثناء سير هذا السائل باتجاه الحويضة الكلوية ويتألف الأنبوب الكلوي مـــن 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 هنلي لأن الجدار فيها يكون رقيقاً جداً، ويعود جدار الطرف الصاعد للتثخن من جديد في أثناء عودته إلى القشر ويطلق على الجزء المتثخن من عروة هانلي بالقطعة الثخينة.

٣. الأنبوب القاصي Distal tubule : يتوضع في القشر الكلوي وتتجمع كل ثمانية أنابيب قاصية تقريباً لتشكل القناة الجامعة القشرية.

٤. الأنبوب الجامع Collecting duct : المشكل من استمرار القناة الجامعة القشرية ويتابع سيره إلى اللب الكلوي.

النظرية الأساسية حول وظيفة النفرون

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

- نواتج الاستقلاب النهائية (كاليوريا والكرياتين وحمض البول والبولات).
- المواد التي تميل إلى التراكم في الجسم بكميات كبيرة (شوارد الصوديوم والبوتاسيوم والهيدروجين والكلور) حيث إن النفرون يعمل على تصفية المصورة من هذه الشوارد .

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

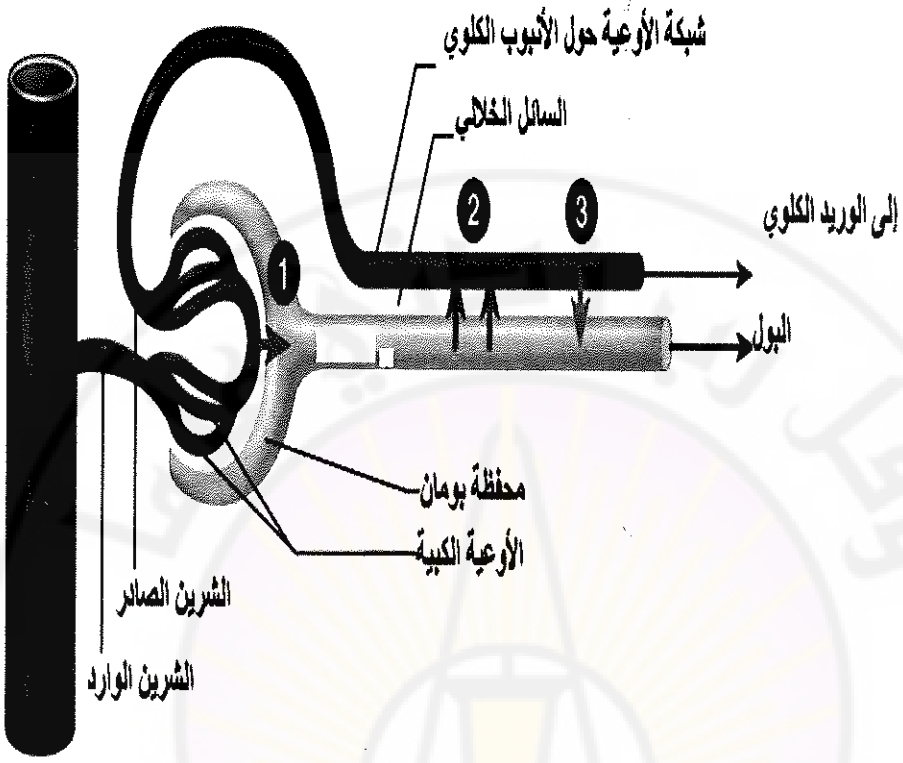
١-آلية الرشح وعود الامتصاص:

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

٢. يعاد امتصاص المواد المطلوبة (خاصة الماء والشوارد) حيث يعاد امتصاص معظم الماء وكمية كبيرة من الشوارد في أثناء عبور السائل الراشح من الكبيبات إلى الأنبوب الكلوي حيث تضاف هذه المواد إلى المصورة 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 المصورة الموجودة في شبكة الشعريات حول الأنابيب إلى الأنابيب، وهكذا يتركب البول المتشكل من قسمين: مواد مرتشحة ومواد مفرزة.



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

ح-تشكيل البول

إن نسبة إفراغ المواد المختلفة في البول تمثل مجموع العمليات الكلوية الثلاث الموضحة في الشكل(٣٥) :

١-الرشح الكبي.

٢-عود امتصاص المواد من الأنبوب الكلوي إلى الدم.

٣-إفراز المواد من الدم إلى الأنبوب الكلوي.

يعبر عنها رياضياً بالمعادلة التالية:

معدل الإفراغ البولي=معدل الرشح ـ (معدل عود الامتصاص +معدل الإفراز).

يبدأ تشكيل البول مع رشح كمية كبيرة من سوائل البلازما(الخالية من البروتينات) من الأوعية الشعرية الكبية 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 الأنبوب الكلوي. يطرأ على هذا السائل تعديل من خلال عود الامتصاص للماء والشوارد إلى الدم إضافة إلى إفراز بعض المواد من شبكة الشعريات الدموية حول الأنابيب إلى الأنبوب البولي.

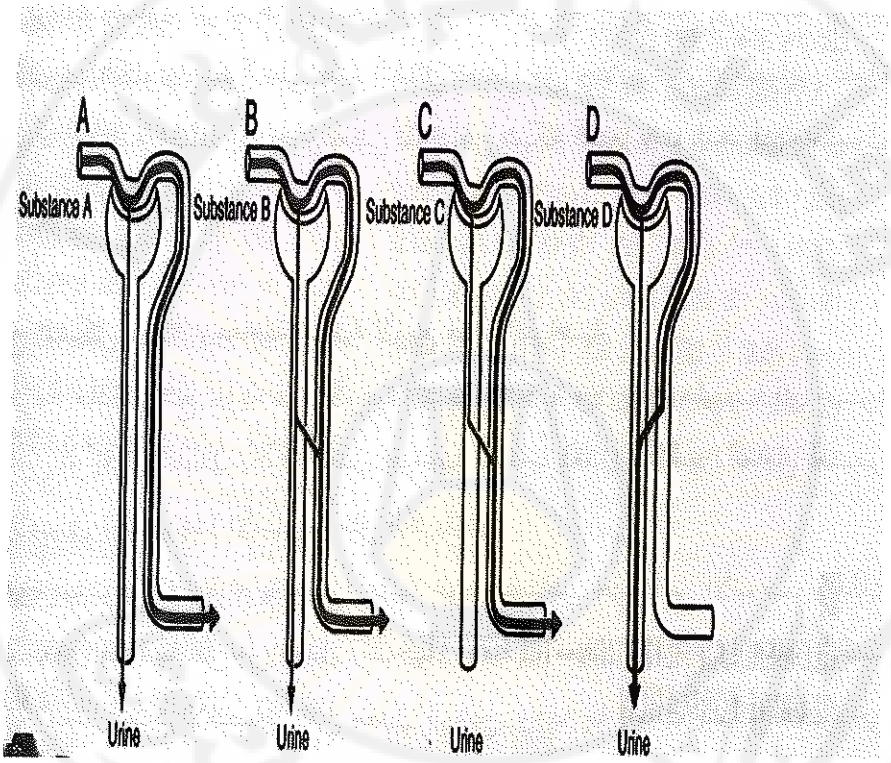
يوضح الشكل (٣٦) معاملة الكلية لأربع مواد افتراضية

في الجزء أ مادة ترشح بحرية عبر الأوعية الشعرية الكبية ولا يطرأ عليها أي عود امتصاص أو إفراز. لذلك يكون معدل إفراغها مساوياً لمعدل رشحها. تُعامل بعض الفضلات في الجسم بهذا الأسلوب مثل الكرياتينين.

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

في الجزء ج ترشح المادة بحرية ولا يُفرغ منها شيء عن طريق البول لأنه يُعاد امتصاصها بالكامل إلى الدم (الحموض الأمينية والغلوكوز).

في الجزء د ترشح المادة بحرية ولا يُعاد امتصاص أي جزء منها إنما بالإضـــافة لـــذلك 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 عـبر الأوعيـة الشعرية الكبية ولا يطرأ عليها أي عود امتصاص أو إفراز، في الجزء B ترشح المادة بحرية ويطرأ عليها عـود امتصاص جزئي من الأنبوب ، في الجزء C ترشح المادة بحرية ولا يُفرغ منها شيء عن طريق البول لأنه يُعاد امتصاصها بالكامل إلى الدم، في الجزء D ترشح المادة بحرية ولايُعاد امتصاص أي جزء منها إنمـا بالإضـافة لذلك يجري إفراز كمية منها من الأوعية الدموية حول الأنابيب.

ك-الرشح- عود الامتصاص-الإفراز لمختلف المواد

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 والهيدروجين وعدة مواد تفرغ مع البول.

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

يُعاد امتصاص بعض المواد المغذية 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 الذوائب ثم يعاد امتصاصها؟

إن الحكمة من رشح كميات كبيرة من الماء والذوائب وبعدئذ يعاد امتصاص أغلب هذه المواد تتمثل في :

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

هذه الفضلات يعاد امتصاصها بشكل قليل من الأنابيب ولهذا السبب فإن الـــتخلص منها يعتمد على مستوى رشح كبي عالِ.

٢-الميزة الثانية يسمح المستوى العالي للرشح الكبي لسوائل الجسم أن ترشح وتُعامل من قبل الكلية عدة مرات كل يوم. و لأن كمية البلازما في الجسم ٣ ل بينما كمية الرشح الكبي حوالي ١٨٠ ل /يوم وبالتالي فإن كمية البلازما ترشح بكاملها وتُعامل يومياً ٦٠ مرة ، هذا يسمح للكليتين أن تتحكم بشكل سريع ودقيق بحجم وتركيب سوائل الجسم.

ل-الرشح الكبي والرشاحة الكبية

يدعى السائل الراشح من الكبيبات إلى محفظة بومان بالرشاحة الكبية بينمـــا يـــسمى غشاء الشعيرات الكبية بالغشاء الكبيبي، ورغم التشابه بين الغشاء الكبي وباقي 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 بـــ ١٠٠ ـــ ٥٠٠ ضعف من نفوذ شعيرات الجسم الأخرى.

تنتج النفوذية الشديدة للغشاء الكبي عن بنيته 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 تترك بينها فراغـــات واسعة يرشح السائل من خلالها. كما يوجد أيضاً مسافات بين الخلايا الظهارية التي هي آخر طبقة تترك في بناء الغشاء وتستر السطح الخارجي للكبيبات.

هذا يعني أن الرشاحة الكبية تمر عبر ثلاث طبقات مختلفة قبل دخولها محفظة بومان وجميع هذه الطبقات سميمة (ذات مسام) أكثر بمئات الأضعاف من عدد المسام الموجودة في الأغشية الشعرية العادية، ولذلك تستطيع الكميات الضخمة من الرشاحة الكبية أن تعبر هذه الأغشية في كل دقيقة.

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

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

يستنتج من هذا الجدول أن المادة المنحلة ذات الوزن الجزئي ٥٥٠٠ تعبر بكاملها الغشاء بسهولة كسهولة عبور الماء لهذا الغشاء، بينما لا يعبر هذا الغشاء سوى ٠,٠٠٥%من جزيئات البروتين ذات الوزن الجزئي الصغير ٦٩٠٠٠ وهو (الألبومين).

يوجد سببان رئيسان لقدرة الانتحاب الجزئية العالية التي يتمتع بها الغشاء الكبيي:

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

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

كهربي سكوني بين الجزيئات وجدران المسام مما يمنع عملياً عبور جزيئات البروتين.

المادة	الوزن الجزيئي	النفوذية
الماء	١٨	١
الصوديوم	٢٣	١
الغلوكوز	١٨٠	١
الأينولين	٥٥٠٠	١
الميوغلوبين	١٧٠٠٠	٠,٧٥
الألبومين	٦٩٠٠٠	٠,٠٠٥

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

م ــ معدل الرشح الكبي (The glomerular filtration rate)

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

دينميات 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 الشعريات 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 المصورة 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.

الضغط الرشحي = الضغط الكبي – (الضغط التناضحي الغرواني + ضغط محفظة بومان) = ٦٠ – (٣٢ + ١٨) = ١٠ ملم زئبقي.



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

أسس التناضح والضغط التناضحي

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 عندئذ الماء الغشاء إلى جهة الذوائب ذات التركيز الأعلى، تسمى هذه الظاهرة: التناضح osmosis أو الحلول.

يعرف الحلول 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 ينتج عنه تناقص تركيز المحلول الملحي، تدعى هذه الظاهرة بظاهرة الحلول.

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

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

ويقاس الضغط الحلولي بالأوزمول (Osmole) وهو الضغط الحلولي الناتج عن انحلال جزئي غرامي واحد لعنصر غير متشرد (كالغلوكوز) في ليتر ماء مقطر أي مول واحد من الغلوكوز في لتر ماء (١٨٠ غ من الغلوكوز في لتر ماء مقطر)، ويعادل هذا الضغط ٢٢,٤ 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 الحلولي الناتج عن انحلال مول واحد من هذا العنصر في لتر ماء مقطر يعادل ٢ اوزمول وذلك لأن كل شاردة تملك الفعالية الحلولية نفسها لجزيئة غير متشردة.

في حال احتواء السائل على أكثر من عنصر فإن الضغط الحلولي لهذا السائل يعادل مجموع الضغوط الحلولية الناجمة عن كل عنصر على حدة وبذلك يبلغ الضغط الحلولي للمصورة ٣٠٠ ميلي اوزمول تقريباً.

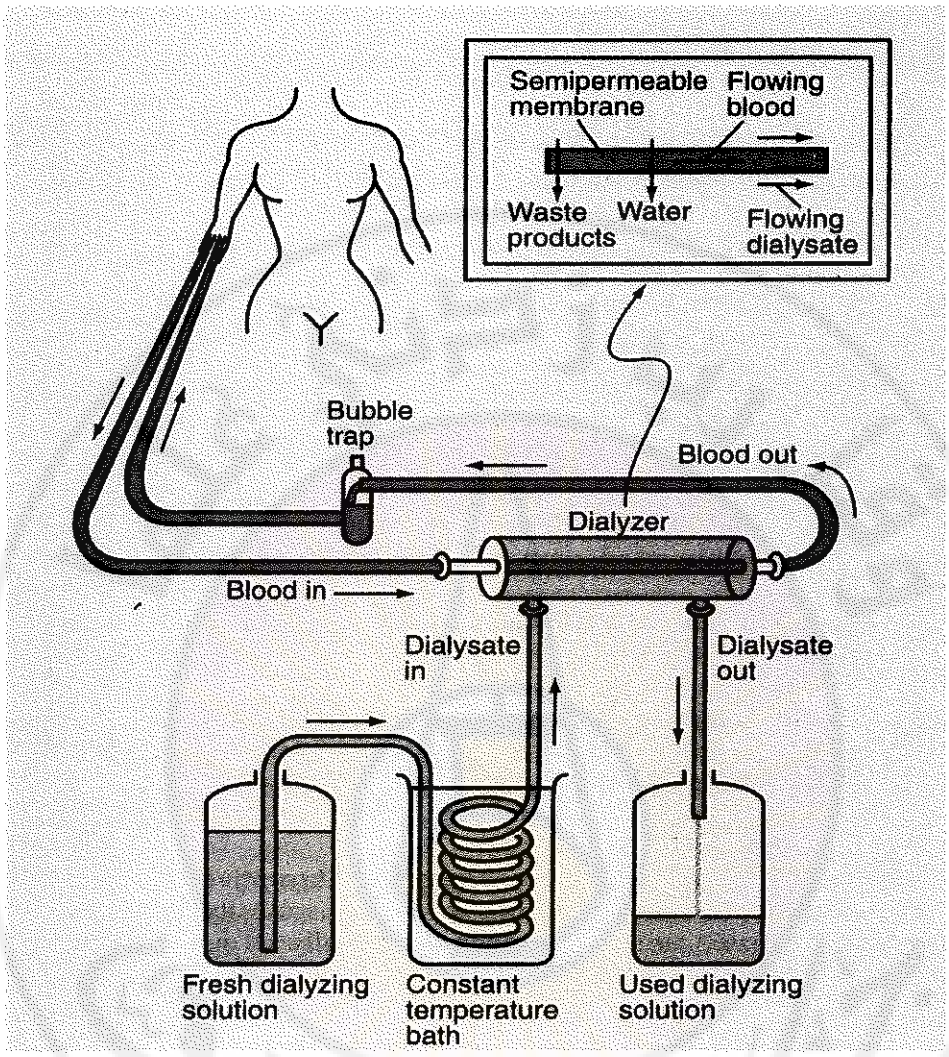
معالجة القصور الكلوي بوساطة الكلية الصناعية (الديلزة)

تستعمل الكلية الصناعية في علاج أنماط معينة من القصور الكلوي الحاد والمزمن لتخليص الجسم من الفضلات الناجمة عن الاستقلاب وبالتالي الحفاظ على تركيب سوائل الجسم قريباً من الطبيعي، طورت الكلى الصناعية إلى درجة سمحت بوساطتها لآلاف المرضى المصابين 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 قنوات دقيقة جداً مغطاة بغشاء رقيق، يوجد على الجهة الأخرى من الغشاء سائل الديال (dialyzing fluid) الذي تمر 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، ويتوضع على الوجه الخارجي للأغشية سائل الديال وتسمح مسام غشاء السيلوفان بعبور جميع مكونات المصورة عدا البروتينات بالاتجاهين (أي من المصورة إلى سائل الديال وبالعكس) فإذا كان تركيز مادة ما في المصورة أعلى منه في سائل الديال فسيتم نقل المادة إلى سائل الديال، وتعتمد كمية المادة المنقولة على:

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



الشكل (٣٨). مكونات أحد أنماط الكلية الصناعية.

