

جامعة بغداد / كلية التربية للعلوم الصرفة – ابن الهيثم المرحلة الرابعة شعبة ( أ ) صباحي

قسم علوم الحياة المحاضر أ.د. نهلة جاسم محمد الشاهري

المادة : فسلجة الحيوان Animal physiology ( نظري ) / 2022- 2023

المحاضرة : الفصل الاول ( الفسيولوجيا / مجالاتها ومبادئها ).

تعريف علم الفسلجة : هو علم وظائف الاعضاء ويعد فرع من فروع علوم الحياة المتمثلة بعلم التشريح وعلم النسيج وعلم الخلية وعلم الوراثة وعلم الاجنة الى اخره من العلوم الاخرى . يقوم علم الفسلجة بدراسة ( شرح وتفسير على ضوء القوانين الفيزيائية والكيميائية لذا تدعى احيانا فيزياء وكيمياء الكائنات الحية ) وظائف اعضاء الكائن الحي باكملة او عضو منه او على مستوى الخلية او عضياتها واستكشاف الاليات التي تحصل بها الوظائف . كما يختلف علم الفسلجة عن الفروع الاخرى بكونه متعلق بدراسة وفهم النظم الحية المتغيرة والمتبدلة باستمرار من لحظة الى اخرى .

نشأة علم الفسلجة ودور علماء الحضارة العربية والاسلامية : نشأ هذا العلم منذ التاريخ القديم للبشرية وترافق في تطوره مع علم التشريح فأصبحت الاساس في علم الطب وبيطرة الحيوان . برز العديد من العلماء العرب والمسلمين في ظل الحضارة العربية والاسلامية في مجال الطب والفسلجة البشرية نذكر منهم:

1- ابن النفيس :

أ- اكتشف ابن النفيس الدورة الدموية في الرئة .  
ب- وصف ماكتبه اطباء اليونان ( هيروفليس ، ارسطوطاليس ، جالينوس .... ) عن تشريح القلب وانتقال الدم بين تجاويفه و ذكر ان انتقال الدم ناجم عن ضربات القلب وليس كما فسره علماء اليونان الذين سبقوه اذ ارجعوا انتقاله الى ظاهرة المد والجزر .

ج- ارجع انتقال الدم الى ضربات القلب وانه ينتقل من البطين الايمن الى الرئة فيكون بتماس مع الروح ( كما سماها في وقته والتي تقابل الO<sub>2</sub> كما عرف فيما بعد ) فيقوم بنقلها من خلال جدران الاوعية الدموية الشعرية فيتوزع الى نسيج الجسم المختلفة .

2- ابن الهيثم : قام بتطوير تفسير الرازي عن الابصار . وبذلك صحح العالمان النظريات الخاطئة لعلماء اليونان عن الابصار التي افترضت خروج قوة باصرة من العين اذ اعتقدوا ان صور المرئيات تصل الى العين وتنطبع على قعرها .

3- الجاحظ : اجري تجارب حددت المنعكسات المشروطة . مما تقدم يمكن معرفة درجة الابداع والتجديد في الفكر العلمي الذي اسهموا به علماء الحضارة العربية الاسلامية في القرون الوسطى ومن اهم ما اضفاه العرب على العلم هو المنهج التجريبي الذي انتقل من بغداد الى الاندلس ثم الى اوربا والذي اعتمده العالم ( فرانسس بيكون ) واطلق عليه نظرية العلم السائدة

في الوقت الحاضر في الاوساط التعليمية والعلمية باسم الطريقة العلمية Scientific method

مجالات علم الفسلجة Scopes of physiology : اهتم علم الفسلجة بكل انواع عوالم الحياة ( البدائيات والطييعيات والفطريات والنبات والحيوان ) ولكثرة وتنوع الاحياء ظهرت تخصصات فرعية لعلم الفسلجة كالآتي:

1- علم الفسلجة العام **General physiology** : يهتم بدراسة الخصائص الاساسية المشتركة او المتشابهة بين معظم الكائنات الحية اي يختص بدراسة العمليات الحيوية مثلا التغذية والتنفس والايخراج والتكاثر والحركة الى غيرها من الفعاليات دون التقيد بنوع معين من الحيوان او النبات اذ تدرس الاسس العامة للعمليات الحيوية اعتمادا على وحدة القوانين المتحكمة بالمادة الحية بالرغم من اختلاف الوسائل التي بوساطتها تؤدي الكائنات الحية المختلفة وظائفها العضوية المتعددة ، مثال : التنفس الخلوي ( اي تحرر الطاقة من المواد الغذائية وتحويل تلك المواد في النهاية الى  $CO_2$  و  $H_2O$  ) متشابهة في جميع الكائنات الحية ( الاميبا او الانسان ) ويطغى التشابه بالخواص الاساسية على الاختلاف في تفاصيل عملية التنفس لكليهما .

2- علم الفسلجة المقارن **Comparative physiology** : يهتم بدراسة الالوجه المختلفة والمتشابهة (مقارنة) للطرائق التي تؤدي بها الكائنات الحية وظيفة معينة مثل التنفس او الهضم او الايخراج .

كما ظهرت تخصصات فرعية اخرى ففي فسلجة الانسان والحيوان توجد فروع متمثلة بفسلجة الاعصاب وفسلجة الجهاز العصبي الوعائي وفسلجة الغدد الصم وفسلجة التكاثر . وتداخلت فسلجة الحيوان مع فروع علوم الحياة الاخرى كعلم الاجنة وعلم التشريح وعلم الامراض . كما تمتلك بعض المجاميع من الاحياء اهمية اقتصادية مما دعى الى الاهتمام بدراسة وظائفها فنشأت فروع متمثلة بفسلجة الحشرات وفسلجة القشريات وفسلجة الرخويات وفسلجة الاسماك وفسلجة اللبائن وتوجد فروع كذلك في عالم النبات . كما توجد فروع اعتمادا على طريقة الدراسة ونتائجها مثل الفسلجة الكهربائية والفسلجة التطبيقية .

الطرائق التجريبية لعلم الفسلجة : علم الفسلجة علم تجريبي يبدأ بالملاحظة ووصف الظاهرة او العملية الحيوية على مستويات مختلفة تنتهي بنشاط وسلوك الكائن الحي كما يتضمن فحص التشريح العام والنسجي والخلوي وقد ثبت الترابط الكبير بين التركيب والوظيفة وتعد هذه العلاقة مبدأ من مبادئ الفسلجة فتركيب العضلة الهيكلية كما يبدو بالمجهر الضوئي والتركيب الدقيق لاليافها كما يظهر بالمجهر الالكتروني والتركيب الكيميائي للمكونات البروتينية التقلصية والتفاعلات الكيميائية التي تولد الطاقة الضرورية للتقلص العضلي تشترك جميعا لاتمام وظيفة تقلص العضلة .

## الطرائق التقليدية لدراسة وظائف الاعضاء :

- 1- يتم استئصال جزء من الكائن الحي عضوا او نسيجا وملاحظة تداعيات فقدانه على فعالية الكائن الحي .
  - 2- استعمال بعض العقاقير الكيميائية او الوسائل الالية ( ربط وعاء دموي وقطع جريان الدم الى عضو معين ) لتعطيل عمل العضو مؤقتا وملاحظة تاثير ذلك على فعاليته .
  - 3- تغيير معدل نشاط العضو وملاحظة التاثير في جزء منه اوفي العضو بأكمله .
  - 4- التعويض عن العضو المستأصل باعطاء الحيوان جرعة من مفرزاته مثل الثايروكسين عند استئصال الغدة الدرقية او الانسولين وبعض الانزيمات الهاضمة عند استئصال البنكرياس .
- كيف يتمكن علماء الفسلجة من متابعة التغيرات في نشاط الاعضاء وتسجيلها وقياسها ؟
- يتم ذلك باستعمال اجهزة سيطرة وقياس لمعالم Parameters اساسية متمثلة بدرجة الحرارة والضغط والجهود الكهربائية والتيارات الكهربائية والباء هاء pH للدم والسوائل الجسمية ومقادير ومعدلات استهلاك الاوكسجين وكمية الحرارة المنبعثة وتوجد العديد من الاجهزة المتطورة والطرائق الحديثة لقياس المعالم الكيموحيوية والهرمونية والدمية .
- ### المبادئ الاساسية لعلم الفسلجة: General principles of physiology :

- 1- العلاقة بين التركيب والوظيفة : تتكون اجسام الكائنات الحية من اعداد هائلة من الخلايا . تحاط الخلية بغشاء يفصلها عن الوسط الخارجي كما تختلف تراكيز الاملاح البسيطة في داخل الخلية عما هو عليه في خارجها ولابقاء الاختلاف الذي يعد تنظيما عاليا بين داخل الخلية وخارجها يجعل الكائن الحي في حاجة مستمرة الى الطاقة لادامته وان فقدان القدرة على توليد الطاقة يعني انهيار التنظيم المعقد وتعود مكونات الخلايا الى مواد متناثرة في المحيط الخارجي .
- 2- تبادل المواد مع المحيط : بالرغم من انعزال المحيط الداخلي للكائن الحي عن المحيط الخارجي الا ان المحيط الخارجي يمتد الى داخل الكائن الحي ويعد مصدرا للطاقة والمواد الضرورية لنموه وامداده بمستلزمات فعاليته الحيوية . في الانسان يصل الى رنتيه والى القناة الهضمية ليجهزه بالاكسجين والغذاء . كما يتخلص الجسم من فضلاته بوساطة الجهاز البولي والجلد اللذان يساهمان بعملية الاخراج . ان اجهزة التبادل التي تشمل الرنتين والقناة الهضمية والكليتين والجلد الى حد ما تتميز جميعا بسعة سطوحها وبتصالها بالاووعية الدموية الشعرية . يبلغ السطح الفعال للرئة 55 مترا مربعا ، ويبلغ السطح الفعال للامعاء الدقيقة 10 مترا مربع ، اما في الكلية فيبلغ 6 مترا مربعا .

- 3- الايض Metabolism : يشمل نوعان من العمليات هما عمليات الهدم ( النقيوض ) Catabolism للجزيئات الكبيرة الى جزيئات بسيطة او اكسدتها الى CO2 وH2O والحصول على الطاقة اللازمة لنمو وترميم اعضاء الكائن الحي ولانجاز فعاليته الحيوية . واما النوع الثاني من عمليات الايض فهي الابدناء Anabolism و تتضمن بناء مواد معقدة من مواد بسيطة . تقع التفاعلات الكيميائية عند دراسة الايض ضمن مجال الكيمياء الحياتية اما الجوانب الفسلجية

للايض تقتصر على استهلاك اوكسجين ونتاج CO2 او نتائج اخرى ( مؤيضات ) وانبعث الحرارة واستهلاك الغذاء ، ولتحديد معدلات الايض استعملت اجهزة قياس السرعات Calorimeters .  
4- التنسيق الداخلي Internal coordination: يعتمد على حجم الكائن الحي ففي الكائن احادي الخلية فان الحركة العشوائية للمواد كافية لانتقالها بين اجزاء الخلية وتحقيق التنسيق الكيميائي والحركة الدورانية Cyclosis تعجل التنسيق .

اما الكائنات متعددة الخلايا فتمتلك اليات لتحقيق التنسيق المطلوب وهي :

أ- جهاز الدوران : هو جهاز نقل متخصص ينقل المواد من والى الخلايا اي من المناطق التي توجد فيها بغزارة الى مناطق تفتقر اليها كانتقال الاوكسجين من الرئة الى النسيج حيث يستهلك كما ينقل CO2 من النسيج الى الرئتين للتخلص منه . ينقل السكر الفانض الى الكبد او العضلات لخرنه بهيئة كلايوجين . ينقل الدهون المخزونة لتوليد الطاقة . ينقل الفضلات النيتروجينية ( اليوريا ) الى الكليتين لاجراجها . يعمل على نقل الحرارة وتوزيعها في انحاء الجسم من الاعضاء النشطة الى الاعضاء الخاملة نسبيا ويلطف حرارة الجسم بالتخلص من الفائض منها بوساطة الجلد

ب-جهاز الغدد الصم : هو مجموعة من الغدد الصم تقوم بافراز هرمونات متخصصة في الدم وتنقل الى النسيج والاعضاء المستهدفة فاما تزيد من نشاطها او تثبطها . تتميز الهرمونات ببطئ عملها التنسيقي . قد يمتلك الهرمون الواحد نشاطان متضادان مثال ذلك الادرينالين فهو يوسع الاوعية الدموية في العضلات الهيكلية ويضيق الاوعية الدموية في الجلد لغرض تزويد العضلات بالاوكسجين والطاقة اللازمين في حالات الطوارئ كالانفعال والاجهاد Stress التي تقتضي الكر والفر . يتميز التنسيق الهرموني بكونه بطيء يستغرق عدة ساعات كهرمون النمو المفرز من غدة النخامي اي ان الاستجابات عند التنسيق الهرموني تكون طويلة الامد .

ج- الجهاز العصبي : يرسل سيالات عصبية بين اجزاء الجسم بسرعة فائقة كما هو حاصل عند الاستجابة بشكل منعكسات شوكية التي تستغرق اجزاء من الثانية ، اذ يحدث هذا النوع من التنسيق في الحالات التي تتطلب سرعة التنفيذ مقارنة بالتنسيق الهرموني . ان تحقيق استجابات طويلة الامد بالتنسيق العصبي كما هو عليه في التنسيق الهرموني يعد شئ لايمكن حدوثه كونه يتسبب بانهاك الجهاز العصبي نتيجة توليد سيالات عصبية متكررة ومستمرة لفترات طويلة .



**الآلية ثنائية التأثير المتضاد ( الآلية الدفع والسحب Push-Pull mechanism ) :**  
يشترك الجهازان الغدي والعصبي بهذه الآلية وبذلك يكون نشاط العضو محصلة أما لتأثير هرمونين متضادين أو لتأثير تنبهيين عصبيين متضادين وتسمى الآلية الدفع والسحب. والعمل بهذه الآلية يكون أفضل من استعمال تأثير واحد متدرج يتحكم بنشاط العضو. إن معظم التنسيق العصبي الداخلي يكون ناجم عن الجهاز العصبي الذاتي بشقيه الودي ( العطوف) ونظير الودي ( نظير العطوف). يخضع القلب والأمعاء وبقيّة الأحشاء الداخلية لآلية الدفع والسحب.

**5- حالة الاستتباب أو الاتزان أو الاستقرار البدني Homeostasis:** تبقى المعالم الفسيولوجية المتمثلة بدرجة الحرارة والبياء هاء ( الأس الهيدروجيني) pH للسوائل الجسمية ونسبة الكلوكوز أو تركيز الأيونات ثابتة ضمن حدود ضيقة، ويعد الانحراف عن تلك الحدود حالة مرضية. وإن اختلفت قيم تلك المعالم لسبب ما فسرعان ماتعود لقيمها السوية أي تحقق حالة الاستتباب. تدعى الآلية التي تحقق الاستتباب بالآلية التغذية الاسترجاعية Feedback mechanism.

تقسم الآلية التغذية الاسترجاعية إلى نوعين :

**أ- الآلية التغذية الاسترجاعية الموجبة positive feedback mechanism :** إن المستويات المتدنية من الاستروجين في الدورة الشهرية تنبه إفراز الهرمون المنبه للجريبات FSH فيقوم بتنبيه إفراز الاستروجين والنتيجة هي زيادة كليهما.

**ب- الآلية التغذية الاسترجاعية السالبة Negative feedback mechanism :** تكون أكثر شيوعاً في الجسم من الأولى في العمليات الفسيولوجية. إن ارتفاع الكلوكوز في الدم ينبه إفراز هرمون الأنسولين الذي يقوم بتحويل الفانوس من الكلوكوز إلى كلايوكوجين يخزن في الكبد مما يعدل مستوى الكلوكوز بالدم ويعود إلى مستواه السوي فيتوقف إفراز الأنسولين.

من الأمثلة الأخرى عن هذا النوع من التغذية الاسترجاعية الهرمون المضاد للإدرار ( الأبالة) ADH ويدعى أيضاً الهرمون الرازم، والمفرز من الفص الخلفي لغدة النخامي والذي يعمل على إعادة امتصاص الأنيبب الكلوي ( النفرون) للماء. يزداد إفراز الهرمون عند فقدان الجسم للماء وارتفاع الضغط التناضحي للدم فيعيد امتصاص الماء من تجويف النفرون مما يؤدي إلى انخفاض الضغط التناضحي للدم ويتوقف إفراز الهرمون.

**6- التنسيق الخارجي External coordination :** يحصل هذا النوع من التنسيق بين البيئة الخارجية وجسم الكائن الحي إذ تؤثر التغيرات الحاصلة بالمحيط الخارجي على نشاط وسلوك الكائن الحي. يعتمد التنسيق الخارجي على نوع الكائن الحي فيمتلك بروتوبلازم الكائنات أحادية الخلية قابلية على استشعار التغيرات بالمحيط الخارجي. أما الكائنات الراقية ( الفقريات) فيقوم الجهاز العصبي

بالاستشعار والتنسيق، أذ تصل المعلومات بوساطة المستقبلات الى الجهاز العصبي المركزي خلال الالياف الحسية فيستجيب الحيوان بشكل سيالات عصبية تنتقل عبر الالياف العصبية الحركية الى المنفذات ( العضلات والغدد) . اما الاستجابة فتكون بنوعين - استجابة بسيطة بهيئة منعكسات شوكية ان كانت على مستوى الحبل الشوكي فيكون بذلك رد الفعل سريع دون تدخل الدماغ وبا يجنب الحيوان الخطر دون الحاجة الى تفكير .

ب- استجابة معقدة عند تدخل الدماغ وقد تكون الاستجابة المعقدة سلوكيات غريزية تحسبا للظروف المناخية ( ظروف الشتاء) فتقوم بجمع الغذاء او الهجرة الى اماكن مناسبة . او تكون الاستجابة عبارة عن شكلا تكيفيا متمثل بالسبات او نمو الفراء بغزارة او بناء المساكن وتبدل عادات التغذية و الملابس كما يمارسه الانسان .

فسلجة الاعصاب Nerves physiology

يمتلك الكائن الحي القدرة على التاثر بالمؤثرات في البيئة الداخلية او الخارجية



فيبدي استجابة ( Excitation or inhibition ) Response



وسائل التنسيق التي يستجيب بها تكون منسجمة مع درجة تطور الكائن وهي :



1- التنسيق الكيميائي في الكائنات احادية الخلية ويتمثل بالنواة (تقابل الدماغ في الكائنات الارقي تطورا )



فتسيطر بذلك على تخليق البروتينات ذات القابلية التقلصية المسؤولة عن



حركة السوط في اليوغلينا والاهداب في البراميسيوم بما يعود بالنفع لها وبما يضمن التلاوم مع العوامل البيئية في محيطه من حرارة وملوحة واضاءة .

2- التنسيق العصبي في الكائنات متعددة الخلايا : ويتم بوساطة الجهاز العصبي الذي يختلف في تركيبه اعتمادا على درجة تطور الكائن والمقصود بالتنسيق هو السيطرة على جميع الفعاليات الحيوية وتنظيمها ، كما يعمل على تنبيه الكائن الحي عن التغيرات الحاصلة في المحيطين الخارجي والداخلي والتي تؤدي الى حدوث استجابة من قبل الكائن الحي للتكيف مع الظروف المحيطة به .

احتياج الحيوانات متعددة الخلايا للتنسيق الكيميائي : على الرغم من عدم كفاية التنسيق الكيميائي في هذه الحيوانات لكونه بطيء (اذ يتناسب الوقت اللازم لانتشار المادة الكيميائية طرديا مع مربع المسافة المقطوعة)، ولكون اجسامها مؤلفة من عدد كبير جدا من الخلايا فلا بد من وجود وسيلة اسرع للتنسيق بين الخلايا المختلفة ، الا انها تحتاج للتنسيق الكيميائي لتحقيق بعض الاستجابات التي لا تتطلب سرعة لانجازها . كما توجد وسائل تسرع التنسيق الكيميائي لتحقيق استجابات سريعة في الحيوانات متعددة الخلايا متمثلة بالاتي :

1-امتلاكها وسائل لتسريع التنسيق الكيميائي متمثلة بدوران السوائل الجسمية ( الدم واللمف ) مما يسرع بانتقال الهرمونات في الدم .

2-امتلاك هذه الحيوانات الياف عصبية طويلة تزود الاعضاء المختلفة وتقوم بافراز النواقل الكيميائية من نهاياتها منبهة بذلك عصبونة اخرى او عضلة او غدة .

### الجهاز العصبي Nervous system

يقسم الجهاز العصبي تشريحيًا على ثلاثة اقسام هي :

- 1-الجهاز العصبي المركزي Central nervous system ويشمل الدماغ Brain والحبل الشوكي Spinal cord (يؤدي وظيفة التنسيق والتكامل) .
- 2- الجهاز العصبي المحيطي Peripheral nervous system يشمل الاعصاب القحفية Cranial nerves والشوكية Spinal nerves. ( ينقل السيالات من اعضاء الحس واعضاء الجسم الى الجهاز العصبي المركزي ، ومن الجهاز العصبي المركزي الى اعضاء الحركة ( العضلات) والغدد. ويقع خارج الجهاز العصبي المركزي .
- 3-الجهاز العصبي الذاتي Autonomic nervous system : ويقسم الى قسمين أ- الجهاز العصبي السمبثاوي Sympathetic nervous system .  
ب- الجهاز العصبي نظير السمبثاوي Parasympathetic nervous system

تركيب النسيج العصبي : يتكون النسيج العصبي من نوعين من الخلايا هما :

- 1- الخلايا الدبقية Glia cells .
- 2- العصبونات Neurons .

### مميزات الخلايا الدبقية :

- 1- ليس لها القابلية على التهيج .
- 2- تقوم بالاسناد والتغذية والحماية ( منع وصول السموم من الدم الى العصبونات) .

**3- اعدادها :** اكدت الدراسات الحديثة ان نسبة الخلايا الدبقية الى العصبونات اقل من 1 : 1 في دماغ اللبائن .

**4- تكون الخلايا الدبقية** بانواع مختلفة منها :-**الخلايا النجمية Astrocytes:**تقوم بربط العصبونات مع الاوعية الشعرية الدموية الموجودة بطبقة الام العطوف المحيطة بالدماغ .

**ب- الخلايا قليلة التشجر Oligodendrocytes :** تعمل بوساطة غلافها النخاعي Myelin sheath على تغليف محاور العصبونات في ال CNS فتحقق بذلك عزلا كهربائيا Electrical insulation للمحاور .

**ج- خلايا شوان Schwann cells :** تعمل بوساطة غلافها النخاعي على تغليف محاور عصبونات الجهاز العصبي المحيطي محققة العزل الكهربائي للمحاور .

**د- الخلايا الدبقية الصغيرة Microglia :** خلايا متطاولة بروتاتها الشجيرية قصيرة تقوم بالبلعمة وافراز الساييتوكينات وتعمل على ازالة الحطام الخلوي الناجم عن ضرر الجهاز العصبي المركزي.

### مميزات العصبونات :

1- لها القابلية على التهيج Excitability اوالتأثرية Irritability ( انعكاس لجهد الغشاء).

2- تمتلك العصبونات ميزة استلام المعلومات ونقل السيالة العصبية (التوصيل) Conductivity او Conduction .

3- اشارت المصادر الحديثة الى نتائج عالمة الاعصاب Suzana Herculano- Houzel في 2013 بعد حسابها العصبونات في اربعة ادمغة بشرية لمتبرعين للاغراض العلمية ، اذ توصلت الى ان عدد العصبونات ( 86 بليون ) عصبونة وليس 100 بليون كما كان يذكر في المصادر السابقة .

4- تختلف العصبونات في اطوالها بعضها قصيرة جدا اقل من مليمتر والبعض الاخر يبلغ طولها واحد متراوا اكثر فمحور العصبونة الحركية الواقعة في الحبل الشوكي والذي يعصب عضلة في القدم يبلغ واحد متر او اكثر .

### نظريات تفسير ارتباط العصبونات:

فسرت النظرية المعروفة بالنظرية الشبكية Reticular theory (التي سادت في القرون الوسطى) ارتباط العصبونات مع بعضها تفسيراً خاطئاً إذ نصت على اندماج العصبونات مع بعضها بعض مكونة مدمجا خلويا Syncytium مماثل للشبكة . نتيجة للدراسات التي توالنت فيما بعد تم التوصل الى نظرية العصبة Neuron theory والتي دحضت النظرية السابقة . وقد اشارت نظرية العصبة الى ان العصبونات المكونة للجهاز العصبي تتقارب من بعضها بعض دون اي اتصال اواندماج فيما بينها اي ان الاتصال وظيفي وليس تشريحي .

انواع العصبونات : يوجد انواع من العصبونات في الجهاز العصبي كالآتي :

أ- اعتمادا على الوظيفة: 1- العصبونة الحسية Sensory neuron

2- العصبونة البينية او الرابطة Intermediate or connecting neuron

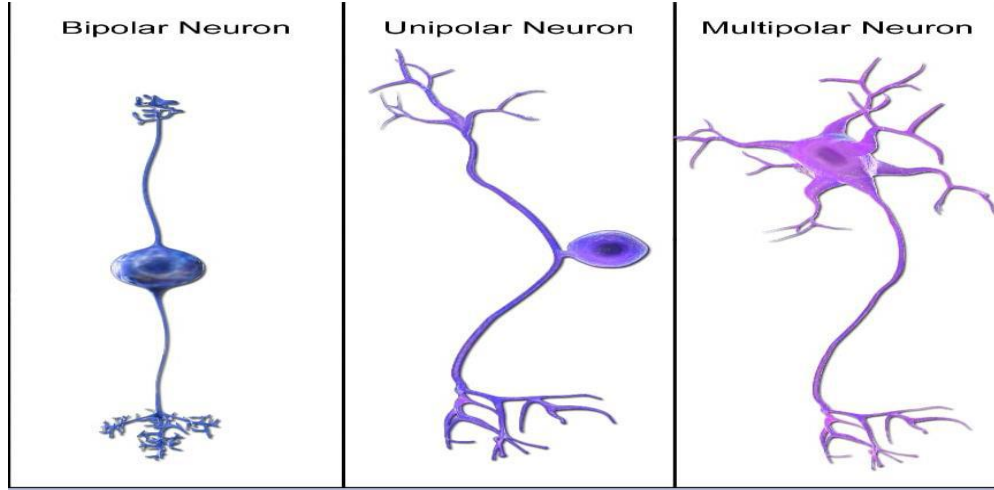
3- العصبونة الحركية Motor neuron

ب- اعتمادا على التركيب ( الزوائد الصادرة من جسم العصبونة ):

1- العصبونة متعددة الاقطاب Multipolar neuron

2- العصبونة ثنائية القطب Bipolar neuron

3- العصبونة احادية القطب Unipolar neuron ( الشكل - 1 ) .



الشكل - 1 : انواع العصبونات اعتماداً على التركيب .

العصبونة متعددة الاقطاب : هي اكثر انواع العصبونات انتشار في الجهاز العصبي سميت كذلك لاحتوائها زوائد عديدة ممتدة منها ( الشكل - 2 ) .

تتالف هذه العصبونة من التراكيب الاتية :

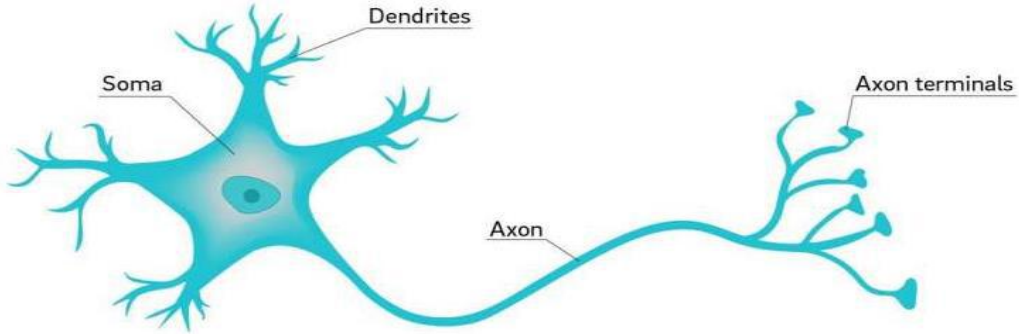
1- جسم العصبونة Soma :يمتلك جسم العصبونة مظهرا نجميا بسبب الامتدادات السائتوبلازمية البارزة منه والتي تكون بشكل بروزات قصيرة ومتفرعة تدعى البروزات

الشجيرية Dendrites فضلا عن امتداد بروز طويل ملفت للنظر غير متفرع الا في نهايته يدعى المحور Axon ( ليف عصبي) .يحتوي جسم العصبونة على نواة كبيرة دائرية مركزية الموقع حاوية على نوية واكثر. فضلا عن اعداد من المقدرات Mitochondria وجسم كولجي وشبكة اندوبلازمية ولايسوسوم وحبيبات نسل . ان جميع ماتحتاجه العصبونة لعملها ( افرازها ) يبني في جسم الخلية .

2- البروزات الشجيرية : تعمل على نقل المعلومات من الوسط خارجها باتجاه جسم الخلية.

3- المحور: يبرز من جسم الخلية تحديدا من منطقة التليل المحوري Axon hillock ويعمل على نقل المعلومات ( السيالة العصبية ) بعيدا عن جسم الخلية الى عصبونة اخرى او عضلة او غدة . يتميز سايتوبلازم المحور بخلوه من العضيات باستثناء احتوائه على الانبيبات الدقيقة Microtubules والخيوط الدقيقة Microfilaments الممتدين بموازاة المحور الطولي للمحور . يضمن انزلاق الخيوط فوق الانبيبات دفق سريع للسايتوبلازم الذي يدعى جريان السايتوبلازم المحوري اي يستمد المحور المواد الاساسية اللازمة لادامته من جسم الخلية .

Multiple neuron



الشكل - 2 : العصبونة متعددة الاقطاب

The nerve: ترتبط محاور العصبونات ( الالياف العصبية ) بعضها ببعض بواسطة نسيج ضام فتتكون حزمة محاطة بنسيج ضام ليفي . كما ترتبط العديد من هذه الحزم بواسطة نسيج ضام غني بالوعية الدموية فيتكون العصب الذي يحاط بغلاف من نسيج ضام سميك نسبيا .

الظواهر الكهربائية: تمتلك العصبونات عدد من الظواهر الكهربائية متمثلة بجهد الراحة وجهد الفعل والجهود الكهربائية التوتيرية . ساتطرق لشرح كل واحدة منها .

## 1- جهد الراحة : Resting potential

يكون الغشاء البلازمي في الاحوال الاعتيادية ( وضع الراحة دون تاثرها باى مؤثر) لجميع الخلايا ومنها العصبونات والخلايا العضية مستقطبا Polarized ، اي هناك فرق في الشحنة على جهتي الغشاء بمعنى وجود فرق في الجهد بحيث يكون السطح الخارجي موجب قياسا بالوسط الداخلي و بالسطح الداخلي ولو تم قياس الفرق بوضع اقطاب على جهتي الغشاء لسجل رقم يتراوح من 9mv - الى 100mv - اعتمادا على نوع الخلايا . يطلق على الفرق في الشحنة بين جهتي الغشاء اسم جهد الراحة Resting potential والذي يدعى ايضا ( جهد الغشاء بحالة الراحة Resting membrane potential ) ويعطى الإشارة السالبة بمعنى ان السطح الداخلي يكون سالبا قياسا بالخارجي . ويظهر بشكل خط مستقيم على شاشة جهاز منظار ( مخطاط ) الذبذبة Oscilloscope .

### اسباب جهد الراحة: توجد عدة اسباب لتولد جهد الراحة كالآتي :

- 1- الاختلاف في تركيز ايونات البوتاسيوم  $K^+$  بين داخل الخلية وخارجها حيث ان تركيزها داخل الخلية اعلى من تركيزها خارج الخلية ب 30 مرة ، كذلك بالنسبة لايونات الصوديوم  $Na^+$  فتركيزها في السائل خارج الخلية يكون 10 اضعاف مما هو عليه في داخل الخلية ، اذ تفتقر العصبونة كبقية خلايا الجسم الى ايونات الصوديوم في حين تكون غنية بايونات البوتاسيوم. كما ان تركيز ايونات الكلور خارج الخلية اعلى مما في داخلها ( الشكل - 3 ) . كما تحافظ مضخة ايونات الصوديوم البوتاسيوم الموجودة في غشاء الخلية على بقاء الاختلاف في توزيع تركيز ايونات الصوديوم والبوتاسيوم .
- 2- وجود ايونات عضوية سالبة  $Pr^-$  ذات اوزان جزيئية عالية داخل العصبونات معظمها بروتينات متאיئة .
- 3- اختلاف النفاذية permeability : تكون النفاذية من قبل الغشاء للايونات غير متساوية ، فالغشاء اثناء تولد جهد الراحة يكون اكثر نفاذية لايونات البوتاسيوم  $K^+$  مما هو لايونات الصوديوم  $Na^+$  بحوالي 40 الى 100 مرة .

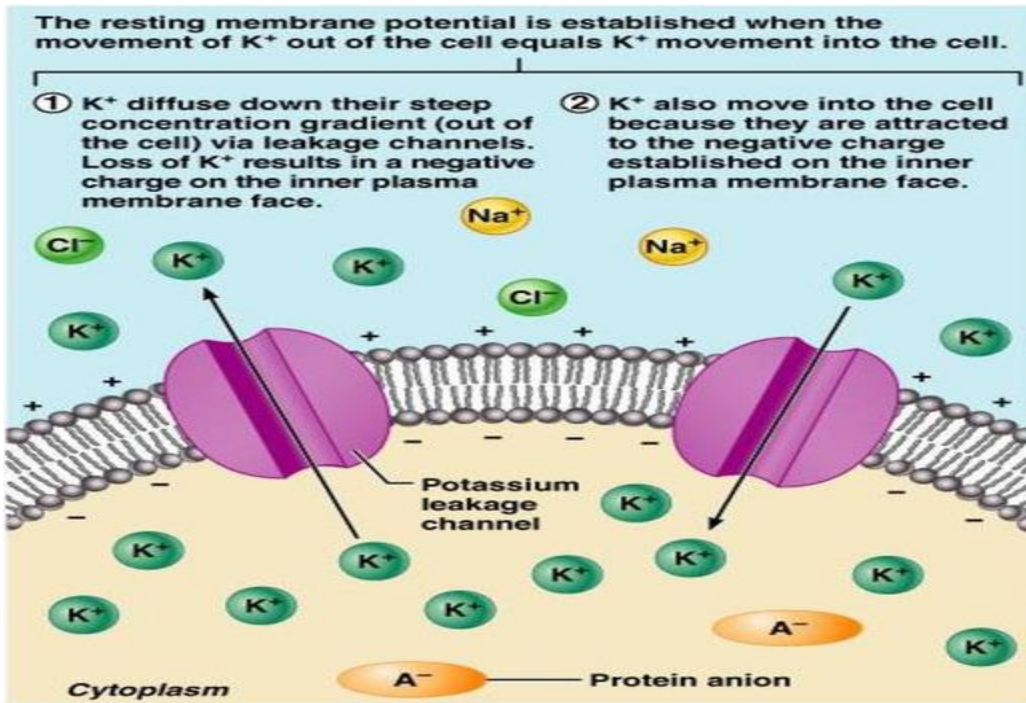
### دور قوتا التركيز والكهربائية في نشؤ فرق الجهد:

استنادا لما تم ذكره تميل ايونات البوتاسيوم للمغادرة من داخل العصبونة عبرقنوات بروتينية منتشرة في الغشاء البلازمي للعصبونة متخصصة لمرورايونات البوتاسيوم  $K^+$  دون غيرها من الايونات تدعى قنوات ايونات البوتاسيوم الميوبة فولتيا Voltage-gated  $K^+$  channels بالية الانتشار فيصبح داخل الخلية سالبا بالنسبة لخارجها ويكتسب السطح الداخلي لغشائها الشحنة السالبة بينما يكون خارج الخلية موجبا ويكتسب السطح الخارجي



لغشاء الخلية الشحنة الموجبة. وعليه تتولد قوتان تحكم حركة ايونات البوتاسيوم وتعملان باتجاهين متضادين هما :

- أ- قوة التركيز التي تميل لدفع ايونات البوتاسيوم خارج الخلية .  
 ب- القوة الكهربائية الناتجة عن سببين هما : 1- خروج ايونات البوتاسيوم فتقل الموجبية في داخل الخلية . 2- وجود البروتينات المتأينة ذات الشحنة السالبة العالية في داخل الخلية فقط ، مما يؤدي الى اكتساب الوسط الداخلي للخلية والسطح الداخلي لغشاء الخلية الشحنة السالبة قياسا بما هو عليه خارج الخلية ، اذ تميل القوة الكهربائية الناتجة لسحب ايونات البوتاسيوم ثانية الى داخل الخلية . ويبقى التنافس قائما بين القوتان حتى تتساويان اي ان محصلة انتقال ايونات البوتاسيوم  $K^+$  يعادل صفر (يتحقق توازن بحيث مقابل كل ايون بوتاسيوم يقذف الى الخارج يدخل ايون بوتاسيوم الى الخلية مرة ثانية بفعل القوة الكهربائية المضادة فلا توجد محصلة حركة ) ، ويكون سطح الغشاء عندئذ موجب الشحنة من الخارج ومشحون بالشحنة السالبة من الداخل قياسا بالسطح الخارجي مع بقاء تركيز ايونات البوتاسيوم في داخل الخلية اعلى مما في خارجها لذا يكون جهد الراحة هو جهد التوازن لايونات البوتاسيوم  $E_K$  ( الشكل - 3 ) .



الشكل - 3 : تولد جهد الراحة ، ( للاطلاع فقط ) .

يدعى الفرق في الجهد عبر غشاء العصبونة بجهد الراحة او جهد التوازن لايونات البوتاسيوم . وتبلغ القيمة العملية لجهد الراحة ( 70mv - ) بينما تبلغ القيمة النظرية ( 90mv - ) . وعند تولد جهد الراحة تكون بوابات الصوديوم مغلقة اي الغشاء شبه عديم النضوحية لايونات الصوديوم .

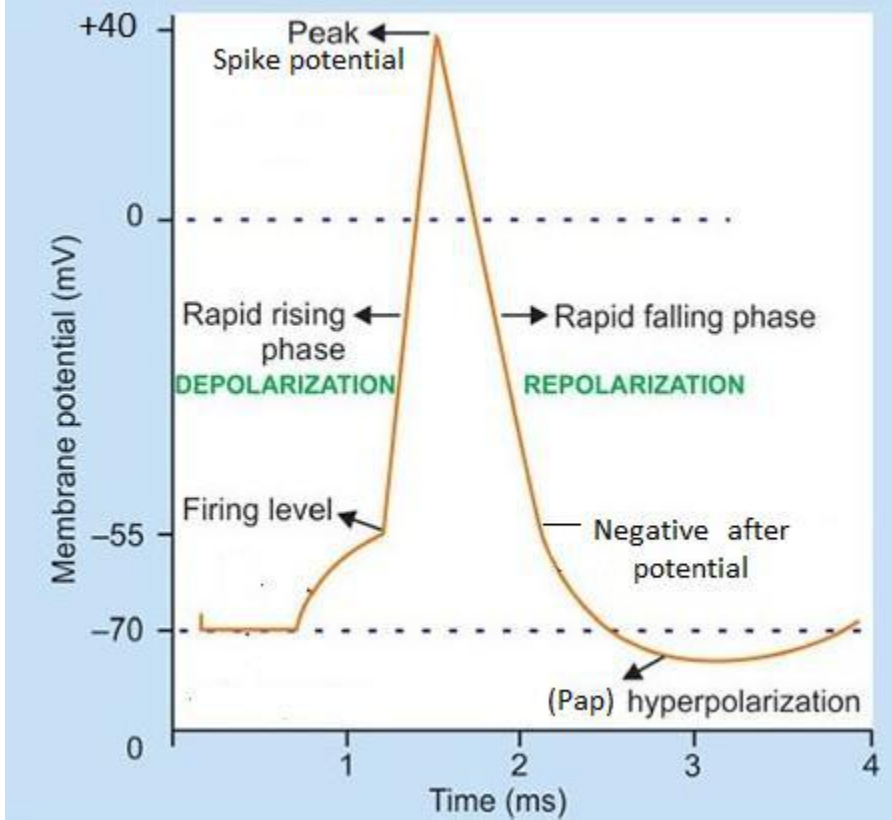
## 2 - جهد الفعل Action potential :

يحدث اضطراب موضعي في جهد غشاء الخلايا القابلة للاستثارة فقط Excitable cells عند تنبيه الليف العصبي ويستمر بضع ملي ثواني . وهو عبارة عن تغيير موضعي قصير المدى في نضوحية الغشاء اذ يكون قليل النضوحية لايونات البوتاسيوم ، بينما يكون الغشاء شديد النضوحية لايونات الصوديوم  $Na^+$  عبر قنوات مبنية فولتيا متخصصة لمرورها تدعى Voltage-gated  $Na^+$  channels . ولكون تركيز ايونات الصوديوم عالي خارج العصبونة مقارنة بداخلها ستدخل ايونات الصوديوم بالية الانتشار البسيط مما يؤدي الى تغيير ( انخفاض ) في فرق الجهد على جانبي الغشاء عما هو عليه في حالة الراحة صاعدا من 70mv- متجها نحو الصفر ( اي لا يوجد فرق بالشحنة على جانبي الغشاء ) وتدعى هذه العملية زوال استقطاب Depolarization كما تدعى ايضا الطورالصاعد Raising phase ، ولايتوقف التغيير في فرق الجهد عند الصفر بل يحدث انقلاب وقتي في جهد الغشاء فيصبح داخل الخلية موجب بالنسبة لخارجها وتبلغ قيمته ( 40mv + ) ويدعى جهد الذروة (الشوكة) اي ان الجهة الداخلية للغشاء اصبحت موجبة الشحنة ، فتغلق عندئذ بوابات قنوات ايونات الصوديوم  $Na^+$  ويزداد انفتاح بوابات قنوات ايونات البوتاسيوم فنضوح الغشاء لايونات البوتاسيوم  $K^+$  بدرجة اكبر . يبلغ زمن التغيير في النضوحية (2msec) ثم يعود الغشاء الى خواصه النضوحية السابقة ووضعه السابق ( السطح الخارجي موجب بالنسبة للسطح الداخلي ) من جديد وتدعى هذه العملية عودة استقطاب Repolarization كما تدعى ايضا بطور الهبوط Falling phase . وتبقى بوابات قنوات ايونات البوتاسيوم مفتوحة اثناء الهبوط الى جهد الراحة مما يؤدي الى خروج زيادة من ايونات البوتاسيوم فحصول فرط استقطاب الغشاء Hyperpolarization . ويطلق على مجمل العمليات من زوال استقطاب وانقلابه ثم عودة الاستقطاب وفرط الاستقطاب وعودته مرة اخرى الى جهد الراحة مصطلح جهد الفعل او الفعالية Action potential .

### مراحل جهد الفعل :

- 1- جهد الذروة ( الشوكة ) Spike potential : هو أقصى درجة لانقلاب استقطاب جهد الغشاء اثناء زوال الاستقطاب Depolarization و تغلق في هذه المرحلة بوابات قنوات الصوديوم ويكون انفتاح بوابات قنوات ايونات البوتاسيوم قد ابتدا .

- 2- الجهد التلوي السالب Negative after potential : يمثل الرجوع البطئ لجهد الغشاء الى مستوى الراحة ويقع في مرحلة نزول جهد الفعل اي انه يمثل مرحلة عودة الاستقطاب Repolarization البطيء التي تتبع الهبوط السريع .
- 3- الجهد التلوي الموجب (Pap) Positive after potential يمثل فترة فرط زيادة الاستقطاب Hyperpolarization للغشاء ثم رجوع جهد الغشاء الى وضع الراحة ( الشكل - 4 ) .



الشكل - 4 : مراحل جهد الفعل .

ان قيمة جهد الفعل النظرية = +66mv

بينما قيمة جهد الفعل العملية = + 40mv

قياس النشاط الكهربائي ( جهد الراحة وجهد الفعل ) :

يقاس كل من جهد الراحة وجهد الفعل نظريا وعمليا كالآتي :

1- يتم احتساب جهدي الراحة والفعل وفق معادلة نيرنست Nernst equation والتي تكون

$$E_{ion} = \frac{R T}{z F} \log \frac{[ion]_{outside}}{[ion]_{inside}}$$

اذ ان ثابت الغاز=R ، درجة الحرارة المطلقة=T ، تكافؤ الايون=z ، عدد فاراداي=F

ا- معادلة نيرنست لقياس جهد الراحة

$$E_K^+ = 61 \log \frac{[K^+]_o}{[K^+]_i}$$

$[K^+]_o$  = تركيز ايونات ال k في الداخل

$[K^+]_i$  = تركيز ايونات ال k في الخارج

تعتمد اشارة النتيجة على قيمة لوغارتم الكسرفي المعادلة ففي حالة تركيز ايونات البوتاسيوم تكون قيمة اللوغارتم سالبة لذا فان جهد التوازن لايونات البوتاسيوم يحمل الاشارة السالبة ويكون  $E_K = - 90mv$  .

ب - معادلة نيرنست لقياس جهد الفعل

$$E_{Na^+} = 61 \log \frac{[Na^+]_o}{[Na^+]_i}$$

$[Na]_o$  = تركيز ايونات ال Na في الخارج

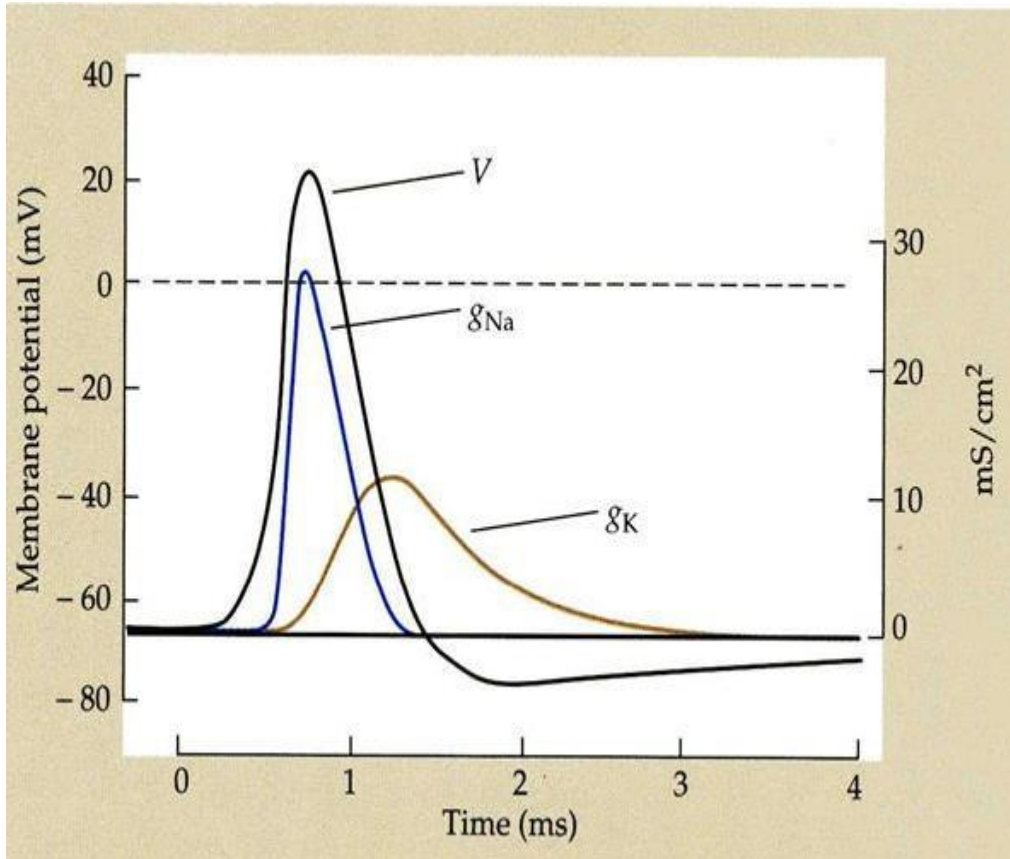
$[Na]_i$  = تركيز ايونات ال Na في الداخل

اما في حالة ايونات الصوديوم فتكون قيمة اللوغارتم موجبة لذا فان جهد التوازن لايونات الصوديوم يحمل الاشارة الموجبة ويكون  $E_{Na} = 66mv$  .