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثالث عشر

الجهاز الهضمي

مقدمة

يتألف الجهاز الهضمي من :

١. أنبوب الهضم. هو عبارة عن أنبوب يمتد من الفم إلى الشرج (يتألف من الفم-البلعوم- المريء-المعدة- الأمعاء الدقيقة- الأمعاء الغليظة-الشرج).

٢. الأعضاء الملحقة بأنبوب الهضم. تقوم هذه الأعضاء بإفراز السوائل (بما تحتويه من أنزيمات ومواد أخرى)إلى الأنبوب الهضمي .تشمل هذه الأعضاء كلاً من الغدد اللعابية، الكبد ،المعثكلة وتظهر 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 مايلي:

١. حركة الأطعمة عبر السبيل الهضمي(الوظائف الحركية للجهاز الهضمي).

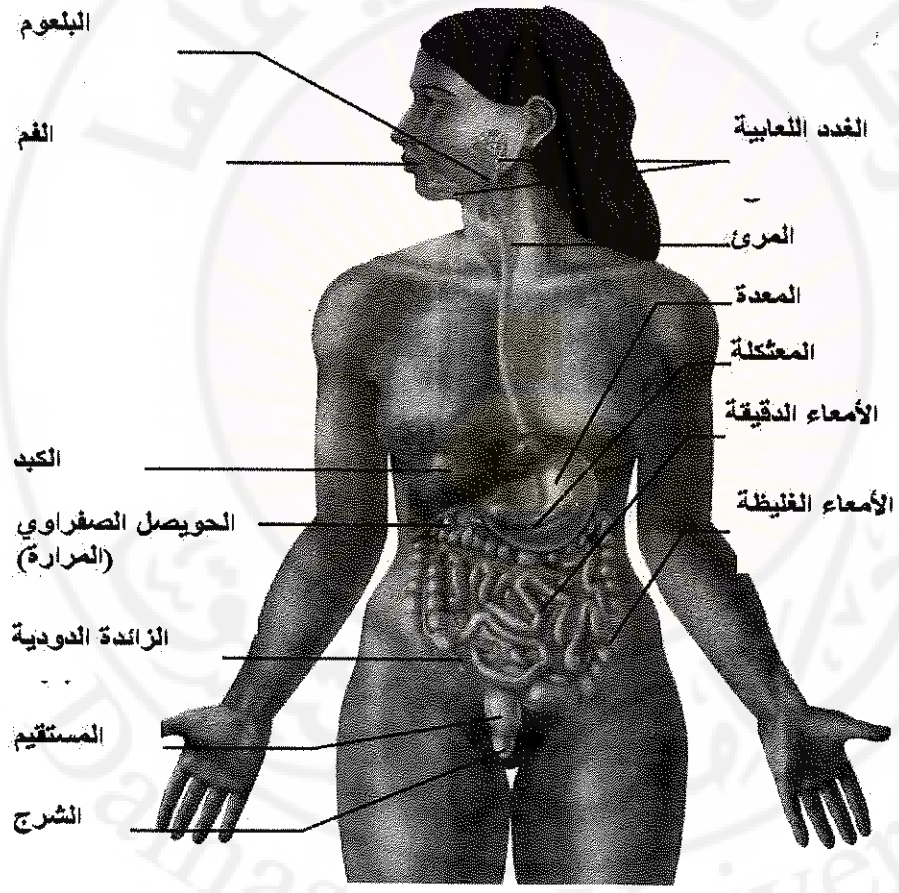
٢. إفراز العصارات الهضمية التي تهضم الطعام(الوظائف الإفرازية للجهاز الهضمي).

٣. امتصاص منتجات الهضم من ماء وكهارل وغذيات(الوظائف الامتصاصية للجهاز الهضمي).

٤. جريان الدم عبر الأعضاء الهضمية ونقل المواد الممتصة.

٥. التحكم بجميع هذه الوظائف بوساطة الأجهزة العصبية والهرمونية.

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

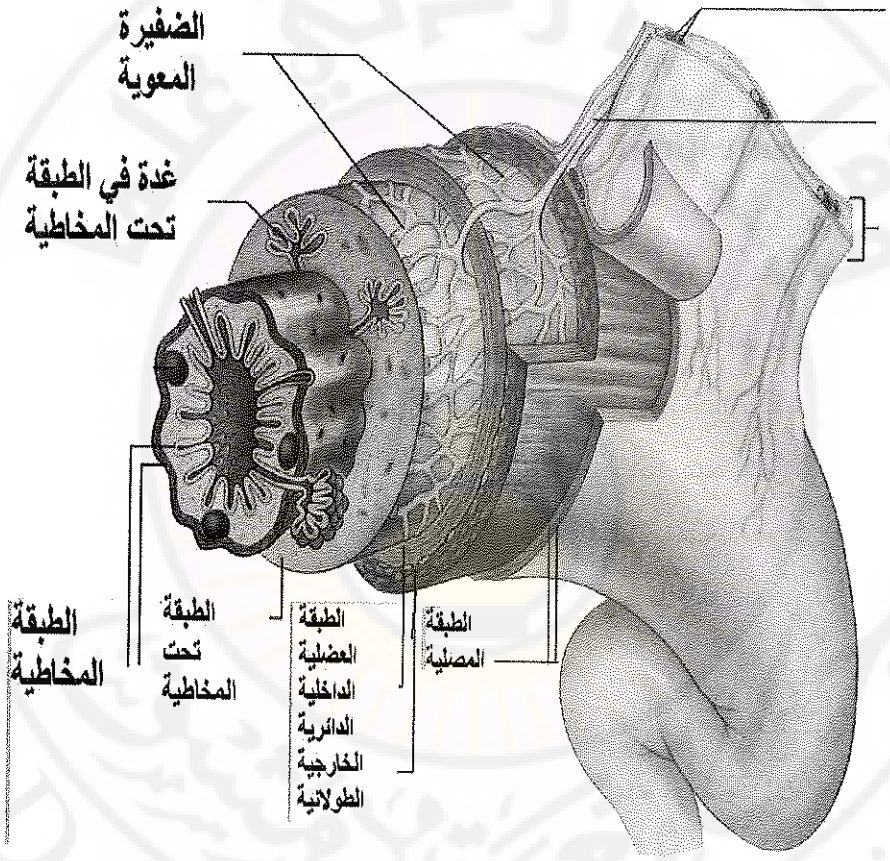


الشكل(٣٩).الجهاز الهضمي

المبادئ العامة للتحرك الهضمي.

أ–ميزات الجدار الهضمي.

يوضح الشكل (٤٠)مقطعاً نموذجياً في الجدار المعوي وتظهر 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.

ب-العضلة الملساء الهضمية Gastrointestinal Smooth muscle

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

تنفصل كل حزمة من الألياف العضلية الملس 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 تعريشة Latticwork متفرعة من الحزم العضلية الملساء.ولهذا السبب تعمل كل طبقة عضلية كمخلى Syncytium .يعني ذلك أنه عندما يثار كامن فعل في أي مكان من الكتلة العضلية فإنه ينتشر في جميع الاتجاهات داخل العضلة .تعتمد مسافة انتقال الإشارة (كامن الفعل)على استثارية

العضلة إذ إن الإشارة تتوقف احياناً بعد عدة ملمترات وتسير احياناً عدة سنتمترات أو حتى على كامل السبيل المعوي. كما توجد عدة اتصالات لكنها قليلة بين الطبقة العضلية الطولانية والدائرية بحيث تؤدي إثارة إحدى هاتين الطبقتين إلى إثارة الأخرى أيضاً.

ج-الفعالية الكهربائية للعضلة الملساء الهضمية

تخضع العضلة الملساء في السبيل الهضمي لاستثارة كهربائية متواصلة غالباً ولكنها بطيئة وهذه الاستثارة هي من نمط الاستثارة الذاتية Intrinsic activity ولهذه الفعالية الكهربائية نمطان أساسيان من الموجات كما يظهر في الشكل (٤١) :

١-الموجات البطيئة.

هي تغيرات متموجة بطيئة في كامن الراحة الغشائي للعضلة الملساء،تتراوح شدتها بين ٥ و١٥ ميلي فولط بينما يتراوح مجال تواترها باختلاف أجزاء السبيل الهضمي البشري (٣ موجات بالدقيقة في جسم المعدة و١٢ في الاثني عشري ومابين ٨ أو ٩ في نهاية اللفائفي).لا يزال سبب الموجات البطيئة غير معروف بشكل دقيق وتبين فيما بعد أنها تنجم التداخل المعقد بين الخلايا العضلية الملساء وبين خلايا خاصة تدعى بالخلايا الخلالية(خلايا كاجال) يعتقد أنها تعمل كناظمة خطا 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 لكاجال لتغيرات دورية في كامن الغشاء بسبب وجود قنوات شوارد فريدة تنفتح بشكل دوري وينتج عن انفتاحها تيار من حركة الشوارد نحو الداخل يكون مسؤولاً عن الموجات البطيئة.

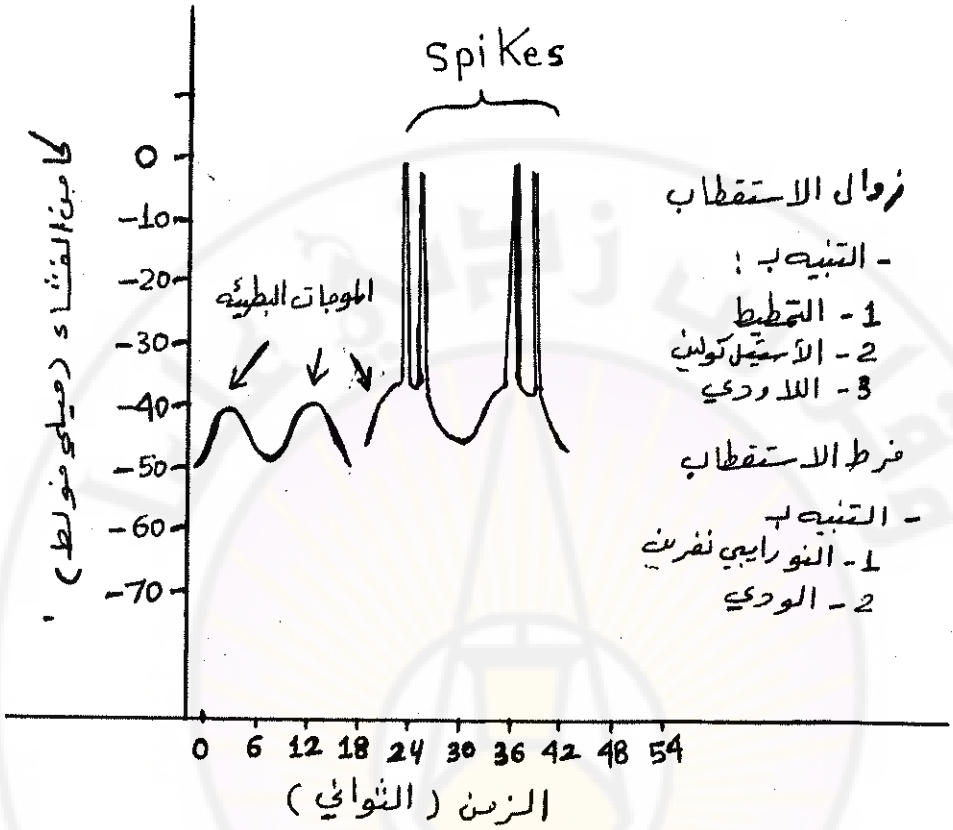
ومن المعتقد أنها ناجمة عن التموجات البطيئة لفعالية الضخ في مضخة الـــصوديوم-البوتاسيوم.

لا تسبب الموجات البطيئة بذاتها 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 حقيقية وتحدث تلقائياً عندما يصبح كامن الراحة لغشاء العضلة الملساء الهضمية أكثر ايجابية من -٤٠ ميلي فولط (يتراوح كامن الراحة للغشاء السوي بين -٥٠ و-٦٠ ميلي فولط). يلاحظ من الشكل (٤١) أنـــه في كل مرة ترتفع فيها ذرى الموجات البطيئة لتصبح أقل سلبية من -٤٠ ميلي فولط تظهر عندئذ كوامن العمل على هذه الذرى وكلما كان ارتفاع كامن الموجة البطيئة أعلى من هذا المستوى كان تكرار كوامن العمل اكبر وهي تتراوح عادةً بين ١-١٠ ميلي /ثانية.

تدوم الشوكة الكمونية في العضلة الهضمية مدة أطول بـــ١٠ إلى ٤٠ضعفاً من مـــدة كامن الفعل في الألياف العصبية الكبيرة إذ تدوم كل شوكة كمونية مـــن ١٠-٢٠ ميلي ثانية. كما يوجد فرق أخر مهم بين كوامن فعل العضلة الملساء الهضمية وكوامن الفعل في الألياف العصبية حيث تنجم كوامن الفعل بشكل كامل تقريباً من الدخول السريع لشوارد الصوديوم عبر قنوات الصوديوم إلى داخل الألياف بينمـــا بالنـــسبة للعضلة الملساء الهضمية تكون القنوات المسؤولة 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 .تتميـــز هـــذه القنوات بأنها أبطأ انفتاحاً وأبطأ انغلاقاً من قنوات الصوديوم السريعة بكثير.



الشكل(٤١)كوامن الغشاء في عضلة ملساء معوية ،يُشاهد في الشكل الموجات البطيئة وكوامن السفاة وزوال استقطاب كامل وفرط استقطاب وتحدث جميعها تحت ظروف فيزيولوجية مختلفة.

التبدلات في فولطاج كامن الراحة الغشائي.

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

- تمطيط العضلة.
- التنبه بالأستيل كولين.

- التنبه بوساطة هرمونات هضمية نوعية متعددة.

أما العوامل الهامة التي تجعل كامن الغشاء أكثر سلبية (أي التي تؤدي إلى فرط استقطاب وتجعل الليف العضلي أقل استثارة) فهي:

- النورابينفرين أو الأبينفرين على غشاء العضلة.
- تنبيه الأعصاب الودية التي تفرز النورابينفرين عند نهاياتها.

شوارد الكالسيوم والتقلص العضلي

التقلص التوتري للعضلة الملساء الهضمية.

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

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

تنجم التقلصات التوترية عن:

١. سلسلة متعاقبة من كوامن السفاة.

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

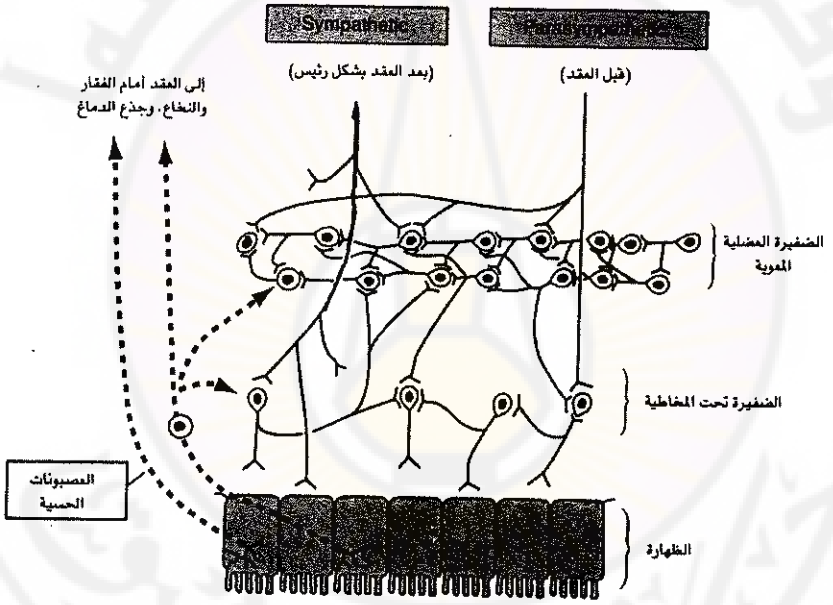
٣. الدخول المستمر لشاردة الكالسيوم .

التحكم العصبي بوظيفة الهضم

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

تتوضع هذه الجملة بأكملها في جدار المعي،وتبدأ في المري وتمتد 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 المعوية في التحكم بالوظيفة الهضمية،حيث تقوم بالتحكم بالحركات الهضمية وبالإفراز بشكل خاص.

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



الشكل(٤٢) الجملة العصبية الذاتية واتصالاتها مع الجملة العصبية المعوية.

١. ضفيرة خارجية تتوضع بين الطبقتين العضليتين الدائرية والطولانية وتدعى الضفيرة المعوية العضلية Myenteric Plexus أو ضفيرة اورباخ.

٢. ضفيرة داخلية تدعى الضفيرة تحت المخاطية أوضفيرة مايسنر وتتوضع في الطبقة تحت المخاطية.

يوضح الشكل(٤٢) الاتصالات العصبية ضمن وبين هاتين الضفيرتين،وتتحكم الضفيرة المعوية العضلية بالحركات الهضمية بشكل رئيسي ،بينما تتحكم 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 والمعوية العضلية.وعلى الرغم من أن الجملة العصبية المعوية يمكنها أن تقوم بوظيفتها باستقلال تام عن هذه الأعصاب الخارجية،إلا أن تنبه 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 ضفيرتي الجملة المعوية وإلى العقد أمام الفقرية التابعة للجملة العصبية الودية أيضاً.يذهب بعضها عبر الأعصاب الودية إلى النخاع الشوكي وبعضها الأخر 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 المركزية.

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 بوساطة العصبين المبهمين باستثناء بضعة ألياف تصل إلى نواحي الفم والبلعوم. تؤمن هذه الألياف تعصيباً غزيراً لكل من المريء ،المعدة ،المعثكلة والنصف الأول من الأمعاء الغليظة وبشكل أقل غزارة للأمعاء الدقيقة.

تنشأ ألياف القسم العجزي من الشدف العجزية الثانية والثالثة والرابعة للنخاع الشوكي ثم تمر عبر الأعصاب الحوضية إلى النصف القاصي من المعي الغليظ.

يؤدي تنبيه الأعصاب اللاودية إلى زيادة فعالية كامل الجملة العصبية المعوية مما يعزز فعالية معظم الوظائف الهضمية ولكن ليس على الإطلاق إذ توجد بعض العصبونات المعوية المثبطة تعمل على تثبيط وظائف معينة.

٢-التعصيب الودي Sympathetic Innervation

تنشأ الألياف الودية المعصبة 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 تنبيه الجملة العصبية الودية إلى تثبط فعالية السبيل الهضمي محدثاً تأثيرات معاكسة لتأثيرات الجملة اللاودية.

التحكم الهرموني بالتحرك 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 والعفج ويخضع إفراز هذا الهرمون لعوامل متعددة أهمها تنبيه المبهم وتمدد غار المعدة وارتفاع الـ PH .يعمل هذا الهرمون على إفراز الحمض من المعدة.

٢. السكرتين. يفرز من مخاطية العفج استجابة للعصارة المعدية الحامضة المنفرغة من المعدة عبر البواب وله تأثير مثبط معتدل على تحرك 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 المرارة.

٤. البيبتيد 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 التمعج Peristalsis وهي خاصة متأصلة في كثير من الأنابيب العضلية الملس المخلوية ويمكن لتنبيه أي نقطة أن يؤدي إلى ظهور حلقة قلوصة تنتشر على طول الأنبوب.يعد التمدد هو المنبه المعتاد للتمعج فإذا تجمعت كمية كبيرة من الطعام في أي نقطة من المعي فإن تمطط الجدار المعوي سينبه المعي فوق هذه النقطة ب ٢-٣ سم فتظهر حلقة قلوصة تطلق الحركة التمعجية.

٢-الحركات المازجة.

تختلف الحركات المازجة باختلاف أقسام السبيل الهضمي،ففي بعض الأجزاء تسبب التقلصات التمعجية نفسها معظم المزج،وتحدث في أجزاء أخرى تقلصات مضيقة موضعية كل بضعة سنتمترات 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 للفائفي.

٢. إفراز المخاط الذي يقوم بوظيفة التزليق والحماية لكل أجزاء السبيل الهضمي.

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

الأسس العامة للإفراز في السبيل الهضمي

أولا:الأنماط التشريحية للغدد في السبيل الهضمي:

١. الغدد المخاطية ذات الخلايا المفردة.

- تنتشر على سطح معظم مناطق الأنبوب الهضمي.
- تقوم بوظيفتها بشكل رئيسي استجابة للتنبيه الموضعي للظهارة.
- تطرح مخاطها مباشرةً إلى السطح الظهاري لتقوم بفعل مزلق وحامي.

٢-(وهدات Pits)انغلافات ظهارية إلى ما تحت المخاطية تدعى خبايا ليركون وهي عميقة وتحوي خلايا إفرازية متخصصة.

٣-الغدد الأنبوبية العميقة (المعدة وأعلى العفج) ومثالها الغدة المفرزة للحمض ومولد الببسين في المعدة.

٣-الغدد المركبة(الغدد اللعابية والمعثكلة والكبد).

ثانياً-الآليات الرئيسية المنبهة لغدد السبيل الهضمي

١. تأثير التماس الموضعي للطعام مع الظهارة.

يسبب 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.
- التهييج الكيمائي.
- تمدد جدران الأنبوب الهضمي.

وتنبه المنعكسات العصبية الناتجة كلاً من الخلايا المخاطية على السطح الظهاري والغدد الأعمق في المخاطية بحيث تزيد إفراز هاتين المجموعتين.

٢-تنبيه الحملة العصبية المستقلة

- تنبيه نظير الودي يؤدي إلى ازدياد معدلات الإفراز في أغلب غدد السبيل الهضمي(غدد القسم العلوي من السبيل الهضمي (المعصبة بالتاسع والعاشر) وهذا صحيح في غدد القسم البعيد من المعي الغليظ المعصبة بالأعصاب الحوضية نظيرة الودية(الإفراز فيما تبقى من الأمعاء الدقيقة وثلثي الأمعاء الغليظة يحدث بشكل رئيسي استجابةً لمنبهات عصبية وخلطية موضعية.
- تنبيه 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 تنبيه 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 لمعة المعي،ومن ثم تمتص هذه الهرمونات إلى الدم وتحمل معه إلى الغدد حيث تنبه الإفراز، ولهذا النمط من التنبيه قيمة هامة في زيادة نتاج العصارة المعدية والعصارة المعثكلية لدى دخول الطعام إلى المعدة أو العفج،كما أن التنبيه الهرموني لجدار المرارة يؤدي إلى إفراغ الصفراء المخزونة فيها إلى العفج.

خصائص المخاط وأهميته في السبيل الهضمي

إن المخاط عبارة عن مفرز لزج مكون بشكل رئيسي من الماء والكهارل ومزيج من عدة بروتينات سكرية(عديدات السكريد 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 مزلقاً وحامياً ممتازاً لجدار الأنبوب الهضمي.

إن هذه الخصائص:

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

- يسبب التصاق الجزئيات الغائطية مع بعضها ليسهل عملية طرحها.
- يقاوم المخاط بشدة الهضم بالإنزيمات الهضمية.
- 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 الهضم وكمية قليلة من الامتصاص تحصل في المعدة.

الوظائف الحركية للمعدة

يمكن تصنيف الوظائف الحركية للمعدة في ثلاث مجموعات:

١. تخزين كميات كبيرة من الطعام إلى أن يصبح بالإمكان احتواؤها في العفج.
٢. مزج الطعام بالمفرزات المعدية حتى يتشكل مزيج نصف سائل يدعى الكيموس.
٣. الإفراغ البطيء لمحتويات 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 الببسين إلى الببسين.
- المخاط (وظيفة المخاط حماية جدار المعدة من تأثيرات كل من حمض كلور الماء ومن تأثيرات الأنزيمات المعدية).
- الببسين. يُفرز هذا الأنزيم على شكل طليعة أنزيم هو مولد الببسين ويتحول إلى الشكل الفعال بوجود حمض كلور الماء .وظيفة هذا الأنزيم هضم البروتينات وخاصةً البروتينات المتواجدة في اللحوم .
- هرمون الغاسترين. يلعب دوراً هاماً في التحكم بالإفراز المعدي إضافةً إلى دوره الأقل أهمية في الحركية المعدية.
- إفراز العامل الداخلي. يعد العامل الداخلي مادة أساسية لامتصاص الفيتامين ب ١٢.

تنظيم الإفراز المعدي.

إن العوامل الأساسية التي تنبه الإفراز المعدي هي:

١. الأستيل كولين . الناقل العصبي الذي يُفرز من نهايات العصب المبهم استجابة لمجموعة من العوامل أهمها رائحة الطعام ورؤية الطعام وحتى تذكر الطعام ووجود الطعام في المعدة .

٢. الغاسترين. هرمون يُفرز استجابةً لتنبه المبهم ولوجود الطعام في المعدة.

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

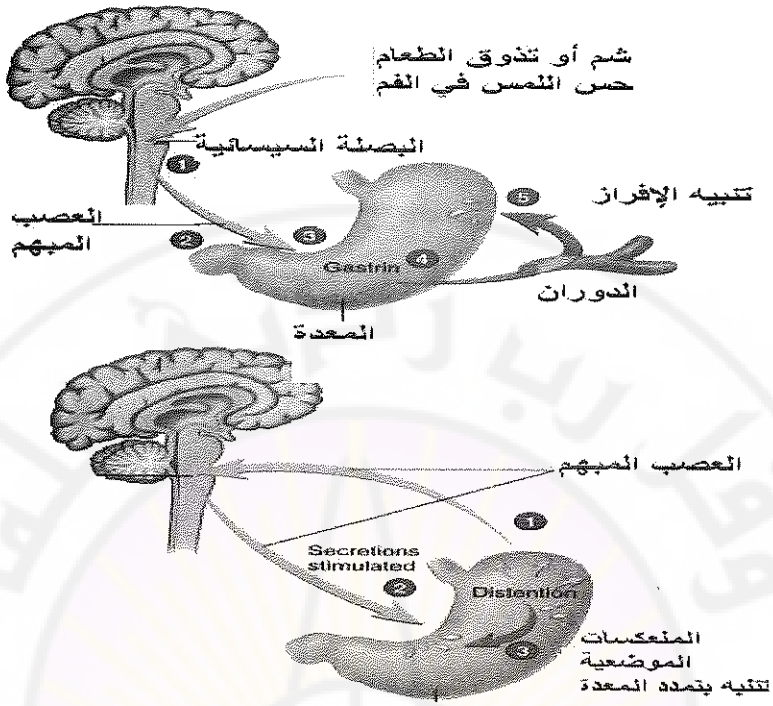
مراحل الإفراز المعدي.

يمر الإفراز المعدي بثلاث مراحل منفصلة موضحة في الشكل(٤٣) ،ولكن هذه المراحل متداخلة فيما بينها إلى درجة الاندماج.

١. المرحلة الرأسية.تحدث هذه المرحلة من الإفراز المعدي 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 ،ويُعزى لهذه المرحلة من الإفراز حوالي ثلثي المفرزات المعدية.

٣. المرحلة المعوية. يمكن لوجود طعام في القسم العلوي من الأمعاء الدقيقة وخصوصاً العفج أن يدفع المعدة لإفراز كميات صغيرة من العصارة المعدية، و بشكل عام خلال هذه المرحلة يحدث تثبط في الإفراز المعدي.



الشكل(٤٣) يوضح المرحلتين الأولى والثانية من مراحل الإفراز المعدي أما المرحلة الثالثة فهي مرحلة تثبيطية.

المعثكلة

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

١. القسم خارجي الإفراز.يشكل حوالي ٩٥% من المعثكلة ويقوم بإفراز الأنزيمات التي تقوم بهضم مختلف أنواع الطعام إضافةً لإفرازها العصارة المعثكلية التي تلعب دوراً هاماً في تعديل العصارة المعدية الحمضية وتؤمن الوسط الملائم لعمل أنزيمات المعثكلة.

٢. القسم داخلي الإفراز .يشكل هذا القسم حوالي ٥% من المعثكلة ويقوم بإفراز مجموعة من الهرمونات إلى الدم مباشرةً.

الإفراز المعثكلي

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

تحوي العصارة نوعين من المفرزات:

١. الأنزيمات:

- الهاضمة للبروتينات(التريبسين،الكيموتريبسين،الكربوكسي بولي بيبتيداز). وظيفة هذه الأنزيمات هضم البروتينات إلى بيبتيدات مختلفة الحجوم.
- الهاضمة للسكريات(الأميلاز المعثكلي الذي يحلمه النشاء والغليكوجين ومعظم السكريات الأخرى (عدا السللوز) ويحولها إلى ثلاثيات وثنائيات السكريد.
- الهاضمة للدسم:

١. الليباز المعثكلية (حلمهة الدسم المعتدلة إلى حموض دسمة ووحيدات الغليسريد.

٢. إستراز الكولسترول(يحلمه استرات الكولسترول).

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

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

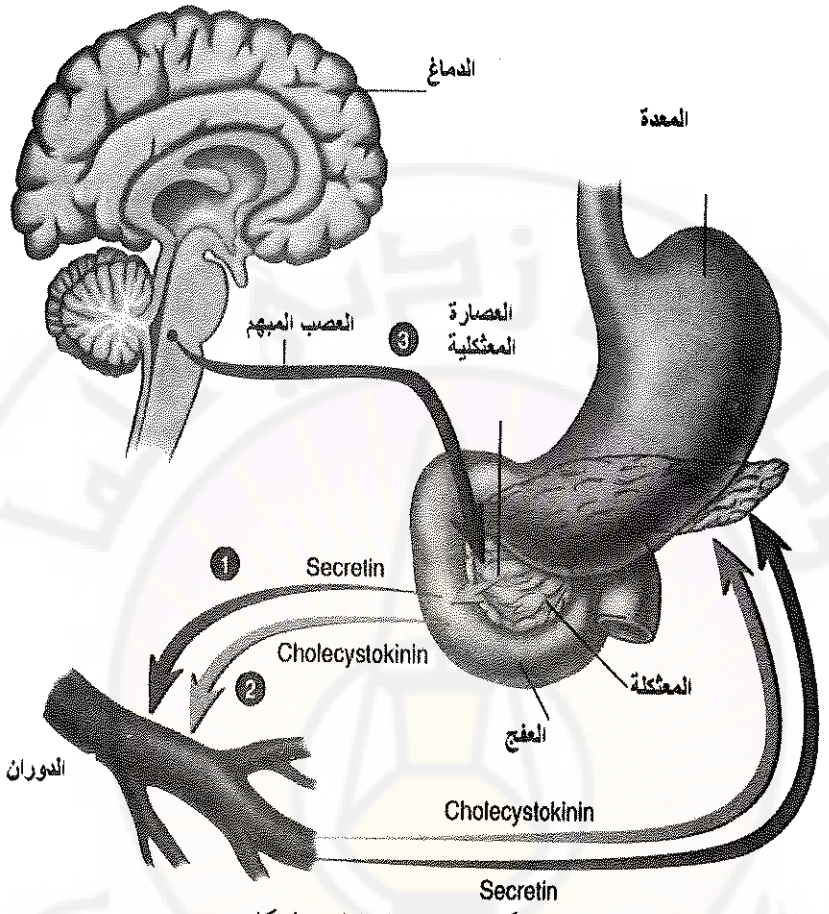
تنظيم الإفراز المعثكلي:

محرضات الإفراز المعثكلي هي ثلاثة منبهات أساسية:

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

٢. الكولي سيستوكينين. يُفرز من مخاطية العفج والصائم استجابة لوجود نواتج هضم أولية للبروتينات وحموض دسمة طويلة السلسلة(يحدث ذلك عند دخول الطعام المهضوم جزئياً إلى المعي الدقيق) ويحرض المعثكلة على إفراز الأنزيمات.

٣. السكرتين. يُفرز من مخاطية العفج والصائم استجابة لدخول طعام عالي الحموضة إلى الأمعاء الدقيقة ويقوم هذا الهرمون بتحريض المعثكلة على إفراز كميات كبيرة من محلول بيكاربونات الصوديوم.