2- الطريقة العملية : يتم قياس كل من جهدي الراحة والفعل باستعمال جهاز منظار الذبذبة . Oscilloscope

### العلاقة بين نفوذية الايونات عند قياس جهد الفعل :

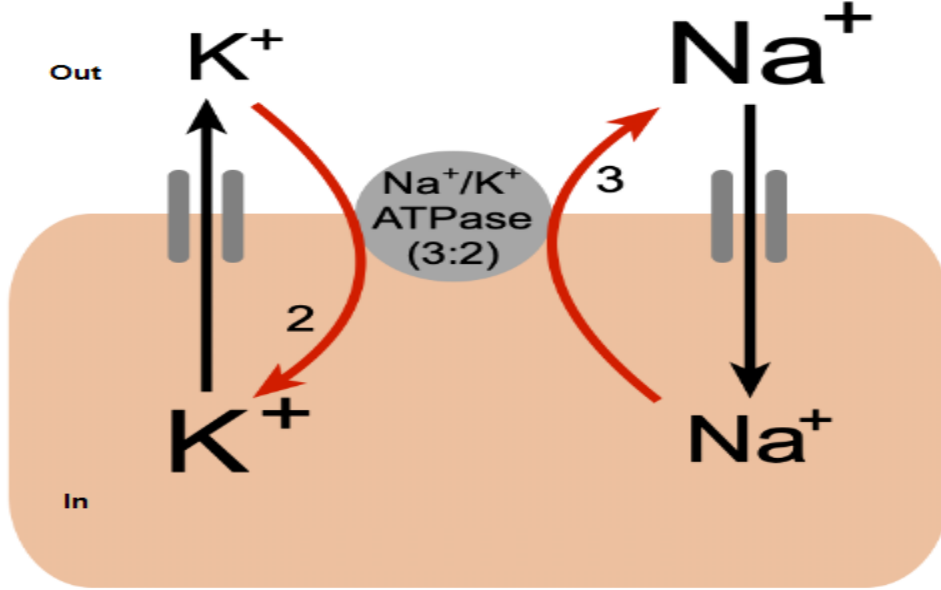
يزداد توصيل ايونات ال Na عند بداية قيام جهد الفعل من مستوى جهد الراحة للغشاء ويبقى توصيل ايونات ال K بذات مستواه في جهد الراحة ، ويؤدي ذلك الى اتجاه جهد الغشاء باتجاه جهد التوازن لايونات ال Na مروراً بزوال الاستقطاب كما ان توصيل ايونات ال Na يزداد بحدود عدة اضعاف الالاف خلال المراحل المبكرة من جهد الفعل ، بينما يزداد توصيل ايونات ال K ( 30 ) ضعف فقط خلال المرحلة الاخيرة من جهد الفعل ولفترة قصيرة . وتبلغ نفاذية الغشاء لايونات ال K 20 الى 30 مرة خلال هذه المرحلة . بينما تبلغ نفاذية الغشاء لايونات ال Na خلال جهد الفعل بحدود 5000 مرة وبذلك سيكون توصيل ايونات ال Na اكثر اثناء قيام جهد الفعل ، اذ ان اعداد قنوات الصوديوم مفتوحة بصورة واسعة اثناء زوال الاستقطاب والنتيجة انتشار ايونات ال Na الى داخل الليف اكثر من ايونات ال K المنتشر الى خارج الليف مما يجعله حاملاً للشحنة الموجبة تاركاً السطح الخارجي سالباً . وبعد انتهاء فترة التنبيه تنخفض نفوذية الغشاء لايونات الصوديوم كما هو في ( الشكل - 5 ) .



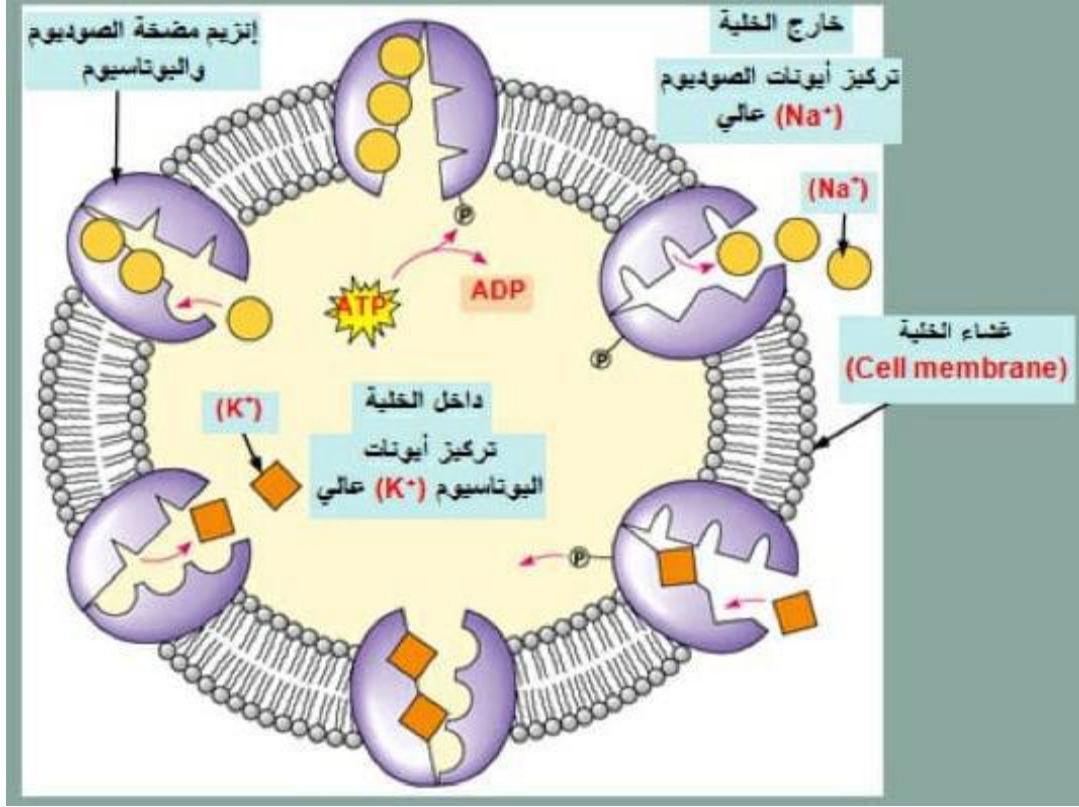
الشكل - 5 : توصيل  $Na^+$  وال  $K^+$  اثناء جهد الفعل (V) .

## مضخة الصوديوم - البوتاسيوم Na-k pump (آلية النقل الفعال):

عند انقلاب الاستقطاب في غشاء العصبونة ، يحصل تغيير قليل اذ يبلغ 1/100000 من التركيز الكلي لايونات الصوديوم والبوتاسيوم اي ان التوزيع السوي للايونات بين خارج وداخل الليف العصبي لايتغير كثيرا ومع ذلك فان عودة التوزيع السوي لايونات الصوديوم والبوتاسيوم سيتم بالية النقل الفعال بوساطة مضخة الصوديوم - البوتاسيوم . والمضخة عبارة عن وحدات بروتينية موزعة في الغشاء بحدود 200 وحدة بروتينية لكل مايكروميتر مربع وهي في الحقيقة انزيم Na-K ATPase يتم اثناء عملها صرف طاقة، وتنتقل بموجبها 3 ايونات Na الى الخارج ويتم ادخال 2 ايون K الى الداخل وتكون هذه الآلية مستمرة في الليف العصبي اثناء الراحة . اوضح العالم Katz في 1959 ان الضخ يتوقف عند تعرض الليف الى مثبطات اىضية مثل السيانيد ويمكن لليف ان يستعيد قابليته على ضخ ايونات ال Na الى الخارج لو تم حقن مركب ATP ( الشكل - 6 أ ، ب ) .



الشكل - 6 أ : آلية عمل مضخة الصوديوم - البوتاسيوم .



الشكل - 6 ب : آلية عمل مضخة الصوديوم - البوتاسيوم ( للاطلاع فقط ) .

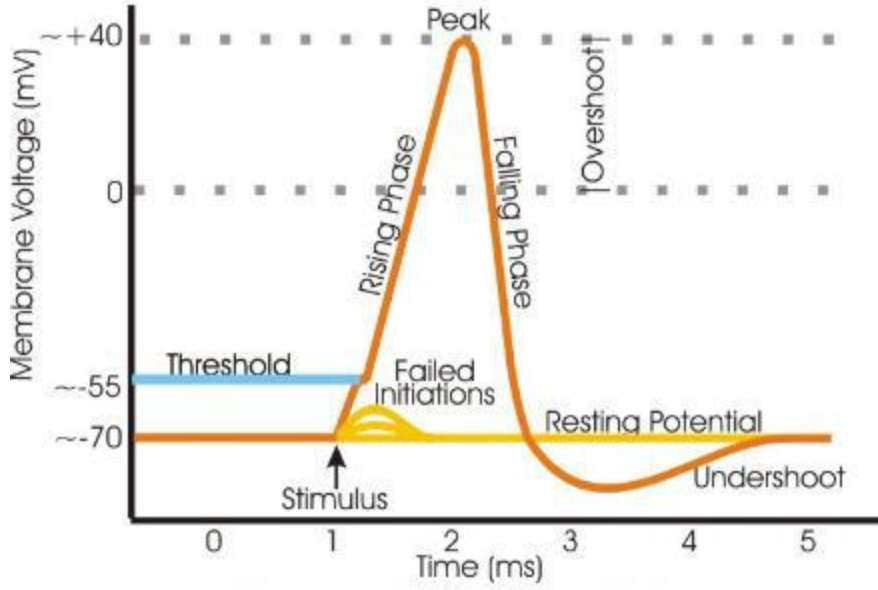
### 3 - الجهود الكهربائية التوتيرية Electrotonus potentials

عند تنبيه غشاء الليف العصبي بمنبه دون العتبة يمكن ان يسجل على شاشة منظار او مخطط الذبذبة تسجيل يدعى الجهود الكهربائية التوتيرية ، وهي عبارة عن زوال استقطاب جزئي وليس كلي في الغشاء ومن مميزات هذه الجهود :

- 1- موضعية Local بمعنى انها لا تنتقل من اماكن بعيدة عن موضع المنبه .
- 2- غير سارية Non-propagating .
- 3- متضائلة Decremental اي تتلاشى بسرعة .

يقاوم الليف هذه الجهود بعملية تدعى التلاؤم لاعادة الغشاء الى جهد الراحة قبل ان يبلغ الحد الذي يسمح بقيام جهد الفعل . اما عند استعمال رجات كهربائية متتالية ذو شدة دون العتبة قد يحصل عدم انطفاء للجهود الموضعية وتازرها لتوليد جهود فعل سارية ( الشكل - 7 ) .





الشكل - 7 : جهود كهربائية توتيرية

Failed initiation، دون حد جهد الراحة، = Undershoot، جاوز الحد، = Overshoot  
 = فشل الاستجابة للمنبهات الأولية، = Threshold = العتبة، Resting potential = جهد  
 الراحة، = الذروة = Peak.

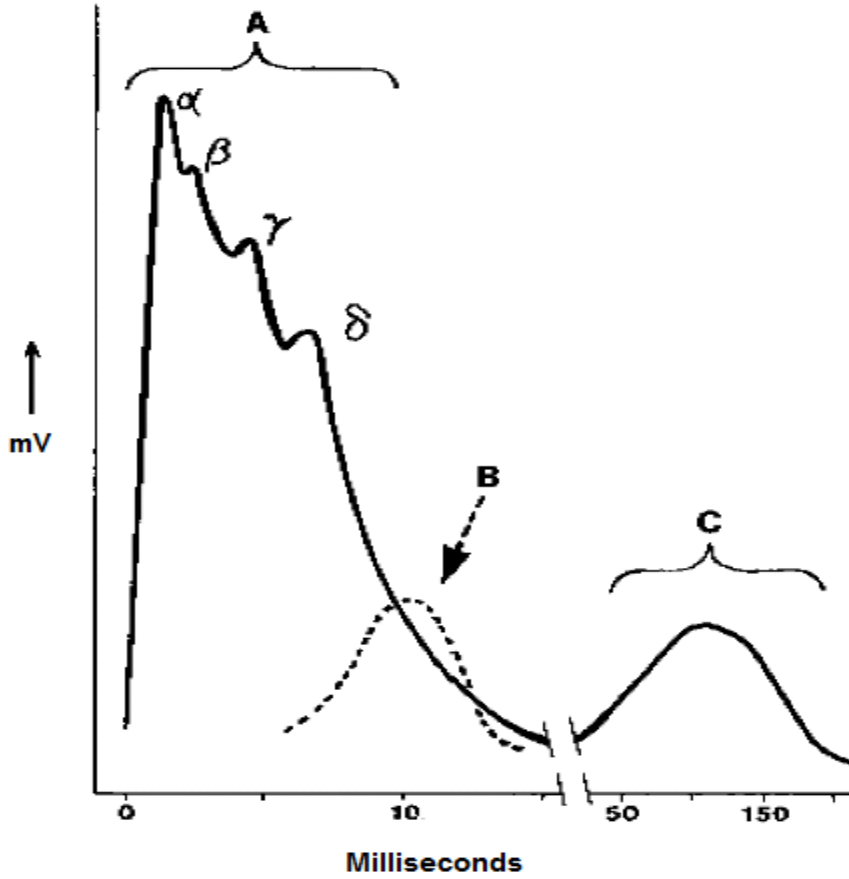
### جهد الفعل المركب Compound action potential

يتألف العصب من حزم من الالياف العصبية مختلفة في سعة اقطارها ويكونها مغمدة او غير مغمدة . كما تختلف في درجة استقطابها مما يتبع ذلك اختلاف شوكتها وسرعتها وعند تنبيه العصب الواحد يظهر تسجيل معقد . صنف العالمان Casser and Erlanger الالياف عند تحليلهما لنشاط العصب الى 3 مجاميع رئيسة وفقا لحجم وسرعة الشوكة كالاتي :

A : الياف حسية ومحركة تابعة للدماغ والحبل الشوكي كالياف الحس واللمس والحرارة والالام ، وتمتاز بان شوكتها كبيرة وسريعة . قسم العالم Erlanger مجموعة A الى مجاميع ثانوية هي الفا وبيتا وكاما و دلتا .

B و C : هما الياف غير نخاعينية من الياف الجهاز العصبي الذاتي شوكتها صغيرة وبطيئة ( الشكل - 8 ) .





الشكل - 8 جهد الفعل المركب

### السيلة العصبية Nerve impulse :

هي موجة منتقلة من جهد الفعلية ( الفعل ) تسير بمحاذاة الليف العصبي وتتضمن موجة من التغيرات الكهربائية والكيميائية والفيزيائية تتولد في جسم العصبونة وتسير باتجاه نهايات تفرع المحور ، وهذا الانتقال مهم لنقل المعلومات اما الى عصبونة اخرى او ليف عضلي او غدة .

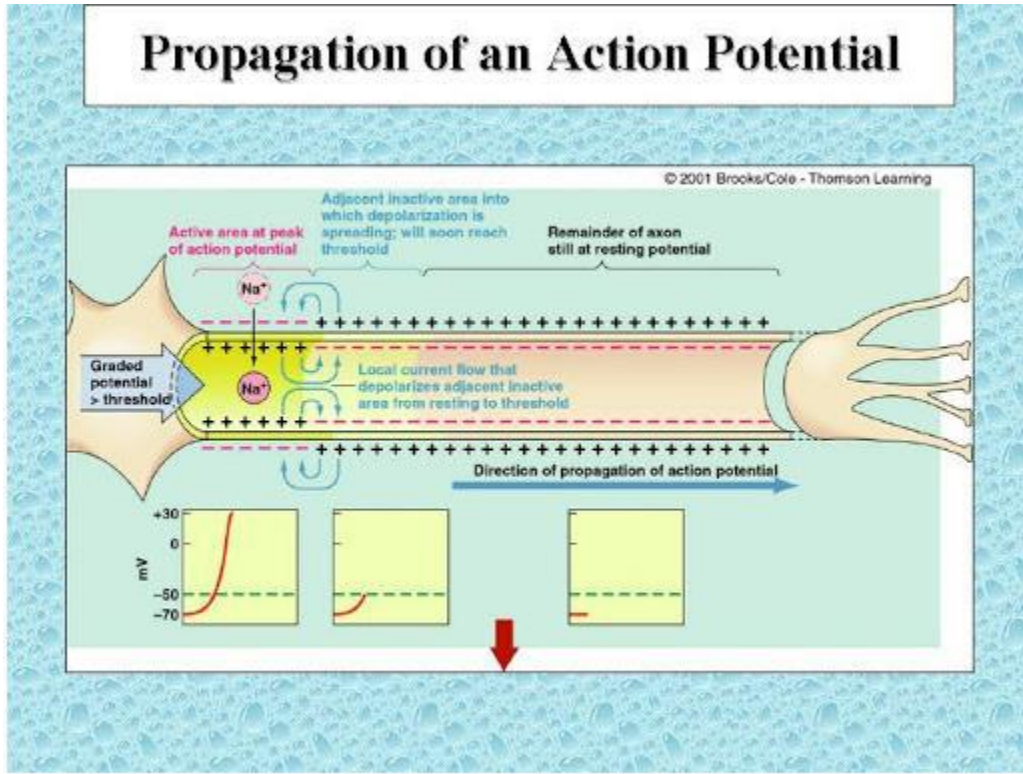
## محاضرة النظري / الجزء الثاني / 2022-2023

فسلجة الاعصاب Nerves physiologyانتقال السيلة العصبية في الليف العصبي

نظرية الدائرة الموضوعية Local circuit theory : هي النموذج المقبول عموماً لتفسير انتقال جهد الفعل من منطقة الليف العصبي المتولد فيها والتي تدعى بالقطعة الاولية Initial segment الواقعة قرب التليل المحوري والتميزة بكونها ذات عتبة واطنة ، وصولاً الى نهاية الليف العصبي بوساطة تيارات موضعية . تنشأ التيارات الموضوعية كالاتي :

يتسبب المنبه Stimulus المسلط على الليف العصبي بتغيير نضوحية الغشاء ( دخول ايونات الصوديوم كما تم شرحه سابقاً ) اي تولد جهد فعل Action potential فقط بمنطقة وجود المنبه لذا سيصبح السطح الخارجي سالبا بينما يكون السطح الداخلي موجبا في هذه المنطقة الصغيرة من الغشاء والتي تسمى عندئذ بالمنطقة النشطة Active area ، بينما بقية مناطق الغشاء مازالت تمر بجهد الراحة Resting potential ( السطح الخارجي موجب الشحنة والداخلي سالب الشحنة بفعل نفاذية الغشاء لايونات البوتاسيوم كما تم شرحه سابقاً ) ويطلق على جزء الغشاء المتاخم للمنطقة النشطة بالمنطقة غير النشطة Inactive area . لذا يوجد فرق جهد بين المنطقتين ولسطحيهما الخارجي والداخلي ( يكون السطح الخارجي للمنطقة النشطة سالبا في حين يكون السطح الخارجي للمنطقة غير النشطة المتاخمة موجبا ، اما السطح الداخلي للمنطقة النشطة فيكون موجبا في حين يكون السطح الداخلي للمنطقة غير النشطة المتاخمة سالبا ) ، عندئذ ستتحرك الشحنات الموجبة في السطحين باتجاه المنطقة الاقل موجبية اي من المنطقة الموجبة الى المنطقة السالبة ويطلق على حركة الايونات الموجبة بالتيار الكهربائي الموضوعي ( يقتصر على منطقة صغيرة ) Local current في سطحي المنطقتين المذكورتين فقط . تعود بذلك المنطقة النشطة الى جهد الراحة في حين يحصل انخفاض في الجهد للمنطقة غير النشطة مما يؤثر في هيئة (شكل) بوابات قنوات الصوديوم الموجودة في هذه المنطقة من الغشاء فتفتح متأثرة بفولتية المنطقة المحيطة بها وتدخل ايونات الصوديوم ثم يصل تأثير انخفاض الاستقطاب في المنطقة غير النشطة بصورة سريعة الى مرحلة العتبة Threshold التي تفتح عندها كل قنوات او ممرات ايونات الصوديوم المبوبة فولتيا ويتولد جهد فعل جديد في المنطقة غير النشطة ، وفي ذات الوقت تعود المنطقة النشطة الى جهد الراحة بخروج ايونات البوتاسيوم الى الخارج . وبتكرار دورة حصول سريان التيارات الموضوعية بين المناطق النشطة وغير النشطة سينتقل جهد الفعل من منطقة تولده الاصلية ( حيث يوجد المنبه ) الى نهاية الليف العصبي ( الشكل-1 ) . نلاحظ مما تقدم ان جهد الفعل الاصيلي ليس هو الذي ينتقل على طول غشاء الليف بل في كل مرة يتولد جهد فعل جديد مماثل لجهد الفعل الاصيلي في

المنطقة المتاخمة للمنطقة التي فيها جهد فعل سابقا . يعتمد جهد الفعل الجديد في تولده على التغيرات في كل من نضوحية الغشاء و المدروج الكيميائي الكهربائي Electrochemical gradient .



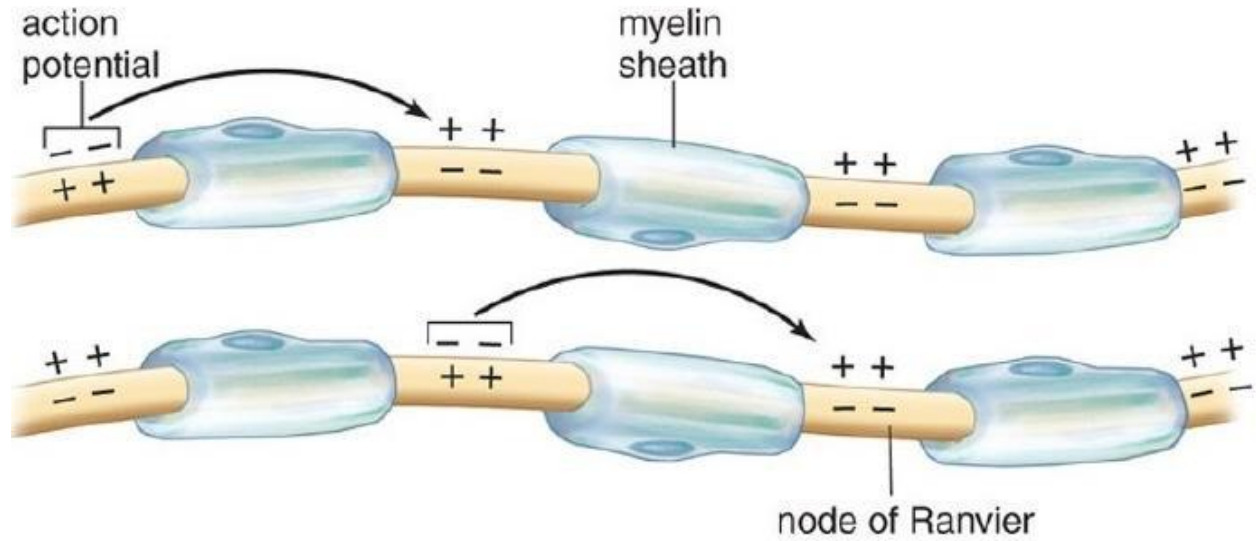
الشكل - 1 : تيارات الدائرة الموضعية ، ( للاطلاع فقط ) .

سرعة انتقال السيالات العصبية : تعتمد سرعة انتقال السيالات العصبية في الالياف العصبية على العوامل الاتية :

- 1- سعة اقطارها : تتناسب سرعة انتقال السيالات العصبية طرديا مع قطر الليف العصبي فيكون الانتقال اسرع في الالياف السميكة مما هو عليه في الالياف الرفيعة بسبب انخفاض المقاومة التي تواجه جريان الايونات موجبة الشحنة في هذا النوع من الالياف .
- 2- التغميد Myelination : تتناسب سرعة انتقال السيالات العصبية طرديا مع تغميد ( احاطة) المحاور Axons بالغلاف الدهني لخلايا شوان ، وبفعل التغميد يتم عزل المحور عن السائل خارج الخلية ولن يتعرض له الا في المناطق العارية من الغلاف النخاعيني ( عقد رانفير) و الواقعة بين خلايا شوان ، ولكون الايونات الذائبة في الماء هي الحاملة للشحنات عبر الغشاء فان الغلاف النخاعيني المحيط بالليف سيكون عازل ولايمكنها النفاذ خلاله في حين يمكنها النفاذ عبر الغشاء من خلال القنوات الخاصة بها في المناطق العارية ( عقد رانفير) حيث بوجود المنبه يتولد جهد الفعل .ان انتقال السيلة العصبية من المنطقة النشطة الى نهاية الليف العصبي والحاصل بتيارات الدائرة الموضعية سوف لا يحصل بين المنطقة

النشطة ( منطقة نشوء جهد الفعل) والمنطقة غير النشطة المتاخمة لكونها مغمدة بل سينتقل قافزا عبر خلية شوان قاطعا مسافة سلامة حتى يصل للمنطقة العارية فيتولد فيها جهد فعل جديد) وفقا لنظرية الدائرة الموضعية ( وتكرر عملية القفز على طول الليف لذا يدعى بالانتقال الوثبي Saltatory conduction وتبلغ سرعته 140m/sec (الشكل-2) . اما في الاليف الرفيعة غير المغمدة فسيكون انتقال السيالات العصبية ابطأ لان التيارات الموضعية تحصل بين المناطق المتاخمة ( المتجاورة جدا ) على طول الليف اي بالانتقال المتاخم Contiguous conduction بسرعة 1m/sec .

3- نوع الحيوان .



الشكل - 2 : الانتقال الوثبي .

### خصائص التنبيه العصبي :

1- العتبة Threshold : ادنى قوة منبه (حافز) مقدرة بالمليفولتات الضرورية لاجداث سيالة عصبية سارية في الليف العصبي اذ ان تولد السيالة العصبية يتبع قانون الكل او اللاشيء All or none law بمعنى ان السيالة تتولد ان كان التنبيه بمستوى العتبة اولاتتولد ان كان دون العتبة، كما تبقى الاستجابة ثابتة ولاتزداد بزيادة شدة ( قوة) المنبه .

2- التلاؤم Accomodation : ان كان المنبه المسلط على الليف العصبي دون العتبة ستتولد عمليتان متعارضتان الاولى محاولة استجابة للتنبيه وتوليد جهد الفعل والثانية محاولة تقليل اثر الاستجابة او تاخيرها لابقاء الغشاء في وضعه السوي . يحصل التلاؤم عندما يستغرق المنبه وقت طويل للوصول لاقصى شدته .

3- فترة العصيان **Refractory period**: هي الفترة التي يمتنع فيها غشاء الليف العصبي عن الاستجابة لمنبه بالرغم من كونه بمستوى العتبة لكون الليف بحالة استجابة لمنبه سابق اي انه بمرحلة زوال استقطاب . وتقسم فترة العصيان الى فترتين هما :أ- فترة العصيان المطلق **Absolute refractory period** وهي فترة تولد جهد الفعل في غشاء فلا يمكن ان يتولد خلالها جهد فعل جديد مهما كانت قوة المنبه . فعندما تكون قنوات ايونات الصوديوم الميوية فولتيا مفتوحة لايمكنها ان تستجيب مجددا اي لا يحدث زوال استقطاب جديد وتبقى فترة العصيان المطلق فترة كاملة من انفتاح البوابات النشطة عند العتبة وخلال انغلاق البوابات المعطلة عند الذروة حتى عودة جهد الراحة والتي حينها تغلق البوابة النشطة وتفتح مرة ثانية البوابة المعطلة للقنوات اي تكون البوابات بهيئة مغلقة لكنها قابلة للانفتاح .

ب- فترة العصيان النسبي **Relative refractory period**: هي الفترة التي يستجيب اثنائها الليف العصبي لمنبه ثاني ان زادت عن 2 مليثانية مع زيادة شدة المنبه وستولد استجابة خاصة بكل منبه اذا كانت الفترة الزمنية بينهما عن 15-20مليثانية .

المشبك العصبي Synapse : يدعى محل التقاء نهاية محور العصبونة **Axon terminal** مع عصبونة اخرى بالمشبك او الاشتباك العصبي وهو اتصال وظيفي وليس تشريحي فلا يوجد التقاء لغشائي اوسايتوبلامي العصبونتين مع بعضهما اي انه اتصال غير فعلي ، اذ توجد فسحة بينهما تدعى الفالق الاشتباكي **Synaptic cleft** وتقدر الفسحة بين العصبونتين ب 300 انكستروم . تكون الفسحة مملوءة بمادة مخاطية متعددة السكريد **Mucopolysacchride** تعمل على ربط غشائي العصبونتين . وتدعى العصبونة الواقعة قبل المشبك بالعصبونة قبل الاشتباكية **Presynaptic neuron** ، اما العصبونة الموجودة بعد الفالق الاشتباكي فتدعى بالعصبونة بعد الاشتباكية **Postsynaptic neuron** ( الشكل -3 ) .

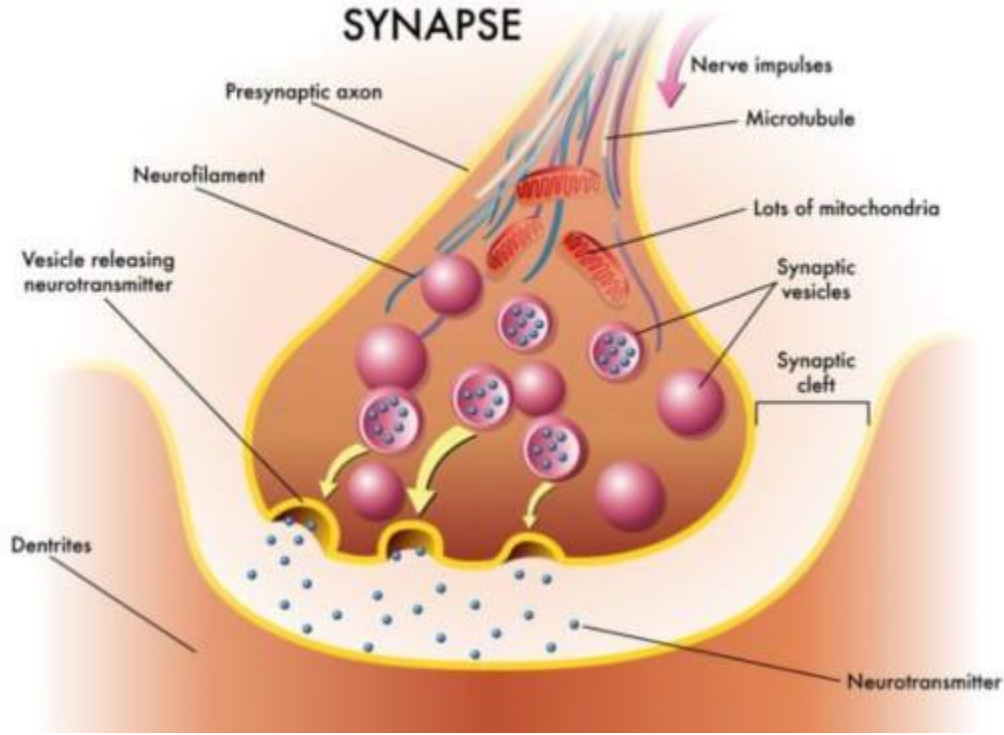
يكون المشبك العصبي باشكال مختلفة كالاتي : 1- فهو اما مشبك محوري جسيمي **Axosomatic synapse** وفيه يكون الارتباط بين نهاية محور العصبونة قبل الاشتباكية مع جسم العصبونة بعد الاشتباكية .

2- مشبك محوري شجري **Axodendritic synapse** وفيه ترتبط نهاية محور العصبونة قبل الاشتباكية مع البروزات الشجرية للعصبونة بعد الاشتباكية .

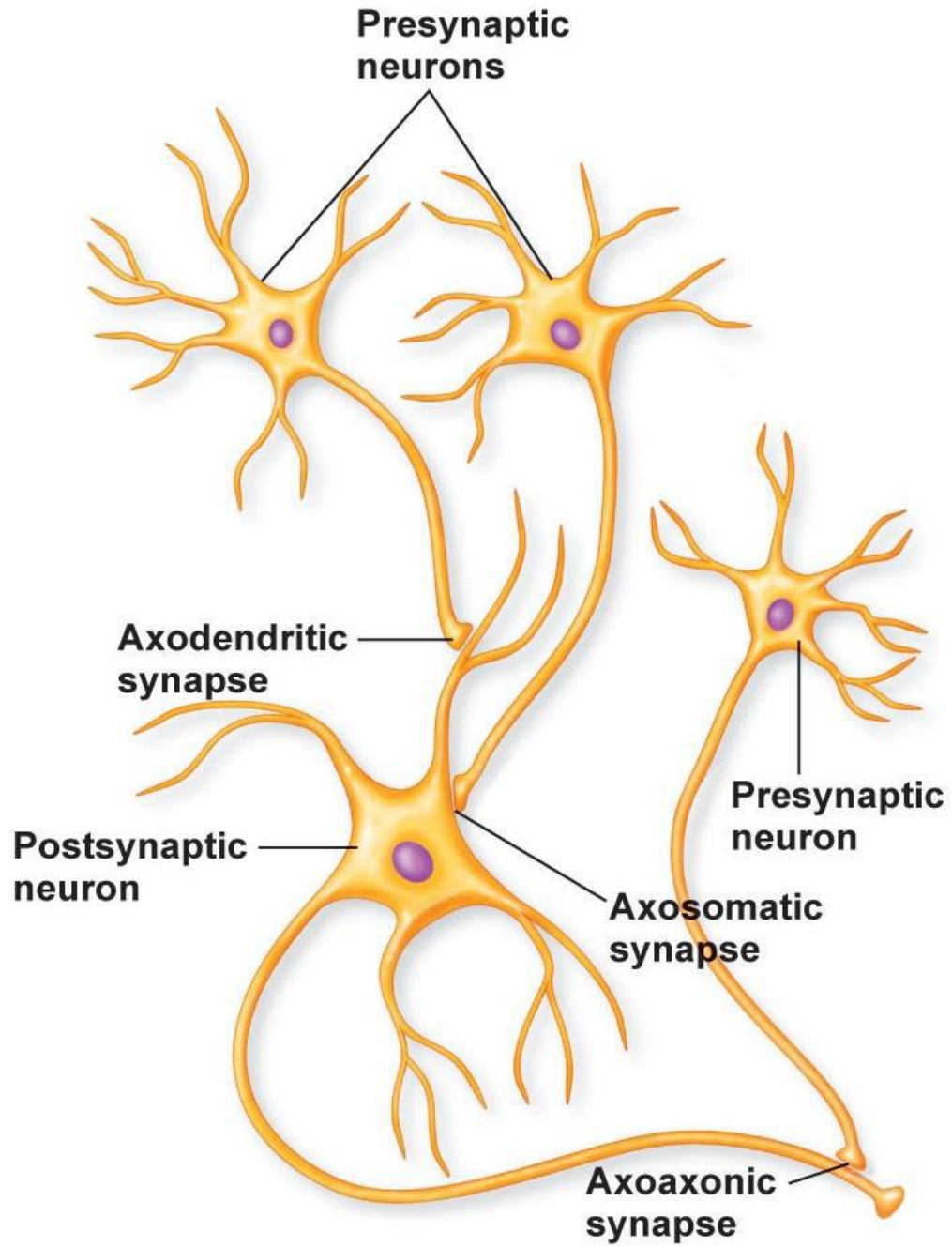
3- مشبك محوري محوري **Axoaxonic synapse** وفيه ترتبط نهاية محور العصبونة قبل الاشتباكية مع محور العصبونة بعد الاشتباكية ( الشكل - 4 ) .

تكون نهاية فروع محور العصبونة منتفخة مكونة بذلك تراكيب بيضوية تصل اعدادها من 50000-100000 وتدعى بالاقدام الانتهائية او الازرار **Knobs** . تحتوي الازرار بداخلها على اعداد من المقدرات **Mitochondria** و اكياس تتراوح اقطارها 400-500 انكستروم تدعى

الحويصلات الاشتباكية Synaptic vesicles الممتلئة بنواقل عصبية Neurotransmitters ذات اهمية وظيفية . يتم صنع المقدرات والحويصلات الاشتباكية في جسم العصبونة ويساعد جريان الساييتوبلازم المحوري على انتقالهم الى الازرار الاشتباكية للعصبونة .



الشكل - 3 : المشبك ( الاشتباك ) العصبي .



الشكل - 4 : اشكال المشبك العصبي .

## خصائص المشبك العصبي :

1-القطبية Polarity : تعني انتقال السيالة باتجاه واحد فقط وهو من نهاية محور عصبونة قبل اشتباكية الى البروزات الشجيرية او جسم عصبونة بعد اشتباكية ولايحصل بالاتجاه المعاكس اطلاقا .

2-التاخر الاشتباكي Synaptic delay : وهو فترة التاخر عند انتقال السيالة العصبية عبر المشبك والتي تفوق زمن انتقالها خلال المحور .

3-التسهيل Facilitation : يؤدي التنبيه المتكرر وبصورة سريعة لغشاء العصبونة بعد التشابكية بوساطة العصبونة قبل التشابكية الى تولد سيالة عصبية لان التنبيه الاول يعجز عن عبور المشبك العصبي ولكنه يترك اثر اذ يعمل على تسهيل عبور التنبيه الثاني فالمنبه الاول غير كافي لاطلاق السيالة ولكنه هيح الغشاء وسهل عبور المنبه الثاني لزيادة الناقل .

4-التثبيط Inhibition : بعض الازرار الانتهائية تثبط العصبونة بعد التشابكية المتصلة بها وان وصول التنبيه يجعل فرق الجهد عالي جدا اي حصول فرط الاستقطاب Hyperpolarization .



محاضرة النظري / الجزء الثالث / 2023-2022

فسلجة الاعصاب Nerves physiology

(انواع انتقال السيطة العصبية وبناء النواقل الكيميائية)

انواع انتقال السيطة العصبية : يوجد نوعان من النقل للسيطة العصبية الاول انتقال كيميائي والثاني انتقال كهربائي .

اولاً - الانتقال الكيميائي **Chemical transmission** : تنتقل السيطة العصبية من عصبونة الى اخرى او الى عضلة بالرغم من انعدام الاتصال التشريحي بينهما اذ يحصل بالانتقال الكيميائي (نواقل عصبية) والدليل على ذلك وجود تاخر اشتباكي فضلا عن كون الانتقال باتجاه واحد ولايحصل بالاتجاه المعاكس اطلاقا . ان اول من اثبت وجود افراز كيميائي من نهايات الالياف العصبية هو العالم **Ottlowi** عام 1921 .

انواع النواقل العصبية Neurotransmitters : يوجد العديد من المواد الكيميائية المفرزة من نهايات الالياف العصبية كالآتي :

Acetyl choline (Ach)-1

2- Adrenaline or Epinephrine او Norepinephrine or Noradrenaline .

3- Serotonin .

4- Dopamine .

5- GABA .

6- Glutamic acid .

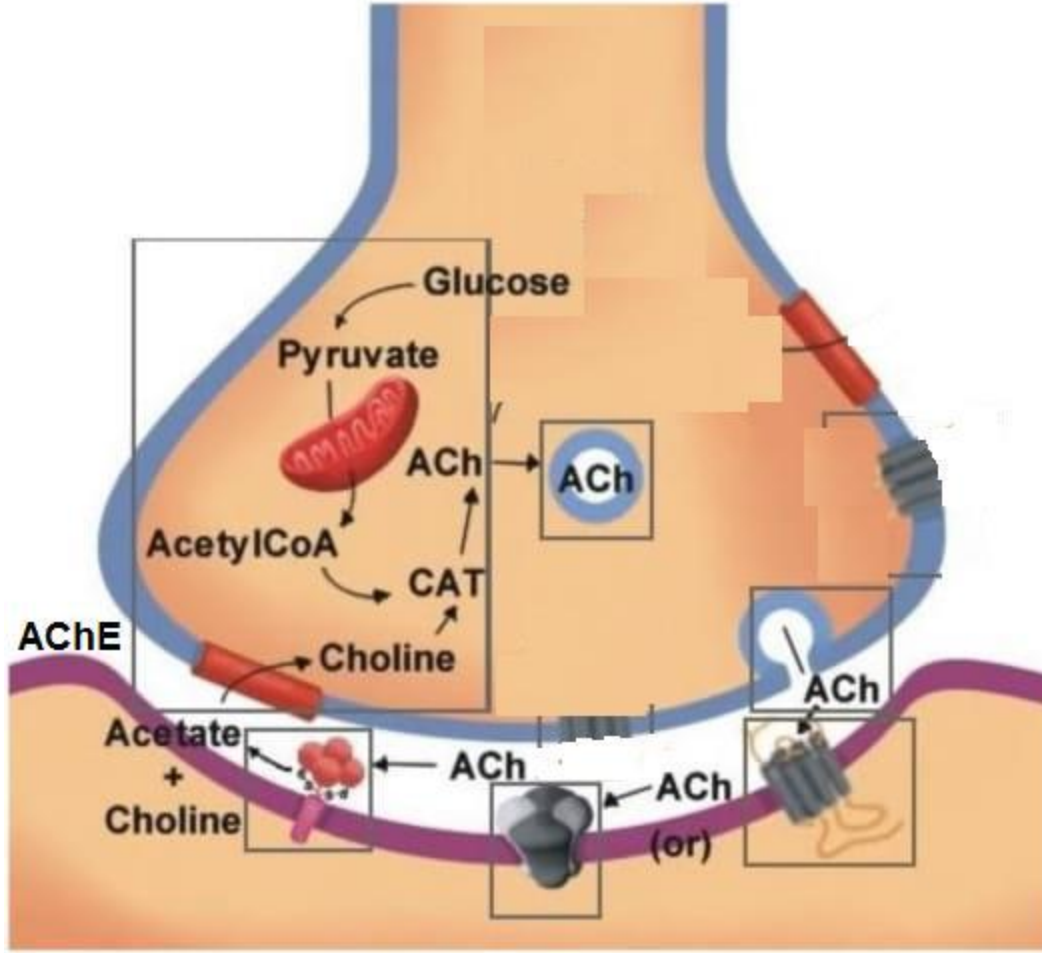
وقد تم التأكد من اثنين من بين المواد المذكورة اعلاه كونهما نواقل كيميائية وهما ال Ach وال Noradrenaline .

وجود النواقل في الليف العصبي :

توجد النواقل في الحويصلات المشبكية (الاشتبائية ) الواقعة في ازرار نهاية الليف العصبي وتصل اعدادها من  $10^4 \times 1 - 10^5 \times 5$  جزيئة .

البناء الحيوي للناقل استيل كولين Ach : يبني هذا الناقل في العصبونات الفارزة له والتي تدعى بالعصبونات الكولنرجية Cholinergic neurons . يتكون الناقل من مركبين هما استيل كو انزيم A ( Acetyl co enzyme ) والكولين Choline .

يبني الناقل ( الاستيل كولين ) موضعيا في ازرار نهاية الليف العصبي للعصبونات الكولنرجية، اما الانزيم اللازم لبنائه والذي يدعى كولين استيل ترانسفيريز Choline acetyl transferase ( ChAT ) فيبنى في اجسام هذا النوع من العصبونات ثم ينتقل بجريان السائتوبلازم المحوري اذ لوحظ وجوده وتركزه في نهايات المحاور لتلك العصبونات. يساعد انزيم ChAT على بناء الناقل استيل كولين اذ يحفز نقل مجموعة الاستيل Acetyl group من المركب Acetyl Coenzyme A الى الكولين وفق التفاعل الاتي :  $Ach + Co\ enzyme\ A \leftarrow Choline + Acetyl\ Co\ enzyme\ A$  . ثم ينتقل الاستيل كولين ليخزن في الحويصلات الاشتباكية او المشبكية . ان تخليق الاستيل كولين محدد بتركيز الكولين داخل النهاية العصبية . اما المركب Acetyl Coenzyme A فيتم بنائه في المقدرات . كما تعد المقدرات مصدرا لل Acetyl الداخل في بناء الاستيل كولين باكسدة حمض البيروفك فتحوله الى حمض الخليك Acetate . يتحلل الناقل Ach بعد افرازه وتادية دوره في نقل الاشارة العصبية (الكهربانية) الى Acetate و Choline بمساعدة انزيم Achestrace الموجود في الغشاء البلازمي بعد التشابكي الذي تهيج بفعل الاشارة الكيمائية ( الناقل Ach المرتبط بالمستقبلات النوعية الموجودة في الغشاء ) ، فيعود الكولين الى الزر قبل الاشتباكي وعلى الاقل نصف الكولين المستعمل لبناء الاستيل كولين هو من تدويره بتحلل مائي للاستيل كولين ثم عودته سريعا الى العصبونة قبل الاشتباكية قبل انتشاره بعيدا عن الشق الاشتباكي . كما توجد مصادر اخرى للحصول على الكولين وهي بلازما الدم وكذلك من تكسير ال Phosphatidylcholine الموجود في غشاء الزر الاشتباكي والذي ينبه بالتححرر الموضعي للاستيل كولين ( الشكل - 1 ) .



الشكل - 1 : البناء الحيوي للناقل الكيميائي الاستيل كولين .

دور الاستيل كولين في نقل الإشارة العصبية الى العصبونة بعد الاشتباكية :

بوصول السيلة العصبية الى نهاية المحور للعصبونة (الازرار قبل الاشتباكية) ولوجود الفالق الاشتباكي لايمكنها عبوره بتيارات الدوائر الموضعية ( كاشارة كهربائية) عندئذ تتحول الى اشارة كيميائية ليتم عبور الفالق الى العصبونة بعد الاشتباكية ويتم ذلك بحوادث متسلسلة ، الشكل - 2 كالآتي :

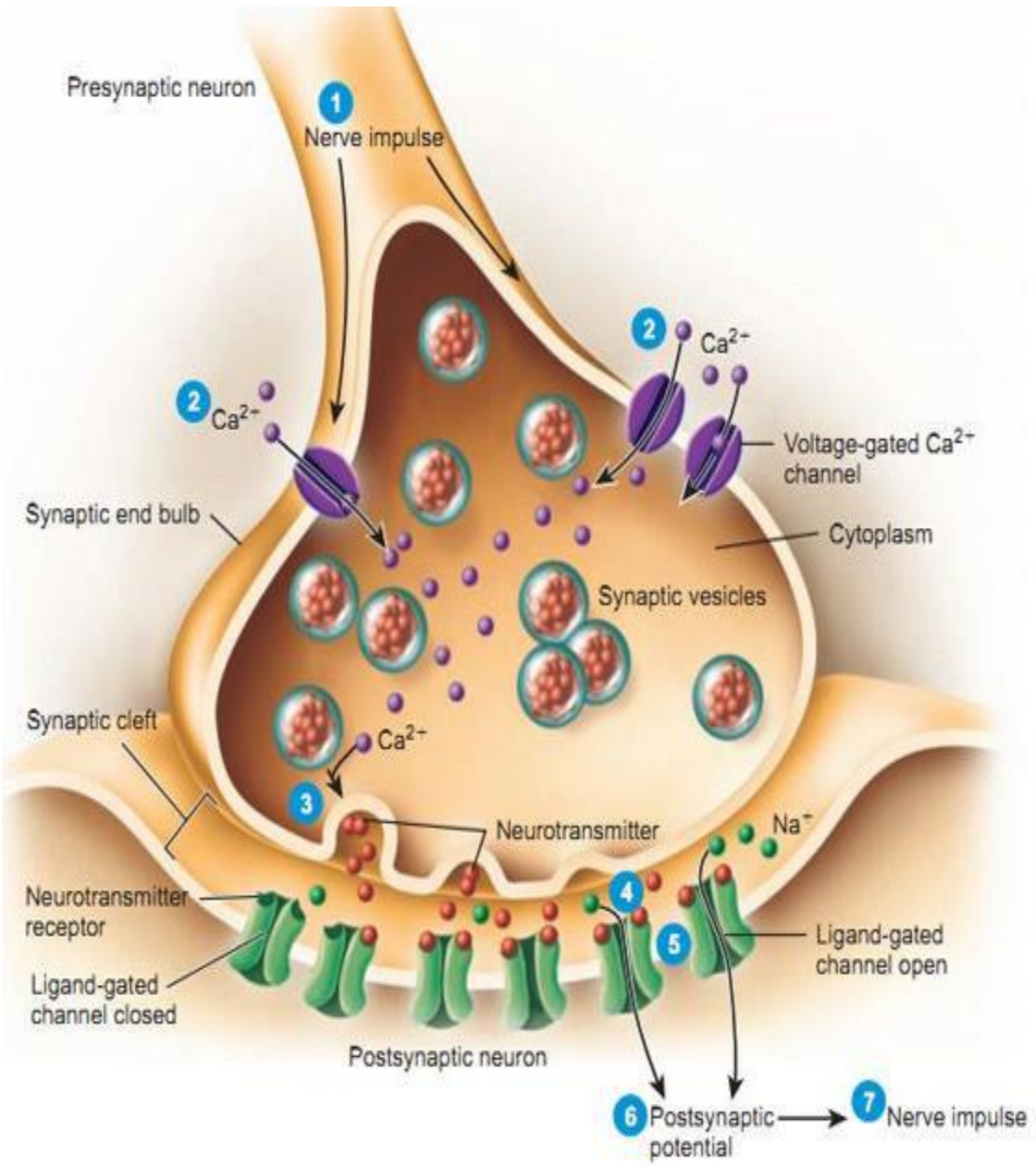
1- تتمثل الإشارة الكيميائية بارتفاع موضعي لتركيز ايونات الكالسيوم في سايتوبلازم الزر الاشتباكي فعند وصول السيلة الى منطقة الزر الاشتباكي تنبه انفتاح قنوات ايون الكالسيوم المبوبة فولتيا Voltage - gated  $Ca^{+2}$  channel في غشاء الزر الاشتباكي ثم دخول ايونات الكالسيوم فيرتفع تركيزه من 0.1 مايكرومول وصولاً الى 1 وحتى يبلغ 100 مايكرومول مما يؤدي الى حركة الحويصلات وارتباطها بغشاء الزر الاشتباكي وتفرغ محتوياتها من الناقل العصبي الى الفالق الاشتباكي ، اذ ترتبط ايونات الكالسيوم بالبروتينات المتخصصة لربط الحويصلات

الاشتباكية بالغشاء البلازمي مسببة اندماج غشاء الحويصلات بالغشاء البلازمي وحصول اطلاق لمحتوياتها من الناقل بعملية الاخراج الخلوي Exocytosis ( الشكل - 2 ) . بينما تحصل عملية تدوير لاغشية الحويصلات المندمجة وذلك باعادتها الى الزر بعملية ادخال خلوي Endocytosis اي يعاد تكوين الحويصلات مرة ثانية ( تدوير الحويصلات ) ، ( الشكل - 3 ) . اما فائض ايونات الكالسيوم فيتم ضخه خارج الزر بعملية نقل فعال بمساعدة انزيم  $Ca^{+2}$  ATPase مما يخفض من مستوى ايونات الكالسيوم داخل نهاية الليف العصبي فيصبح مهياً للاستجابة لجهد فعل مرة ثانية .

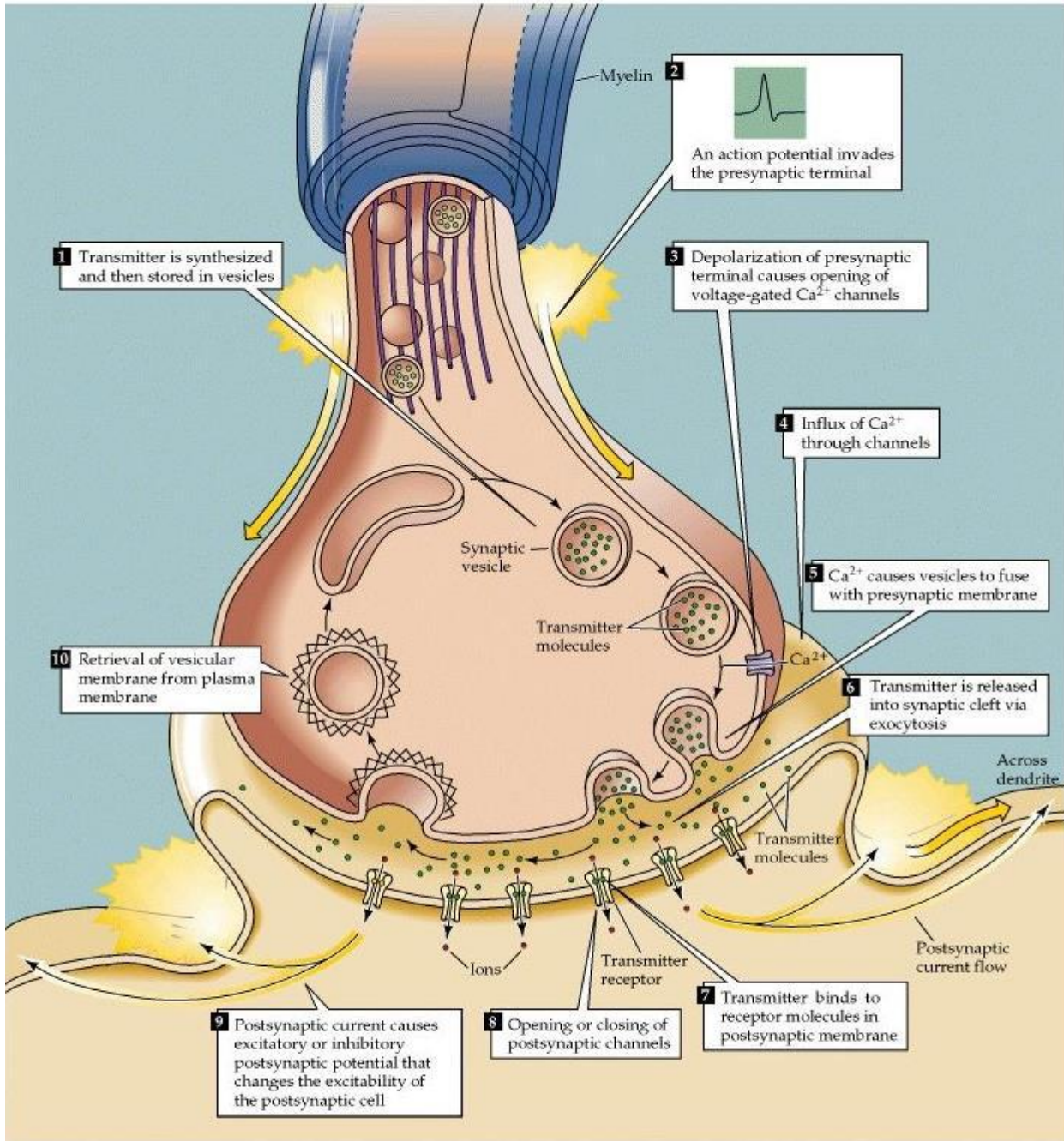
2- يرتبط الناقل ( Ach ) بعد تحرره الى الشق الاشتباكي بالمستقبلات الكولنرجية الواقعة على سطح الغشاء بعد الاشتباكي والتي تكون اما جزيئات متممة للقنوات الخاصة بمرور ايونات الصوديوم او قد تكون منفصلة عنها وبذلك ستتغير الخواص النفاذية للغشاء بعد التشابكي ( انفتاح قنوات ايونات الصوديوم ) .

3- بدخول ايونات الصوديوم عبر قنواتها الى داخل الخلية بعد الاشتباكية يتغير جهد الغشاء ( جهد التوازن لايونات اليوتاسيوم ) اي تحدث عملية زوال استقطاب Depolarization اي يؤدي الى تهيج العصبونة بعد الاشتباكية ان هذا التغيير بجهد الغشاء يدعى جهد التهيج بعد الاشتباكي Excitatory post synaptic potential (EPSP) وهو زوال استقطاب جزئي تهيجي ، او يؤدي الى الجهد التثبيطي بعد الاشتباكي Inhibitory post synaptic potential (IPSP) يتولد الجهد التثبيطي نتيجة لزيادة نفوذ ايونات البوتاسيوم و الكلور فيحدث عندئذ فرط استقطاب للغشاء ثم التثبيط المباشر او غير المباشر ( الشكل - 4 ) . و يعتمد تولد الجهد التهيجي والتثبيطي على كمية الناقل المتحرر الى الشق الاشتباكي .

4- يقوم انزيم استيل كولين استريز AchE الموجود في الغشاء بعد الاشتباكي بتحليل ال Ach المرتبط الى كولين واستيت ليعود جهد الغشاء الى جهد الراحة مرة اخرى ( عودة استقطاب ) .

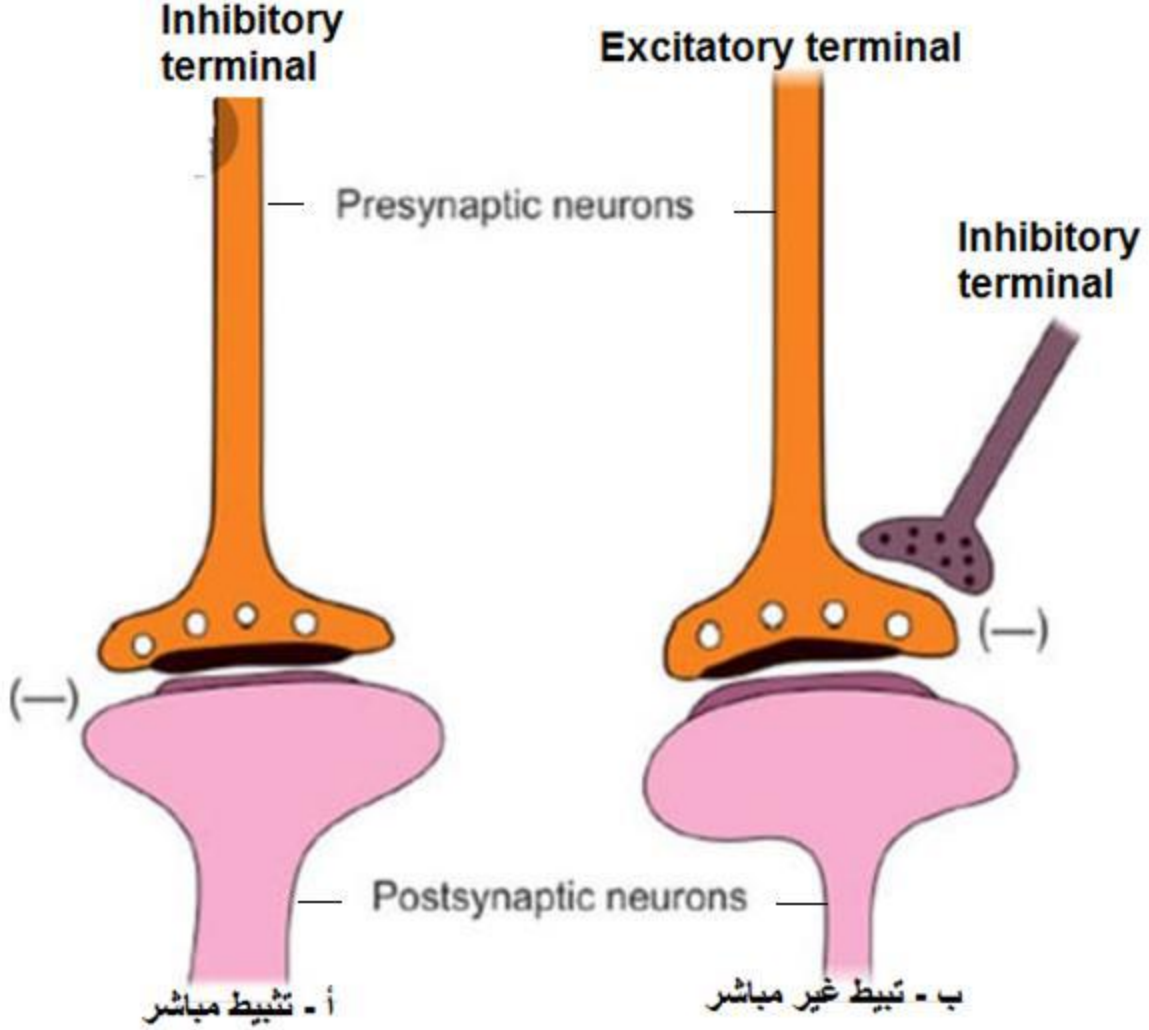


الشكل - 2 : دور الاستيل كولين في نقل الاشارة العصبية ، ( للاطلاع ) .



الشكل - 3 : تدوير اغشية الحويصلات ( للاطلاع ) .





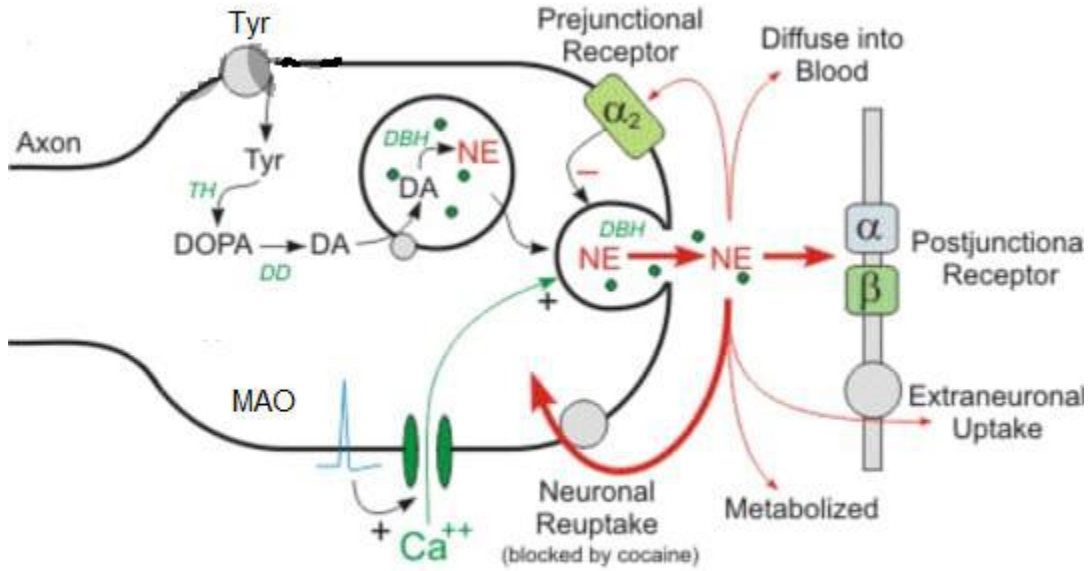
الشكل - 4: التثبيط المباشر و غير المباشر، الاشارة (-) تعني تثبيط .

#### مميزات ال EPSP :

- 1- متدرج Graded : يعتمد على كمية الناقل المتحرر والعلاقة طردية وهو اساس ظاهرة التسهيل وبذلك فهو ليس جهد فعل .
- 2- موضعي Local : يشمل مساحة صغيرة من الغشاء .
- 3- متناقص Decremental : تتناقص قيمته كلما ابتعد التسجيل عن موضع تولده وقيمه تقدر بالملي فولتات .
- 4- ينتقل ال EPSP بالشد الكهربائي الى منطقة التليل المحوري فيؤدي الى الاطلاق ( زوال استقطاب كامل ) .

## البناء الحيوي للناقل الكيميائي النورادرينالين او نور ايبنفرين:

يتحول الحمض الاميني Alanine الى الحمض الاميني Tyrosine الذي ينتقل الى العصبونات الفارزة للادرينالين حيث يتحول الى Dopa بوجود انزيم Tyrosine hydroxylase وذلك باضافة مجموعة ال OH الى التايروسين اي حصول عملية Hydroxylation ثم يعاني ال Dopa عملية ازالة مجموعة كاربوكسيل (-COOH) Decarboxylation بوجود انزيم Dopa Decarboxylase فيتحول الى دوبامين Dopamine . يدخل الدوبامين الى الحويصلات الاشتباكية فيتحول فيها الى نورايبنفرين بعد ان يخضع لعملية الهدركسلة Hydroxylation وذلك باضافة مجموعة OH بوجود انزيم Dopamine beta hydroxylase . اما مصير النورادرينالين بعد افرازه واداء دوره فيعاد امتصاص قسم منه الى نهايات العصبونات قبل الاشتباكية الفارزة له ويتم انحلاله اما باكسدته بمساعدة انزيم Monamine oxidase(MAO) الموجود في الغشاء الخارجي للمقتدرات وتجرى عليه عملية مثثلة Methylation بمساعدة انزيم Catechol-o-methyl transferase (COMT) وينتقل المؤيض (الناتج النهائي من عملية التحليل) الى الدم ثم التخلص منه بطرحه مع البول (الشكل - 5) .



Tyr = tyrosine; TH = tyrosine hydroxylase; DD = DOPA decarboxylase;  
DA = dopamine; DBH = dopamine  $\beta$ -hydroxylase; NE = norepinephrine ;  
MAO=Monamine oxidase

الشكل - 5 : البناء الحيوي للناقل الكيميائي نورادرينالين .



ثانيا : الانتقال الكهربائي Electrical transmission : هو انتقال السيطة العصبية بين عصبونتين بشكل كهربائي وليس كيميائي ويحصل في حالات نادرة . ويتطلب توفر شروط لحواله كالآتي :

- 1- تماس مباشر واسع النطاق بين الخليتين .
- 2- ان يكون محل التماس واطى المقاومة للكهربائية .
- 3- لا يحصل جهد مولد وانما ينتقل بسريران تيار كهربائي ضعيف من الخلية الاولى الى الثانية .
- 4- يحصل بين عصبونة واخرى ولا يحصل بين عصبونة ومنفذ .
- 5- يكون النقل الكهربائي باتجاه واحد وفي احيان نادرة باتجاهين .
- 6- التاخر الاشتباكي قصير جدا مقارنة بالنقل الكيميائي .
- 7- يلاحظ النقل الكهربائي بين الخلايا العضلية القلبية ، وكلما كان الفالق الاشتباكي ضيق ازداد احتمال حدوث هذا النوع من الانتقال مثال ذلك الاشتباك بين الالياف العملاقة والخلايا الحركية في الروبيان .

فسلجة الاعصاب Nerve physiologyالقوس الانعكاسي Reflex arc :

ترتبط الاعداد الهائلة من العصبونات ( يصل عددها الى البلايين ) والمكونة للجهاز العصبي مع بعضها بعض بشكل معقد ، الا ان القوس الانعكاسي يعد وحدة الترابط البسيط بين العصبونات في الجهاز العصبي ولذا يعد وحدة تركيبية في الجهاز العصبي ، يمثل القوس الانعكاسي مسار الاشارة العصبية من موقع لآخر بما ينتج عنه مختلف النشاطات العصبية اللاارادية . ويدعى النشاط الناتج ( رد الفعل ) عن تلك الاشارة العصبية بالفعل الانعكاسي ( المنعكسات Reflexes ) والذي يعد الوحدة الوظيفية للجهاز العصبي كما يظهر المنعكس بذات الموقع الذي تعرض للمنبه ، والفعل الانعكاسي المنفرد هو ابسط انواع النشاط العصبي كما ان فعاليات الكائن الحي الداخلية او الظاهرية هي عبارة عن سلسلة من الافعال الانعكاسية .

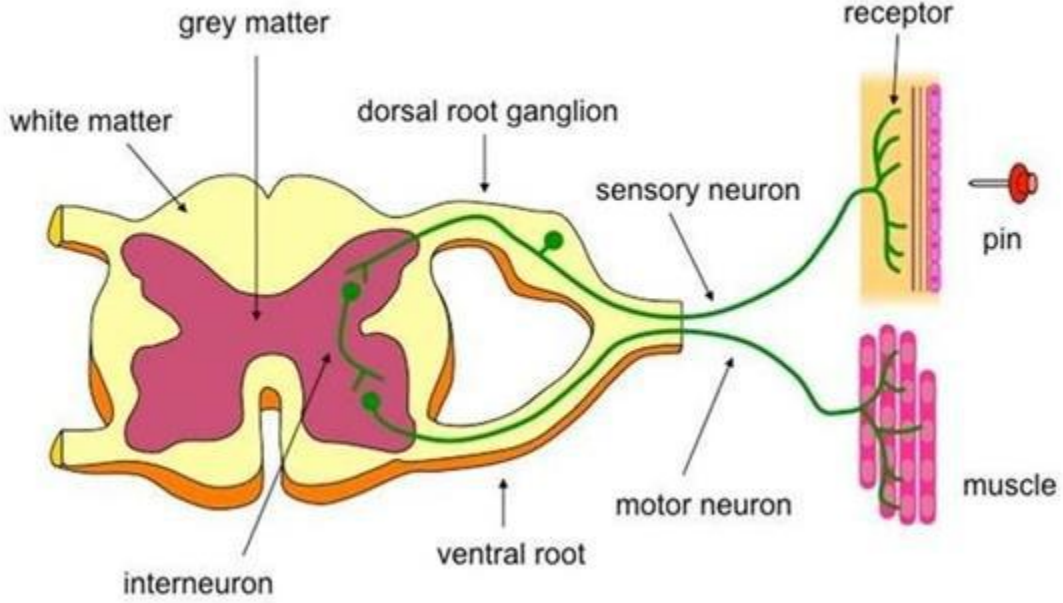
انواع الاقواس الانعكاسية : تقسم الى نوعين رئيسيين كالاتي :

- 1- اقواس انعكاسية جسمية Somatic reflex arcs : تقوم هذه الاقواس بتنظيم علاقة الكائن الحي بمحيطه الخارجي فيوجهه نحو الماء والغذاء وال O<sub>2</sub> والابتعاد عن الخطر من خلال المنعكسات .
- 2- الاقواس الانعكاسية الذاتية Autonomic reflex arcs : يقوم بتنظيم علاقة الكائن الحي بمحيطه الداخلي كسرعة النبض ومقدار ضغط الدم وحركة الامعاء والافراز وغيرها من خلال المنعكسات .

مكونات القوس الانعكاسي الجسمي : تقع جميع الاقواس الجسمية في الحبل الشوكي فقط وتتكون من المكونات الاتية :

- 1- المستلم Receptor .
- 2- عصبونة حسية Sensory neuron .
- 3- عصبونة بينية Intermediate or connecting neuron .
- 4- عصبونة حركية Motor neuron .
- 5- المنفذ Effector وهو اما عضلة او غدة .

تتضح جميع مكونات القوس الانعكاسي الجسمي في ( الشكل - 1 ) .



الشكل -1 : القوس الانعكاسي الجسمي .

ومن الامثلة عن القوس الانعكاسي الجسمي منعكس السحب :

**منعكس السحب Withdrawal reflex :** عند لمس جسم ساخن باليد تتهيج المنطقة الملامسة ( مستقبلات الالم ) اي تتأثر بالمنبه فتنتقل الاشارة العصبية بوساطة العصبونة الحسية الى العصبونة التي تليها اي العصبونة البينية ثم الى العصبونة الحركية في الحبل الشوكي والتي تعصب عضلة اليد فينتج نشاط ( انقباض العضلة ) مؤديا الى سحب اليد بعيدا عن الجسم الساخن ( منعكس لارادي ) قبل الشعور بالالم ، ثم يتبع ذلك الاحساس بالالم اذ ترسل اشارة من القوس الانعكاسي عبر الممرات الصاعدة الى المخ فينبهه للاحساس بالالم . بعض المنعكسات السريعة تصل عند مستوى الحبل الشوكي دون ارسال سيلة عصبية الى الدماغ لكون معالجتها في الدماغ تتطلب وقتا طويلا في حين المنعكس اللارادي السريع يكون ضروريا لتفادي الخطر والحفاظ على الحياة .

انواع الاقواس الانعكاسية وفقا لعدد الاشتباكات العصبية التي تتضمنها :

تقسم الاقواس الانعكاسية وفقا لعدد الاشتباكات كالاتي :

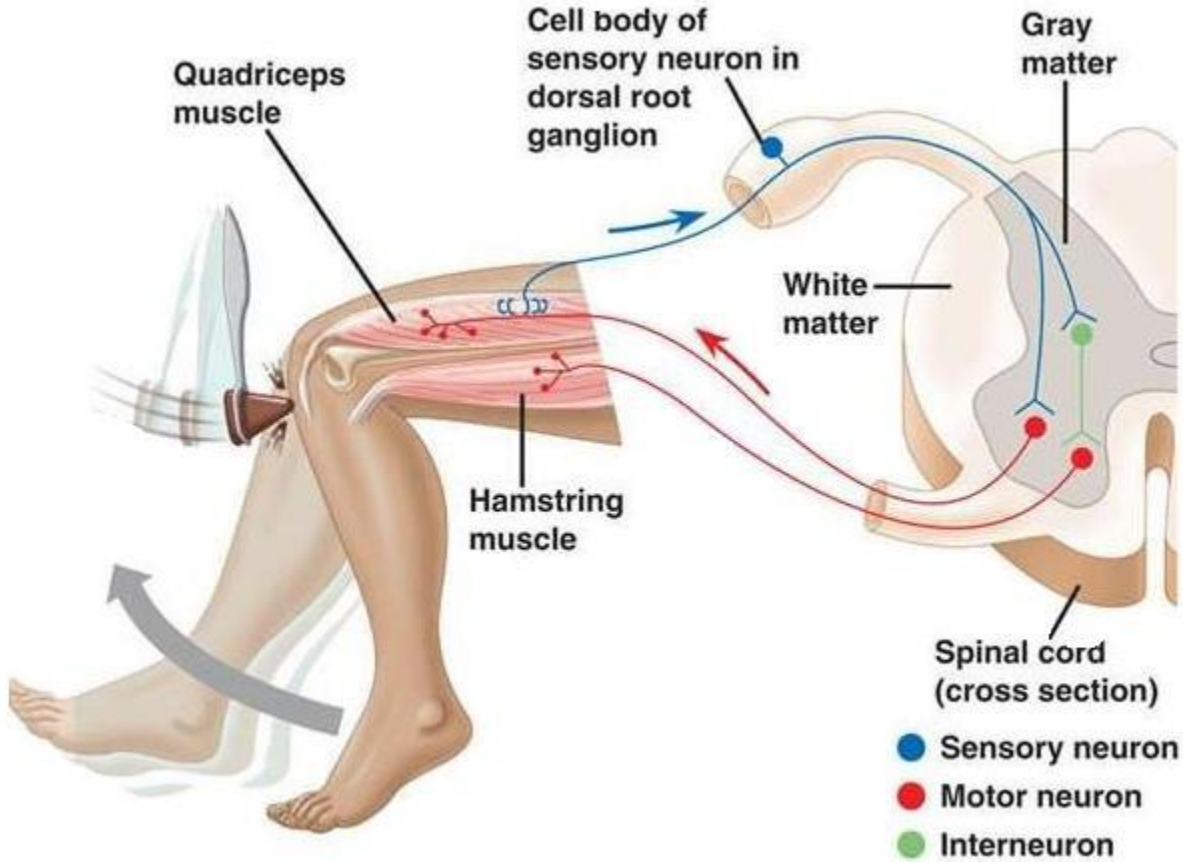
1- اقواس انعكاسية متعددة التشابك **Multi synaptic reflex arcs** : هي اقواس انعكاسية يوجد

فيها اكثر من مشبك ( تشابك ) عصبي .

2- قوس انعكاسي احادي التشابك **Monosynaptic reflex arc** : هو قوس انعكاسي فيه اشتباك

عصبي واحد والذي ينتج عنه منعكس رفسة ( نفضة ) الركبة .

**منعكس رفسة الركبة Knee jerk reflex** : هو منعكس ناتج عن قوس احادي التشابك ، فعندما يجلس شخص على كرسي مرتفع ويجعل الساقين متصلبتين عند مفصل الركبة ثم يضرب بحافة راحة اليد او بمطرقة مطاظة خاصة على الوتر الذي يربط العضلة الرافعة للساق بعظم القصبة الشظوية ، سيندفع الساق عندئذ بسرعة الى الامام . وتعليل ذلك هو الضرب على الوتر يؤدي الى تمدد العضلة الرافعة للساق بصورة فجائية فتتأثر مستلمات حسية في العضلة ( المغازل العضلة ) وكذلك تتحسس مستلمات في الوتر تدعى اعضاء كولجي الوترية Golgi tendon organs . ينشأ من هذين النوعين من المستلمات سيل من الابعازات العصبية التي تنتقل نحو الجهاز العصبي المركزي بواسطة عصبونات حسية تتصل او تشتبك مباشرة مع عصبونات حركية دون وجود للعصبونات البينية وتقوم العصبونات الحركية بنقل سيل من السيالات العصبية الى العضلة الرافعة للساق فتتقلص تقلصا عنيفا مندفعة بذلك الى الامام ( الشكل - 2 ) .

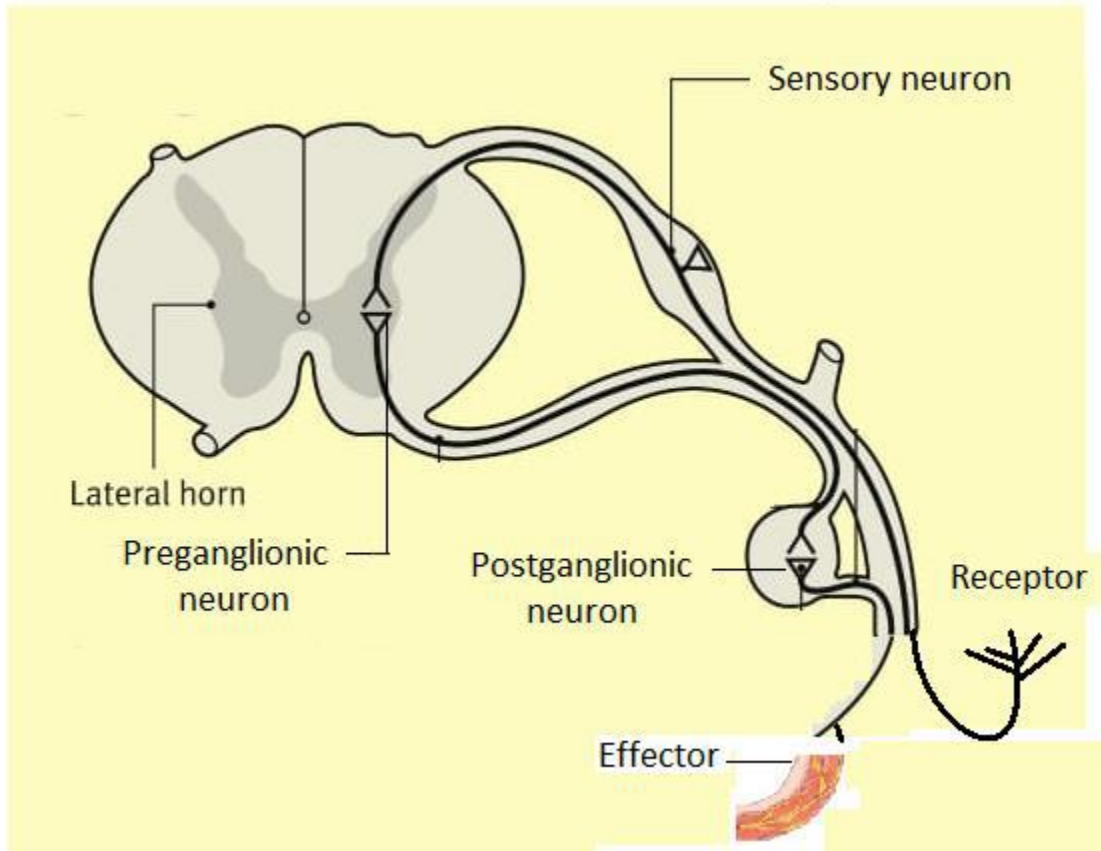


الشكل - 2 : قوس انعكاسي احادي التشابك ( منعكس رفسة الركبة ) .

مكونات القوس الانعكاسي الذاتي : تقع الافواس الانعكاسية الذاتية في كل من الحبل الشوكي والدماغ ويتكون القوس الانعكاسي الذاتي من المكونات الاتية :

- 1- المستلم Receptor .
- 2- عصبونة حسية Sensory neuron .
- 3- عصبونة قبل عقدية Preganglionic neuron .
- 4- عصبونة بعد عقدية Postganglionic neuron .
- 5- المنفذ Effector .

وتتضح جميع مكونات القوس الانعكاسي الذاتي في ( الشكل - 3 ) .



الشكل - 3 : القوس الانعكاسي الذاتي .

الامثلة على القوس الانعكاسي الذاتي :

- 1- المنعكس المنظم لضغط الدم .
- 2- منعكس هيرنك - بروير Herring-Breuer reflex : هو المنعكس المنظم لعملية الشهيق .
- 3- منعكس تنظيم درجة حرارة الجلد .

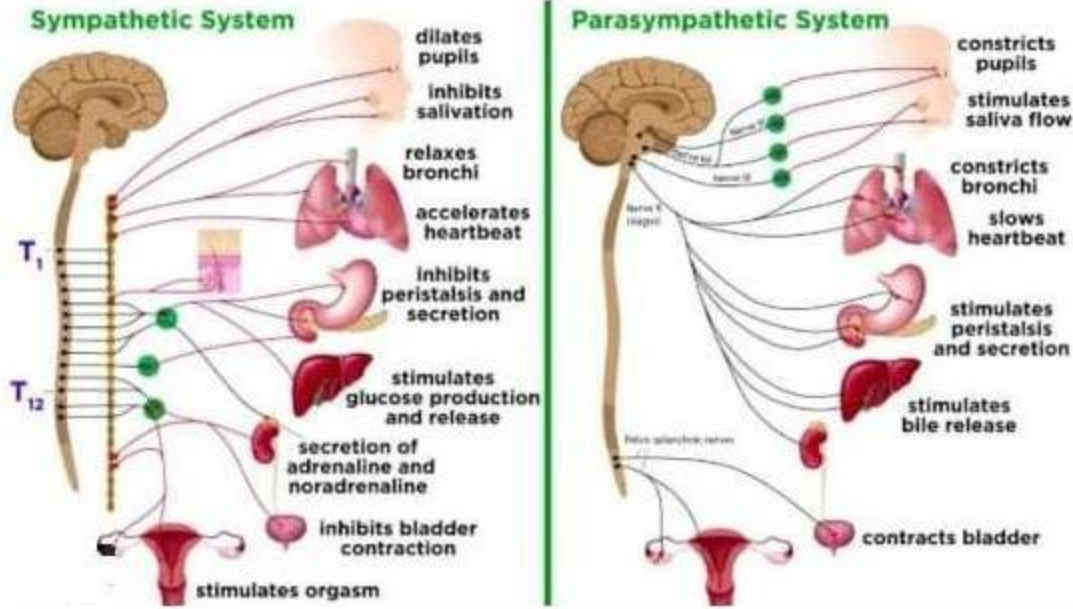
اقسام الجهاز العصبي الذاتي Autonomic nervous system : يقسم هذا الجهاز وفقا للتشريح والوظيفة الى قسمين كما في الشكل - 4 وكالاتي :

اولا - الجهاز العصبي الودي ( السمبثاوي ) Sympathetic nervous system : هو جهاز يتم خلاله صرف طاقة ومن اهم وظائفه الاتي :

- 1- يعمل في حالات الطوارئ والمواجهة على زيادة سرعة ضربات القلب والنبض وتوسيع حدقة العين .
- 2- يعمل على تضيق الاوعية الدموية في الجلد .
- 3- يعمل على توفير المزيد من الدم الى العضلات الهيكلية والقلب والدماغ لمواجهة حالات الشدائد .
- 4- يعمل على تقليل افرازات العصارات الهضمية وتقليل سرعة حركة المعدة .
- 5- يعمل على تنبيه زيادة السكر في الدم من خلال افراز الادرينالين الذي يساعد في تحليل الكلايكونين الى كلوكوز .
- 6- يعمل على رفع ضغط الدم .

ثانيا - الجهاز العصبي نظير الودي ( نظير السمبثاوي ) Parasympathetic nervous system : هو جهاز يحافظ على الطاقة اذ عند تنبيهه لا يتم صرف طاقة ومن اهم وظائفه الاتي :

- 1- يقلل سرعة النبض .
- 2- يقلل عدد ضربات القلب .
- 3- يزيد سرعة حركة القناة الهضمية .
- 4- يزيد من افرازات العصارات الهضمية .
- 5- يضيق حدقة العين .
- 6- يوسع الاوعية الدموية .



الشكل - 4 : الجهاز العصبي الذاتي ( السمبثاوي والباراسمبثاوي ) ، ( للاطلاع ) .

#### التزود العصبي الثنائي Dual innervation :

هو تزود الاعضاء الداخلية ( القلب والقناة الهضمية والغدد اللعابية ) باللياف عصبية ودية ونظير ودية ، بينما تكون بعض الاعضاء المتمثلة بالغدد العرقية ومعظم الاوعية الصغيرة والعضلات المحركة للشعر مزودة باللياف ودية فقط .

وفي حالة التزود الثنائي يعمل النوعان من الالياف العصبية اما بصورة متضادة Antagonism او بصورة متازرة Synergism . فالالياف نظير الودية تقلل من عدد ضربات القلب ، بينما تزيد الالياف الودية عدد وسرعة وقوة ضربات القلب . اما في القناة الهضمية فتعمل الالياف الودية بصورة معاكسة لتأثيرها على القلب اذ تزيد حركة الجدران العضلية للقناة وتزيد ايضا كمية الافرازات الهضمية ، في حين يكون تأثير الالياف الودية مهدنا للقناة وهذا هو مثال على التضاد . ويعتمد نشاط اي عضو وفي اي وقت على التوازن بين شدة التنبيه الذي يعود للنوعين من الالياف العصبية . اما عن التازر فيكون كل من التنبيه الودي ونظير الودي منشطا للغدد اللعابية ولكن يعتمد نوع اللعاب المفرز ومحتواه الانزيمي على النسبة بين النوعين من التنبيه .

#### المستقبلات Receptors :

هي خلايا منتشرة و قد تكون بشكل اعضاء متخصصة لنقل التغيرات في البيئة الخارجية او الداخلية وايصالها الى الجهاز العصبي لتفسيرها والرد عليها ليتكيف الكائن الحي مع البيئة .

## مميزات المستقبلات :

- 1- تتخصص المستقبلات المتشابهة لنوع واحد من المنبهات ( الحرارة او الضغط .... الخ ) عدا الشواذ منها ( مستقبلات تستجيب لآكثر من نوع من المنبهات كالمستقبل الضوئي فهو يستجيب للضغط ايضا والحاصل على جانب المقلة عند اغماض العين في الظلام فتظهر بقع زرقاء اللون وهذا يعني ان تخصص العين كمستقبل للضوء يكون غير مطلق ) . كما يعود سبب تخصص المستقبل الى كون المنبه قادر على تغيير نفوذية غشاء المستقبل .
- 2- يقاوم المستقبل المنبه بالتلاوم .

## وظيفة المستقبل : تمتلك المستقبلات وظائف متعددة كالاتي :

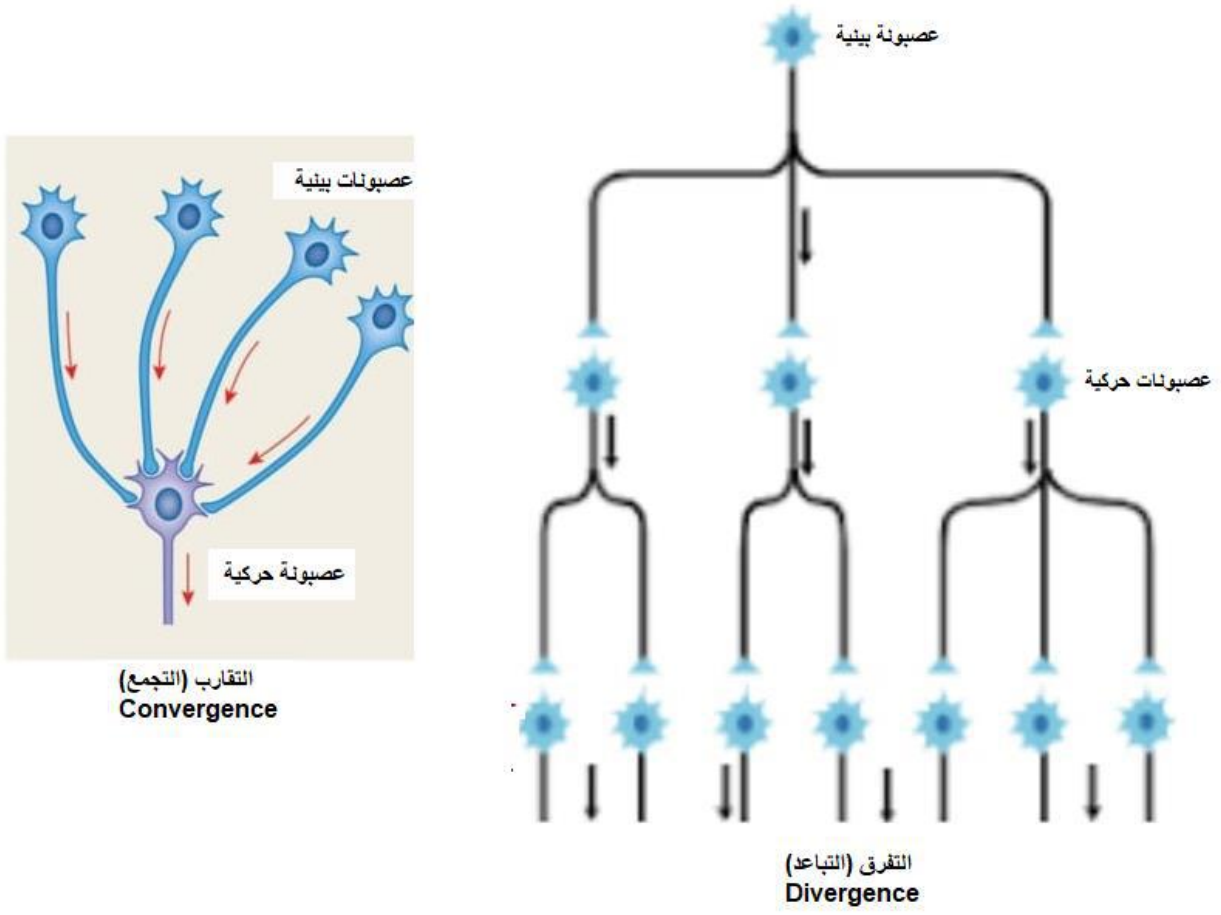
- 1- تعد محطات لتحويل الطاقة المسلطة على الحيوان في البيئة كالطاقة الكهرومغناطيسية او الضوئية او الكيميائية او الكهربائية الى جهد فعل نتيجة لما يحدث من تغيرات في نفوذية غشاء المستقبل لبعض الايونات للوصول الى جهود توازن جديدة .
- 2- تعمل المستقبلات بعد تحويل الطاقة على نقل المنبه الى المنفذ .
- 3- قدرة المستقبل على تضخيم طاقة المنبه لتحدث فروقات جهد لازمة للاستجابة وتصل قوة التضخيم الى 100000 مرة .

ومن الامثلة على المستقبلات هي مستقبل الشد ومستقبل الدرجة الاولى ومستقبل ذا مشبك كيميائي .

## الطرز العصبية :

ان ابسط اشكال الترابط بين العصبونات يكون في الاقواس الانعكاسية وفي معظم الاحيان يكون الترابط اعقد من ذلك بكثير ، فمثلا يكون محور الخلية الرابطة ( العصبونة البينية ) ذات تشعبات كثيرة وكل شعبة تكون اشتباك عصبي ( وصلة عصبية ) مع عصبونة حركية وتدعى هذه الظاهرة بالتفرق ( التباعد ) Divergence ، او بالعكس من ذلك اذ يتواصل عدد كبير من الخلايا الرابطة اي تكون اشتباكات عصبية مع خلية صادرة (عصبونة حركية ) واحدة وتدعى هذه الظاهرة بالتجمع Convergence (الشكل - 5 ) . ان الوظيفة الرئيسة للعصبونات البينية هي توفير دوائر عصبية ( شبكات عصبية ) بما يتيح التواصل بين العصبونات الحسية او الحركية وبين الجهاز العصبي المركزي .





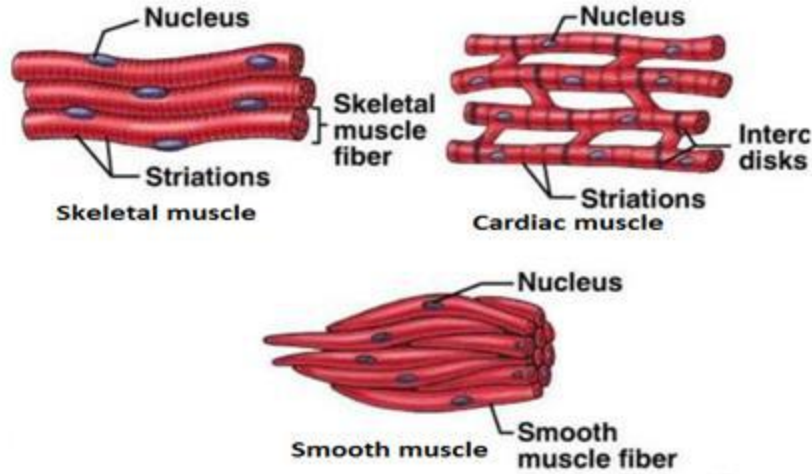
الشكل - 5 : الطرز العصبية .

فسلجة العضلات Muscles physiology

تعد العضلات نسيجاً متخصصاً للتقلص والحركة . كما ان الحركة ميزة مهمة في الكائنات الحية ( الانسان و الحيوان ) اذ تقتزن بتقلص العضلات لتمكنها من الانتقال في الوسط الذي تعيش فيه ولاغراض عديدة . تكون الحركة متمثلة بالحركة الانتقالية وحركة الاهداب والاسواط وحركة البروتوبلازم ( الذي يتميز بقابليته على التقلص Contractility والذي يؤدي تقلصه اثناء الانقسام الخلوي الى دخول الغشاء الخلوي باتجاه داخل الخلية ) وحركة الكروموسومات . وتعتمد الحركة بمختلف انواعها على وجود البروتينات المتخصصة للقيام بالتقلص والتي توجد في بيوض قنفذ البحر وصولاً الى خلايا الدماغ للكائنات الراقية . ومن اهم هذه البروتينات هي ال Myosin وال Actin لذا تعد العضلات اجهزة متخصصة لتحويل الطاقة الكيميائية الى طاقة ميكانيكية .

انواع العضلات :

تقسم العضلات الى ثلاثة انواع متمثلة بالعضلات الهيكلية والقلبية والملساء ( الشكل -1 ) . و يسهل هذا التنوع سيطرة الجهاز العصبي على الحركة اذ يتميز جهد الفعل الذي يحرض العضلات على التقلص بانعدام تنوعه وبخضوعه لقانون الكل او اللاشيء . فلا يمكن لعضلات الاطراف القوية والسريعة ان تحل محل عضلات الامعاء لغرض تحريك الطعام ، ولاتحتاج عضلة القلب وعضلات جناح الحشرات الى سيالات عصبية متواصلة كي تنقبض فاصل التقلص في عضلة القلب ذاتي المنشأ ونسقي Myogenic and rhythmic contraction ، كما ان عضلات الجناح في الحشرات تتقلص بصورة ذبذبية Oscillatory contraction دون الحاجة لوصول سيالة عصبية لكل ضربة ( انقباض ) .



الشكل - 1 : انواع العضلات ( للاطلاع ) .

تكون الخلايا العضلية غير متميزة في الانواع البسيطة من الاحياء متعددة الخلايا وان اول ظهور لبوادرتمايز الخلايا العضلية كان في الهيدرا اذ تقوم الزوائد الممتدة من الخلايا الظهارية بالحركة ، بينما تمايزت الخلايا العضلية في الانواع المتقدمة من الحيوانات لاحداث الحركة بتاثير عصبي في اغلب الاحيان . وقد تمثل التمايز بالانواع الاتية :

#### 1- العضلات الهيكلية Skeletal muscles :

مميزاتها:

ا- ترتبط بالهيكل العظمي وتكون الجهاز الحركي .

ب- هي عضلات مخططة مزودة باعصاب من السبيل القشري ( قشرة الدماغ ) - الشوكي ، لذا تعد عضلات ارادية ( قادرة على التقلص الارادي ) وقادرة ايضا على التقلص اللارادي لكونها مزودة باعصاب شوكية فتقوم بالمنعكسات الجسمية كما تقوم العضلات التنفسية بالتقلص اثناء النوم .

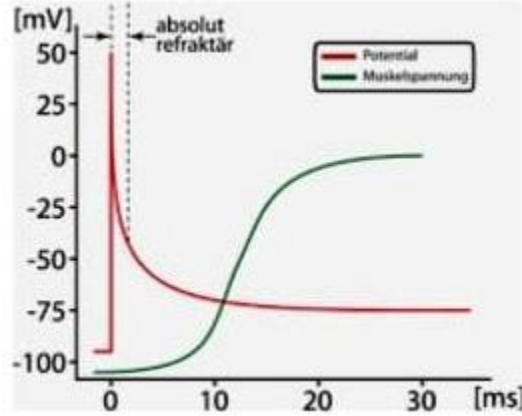
ج- يكون التقلص ( الانقباض ) مسبوفا بجهد فعل يستغرق ( بضع ملي ثواني ) ، ( الشكل - 2 ) .

د- لها القدرة على التقلص القوي والسريع لذا تصاب العضلات الهيكلية بالتعب بسرعة .

ه- اصل التقلص فيها عصبي المنشأ Neurogenic contraction اي تصاب بالشلل والضمور عند قطع او تلف العصب المرتبط بها لكونها لاتمتلك القابلية على التقلص الذاتي فهي لاتماثل العضلات القلبية والاحشائية .

و- يكون زمن تقلص العضلات الهيكلية سريع ( الشكل - 2 ) .

- س- تكون فترة العصيان Refractory period التي تلي جهد الفعل في العضلات الهيكلية قصيرة جدا اذ لا تتجاوز بضع ملي ثواني .
- ص- امتلاكها شبكة ساركوبلازمية جيدة التكوين .



- الشكل - 2 : العلاقة بين جهد الفعل وزمن تقلص العضلة الهيكلية .
- يمثل المنحنى الاحمر اللون جهد الفعل .
- يمثل المنحنى الاخضر اللون تقلص العضلة .

2- العضلات القلبية Cardiac muscles : تكون الياف العضلات القلبية اسطوانية متفرعة وتحتوي على نواة مركزية الموقع .

مميزاتها :

ا- تكون جدار القلب .

ب- هي عضلات لا ارادية لها القابلية على التقلص الذاتي اي اصل النبض فيها عضلي المنشأ Myogenic contraction ، وذلك بسبب وجود منظم الخطي ( الياف عضلية ذات نفاذية لايونات الصوديوم ) مما يفسر امكانية اعادة استزراع القلوب المستصلحة .

ج- تتقلص وتنسبط بالتعاقب اي تمتلك ايقاعية ( النسقية ) Rhythmicity .