الشكل(٤٤)مراحل الإفراز المعثكلي

التأثير المضاعف لمختلف 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 المعدي.

- 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 المعوية. يحدث إفراز غزير للماء والبيكربونات استجابة للسكريتين مما يساعد في تحرك جميع مفرزات المعثكلة 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 أنزيم هاضم للدسم ولكن يأتي دور الصفراء في هضم الدسم من خلال:

-استحلاب جزئيات الدسم الكبيرة(إنقاص التوتر السطحي لجزئيات الدسم)

- تساعد في عملية امتصاص الدسم المهضومة.

٢-تخدم كوسيلة لإفراغ عدة فضلات هامة من الدم أهمها البيليروبين.

التشريح الفيزيولوجي للإفراز الصفراوي.

تفرز الصفراء من الكبد على مرحلتين.

١-المفرز الأولي. يُفرز من الخلايا الكبدية بالخاصة ويتكون من الحموض الصفراوية والكوليسترول ومكونات عضوية أخرى.

٢-المفرز النهائي. ينتج بإضافة الماء والكهارل(محلول بيكربونات الصوديوم والماء)إلى المفرز الأولي في أثناء مروره بالقنوات الصفراوية.

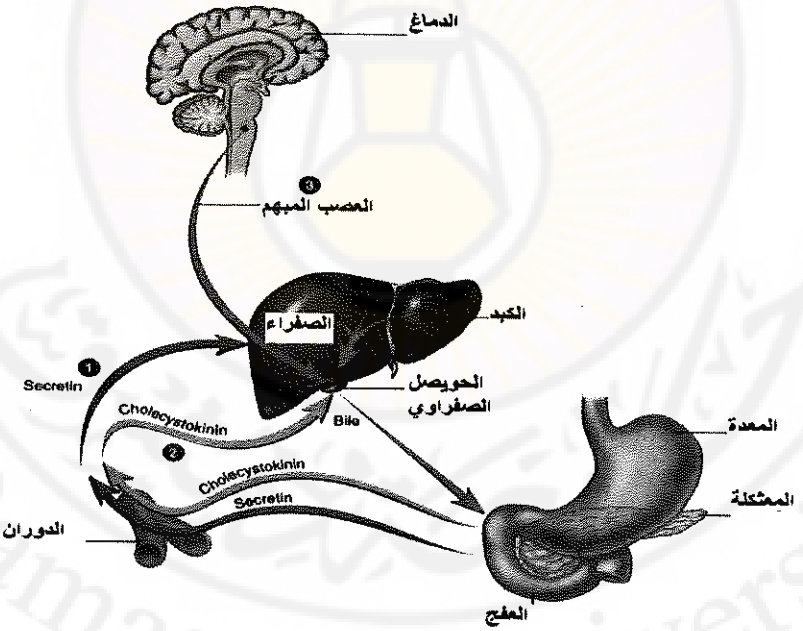
تخزين وتركيز الصفراء في المرارة.

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

تستطيع المرارة تخزين ٣٠-٦٠ 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 لمحتوياتها إلى العفج بعد ٣٠ دقيقة من الوجبة الغنية بالدسم ويحدث ذلك بوساطة حدوث تقلصات نظمية في جدار المرارة يتبعها ارتخاء معصرة أودي.



الشكل(٤٥) الإفراز الصفراوي للكبد.

الفصل الخامس عشر

الغدد الصم

مقدمة

يتم تنظيم مختلف وظائف الجسم بوساطة جهازي تحكم رئيسين :

١. الجهاز العصبي

٢. الجهاز الهرموني أو جهاز الغدد الصم Endocrine system .

و يُعنى الجهاز الهرموني بشكل رئيسي بالتحكم بالوظائف الاستقلابية المختلفة في الجسم مثل معدلات التفاعلات الكيميائية في الخلايا أو نقل المواد عبر أغشية الخلايا أو المظاهر الأخرى للاستقلاب الخلوي مثل النمو و الإفراز.

توجد علاقات متبادلة بين الجهازين الهرموني و العصبي، فعلى سبيل المثال توجد غدتان تفرزان هرموناتهما بشكل كامل تقريباً استجابة لمنبهات عصبية مناسبة هما لب الكظر و الغدة النخامية، و بالمقابل فإن الجهاز العصبي يتأثر بهرمونات بعض الغدد مثل التيروكسين الذي يفرز من الغدة الدرقية.

لمحة عن الغدد الصم الهامة و هرموناتها

١-هرمونات الوطاء Hypothalamic hormones

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

١. عبر المحاور الاسطوانية التي تنتهي في منطقة البـــارزة الناصـــفة Median eminence حيث تتحرر من نهاياتها إلى الدم الذي يغذي النخامى الغدية (الفص الأمامي للغدة النخامية).

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

الهرمونات أو الحاثات التي تفرز من الوطاء

يفرز الوطاء عدداً من الهرمونات أو الحاثات التي تنبه أو تثبط إفراز النخامى هي :

١. الهرمون المطلق للحاثة الدرقية

Thyrotropin-releasing hormone (TRH)

٢. الهرمون المطلق للحاثة 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 لحاثة الأقناد

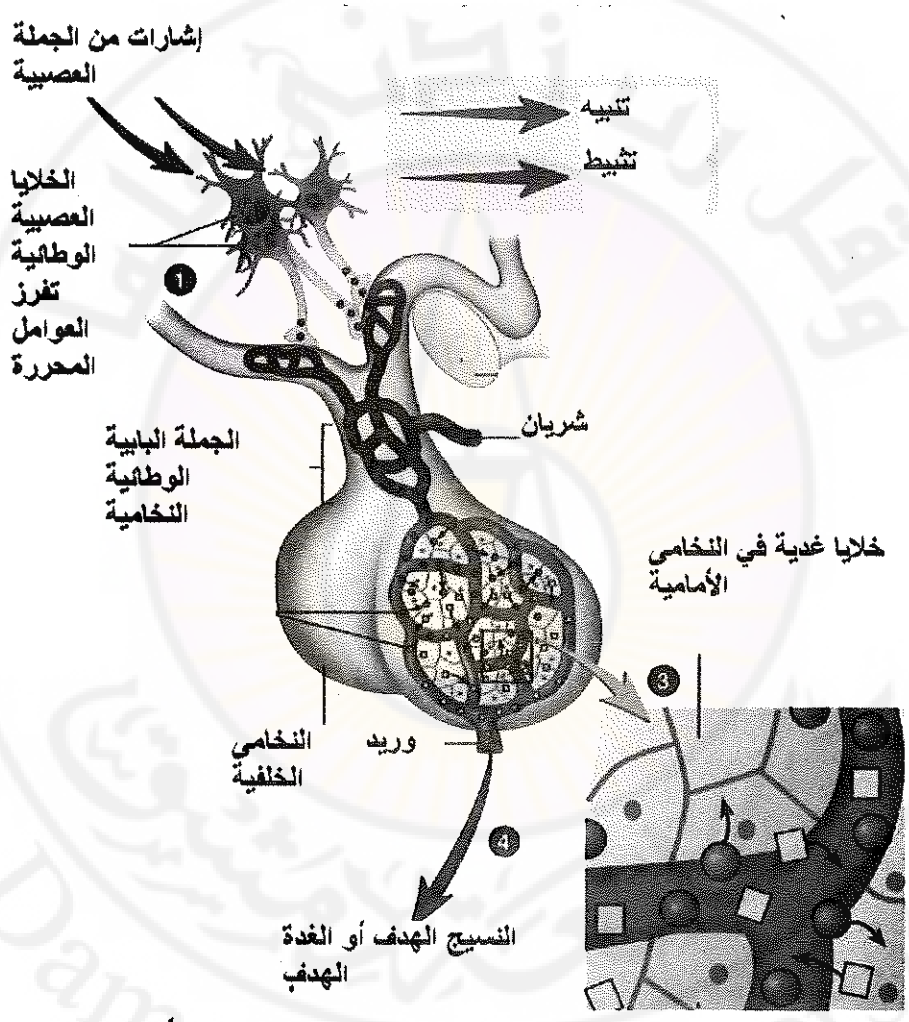
Gonadotropin-releasing hormone (GnRH)

٦. العامل المثـــبط للـــبرولاكتين Prolactin-inhibiting factor (PIF)

٧. العامل المحرر للبرولاكتين

Prolactin-releasing hormone (PRH)

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



الشكل(٤٦). المحور الوطائي النخامي وتظهر فيه المراحل المختلفة لإفراز الهرمونات بدءاً من كوامن 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 ٠,٥-١غ وتقع ضمن السرج التركي عند قاعدة الدماغ، وترتبط مع الوطاء بوساطة السويقة النخامية،ويمكن تقسيم الغدة النخامية فيزيولوجياً إلى قسمين منفصلين:النخامى الأمامية التي تُعرف بالنخامى الغدية والنخامى الخلفية والتي تُدعى كذلك بالنخامى العصبية.

تُفرز من النخامى الأمامية ستة هرمونات بيبتيدية هامة جداً إضافة إلى عدة هرمونات أقل أهمية،ويُفرز من النخامى الخلفية هرمونان هامان. تلعب النخامى الأمامية الدور الرئيس في ضبط الوظائف الاستقلابية في كامل الجسم، والهرمونات التي تفرزها النخامى الأمامية هي:

١-هرمون النمو Growth hormone : يؤدي إلى نمو جميع خلايا و نسج الجسم تقريباً.

الوظائف الفيزيولوجية لهرمون النمو

تمارس جميع هرمونات النخامى الأمامية الرئيسية (عدا هرمون النمو)تأثيراتها 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 تقريباً 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 الاستقلابية لهرمون النمو.

- زيادة اصطناع البروتين في جميع خلايا الجسم .

- زيادة تحريك الحموض الدسمة من النسج الشحمية،وزيادة استعمال الحموض الدسمة للحصول على القدرة.
- إنقاص استعمال الغلوكوز في جميع أنحاء الجسم.

يمارس هرمون النمو معظم تأثيراته بوساطة 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 (وربما 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 Adrenocorticotropic hormone (ACTH)

تتحكم بإفراز بعض هرمونات قشر الكظر التي تؤثر بدورها في استقلاب الغلوكوز والبروتين والدسم.

٣-الهرمون الحاث للدرق Thyroid-stimulating hormone (TSH)

يحث الغدة الدرقية على إفراز هرموناتها (التيروكسين و ثالث يود التيرونين).

٤-الهرمون الحاث للجريبات

.Follicle-stimulating hormone (FSH)

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

٥-الهرمون الملوتن Luteinizing hormone (LH):

يلعب دوراً هاماً في إحداث الإباضة، و يحرض إفراز الهرمونات الجنسية الأنثوية من المبيضين و التستوستيرون من الخصيتين.

٦-البرولاكتين Prolactin : ينبه نمو الثديين و تكوين الحليب.

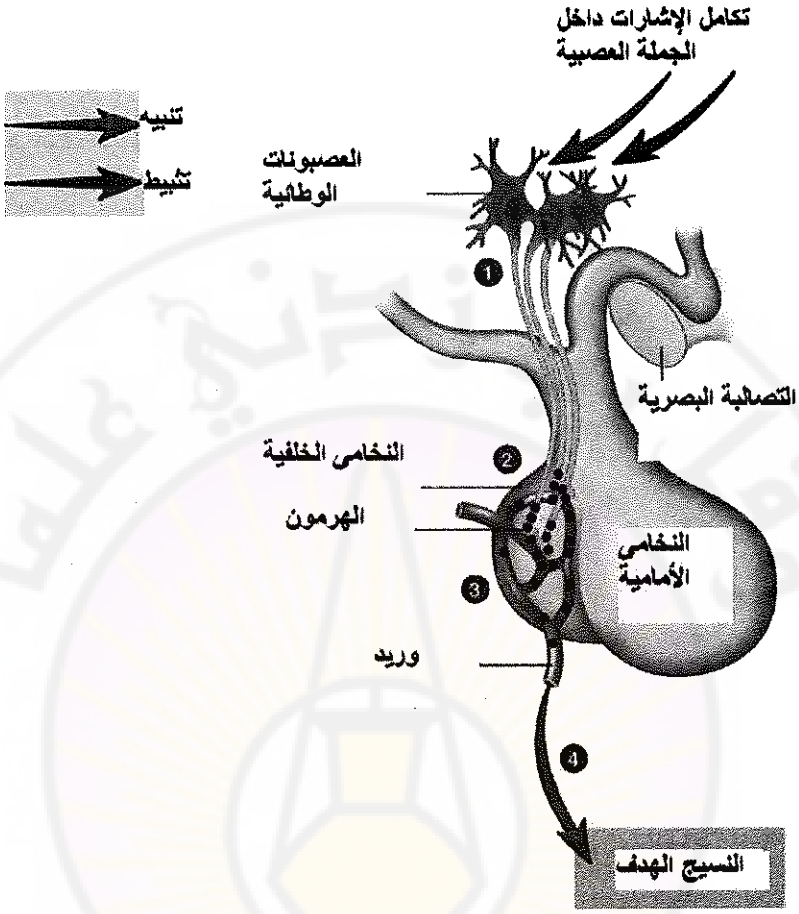
٧-الهرمون الحاث للخلية الملانية .Melanocyte-stimulating H.

هرمونات النخامى الخلفية

تتألف الغدة النخامية الخلفية، و تدعى النخامى العصبية أيضاً، من خلايا نخامية تشبه الخلايا الدبقية. لاتفرز هذه الخلايا هرمونات إنما تعمل ببساطة كبنى داعمة للأعداد الضخمة من نهايات الألياف العصبية لسبل الأعصاب التي تنشأ في النوى فوق البصرية وجنيب البطنية للوطاء كما هو موضح في الشكل (٤٧) . تمر هذه السبل إلى النخامى العصبية عبر السويقة النخامية .إن نهايات العصب عبارة عن عقد بصلية تحوي عدداً من الحبيبات الإفرازية .تتوضع هذه النهايات على سطوح الشعيرات الدموية ،وتقوم بإفراز هرموني النخامى 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 المص،كما أنه من المحتمل أنه يلعب دوراً في ولادة الجنين عند نهاية الحمل.



الشكل (٤٧). يوضح الشكل الآلية التي تُفرز وفقها هرمونات النخامى الخلفية

إذا قُطعت السويقة النخامية فوق الغدة النخامية وأُبقي الوطاء بكامله سليماً يتواصل إفراز هرمونات النخامى الخلفية، بعد نقص عابر لعدة أيام، بشكل سوي تقريباً؛ تفرز بعد ذلك من النهايات المقطوعة للألياف ضمن الوطاء ولا تفرز من نهايات الألياف العصبية في النخامى الخلفية. يعود السبب في ذلك ، لأن الهرمونات تصنع بدايةً في أجسام الخلايا العصبية الموجودة في النواتين فوق البصرية وجنيب 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 الـADH بشكل رئيس في النواة فوق البصرية بينما يتم تشكيل الأوستوسين بشكل رئيس في النواة جنيب البطنية، لكن كلاً من هاتين النواتين تستطيع اصطناع نحو سدس كمية الهرمون الثاني المصنع 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 وجنيب البطنية، عبر الألياف العصبية المنتهية في الغدة النخامية الخلفية. تمتص 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 الـADH بوساطة

١. الضغط التناضحي الكلي لسوائل الجسم ويحدث ذلك بآلية التلقيم الراجع كمايلي: عندما تصبح سوائل الجسم كثيفة بشكل كبير(ازدياد الضغط التناضحي) تستثار النوى فوق البصرية، بتوسط المستقبلات التناضحية في الوطاء، وتمرر الدفعات العصبية إلى النخامى الخلفية ويُفرز الـADH وينتقل الهرمون بوساطة الدم إلى الكلى حيث يزيد نفوذية القنوات الجامعة للماء ، ونتيجة لذلك يعاد امتصاص معظم الماء من السائل النبيبي في حين يستمر فقد الكهارل إلى البول وهذا يمدد السائل خارج الخلايا مما يعيده إلى تركيبه التناضحي السوي المعتدل.

٢. نقص حجم الدم . إن نقص حجم الدم هو احد التنبيهات المسببة لإفراز الـADH ، ويحدث ذلك بشكل شديد عندما ينقص حجم الدم بمقدار

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

٣. نقص تمدد مستقبلات الضغط Baroreceptors في المناطق السباتية والأبهرية والرئوية يشارك في زيادة إفراز الـADH.

هرمون الأوسيتوسين

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

١. يكون زمن المخاض طويلاً عند الحيوانات التي تكون النخامى مستأصلة لديها مما يشير إلى التأثير الممكن للأوسيتوسين في أثناء الولادة.