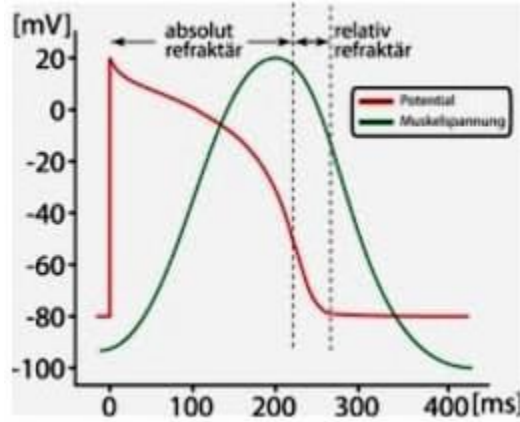
د- يساعد تركيب العضلة القلبية على التوصيل **Conductivity** إذ تسهل اليافها المتفرعة والمتشابكة انتقال جهود الفعل خلالها انتقالا كهربائيا ، مما يؤدي الى انتشار النشاط الكهربائي في العضلة ككل .

ه- يسبق التقلص بجهد فعل يستمر لفترة طويلة نسبيا (تقدر بمئات الملي ثواني ) في طور النزول من الذروة الى نشوء جهد الراحة . وتمكن الفترة الطويلة العضلة من التقلص بكل اليافها لذلك يتقلص البطين كقطعة واحدة .

و- يكون زمن التقلص ابطا مما في العضلة الهيكلية ( الشكل - 3 ) .

ز- تكون فترة العصيان التي تتبع جهد الفعل للبطين في العضلة القلبية طويلة نسبيا اذ تبلغ ( عدة مئات من الملي ثواني ) وبذلك لا يمر البطين بحالة التقلص المستمر ( التكرز ) Tetanus ، مما يتيح له الامتلاء بالدم من جديد فضلا عن استراحة عضلة جدرانه بفعل الارتخاء ( الانبساط ) ، ( الشكل - 3 ) .

ح- تكون العضلة القلبية مزودة باعصاب ذاتية تعمل على تحوير تقلصها وفق الحالة الفسلجية .



الشكل -3 : العلاقة بين جهد الفعل وزمن تقلص العضلة القلبية .

- يمثل المنحنى الاحمر اللون جهد الفعل .
- يمثل المنحنى الاحضر اللون تقلص العضلة .

### 3- العضلات الملساء Smooth muscles :

مميزاتها :

ا- تدخل في تركيب الاحشاء الداخلية ، وهي ذات الياف مغزلية الشكل لها علاقة بوظائف هامة جدا اذ تمتلك اهمية في تنظيم ضغط الدم وفي عمل كل من القناة الهضمية والجهازين البولي والتناسلي . يكون الليف العضلي المغزلي احادي النواة المركزية الموقع ، كما يحتوي الليف على بروتينات التقلص ( الاكتين والمايوسين ) الا ان مستوى تنظيمهما ليس بذات الدرجة التي عليها في الليف العضلي الهيكلي و القلبي . تكون الشبكة الساركوبلازمية ( الاندوبلازمية ) في هذا النوع من الالياف اما ضامرة او معدومة كليا قياسا بالشبكة الساركوبلازمية في الليفين الهيكلي والقلبي . ويساعد صغر حجم الليف في العضلة الملساء فضلا عن ارتفاع نسبة مساحة سطح الليف الى الحجم على تدفق ايونات  $Ca^{2+}$  ( المهم في عملية التقلص ) الى داخل الليف العضلي المغزلي .

ب- تكون العضلات الملساء بنوعين كالآتي :

اولا : العضلات الملساء الوحودية **Unitary smooth muscles** : يدخل هذا النوع من العضلات في تركيب جدران الاعضاء المجوفة كالقناة الهضمية والحالبين والمثانة والرحم . وهي عضلات لارادية و ايضا مجهزة باعصاب من الجهاز العصبي الذاتي .

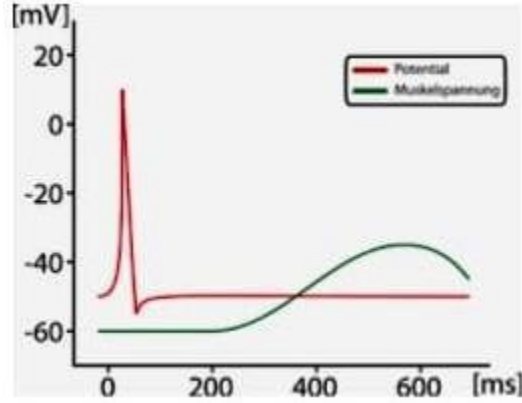
وان اصل التقلص في العضلات الملساء الوحودية عضلي المنشأ **Myogenic contraction** اي تتقلص تلقائيا لاملاكها منظم خطى واحد او اكثر ، وهي بذلك تشترك مع العضلات القلبية بهذه الخاصية .

تمتلك العضلات الوحودية خاصيتي النسقية والتوصيل كما هو في العضلات القلبية . اما الاعصاب الودية ونظير الودية المرتبطة بها فتعمل على تحوير شدة وزمن التقلص ولكنها غير مسؤولة عن بدء التقلص ، لذا لا يؤثر قطع هذه الاعصاب على تركيب العضلات الوحودية او على قابليتها التقلصية .

كما تتقلص العضلات الوحودية عند تعرضها للسحب او المط وتتناسب قوة التقلص طرديا مع قوة السحب الذي يعد من العوامل المخفضة لجهد الراحة وتوليد جهد الفعل . ومن العوامل الاخرى التي تؤدي ايضا الى تقلص العضلات الوحودية هي نقص ال  $O_2$  والتعرض الى النواقل الكيميائية المهيجة . اما عند تعرض هذا النوع من العضلات الملساء الى النواقل الكيميائية المثبطة فستظهر زيادة في جهد الراحة ( زيادة الاستقطاب ) فيصعب زواله .

ثانيا : العضلات الملساء متعددة الوحدات **Multiunit smooth muscles** : تدخل هذه العضلات في تركيب جدران الاوعية ( بعض الشرايين الكبيرة ) وايضا في عضلات قزحية العين . ويعد هذا النوع من العضلات اقل انتشارا في الجسم . وان اصل تقلص العضلات متعددة الوحدات عصبي المنشأ اي لاتقلص الا بالتنبيه العصبي .

اما زمن تقلص النوعين من العضلات الملساء ( الوحديوية و متعددة الوحدات ) فهو اطول مما هو عليه في العضلات الهيكلية والقلبية ( الشكل - 4 ) .

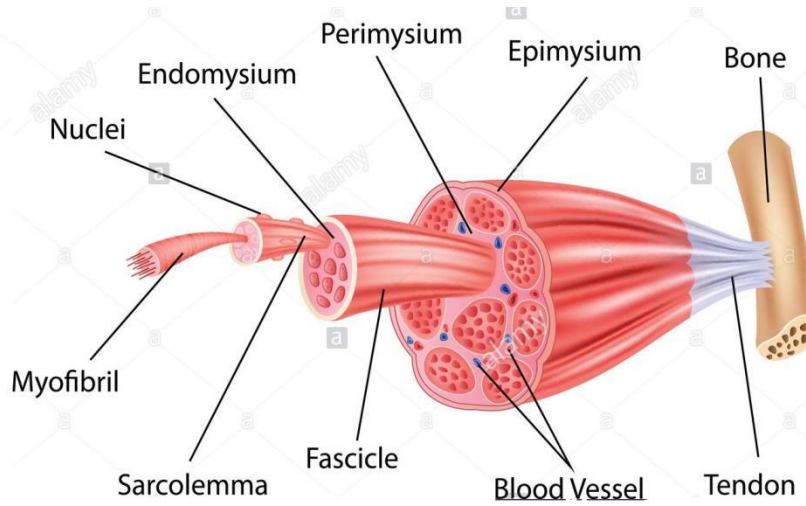


الشكل - 4 : العلاقة بين جهد الفعل وزمن تقلص العضلة الملساء .

- يمثل المنحنى الاحمر اللون جهد الفعل .

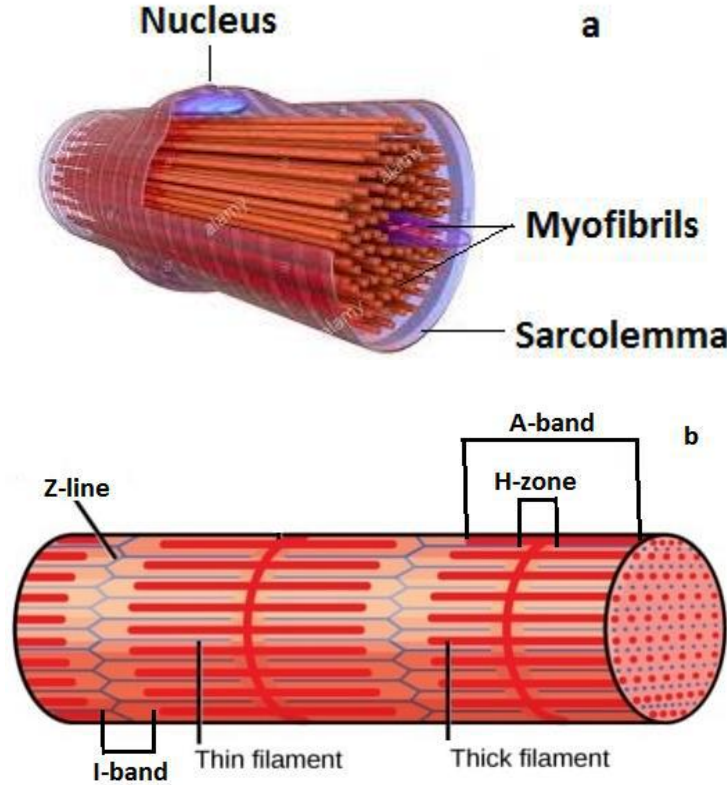
- يمثل المنحنى الاخضر اللون تقلص العضلة .

تركيب العضلة الهيكلية : تعد دراسة التركيب الدقيق للالياف العضلية الهيكلية واعتماد الكيمياء والفيزياء الحياتيين مهمة لتفسير الية النقل العضلي على المستوى الجزيئي ، اذ تتكون العضلة من مجموعة الحزم العضلية كما تتالف الحزمة الواحدة من عدد كبير من الالياف ( الخلايا ) العضلية **Muscle fibers** ( الشكل - 5 ) .



الشكل - 5 : العضلة الهيكلية ( للاطلاع ) .

**الليف العضلي ( الخلية العضلية ) Muscle fiber :** ان الليف العضلي الواحد هو خلية عضلية اسطوانية الشكل متعددة النوى المحيطة الموقع ذات الشكل البيضوي المتطاول . ويحتوي ساركوبلازم الليف العضلي ( الساييتوبلازم العضلي ) على عدد كبير ( الالاف ) من اللييفات العضلية **Myofibrils** المرتبة طوليا بموازية المحور الطولي للليف العضلي ( الشكل - 6 a ) . يبدو الليف العضلي عند الفحص بالمجهر الضوئي مخطط تخطيط مستعرض ( عرضيا ) . وقد اوضح الفحص بالمجهر المستقطب سبب التخطيط اذ ان كل ليف مكون من مناطق نيرة متبادلة مع مناطق معتمة . وسميت المناطق النيرة بالاشرطة المتجانسة ضوئيا **Isotropic bands (I -bands)** ، اما المناطق المعتمة فسميت بالاشرطة غير المتجانسة ضوئيا **Anisotropic bands (A-bands)** . كما يظهر في منتصف كل شريط نير خط معتم يدعى **Z-line** . في حين تظهر في منتصف كل شريط معتم منطقة شبة نيرة تدعى **H-zone** ، ونظرا لترصف اللييفات العضلية داخل الليف العضلي ولتموضع الاشرطة ( النيرة اوالمعتمة ) المتناظرة جنبا الى جنب يتصف الليف العضلي بكونه ذو تخطيط مستعرض ( عرضيا ) ، ( الشكل - 6 b ) .



- الشكل - 6 : a - الليف العضلي Muscle fiber
- b- اللييف العضلي Myofibril



## تركيب اللييف العضلي Myofibrils :

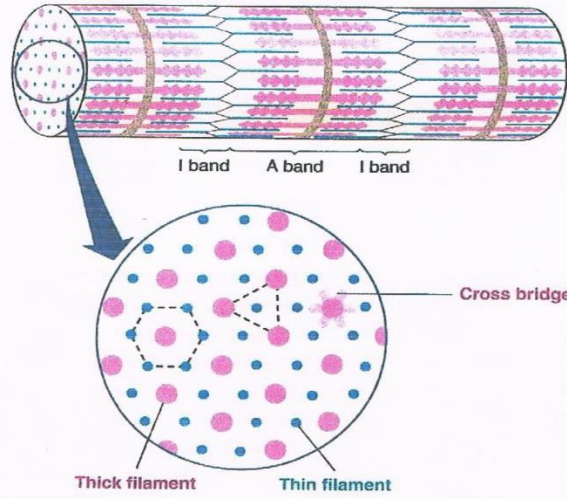
توصل العالمان Huxley and Hanson في منتصف القرن الماضي عند فحصهما للييف العضلي باستعمال المجهر الالكتروني الى تفسير سبب ظهور الاشرطة النيرة والمعتمة المتبادلة مع بعضهما بعض . اذ اظهر الفحص ان اللييف مكون من عدد كبير من الخيوط العضلية المستقيمة والمتوازية التي تبقى كذلك عند التقلص ، الا انها تتداخل مع بعضها مما يؤدي الى تغيير نسبي في سعة الاشرطة اعتمادا على درجة التقلص . كما اظهرت تلك الدراسات ان اللييف العضلي الواحد يتكون من مجموعة من القطع العضلية **Sarcomeres** . وتعرف القطعة العضلية بانها المنطقة المحصورة بين خطي من خطوط ال Z والمؤلفة من النوعين من الخيوط العضلية السميكة والرفيعة . وتعد القطعة العضلية الواحدة وحدة تركيبية للييف العضلي وهي الوحدة الوظيفية ( الانقباضية ) للييف العضلي .

انواع الخيوط في القطعة العضلية : تحتوي كل قطعة عضلية على نوعين من الخيوط هما :

1- الخيوط السميكة : وهي بروتين المايوسين **Myosin** وتكون مستقيمة موازية لبعضها بعض وتقع في وسط القطعة العضلية ، يبلغ قطر الخيط السميك 100 انكستروم وتقدر المسافة الفاصلة بين كل خيطين سميكين ب 200- 300 انكستروم ويحاط الخيط السميك الواحد بستة خيوط رفيعة (الشكل - 7) .

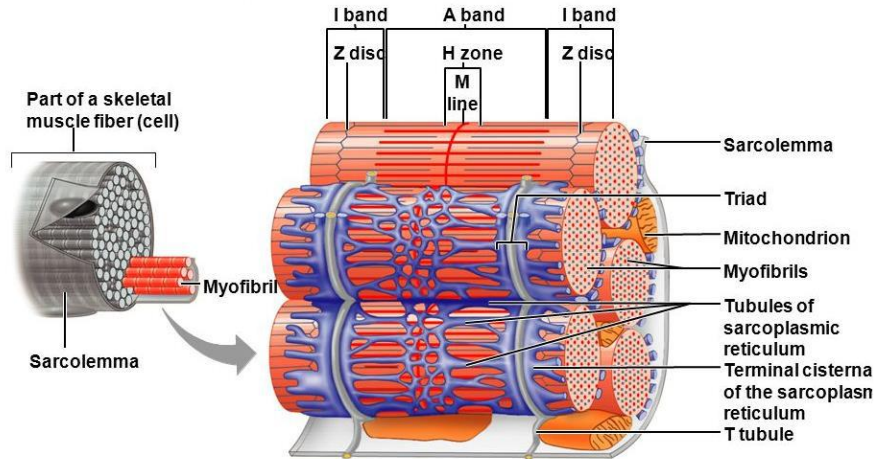
2- الخيوط الرفيعة: وهي بروتين الاكتين **Actin** وتكون هذه الخيوط مستقيمة موازية لبعضها بعض ومنبثقة من خطي ال Z للقطعة العضلية باتجاه وسط القطعة . يبلغ قطر الخيط الرفيع الواحد 40- 50 اكستروم ويحاط الخيط الرفيع الواحد بثلاثة خيوط سميكة (الشكل - 7) .

واعتمادا على ما بينته دراسة اللييفات العضلية فقد امكن تفسير ظهور الاشرطة النيرة والمعتمة المتبادلة اذ وجد ان كل شريط نير **I-band** مؤلف من نوع واحد من الخيوط فقط ( الخيوط الرفيعة اي الاكتين ) ، لذا عند اختراق الضوء لها سوف لا ينكسر بمستويات مختلفة لان الخيوط بكثافة واحدة فتبدو نيرة او مضيئة . كما يوجد في منتصف الشريط النير خط داكن هو خط او قرص Z و هو بروتين ساند يعمل على تثبيت الخيوط الرفيعة ( الاكتين ) في موقعها في القطعة العضلية .



الشكل - 7 : ترتيب الخيوط السميكة والرفيعة في اللييف العضلي .

اما الشريط المعتم A-band فيكون مؤلف من نوعين من الخيوط السميكة والرفيعة ( المايوسين والاكيتين ) اذ تمتد الخيوط الرفيعة من جانبي القطعة العضلية باتجاه وسط القطعة فتتداخل لمسافة بين الخيوط السميكة . اي ان الخيوط المكونة لهذا الشريط تكون بكثافات مختلفة لذا يعاني الضوء المار خلالها انكسارا مزدوجا Birefringence فتبدو معتمة . كما يظهر في وسط الشريط المعتم منطقة شبه نيرة لكونها مؤلفة من نوع واحد من الخيوط السميكة فقط ( تدعى بال H - zone والتي يوجد وسطها خط داكن يدعى بال M- line وهو بروتين ساند يعمل على تثبيت الخيوط السميكة ( المايوسين ) في موقعها ضمن القطعة العضلية ( الشكل - 8 ) .



الشكل - 8 : تركيب اللييف العضلي وتنظيم اللييفات مع بعضها داخل اللييف العضلي ( الخلية العضلية ) , ( للاطلاع ) .

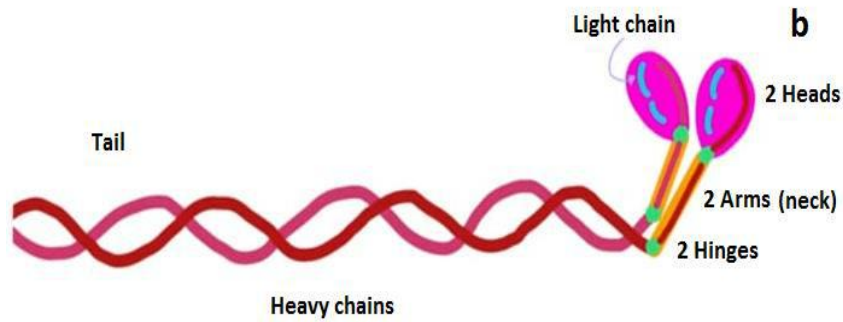
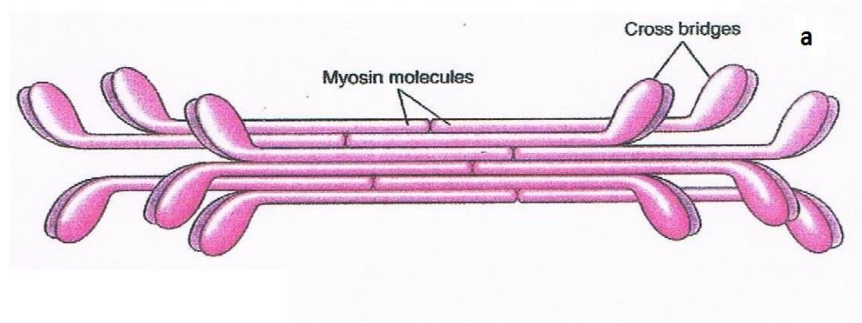
## بروتينات اللييفات العضلية :

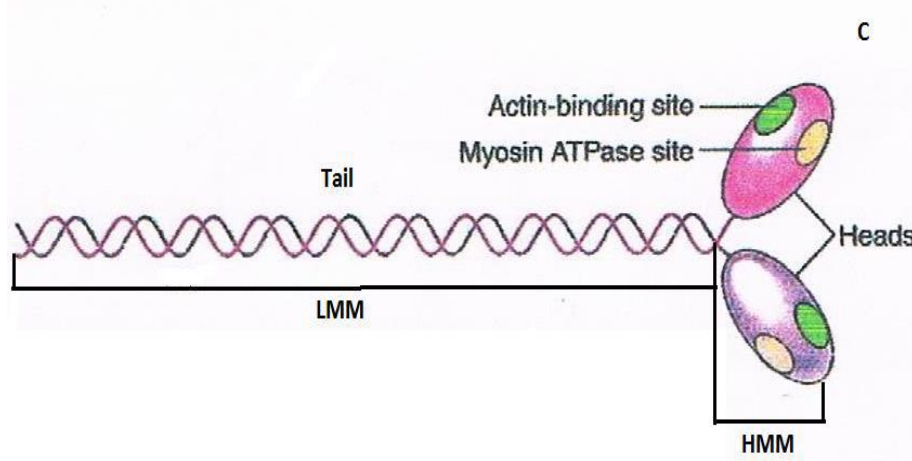
تحتوي اللييفات العضلية الموجودة في ساركوبلازم الليف العضلي على ثلاثة أنواع من البروتينات ضمن القطع العضلية هي البروتينات التقلصية و التنظيمية و الساندة كالآتي :

1- البروتينات التقلصية: وتشمل كل من خيوط المايوسين Myosin filaments ( السمكة ) و خيوط الاكتين Actin filaments ( الرفيعة ) التي ينتج عن تفاعلها ( ارتباطهما ) عملية التقلص .

ا- خيط المايوسين Myosin filament : يتألف كل خيط من الخيوط السمكة من بضع مئات من جزيئات المايوسين ( 400 جزيئة ) . تتجمع الرؤوس المزدوجة لهذه الجزيئات عند طرفي خيط المايوسين اذ تمتد من الخيط السمك باتجاه الرفيع ( الاكتين ) ، ( الشكل - 9 a ) .

يؤلف المايوسين نصف مجموع البروتينات التقلصية ويبلغ وزنه الجزيئي 450 كيلو دالتون ، ويتم استخلاصه بمحلول Kcl بتركيز 0.3 مول .





الشكل - 9 : a - خيط المايوسين .

b - التركيب الدقيق لجزيئة المايوسين .

c - المواقع في راسي المايوسين والHMM والLMM.

جزيئة المايوسين : تتألف كل جزيئة من جزيئات المايوسين المكونة للخيط من 6 سلاسل متعددة الببتيد **Polypeptide** . تكون اثنتان من هذه السلاسل ثقيلة **Heavy chains** وملتفتين مع بعضهما مكونة الحلزون المزدوج ، بينما تكون الاربعة سلاسل الاخرى خفيفة **Light chains** ( الشكل - 9 b ) .

اقسام جزيئة المايوسين :

تقسم جزيئة المايوسين الى ثلاث مناطق متمثلة بالذيل والعنق والراس كالآتي :

-الذيل **Tail** : الذيل هو الحلزون المزدوج الناتج من التفاف السلسلتين الثقيلتين مع بعضهما بعض.

-العنق **Neck** : ينفك التفاف السلسلتين الثقيلتين ( الحلزون المزدوج ) المكون للذيل في نهايته الامامية الى سلسلتين بولي ببتيديتين منفصلتين عن بعضهما فتدعى كل سلسلة منهما بالعنق او الذراع **Arm** . كما يوجد عند منطقة اتصال كل ذراع بالذيل مفصل **Hinge** يسهل حركته ( حركة الذراع ) .

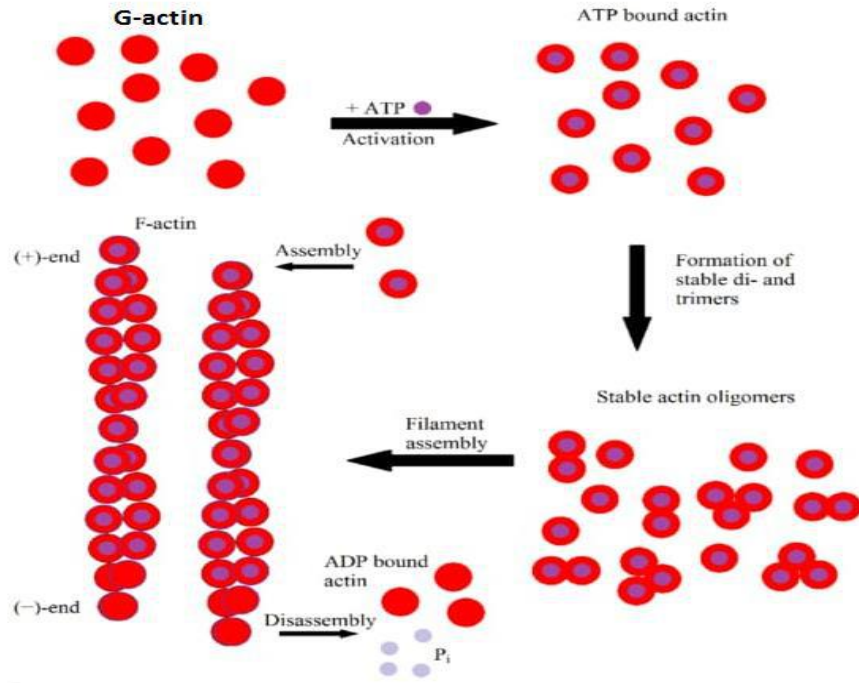
-الراس **Head** : تلتف كل واحدة من السلسلتين الثقيلتين لكل ذراع عند نهايتها التفافا شديدا مكونة راسا ببيضويا ويوجد مفصل **Hinge** اخر بين الراس والعنق (الذراع) مما يسهل حركته فضلا عن وجود سلسلتين اخريتين خفيفتين ، ولذا يكون كل راس مؤلف من 3 سلاسل ( واحدة ثقيلة واثنتان خفيفتان ) ، ( الشكل - 9 b ) . يحتوي كل راس على موقع مخصص للارتباط بموقع ارتباط على خيط الاكتين كما يحتوي على موقع يمثل انزيم **ATPase** الذي يقوم بتحليل جزيئة ال **ATP** عند ارتباطها بالراس ( الشكل - 9 c ) .

يمكن فصل جزيئة المايوسين الواحدة باستعمال انزيم التربسين الى قسمين احدهما متمثل بالراسين والعنقين ( يكون كزائدة ممتدة من الجزء الامامي للجزيئة ) ويدعى بجزء المايوسين الثقيل Heavy mero myosin(HMM) والقسم الاخر متمثل بالذيل ويدعى بجزء المايوسين الخفيف Light mero myosin(LMM) ( الشكل - 9 c ).

ب- خيط الاكتين Actin filament : يتالف كل خيط من الخيوط الرفيعة من سلسلتين من الاكتين الخيطي ملتفتين مع بعضهما مكونة تركيب حلزوني يمثل بروتين الاكتين . تنشأ كل سلسلة من سلسلتي الاكتين الخيطي ( Filament actin ( F-ACTIN ) من بلمرة ( تجميع ) جزيئات الاكتين الكروي Globular actin( G- ACTIN) بوجود ال  $Mg^{2+}$  و ATP وفقا للتفاعل الاتي :



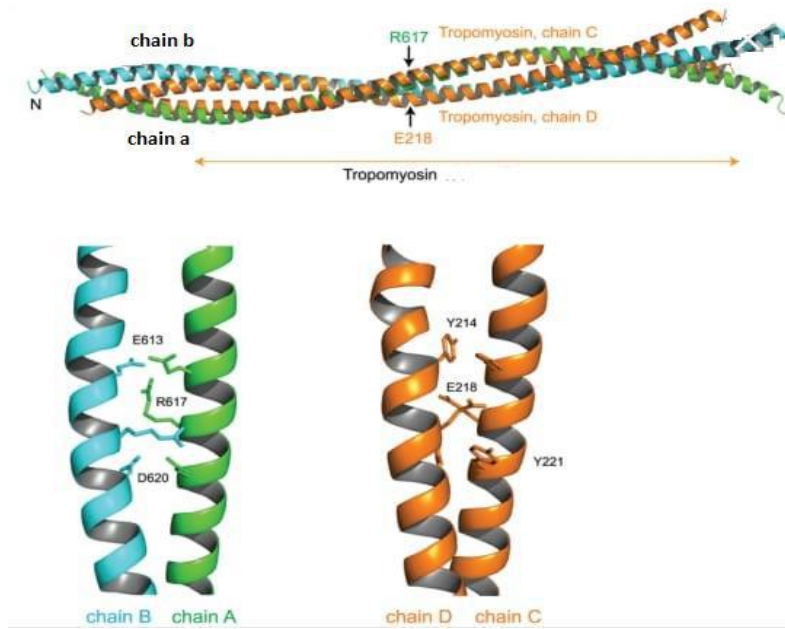
ويبلغ الوزن الجزيئي للاكتين 42 كيلودالتون ويسخلص بمحلول Kcl بتركيز 0.6 مول ( الشكل - 10 ) .



الشكل - 10 : عملية البلمرة لتكوين خيطي الاكتين ( للاطلاع ) .

2- البروتينات التنظيمية : وتشمل كل من التروبومايوسين Tropomyosin والتروبونين Troponin ، اللذان يمتلكان دورا تنظيميا لعملية انقباض البروتينات التقلصية ، يكون تركيبها كالاتي :

ا- التروبومايوسين : وهو جزيئات بروتينية بشكل حلزون مزدوج Double helix من نوع الفا وكل حلزون منهما مكون من سلسلتين متعددي البيبتيد وملتفتا بشكل فانق الالتفاف . ويمتد هذا الحلزون في ثنايا اهدود الاكتين الخيطي مغطيا لمواقع الارتباط الموجودة في الاكتين ( والمخصصة للارتباط ببروتين المايوسين). يبلغ وزنه الجزيئي 60 كيلو دالتون ويستخلص بمحلول KCl بتركيز 1 مول ( الشكلان - 11 و 12 ) .



الشكل - 11 : تركيب التروبومايوسين الذي يمثل الحلزون المزدوج ( للاعلى ) ،

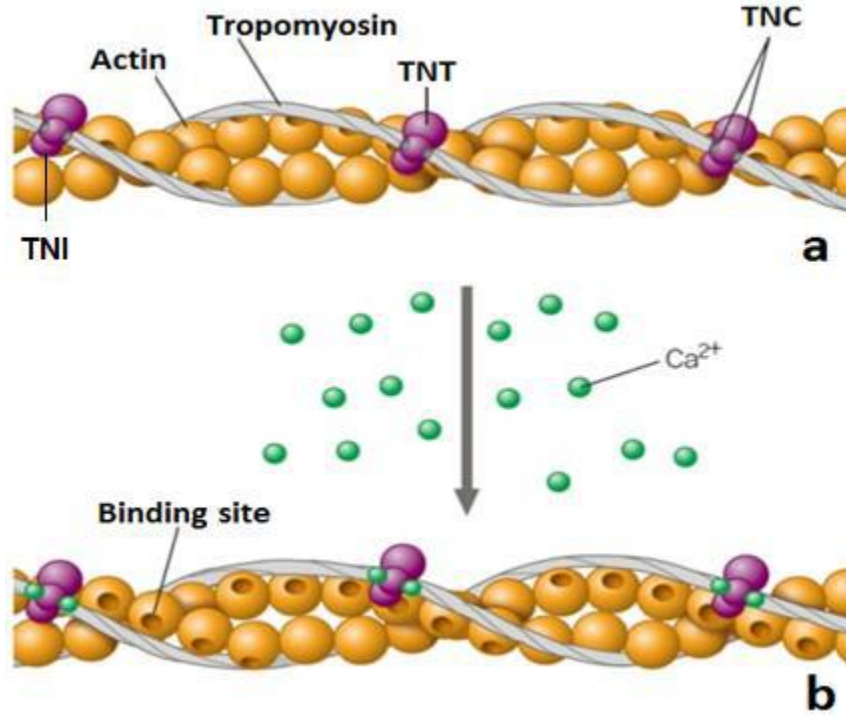
كل حلزون منهما يتكون من سلسلتين حلزونيتين متعددي البيبتيد ( للاسفل ) ، ( للاطلاع ) .

ب- التروبونين : وهو معقد مؤلف من 3 وحدات بروتينية ثانوية كروية ، يبلغ وزنه الجزيئي 18 الى 35 كيلو دالتون ويقع على ابعاد متساوية فوق جزيئات التروبومايوسين . اما تركيب الوحدات الثلاث المكونة للتروبونين فهو كالاتي :

- تروبونين T (TNT) : يربط الوحدتين الثانويتين الاخريتين المكونتين للتروبونين ( TNC , TNI ) اي التروبونين ككل بالتروبومايوسين ( الشكل - a ) .



- تروبونين I (TNI) : يرتبط بالاكيتين ليثبت مركب الاكتين - تروبومايوسين في مكانه فيمنع ارتباط المايوسين مع الاكتين في حالة الارتخاء ( الانبساط ) ، (الشكل - a ) .
- تروبونين C (TNC) : يحتوي على 4 مواقع متخصصة للارتباط بايونات ال  $Ca^{2+}$  فتحدث عملية التقلص ، ويكون الارتباط عكوسا ( الشكلان - a و b )



الشكل - 12 : التروبومايوسين والتروبونين على خيط الاكتين .

- a- التروبومايوسين مغطيا لمواقع الارتباط في خيط الاكتين.
- b- بحركة التروبومايوسين عن موضعه الاصلي انكشفت مواقع الارتباط في خيط الاكتين .

3- البروتينات الساندة : تشمل كل من بروتين الاكتين Actinin والتيتين Titin والنيبولين Nebulin والشريط M . و تعمل البروتينات الساندة على تثبيت البروتينات التقلصية في اماكنها المحددة في القطعة العضلية .

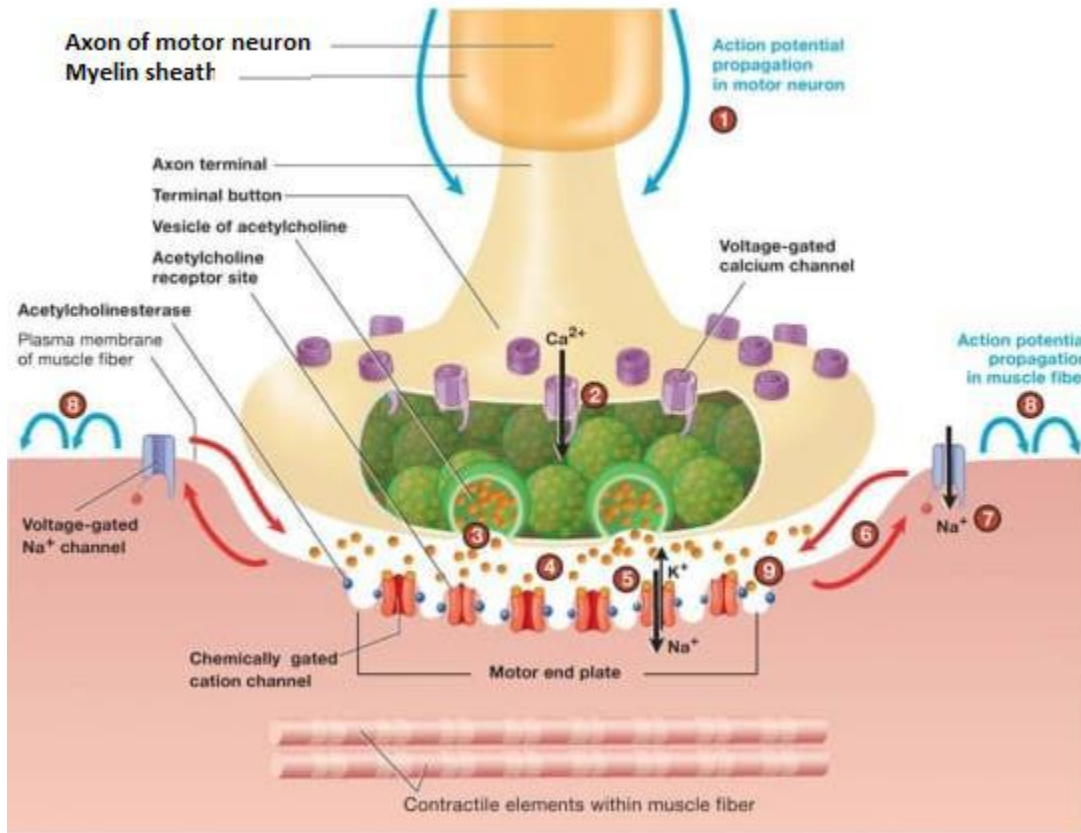
فسلجة العضلات Muscles physiologyالملتقى العصبي العضلي Neuromuscular junction :

تكون العضلات الهيكلية مزودة باعصاب من الجهازين العصبي المركزي والمحيطي لغرض القيام بعملها اذ ان اصل تقلصها عصبي المنشأ . و لا يوجد اتصال فعلياً بين سايتوبلازم نهاية الليف العصبي وسائتوبلازم الليف العضلي بل توجد فسحة ضيقة بين غشائي الليفين وتدعى بالفالق او الشق الاشتباكي **Synaptic cleft** وقد تسمى الفجوة **Gap** . يتميز غشاء الليف العضلي في منطقة الملتقى بكونه ذي انبعاثات لذا يبدو حاوي على طيات كثيرة مما يوفر مساحة واسعة لاستيعاب العدد الكبير من المستقبلات . كما تدعى هذه المنطقة من غشاء الليف العضلي بالصفحة او اللوحة الانتهائية الحركية وقد تدعى الصفحة او اللوحة الانتهائية المحركة **Motor end plate** والتي تحتوي على مستقبلات الاستيل كولين **Ach** وبكثافة اذ يوجد 10000 مستقبل لكل مايكرومتر مربع . وهذه المستقبلات هي قنوات ايونية مبنية بالربيطة **Ligand – gated ion channels** اي انها تفتح بمجرد ارتباط الناقل الكيميائي بها وبذلك تكون مختلفة عن القنوات المبنية فولتيا والتي مر ذكرها في محاضرة فسلجة الاعصاب (الشكل – 13) .

الحوادث المرافقة لوصول جهد الفعل الى منطقة الملتقى العصبي العضلي :

عند وصول جهد الفعل الى نهاية الليف العصبي ( الزر الاشتباكي ) في منطقة الملتقى ستندمج الحويصلات الاشتباكية مع غشاء الليف العصبي ( كما مر شرحه في محاضرة فسلجة الاعصاب ) فتطلق جزيئات الناقل الكيميائي الاستيل كولين **Ach** الى الفالق الاشتباكي . ثم ترتبط جزيئات الناقل **Ach** بمستقبلاتها الواقعة في الصفحة او اللوحة الانتهائية الحركية فيتغير شكل المستقبلات ويسمح بدخول ايونات ال  $Na^{+}$  عبر القنوات الخاصة بها من الوسط خارج الصفحة الى داخل الليف العضلي مسببة تغيير في جهد الغشاء اي زوال استقطاب جزئي صغير يدعى جهد الصفحة او اللوحة الانتهائية **( EPP ) End plate potential** ، والذي سيزداد كلما حصلت زيادة في اعداد الناقل **Ach** المرتبطة بالمستقبلات فيرتقي جهد الصفحة مسببا انفتاح بوابات قنوات ايون ال  $Na^{+}$  المبنية فولتيا الواقعة في المنطقة المتاخمة للصفحة ( اللوحة) فتدخل ايونات ال  $Na^{+}$  ويتولد عندئذ جهد فعل ساري في جميع غشاء الليف العضلي ثم يدخل الى عمق الليف العضلي فيحدث التقلص ، كما يؤدي تفكك ال **Ach** بفعل انزيم **Cholinestrase** في منطقة الملتقى الى ارتخاء الليف العضلي ( الشكل - 13 ) .



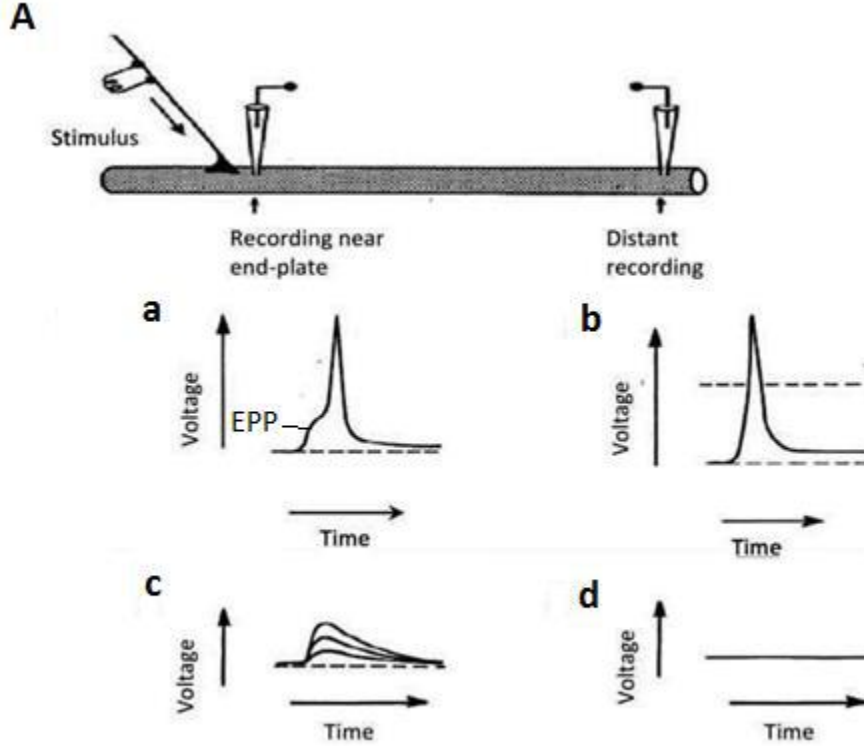


الشكل - 13 : الملتقى العصبي العضلي .

### تسجيل جهد اللوحة الانتهاية EPP :

استعمل علماء الفسلجة الكهربائية وسائل لدراسة التغيرات التي تمهد لنشوء ال EPP والتقطت التغيرات بمسرة دقيقة وضعت بالقرب من اللوحة الحركية الانتهاية ، وقد عززت هذه الدراسة تجارب العالم Kuffler في 1942 اذ استعمل جرعات من مادة الكورار ( الكيورار ) Curare ) مركب كيميائي مصدره بعض نباتات الغابات في امريكا واستراليا استعمله السكان الاصليين في تسميم رؤوس سهام الصيد اذ يسبب شلل عضلات الفريسة . يمتلك الكورار تأثيرا انيا و محدودا اذ يعمل في منطقة الملتقى العصبي العضلي للعضلات الهيكلية فقط وذلك بتنافس مع الناقل الكيميائي Ach على الارتباط بمستقبلاته في منطقة اللوحة الانتهاية مانعا بذلك ال Ach من الارتباط اي يعطل المستقبلات فيمنع انقباض العضلات اي اصابتها بالشلل ) فتوصل للاتي :

- 1- تؤدي زيادة الكورار الى تلاشي ال EPP تدريجيا واختفاء جهد الفعل .
- 2- لا يلتقط ال EPP من موضع بعيد عن منطقة اللوحة الانتهائية الحركية بل يلتقط من موضع قريب.
- 3- ينشأ جهد الفعل عند وصول ال EPP الى العتبة ( الشكل - 14 ) .



الشكل - 14 : جهد اللوحة الانتهائية .

A - موضعي مسرارة ( قطب) التسجيل في الليف العضلي .

a - ظهور جهد اللوحة الانتهائية EPP وجهد الفعل معا عند وضع المسرارة قرب اللوحة الانتهائية الحركية ( يسار الليف ) .

b - ظهور جهد الفعل فقط عند وضع المسرارة بعيدا عن اللوحة الانتهائية الحركية ( يمين الليف ) .

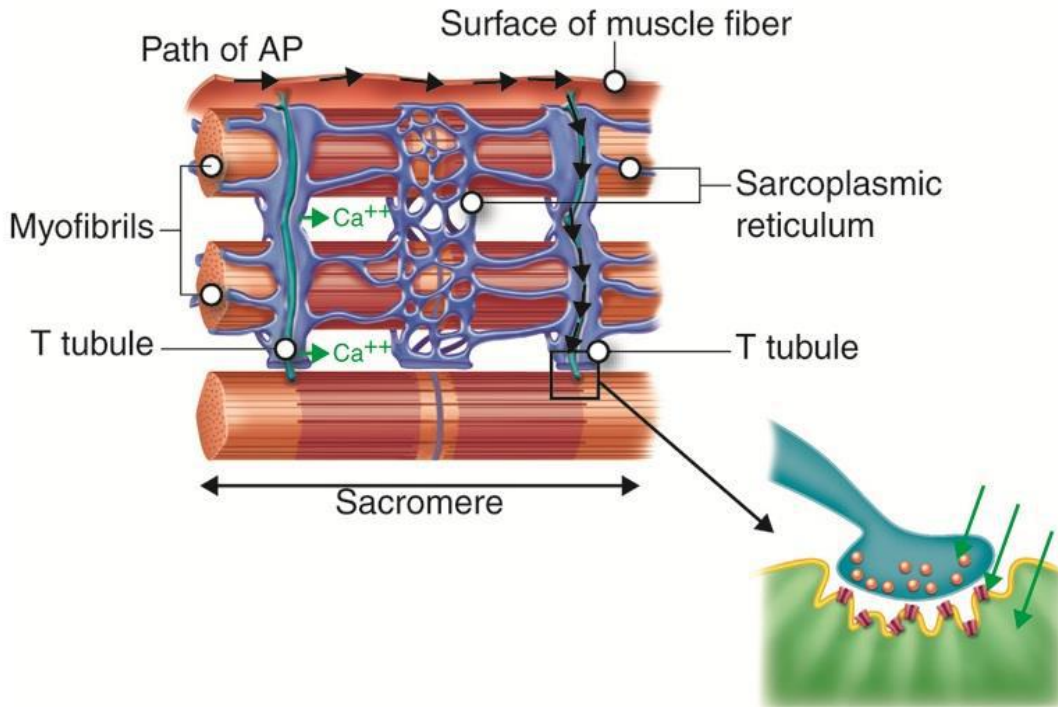
c - ظهور جهد اللوحة فقط EPP فقط عند وضع المسرارة قرب اللوحة الانتهائية الحركية لليف معاملة بالكورار ( يسار الليف ) .

d - اختفاء كل من جهد اللوحة الانتهائية وجهد الفعل وظهور جهد الراحة في الليف عند زيادة المعاملة بالكورار.

## الازدواج التهيجي التقلصي : Excitation contraction coupling

هو الارتباط السريع الذي يستغرق 1 - 2 ملي ثانية بين موجة جهد الفعل السارية في الساركولما ( الغشاء البلازمي للليف العضلي ) والتغيرات الكيميائية التي ستحصل في اعماق الليف العضلي بما يؤدي الى التقلص العضلي . تنتقل موجة جهد الفعل الى داخل الليف العضلي بالرغم من المسافة الفاصلة بين الساركولما والليفات العضلية داخله . وقد ساعد المجهر الالكتروني في تفسير ذلك اذ اظهر وجود انبعاثات بشكل انيبيبات دقيقة جدا تقع على مسافات محددة على طول امتداد الساركولما . تمتد هذه الانبيبات بصورة مستعرضة الى اعماق الليف وتصل عند مستوى نهايات الخيوط السمكية كما في العضلات الهيكلية او تكون بالقرب من خط ال Z كما في العضلات القلبية ، و تدعى بالانيبيبات المستعرضة Transverse - tubules ويشار لها اختصارا بال T-tubules . وان هذه الانبيبات الممتدة الى داخل الليف العضلي تشكل شبكة تدعى بالنظام الانبيبي المستعرض Transverse tubular system ويشار لها اختصارا بال T-system .

كما يوجد في ساركوبلازم الليف العضلي شبكة ساركوبلازمية جيدة التكوين وهي شبكة من اغشية نيببية ممتدة طوليا وعرضيا ، تتميز نهايات تفرعاتها الطولية بكونها متوسعة تدعى الصهاريج Cisternae وتمثل الشبكة الساركوبلازمية مخازن غنية جدا بايونات ال  $Ca^{2+}$  ( الشكل - 15 ) .

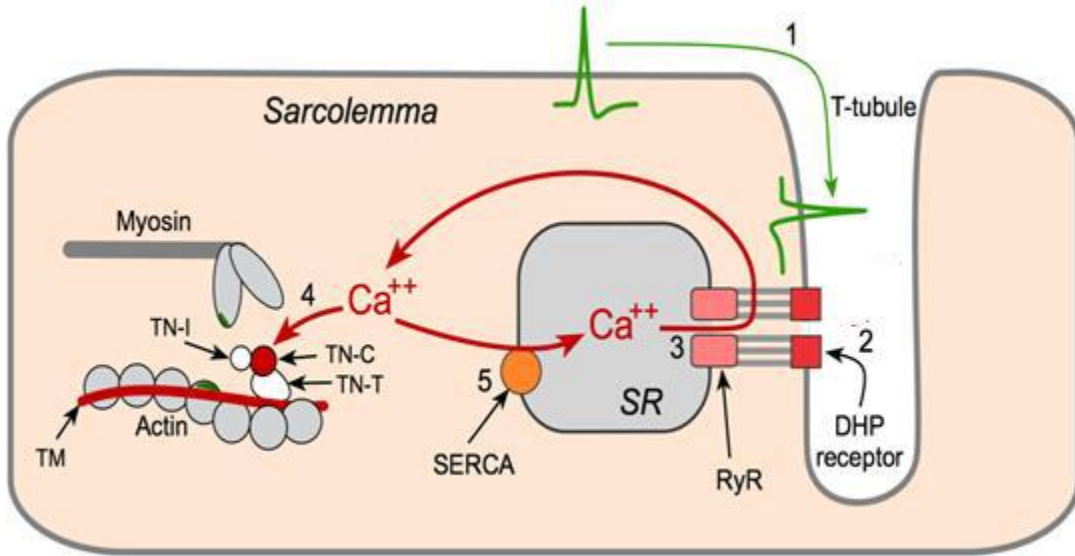


الشكل - 15 : الازدواج التهيجي التقلصي .