٢. تزداد كمية الأوسيتوسين في المصورة خلال المخاض وخاصةً خلال المرحلة الأخيرة.

٣. يحرض تنبيه عنق الرحم عند الحيوان الحامل إشارات عصبية تمر إلى النخامى وتسبب زيادة إفراز الأوسيتوسين.

تأثير الأوسيتوسين على قذف الحليب من الأثداء

يلعب الأوسيتوسين دوراً هاماً بشكل خاص في عملية الإرضاع وهو دور مؤكد للأوسيتوسين أكثر بكثير من دوره المحتمل في ولادة الطفل. يؤدي الأوسيتوسين في أثناء الإرضاع إلى تحرك الحليب من الأسناخ إلى القنوات مما يمكن الطفل من الحصول عليه بوساطة المص وتعمل هذه الآلية كمايلي:

تسبب تنبيهات المص على حلمة الثدي إشارات تُنقل عبر الأعصاب الحسية إلى الدماغ وتصل هذه التنبيهات أخيراً إلى عصبونات الأوسيتوسين في النوى جنيب البطنية وفوق البصرية في الوطاء لتسبب إطلاق الأوسيتوسين، ويُحمل الأوسيتوسين بعد ذلك بوساطة الدم إلى الثديين حيث يسبب تقلص الخلايا العضلية الظهارية التي تتوضع خارج اسناخ غدة الثدي، وبعد أقل من دقيقة من بدء المص يبدأ الحليب بالتدفق. تدعى هذه الآلية جريان الحليب أو قذف الحليب.

قشر الكظر

مقدمة : تقع غدتا الكظر (تزن كل واحدة منها حوالي ٤ غ) عند القطبين العلويين للكليتين، و تتألف كل منهما من قسمين مختلفين هما لب الكظر Adrenal Medulla و قشر الكظر Adrenal Cortex . يرتبط لب الكظر وظيفياً مع الجهاز العصبي الودي فهو يفرز هرموني الأدرينالين و النورادرينالين استجابة للتنبيه الودي، و يسبب هذان الهرمونان التأثيرات نفسها التي يسببها التنبيه 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 المؤلفة من طبقة رقيقة من الخلايا).

وظائف القشرانيات المعدنية

يسبب الفقد الكلي لمفرزات قشر الكظر الموت عادةً خلال ٣ أيام إلى أسبوعين ما لم يتناول الشخص معالجة مفرطة الملح أو معالجة بالقشرانيات المعدنية.يؤدي فقد هذه الهرمونات إلى ارتفاع تركيز البوتاسيوم في السائل خارج الخلايا بشكل ملحوظ، وينقص تركيز كل من الصوديوم والكلوريد،كما ينقص الحجم الكلي للسائل خارج الخلايا وحجم الدم بشكل كبير،ويحدث لدى الشخص نقص في النتاج القلبي فوراً الأمر الذي يفضي إلى حالة تشبه الصدمة يليها الموت.ويمكن منع هذه النتيجة بإعطاء الالدوستيرون أو قشراني معدني أخر،ولهذا السبب يُقال إن القشرانيات المعدنية هي الجزء من هرمونات قشر الكظر الضروري للحفاظ على الحياة.

يعتبر الالدوستيرون أهم هرمون قشراني معدني ويمارس نحو ٩٠% من الفعالية القشرانية المعدنية لمفرزات قشر الكظر.

إن اهم تأثيرات الالدوستيرون هي إعادة امتصاص الصوديوم والكلور بشكل فاعل ويتبعهما عود امتصاص الماء بشكل منفعل مقابل إفراز كل من شوارد البوتاسيوم وشوارد الهيدروجين، ويمارس هذا الفعل بصورة رئيسية في الكلية.

القشرانيات السكرية Glucocorticoids

تفرز من كل من المنطقة الحزمية و هي الطبقة المتوسطة و المنطقة الشبكية و هي الطبقة العميقة مع إمكانية أن يكون إفراز هذه الهرمونات من المنطقة الحزمية أكثر من الشبكية.

رغم أن القشرانيات المعدنية تستطيع أن تنقذ حياة الحيوان الذي يستأصل الكظر لديه بشكل مفاجئ،إلا أن ذلك الحيوان لا يعود إلى حالته السوية إطلاقاً،بل تكون أجهزته الاستقلابية اللازمة لاستهلاك البروتينات والدسم والسكريات مختلة بشكل كبير.وأكثر من ذلك لا يمكن للحيوان أن يقاوم الأنماط المختلفة من الكرب الفيزيائي أو حتى النفسي،ويمكن لأمراض صغيرة مثل أحماج السبيل التنفسي أن تؤدي إلى الموت

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

و يفرز إضافة إلى ذلك كميات ضئيلة من الهرمونات الجنسية و بشكل خاص **الهرمونات الأندروجينية** Androgenic Hormones (تفرز من المنطقتين الحزمية و الشبكية) .

الغدة الدرقية

تفرز الغدة الدرقية هرمونين هامين هما التيروكسين و ثالث يود التيرونين 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 ٤٠% تحت المعدل السوي،فيما يمكن لفرط الإفراز الدرقي أن يسبب ازدياداً في المعدل الاستقلابي الأساسي يصل حتى ٦٠-١٠٠ فوق السوي.

تركيب وإفراز الهرمونات الدرقية .

يمثل التيروكسين(T٤) نحو ٩٣% من المفرزات الهرمونية للغدة الدرقية بينما يمثل ثالث يود التيرونين T٣ الـ ٧٠% الباقية،وفي الواقع فإن معظم الـ T٤ يُقلب في النسج إلى T٣ ، ولذلك فإن كل من هذين الهرمونين يُعتبر هاماً من وجهة نظر وظيفية،حيث إن وظائف كل منهما من الناحية النوعية واحدة ولكنهما يختلفان في سرعة وشدة الفعل،إذ تبلغ فعالية الـ T٣ نحو أربعة أضعاف فعالية الـT٤ ،لكنه يوجد في الدم بكميات صغيرة جداً كما أن فترة بقائه أقصر من فترة بقاء الـT٤.

التشريح الفيزيولوجي للغدة الدرقية.

تتركب الغدة الدرقية من عدد كبير من الجريبات المغلقة مملوءة بمادة مفرزة تُدعى الغرواني ومبطنة بخلايا ظهارانية مكعبة تلقي بمفرزاتها إلى داخل الجريبات.

إن المكون الرئيسي للغرواني هو بروتين سكري كبير يدعى البغلوبولين الدرقي الذي يحوي الهرمونات الدرقية ضمن جزيئه .يحتاج تشكيل الكميات السوية من التيروكسين سنوياً نحو ٥٠ ميلي غرام من اليود المتناول عن طريق الفم على شكل يوديدات،أي نحو ١ مع في الأسبوع ولمنع عوز اليود يجب يودنة 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 الاستقلابية في جميع نسج الجسم تقريباً،ويمكن لمعدل 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 لانغرهانس في المعثكلة

تفرز :

- الأنسولين
- الغلوكاكون
- السوماتوستاتين
- عديد الببتيد المعثكلي.

تنظيم غلوكوز الدم

يتم التحكم بتركيز غلوكوز الدم عند الشخص السوي ضمن مجال ضيق جدا وعادة يكون تركيزه بين ٨٠-٩٠ ملغ /١٠٠مل في الشخص الصائم على الريق، و يزداد هذا التركيز حتى ١٢٠-١٤٠ ملغ \١٠٠مل خلال الساعة الأولى التالية للوجبة. لكن أجهزة التلقيم الراجع للتحكم بغلوكوز الدم، تعيد تركيز غلوكوز الدم بشكل سريع جدا باتجاه مستوى التحكم و عادة خلال ساعتين بعد آخر امتصاص للسكريات. وعلى عكس ذلك ففي المخمصة تقوم وظيفة استحداث السكر في الكبد بإعطاء الغلوكوز الضروري لصيانة مستوى غلوكوز الدم الصيامي.

و تلخص آلية إنجاز هذه الدرجة العالية من التحكم كما يلي:

- يعمل الكبد كجهاز دارئ لغلوكوز الدم وهذا العمل هام جدا، فعندما يرتفع تركيز غلوكوز الدم إلى تركيز مرتفع جدا بعد الوجبة يزداد معدل إفراز الأنسولين ويؤدي ذلك إلى تخزين مقدار ثلثي الغلوكوز الممتص من الأمعاء مباشرة في الكبد على شكل غليكوجين، و بعد ذلك خلال الساعات التالية عندما ينخفض تركيز غلوكوز الدم و ينخفض معدل إفراز الأنسولين يقوم الكبد بإطلاق الغلوكوز مرجعا إياه إلى الدم. ينقص الكبد، بهذه الطريقة، التموجات في تركيز غلوكوز الدم بمقدار ثلث ما كان

سيحدث لولاه. و في الحقيقة فمن المستحيل الحفاظ على مجال ضيق لتركيز غلوكوز الدم لدى المصابين بأمراض كبدية شديدة.

- يبدو وبوضوح شديد أن كل من الأنسولين و الغلوكاكون يعملان كجهازين هامين للتحكم بالتلقيم الراجع لصيانة تركيز غلوكوز الدم السوي فعندما يرتفع التركيز إلى مستوى عال جدا يُفرز الأنسولين و هذا يؤدي إلى نقص تركيز الغلوكوز باتجاه القيمة السوية. و على العكس ينبه نقص الغلوكوز إفراز الغلوكاكون الذي يعمل في الاتجاه المعاكس فيزيد الغلوكوز باتجاه القيمة السوية .تكون آلية التلقيم الراجع للأنسولين أهم بكثير من آلية الغلوكاكون ضمن أكثر الظروف العادية، و لكن في حالات تحدد تناول الغلوكوز و زيادة استعمال الغلوكوز خلال التمرين و حالات الكرب الأخرى تصبح آلية الغلوكاكون ذات قيمة كبرى جدا.
- إن التأثير المباشر لنقص غلوكوز الدم على الوطاء في حالة نقص سكر الدم هو تنبيه الجهاز العصبي الودي و بالتالي يؤدي الإبنفرين المفرز من غدتي الكظر إلى إطلاق مزيد من الغلوكوز من الكبد.
- استجابة لنقص سكر الدم المديد(خلال ساعات أو أيام)، يزداد إفراز كل من هرموني النمو و الكورتيزول و هذا يساهم في إعادة تركيز غلوكوز الدم إلى قيمته السوية.

أهمية تنظيم غلوكوز الدم

من خلال ما سبق يُطرح السؤال التالي ما هي الأهمية الكبرى لصيانة تركيز غلوكوز الدم ثابتاً خاصة و أن معظم النسج يمكنها أن تتراح إلى استعمال الدسم و البروتينات للحصول على الطاقة في حالة غيابه ؟

الجواب على ذلك أن الغلوكوز يعتبر الغذاء الوحيد الذي يمكن استعماله بشكل سوي من قبل الدماغ و ظهارة الأقناد بكميات كافية ليزودها بالطاقة اللازمة. لذلك من الهام صيانة تركيز غلوكوز الدم عند مستوى عال و كاف ليزودها بتغذيتها الضرورية .

يستخدم معظم الغلوكوز المشكل باستحداث السكريات في الفترات بين الوجبات من أجل استقلاب الدماغ، و في الحقيقة من المهم أن لا تفرز المعثكلة أي مقدار من الأنسولين خلال هذه الفترة و إلا فإن المخزونات الضئيلة المتوفرة من الغلوكوز ستذهب جميعها إلى العضلات و النسج المحيطية الأخرى تاركة الدماغ دون مصدر غذائي.

من جهة أخرى من المهم أن لا يرتفع تركيز غلوكوز الدم بشكل كبير جدا لثلاثة أسباب:

١. يمارس الغلوكوز مقدارا كبيرا من الضغط التناضحي في السائل خارج الخلايا و إذا ارتفع تركيز الغلوكوز إلى قيمة مفرطة يستطيع أن يسبب تجفافا خلويا.
٢. يسبب المستوى المرتفع من غلوكوز الدم فقد الغلوكوز في البول.
٣. يسبب هذا الفقد إبالة تناضحية في الكلية الأمر الذي يمكنه أن يؤدي إلى نفاد سوائل الجسم و شوارده.

استتباب 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 بنوعيها (الهيكلية و الملس) ، كما أنها ضرورية لتقلص و نظم 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 المشبكي العصبي Synaptic Transmission .

يبلغ التركيز الوسطي للكالسيوم في المصورة ٨,٦-١٠,٦ ملغ / ١٠٠ مل .

يوجد الكالسيوم في المصورة بأشكال ثلاثة هي :

١- ٥٠% من الكالسيوم موجود بشكل مشرد و قابل للانتشار عبر أغشية الشعيرات الدموية ، و هذا هو الشكل الفعال Active form

٢- ١٠% 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- ٤٠% مرتبط بالبروتينات (خاصة الألبومين) ، و هو بهذا الشكل غير فعال و غير قابل للانتشار عبر أغشية الشعيرات.

يمثل الكالسيوم الموجود في المصورة ١% فقط من كالسيوم الجسم و الباقي ٩٩% موجود في العظام .

يتم التحكم و ضبط مستوى تركيز الكالسيوم في المصورة بشكل دقيق عند مستوى معين بوساطة العوامل الهرمونية التالية :

١. هرمون جارات الدرق Parathyroid Hormrne (PTH)

٢. الكالسيتونين.

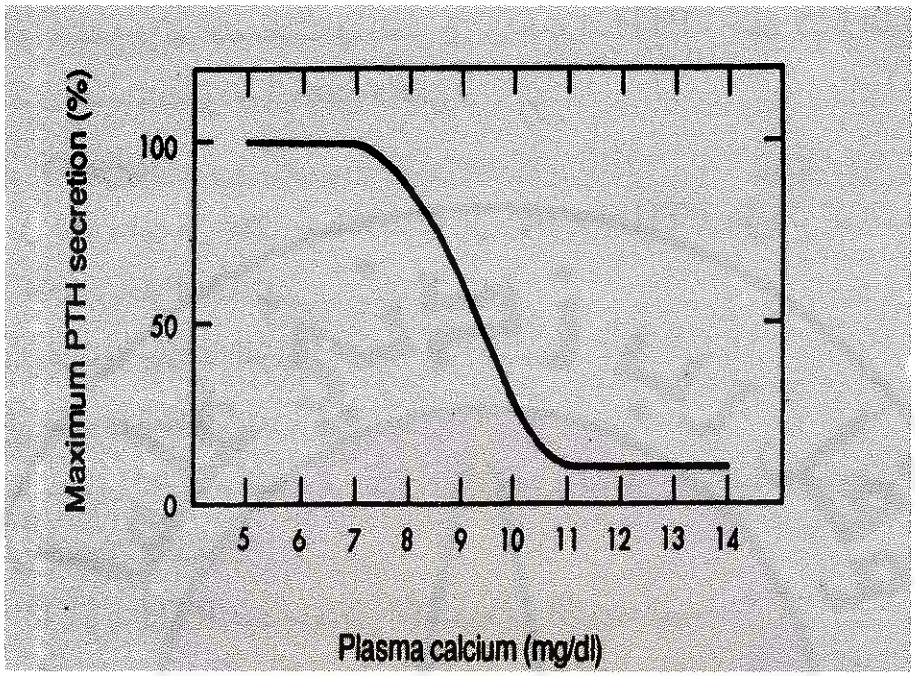
٣. الفيتامين D (الشكل الفعال ١-٢٥ دي هيدروكسي كولي كالسيفرول)

هرمون جارات الدرق PTH

يفرز هرمون جارات الدرق من الغدد جارات الدرق و تنظم إفرازه العوامل التالية :

- **مستوى كالسيوم المصورة :**

هو أهم عامل ينظم إفراز PTH ، و يوجد 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 ملغ / 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 المغنزيوم في المصورة**

توجد علاقة عكسية بين مستوى المغنزيوم في المصورة و إفراز PTH .

- **تركيز الفوسفات في المصل**

Damascus University

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 β إلى زيادة إفراز PTH ، و يبدو أن الآلية 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 الأنبوب البعيد.
٢. يزيد إفراغ الكلية للفوسفات بآلية نقص عود الامتصاص في الأنبوب القريب
٣. يعزز تشكيل ١-٢٥ دي هيدروكسي كولي كالسيفرول .

على مستوى الأمعاء

يعزز امتصاص الكالسيوم من الأمعاء بشكل غير مباشر من خلال تشكيله لـ ١-٢٥ دي هيدروكسي كولي كالسيفرول ، و في المحصلة النهائية يزداد تركيز كالسيوم المصورة و ينقص تركيز الفوسفات.