## نظام الثلاث ( Triad -system ) :

يتألف نظام الثلاث من انيبيب T واحد ومن صهريجين من صهاريج الشبكة الساركوبلازمية الواقعين على جانبي الانبيب بصورة متاخمة جدا ، ويحتوي الليف العضلي على الالاف من نظام الثلاث وبهذا النظام سيتحقق الاتصال بين كل من خارج الليف العضلي والليفات العضلية في داخله ( الشكل - 16 ) . يحتوي الغشاء العضلي Sarcolemma لانبيبات T على تركيز عالي من المستقبلات البروتينية التي تستشعر بجهد الفعل الواصل الى غشاء انبيب T فولتيا وتدعى بال Dihydropyridine receptors (DHPR) لذا تعمل كجهاز حساس للفولتية Voltage sensor . ترتبط ال DPHR بنوع اخر من المستقبلات تدعى Ryanodione receptors (RYR) وتقوم بتنشيط ال RYR . تتموضع مستقبلات ال RYR في اغشية صهاريج الشبكة الساركوبلازمية وتعد هذه المستقبلات قنوات لتحرير سريع لايونات ال  $Ca^{2+}$  من داخل الشبكة الساركوبلازمية الى الساركوبلازم ( الشكل - 16 ) .

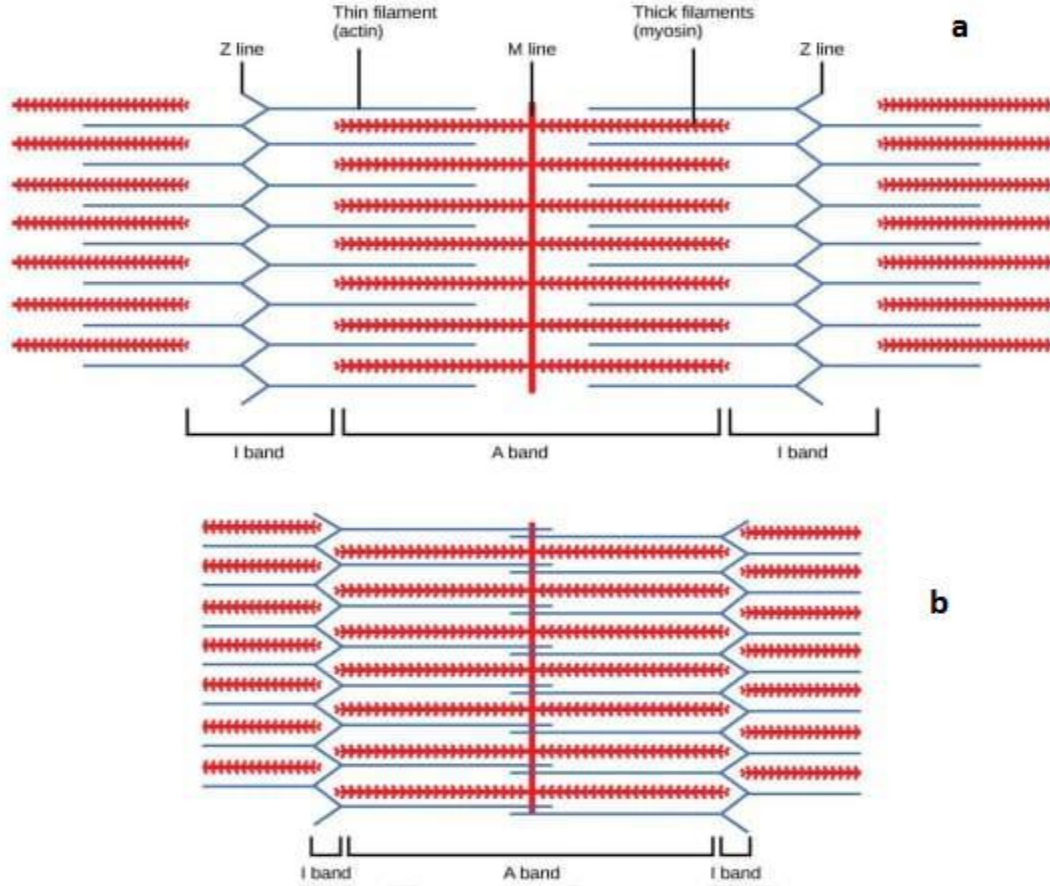
اثبتت الدراسات السابقة ان ازالة اجهزة T من الليف العضلي يؤدي الى توقف التقلص في القطع العضلية ، كما تعتمد سرعة التقلص والارخاء على مدى تطور الشبكة الساركوبلازمية . وتمتلك بعض المواد الكيميائية المتمثلة بالكافيين Caffeine والثيوفيلين Theophylline القابلية على تحرير ايونات ال  $Ca^{2+}$  فيحدث تقلص طويل الامد نسبيا يدعى القلص Constructure كاستجابة للمنبهات غير الطبيعية .



الشكل - 16 : نظام الثلاث ( للاطلاع ) .

## نظرية الانزلاق الخيطي Sliding filament theory :

هي النظرية التي تفسر عملية انزلاق الخيوط ( البروتينات التقلصية ) . ينجم التقلص العضلي عن انزلاق ( سحب ) الخيوط الرفيعة فوق الخيوط السميكة مما يؤدي الى تداخل هذه الخيوط فينتج عن ذلك قصر طول القطع العضلية ( اجزاء من اللييفات المحصورة بين خطي من خطوط ال Z ) ثم قصر اللييفات ثم قصر الالياف العضلية ثم قصر طول العضلة اي انقباضها ، بينما تبقى البروتينات التقلصية ( الخيوط ) في اللييفات دون تغيير في طولها ( الشكل - b17 ) . اما تفسير عملية الارتخاء وفقا لهذه النظرية فهي عودة العضلة الى طولها قبل التقلص ( الشكل - a 17 ) . تدعى نظرية الانزلاق الخيطي ايضا بدورة التقلص او دورة الجسر المستعرض ( العرضي ) .



الشكل - 17 : a - حالة الارتخاء ( الارخاء او الانبساط )

b- حالة التقلص ( الانقباض ) للقطعة العضلية .

ومن التعديلات الحديثة التي تضمنتها نظرية الانزلاق الآتي :

1- تكون الخيوط السميكة ( المايوسين ) والرفيعة ( الاكتين ) موازية لبعضها بعض وتمتد اجزاء المايوسين الثقيل HMM ( رؤوس المايوسين ) بصورة متعامدة باتجاه خيوط الاكتين ، الا انها ممنوعة من الاتصال بمواقع الارتباط الموجودة على خيط الاكتين لكون تلك المواقع مغطاة بخيط التروبومايوسين . يتميز كل راس بيضوي للمايوسين بامتلاكه موقعين احدهما مخصص للارتباط بال ATP والاخر مخصص للارتباط بموقع الارتباط الموجود على خيط الاكتين .

وقبل البدء بعملية التقلص يرتبط كل راس بيضوي بجزئية ATP والتي تشطر بالفعالية الانزيمية التي يمتلكها هذا الراس الى  $ATP + P_i + Energy$  ، وبذلك تخزن الطاقة سلفا في الراس قبل التقلص مما يجعل المايوسين بحالة عالية الطاقة ( الشكل - 18 a ) .

2- عند تنبيه العضلة الهيكلية سيتولد جهد فعل ساري ( موجة زوال استقطاب ) في غشاء الليف العضلي ( الساركولما ) ثم يدخل الى داخل الليف العضلي عن طريق انيبيب T فيتحسس المستقبل البروتيني DHPR الواقع في غشاء الانبيب بموجة زوال الاستقطاب السارية فيه فيحصل تغيير في شكله فيؤثر التغيير على مستقبل ال RyR المتاخم له والموجود في غشاء الشبكة الساركوبلازمية فتفتح قناة هذا المستقبل وتحرر ايونات ال  $Ca^{2+}$  من صهريجي الشبكة الساركوبلازمية الواقعتين على جانبي الانبيب T الى الساركوبلازم ( الشكل - 16 ) . ثم ترتبط ايونات ال  $Ca^{2+}$  المتحررة بالتروبونين C فيتغير شكله فيقوم بكل من ازالة التروبونين I من موقعه وسحب خيط التروبومايوسين ، وبذلك ستكشف مواقع الارتباط على خيط الاكتين فترتبط الرؤوس البيضوية للمايوسين ذات الطاقة بخيط الاكتين وبزاوية 90 درجة فتتكون عندئذ الجسور المستعرضة ( العرضية ) Cross bridges بين خيطي المايوسين والاكتين . كما تتحرر مجموعة ال  $P_i$  حال حصول الارتباط تاركة الطاقة في الرؤوس ( الشكل - 18 b ) .

3- نظرا لما يمتلكه الراس من طاقة فان اتصال راس الجسر المستعرض بموقع الارتباط سيحدث ميل الراس البيضوي باتجاه الذراع بزاوية 45 درجة ، مما يؤدي الى سحب خيط الاكتين باتجاه الخلف اي باتجاه خط M في منتصف القطعة العضلية ويدعى هذا الميل والسحب بضربة او شوط الطاقة Power stroke التي تم خزنها سلفا بالراس . عندئذ سيصبح الراس منخفض الطاقة وتحرر جزئية ADP وتبقى الرؤوس مرتبطة بقوة بالاكتين لفترة قصيرة ( الشكل - 18 c ) .

4- يحصل ارتباط لجزئية ATP جديدة بالراس مسببة انخفاض اللفة بين راس المايوسين وموقع الارتباط في الاكتين فينفك ارتباط راس المايوسين عن موقع الارتباط في خيط الاكتين ( الشكل - 18 c ) .

5- تتحلل جزئية ال ATP الجديدة المرتبطة بالراس الى  $ADP + P_i + Energy$  وبذلك يصبح راس المايوسين بوضع عالي الطاقة استعدادا لبدء ارتباط اخر بموقع جديد على الاكتين يكون اقرب الى خط ال Z . تتكرر هذه العملية مرة ثانية وثالثة وهكذا حتى يسحب خيط الاكتين اغشية ال Z باتجاه نهايات خيوط المايوسين ( الشكل - 18 c ) .

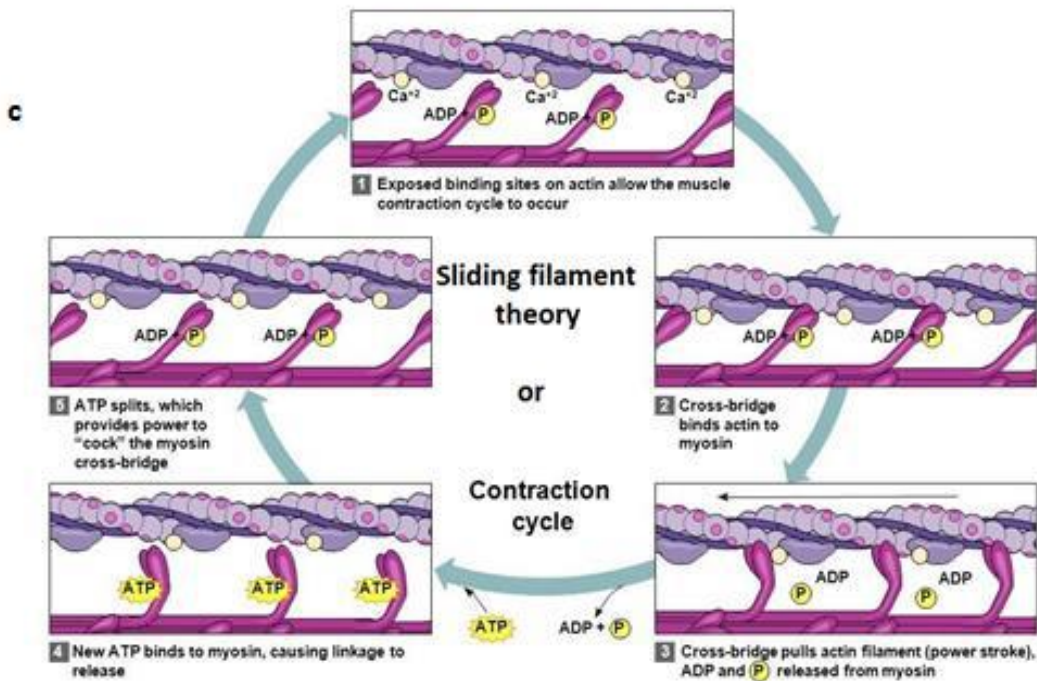
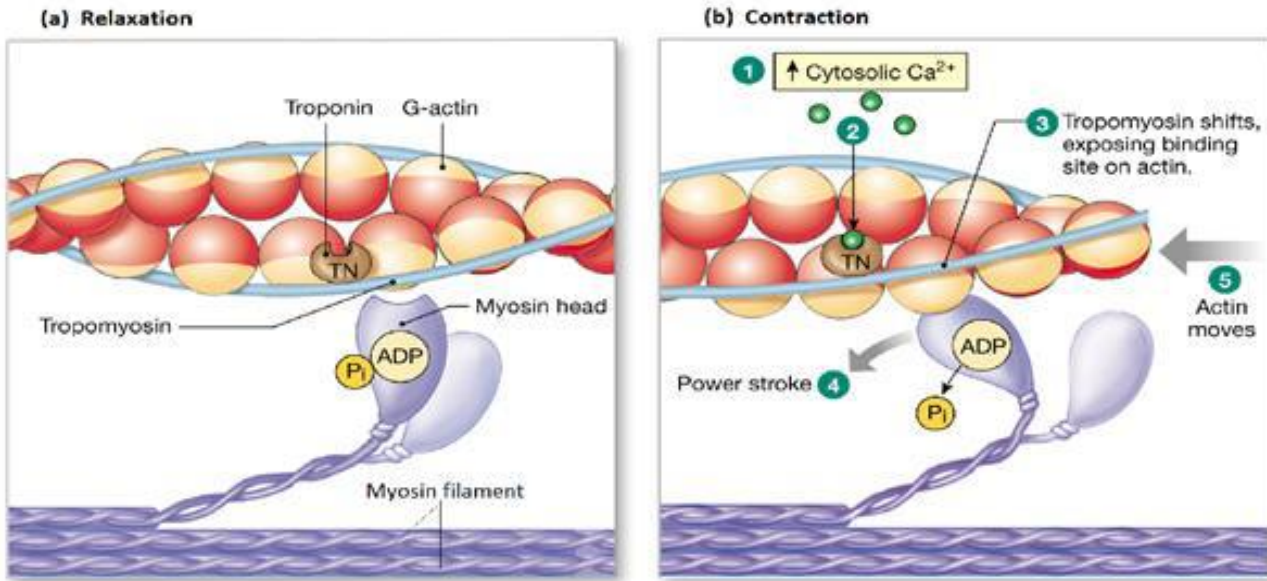
6-تعود ايونات ال  $Ca^{2+}$  بعد زوال المنبه بعملية النقل الفعال الى الشبكة الساركوبلازمية فيعود بذلك تروبونين C الى شكله السوي ثم يعود كل من تروبونين I والتروبومايوسين الى موقعهما قبل التقلص فتغطي مواقع الارتباط على خيط الاكتين بذلك ، مما يمنع اتصال الراس البيضوي لجزء المايوسين الثقيل بخيط الاكتين فيحدث الارتخاء .

### عملية الارتخاء ( الارخاء او الانبساط ) :

يحدث الارتخاء بعودة الخيوط الرفيعة الى مواضعها في حالة الراحة ومن شروط حصول عملية الارتخاء الاتي :

- 1- ارتباط جزيئة ATP جديدة بالراس ثم فك ارتباط راس الجسر المستعرض من موقع الارتباط على خيط الاكتين فينتهي وجود الجسر المستعرض .
- 2- انخفاض تركيز ايونات ال  $Ca^{2+}$  فبلوغه 7 الى 10مول لكل لتر وذلك باعادة هذه الايونات الى صهاريج الشبكة الساركوبلازمية بعملية نقل فعال ( تصرف فيها طاقة ) ، مما يمنع عودة ارتباط راس المايوسين مع خيط الاكتين اي منع تكون الجسر المستعرض ( الشكل - a18 ) .





الشكل - 18 : a- راس المايوسين متعامد باتجاه خيط الاكتين في حالة الارتخاء (للاطلاع).

b- ارتباط راس المايوسين بموقع الارتباط في خيط الاكتين في حالة التقلص.

c- انزلاق خيط الاكتين على خيط الاكتين ( نظرية الانزلاق الخيطي ) .



## المظاهر الالية للتقلص العضلي :

من الظواهر الفيزيائية للتقلص العضلي الاتي :

- 1- يحصل تغيير في طول العضلة .
- 2- تغيير في درجة توترها .
- 3- تغيير في سرعة تقلصها .
- 4- تغيير في نوعية التقلص .

## وظائف العضلة :

- 1- توليد قوة مسيطر عليها او تادية شغل بالاتكماش مقابل قوة (رفع الاشياء او الضغط عليها بقوة) وتحصل السيطرة عليها من قبل الجهاز العصبي اذ يتحكم بنوعية ودرجة التقلص .
- 2- تقوم العضلة بتوليد حرارة الجسم .

الخصائص الكيمياوية للعضلة : تحتوي عضلة الفقرات في حالة الراحة ( الارتخاء او الانبساط ) على نسبة عالية من البروتينات تصل 5 – 20% من الوزن الطري ، بينما تكون نسبة الماء فيها 72- 80% وماتبقى هو مواد صلبة متمثلة بالاملاح اللاعضوية والحموض الامينية والكرياتين والكلايكوجين والبروتينات ، لاسيما البروتينات الليفية ذات الدور المهم في عملية التقلص .

## مصادر الطاقة للتقلص العضلي :

- 1- مركبات ال ATP : يعد مركب الاديونوسين ثلاثي الفوسفات ATP مصدرا مباشرا للطاقة اللازمة لحصول التقلص العضلي اذ يتحلل الى مركب الاديونوسين ثنائي الفوسفات ومجموعة فوسفات لاعضوية وطاقة بمساعدة الجزء الانزيمي للميرومايوسين الثقيل HMM وفقا للتفاعل الاتي :



ويبلغ تركيز هذا المصدر 2 – 4 ملي مول لذا سينفذ بسرعة عند التقلص المستمر فتصبح العضلة في حالة صمل Rigor اي توتر دائم وتفقد مرونتها وقدرتها على التقلص والارخاء .

- 2- فوسفات الكرياتين (CP) Creatine phosphate : مادة غنية بالطاقة توجد في عضلات الفقرات واللافقرات بنسبة 0.5% ، يمنح الCP طاقته بصورة غير مباشرة عند انخفاض ال ATP اللازم للتقلص العضلي اذ يقوم بفسفرة ال ADP ( منح مجموعة الفوسفات الخاصة به الى جزيئة ال ADP ) بمساعدة انزيم Creatine phosphokinase وفقا للتفاعل الاتي :



3- الية توليد ال ATP من جزيئين ADP بمساعدة انزيم Myokinase وفقا للتفاعل الاتي :



ولكون ثابت التفاعل = 1 لايمكن الاستفادة من جزيئات ال ATP المتولدة بهذه الالية اذ سرعان مايتجه التفاعل الى اليسار، اي ان جزيئة ال ATP المتولدة ستفقد مجموعة ال P التي اكتسبتها متحولة بذلك الى ال ADP . الا ان انزيم AMP aminohydrolase يقوم بازالة مجموعة امين  $NH_2$  من جزيئة AMP فيتغير تركيبها الى مركب يدعى اينوسين احادي الفوسفات IMN وفقا للتفاعل الاتي :



وبالتالي تتم الفائدة من الية جزيئين ADP لتوليد ATP وبها تعود نصف كمية ال ATP التي استهلكت في النشاط العضلي ، وتستعمل فقط في الحالات الطارئة من العضلات المجهدة لكون اعادة ال IMP الى ADP تكون مكلفة .

4- الكلايوجين : يعد الكلايوجين من اهم مصادر الطاقة وتكون نسبته عالية ( 1% ) في العضلات الهيكلية . يتحلل الكلايوجين الى وحدات الكلوكوز التي تمر كل واحدة منها بمراحل التنفس الخلوي الهوائي ( الاكسدة ) كالاتي :

ا- التحلل السكري التي ينتج عنها جزيئان من حمض البايروفك والتي تدخل كل منهما في المرحلة التالية .

ب- دورة كربس ( دورة لكل جزيئة من جزيئتي حمض البيروفك ) .

ج- الفسفرة التاكدية (سلسلة نقل الالكترن والفسفرة).

وينتج عن اكسدة جزيئة كلوكوز واحدة 38 جزيئة ATP . كما توجد حسابات نظرية وحقيقية لعدد جزيئات ال ATP الناتجة معطية اعداد تختلف عما تم ذكره .

5- البروتينات والدهون : عند القيام باعمال مرهقة او شاقة فان 20% من الطاقة تنتج عن ايض البروتينات وترافقها زيادة ملموسة في المواد النيتروجينية المطروحة ، كما يلاحظ انخفاض الدهون في العضلة بنسبة 12 الى 13% .

## العلاقة بين المنبه والاستجابة :

1- **النفضة ( الخطفة ) العضلية البسيطة Simple muscle twitch** : وهي تمثل استجابة مفردة عند تنبيه الالياف العضلية بمنبه عصبي واحد سواء اكان التنبيه مباشر ام غير مباشر . تتألف النفضة العضلية من ثلاث مراحل كالآتي :

ا- فترة الكمون **Latent period** : هي الفترة الزمنية الكائنة بين التنبيه (الصادر من العصبونة الحركية الى الليف العضلي ) وانقباضه وتستغرق 10ملي ثانية . اما اسباب فترة الكمون هي كالآتي:  
اولا- الفترة الزمنية اللازمة لوصول السيطة العصبية من موقع التنبيه الى الملتقى العصبي العضلي .  
ثانيا- الفترة الضرورية لانتشار ال **Ach** اي عبور الفسحة الاشتباكية في منطقة الملتقى العصبي العضلي ثم تولد جهد الصفيحة الانتهازية .

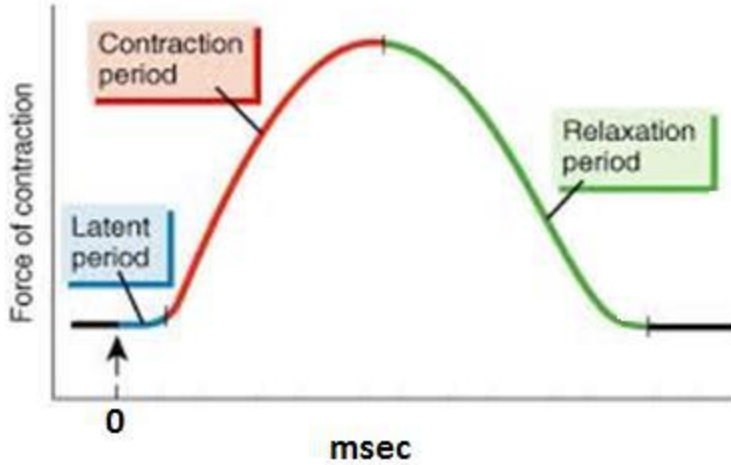
ثالثا- الفترة الزمنية اللازمة لزوال الاستقطاب وتولد جهد الفعل الساري في غشاء الليف العضلي ثم حصول تقلص اللييفات العضلية . ( ان العاملين ثانيا وثالثا هما السببان الحقيقيان لفترة الكمون عند التنبيه غير المباشر ( بوساطة العصب) للعضلة .

رابعا- الوقت اللازم للتغلب على زخم العتلة والاحتكاك بينها وبين سطح الورقة في الجهاز .

ملاحظة : قد تنخفض فترة الكمون عند التنبيه المباشر للعضلة الى 3 ملي ثانية وذلك لانعدام العاملين اعلاه ( اولا وثانيا ) . وقد تنخفض الى 0.4 ملي ثانية عند استعمال عند استعمال اجهزة كايموغراف حديثة حساسة اكثر بالمقارنة مع اجهزة الكايموغراف القديمة وذلك لانعدام العامل ( رابعا ) .

ب- فترة الانقباض **Contraction period** : هي الفترة التي تحصل خلالها ضربة القوة اي سحب خيط الاكتين باتجاه الشريط **M** اي باتجاه منتصف القطعة الوسطية مما يؤدي الى الانقباض وتستغرق 40 ملي ثانية .

ج- فترة الارتخاء **Relaxation period** : هي الفترة التي تحصل اثنائها عودة ايونات ال  $Ca^{2+}$  الى صهاريج الشبكة الساركوبلازمية ، مما يؤدي الى تغطية مواقع الارتباط على خيط الاكتين ثم منع رؤوس المايوسين من الارتباط بها اي انعدام تكوين الجسور المستعرضة وتستغرق 50 ملي ثانية ( الشكل - 19 ) .



الشكل - 19 : النفضة العضلية .

2- انواع التقلص العضلي : يقسم تقلص العضلات في الجسم الى نوعين كالآتي :

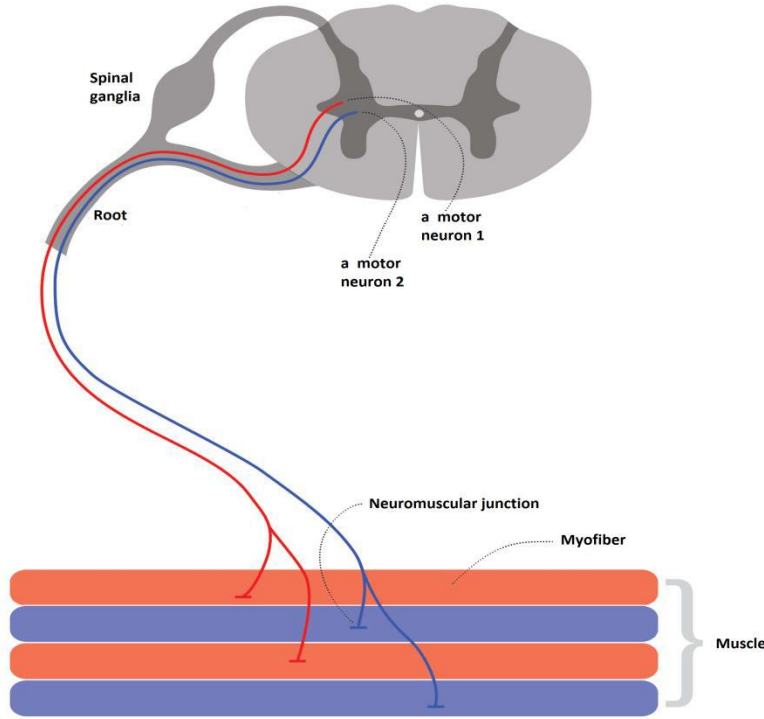
ا- التقلص متساوي التوتر **Isotonic contraction** : تنكمش العضلة في هذا النوع من التقلص عند تنبيهها اي انها تقصر دون ان يحدث تغيير في توترها لكون التوتر قد وصل اقصاه . يتم في هذا النوع من التقلص صرف طاقة لانجاز عمل متمثل بالكتابة والكلام والمشي والركض والقفز ورفع الاثقال وتحريك الاطراف ، وتنبعث كمية عالية من الحرارة اثناء هذا النوع من التقلص لذا فهو اقل كفاءة في استعمال الطاقة .

ب- التقلص متساوي الطول ( القياس ) **Isometric contraction** : في هذا النوع من التقلص العضلي لاتعاني العضلة عند التنبيه من تغيير في طولها اي لاتقصر ، انما الذي يتغير توترها اذ تنكمش البروتينات التقلصية بمقدار 30% من طول العضلة ورغم ذلك لاتقصر العضلة . يعود السبب الى ان التغيير في التوتر يعوض بتمدد العناصر المرنة بذات المقدار وبالعكس الاتجاه فتكون محصلة التغيير في الطول صفر ولذا تبقى العضلة ثابتة الطول . ان الغاية من هذا النوع من التقلص هي موازنة الجاذبية الارضية لذا يحافظ هذا النوع من التقلص بوساطة المنعكسات الوضعية **Postural reflexes** على انتصاب الجسم .

3- تدرج التقلص العضلي : لفهم تدرج التقلص العضلي لابد من التعرف على تركيب الوحدة الحركية في العضلات الهيكلية .

## الوحدة الحركية Motor unit :

تتصل العضلة الهيكلية بالعصب (العصب مجموعة من الالياف العصبية اي المحاور المنبثقة من العصبونات الحركية الواقعة في الجهاز العصبي المركزي اما المنطقة الحركية في الدماغ او في الحبل الشوكي ) ولكون الالياف العصبية ضمن العصب الواحد لا يكافئ عدد الالياف العضلية المكونة للعضلة ، اذ تتألف العضلة من عدد اكثر من الالياف العضلية مقارنة بعدد الالياف العصبية ضمن العصب المزود للعضلة ، لذا تتفرع نهايات كل ليف عصبي الى فروع عديدة وكل فرع منها يكون متصلا بليف عضلي ، وبذلك سيتصل الليف العصبي الحركي الواحد بعدد من الالياف العضلية الهيكلية ويطلق على هذه المنظومة عندئذ بالوحدة الحركية وتكون العضلة مؤلفة من عدد كبير من الوحدات الحركية ( الشكل - 20 ) . وبهذا التنظيم سوف تكون جميع الالياف العضلية المكونة للعضلة مزودة بليف عصبي اذ ان اصل تقلصها عصبي المنشأ . تتبع الوحدة الحركية قانون الكل او اللاشيء All or none law بمعنى ان هذه الوحدة لا تستجيب الا اذا كان المنبه بمستوى عتبتها ، بينما العضلة ككل لاتخضع لهذا القانون لكونها مؤلفة من عدد كبير من الوحدات الحركية ولكل وحدة عتبة خاصة بها .



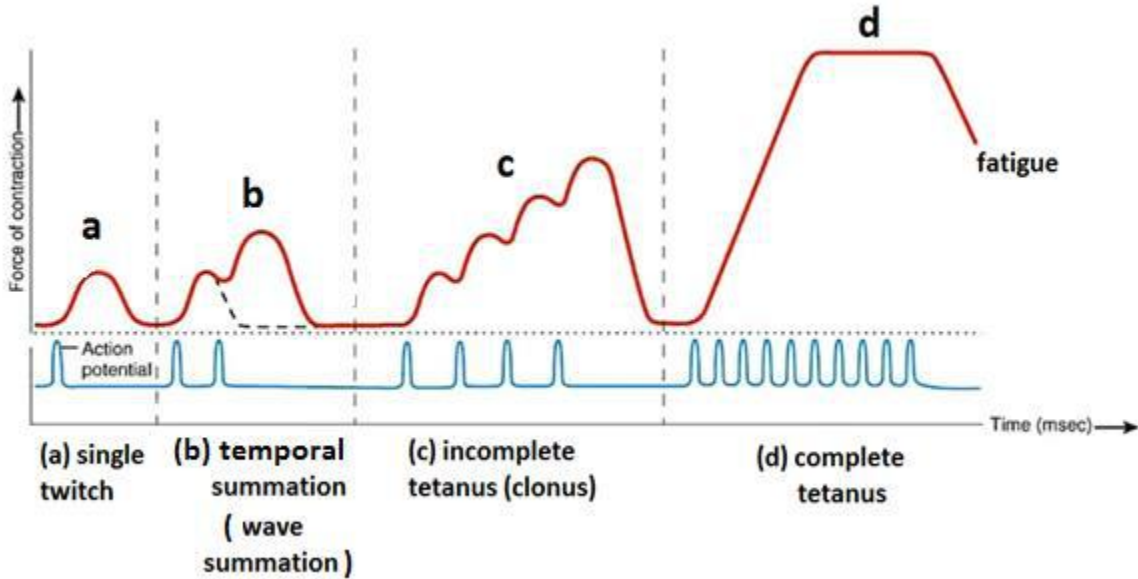
الشكل - 20 : الوحدة الحركية .

## انواع الوحدات الحركية :

تكون الوحدات الحركية اما صغيرة او كبيرة تبعا للالياف العضلية الداخلة في تركيبها . تضم الوحدات الحركية الصغيرة عدد قليل من الالياف فقد تكون 5 الياف عضلية كما في عضلات مقلة العين او اكثر من ذلك بقليل كما في عضلات الاصابع ، وترتبط الوحدات الصغيرة بالاعمال الدقيقة كحركة مقلة العين وحركة الاصابع . اما الوحدات الكبيرة فتضم 200 الى 1900 ليف عضلي و ترتبط بالاعمال البدنية . ويكون عمل الوحدات الكبيرة اثناء النشاطات الاعتيادية بالتناوب لذا لا يظهر التعب في العضلة ، اما اثناء الاعمال الشاقة تشترك اعداد كبيرة من الوحدات الحركية لانجازها . ان قوة تقلص العضلة تعتمد على عدد الوحدات الحركية المشاركة في عملية التقلص .

تدرج التقلص العضلي : يسيطر الجهاز العصبي على تدرج التقلص العضلي كالآتي :

- 1- ان كان الطرح العصبي ( السيلالات العصبية اي جهود الفعل ) بطينا بحدود 1 الى 5 سيلة اونبضة في الثانية سيتم الحصول على نفضات عصبية بسيطة وبذات التردد ويمثل نفضات عضلية ( الشكل - 21 a ) .



الشكل - 21 : a - نفضة عضلية .

b - الجمع الزمني .

c- التكرز الناقص ( الرمع ) .

d- التكرز الكامل والذي ينتهي بالاعياء ( الخط النازل الى الاسفل ) .

2- الجمع Summation : تتميز العضلات الهيكلية بظاهرة الجمع و هو زيادة قوة الانقباض من خلال طبيعة التنبيهات المسلطة على العضلة سواء اكان التنبيه السريع للالياف العضلية اي بزيادة تردد ( تكرار) التنبيه او بزيادة عدد الالياف العضلية المنقبضة كالآتي :

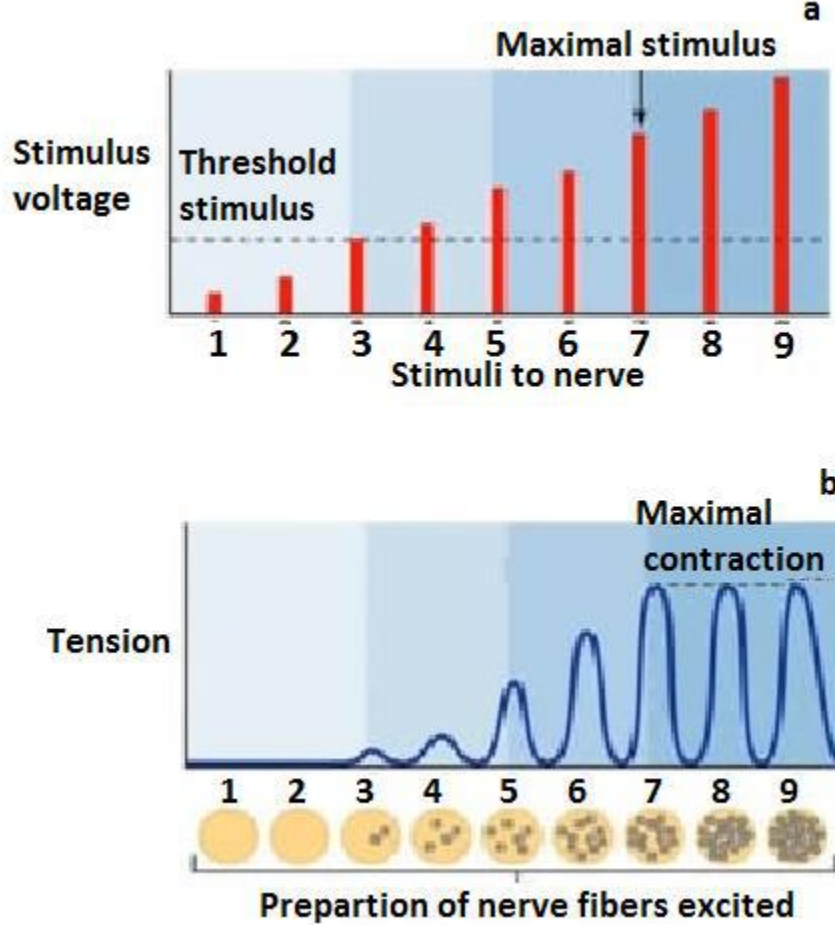
ا - الجمع الزمني Temporal summation : ان تضمن الطرح العصبي منبهين بذات الشدة ومنتاليين بحيث الفاصلة الزمنية بينهما قصيرة جدا فستحصل زيادة بمقدار الاستجابة الثانية اذ تكون قوة الانقباض اقوى من الاولى . كما تكون الاستجابة الثانية في بداية مرحلة ارتخاء الاستجابة الاولى ( النفضة العضلية ) . ويعود السبب في ذلك الى انعدام فرصة كافية لعودة جميع ايونات ال  $Ca^{2+}$  لمخازنها في الشبكة الساركوبلازمية بل ستحرر ايونات  $Ca^{2+}$  اضافية بفعل وصول المنبه الثاني مما يجعل الانقباض الثاني اقوى من الاول ويسمى ايضا بموجة الجمع Wave summation (الشكل- 21 b ) .

ب- الرمع Clonus : هو انقباضات متزايدة تدريجيا بهيئة رعشة ويحصل عند زيادة الطرح العصبي ( السيادة العصبية ) الذي يكون 10 الى 30 نبضة في الثانية . ويحصل كل انقباض تالي عند نهاية الارتخاء للانقباض السابق لذا تظهرالنفضات ملتحمة التحام غير كامل مع ارتفاع في التوتر( انقباض تالي اعلى من السابق اي زيادة متدرجة في قوة انقباض العضلة ) فتبدو الاستجابات شبيه بتدرج السلم فتسمى ظاهرة السلم ( Staircase phenomenon ( Treppe ) ( الشكل - 21 c ) . و الرمع هو التكرز غير الكامل Incomplete tetanus ويعود السبب الى توفر زيادة من ايونات ال  $Ca^{2+}$  بفعل التنبيهات المتلاحقة بما يؤدي الى تكون زيادة من الجسور المستعرضة فيزداد الانقباض .

ج- التكرز الكامل Complete tetanus : عندما يبلغ الطرح العصبي 50 الى 200 نبضة في الثانية ستستجيب العضلة بتقلص مستمر اقوى من الرمع العضلي ( اي تظهر انقباضات كل واحدة اكثر ارتفاعا من سابقتها ويحصل كل انقباض تالي في نهاية الانقباض السابق بمعنى لوجود لفترة الارتخاء بين الانقباضات المتكررة فتبدو مندمجة مع بعضها تماما ويعود السبب ايضا لخروج زيادة من ايونات ال  $Ca^{2+}$  بفعل التنبيهات المتلاحقة فضلا عن الايونات المتواجدة بفعل التنبيهات السابقة لانعدام فرصة عودتها الى الشبكة الساركوبلازمية كما ان الحرارة الناتجة عن الانقباضات توفر وسط ملائم لتسريع التفاعلات الكيميائية فتنتج الطاقة اللازمة لاتمام الانقباضات، وهذا يعني بلوغ العدد الاقصى من مواقع الارتباط المكشوفة على خيط الاكتين وبالتالي بلوغ العدد الاقصى من تكون الجسور المستعرضة التي تربط الاكتين بالمايوسين ( الانقباض ) وبذلك يكون الانقباض اقوى ومستمر لفترة يتبعه بعد ذلك الاعياء ، ( الشكل - 21 d ) .

د- الجمع المكاني Spatial summation : هو زيادة قوة الانقباض بزيادة عدد الالياف العضلية المنقبضة من خلال توظيف Recruitment المزيد من الوحدات الحركية ضمن العضلة لتعمل معا سواء اكانت الوحدات الحركية ذات الالياف الاقل عددااو الوحدات الحركية الكبيرة للمشاركة في

الاستجابة ، ويحصل التوظيف بزيادة قوة المنبه الواصل للعضلة حتى تصل استجابة العضلة الى الحد الأقصى اي ثبات مقدارها مهما زادت قوة المنبهات المسلطة على العضلة ( الشكل - 22 a و b ) .



الشكل - 22 : الجمع المكاني .

a- زيادة قوة المنبهات Stimuli وصولا الى الحد الأقصى maximal stimulus .

b - زيادة استجابة العضلة ( قوة الانقباض ) وصولا الى الحد الأقصى للانقباض Maximal contraction . يلاحظ من الشكلين a و b انعدام اي استجابة عندما يكون المنبه دون العتبة وكما يبدو في تحضير الالياف العصبية المثيجة او المستثارة Nerve fibers excited .

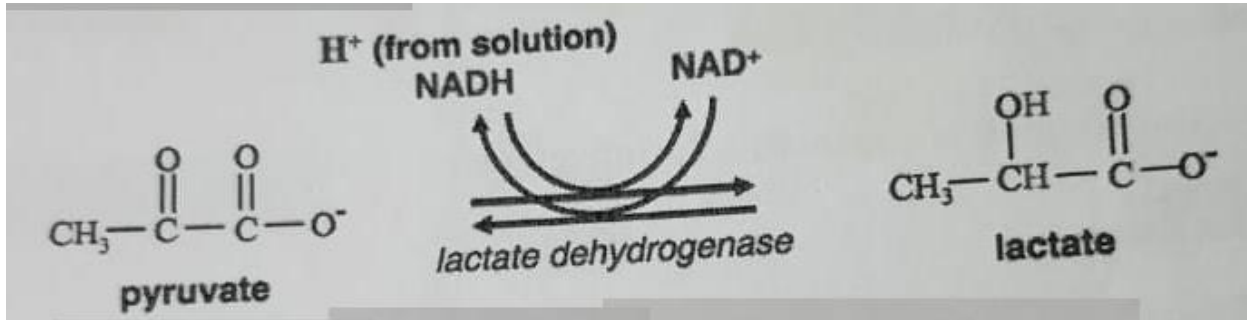


## العجز الاوكسجيني Oxygen debt :

بعد فترة قليلة من بدء القيام بالاعمال الشاقة او التمارين الرياضية العنيفة لا يستطيع الدم تزويد العضلات بكميات كافية من ال  $O_2$  لغرض انتاج ATP بقدر كافي بوساطة التنفس الهوائي ، لكون استهلاك العضلات النشطة ( المشاركة بالجهد او التمارين الشاقة ) للاوكسجين يكون اعلى مما يوفره الدم من الاوكسجين للعضلات ، عندئذ ستلجأ العضلات الى التنفس اللاهوائي لغرض الحصول على جزيئات ال ATP وان كان اقل كفاءة من التنفس الهوائي . ويتم في التنفس اللاهوائي اختزال حمض البايروفك ( الناتج النهائي للتحلل السكري ) بدلا من اكسدته الى  $CO_2$  وماء وطاقة ( بدورة كربس والفسفرة التاكسدية ) متحولا بذلك الى حمض اللاكتيك الذي يسبب الشعور بالالم وتوقف العضلات عن النشاط العنيف اي حصول عجز اوكسجيني ، عندئذ يستمر كل من جهاززي الدوران والتنفس بمستوى عالي من الفعالية ( حركات تنفسية سريعة وضخ قلبي عالي ونبض سريع ) لدقائق بعد التوقف عن النشاط العنيف ( تدعى فترة الاستشفاء او الاسترداد ويكون استهلاك العضلات للاوكسجين اثناء هذه الفترة اعلى مما هو عليه اثناء الراحة ) كتكيف فسلجي تحتاجه العضلات لاعادة تخزين ال ATP والفوسفوكرياتين ولاعادة تخزين الاوكسجين المرتبط ببروتين ال Myoglobin في العضلات ، والتي استهلكت اثناء الجهد العنيف وايضا للتخلص من حمض اللاكتيك المتراكم في العضلات .

ويتم التخلص من حمض اللاكتيك المتراكم في العضلات كالاتي :

1- يؤكسد حمض اللاكتيك الى حمض بيروفك بمساعدة انزيم Lactate dehydrogenase وفق التفاعل الاتي :



2- تتم ازالة حمض اللاكتيك من العضلات بنقله الى الكبد لتحويله الى كلايوجين .

3- تتم ازالة حمض اللاكتيك بتفاعله مع الصوديوم الموجود في بلازما الدم مكونا لكتات الصوديوم التي تطرح مع الادرار خارج الجسم .

يعد ال Myoglobin الموجود في ساركوبلازم العضلات من الوسائل التي تساعد على امداد العضلات بالاكسجين وهو بروتين يحتوي على الحديد ويكون شبيها بالهيموكلوبين معطيا اللون الوردي للعضلات . ويوفر هذا البروتين احتياطي من الاوكسجين في الحيوانات البرية اثناء انقطاع الدوران عن العضلات ذات النقل متساوي الطول . ولهذا البروتين اهمية مماثلة في الحيوانات المائية كالحيتان التي تتعرض الى انقطاع الدوران المحيطي لفترات طويلة اذ يوجد بغزارة فيمد العضلات بما تحتاجه من الاوكسجين .

ملاحظة : يدعى العجز ( الدين ) الاوكسجيني ايضا زيادة استهلاك الاوكسجين في فترة الاشتتفاء عن مستوى استهلاك الاوكسجين في فترة الراحة Excess post-exercise O<sub>2</sub> consumption (EPOC) فهو الفرق بين مايتطلبه الجهد البدني من O<sub>2</sub> وما يستطيع توفيره من O<sub>2</sub> .

### التعب ( الاعياء ) : Fatigue

التعب هو انعدام قدرة العضلات ( المرتبطة بالجسم او المفصولة عنه ) على الاستجابة بالرغم من التنبيه المستمر مع بقاء العضلة بحالة قلس جزئي . ولايظهر التعب في العضلات المرتبطة بالجسم بسرعة ، بينما يظهر سريعا في العضلة المفصولة عن الجسم .

### اسباب التعب :

- 1- يظهر التعب في العضلات المرتبطة بالجسم بسبب تراكم حمض اللاكتيك لدرجة لايسطيع التخلص منه بالسرعة الكافية مما يجبر النشاط العضلي عن التوقف ويكون مصحوبا بالـ .
- 2- يظهر التعب في العضلات المفصولة عن الجسم لاسباب الاتية :
  - انعدام الدورة الدموية .
  - تراكم مواد التعب المتمثلة بـ حمض اللاكتيك والبيروفك والـ CO<sub>2</sub> والفوسفيت الحمضية .
  - توقف النقل الفعال مما يعيق عودة ايونات ال Ca<sup>2+</sup> .
  - نفاذ مركبات الطاقة ATP .
  - انخفاض مقدار ال O<sub>2</sub> .
  - انخفاض مستوى الكلووز والكلايكوجين .

كما تحتوي العضلة الهيكلية على نوعين من الالياف بعضها مسؤولة عن النفضة السريعة وتتميز بانقباضها السريع واصابتها بالتعب سريعا والتي يكون الايض فيها لاهوائي لاحتوائها على القليل من المايوكلوبين والكثير من الكلايكوجين. اما النوع الاخر من الالياف العضلية فتكون مسؤولة عن النفضة البطيئة وتكون معاكسة بـ مميزاتا للنوع الاول .

## العوامل المؤدية الى ظهور التعب : وتتمثل بالاتي :

- 1- الطرح العصبي : يظهر التعب بعد قيام العضلة بتقلصات منفردة باعداد كبيرة ( استلامها سيالات عديدة متباعدة ) . كما تؤدي زيادة تردد المنبهات ( استلام العضلة لعدد كبير من السيالات العصبية اثناء فترة زمنية قصيرة ) وتعرض العضلة الى التكرز واستمراره لفترة من الزمن الى ظهور التعب ( الشكل - 21 ) .
- 2- درجة الحرارة : يزداد نشاط انزيمات العضلة والتفاعلات الكيميائية داخلها بارتفاع درجة الحرارة ضمن الحد السوي فيزداد بذلك الانقباض ، الا ان وصول الحرارة لدرجات عالية يؤدي الى امتناعها عن الاستجابة للمنبهات المسلطة عليها اذ تعمل الحرارة العالية على تمسخ البروتينات ( الانزيمات ) وفقدان ال ATP
- 3- الشد : يظهر التعب في العضلة وتمتنع عن الاستجابة كلما زاد الثقل الذي تتعرض له العضلة .

## انتاج الحرارة في العضلة :

تم دراسة انتاج الحرارة في العضلات التي ترافق الانقباض ( التقلص ) العضلي اذ استعمل العالم هيل Hill مزدوجات حرارية مركبة فتمكن من الحصول على مخططات بيانية توضح كمية الحرارة وسرعة انبعاثها اثناء مختلف اطوار استجابة العضلة الهيكلية . وتقسم الحرارة المنبعثة اثناء النفضة العضلية كالاتي :

اولا- الحرارة البدنية Initial heat : وتمثل الحرارة المنبعثة اثناء تقلص وارتخاء (انبساط) العضلة ولا تتأثر عند تعرض العضلة لظروف لاهوائية وتشمل ايضا حرارة التنشيط التي تسبق الانقباض نتيجة الشروع بالاستجابة .

وتقسم الحرارة البدنية الى نوعين كالاتي :

1- حرارة الانكماش Shortening heat : تكون مرافقة لفترة الانقباض (التقلص) وتنبعث بشكل انفجاري كما تستمر لفترة قصيرة من الزمن ( الشكل - 23 ) . و ان مصدرها هو تحول جزيئات ال ATP الى ADP لذا لايتأثر مقدارها سواء حصل التحول في ظروف هوائية او لاهوائية .

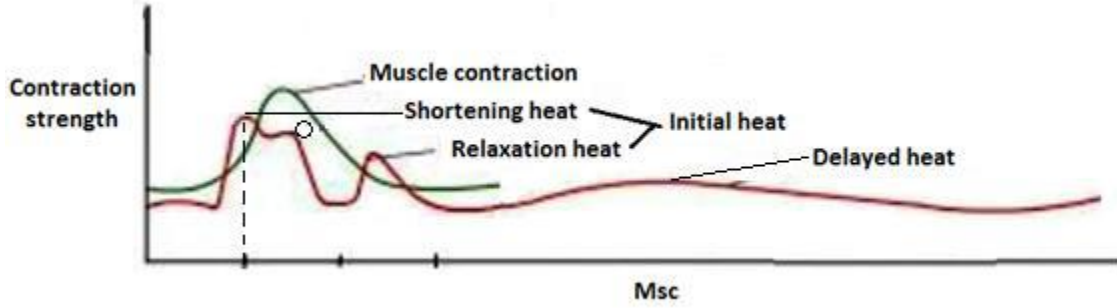
ويتناسب مقدارها مع مقدار انكماش العضلة لذا يزداد مقدارها مع ازدياد عدد الجسور المستعرضة النشطة ( عالية الطاقة ) .

2- حرارة الارتخاء Relaxation heat : تكون مرافقة لفترة الارخاء وهي اقل شدة من سابقتها كما تدوم لفترة زمنية اطول مقارنة بفترة حرارة الانكماش . و ان سبب هذه الحرارة هو احتكاك الالياف البروتينية بعضها ببعض عند الارتخاء كما ذكر في المصادر السابقة ، الا انها ناجمة عن التحلل المائي لجزيئات ال ATP المستعملة في الية النقل الفعال ( الالية اللازمة لاعادة ايونات

ال  $Ca^{2+}$  الى الشبكة الساركوبلازمية ) المؤدية لانخفاض تركيز هذه الايونات في الساركوبلازم وهو الانخفاض الضروري لحصول الارتخاء كما مر شرحه سابقا ( الشكل - 23 ) .

ثانيا : الحرارة المتأخرة **Delayed heat** : تنبعث هذه الحرارة بعد انتهاء فترة الارتخاء ببضع دقائق . ان سبب انبعاثها هو :

اكسدة الكلوكوز او الكلايوجين لاعادة بناء المركبات الغنية بالطاقة ( **ATP** و ال **CP** ) . كما يعتمد مقدارها على توفر ال  $O_2$  لكون معظم هذه المركبات تنتج من اكسدة المواد الغذائية في الظروف الهوائية ولذلك ينخفض مقدارها في حال انعدام توفر ال  $O_2$  . اما انبعاثها فيكون هادئ وليس سريع كما في الحرارة البدئية ( الشكل - 23 ) . ويستغرق انبعاثها 20 دقيقة عند تعرض العضلة الى تكزز يستمر عدة ثواني .



الشكل - 23 : الحرارة المنبعثة اثناء النفضة العضلية البسيطة وبعدها .

**ملاحظة :** ان علامة ال  $\circ$  الظاهرة في الشكل تشير الى القمة التي تمثل حرارة منخفضة تنبعث عند نهاية التقلص وسبب انبعاثها هو انتاج ال **ATP** بالتنفس اللاهوائي للتعويض عن جزيئات ال **ATP** التي صرفت لاتمام التقلص .

Physiology of circulatory system فسلجة جهاز الدوران

يتالف جهاز الدوران من القلب والاعوية الدموية ( الشرايين والاوردة والاعوية الشعيرية الدموية ) فضلا عن الاعوية اللمفاوية واللمف .

اهمية الدوران : يقوم الدم الدائر في الاعوية الدموية بوظائف ذات اهمية كبيرة كالآتي :

1- النقل : اذ يقوم الدم بنقل كل من المواد الاتية :

ا- ينقل الدم ال O<sub>2</sub> والمواد الغذائية الى جميع نسيج الجسم .

ب- ينقل الدم CO<sub>2</sub> والفضلات من النسيج الى اجهزة الاخراج لتخليص الجسم من خطر بقائها .

ج- ينقل الدم الهرمونات المفرزة من غدد داخلية الافراز وايصالها الى الخلايا المستهدفة .

د- ينقل الدم الانزيمات والمحاليل الدارئة وكذلك المواد الكيميائية لاتمام تفاعلات داخل الجسم .

2- التنظيم : للدم دور في الية التنظيم الحراري للجسم .

3- الحماية : يعد الدم وسط يضم عوامل الجهاز المناعي .

انواع اجهزة الدوران :

1- جهاز الدوران المغلق **Closed circulatory system** : هو جهاز يسير فيه الدم باوعية

مغلقة بعد خروجه من القلب ( الذي يعمل على دفع الدم لمسافات بعيدة في الجسم خلال

الاعوية ) كما في الفقريات اذ تتصل الشرايين بالاوردة بوساطة الاعوية الشعيرات الدموية

**Blood capillaries** ( الشكل -1 ) .

يوجد جهاز الدوران المغلق ايضا في الديدان الحلقية وبالرغم من انعدام امتلاكها للقلب الذي يعمل

على دفع الدم الا انه يندفع بالحركة التمعجية او التحوي **peristalsis movement** للاوعية ،

فضلا عن اهمية وجود الصمامات في الاعوية التي تساعد على دفع الدم باتجاه واحد ويدعى هذا

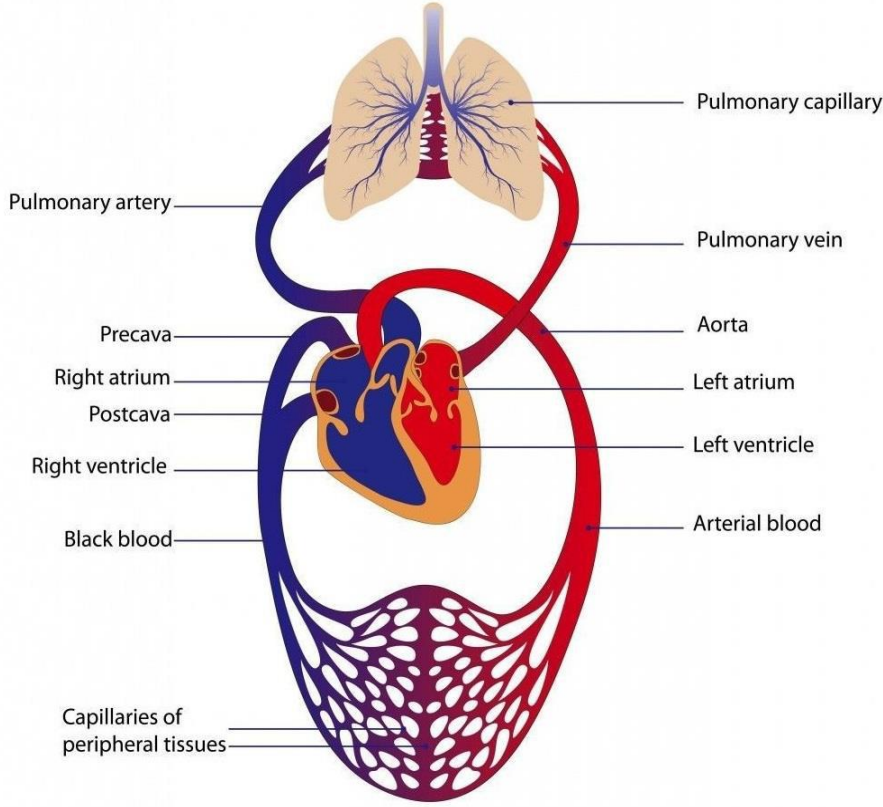
النوع من ضخ الدم بالضخ التمعجي . توجد الية الضخ التمعجي في الاوردة النحيفة نسبيا لساق

الانسان فيجري الدم بوساطتها كما تساعد الصمامات في هذه الاوردة على منع رجوع الدم الذي

يسير باتجاه القلب ، وتنشأ الية الضخ التمعجي في الاوردة بضغط عضلات الساق على الاوردة .

رغم سريان الدم في جهاز الدوران المغلق الا انه يحصل تسرب للسائل بنسبة قليلة الى الفراغات

خارج الاوعية ويقوم الجهاز الملتقط **Pick up system** ( الجهاز اللمفاوي ) باعادة السائل المتسرب الى جهاز الدوران مرة اخرى .



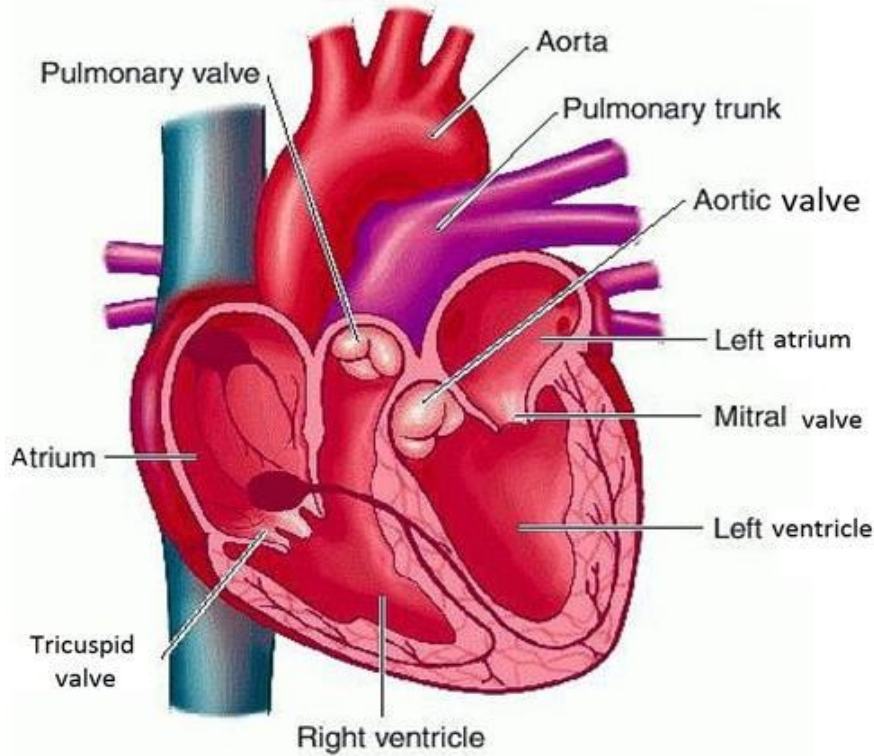
الشكل - 1 : جهاز الدوران المغلق ( للاطلاع ) .

2- جهاز الدوران المفتوح **Open circulatory system** : يوجد هذا الجهاز في النواعم والمفصليات وفيه لا تتصل الشرايين بالاوردة وان القلب يضخ الدم عبر الشرايين اما في الجيوب **Sinuses** ( تجاوبف بين النسج محاطة بخلايا تفصل الدم عن خلايا النسج ) او الفجوات **Lacunnae** ( فجوات بين النسج التي فيها لا يفصل الدم عن خلايا النسج ) .

تمتلك جميع اجهزة الدوران في الفقريات صفات ثابتة بشكل عام ، فالقلب يضخ الدم الى الشرايين **Arteries** والتي تتفرع الى فروع دقيقة تدعى الشريينات **Arterioles** ثم الى الاوعية الشعرية الدموية **Blood capillaries** ثم ينتقل الى الوريدات **Venules** ثم الاوردة **Veins** عاندا منها الى القلب مرة اخرى .وتكمن الفروقات بين اجهزة الدوران في الفقريات في تركيب القلب فقلوب الفقريات عبارة عن مضخة مزدوجة باستثناء قلوب الاسماك اذ تحتوي على تجويفين احدهما اذنين والآخر بطين وتجويفين ملحقين احدهما الكيس الوريدي **Sinus venosus** الذي يصب في الاذنين

والاخر هو المخروط الشرياني **Conus arteriosus** الذي يلي القلب وفيه صمامات تمنع رجوع الدم الى القلب عند انبساطه .

القلب في الفقريات : القلب هو تركيب عضلي يقع في التجويف الصدري ويغلف بكيس مزدوج ليفي قوي يدعى التامور **Pericardium** كما يبطن القلب من الداخل بطبقة من الخلايا البطانية التي تدعى الشغاف **Endocardium** ، وهذه الخلايا شبيهة بالخلايا البطانية ( الاندوثيلية ) التي تبطن الاوعية الدموية ويعد الشغاف حاجزا بين الدم في تجاويف القلب وبين عضل القلب المكونة لجدران تلك التجاويف . يحتوي القلب على اربعة مخادع او ردهات **Chambers** ، مخدعان للاعلى هما الاذنيان **Atria** ( المفرد **Atrium** ) ويكونان ذات جدران رقيقة السمك ومفصولان عن بعضهما بحاجز اذيني، ومخدعان للاسفل هما البطينان **Ventricles** ( المفرد **Ventricle** ) تكون جدرانها اسمك من جدران الاذنيان وتجاويفهما اوسع من تجاويف الاذنين ومفصولان عن بعضها بحاجز بطيني . يوجد في السطح الخارجي للقلب اخدود يفصل بين الاذنيان والبطينان مملوء بنسيج ضام ليفي . يعمل القلب كمضخة كفاءة فتتقلص وتنبسط المخادع الاربعة بانتظام دون اي اضطراب . لتوجيه سريان الدم بانتظام في تجاويف المخادع الاربعة وكذلك بين القلب والاعوية الدموية الرئيسية المتصلة به توجد اربعة انواع من الصمامات تعمل جميعها على منع رجوع الدم بالاتجاه المعاكس ( الشكل -2 ) .



الشكل - 2 : تركيب القلب ( للاطلاع ) .

ان انواع الصمامات القلبية الاربعة كما في الشكل -2 هي :

1- الصمام التاجي **Mitral valve** : يحرس هذا الصمام الفتحة الكائنة في الحاجز بين الاذنين الايسر والبطين الايسر . وهو صمام ثنائي الشرف **Bicuspid valve** اي يتكون من شرفتين ويفتح باتجاه البطين الايسر اثناء انقباض الاذنين الايسر ، كما يمنع الصمام رجوع الدم بالاتجاه المعاكس عند انغلاقه .

2- الصمام ثلاثي الشرف **Tricuspid valve** : يحرس هذا الصمام الفتحة الكائنة في الحاجز بين الاذنين الايمن والبطين الايمن . ويتالف هذا الصمام من ثلاث شرف ويفتح باتجاه البطين الايمن اثناء انقباض الاذنين الايمن كما يمنع رجوع الدم بالاتجاه المعاكس عند انغلاقه .

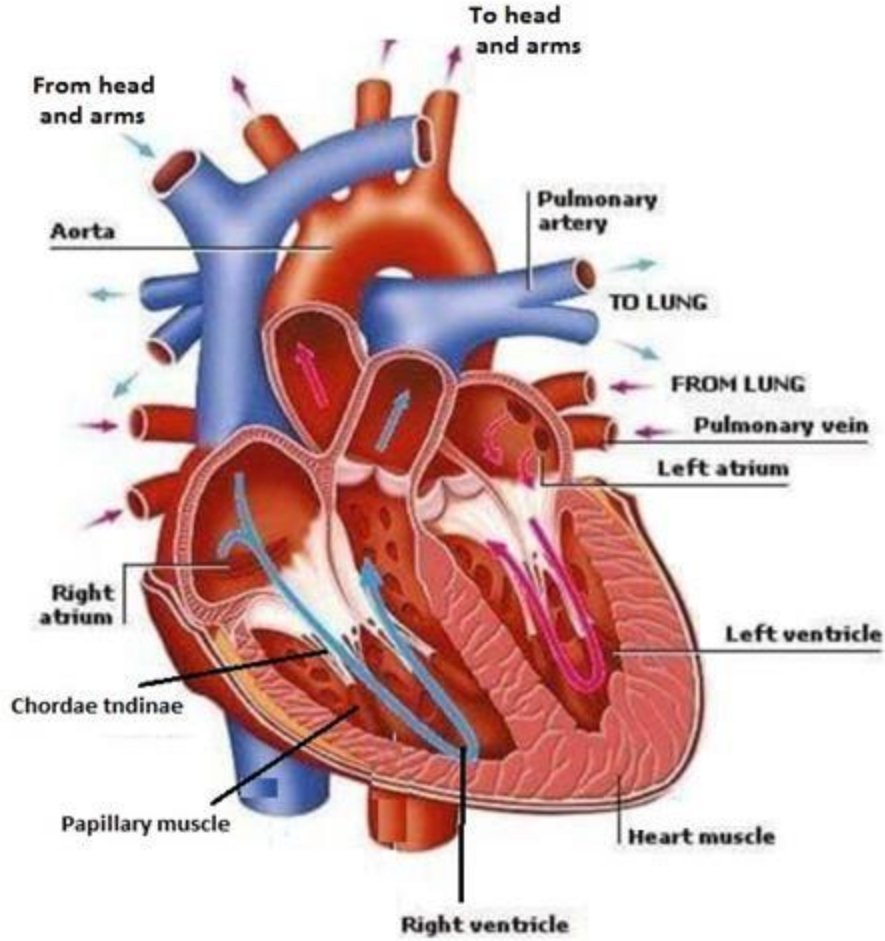
يعد الصمامان التاجي وثلاثي الشرف صمامان اذنيين بطينيان **Atrio-ventricular valves** و ترتبط الحافات الطليقة للشرف المكونة لهذين الصمامين بحبال وترية قوية ورفيعة متصلة بنتوات عضلية على السطح الداخلي للبطين تدعى العضلات الحليمية **Papillary muscles** ( الشكل - 3 ) . تقوم الحبال الوترية بمنع اندفاع شرفات الصمامين ( التاجي وثلاثي الشرف ) الى الاذنيين اثناء تقلص البطينين .

3- الصمام الابهري **Aortic valve** : يقع بين الشريان الابهر والبطين الايسر (في بداية خروج الشريان الابهر من القلب ) ويتكون من ثلاث شرف . يمنع الصمام الابهري رجوع الدم من الابهر الى البطين الايسر اثناء انبساط البطين الايسر . ويفتح الصمام الابهري اثناء انقباض البطين الايسر كما يمنع رجوع الدم بالاتجاه المعاكس عند انغلاقه .

4- الصمام الرئوي **Pulmonary valve** : يقع بين الشريان الرئوي والبطين الايمن (في بداية خروج الشريان الرئوي من القلب ) عند اتصاله بالبطين الايمن ويتكون من ثلاث شرف . يمنع الصمام الرئوي رجوع الدم الى البطين الايمن اثناء انبساط البطين الايمن . ويفتح الصمام الرئوي اثناء انقباض البطين الايمن كما يمنع رجوع الدم بالاتجاه المعاكس عند انغلاقه . يطلق ايضا على كل من الصمامين الابهري والرئوي بالصمامات الهلالية **Semilunar valves** .

الشرف Cusps : ان الشرف المكونة للصمامات عبارة عن نسج ضامة ليفية منسدلة ( مسترسلة ) من جدار القلب وتكون رقيقة وقوية . تفتح الصمامات عادة بتباعد حافات الشرف عن بعضها اثناء انقباض مخادع القلب ثم تغلق الصمامات اثناء انبساط المخادع .





الشكل - 3 : الحبال الوترية والعضلات الحليمية في القلب ( للاطلاع ) .

### خلايا القلب :

يتكون القلب من نوعين من الخلايا ( الالياف ) كالاتي :

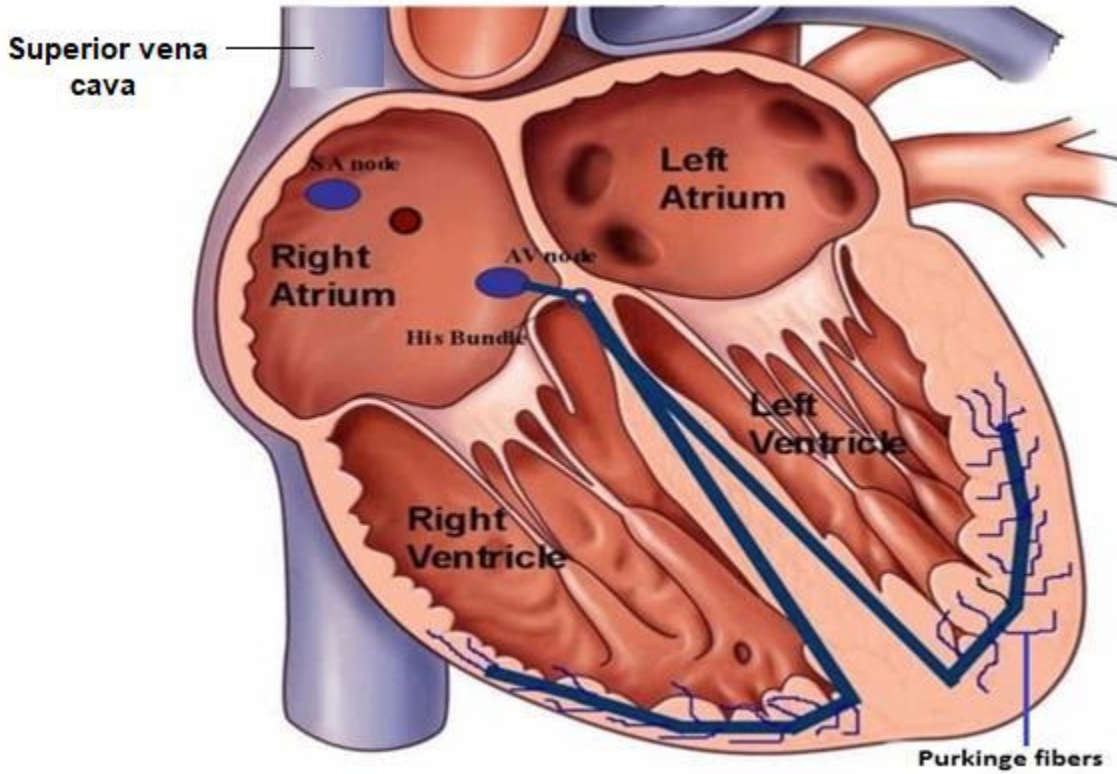
1- الخلايا العقدية Nodal cells : هي مجموعة من الخلايا ( الالياف ) القلبية المتحورة والتي تولف جهاز كفو لتوليد الاشارة الكهربائية (جهد فعل منظم الخطى ويدعى جهد منظم الخطى ) ونقلها اي ايصالها الى الالياف العضلية القلبية المكونة لكل من الاذنين والبطينين لكي يتقلصان بصورة منفصلة ومتزامنة ( الشكل - 4 ) . مع العلم ان الخلايا العقدية لاتنقبض بل وظيفتها توليد جهد منظم الخطى (الاشارة الكهربائية) فقط .

جهاز توليد وتوصيل جهد منظم الخطى (الاشارة الكهربائية) المسؤولة عن نبض القلب :

يتألف جهاز التوليد والتوصيل (النقل) من المكونات الآتية :

ا- الجزء الخاص بتوليد جهد منظم الخطى Pacemaker potential :

هو مجموعة من الألياف العضلية المتحورة تدعى منظم الخطى او العقدة الكيسية الأذينية Sinoatrial node ويرمز لها SA node والتي تقع بالقرب من اتصال الوريد الأجوف العلوي بالأذين الأيمن . تمتلك خلايا منظم الخطى القدرة على القيام بفعالية توليد جهد منظم الخطى Pacemaker potential (الاشارة كهربائية ) وهذه الفعالية تلقائية وبمعدل ثابت سريع ومتكرر طيلة حياة الكائن الحي ( الشكل - 4 ) . يعد جهد فعل منظم الخطى بمثابة المنبه لحصول انقباض جميع الخلايا العضلية القلبية الأخرى .



الشكل - 4 : جهاز توليد ونقل الاشارة الكهربائية في القلب ( للاطلاع ) .

ب- الجزء الخاص بتوصيل الاشارة ويشمل الاتي :

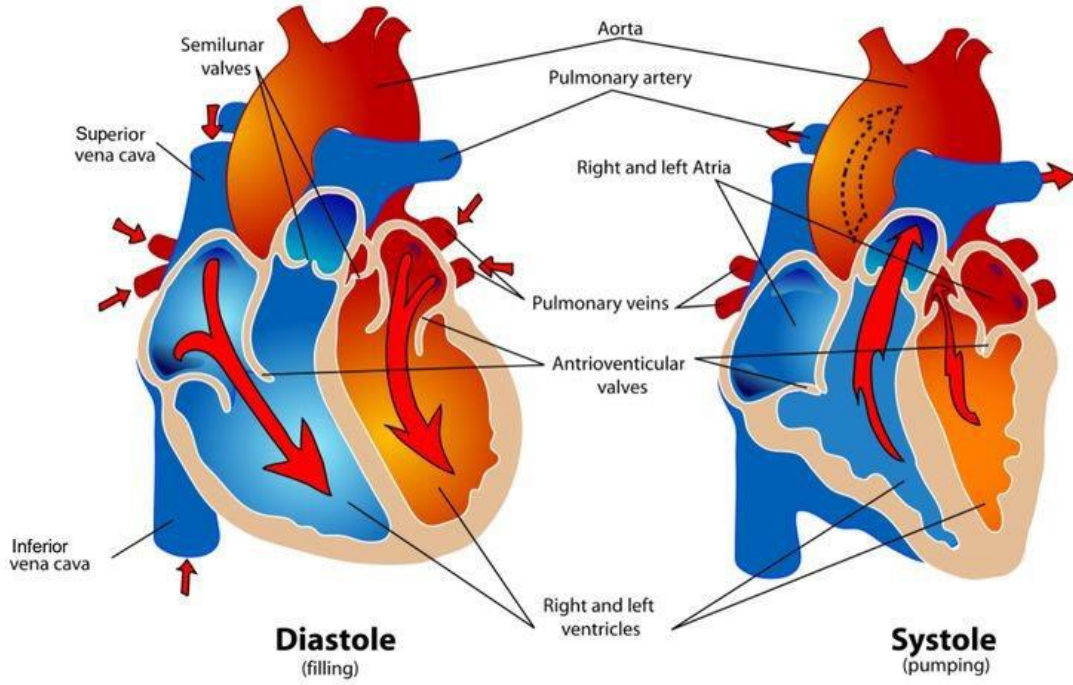
- العقدة الاذينية البطينية Atrioventricular ( AV ) node

- حزمة هس Bundle of His بفرعيها الايسر والايمن .

- الياف بركنجي Purkinje fibers ( الشكل - 4 ) .

2- الخلايا العضلية القلبية Cardiomyocytes وتدعى ايضا بالخلايا الانقباضية القلبية Cardiac contractile cells : و هي التي تشكل معظم كتلة عضلة القلب والتي لها القدرة على النبض ( الانقباض Systole والانقباض Diastole ) الذاتي ، ( الشكل - 5 ) . وهذه الخلايا (الالياف) متطاولة متفرعة تتشابك مع بعضها عبر الاقراص البينية Intercalated discs ، كما تتصل مع بعضها بارتباطات فجوية Gap junctions التي تسمح بانتقال الاشارة الكهربائية عبرها من خلية الى اخرى فتنبض وتتبع منظم الخطى في معدل نبضها . تترتب الخلايا التقلصية القلبية بشكل عدة طبقات دائرية حتى في الحاجز بين الاذنين والحاجز بين البطينين . تعد الخلايا العضلية القلبية منظم خطى كامن Latent pacemaker اذ تمتلك ايضا القدرة الكامنة على التقلص وتعاقب النبض الذاتي بانتظام ولكن بمعدل ابطأ من النبض بفعل منظم الخطى . تختلف هذه القدرة باختلاف اجزاء القلب وتظهر عند حصول ضرر في جزء التوصيل اذ يضطرب نبض القلب فينبض كل جزء من اجزاء القلب بمعدل يختلف عن الاخر وفقا لقدرته الذاتية .

اذا ينتج عن وجود النوعين من الخلايا العضلية في القلب نوعان منفصلان من جهد الفعل احدهما يتولد في منظم الخطى ويدعى جهد منظم الخطى القلبي الذي يعد المنبه لاطلاق النوع الاخر الذي يدعى جهد فعل الخلايا العضلية القلبية .

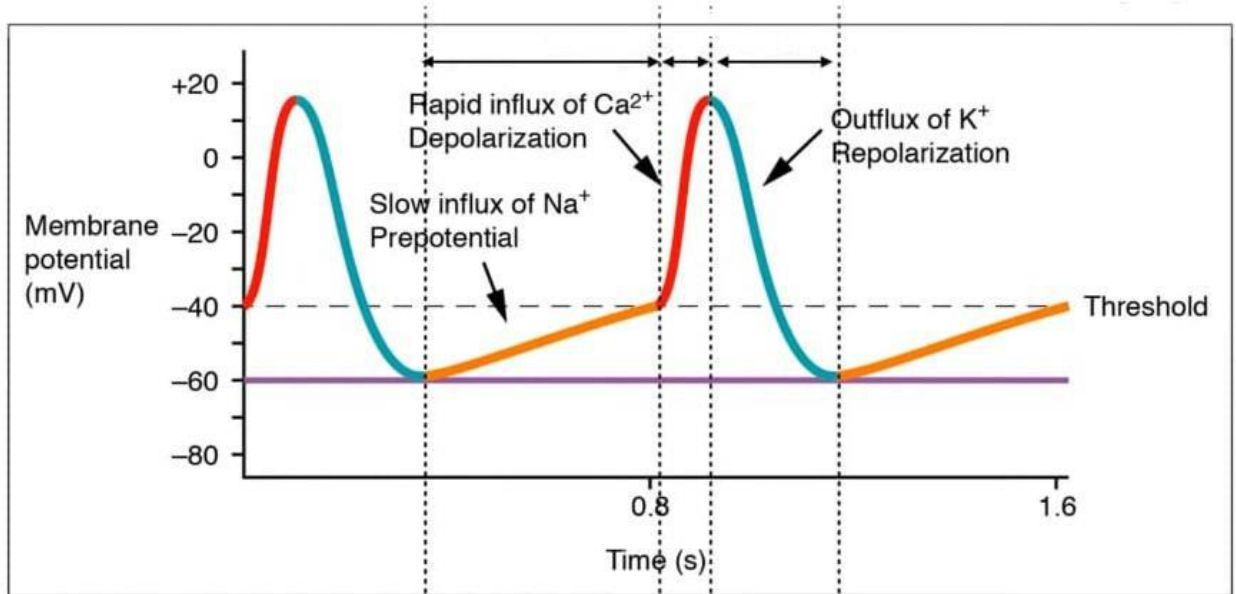


الشكل - 5 : النبض القلبي ( الانقباض والانبساط ) ، ( للاطلاع ) .

نشوء جهد منظم الخطى القلبي Cardiac pacemaker potential او ( الاشارة الكهربائية ) :

يتولد جهد منظم الخطى للاسباب الاتية :

- 1- تفتح قنوات ايونات ال  $Na^+$  ذاتيا ( تلقائيا) عند وصول جهد الغشاء لخلايا منظم الخطى الى  $-60mv$  ويحصل دخول بطيء لايونات ال  $Na^+$  فيحدث زوال استقطاب جزئي يستمر حتى يصل جهد الغشاء الى  $(-40mv)$  اذ تمثل هذه القيمة حد العتبة Threshold .
- 2- عند العتبة ستفتح قنوات ايونات ال  $Ca^+$  ويكون دخول ايونات ال  $Ca^+$  سريعا فيحصل زوال استقطاب حاد وسريع حتى يصل الى القمة عند  $+20mv$  تقريبا .
- 3- عند القمة ستغلق قنوات ايونات ال  $Ca^+$  وتفتح قنوات ايونات ال  $K^+$  فتخرج ايونات ال  $K^+$  فتحدث بذلك عودة استقطاب الغشاء حتى يصل الى  $-60mv$  . ويكون جهد الغشاء غير مستقر اذ ينعدم وجود راحة ( وجود الراحة يعني الوفاة ) في خلايا منظم الخطى ( لان قنوات ايونات ال  $Na^+$  تكون مفتوحة عندما تكون قيمة جهد الغشاء  $-60mv$  ) ، فيحصل عندئذ زوال استقطاب من جديد وينشأ جهد منظم خطى اخر ويستمر تكرار تولد جهد منظم الخطى طيلة حياة الكائن الحي ( الشكل - 6 ) .



الشكل - 6 : جهد منظم الخطى .

- .  $\text{Na}^+$  = Slow influx of  $\text{Na}^+$  دخول بطيء لايونات ال
- .  $\text{Ca}^{2+}$  = Rapid influx of  $\text{Ca}^{2+}$  دخول سريع لايونات ال
- .  $\text{K}^+$  = Outflux of  $\text{K}^+$  خروج لايونات ال

#### كيفية انتقال ( توصيل ) جهد منظم الخطى او الاشارة الكهربائية خلال القلب :

يعد جهد منظم الخطى ( الاشارة الكهربائية ) المتولد في منظم الخطى منبه لتولد جهد فعل في الخلايا العضلية القلبية الاخرى التي يصل اليها اذ يؤدي الى حصول جهد فعل في كل خلايا القلب الاخرى بوقت واحد وبصورة منفصلة فينقبض الاذنين سوياً في البدء ( لوجود منظم الخطى في الاذنين الايمن ) ، بينما البطينان منبسطان حتى وصول الاشارة اليهما فينقبضان سوياً في الوقت الذي يكون الاذنين منبسطان وكالاتي :

1- يتم انتقال جهد الفعل من منظم الخطى الى الاذنين اولا بسرعة 0.3 م/ث وبمسارات بشكل حلقات دائرية فينقبض الاذنين سوياً الا ان الاذنين الايمن ينقبض اسرع بجزء من الثانية مقارنة بالاذنين الايسر وذلك لوجود منظم الخطى فيه .



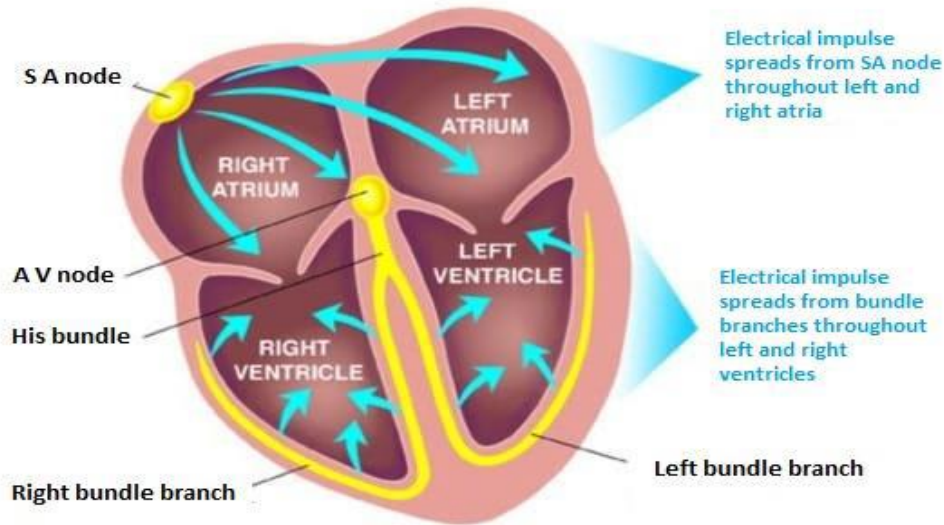
2- تصل موجة جهد الفعل الى العقدة الاذينية البطينية ( AV node ) Aterioventricular node التي تتكون من ثلاث مناطق هي :

ا- منطقة انتقالية تبلغ سرعة الانتقال فيها 0.05 م/ث .

ب- منطقة وسطية Mid portion .

ج- منطقة اندماج الالياف العقدية بحزمة هس Bundle of His .

3- تصل الموجة الى حزمة هس وتبلغ سرعة الانتقال فيها 1.5 - 2.5 م/ث . تمتد الحزمة لمسافة قصيرة في الحاجز بين البطينين ثم تتفرع الى فرعين ايمن وايسر بمعنى فرع لكل بطين والذي سيتشعب الى العديد من الالياف الممتدة في جدران كل بطين مكون الياف تدعى الياف بركنجي Purkinje fibers ( الشكل - 7 ) .



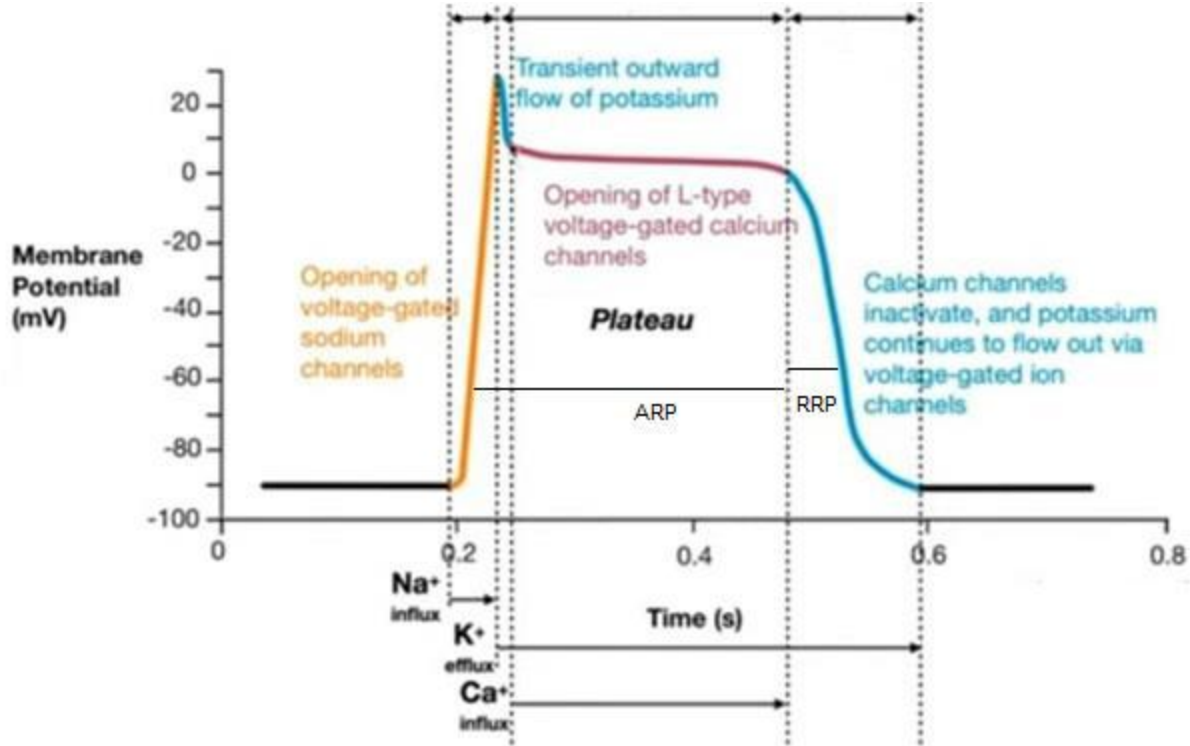
الشكل - 7 : مسارات انتقال جهد منظم الخطى القلبي في اجزاء القلب .

ان التوصيل البطيء للموجة في العقدة البطينية الاذينية (0.05 م/ث) يسمح للتقلصات الاذينية ان تسبق التقلصات البطينية مما يتيح اكتمال انتقال الدم من الاذنين الى البطينين بوقت كاف لان التسرع في انتقال الاشارة الكهربائية يؤدي الى انقباض البطينين قبل امتلائهما بالدم ، مما يقلل من كمية الدم الخارج من القلب .

## جهد فعل الخلايا العضلية القلبية Cardiomyocytes action potential :

تبلغ قيمة جهد الراحة لهذه الخلايا  $-90\text{mv}$  وبمجرد وصول الإشارة الكهربائية ( جهد منظم الخطى ) الى واحدة من الخلايا العضلية القلبية فستكون قادرة على تنبيه بقية الخلايا الاخرى فيتولد جهد الفعل في الخلايا العضلية القلبية للاسباب الاتية :

- 1- انفتاح قنوات ايونات الصوديوم المبهوبة فولتيا وبدخول ايونات الصوديوم خلالها يحصل زوال استقطاب سريع فيتجاوز  $+20$  ملي فولت اي يصل القمة او الشوكة وعندها تغلق هذه القنوات فيتوقف دخول ايونات الصوديوم .
- 2- تفتح قنوات ايونات البوتاسيوم المبهوبة فولتيا وبخروج ايونات البوتاسيوم عبرها تحدث عودة استقطاب سريع وقصير .
- 3- تفتح قنوات ايونات الكالسيوم المبهوبة فولتيا ( نوع L ) فتدخل خلالها ايونات الكالسيوم الى داخل الخلية بسرعة بطيئة في ذات وقت انفتاح قنوات ايونات البوتاسيوم الموضحة في الفقرة 2 ) عندئذ سيحصل توازن بين دخول ايونات الكالسيوم الموجبة وخروج ايونات البوتاسيوم الموجبة الا ان هذه المرحلة من عودة الاستقطاب تستغرق فترة طويلة ( بسبب البطء في دخول ايونات الكالسيوم ) وتتضح بشكل خط مستمر وتدعى بطور الهضبة Plateau تستغرق حوالي 200 ملي ثانية . لطور الهضبة في جهد فعل الخلايا العضلية القلبية ( البطينان ) اهمية كبيرة كونه يمنع حصول التكرز ويسمح بوقت كاف لعضلة القلب كي تنقبض وتضخ الدم بشكل فعال . و تكون فترة العصيان المطلق ARP من مرحلة زوال الاستقطاب الى انتهاء طور الهضبة .
- 4- عند نهاية طور الهضبة يتم غلق قنوات ايونات الكالسيوم وتبقى قنوات ايونات ال  $K^+$  مفتوحة اي يستمر خروج ايونات البوتاسيوم بمعنى عودة الاستقطاب ستكون سريعة وبذلك يعود جهد الغشاء الى جهد الراحة  $-90\text{mv}$  ، وتكون فترة العصيان النسبي RRP من انتهاء طور الهضبة وعودة الاستقطاب ( الشكل - 8 ) .



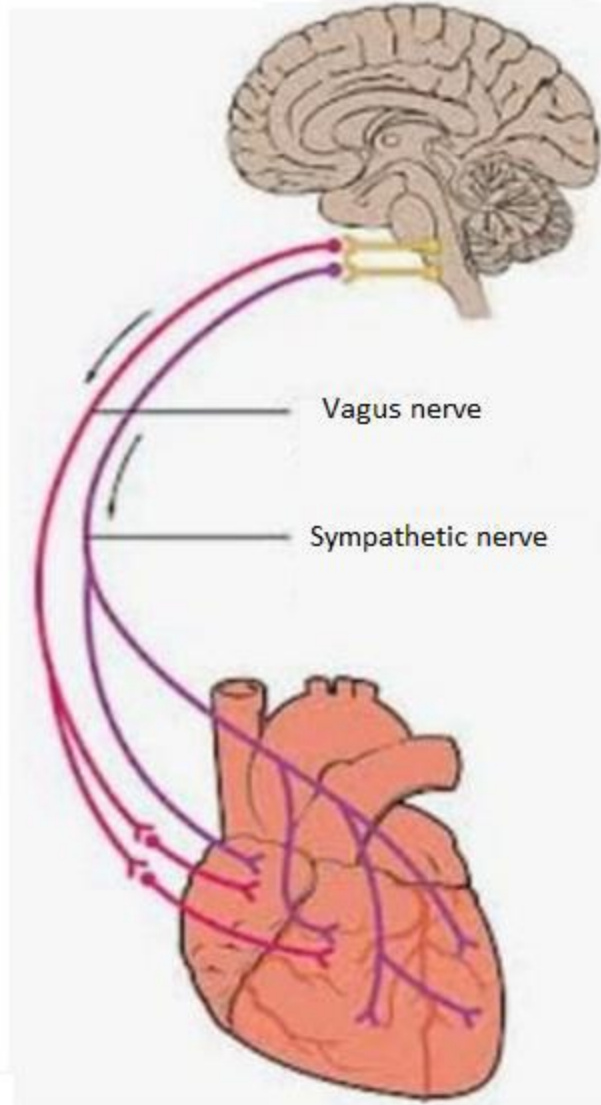
الشكل - 8 : جهد الفعل في الخلية العضلية القلبية ( البطين ) .

- . Absolute refractory period المطلق = ARP
- . Relative refractory period النسبي = RRP

#### تأثير الالياف العصبية على نبض القلب :

يزود القلب بنوعين من نهايات الاعصاب الكولنرجية والادرنرجية الا ان هذه الاعصاب غير مسؤولة عن توليد موجة التهيج ( جهد الفعل ) في العضلات القلبية لكون تفرغها عضلي المنشأ في الفقرات ومعظم اللافقرات ، ولكن هذه الاعصاب مسؤولة عن تحويل قوة وسرعة التقلص ( الشكل - 9 ) .





الشكل - 9 : التزود العصبي للقلب ( للاطلاع ) .

تأثير العصب التائه ( نظير العطوف ) الكولنرجي Cholinergic ( العصب الذي يفرز الناقل الكيمياوي الاستيل كولين Ach ) :

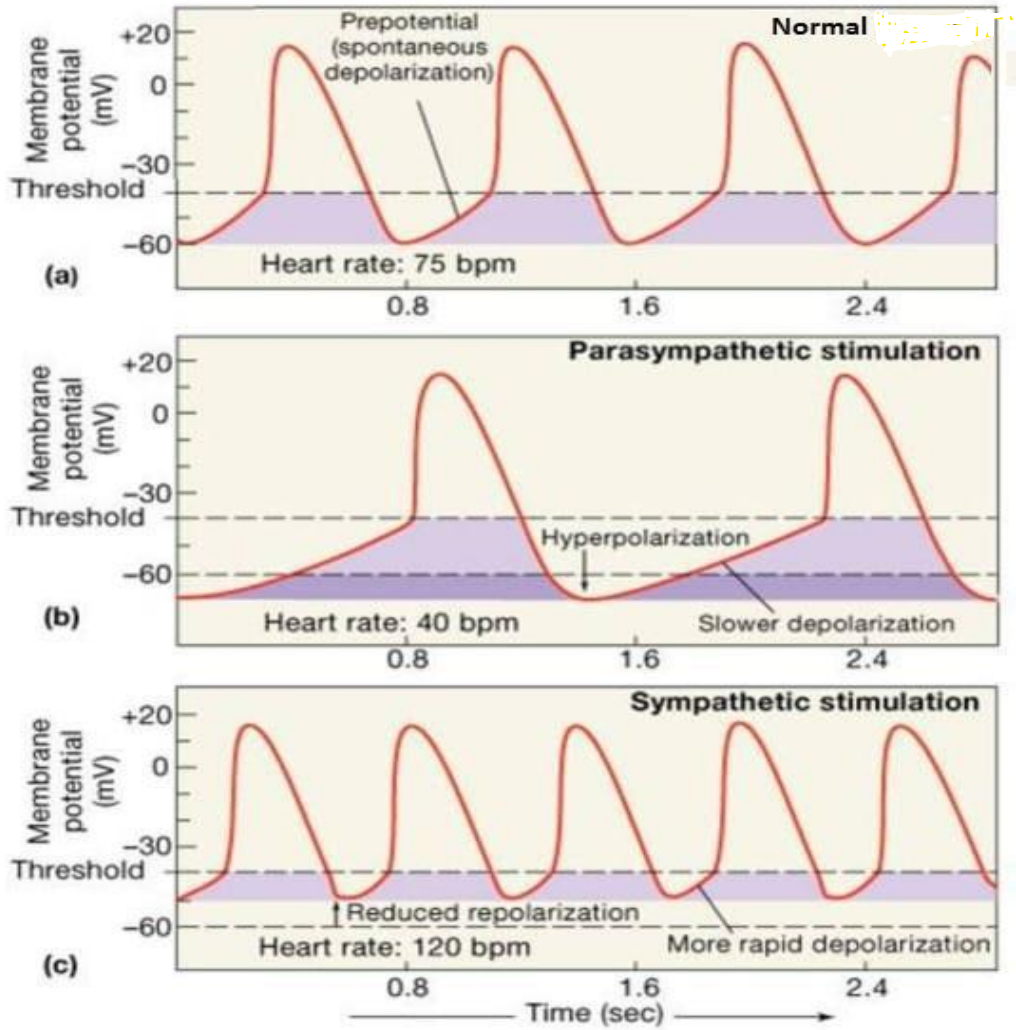
يؤدي تنبيه هذا العصب لعضلة القلب الى تباطؤ في سرعة وقوة النبض القلبي لاسباب الاتية :

1- يعمل الناقل Ach المفرز من هذا النوع من الاعصاب على زيادة خروج ايونات ال  $K^+$  مما يؤدي الى فرط استقطاب اغشية خلايا منظم الخطى .