مركبات الفيتامين (د)

يملك الفيتامين د تأثيراً فعالاً في زيادة امتصاص الكالسيوم من السبيل المعوي ، 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 ١-٢٥ دي هيدروكسي كولي كالسيفرول .

تأثيرات ١-٢٥ دي هيدروكسي كولي كالسيفرول

يتأثر تركيز ١-٢٥ دي هيدروكسي كولي كالسيفرول في المصورة بشكل عكسي بتركيز الكالسيوم في المصورة .

هناك سببان لذلك :

١. تؤثر شوارد الكالسيوم في منع تحويل ٢٥ دي هيدروكسي كولي كالسيفرول إلى ١-٢٥ دي هيدروكسي كولي كالسيفرول .
٢. إن معدل إفراز PTH يثبط بشكل كبير عندما يرتفع تركيز شاردة الكالسيوم في المصورة أكثر من ١٠ ملغ / ١٠٠ مل ، و هذا الهرمون هو الذي يحرض تحويل ٢٥ دي هيدروكسي كولي كالسيفرول إلى الشكل الفعال في الكليتين ، و يعتبر العامل الثاني أكثر أهمية من العامل الأول .

يحرض ١-٢٥ دي هيدروكسي كولي كالسيفرول الامتصاص المعوي للكالسيوم عن طريق زيادة تشكيل البروتين الرابط للكالسيوم في الخلايا الظهارية المعوية ، و يبدو أن معدل امتصاص الكالسيوم يتناسب 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 تمتص بشكل سهل نسبياً في أي مكان.

الكالسيتونين

يفرز من قبل الخلايا جانب الجرابية للغدة الدرقية (الخلايا C) ، و ينبه إفراز الكالسيتونين عند زيادة مستوى الكالسيوم في السائل خارج الخلوي خاصة بعد الطعام و إفراز الغاسترين ، كما يتحرض إفراز الكالسيتونين بمقلدات β و الدوبامين و الاستروجين .

يتعزز إفراز الكالسيتونين بعد وجبة الطعام الكبيرة (يفرز بعد الطعام الغاسترين و CCK و السكرتين) ، و يعتبر الغاسترين المحرض الأقوى .

تأثيرات الكالسيتونين

يؤدي الكالسيتونين إلى خفض مستويات الكالسيوم و الفوسفات في البلازما ، و ينتج 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 باجيت و هي حالة يؤدي ارتفاع فعالية كاسرات العظم فيها إلى بدء حدوث تشكيل معاوض لعظم جديد غير متعضٍ .

كما توجد عدة هرمونات تفرز من خلايا متفرقة موجودة في الجهاز الهضمي، و تفرز من الكلية هرمونات مثل الرينين و الاريتروبيوتين، كما يفرز هرمون من القلـــب و بالتحديد 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 بنى كيميائية تشبه بنية الكولسترول، و يشتق معظمها من الكولسترول نفسه (الكورتيزول، الالدوستيرون، الاستروجين، البروجسترون، التستوسترون).

٢. مشتقات الحمض الأميني (التيروزين)

يشتق من هذا الحمض نمطان من الهرمونات:

- T_3 و T_4: و هي هرمونات ميودنة مضاف إليها اليود لمـــشتقات التيروزين.
- هرمونات لب الكظر: الادرينالين و النورادرينالين .

٣. البروتينات أو الببتيدات

جميع هرمونات الغدد الصم الهامة المتبقية هي إما بروتينات أو عديدات ببتيد كبيرة.

التحكم بمعدل إفراز الهرمون – دور التلقيم الراجع السلبي

يتم التحكم بمعدل إفراز جميع الهرمونات، التي درست بشكل دقيق جداً، بوســـاطة أجهزة التحكم الداخلية، و يمارس هذا التحكم في معظم الحالات بوساطة آلية التلقيم 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 بتلقيم راجع على الغدة الصماء و يسبب تأثيراً سلبياً على الغدة لإنقاص المعدل الإفرازي.

يظهر التأمل الدقيق لآلية التلقيم الراجع السلبي أن العامل الهام الذي يتم التحكم به عادة ليس معدل إفراز الهرمون إنما درجة فعالية العضو الهدف و لذلك لا يصبح التلقيم 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 الصم 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 نهائي قوي جداً. إن جميع المستقبلات الهرمونية بروتينات كبيرة جداً تحوي كل خلية نحو ٢٠٠٠ إلى ١٠٠٠٠٠ مستقبل، و يكون المستقبل عادة نوعياً بدرجة عالية جداً لهرمون واحد و هذا يحدد نمط الهرمون الذي يؤثر على نسيج معين. و من الواضح أن النسج الهدفية التي تتأثر بالهرمون هي النسج التي تحوي مستقبلاته النوعية.

تتوضع عادة المستقبلات في الأماكن التالية:

- غشاء الخلية أو على سطحه: و تكون مستقبلات الغشاء نوعية غالباً للهرمونات البروتينية و الببتيدية و الكاتيكولامينات.
- هيولى الخلية : توجد مستقبلات الهرمونات الستيروئيدية المختلفة داخل الهيولى تماماً تقريباً.
- في نواة الخلية (مستقبلات هرمونات الدرق).

تؤثر الهرمونات (دون استثناء تقريباً) على نسجها الهدفية بوساطة التفعيل الأول للمستقبلات الهدفية في خلايا النسج ، و هذا يبدل وظيفة المستقبل نفسه، و يكون المستقبل بعد ذلك السبب المباشر للتأثيرات الهرمونية.

الآليات التي يعمل بها الهرمون

١) تغيير نفوذية الغشاء

عندما يرتبط الهرمون مع المستقبل يسبب دائماً تغيراً شكلياً 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 : الأدرينالين و النورادرينالين على خلايا العضلات الملس.

٢) تفعيل الإنزيمات داخل الخلايا

مثال ذلك الأنسولين .

٣) تفعيل الجينات بالارتباط مع المستقبلات داخل الخلايا

يرتبط الكثير من الهرمونات خاصة الستيروئيدية و الدرقية مع المستقبلات البروتينية داخل الخلية، ثم يرتبط المعقد المفعل (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 ، و لذلك يظهر في الخلية بعد عدة دقائق أو ساعات أو حتى أيام من دخول الهرمون إلى الخلية بروتينات حديثة التشكل، 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 والمباءرة (Focusing) وعمق البؤرة وغير ذلك.

انكسار الضوء (Refrection of light)

تسير أشعة الضوء في الهواء بسرعة ٣٠٠ ألف كم/ثا تقريباً، لكنها تسير بسرعة أبطأ من ذلك بكثير عبر الأوساط السائلة والجامدة الشفافة، وإن منسب انكسار المادة الشفافة هو نسبة سرعة الضوء في الهواء إلى سرعته في هذه المادة.

مثال على ذلك (إذا كانت سرعة الضوء عبر نمط معين من الزجاج ٢٠٠ ألف كم/ثا فإن منسب الانكسار لها الزجاج هو ١,٥).

عندما تصطدم حزمة من الأشعة الضوئية بسطح فاصل بين وسطين شفافين لهما منسبا 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 تنحني، ويعرف انحناء الأشعة الضوئية على السطح المائل بالانكسار، ويلاحظ أن درجة الانكسار تزداد تبعاً لـ:

- نسبة منسبي 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 تعاني 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 تنحني أكثر فأكثر باتجاه المركز.

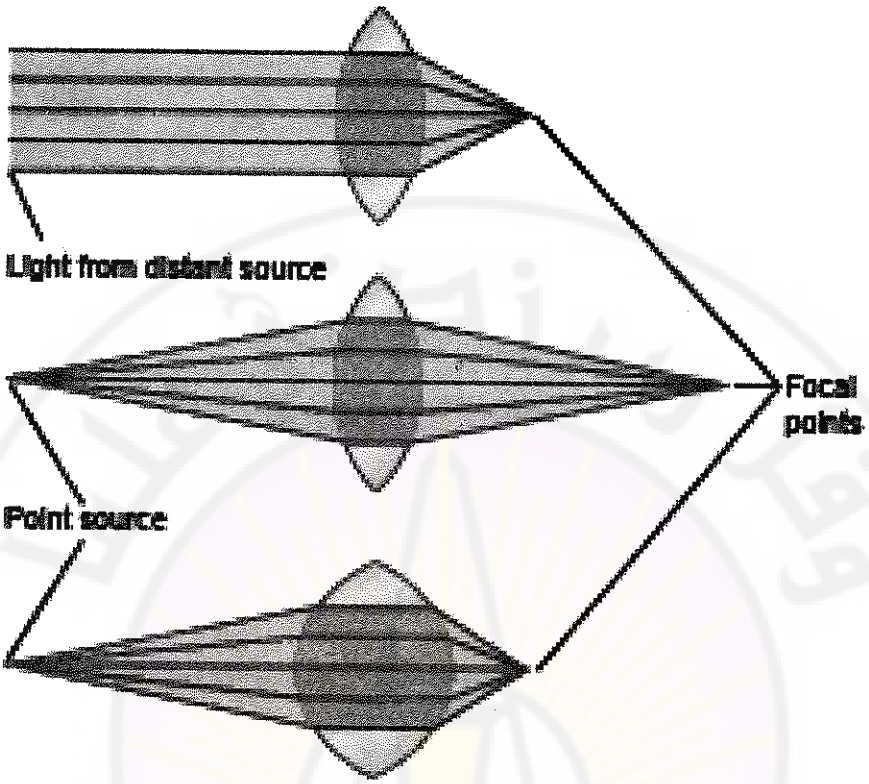
إذا كانت العدسة ذات انحناء مناسب تماماً فإن الأشعة تنحني وتمر من نقطة واحدة تدعى النقطة البؤرية (Focal point).

بينما الأمر يختلف في العدسات المقعرة التي تباعد الأشعة الضوئية على عكس العدسات المحدبة. وتحدث أمور مشابهة لحد ما في العدسات الأسطوانية بحيث تحني العدسات الأسطوانية المحدبة الضوء لتشكل خطاً بؤرياً بالمقارنة مع النقطة البؤرية في العدسات المحدبة الكروية، بينما تباعد 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.

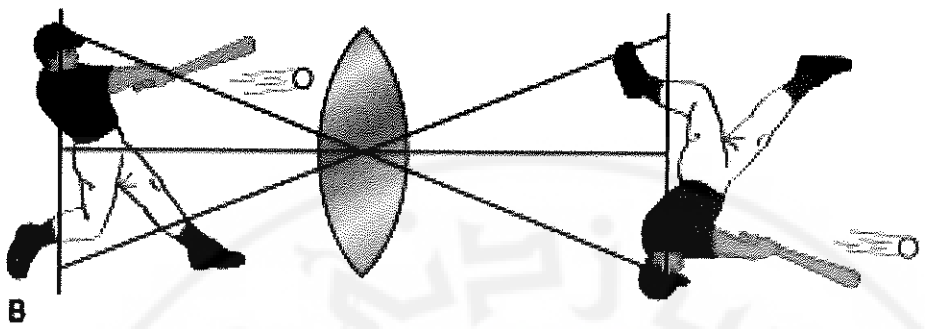
يختلف البعد البؤري للعدسة المحدبة نفسها باختلاف ورود الأشعة على هذه العدسة (متوازية أو متباعدة)، حيث يكون البعد البؤري أطول في حالة ورود الأشعة بشكل متباعد منها عندما ترد بشكل متوازٍ علماً أن بُعد النقطة المصدرة نفسه الشكل(٤٩).



الشكل(٤٩).تمتلك العدستان العلويتان القوة ذاتها، لكن الأشعة التي تخترق العدسة العلوية متوازية بينما الـــتي تخترق الثانية متباعدة ويوضح الشكل تأثير الأشعة المتوازية بالمقارنة مع الأشعة المتباعدة على البعـــد البـــؤري. تملك العدسة السفلية قوة كاسرة اكبر من سابقاتها ،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 العدســـة (الشكل ٥٠).



الشكل(٥٠) تشكيل الصورة المقلوبة بوساطة عدسة محدبة كروية.

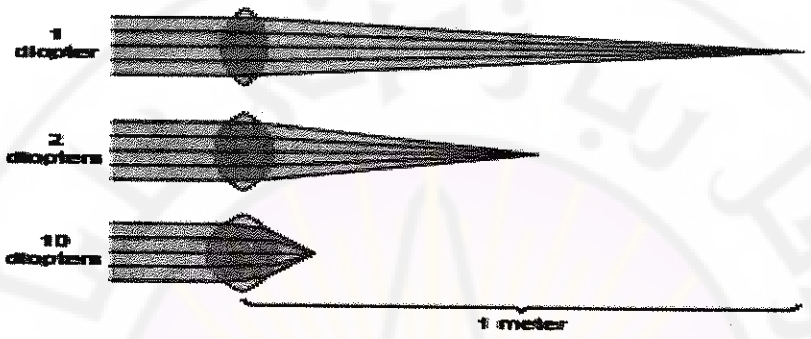
قياس القوة الكاسرة للعدسة (The Diopter)

تزداد القوة الكاسرة للعدسة بزيادة قدرتها على حني الأشعة الضوئية، ويستعمل مصطلح الكسيرة (Diopter) لقياس هذه القوة الكاسرة.

$$\text{القوة الكاسرة للعدسة المحدبة} = \frac{\text{١ م}}{\text{البعد البؤري (مقدراً بالمتر)}}$$

وهكذا فإن العدسة القادرة على تقريب الأشعة الضوئية المتوازية إلى نقطة بؤرية تبعد ١٠ سم خلف العدسة فإن قوتها الكاسرة هي +١٠ كسيرات. 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 تباعد الأشعة الضوئية بالمقدار نفسه الذي تقاربه به عدسة محدبة ذات قوة كاسرة تعادل +١ فيقال إن تلك العدسة المقعرة ذات قوة كاسرة تعادل -١ كسيرة.

وتحسب القوة الكاسرة للعدسات الأسطوانية بالطريقة نفسها التي تحسب بها قوة العدسات الكروية، فإذا كانت العدسة الأسطوانية تقارب الأشعة الضوئية المتوازية في خط بؤري يبعد ١ متر خلف العدسة فهي ذات قوة كاسرة تعادل +١ كسيرة (الشكل ٥١).



الشكل(٥١) تأثير قوة العدسة على المسافة البؤرية، قوة العدسة العليا ١ كسيرة والعدسة الموجودة في منتصف الصورة ٢كسيرة وقوة العدسة السفلى ١٠كسيرة.

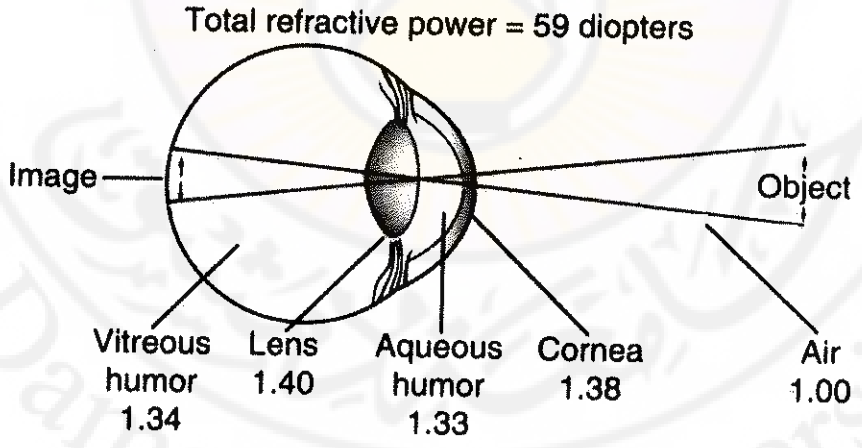
بصريات العين (Optics of the Eye)

يمكن تشبيه العين بكاميرا التصوير الضوئي الاعتيادية كما يظهر في الشكل (٥٢) فهي تمتلك جملة عدسات ونظام الفتحة المتغيرة (الحدقة) والشبكية التي تقوم مقام الفلم، تتألف 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 منسب 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 جبرياً وعدّت كعدسة واحدة، فإن بصريات العين السوية تبسط وتمثل ترسيمياً بالعين المختزلة (Reduced eye) مما يفيد في تسهيل الحسابات، ففي العين المختزلة يوجد سطح كاسر واحد نقطته المركزية تقع على بعد ١٧ مم أمام الشبكية، ويملك 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 منسب الانكسار للقرنية يختلف بشكل ملحوظ عن منسب 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.