- 2- يزيد الفترات الزمنية بين جهود الفعل المتعاقبة .
- 3- يقلل سرعة توصيل موجة التهيج من الأدينين الى البطينين خلال العقدة الأذينية البطينية ، اما المستوى العالي لل Ach المفرز فيؤدي الى ايقاف التوصيل خلال العقدة الأذينية البطينية (الشكل – 10 ، b ) .

تأثير نهايات العصب العطوف الأدرنجي Adrenergic ( العصب الذي يفرز النورادرينالين او النورابنفرين ) :

- يؤدي تنبيه هذا العصب لعضلة القلب الى زيادة سرعة وقوة النبض القلبي للأسباب الآتية :
- 1- يعمل الناقل النورادرينالين المفرز من هذا النوع من الاعصاب على زيادة دخول ايونات ال  $Na^+$  مما يؤدي الى سرعة زوال الاستقطاب لأغشية خلايا منظم الخطى .
- 2- يزيد من سرعة زوال الاستقطاب فتقصر الفترات الزمنية بين جهود الفعل المتعاقبة (الشكل – 10 ، c ) .



الشكل - 10 : تأثير الاليف العصبية على نبض القلب بالمقارنة مع النبض السوي (a) عند التوازن في شدة التنبيه بوساطة العصبين .

### تسجيل النبض القلبي :

لايحصل تقلص ( انقباض ) في العضلة القلبية مالم يسبقه زوال استقطاب اي ان الإشارة سالبة على سطح الجزء العضلي المتقلص ، بينما تكون الإشارة موجبة على سطح الجزء العضلي المنبسط الذي لم تصله موجة التهيج بعد مما يعني وجود فرق جهد على سطح القلب . يمكن التقاط هذا الفرق في الجهد من على سطح الجسم اذ يكون كل جانب من جانبي الجسم معاكس في شحنته للجانب الاخر

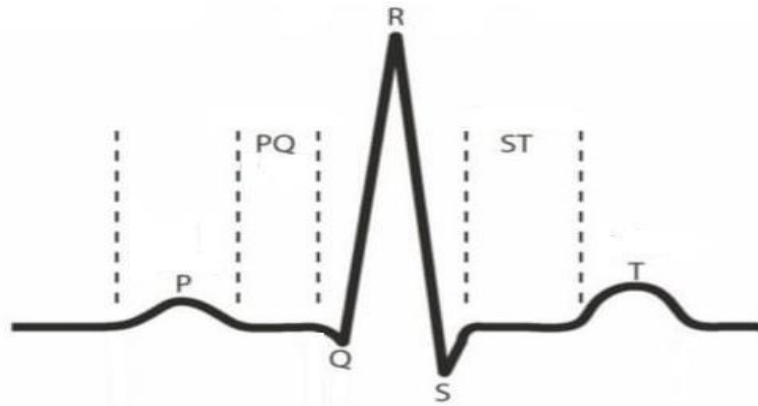
وبالتبادل ويعزى ذلك للاسباب الاتية :

- 1- شكل القلب .
- 2- ميلان المحور الطولي للقلب عن المحور الطولي للجسم باتجاه اليسار .
- 3- الفرق في سمك جدران البطينين فجدران البطين الايسر اكثر سمكا من جدران البطين الايمن مما يؤدي الى فرق في الفترة الزمنية التي تصل فيها موجة التغيير الكهربائي الى مناطق متناظرة في كل منهما .

يدعى الجهاز الخاص بتسجيل نبض القلب بمخطاط القلب الكهربائي Electrocardiograph ، اما التسجيل الذي يظهر على الورق البياني فيدعى تخطيط القلب ( ECG ) Electrocardiogram ( الشكل - 11 ) .

يظهر التخطيط ان النبض القلبي يترافق بثلاث موجات رئيسة كالآتي :

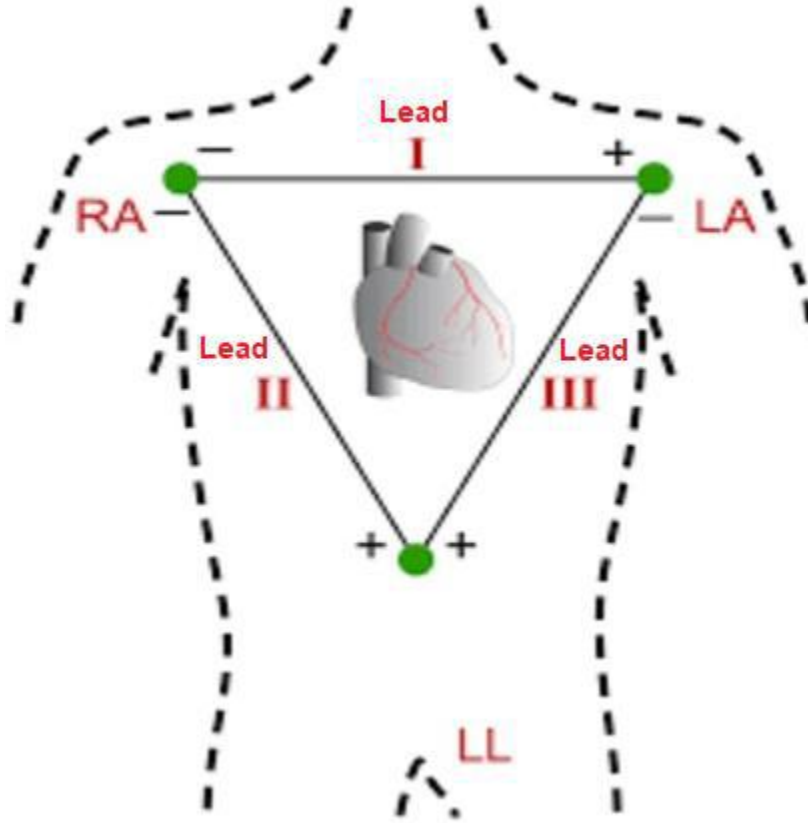
- موجة P وتمثل موجة زوال استقطاب في الاذنين .
  - موجة QRS وتمثل موجة زوال استقطاب في البطينين .
  - موجة T وتمثل موجة عودة استقطاب في البطينين .
- اما المسافة P-Q فتمثل الوقت اللازم لانتقال الاشارة الكهربائية من عقدة A-S الى عقدة A-V .
- اما المسافة S-T تمثل طور الهضبة في جهد الفعل لعضلة القلب التي عندها ينقبض البطينان ويضخان الدم .



الشكل - 11 : النبض القلبي ( تخطيط القلب ECG ) .

## طريقة تسجيل النبض القلبي :

- يتم التسجيل بوضع أقطاب الجهاز على سطح الجسم مباشرة أذ تربط أقطاب الجهاز كالآتي :
- يربط القطب الموجب المثبت على الذراع الأيسر مع القطب السالب المثبت على الذراع الأيمن ،  
ويدعى هذا الربط بالتوصيلة الأولى Lead 1 .
- يربط القطب الموجب المثبت على الرجل اليسرى مع القطب السالب المثبت على الذراع الأيمن ،  
ويدعى هذا الربط بالتوصيلة الثانية Lead 2 .
- يربط القطب الموجب المثبت على الرجل اليسرى مع القطب السالب المثبت على الذراع الأيسر ،  
ويدعى هذا الربط بالتوصيلة الثالثة Lead 3 . عند رسم التوصيلات المذكورة سنحصل على مثلث  
يدعى مثلث اينتهوفن ( الشكل - 12 ) .



الشكل - 12 : مثلث اينتهوفن .

## اصوات القلب Heart sounds :

يكون نبض القلب مصحوبا باربعة اصوات والصوتان الاول والثاني هما المتميزان :

1- الصوت الاول او يدعى الصوت الانقباضي **First or systolic sound** : يتميز بنغمة واطنة تشبه لفظة **Lub** او **Loop** ويستغرق الصوت الاول فترة زمنية طويلة ، ينشأ هذا الصوت بسبب اهتزاز الصمامات الاذينية البطينية عند انغلاقها وكذلك بسبب اهتزاز جدران البطين . يتاثر الصوت الاول عند حصول عطل في الصمامات المذكورة ويدعى الصوت الناتج عن التاثر باللغظ **Murmur** .

2- الصوت الثاني او يدعى الصوت الانبساطي **Second or diastolic sound** : يتميز بنغمة اعلى تشبه لفظة **Dup** ويستغرق فترة زمنية اقصر من الصوت الاول ، وينشأ هذا الصوت بسبب الاهتزاز في الصمامات الهلالية نتيجة انغلاقها .

3- الصوت الثالث : سببه اندفاع الدم الى البطين عند بداية الانبساط مما يسبب اهتزاز بجدران البطين .

4- الصوت الرابع : سببه الانقباض الاذيني ويحدث قبل بداية الصوت الانقباضي بقليل .

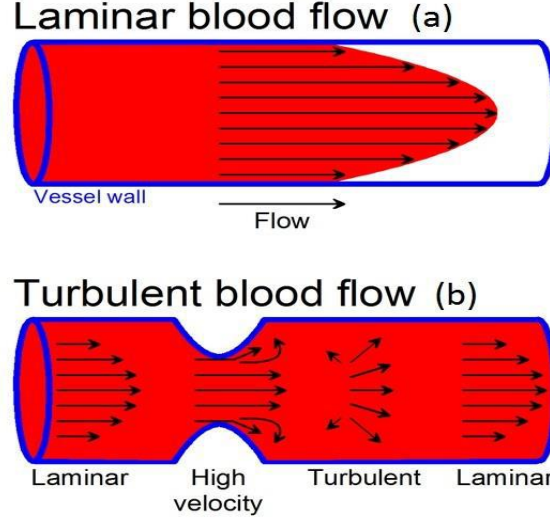
يصاحب النبض القلبي بصوتين هما **Lup-Dup** وتلتقط الاصوات القلبية بتثبيت جهاز لاقطة على الصدر ويدعى **Phonocardiograph** فيظهر الصوت بشكل تخطيط يدعى **Phonocardiogram** .

## جريان الدم Blood flow :

يوجد نوعان من جريان الدم هما الساكن والضوضائي :

1- جريان الدم الساكن **Silent blood flow** : ويسمى بالجريان الصفائحي او الطبقي **Laminar blood flow** اذ يجري الدم في الوعاء الدموي بهيئة صفائح او طبقات ، وتكون سرعة الطبقات القريبة من الجدار بطيئة بينما تكون الطبقات القريبة من المركز اسرع اما الطبقات التي في المركز فتكون باقصى سرعة . لذا فان الدم الجاري وسط الوعاء كانه ينزلق بين الطبقات دون حدوث اي صوت مسموع كما هو الحال لجريان الدم في الشريان الكعبري الذي لايسمع صوت الجريان فيه حتى باستعمال سماعة طبية ( الشكل - a13 ) .

2- جريان الدم الضوضائي **Noisy blood flow** :ويدعى ايضا جريان الدم المضطرب **Turbulent blood flow** يحصل هذا النوع من جريان الدم عند زيادة سرعة الدم عن ( رقم رينولدز ) اذ يتوقف الجريان الصفائحي وتحدث تيارات متعاكسة فيصبح الجريان مضطرب لذا يتذبذب جدار الوعاء الدموي محدثا صوت واضح يمكن سماعه . اما سبب التيارات المتعاكسة هو حدوث انسداد جزئي في المجرى الدموي عندئذ تكون سرعة جريان الدم بعد اجتيازه لمنطقة الانسداد عالية جدا محدثة اصوات واضحة تدعى اصوات كوروتكوف **Korotkoff sounds** التي لها فائدة في قياس ضغط الدم ( الشكل - b13 ) .



الشكل - 13 : (a) جريان الدم الساكن او الصفائحي ، (b) جريان الدم الضوضائي او المضطرب .

### ضغط الدم والعوامل المؤثرة فيه :

ضغط الدم : هو القوة الدافعة للدم خلال الشرايين والشريينات والاعوية الشعرية الدموية الذي ينبغي بقائه ضمن حدود معينة كي يساعد على استمرار دوران سوي مع ضمان انعدام حدوث انفجار للاوعية الدموية او حصول ارهاق للقلب ، ويندفع الدم في الابهر بمتوسط ضغط 100 ملم . ز . ان السبب الرئيس لتولد ضغط الدم هو الانقباض البطيني القوي فضلا عن مطاطية جدران الشرايين والمقاومة التي يلاقيها الدم عند مروره في الشرايين والشريينات والاعوية الشعرية الدموية .

تشمل العوامل المؤثرة فيه الاتي :

1- الخرج ( النتاج ) القلبي Cardiac output : هو كمية الدم التي يضخها البطينان في الدقيقة الواحدة ، وان زيادة الخرج عن الحد السوي تؤدي الى زيادة ضغط الدم وانفجار الاعوية الصغيرة وتسبب تضخم جدران البطينين وضعفهما . كما يعتمد الخرج القلبي على عاملين هما :

ا-حجم الضربة Volume stroke : وهي كمية الدم التي يضخها البطينان عند كل انقباض وتبلغ 70ملي لتر في حالة الراحة . يعتمد حجم الضربة على الدم العائد الى القلب وعلى حجم القلب وكذلك على قوة العضلات القلبية والحالة الفسلجية .

ب-معدل النبض القلبي Heart beat rate : يصل معدل النبض الى 72 ضربة في الدقيقة . ويعتمد على التبدلات الايونية والهرمونات ودرجة الحرارة .

لذا فان الخرج القلبي هو حجم الضربة X معدل النبض القلبي

وان قيمته هي  $70 \times 72 = 5040$  ملي لتر اي بما يعادل 5.04 لتر

2-المقاومة المحيطة Peripheral resistance : يرتفع الضغط الشرياني ارتفاعا كبيرا نظرا للمقاومة العالية التي يواجهها الدم عند اجتيازه للاوعية الضيقة ( الشريينات والاعوية الشعرية الدموية ) اي ان ضغط الدم يتناسب طرديا مع المقاومة .

ومن القاعدة الفيزيائية للعالم بواسيه التي طبقها على السوائل يمكن ايجاد العامل الذي تعتمد عليه المقاومة :

$$R = \frac{8 L \eta}{\pi r^4}$$

R = المقاومة

8 = عدد ثابت

L = طول الانبوب

$\eta$  = لزوجة السائل

$r^4$  = القوة الرابعة لنصف القطر

$\pi$  = النسبة الثابتة

يعد نصف القطر العامل المحدد للمقاومة لكونه المتغير الوحيد اذ ان جميع العوامل الاخرى في القانون ثابتة ، لذا يكون قطر الاوعية الدموية هو العامل المحدد للمقاومة وبالتالي لضغط الدم ولسببين هما :

ا- تتناسب المقاومة وبالتالي الضغط عكسيا مع القوة الرابعة لنصف القطر ، لذا فان مضاعفة القطر مرة يؤدي الى انخفاض الضغط 16 مرة وبالعكس .

ب- تمتلك الشريينات والاعوية الشعرية الدموية القابلية على تغيير اقطارها من 4 الى 5 اضعاف وبذلك تتغير المقاومة مئات المرات ويحدث ذلك بالسيطرتين العصبية والهرمونية .

3-لزوجة الدم Blood viscosity : يتناسب ضغط الدم طرديا مع لزوجة الدم وتكون اللزوجة ثابتة في الحالات السوية ، بينما ترتفع لزوجة الدم في بعض الحالات المرضية المتمثلة بفرط الكريات الحمر Polycythemia ( ارتفاع عدد الكريات الحمر ) او بارتفاع بروتينات الدم مما يؤدي الى ارتفاع ضغط الدم .



تبدلات الضغط في القلب اثناء النبض ( الدورة القلبية ) :

يقترن النبض القلبي بتغيرات فسلجية متعددة اهمها :

- تغيرات الضغط في تجاويف القلب .

- تغيرات في حجوم تجاويف القلب .

- تغيرات كهربائية .

- سماع اصوات منتظمة متعاقبة تتماشى مع الدورة القلبية.

وتكون مراحل التبدلات او الدورة القلبية كالآتي :

1- الانبساط الاذيني Auricular diastole : يبلغ الضغط في الاذنين اثناء الانبساط الاذيني صفرا كما تكون الصمامات الاذينية البطينية مغلقة . اما الضغط في الاوردة المتصلة بالاذنين و الناجم عن التدليك ( الانقباض والانبساط ) من قبل العضلات الهيكلية المحيطة بجدران هذه الاوعية فيكون 10 ملم ز ، عندئذ سيندفع الدم من الاوردة الرئوية الى الاذين الايسر ومن الاوردة الجوفاء الى الاذين الايمن .

2- الانقباض الاذيني Auricular systole : يرتفع الضغط عند انقباض الاذنين من صفر الى 4 او 6 ملم.ز في الاذين الايمن كما يرتفع الضغط من صفر الى 7 او 8 ملم.ز في الاذين الايسر . وان الارتفاع المذكور للقيم اعلى من قيمة الضغط في البطينين ( لان البطينان في حالة انبساط ) عندئذ ستفتح الصمامات الاذينية البطينية ( التاجي وثلاثي الشرف ) ثم يندفع الدم خلالهما الى البطينين .

ولايعود الدم الى الاوردة المتصلة بالاذنين اثناء انقباض الاذنين لاسباب متعددة كالآتي :

ا- بالرغم من ارتفاع الضغط في الاذنين اثناء انقباضهما الا ان الضغط يبقى دون مقداره في الاوردة المتصلة بالاذنين والذي يبلغ 10 ملم.ز او اكثر .

ب- وجود الياف حلقيه في الفتحتين الكاننتين بين الاوردة والاذنين الايمن والايسر اذ تضيق عند الانقباض فتغلق الفتحة .

ج- ضعف في مقاومة مرور الدم من الاذين الى البطين نظرا لترتيب الصمامات الاذينية البطينية .

3- الانقباض البطيني Ventricular systole : يتميز الانقباض البطيني بكونه قويا لسمك الجدران فيرتفع في البطين الايسر الى 120 ملم.ز ، بينما يصل في البطين الايمن الى 25 ملم.ز . تغلق الصمامات الاذينية البطينية نتيجة الانقباض وتفتح الصمامات الهلالية فيندفع الدم خلال الابهر بقوة 120 ملم.ز ويندفع خلال الشريان الرئوي بقوة 25 ملم.ز .

الانبساط البطيني Ventricular diastole : بانتهاء انقباض البطينين واندفاع الدم خارج القلب في الاوعية ( الابهر والشريان الرئوي ) سينبسط البطينان ويهبط الضغط فيهما الى الصفر ، في حين لايهبط الى الصفر في الابهر بل ينخفض الى 80 ملم.ز كما ينخفض في الشريان الرئوي الى 10 ملم.ز كنتيجة لانغلاق الصمامات الهلالية ولذلك يمنع رجوع الدم الى البطينين .

فسلجة جهاز الدوران Physiology of circulatory system

الدم The blood :

يعد الدم سائل من النسج الضامة المتخصصة اذ يحتوي على الخلايا والمادة البينية ويتميز بكونه اكثر ديناميكية من بقية انواع هذه النسج ، اذ تضاف الى الدم الكثير من المواد الممتصة من القناة الهضمية فضلا عن ال O<sub>2</sub> القادم من الرئتين ، كما تزال منه مختلف انواع المواد ( الفضلات ) والتي تطرح بوساطة الكليتين مع الادرار فضلا عن غاز ال Co<sub>2</sub> الذي يطرح عن طريق الرئتين .

تركيب الدم : يتكون الدم من البلازما والمكونات الاخرى المتمثلة بكريات الدم الحمر وخلايا الدم البيض والصفائح ( الاقراص ) الدموية .

اولا- البلازما : هو سائل معقد ذو لون اصفر ( قشي اللون ) يتالف من 90% ماء حاو على مواد صلبة مذابة فيه كالاتي :

- البروتينات ( الالبومين Albumin ، الكلوبولين Globulin ، الفايبرينوجين Fibrinogen ) .
- الكلوكوز Glucose
- الحموض الامينية Amino acids
- الاملاح ( الكهارل ) Electrolytes
- الخمائر ( الانزيمات ) المختلفة
- الاجسام المضادة Antibodies ( وهي عبارة عن مواد بروتينية )
- الهرمونات Hormones
- الفضلات الايضية Metabolic waste
- كميات قليلة من المواد العضوية والملاعضوية .
- غازات ( O<sub>2</sub> و Co<sub>2</sub> و N<sub>2</sub> ) .

## اهمية بروتينات البلازما :

- 1- تمتلك البروتينات دورا مهما في عملية تخثر ( تجلط ) الدم .
- 2- تساعد في انتقال الهرمونات الستيرويدية ذات الوزن الجزيئي الواطيء ( هرمونات الغدة الدرقية وهرمونات القشرة الادرينالية وهرمونات القنڊاي المناسل ) ، اذ ان ارتباط بعض بروتينات البلازما بالهرمونات المذكورة يمنع ترشحها بسرعة خلال الكبيبات في الكلية مما يساعد بقاء الهرمونات في الدم حتى تصل العضو المستهدف .
- 3- ينقل بروتين الالبومين كل من المعادن والايونات والحموض الدهنية والحموض الامينية والانزيمات والعقاقير والبليروبين .

## مصدر بروتينات الدم :

- تصنع الاجسام المضادة والتي هي كما كلوبيولين من خلايا ال Plasma cells .
- تصنع البروتينات الموجودة في بلازما الدم والتي لها علاقة بتخثر الدم ( والمتمثلة بالفايبرينوجين والبروثرومبين ) في الكبد .

## تخليق ( تصنيع ) بروتينات الدم :

يتم تخليق جميع بروتينات الدم تقريبا بما فيها البروثرومبين والفايبرينوجين في الكبد . ولتخليق البروثرومبين لابد من وجود فيتامين K بكمية كافية في الدم . يتم امتصاص فيتامين K الموجود في الطعام المهضوم من قبل الزغابات في الامعاء فيصل الى الدم كما يتم تخليق هذا الفيتامين من قبل بعض البكتريا في داخل الامعاء والتي ينعدم وجودها في حديثي الولادة . يعد الفيتامين المذكور من الفيتامينات الذائبة في الدهون لذا يتطلب امتصاصه افرازات الصفراء . ويعد قطع الصفراء سببا في نقص فيتامين K في الدم وذلك لانعدام وجود افرازاتها في الامعاء مما يؤدي الى انعدام تخليق البروثرومبين بمعدل ثابت بوساطة الكبد فينخفض مستواه السوي في الدم مسببا سهولة حصول النزيف .

ثانيا - المكونات الاخرى للدم : تكون المكونات الاخرى للدم ( كريات الدم الحمر وخلايا الدم البيض والصفائح ( الاقراص ) الدموية عالقة في البلازما ( الشكل - 1 ) .

- 1- كريات ( جسيمات ) الدم الحمر Red blood corpuscles (RBC) or erythrocytes : يتم تخليق ( انتاج ) كريات الدم الحمر في نخاع العظم الاحمرمن الخلايا الجذعية stem cells ويبلغ عددها في ذكور الانسان 4.5-6.5 مليون كرية في الملي متر المكعب الواحد(مايكروليتر) من الدم ، بينما يبلغ عددها في الاناث 3.8-5.8 مليون كرية في الملي متر المكعب الواحد(مايكروليتر)من الدم

تتميز الكريات بكونها قرصية الشكل مقعرة الوجهين مما يوفر سطحاً واسعاً لانتشار الغازات بصورة أكثر مما هو عليه في السطوح المستوية أو المحدبة . تفقد كريات الدم الحمر انويتها اثناء مراحل تطورها لذا تكون عديمة النواة خلافاً لما هو عليه في جميع الفقريات ، كما يحتوي سايتوبلازمها على عدد كبير جداً من جزيئات الهيموكلوبين . تبقى كرية الدم الحمراء في الدم لمدة اربعة اشهر وتقطع ضمن هذه المدة من خلال الدورات الدموية مسافة 700 ميل ثم تتحلل ويتم التهام حطامها بواسطة البلاعم Macrophages . ويعاد استعمال عنصر الحديد الموجود في الهيموكلوبين مرة اخرى ، اما بقية الهيموكلوبين فتستعمل لانتاج صبغات مادة الصفراء .

2- خلايا الدم البيض White blood corpuscles ( WBC) or Leukocytes : يتم انتاج خلايا الدم البيض في نخاع العظم الاحمر من الخلايا الجذعية و تشمل انواع مختلفة من الخلايا كما تشكل جهاز حماية مهم للجسم ، يبلغ عددها 4000- 11000 خلية لكل ملي لتر مكعب ( مايكروليتر) من الدم .

### انواع خلايا الدم البيض :

#### اولا - الخلايا المحببة Granulated : وتضم ثلاثة انواع كالآتي :

ا-الخلايا العدلة ( المتعادلة ) Neutrophils : يشكل هذا النوع من الخلايا الخط الدفاعي الاول للجسم ضد الالتهابات البكتيرية ويبلغ معدل نصف العمر لها 6 ساعات لذا لا بد من انتاج اكثر من 100 بليون خلية عدلة في اليوم . تغادر معظم الخلايا العدلة من خلال جدران الاوعية الشعرية الدموية الى النسيج ، بينما يدخل البعض منها الى القناة الهضمية وتفقد من الجسم . يتنبه نخاع العظم لانتاج اعداد كبيرة من الخلايا العدلة عند مهاجمته من قبل البكتريا .

ب- الخلايا القعدة ( القاعدية ) Basophils : تنبه الجهاز المناعي ضد الجراثيم والالتهابات البكتيرية والفطرية والفيروسية وتستجيب الخلايا القعدة لمسببات الحساسية اذ تحتوي على الهستامين وهو المسؤول بصورة جزئية عن الالتهاب الناجم عن الحساسية .تحتوي ايضا على الهيبارين لذا تلعب دورا هاما في منع تخثر الدم في الجسم .

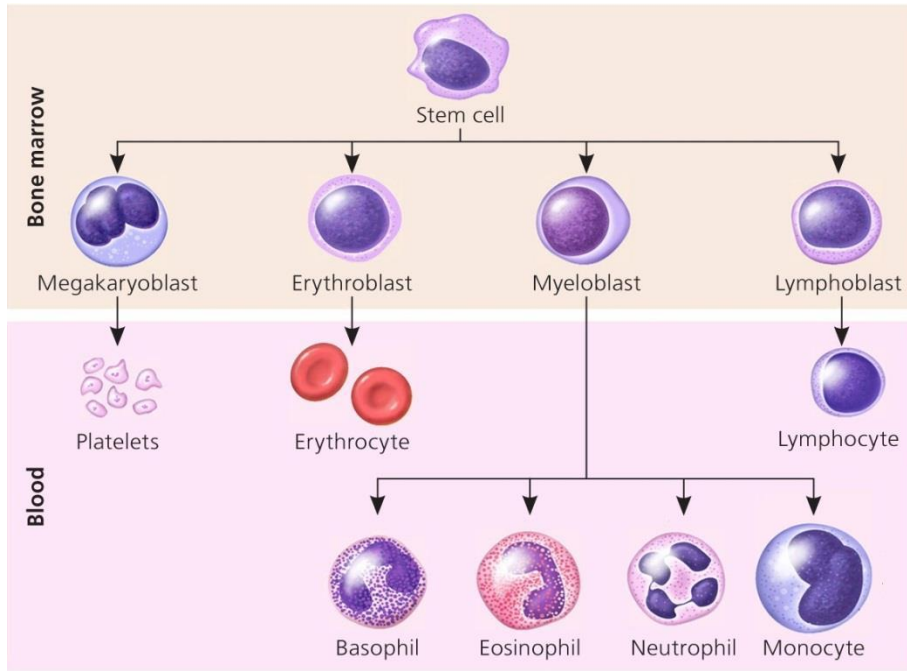
ج- الخلايا الحمضة ( الحامضية ) Eosinophils : تقوم ببلعمة معقدات الانتجين -الاجسام المضادة ( الاضداد) فيرتفع مستواها في الدم عند الاصابة بامراض الحساسية . تمتلك دورا دفاعيا ضد الاصابة بالطفيليات لاحتوائها على الوسائط الكيميائية السامة للطفيلي وللنسيج المصاب .

#### ثانيا - الخلايا غير المحببة Non-granulated : تضم نوعان كالآتي :

ا- الخلايا اللمفاوية Lymphocytes : تمتلك الخلايا اللمفاوية دورا مناعيا هاما في مناعة الجسم اذ تحارب الاجسام الغريبة سواء اكانت فيروسات او بكتريا او خلايا خبيثة وهي تضم انواع متمثلة بالخلايا البائية والتائية وكذلك الخلايا القاتلة السوية .

ب-الخلايا وحيدة النواة **Monocytes** : تمتلك اهمية كبيرة في الدفاع عن الجسم اذ تشكل خط الدفاع الثاني فهي تهاجم مناطق الالتهاب وتبلع البكتيريا والخلايا الميتة والمواد الغريبة الاخرى .

3-الصفائح ( الاقراص ) الدموية **Platelets or thrombocytes** : الصفائح عبارة عن اجزاء خلوية صغيرة جدا مكونة من الغشاء البلازمي المحيط بالساييتوبلازم لكنها تخلو من النواة تنفصل بتخصرها من خلايا عملاقة ( ضخمة ) في نخاع العظم تدعى خلايا النواء **Megakaryocytes** ( الشكل - 1 ) . يبلغ عددها من 150000 الى 450000 صفيحة لكل مايكروليتر من الدم ، تلعب دورا هاما في عملتي الارقاء الدموي الاولي والثانوي ( عملية تخثر الدم ) ، فضلا عن قيامها بوظائف اخرى لاعلاقة لها بالارقاء .



الشكل - 1 : نشأة المكونات الخلوية ( للاطلاع ) .

**الارقاء الدموي Hemostasis** : هو منع فقدان الدم عند حدوث تمزق في الوعاء الدموي ويكون الارقاء اولي واخر ثانوي كالآتي :

**الارقاء الاولي Primary hemostasis** : يتضمن الارقاء الاولي الآليات الآتية :

1- انقباض الاوعية الدموية الموجودة في منطقة الإصابة وينتج الانقباض كمنعكس عصبي ( منعكس الالم اوغيره) فضلا عن انقباض الالياف العضلية الداخلة في تركيب جدران تلك الاوعية .

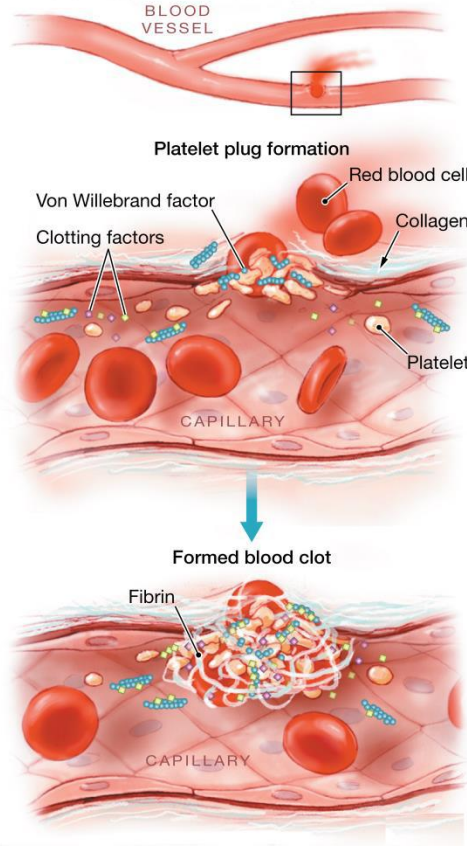
2- التصاق الصفائح الدموية في مكان الإصابة بشكل طبقة منفردة بارتباطها بعامل الالتصاق فون ويل براند VWF ( عامل من عوامل التخثر يتم تخليقه في الصفائح الدموية ومن ظهارة الاوعية الدموية ) .

3- انقباض الوعاء الدموي الممزق موضعيا بفعل مواد تطلق من الصفائح الدموية المنشطة عند التصاقها متمثلة بمادة ال Serotonin مما يؤدي الى انخفاض سرعة جريان الدم وبالتالي تقل كمية الدم المفقود خلال الجرح ، كما تحرر الصفائح المنشطة ايضا مواد متمثلة بال Thromboxane A<sub>2</sub> والADP اللذان يساعدان على تجمع عدد اكثر من الصفائح في موقع الجرح فتتكون السدادة الصفحية Platelet plug التي تغلق الثقب الحاصل في الوعاء الدموي فتقل كمية الدم الخارج من منطقة الإصابة وتمنع دخول الجراثيم بالرغم من كون غلق الجرح بالسدادة ليس محكما .

الارقاء الثانوي Secondary hemostasis : يتضمن الارقاء الثانوي الاليات الاتية :

1- حصول تخثر الدم وتكوين الخثرة الدموية Blood clot بشكل سدادة تمنع استمرار النزف بشكل محكم .

2- نمو النسيج الليفي الى الخثرة الدموية لغلق الثقب في الوعاء بصورة دائمية ( الشكل - 2 ) .

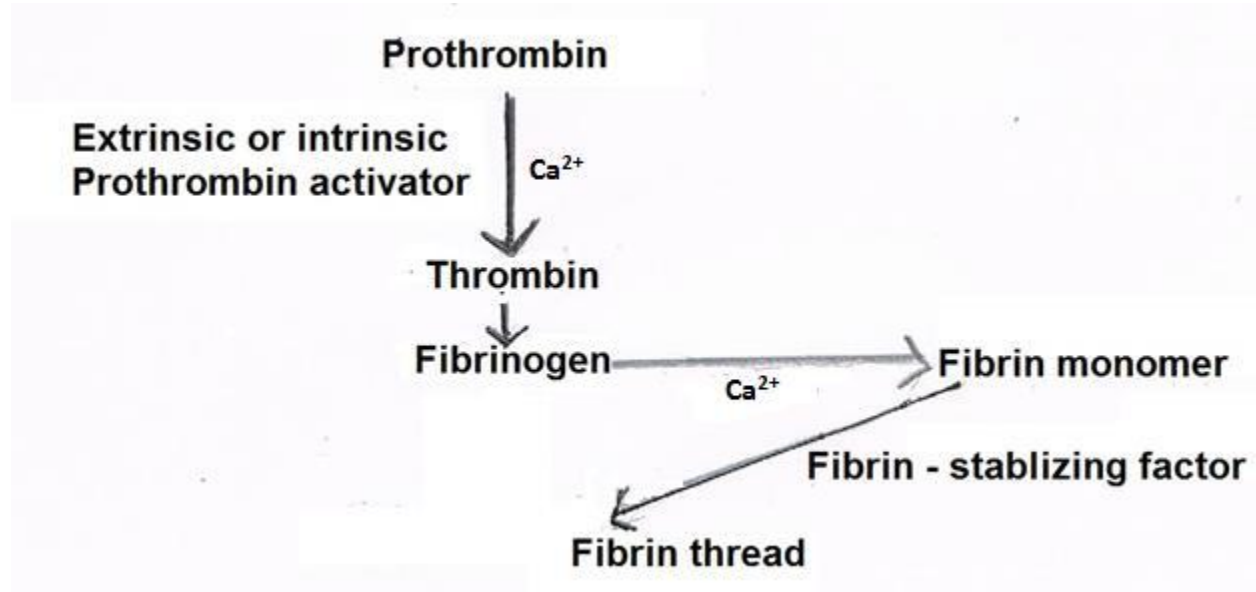


الشكل - 2 : الارقاء الاولى والثانوي ( للاطلاع ) .

### تخثر الدم Blood coagulation :

يعد تخثر الدم رد فعل من قبل الجسم ضد النزف و يتضمن اشترك عدد من عوامل التخثر الموجودة في الدم والتي تمر بسلسلة من تفاعلات شلال التخثر. ويقسم تخثر الدم الى ثلاثة اطوار هي :

اولا-الطور الانزيمي **Enzymatic phase** : ان الخطوة الاولى في عملية التجلط هي تحول البروثرومبين **Prothrombin** ( المخلق او المصنع في الكبد ) والموجود في بلازما الدم الى انزيم ثرومبين **Thrombin** الذي يلعب دورا مهما في تحول مولد الفايبرين **Fibrinogen** الى خيوط الفايبرين **Fibrin** . يحصل هذا التحول بتكون العامل المساعد الذي يدعى منشط البروثرومبين **Prothrombin activator** عبر مسارين هما المسار الخارجي والمسار الداخلي **Extrinsic and intrinsic pathways** . ويتم خلال المسارين تنشيط عدد من عوامل التخثر بنظام يدعى نظام الشلال ( تنشيط جزيئة واحدة يؤدي الى تنشيط عدد من الجزيئات الاخرى ) ويحصل المساران في وقت واحد ، ( المخطط - 1 ) .



المخطط - 1 : تخثر ( تجلط ) الدم .



**المسار ( النظام ) الخارجي Extrinsic pathway or system :** يبدأ هذا المسار بوساطة عامل متحرر من النسيج المتضررة المحيطة بالوعية الدموية الذي يدعى **Thromboplastin** ( لبيدات مفسفرة وبروتينات دهنية ) .

يتكون خلال هذا المسار معقد يدعى منشط البروثرومبين **Prothrombin activator** كالآتي :

1- يحصل تنشيط للعامل العاشر **X factor** فيتحول الى العامل العاشر النشط **Activated X factor** ويتم ذلك بوساطة العامل السابع **VII factor** و **Thromboplastin** النسيج وايونات ال  $Ca^{2+}$  .

2- يعمل كل من العامل العاشر النشط وايونات ال  $Ca^{2+}$  والعامل الخامس **V factor** و **Thromboplastin** النسيج والليبيدات المفسفرة على تكوين البروثرومبين المنشط الذي يقوم بتحويل مولد الثرومبين الى ثرومبين بمساعدة ايونات ال  $Ca^{2+}$  المهمة لحصول الطور الثاني من تخثر الدم .

**المسار (النظام) الداخلي Intrinsic pathway or system :** يبدأ هذا المسار عند تضرر الدم ذاته او يتعرض الدم الى كولاجين جدار الوعاء الدموي المتضرر.

تبدأ عندئذ سلاسل من تفاعلات الشلال وهي التي يتكون بها منشط البروثرومبين **Prothrombin activator** كالآتي :

1- يحصل تنشيط للعامل الثاني عشر **XII factor** فيتحول الى العامل الثاني عشر النشط **Activated XII factor** ( فيصبح بمثابة انزيم حال للبروتين ) , ويحصل تنشيط للصفائح الدموية فتحرر العامل الثالث **III factor** ( لبيدات مفسفرة وبروتينات دهنية ) .

2- تنشيط العامل الحادي عشر **XI factor** بوساطة العامل الثاني عشر النشط .

3- تنشيط العامل التاسع **IX factor** بوساطة العامل الحادي عشر النشط وايونات ال  $Ca^{2+}$  .

4- تنشيط العامل العاشر **X factor** بوساطة كل من العامل التاسع النشط والعامل الثامن **VIII factor** وايونات ال  $Ca^{2+}$  والليبيدات الفوسفاتية الصفيفية مع العامل الثالث المفرز من الصفائح الدموية المتضررة .

5- يعمل كل من العامل العاشر النشط مع العامل الخامس مع الليبيدات الفوسفاتية للصفائح الدموية على تكوين منشط البروثرومبين الذي يعمل في ثواني على شطر مولد الثرومبين الى ثرومبين بمساعدة ايونات ال  $Ca^{2+}$  .

ثانيا- الطور الثاني اي طور الخثرة ( تكون الخثرة ) **Clotting phase** :

يتم في هذا الطور تكون الخثرة **Clot** وذلك بتحول بروتين مولد الفايبرين **Fibrinogen** الذائب في الدم الى جزيئات الفايبرين الهلامية بكسر اربع روابط ( اواصر ) ببتيديّة في جزيئة مولد الفايبرين ، عندئذ

ترتبط جزيئات الفايبرين مع بعضها بعض مكونة خيوطا طويلا جدا يلتف عدة مرات مكونا شبكة مترابطة تحصر بين فراغاتها البلازما بما فيها كريات الدم الحمر وخلايا الدم البيض والصفائح كما يسهم العامل الثالث عشر XIII factor الذي يدعى عامل استقرار ( مثبت ) الفايبرين في استقرار شبكة خيوط الفايبرين في مكانها اذ يكون ربط تصالبي لخيوط شبكة الفايبرين فتتكون خثرة قوية . تكون الشبكة بما تحصر بداخلها الخثرة الدموية فتسد منطقة الجرح الحاصل في الوعاء والنسج وتوقف النزف .

### ثالثا -الطور الثالث اى طور الانكماش Retraction phase :

يحصل انقباض في الصفائح الدموية المحصورة داخل خيوط الشبكة نتيجة ( تفاعل ثملات الاكتين والمايوسين الموجودة في داخل الصفائح الدموية ) فتعمل على انكماش خيوط الشبكة فتصغر الخثرة في الحجم ساحبة بذلك مناطق النسيج الممزق حولها باتجاه بعضها البعض كما يخرج مصل الدم (المصل عبارة عن البلازما الخالية من الفايبرينوجين ) من بين خيوط الشبكة بفعل الانقباض .

العوامل المتعلقة بعملية تخثر الدم: يحتوي الدم على مواد كثيرة بحدود 30 مادة او اكثر لها علاقة بعملية التخثر وتقسم الى مجموعتين :

- 1- مواد تساعد في عملية التخثر ( مساعدات التخثر ) procoagulants .
- 2- مواد مانعة لعملية التخثر ( مانعات التخثر ) Anticoagulants .

ان حدوث التخثر من عدمه يعتمد على التوازن في نشاط هاتين المجموعتين . فان كانت المجموعة الثانية (مانعات اومضادات التخثر) هي الغالبة فلا تحدث عملية تخثر كما هو حال الدم داخل الاوعية الدموية السليمة . بينما تحدث عملية التخثر عند زيادة نشاط المجموعة الاولى ( مساعدات التخثر ) عند تمزق الوعاء الدموي .

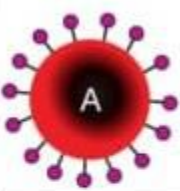
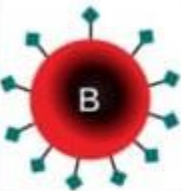
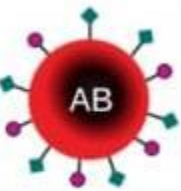







ومن المواد المانعة للتجلط الاتي : مضاد الثرومبين Anti thrombin والهيبارين Heparin .

الهيبارين : هو مزيج من السلفات الحاوية على سكريات متعددة ذو شحنة سالبة ويعمل على منع التجلط وذلك بمنعه تثبيط عدد من العوامل المتمثلة ب (PTC) Plasma thromboplastin component وعامل كرستمس Christmas factor وينشط عامل ال Plasmin الذي يثبط بدوره عمل الثرومبين . ويزيد الهيبارين من سالبية جدران الاوعية الدموية مما يمنع تكون الخثرة thrombus .

زمر ( مجاميع او فصائل ) الدم **Blood groups** : تشير زمرة او فصيلة الدم الى وجود او انعدام وجود اللزينات (الانتجينات او المستضدات) **Agglutinogens** على سطوح كريات الدم الحمر (الشكل - 3 ) .

اذ تكون اغشية كريات الدم الحمر في الانسان غير مرتبطة او مرتبطة بواحد او اثنين من انواع مختلفة من لزينات الدم . يوجد لدى الانسان انواع من اللزينات المحددة جينيا ومن اكثر اللزينات المعروفة هما لزين A ولزين B . قسمت فصائل الدم في الانسان اعتمادا على وجود اللزينات وفق نظام ABO ونوعها الى اربع فصائل هي :

- 1- زمرة او فصيلة الدم A : الافراد الذين ترتبط اغشية كريات الدم الحمر لديهم باللزین A وتبلغ نسبة هؤلاء الافراد 42% .
- 2- زمرة او فصيلة الدم B : الافراد الذين ترتبط اغشية كريات الدم الحمر لديهم باللزین B وتبلغ نسبة هؤلاء الافراد 9% .
- 3- زمرة او فصيلة الدم AB : الافراد الذين ترتبط اغشية كريات الدم لديهم باللزینين A و B وتبلغ نسبة هؤلاء الافراد 3% .
- 4- زمرة او فصيلة الدم O : الافراد الذين لا ترتبط اغشية كريات الدم لديهم باي من اللزینين A او B وتبلغ نسبة هؤلاء الافراد 46% .

	Group A	Group B	Group AB	Group O
Red blood cell type				
Antibodies in plasma	 Anti-B	 Anti-A	None	 Anti-A and Anti-B
Antigens in red blood cell	 A antigen	 B antigen	 A and B antigens	None

الشكل - 3 : زمر او فصائل الدم .

**تركيب اللزنان A و B :** هما عبارة عن بروتينات كربوهيدراتية ( سكرية ) **Glycoproteins** (سلسلة كربوهيدراتية مرتبطة بالبروتين) الفرق بينهما يكمن في ثمالة سكر واحد في نهاية سلسلة السكر المرتبطة بالبروتين ، اذ يكون لدى افراد الزمرة A انزيم يدعى **Glycosyltransferase** الذي يساعد في وضع ثمالة **Acetyl galactosamines** في هيكل سلسلة البروتين السكري . بينما يمتلك افراد الزمرة B انزيم يضع سكر ال **Glactose** في نهاية هيكل سلسلة البروتين السكري . اما افراد الزمرة AB فيمتلكان الانزيمين معا .

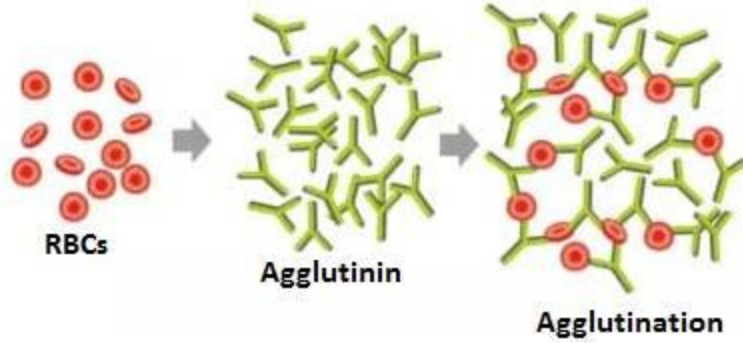
**الملزونات ( الاضداد ) Agglutinin :** توجد الملزونات في بلازما الدم وهي موروثية جينيا كما يمكن انتاجها عند التعرض لكريات دم لفرد من زمرة اخرى في حالتها نقل الدم غير المتوافق او عند الولادة وذلك بمرور كريات دم الجنين خلال السخد **Placenta** ثم دخولها جهاز دوران الام فيبدا الجهاز المناعي بانتاج الملزونات.

**ملزونات زمر (فصائل او مجاميع) الدم :**

لا بد للملزونات الموجودة في بلازما الدم ان تكون مختلفة عن اللزينات ضمن اي زمرة او اي فصيلة من فصائل او مجاميع الدم كي لا يحصل تفاعل بين الملزن في البلازما مع اللزيم على سطح غشاء الكرية لذا نجد ان نوع الملزونات في افراد الفصائل المختلفة كالآتي :

- 1- افراد الزمرة A : تحتوي بلازما دم افراد هذه الزمرة على ملزونات ( ضد اللزيم A ) اي انها من نوع مغاير للزيم A ويرمز لها **b** .
- 2- افراد الزمرة B : تحتوي بلازما دم افراد هذه الزمرة على ملزونات ( ضد اللزيم B ) اي انها من نوع مغاير للزيم B ويرمز لها **a** .
- 3- افراد الزمرة AB : لا تحتوي بلازما دم افراد هذه الزمرة على اي من الملزيم المذكورين اي ان البلازما خالية من الملزن **a** و **b** . لان وجود اي نوع من الملزيم يؤدي الى تفاعل ومن ثم حدوث التلازن فموت الشخص .
- 4- افراد الزمرة O : تحتوي بلازما دم افراد هذه الزمرة على كل من النوعين من الملزونات **a** و **b** ( الشكل - 3 ) .

**التلازن الدموي Agglutination :** هو تماسك يحصل بين كريات الدم الحمر عند تفاعل لزيمات الشخص الواهب (المتبرع) **Donor** الموجودة على سطوح اغشية الكريات مع الملزونات النوعية لتلك اللزيمات الموجودة في دم الشخص المستلم **Recipient** ويحصل التلازن عند اجراء عملية نقل دم لزمريتين غير متطابقتين او متوافقتين ( الشكل - 4 ) .



الشكل - 4 : التلازن ( للاطلاع ) .