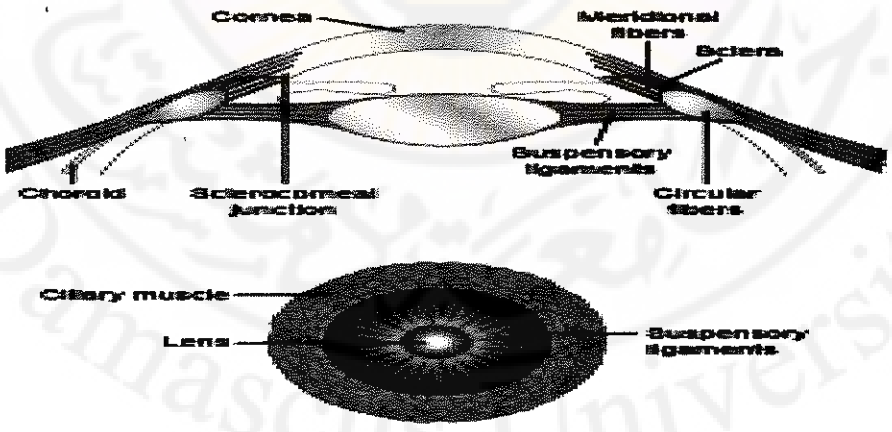
الشكل(٥٢) مناسب الانكسار للأوساط الشفافة في العين.

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، ولحدوث ذلك يتغير شكل عدسة العين من عدسة معتدلة التحدب إلى عدسة شديدة التحدب، إن آلية ذلك هي التالية:

تتكون العدسة عند الشخص اليافع من محفظة مرنة قوية مملوءة بألياف بروتينية لزجة شفافة، فعندما تكون عدسة العين في حالة راحة دون تطبيق أي شد على المحفظة فإنها تتخذ شكلاً كروياً تقريباً، ويوجد ما يقارب من ٧٠ رباطاً (الأربطة المعلقة للعدسة) مثبتة بشكل شعي حول العدسة ساحبة حواف العدسة نحو الحواف الأمامية للشبكية وترتبط هذه الأربطة من الناحية الأخرى مع العضلة الهدبية.

يؤدي تقلص العضلة الهدبية إلى ارتخاء الأربطة المتصلة بمحفظة العدسة فتتخذ 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، وتصبح بأقصى قوتها عندما تتقلص العضلة الهدبية (الشكل ٥٣).



الشكل(٥٣) آلية المطابقة

يتحكم الجهاز العصبي اللاودي بشكل كامل تقريباً بالعضلة الهدبية، وتنقل التنبيهات إلى العضلة الهدبية بواسطة العصب القحفي الثالث، لذلك فإن تنبه هذا العصب يؤدي إلى تقلص العضلة الهدبية مما يؤدي إلى ارتخاء أربطة العدسة و إلى زيادة القوة الكاسرة للعين. ويملك التأثير الودي تأثيراً ضعيفاً في إرخاء العضلة الهدبية 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 صفراً في سن ٧٠ وتعرف هذه الحالة بالقدع أو قصو البصر.

عندما يصل الشخص إلى حالة القدع يحتاج إلى نظارات مزدوجة الرؤية (الجزء العلوي للرؤية للبعيدة والجزء السفلي للرؤية القريبة).

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 تقريباً أو أن تصبح كبيرة القطر ٨ مم لذلك فإن كمية الضوء الداخلة إلى العين تزداد تقريباً حوالي ٣٠ مرة نتيجة التغير في الفتحة الحدقية.

وظائف الشبكية المستقبلة والعصبية.

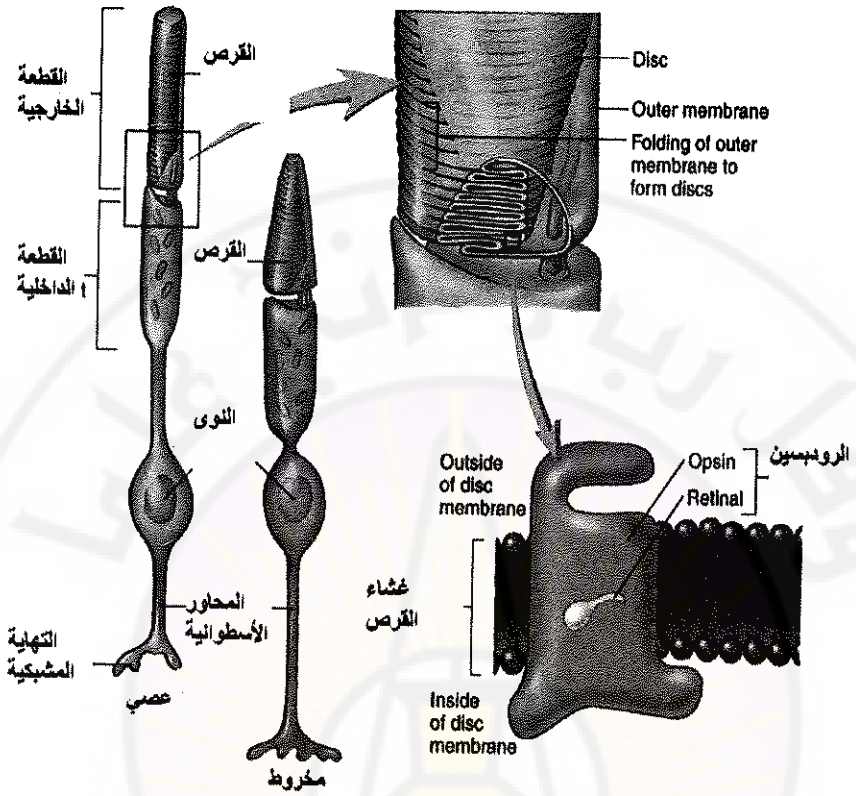
١. العصي والمخاريط (Rods and cones)

يشاهد في الشكل (٥٤) القطع الوظيفية الأربع لكل من العصي والمخاريط:

- القطعة الخارجية
- القطعة الداخلية
- النواة
- الجسيم الشبكي

توجد المادة الكيميائية الضوئية الحساسة للضوء في القطعة الخارجية وهي في العصي الرودبسين أما في المخاريط فهي واحدة من ثلاث مواد كيميائية ضوئية (ملونة) تدعى الأصبغة الضوئية وتقوم تقريباً بنفس الوظيفة التي يقوم بها الرودبسين باستثناء بعض الاختلافات في حساسيتها الطيفية.

إن كلاً من الرودبسين والأصبغة الضوئية عبارة عن بروتينات مقترنة ومتحدة مع الغشاء الخلوي للقطعة الخارجية وتشكل نحو ٤٠% من كامل كتلة القطعة الخارجية. وتحوي القطعة الداخلية الهيولى الاعتيادية ومكوناتها في باقي الخلايا ومن أهمها المتقدرات التي تلعب دوراً هاماً في تأمين الطاقة الضرورية لعمل المستقبلات الضوئية. أما الجسم المشبكي فهو القطعة التي تربط العصي والمخاريط مع الخلايا العصبونية التالية (الخلايا الأفقية والخلايا ثنائية القطب) التي تمثل المراحل التالية في سلسلة الرؤية.



الشكل(٥٤) بنية العصي 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.

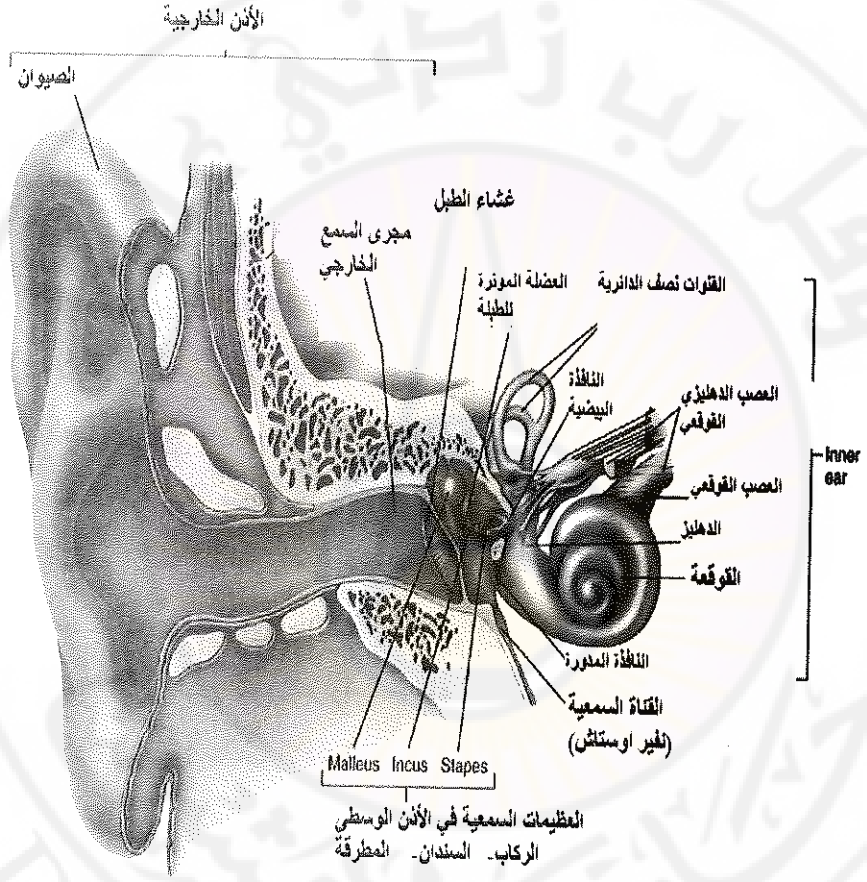
١. تتألف الأذن الخارجية من الصيوان ومجرى السمع الظاهر، يعمل الصيوان على تجميع الموجات الصوتية (كالقمع)، بينما ينقل مجرى السمع الظاهر هذه الموجات إلى غشاء الطبل الذي يفصل الأذن الخارجية عن الأذن الوسطى.

٢. الأذن الوسطى عبارة عن حجرة ضيقة يشغلها جوف هوائي يسمى جوف الطبل يتوضع بين غشاء الطبل 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 عظيمات صغيرة داخل الأذن الوسطى تمتد بين غشاء الطبل والأذن الباطنة وهي تعمل على نقل اهتزازات غشاء الطبل إلى الأذن الباطنة.

٣. الأذن الباطنة: تتألف الأذن الباطنة من قسمين

- التيه العظمي وهو سلسلة من الأجواف ضمن القسم الصخري من العظم الصدغي.
- التيه الغشائي وهو سلسلة من الأقنية والأكياس تتوضع ضمن التيه العظمي ويشغل التيه الغشائي كُلّاً من الحلزون (القوقعة) وهي مسؤولة عن حس السمع والأقنية نصف الدائرية الثلاث والقريبة والكييس وهي مسؤولة عن التوازن. انظر الشكل رقم (٥٥).

يهدف هذا الفصل إلى شرح الآليات التي تستقبل بوساطتها الأذن الأمواج الصوتية وتميز تواتراتها 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 القوقعة

يبين الشكل (٥٥) الغشاء الطبلي (الذي يدعى عادةً طبلة الأذن) والجهاز العظميي الذي يوصل الصوت عبر الأذن الوسطى. يأخذ الغشاء الطبلي شكلاً مخروطياً ، و ترتكز قبضة المطرقة على مركز الغشاء الطبلي، أما النهاية الأخرى للمطرقة فترتبط بقوة مع السندان بوساطة الأربطة الدقيقة، ولذلك عندما تتحرك المطرقة يتحرك السندان معها. تتمفصل النهاية المقابلة من السندان مع جذع الركاب و الصفيحة الوجهية للركاب تتوضع مقابل نهاية التيه الغشائي للقوقعة في فتحة النافذة البيضية حيث يتم إيصال الأمواج الصوتية إلى الأذن الباطنة. تسحب قبضة المطرقة باستمرار نحو الداخل بوساطة العضلة الموترة للطبلة التي تبقي الغشاء الطبلي موتراً، وهذا يسمح بنقل الاهتزازات الصوتية من أي جزء من الغشاء الطبلي إلى المطرقة وهذا ما كان ليحدث لو كان الغشاء رخواً.

ب ــ توافق المعاوقة بوساطة الجهاز العظيمي

إن الطريقة التي يتصل بها الركاب مع المطرقة عن طريق السندان يؤدي إلى زيادة قوة الاهتزاز بمقدار ١,٣ ضعف. كما أن مساحة غشاء الطبل التي تزيد بمقدار ١٧ ضعفاً عن مساحة سطح الركاب(تبلغ مساحة سطح الغشاء الطبلي حوالي ٥٥ ملم مربع في حين تبلغ مساحة سطح الركاب ٣,٢ ملم مربع) تؤدي إلى زيادة قوة الاهتزاز بمقدار ١٧ ضعفاً، يؤدي مجموع العاملين إلى زيادة طاقة الأمواج الصوتية المصطدمة بالغشاء الطبلي بمقدار ١,٣ × ١٧ = ٢٢ ضعفاً عند وصولها إلى سائل القوقعة. 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 القوقعة. وفي الحقيقة يبلغ توافق المعاوقة نحو ٥٠ — ٧٥% 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 الطبلي تسير الأمواج الصوتية مباشرة عبر هواء الأذن الوسطى وتدخل القوقعة عند النافذة البيضية، عند ذلك تنقص حساسية السمع ما بين ١٥ — ٢٠ ديسيبل مقارنة بحالة وجودهما، وهذا يكافئ الفرق ما بين مستوى الصوت المتوسط ومستوى الصوت الذي بالكاد يسمع.

ج — توهين (إضعاف) الصوت بتقلص العضلة الركابية والعضلة الموترة للطبلية

عندما تنقل أصوات عالية عبر الجهاز العظيمي إلى الجهاز العصبي المركزي ينشأ بعد فترة قصيرة من الزمن (تبلغ ما بين ٤٠ — ٨٠ ميلي ثانية) منعكس يقوم بتقليص العضلتين الركابية والموترة للطبلة. وتقوم العضلة الموترة للطبلة بسحب قبضة المطرقة إلى الداخل، بينما تسحب العضلة الركابية الركاب نحو الخارج (نحو الأذن الوسطى) وتتعاكس هاتان القوتان مما يؤدي إلى نشوء درجة عالية من التصلب في كامل الجهاز العظيمي، وبذلك تنقص بشدة الإيصالية العظمية للأصوات (خاصةً ذات التواتر المنخفض)وهي بشكل رئيسي التواترات دون ١٠٠٠ دورة في الثانية. ويستطيع منعكس التوهين Attenuation reflex هذا أن ينقص شدة نقل الصوت المنخفض التواتر بنحو من ٣٠ إلى ٤٠ ديسيبل وهو الفارق نفسه تقريباً بين الصوت العالي والصوت المهموس ومن المحتمل أن تكون وظيفة هذه الآلية مزدوجة:

١ — حماية القوقعة من الاهتزازات المؤذية الناجمة عن الأصوات العالية جداً.

٢ ــ إخفاء الأصوات ذات التواترات المنخفضة في بيئة صاخبة، وهذا يؤدي عادة إلى إزالة جزء كبير من الضجيج المصاحب والسماح للشخص بالتركيز على الأصوات ذات التواترات الأعلى من ١٠٠٠ دورة بالثانية التي تنقل بوساطتها معلومات التخاطب الصوتي. كما أنه يوجد وظيفة أخرى للعضلتين الركابية والموترة للطبلة هي إنقاص حساسية سماع الشخص لحديثه . ويتم تفعيل هذا التأثير بإرسال إشارات إلى هاتين العضلتين في الوقت نفسه الذي يفعل فيه الدماغ آلية التحدث.

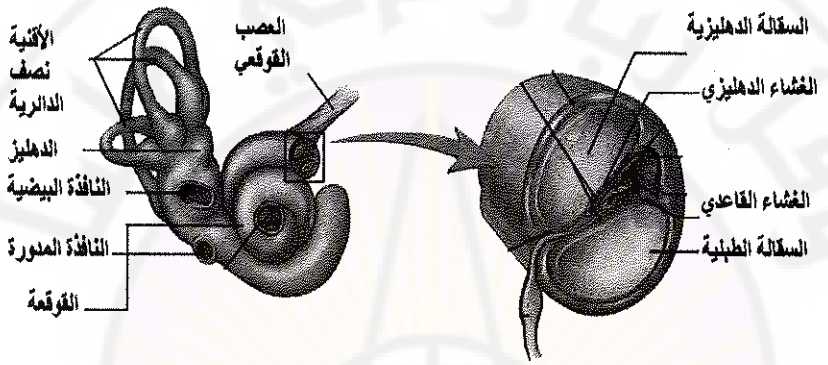
د ــ نقل الأصوات عبر العظم

بما أن الأذن الباطنة ــ القوقعة ــ تتوضع في تجويف عظمي في العظم الصدغي يدعى التيه العظمي، فإن الاهتزازات في جميع أنحاء الجمجمة تستطيع إحداث اهتزازات في السائل الموجود في القوقعة ذاتها، لذلك وضمن شروط مناسبة فإن وضع شوكة رنانة Tuning fork أو هزازة إلكترونية على أن ناشزة عظمية (خاصة على الناتئ الخشائي) يؤدي إلى سماع 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.

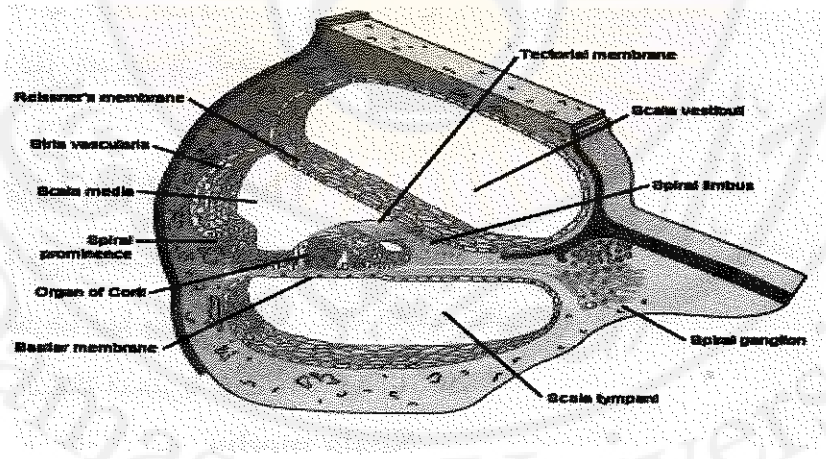
٢ ــ القوقعة The Cochlea

هي جملة من الأنابيب الملتفة، كما يظهر في الشكل (٥٦) ويبين الشكلان (٥٧، ٥٨) مقطعاً معترضاً فيها وهي تتألف من ثلاثة أنابيب تلتف بجانب بعضها :

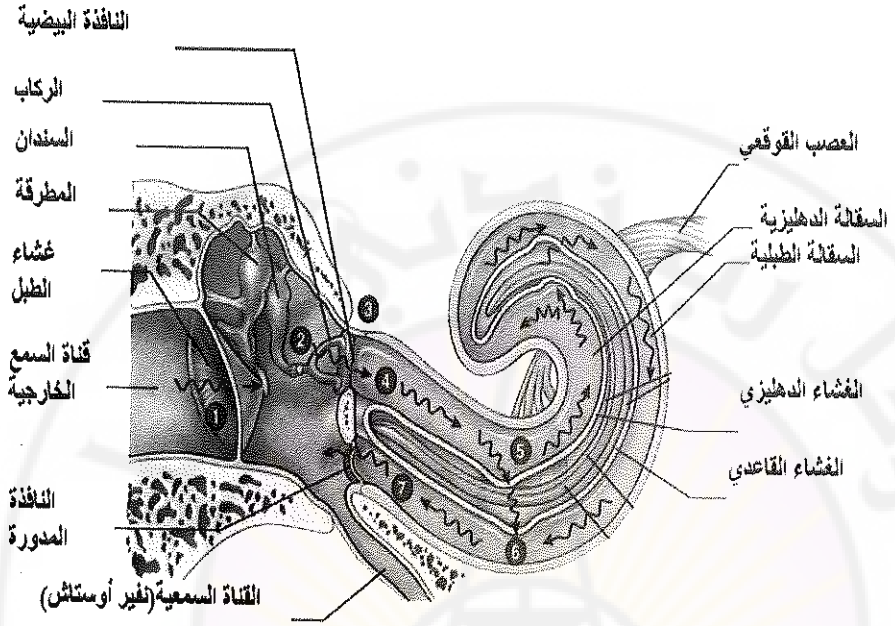
- السقالة الدهليزية Scala vestibule
- السقالة الوسطى Scala media
- السقالة الطبلية Scala tympani



الشكل(٥٦)مقطع معترض في القوقعة



الشكل(٥٧) مقطع معترض في القوقعة يُظهر الأنابيب الثلاثة.



الشكل(٥٨) مقطع معترض في القوقعة يُظهر الأنابيب الثلاثة.

تنفصل السقالة الدهليزية عن الوسطى بوساطة غشاء رايسنر(الذي يدعى ايضاً الغشاء الدهليزي)، والوسطى عن الطبلية بوساطة الغشاء القاعدي، وتتوضع على سطح الغشاء القاعدي بنية تدعى عضو كورتي الذي يحتوي سلاسل من الخلايا الحساسة كهربائياً للتغيرات الآلية، وهذه هي الأعضاء الانتهائية الاستقبالية التي تولد الدفعات العصبية استجابة للاهتزازات الصوتية.

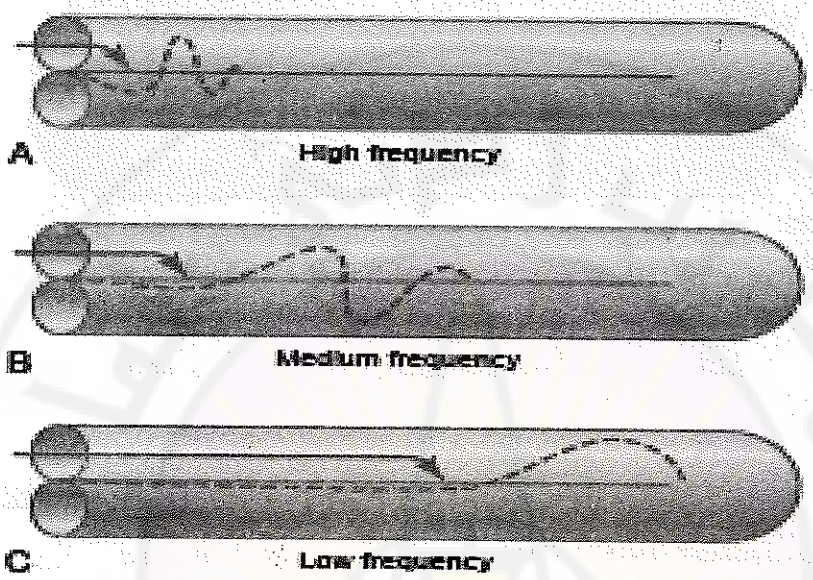
يبين الشكل (٥٧) بشكل تخطيطي الأقسام الوظيفية لقوقعة غير ملتفة تقوم بإيصال الاهتزازات الصوتية، ويلاحظ أن غشاء رايسنر غير موجود في هذا الشكل. ذلك أن

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 رايسنر هي المحافظة 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.

الغشاء القاعدي والرنين في القوقعة

هو غشاء ليفي يفصل السقالة الوسطى عن الطبلية، ويحوي من ٢٠٠٠٠ إلى ٣٠٠٠٠ ليف قاعدي، لهذه الألياف بنية قصبية إحدى نهاياتها مثبتة في العظم والأخرى حرة، كما أنها صلبة ومرنة فهي تستطيع الاهتزاز مثل قصبات الهارمونيكا. تزداد أطوال الألياف القاعدية تدريجياً كلما ابتعدنا عن قاعدة القوقعة باتجاه قمتها، حيث يبلغ طولها قرب النافذة البيضية نحو ٠,٠٤ ملم ليصل إلى نحو ٠,٥ملم عند قمة القوقعة وهي زيادة في الطول تعادل ١٢ ضعفاً. ومن جهة أخرى ينقص قطر الألياف باتجاه القمة (ذات القطر الكبير موجودة عند قاعدة القوقعة أي النافذة البيضية وتتناقص أقطارها كلما اتجهنا نحو القمة). لذلك تنقص صلابتها الكلية أكثر من ١٠٠ ضعف. وبالنتيجة فالألياف الصلبة القصيرة قرب النافذة البيضية تهتز عند التواتر العالي، في حين أن الألياف الطويلة المرنة قرب قمة القوقعة 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 أخر هو ازدياد حمولة الغشاء القاعدي من السوائل التي

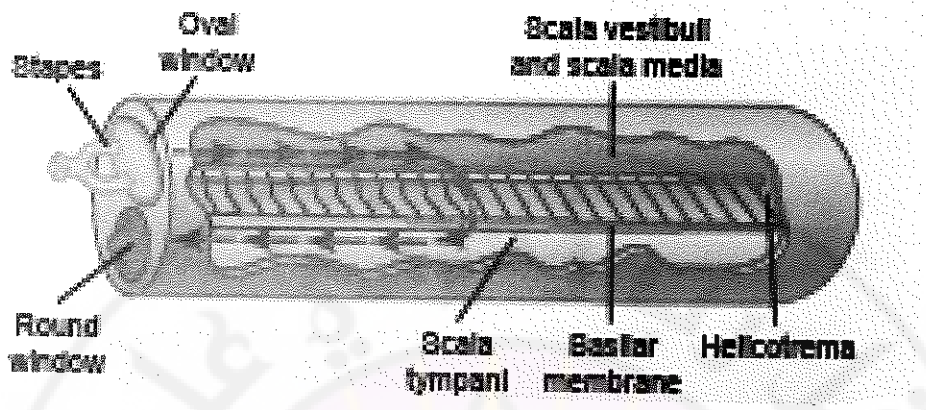
يجب أن تمتز على طول الطريق بين الغشاء القاعدي في إحدى نهايتيه والثقبة البيضية في النهاية الأخرى الشكل(٥٩).



الشكل(٥٩) الموجات المتنقلة على طول الغشاء القاعدي للتواترات المرتفعة والمتوسطة والمنخفضة.

انتقال الأمواج الصوتية في القوقعة

إذا تحركت قدم الركاب نحو الداخل في لحظة ما فيجب أن تبرز النافذة المدورة نحو الخارج بشكل آني، لأن القوقعة محاطة من جميع جوانبها بجدر عظمية، ولذلك فإن التأثير البدئي جعل الغشاء القاعدي في قاعدة القوقعة يتبارز باتجاه النافذة المدورة، ولذلك تؤدي البنية المتوترة المرنة للألياف القاعدية إلى إحداث موجة تنتقل على طول الغشاء القاعدي باتجاه قمة القوقعة الشكل(٦٠).



الشكل(٦٠) حركة السائل في القوقعة التالية لاندفاع الركاب نحو الأمام.

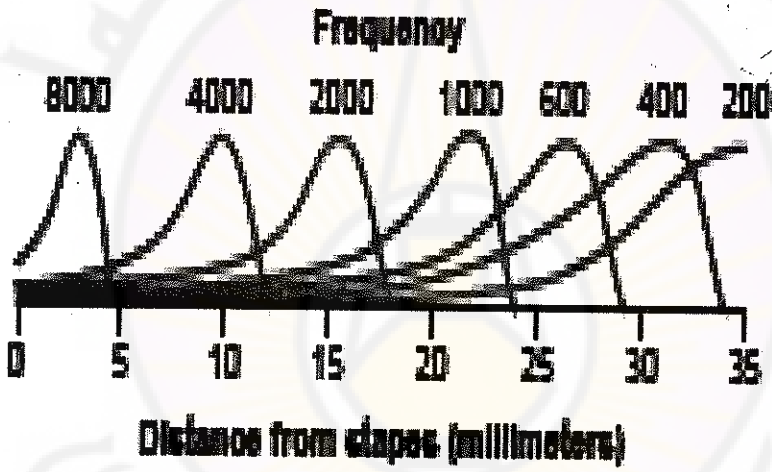
وظيفة عضو كورتي

هو عضو مستقبل يولد الدفعات العصبية استجابة لاهتزاز الغشاء القاعدي ويرسلها عبر العصب السمعي إلى الجهاز العصبي المركزي.

تحديد تواتر الصوت ــ مبدأ (الموضع)

إن الأصوات ذات التواترات المنخفضة تسبب تفعيلاً أعظمياً للغشاء القاعدي قرب قمة القوقعة، في حين أن التواترات العالية تفعل الغشاء القاعدي قرب قاعدة القوقعة وتفعل التواترات المتوسطة الغشاء القاعدي على مسافات متوسطة ما بين طرفيه، بالإضافة إلى ذلك يوجد تنظيم فراغي للألياف العصبية في السبيل القوقعي على طول الطريق من القوقعة إلى قشرة المخ. لقد أظهر تسجيل الإشارات من السبل السمعية في جذع الدماغ ومن الباحات 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 القوقعة 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 اعتماداً 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 بوساطة الجهاز السمعي بثلاث طرق مختلفة على الأقل:

١. يزداد مدى اهتزاز الغشاء القاعدي والخلايا المشعرة الموجـــودة في عـــضو كورتي كلما أصبح الصوت أكثر ارتفاعاً ،وهكذا فإن الخلايا المشعرة تـــثير النهايات العصبية بمعدلات أسرع .

٢. عندما يزداد مدى الاهتزاز يؤدي ذلك إلى تنبيه متزايد للخلايا على حواف الجزء الرنان من الغشاء القاعدي وهذا يؤدي إلى حدوث تـــراكم مكـــاني للدفعات (أي انتقال الدفعات Impulses عبر عدد كبير من الأليـــاف العصبية بدل انتقالها عبر عدد قليل منها).

٣. يوجد خلايا مشعرة في الغشاء القاعدي لا تتنبه حتى يصل اهتزاز الغـــشاء 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 بـــآليتين رئيسيتين:

١. بوساطة الفاصل الزمني بين دخول الصوت إلى إحدى الأذنين ودخولـــه إلى الأذن الأخرى.

٢. بوساطة الاختلاف مابين شدة الأصوات في كلتا الأذنين.

تعمل الآلية الأولى بالشكل الأفضل عند التواترات التي تقـــل عـــن ٣٠٠٠ دورة في الثانية،بينما تعمل آلية الشدة بالشكل الأفضل عند التواترات العالية لأن الرأس يعمل كحاجز للصوت عند هذه التواترات. إن آلية الزمن الفاصل تعمل بشكل أكثر دقـــة من آلية الشدة ويعود السبب في ذلك لعدم اعتمادها على عوامل خارجية وإنما تعتمد على فترة زمنية حقيقية فاصلة ما بين الإشارات السمعية. فإذا كان الشخص ينظـــر

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 أنفاً 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 تواتر الصوت من أي جهة جاء.

كشف التغيرات في ارتفاع الصوت (قانون القدرة)

إن الإحساس المفسر ـــ في حالة الصوت ـــ يتغير تقريباً 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 تقريباً 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 تقريباً ١٠٠٠٠ 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 ٢٠ لغ $\frac{\text{شدة الصوت}}{\text{شدة صوت معياري (أقل شدة للصوت)}}$

وهذا لا يعني أن صوتاً شدته صفر ديسيبل غير مسموع أو ليس له شدة وإنما يعني أن قيمة طاقته تساوي حد العتبة الدنيا للسمع.

ومجال السمع الطبيعي عند الإنسان هو بين (٠ — ١٤٠ ديسيبل) وفوق ١٤٠ ديسيبل يصبح الصوت قادراً على إيذاء عضو كورتي.

مجال تواترات السمع

تتراوح التواترات الصوتية المسموعة عند البشر بين ٢٠ و ٢٠٠٠٠ دورة في الثانية عند الشاب السوي (قبل أن يحدث الكبر 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) تتراوح بين التواترات المنخفضة والتواترات المرتفعة، وقد تمت معايرة 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 أسوياء، وعلى كل حال يمكن بوساطة معير 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 ديسيبل فوق الحد السوي يقال إن هذا الشخص مصاب بنقص سمع يبلغ ٣٠ ديسيبل عند ذلك التواتر.

ولفحص السمع بمقياس السمع نقوم باختبار من ٨ إلى ١٠ تواترات تقريباً بحيث نغطي الطيف السمعي، ويتم تحديد نقص السمع لكل تواتر في الطيف السمعي، بالإضافة إلى أن مقياس السمع مجهز بسماعة لفحص الناقلية الهوائية بوساطة الأذن، فإنه مجهز أيضاً بهزازة إلكترونية لفحص الناقلية العظمية من الناتئ الخشائي إلى القوقعة.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

١-Essentials of Anatomy &Physiology.Rod R. Seeley, Trent D.Stephens,Philip Tate .٥ th ed, McGraw-Hill, ٢٠٠٥.

٣-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.

Damascus University

التقويم العلمي

١- أ.د.صياح القطان.

٢- أ.م.د.أمل الضاهر

٣- أ.م.د.أمل ركاج

المدقق اللغوي

أ.د.ناصر حسن علي

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات الجامعية