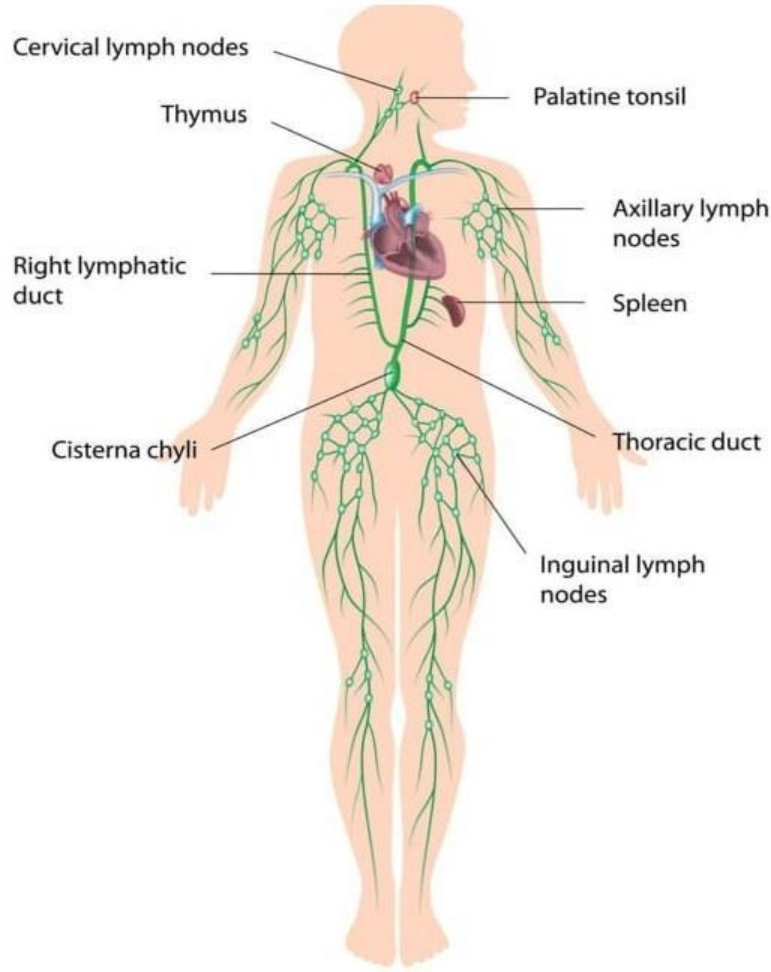
تفاعلات نقل الدم : عند اجراء نقل دم بين الافراد لابد ان يكون صنفا الدم للواهب والمستلم متطابقين او متوافقين تجنباً للمخاطر . يدعى افراد الزمرة AB بالمستلم العام Universal recipient وذلك لانعدام الملزونات ( a و b ) في بلازما دمائهم وبالتالي لا يحصل تلازن . بينما يدعى افراد الزمرة O الواهب العام Universal donor لانعدام اللزينات ( A و B ) على سطوح اغشية كريات الدم الحمر لديهم لذا لا يحصل تلازن عند نقله الى افراد الزمر الاخرى .

عامل ريسوس Rh ( D ) factor : تحتوي سطوح اغشية الكريات الحمر ل 85% من البشر على لزين اخر لنظام دموي اخر هو نظام Rh ، في حين تخلو سطوح اغشية كريات الدم الحمر ل 15% من البشر من هذا اللزين . لذا يعتبر وجود اللزين Rh صفة سائدة، كما لا توجد لهذا اللزين اجسام مضادة في بلازما دماء الاشخاص اللذين يمتلكونه . ويشار للدم بالعلامة ( + ) عند وجوده على سطوح اغشية الكريات كما يشار للدم بالعلامة ( - ) في حالة انعدامه . بإمكان الشخص ذا صنف الدم الموجب ان يستلم دم من شخص صنف دمه سالب بشرط التوافق اعتماداً على نظام ABO . ويمكن لشخص صنف دمه سالب ان يتبرع الى شخص صنف دمه موجب حسب شرط التوافق حسب نظام ABO ، تكمن المشكلة في حالة زواج انثى صنف دمها سالب من شخص صنف دمه موجب عندئذ ممكن ان تعبر كمية من دم الوليد عند الولادة الى دم الام مما يدفع الجهاز المناعي للام الى تكوين اجسام مضادة . ستنعكس الخطورة على الطفل الثاني اذ تنتقل الاجسام المضادة عن طريق الحبل السري الى الجنين الذي صنف دمه قد يكون موجب فيحدث تلازن في دمه بما يؤدي الى موت الجنين والاجهاض ، لذا تحقن الام بعد ولادة الطفل الاول بثلاثة ايام بحقنة عبارة عن مضادات للاجسام المضادة للزين D مما يؤدي الى تحطيمها بعد ولادة الطفل الاول .

## الجهاز اللمفاوي Lymphatic system :

يعد الجهاز اللمفاوي جزءا من جهاز الدوران لكون السائل ( اللمف ) الذي يتدفق فيه ينشأ من الدم ثم يعود الى الدم اذ يعمل الجهاز على تصريف السوائل الفائضة من نسيج الجسم واعادتها الى الدم ، فضلا عن كونه جزءا من الجهاز المناعي لما يمتلك من قدرة دفاعية ضد الكائنات الممرضة والخلايا الميتة وغيرها ولقيامه بانتاج اجسام مضادة .

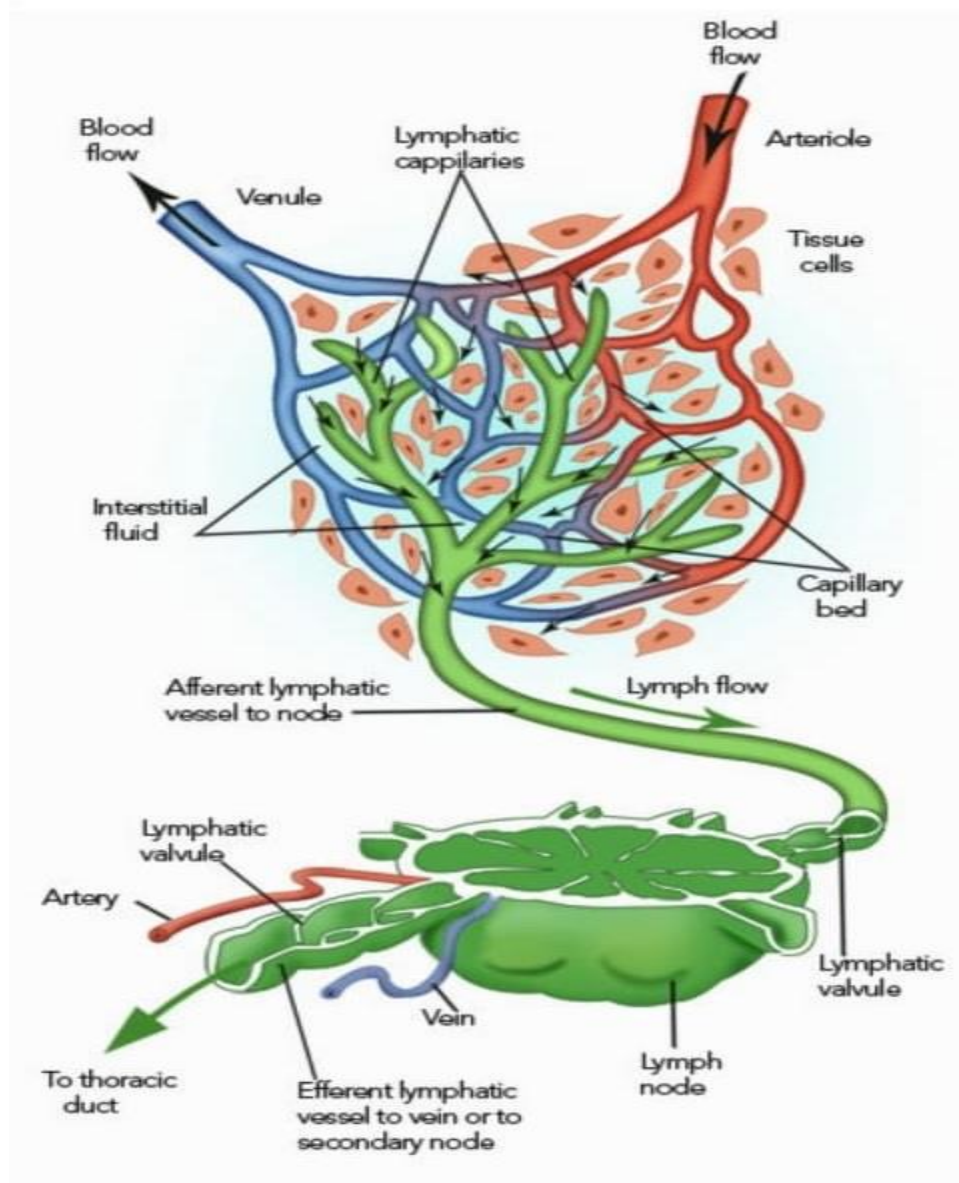
مكونات الجهاز اللمفاوي : يتالف الجهاز اللمفاوي من عدة مكونات وهي الاوعية اللمفاوية والعقد اللمفاوية واللمف والاعضاء اللمفاوية الاولية Primary lymphoid organs ( الغدة الزعترية ونخاع العظم ) والاعضاء اللمفاوية الثانوية Secondary lymphoid organs ( الطحال واللوزتان ونسج لمفاوية منتشرة في مختلف الاغشية المخاطية متمثلة برقع باير ) ، ( الشكل - 5 ) .



الشكل - 5 : الجهاز اللمفاوي ( للاطلاع ) .

اولا-الاعوية اللمفاوية **Lymphatic vessels** : هي شبكة كبيرة من الاعوية مختلفة الحجم والمنتشرة في كل انحاء الجسم باستثناء شبكية العين والعظم والدماغ . تنشأ الاعوية اللمفاوية من اعوية اصغر تدعى بالاعوية الشعرية اللمفاوية **Lymphatic capillaries** .

الاعوية الشعرية اللمفاوية : هي اعوية صغيرة مغلقة النهاية منتشرة بين خلايا النسيج تقوم بتصريف السوائل النسيجية الفائضة ، تتألف جدران هذه الاعوية من طبقة واحدة من الخلايا البطانية المسطحة **Endothelial cells** ( الشكل - 6 ) .



الشكل - 6 : الاعوية الشعرية اللمفاوية ( للاطلاع ) .

ترتبط النهايات المغلقة (العمياء) للاوعية الشعرية للمفاوية بالخلايا المحيطة بها بخيوط نسجية رابطة Anchoring filaments . تتفرع الاوعية الشعرية للمفاوية مكونة شبكات منشرة بين الخلايا في انحاء الجسم ، كما يطلق مصطلح اللبينات Lacteals على الاوعية الشعرية للمفاوية التي تنشأ في زغابات الامعاء الدقيقة . ترتبط الفروع الدقيقة للشعيرات للمفاوية معطية اوعية اكبر فاكبر، وتحتوي الاوعية الاكبر على الصمامات التي تمنع رجوع السائل باتجاه معاكس وتعمل هذه الاوعية على اصال السائل الى الدم بعد ان تنقله الى المرشحات ( العقد للمفاوية ) . يتدفق السائل في الاوعية للمفاوية باتجاه واحد وفق النظام المفتوح الذي يبدأ من الشعيرات للمفاوية ، كما تظهر الاوعية للمفاوية توزيعا كثيفا قرب العقد للمفاوية . تتلقى الاوعية للمفاوية مكونة قناتين جامعتين رئيسيتين تجمعان اللمف الذي يتدفق في الاوعية للمفاوية المنتشرة ( الشكل - 5 ) ، وهما :

ا- القناة الصدرية Thoracic duct : تصب هذه القناة في الوريد تحت الترقوي الايسر عند اتصاله بالوريد الودجي وتستلم اللمف القادم من الجزء الاسفل للجسم والرجلين والذراع الايسر والجزء الايسر من الراس والصدر اي ان معظم اللمف يعود الى الدم بوساطة هذه القناة .

ب-القناة اللمفية اليمنى Right lymphatic duct : يصب فيها اللمف القادم من الربع الايمن العلوي من الجسم وتصب هذه القناة في الوريد تحت الترقوي الايمن .

اللبينات Lacteals : هي الاوعية للمفاوية الموجودة في وسط الزغابات في جدران القناة الهضمية والتي تكون ذات نهاية مغلقة تصب هذه الاوعية بعد اختراقها للمساريق في كيس يدعى الصهرج الكيلوسي Cisterna chyli الذي تصب محتوياته في القناة الصدرية .

تشابه الاوعية للمفاوية من الناحية التركيبية كل من الاوعية الدموية الدقيقة والاوردة اذ تتألف جدرانها من الطبقة الداخلية (الاندوثيلية) والوسطى( العضلات الملساء ) والبرانية (نسيج ليفي) فضلا عن وجود الصمامات .

بالرغم من ذلك توجد اختلافات بين الاوعية للمفاوية والاوردة متمثلة بالاتي :

1- جدران الاوعية للمفاوية ارق من جدران الاوردة .

2- وجود عقد لمفاوية على مسافات معينة على طول امتداد الاوعية للمفاوية ولايوجد مثل ذلك بالنسبة للاوردة .

3-تحتوي الاوعية للمفاوية على صمامات بعدد اكبر مما هو عليه في الاوردة .



## وظائف الاوعية اللمفاوية :

- 1- حمل اللمف باتجاه القلب وفق النظام المفتوح ( باتجاه واحد ) .
- 2- ايصال الدهون المتناولة مع الغذاء وغير المذابة في الماء الى الدم .
- 3- تعمل على اعادة الجزيئات البروتينية ذات الاوزان الجزيئية الواطنة المترشحة من الاوعية الشعرية الدموية الى السائل البيني وبذلك تتم المحافظة على الضغط الازموزي الغروي للدم لان انخفاضه عن الحد السوي يؤدي الى الموت .

ثانيا- العقد اللمفاوية **Lymph nodes** : عبارة عن تراكيب صغيرة بيضوية او تشبه حبة الفاصوليا منتشرة في جميع انحاء شبكة الاوعية اللمفاوية على امتداد تلك الاوعية ، خاصة في مناطق تقارب الاوعية اللمفاوية مع بعضها . تحتوي العقد اللمفاوية على البلاعم **Macrophages** والخلايا الشجرية المتغصنة وعلى الخلايا اللمفاوية التائية والبائية .

تتمثل وظائف العقد اللمفاوية بالاتي :

- 1-تعمل على ترشيح اللمف عند دخوله اليها وتخلصه من البكتريا والاجسام الدقيقة الغريبة الاخرى كالفيروسات الواصلة الى اللمف من النسيج المصابة اذ تقوم ببلعمتها .
- 2-تقوم بانتاج الاضداد ( الاجسام المضادة ) الخاصة بالمسببات المرضية التي تدخل الجسم ثم يتم نقل تلك الاضداد بوساطة اللمف الى مجرى الدم لتوزيعها اينما تكون الحاجة لها .
- 3- انتاج الخلايا اللمفاوية النشطة التي تنتقل من اللمف الى الدم ايضا لتنتقل الى محل الحاجة لها .

## ثالثا- اللمف **Lymph** :

نشأته : هو السائل الذي يدور في الاوعية اللمفاوية والذي ينشأ من الدم ويعود الى الدم مرة اخرى وذلك بخروج الماء والمواد المذابة فيه من بلازما الدم خلال جدران الشعيرات الدموية الى الفراغات او المسافات البينية اي بين خلايا النسيج مكون بذلك السائل البيني ( السائل النسيجي ) ، والذي يمكن اعادته من خلال جدران الاوعية الشعرية الدموية مرة اخرى بوساطة قوى تتحكم بذلك ، اذ ان جزء كبير من السائل الذي يترك الدم الى النسيج عند الطرف الشرياني للاوعية الشعرية الدموية يعود الى الدم عند الطرف الوريدي للاوعية الشعرية الدموية . اما الجزء الباقي من السائل الذي لايعود كما تم ذكره والبالغ  $100\text{cm}^3$  فانه يندفع بقوة ضغط السائل البيني الى شبكة الشعيرات اللمفية وتدخل مثل هذه الكمية الى الشعيرات اللمفية كل ساعة وبوساطة دورة اللمف في الجسم يعود الى الدم . يطلق على السائل الذي اندفع الى الشعيرات اللمفية باللمف اذ لايتبقى الا كمية قليلة منه في المسافات البينية للنسيج وتمثل السائل البيني .

**تعريف اللمف:** هو سائل مائي شفاف عديم اللون اجبر على الخروج من البلازما بتأثير الضغط الانقباضي للدم لذا هو مشابه للبلازما من حيث التركيب اذ يكون حاوي لمعظم مكوناتها لكن بتركيز مختلفة اذ تبلغ نسبة البروتينات فيه 4.9% بينما تكون في الدم 7%. يحتوي اللمف على بروتين الفايبرينوجين لذا يمتلك القابلية على تكوين جلطة بيضاء اللون (بسبب عدم احتواء اللمف على كريات الدم الحمر) ويحتوي اللمف على خلايا دم بيض متمثلة بالخلايا اللمفاوية فضلا عن عدد قليل من الخلايا البيض المحببة. تكون تراكيز البوتاسيوم والصوديوم و الكلوكوز واليوريا في اللمف مماثلة لما هي عليه في البلازما . اما تركيز كل من الكالسيوم والفسفور فهما اقل مما في البلازما .

### ضخ اللمف عبر الاوعية اللمفاوية :

يتدفق اللمف في الاوعية اللمفاوية رغم انعدام وجود مضخة تعمل على دفعه اذ يصل الى القناة الصدرية ثم يدخل جهاز الدوران بمعدل 125 ملي لتر في الساعة .ويكون الجريان باتجاه الاعلى ( باتجاه القلب ) ويساعد في ذلك العدد الكبير من الصمامات التي تسمح بالجريان بهذا الاتجاه .تدعى الفعاليات الحاصلة اثناء تدفق اللمف بفعاليات اللمف الحركية **Lymphokinetic action** . ومن الاليات التي تساعد في تدفق اللمف هي :

1-الحركات التنفسية : يمر اللمف بسرعة اكبر اثناء الحد الاعلى للشهيق والسبب هو هبوط الحجاب الحاجز باتجاه الاسفل اثناء الشهيق فيزداد الضغط في التجويف البطني كلما انخفض الضغط في التجويف الصدري فنتج زيادة انية في ضغط الجزء البطني من القناة الصدرية، بينما يقل في الجزء الصدري من هذه القناة فيتولد عند الشهيق تدرج في ضغط القناة الصدرية جاعلا اللمف يتدفق الى الاعلى ويتناسب معدل التدفق طرديا مع عمق الشهيق . كما يعتمد حجم اللمف الكلي الداخل في الاوردة المركزية اثناء فترة معينة على عمق الشهيق وعلى معدل التنفس الكلي .

3- تقلص العضلات الهيكلية :يسلط هذا التقلص ضغطا على الاوعية اللمفاوية ( اشبه بالتدليك ) دافعا اللمف الى الامام .كما يزداد تدفق اللمف اثناء التمارين الرياضية فيصل من 10 الى 15 ضعفا عما هو عليه اثناء الراحة .

4- يسهم تقلص اجزاء من الاوعية اللمفاوية ذاتها بضخ اللمف من جزء حاو على صمام الى جزء اخر يليه وهكذا .

5- الية النبض الشرياني والتغيرات الوضعية للجسم وانضغاط النسيج الرخوة جميعها عوامل تولد الضغط الذي يعمل على تدفق اللمف .

ومن الاعضاء اللمفاوية الاخرى التي تعد من مكونات الجهاز اللمفاوي في الجسم هي :

**الطحال Spleen** : يقع في الجزء العلوي الايسر من البطن خلف المعدة ليس له علاقة بالجهاز الهضمي انما هو جزء من الجهاز اللمفاوي ويمتلك وظائف متمثلة بالاتي :

- 1- الدفاع او الترشيح : اذ يزيل الاحياء المجهرية من الدم .
- 2- يخزن خلايا الدم البيض ( اللمفاوية ) : اذ يعمل على تكون خلايا دم بيض غير محببة وخلايا البلازما كما يخزن الصفائح الدموية .
- 3- يعمل على تهديم كريات الدم الحمر المتكسرة والصفائح ( الاقراص ) الدموية غير المتكاملة ويمتص الحديد والكلوبين من هيموغلوبين الكريات المحطمة ويعيدهما الى الدم لخرنه في الكبد ونخاع العظم .
- 4- مستودع للدم : تخزن في الجيوب الوريدية للطحال كمية من الدم تبلغ 350 ملي لتر .

جامعة بغداد / كلية التربية للعلوم الصرفة – ابن الهيثم

المرحلة الرابعة شعبة ( أ ) صباحي

اسم المحاضر أ.د. نهلة جاسم محمد الشهاري

قسم علوم الحياة

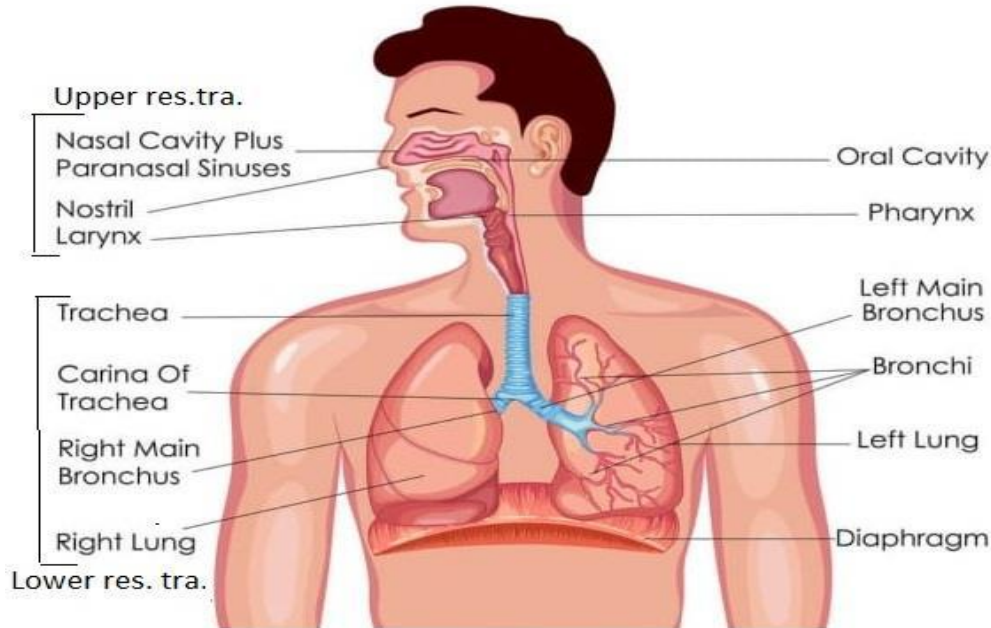
محاضرة النظرى / الجزء الاول / 2022 - 2023

### Physiology of respiratory system فسلجة الجهاز التنفسي

جهاز التنفس : يتكون الجهاز التنفسي من الانف Nose والبلعوم Pharynx والحنجرة Larynx ولسان المزمار Epiglottis والرغامى Trachea والرئتين Lungs وغشاء الجنب Pleura والحجاب الحاجز Diaphragm والعضلات بين الاضلاع Intercostal muscles .

قسمت المصادر جهاز التنفس من الناحية التركيبية الى جزئين كالآتي :

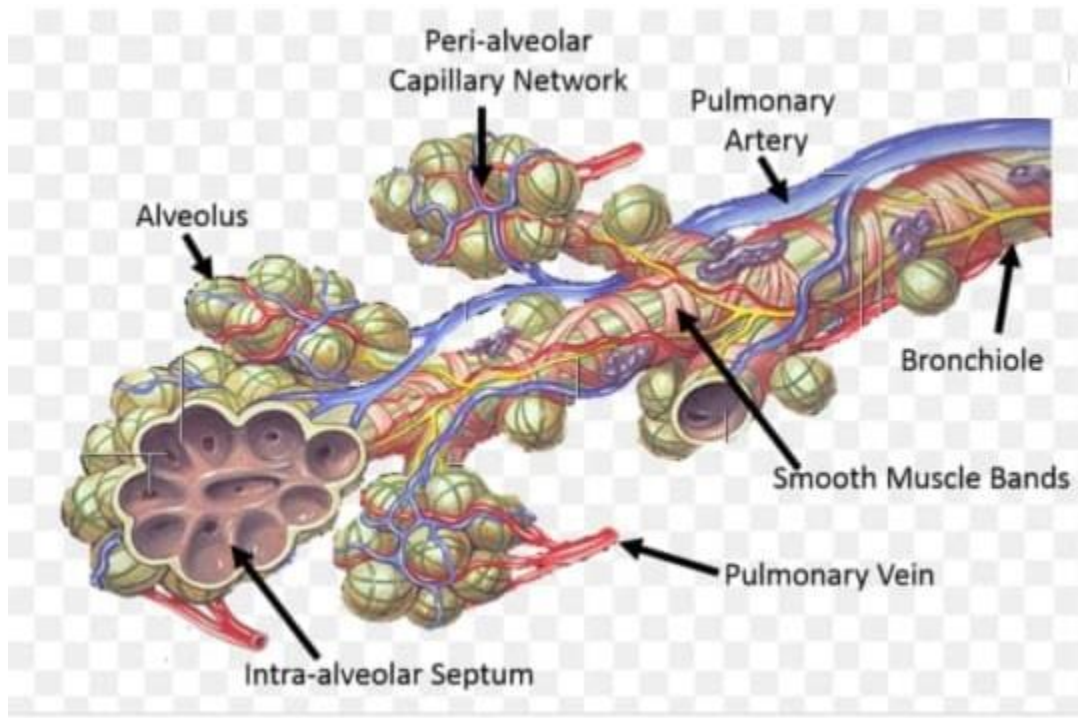
- 1- القناة التنفسية العليا The upper respiratory tract : تشمل كل من الانف والتجويف الانفي Nasal cavity والبلعوم والحنجرة فضلا عن الفم الذي يدخل الهواء عن طريقه ايضا .
- 2- القناة التنفسية السفلى The lower respiratory tract : وتشمل كل من الرغامى والرئتين والقصبات والقصبيات و القنوات السنخية و الاسناخ ( الشكل – 1 ) .



الشكل – 1 : الجهاز التنفسي من الناحية التركيبية ( للاطلاع ) .

كما يقسم الجهاز التنفسي من الناحية الوظيفية على منطقتين كالآتي :

1- منطقة التوصيل **Conducting zone** : هي المنطقة التي لا تشترك مباشرة في عملية التبادل الغازي بل تعد مسلك لدخول وخروج الهواء الى ومن الرئتين . وتشمل كل من الانف ( يسهم بتنقية وتدفئة وترطيب الهواء المار ) والبلعوم (ممر مشترك للطعام والهواء) والحنجرة ( التي تغلق بلسان المزمار عند ابتلاع الطعام ) والرغامى (التي تدعى سابقا بالقصبة الهوائية وهي انبوب مرور الهواء ) التي تتفرع الى قصبتيين اوليتين **Primary bronchi** فتدخل كل واحدة الى رئة **lung** وتتفرع بداخلها الى قصبتيين ثانويتين **Secondary bronchi** التي تتفرع بدورها الى قصبات ثالثة **Tertiary bronchi** والتي تستمر بتفرعها الى فروع اصغر واصغر من الممرات الهوائية حتى تنتهي بفروع يبلغ قطرها 0.5 ملليمتر تدعى القصببات الانتهاية **Terminal bronchioles** التي تمثل نهاية منطقة التوصيل ( الشكل - 2 ) .



الشكل - 2 : الجهاز التنفسي من الناحية الوظيفية ( للاطلاع ) .

2- المنطقة التنفسية **Respiratory zone** : هي المنطقة التي يحصل فيها التبادل الغازي الكائنة في الرئتين ، وتبدأ من القصببات التنفسية **Respiratory bronchioles** ( شعب هوائية تمثل تفرعات القصببات الانتهاية ) التي تتفرع الى قنوات سنخية **Alveolar ducts** مستقيمة تنتهي باكياس سنخية **Alveolar sacs** عنقودية الشكل ( يتكون كل كيس من تجمع الاسناخ **Alveoli** مع بعضها بعض ) ، كما يتصل عدد من الاسناخ بجدار القنوات السنخية ( الشكل - 2 ) .

يطلق على الرغامى مع تفرعاتها المستمرة والعديدة والتي تنتهي بالاكياس السنخية بالشجرة التنفسية Trachea tree المماثلة لنمط تفرع الشجرة المقلوبة (الشكل - 3) .

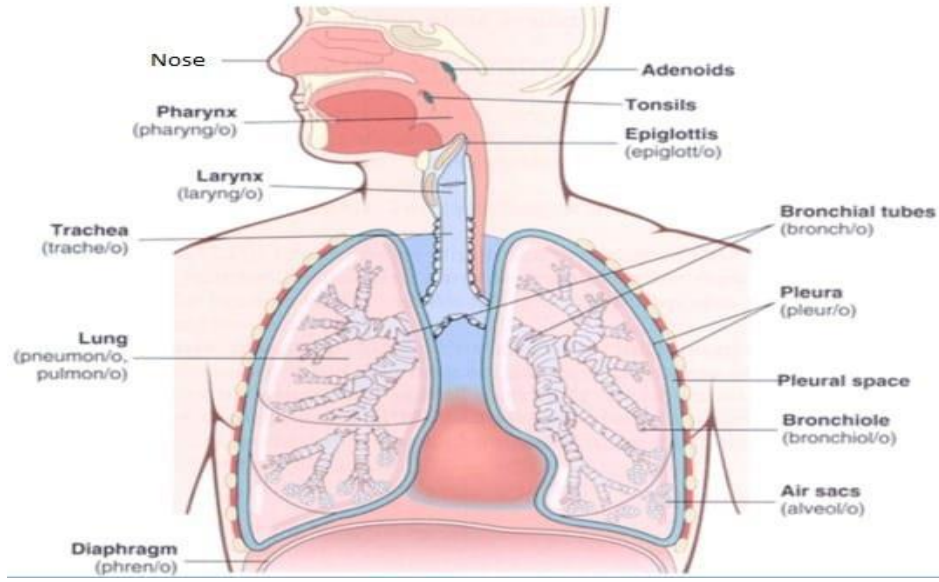


الشكل - 3 : الشجرة التنفسية ( للاطلاع ) .

### الرئتان :

تقع الرئتان اليمنى واليسرى في تجويف القفص الصدري ولكل رئة تجهيزا هوائيا ودمويا خاصا بها ، تكون الرئة اليمنى اكبر حجما اذ تتالف من 3 فصوص ، بينما تتالف الرئة اليسرى من فصين اصغر لوجود القلب في ذات المنطقة ، و الرئتان عضوان اسفنجيان مؤلفان من تشعبات القصبات والاسناخ . تحاط كل رئة بغشاء مصلي رقيق مزدوج رطب لماع يدعى غشاء الجنب Pleura . تدعى طبقة الغشاء المحيطة بالرئتين بالغشاء الاحشائي Visceral pleura ، اما طبقة الغشاء المبطن لجدار القفص الصدري فتدعى بالغشاء الجداري Parietal pleura وتسمى الفسحة الكائنة بين الطبقتين بالتجويف الجنبى pleural cavity وتكون مملوءة بمليترات قليلة من سائل انزلاقي يفرزه غشاء الجنب يدعى سائل الجنب ، والذي يسبب انزلاق الرئة مقللا احتكاكها عند حركتها على مايحيط بها من جدران اثناء التنفس كما يمنع احتكاك الغشائين الجنبيين اثناء عملية الشهيق والتي تتمدد اثنائها الرئتان ( الشكل - 4 ) . قد تلتهب طبقتي غشاء الجنب ويدعى بمرض ذات الجنب pleurisy ومن اعراضه الشعور بالم جنبى اثناء الشهيق . يتولد داخل غشاء الجنب ضغطا يحيط بالرئتين يدعى الضغط الجنبى Pleural pressure الذي يلعب دورا في فسلة التنفس وتكون قيمته سالبة  $-5\text{cmH}_2\text{O}$  اثناء الزفير بينما تبلغ  $-7\text{cmH}_2\text{O}$  اثناء الشهيق .

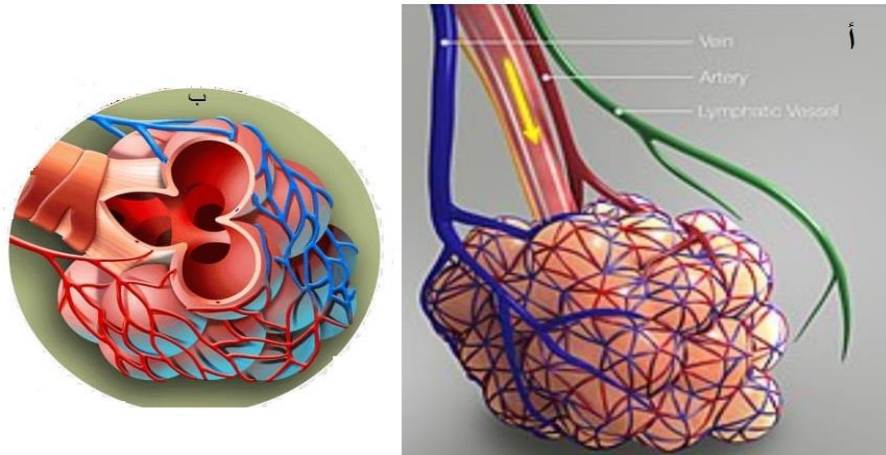




الشكل - 4 : غشاء الجنب ( للاطلاع ) .

### الاسنخ :

الاسنخ تراكيب كروية الشكل (شبيهة بالبالونات Balloon shape) ذات تجاويف صغيرة (قطرها 0.2 - 0.3 ملي متر ) مملوءة بالهواء يبلغ عددها 300 - 700 مليون سنخة في رئتي الانسان معطية القوام الاسفنجي للرئة (الشكل - 5 ) .



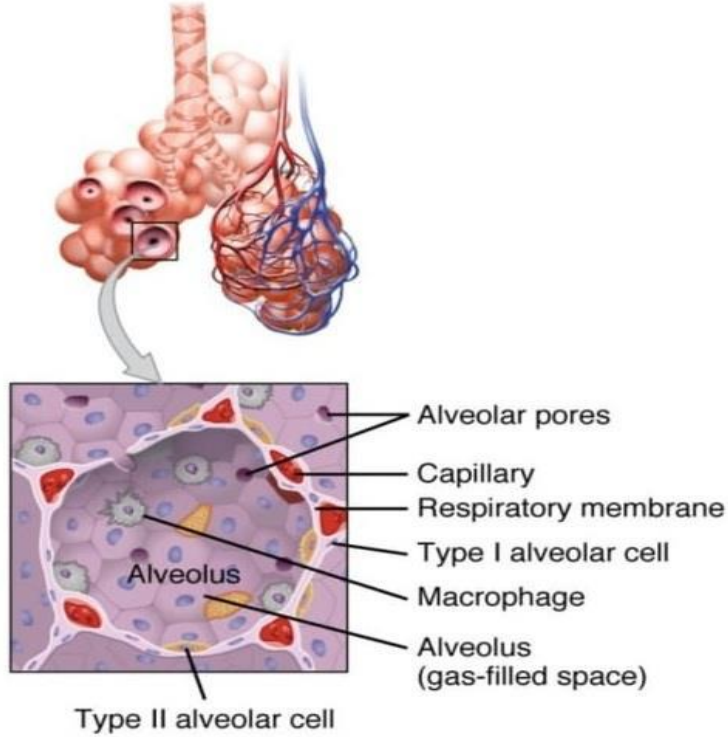
الشكل - 5 : أ (كيس سنخي) ، ب (مقطع في الكيس السنخي) ، ( للاطلاع ) .

تحاط جدران الاسناخ الرقيقة بشبكة غزيرة من الاوعية الشعرية الدموية. تتالف جدران الاسناخ التي تدعى بالظهارة السنخية **Alveolar epithelium** من صف واحد لنوعين من الخلايا الظهارية **Endothelial cells** هما :

**1-الخلايا السنخية النوع الاول Type1 alveolar cells** : عبارة عن خلايا مسطحة مفروشة السائتوبلازم .

**2- الخلايا السنخية النوع الثاني: Type 2 alveolar cells** : وتكون اكثر سمكا من النوع الاول وتفرز مادة مؤلفة من بروتينات فوسفاتية دهنية تدعى السرفاكتنت الرئوي **Pulmonary surfactant** ، تقوم هذه المادة بتنظيم انتفاخ وبقاء القنوات واسناخها مفتوحة فتمنع الاسناخ الصغيرة جدا من الانطباق اثناء الزفير (الشكل - 6) .

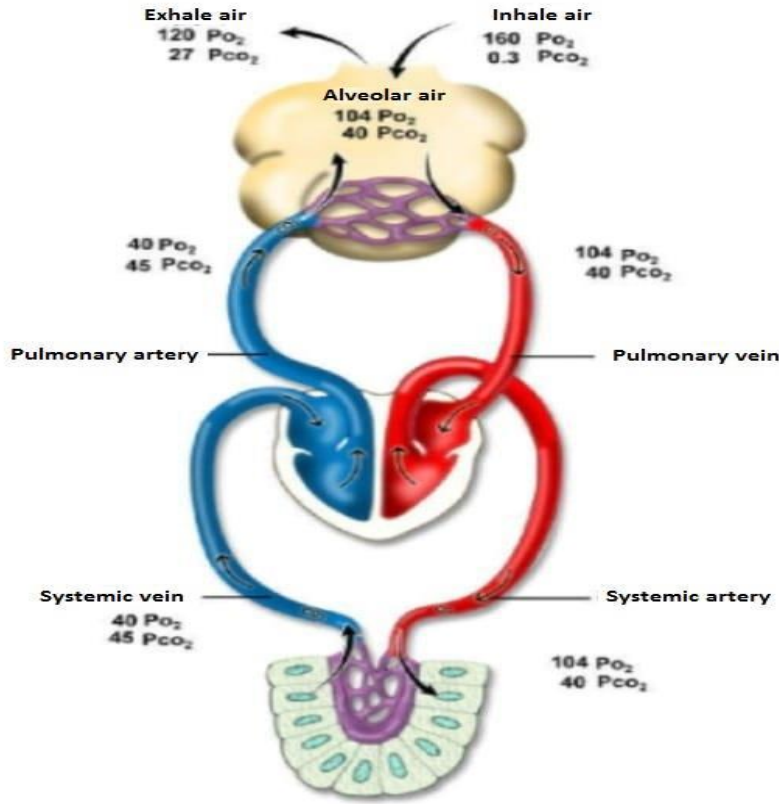
تحتوي الاسناخ على البلاعم **Macrophages** فضلا عن كون جدار السنخة مبطن بطبقة رقيقة من الماء .



الشكل - 6 : تركيب جدار السنخة ( للاطلاع ) .



**التنفس Respiration** : هي عملية تبادل الغازات بين المادة الحية ومحيطها الخارجي وتتضمن ثلاث عمليات رئيسية (الشكل - 7) .



الشكل - 7 : عمليات تبادل الغازات ( للاطلاع ) .

تتمثل عمليات التنفس ( تبادل الغازات ) الثلاث الرئيسية بالاتي :

1- التهوية الرئوية pulmonary ventilation : هي حركة الهواء الى داخل الرئتين وخروجه منها ( الشهيق Inspiration والزفير Expiration ) .

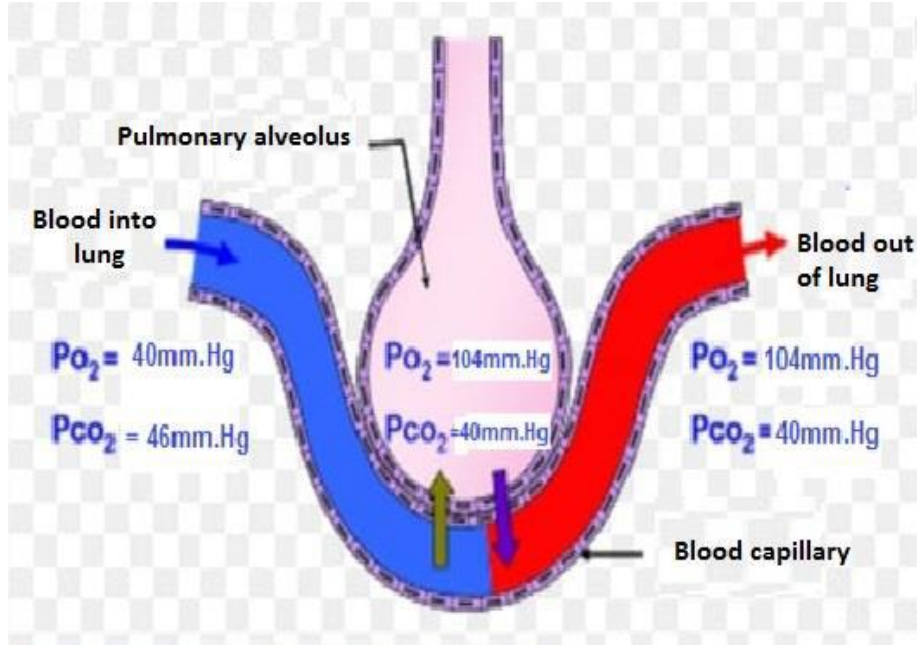
2- التنفس الخارجي ( الرئوي ) External ( pulmonary) respiration : هو تبادل غاز ال  $O_2$  الموجود في الاسناخ الرئوية Alveoli مع غاز ال  $CO_2$  الموجود في الشعيرات الدموية المحيطة بالاسناخ بالية الانتشار ، وتتم عبر الغشاء التنفسي Respiratory membrane الفاصل بين تجويف الاسناخ والدم . يتميز هذا النوع من التبادل الغازي ( الرئوي ) بكونه يحصل بمعدل ثابت ويحدث اثناء الشهيق والزفير ويتم بسرعة كبيرة جدا رغم بقاء قطرة الدم بضع مليثواني في الرئتين .

تعود سرعة التنفس الخارجي ( التبادل الغازي في الرئتين ) الى عدة اسباب هي :

ا- تمتلك الاسناخ مساحة كبيرة جدا تصل  $70 \text{ m}^2$  قياسا بكمية الدم الواردة اليها اذ يرد الاسناخ 60 -  $100 \text{ cm}^3$  من الدم / ثانية .

ب- رقة الغشاء التنفسي الفاصل بين هواء الاسناخ والدم حيث يتم خلالهما التبادل الغازي اذ يبلغ سمكه 0.4 - 0.5 مايكرومتر (مايكرون) .

ج- وجود فرقا في الضغط الجزئي لكل من غازي الاوكسجين وثنائي اوكسيد الكربون على جانبي غشاء التبادل (الشكل - 8) .



الشكل - 8 : الية التبادل الغازي .

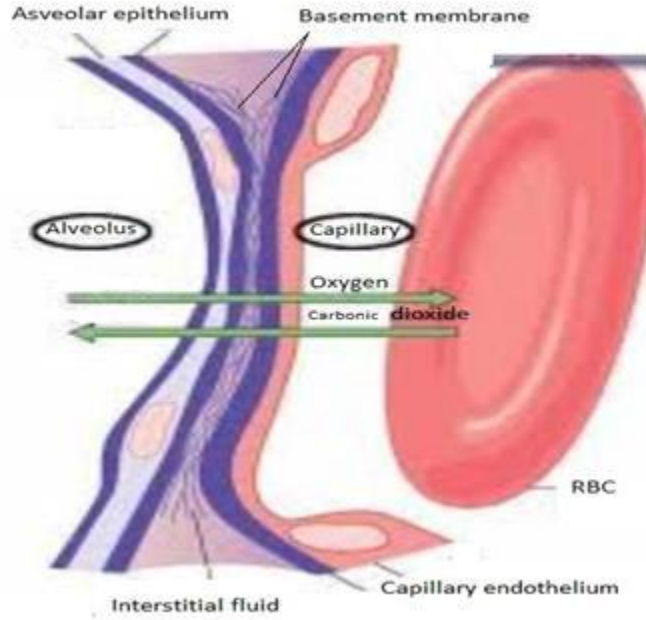
الغشاء التنفسي : يتكون الغشاء التنفسي من الاتي :

ا- جدار السنخ اي الظهارة السنخية Alveolar epithelium .

ب- جدار الشعيرات الدموية اي ظهارة الشعيرات الدموية Blood capillary epithelium المكونة من صف واحد من خلايا ظهارية .

ج- الغشاء القاعدي وهو غشاء مشترك في اماكن عديدة لكلا الجدارين المذكورين .

د- المسافة البينية ( الخلية ) الرقيقة الحاوية على السائل البيني **Interstitial fluid** الواقعة بين جداري السنخ والشعيرة الدموية (الشكل - 9 ) .



الشكل - 9 : الغشاء التنفسي .

3- التنفس الداخلي ( التنفس الخلوي او النسيجي ) ( **Internal ( cellular or tissue ) respiration** . يحصل في جميع نسيج الجسم خلال اسطح اغشية الخلايا المكونة للنسيج ويسمى التنفس الخلوي او التنفس النسيجي ويتضمن عمليتين هما :

أ- تبادل الغازات بين الدم وخلايا الجسم اذ تتم مبادلة غاز ال  $O_2$  الموجود بالدم بغاز ال  $CO_2$  الموجود في الخلايا وتعتمد هذه الخطوة على عدة عوامل هي :

- درجة نشاط النسيج .
- الضغط الجزئي للاوكسجين  $PO_2$  في النسيج .
- كمية الحموض المضافة للدم .

اذن في ضوء ماتقدم نرى ان التبادل الغازي نوعان هما : التبادل الرئوي وكذلك التبادل النسيجي .

ب - عملية الاكسدة الفسيولوجية ( الحرق ) الحاصلة داخل الخلايا وينتج عنها انطلاق الطاقة المستعملة لتمشية الفعاليات الحيوية التي يقوم بها الكائن الحي ( تعد هذه الخطوة هدف التنفس ) وتشمل كل من التحلل السكري ودورة كربس وسلسلة الفسفرة التنفسية (الفسفرة التاكسدية) .

الحجوم التنفسية : تتضمن الحجوم التنفسية عدة انواع بعضها يحصل عند التنفس الهادئ والبعض الاخر يحصل عند التغيير في نمط التنفس ، كما يتم التعرف من خلال هذه الحجوم على السعة الحيوية والسعة الكلية للرئة ( الشكل - 10 ) .

وتتمثل هذه الحجوم بالاتي :

1- الحجم المدي او الموجي **Tidal volume** : كمية الهواء الداخل والخارج الى ومن الرئتين اثناء الشهيق والزفير الاعتيادي وتبلغ  $500 \text{ cm}^3$  .

2- حجم الشهيق الاحتياطي **Inspiratory reserve volume** : هو كمية الهواء الداخل الى الرئتين عند اعمق شهيق وتبلغ  $3300 \text{ cm}^3$  .

3-حجم الزفير الاحتياطي **Expiratory reserve volume** : هو كمية الهواء الخارج من الرئتين عند اعمق زفير وتبلغ  $1000 \text{ cm}^3$  .

4-الحجم الثمالي او المتبقي **Residual volume** : كمية الهواء المتبقية في الاسناخ الرئوية بعد اعمق زفير وتبلغ  $1200 \text{ cm}^3$  .

**Vital capacity** : السعة الحيوية

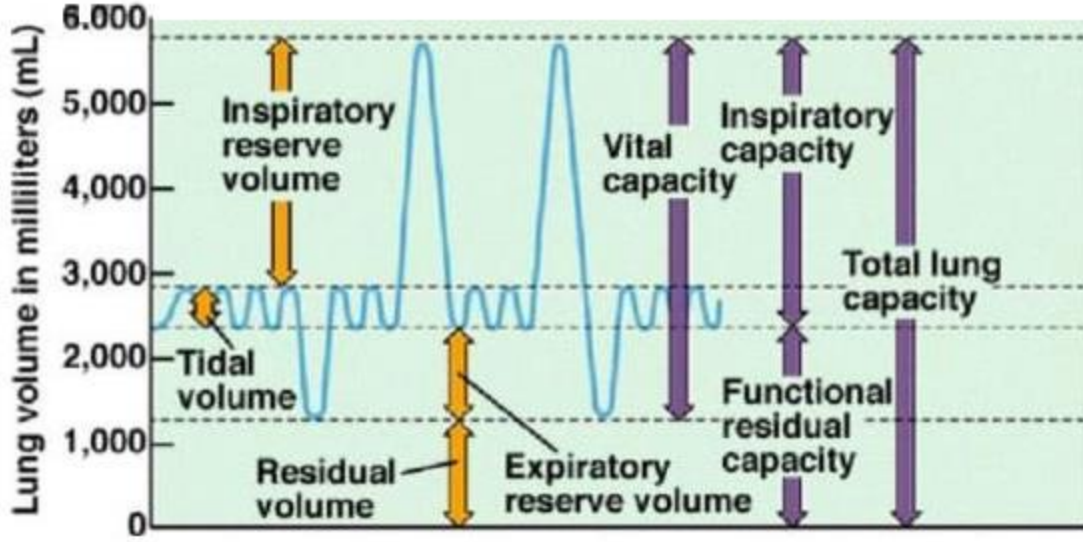
وهي مجموع الحجوم الثلاثة الاولى ( الحجم المدي +الحجم الشهيق الاحتياطي + الحجم الزفيري الاحتياطي) وتبلغ الكمية  $4800 \text{ cm}^3$  .

**Total lung capacity** : السعة الكلية للرئتين

هي مجموع السعة الحيوية والحجم الثمالي ( السعة الحيوية + الحجم الثمالي) وتبلغ حوالي 6 لتر . (جميع الارقام المذكورة هي للذكور و تكون اقل من ذلك عند الاناث اذ تختلف الحجوم بين الذكور والاناث وكذلك بين الافراد) .

**Inspiratory capacity** : هي أقصى حجم من الهواء الذي يمكن استنشاقه بعد الوصول الى نهاية الزفير الهادئ وهي مجموع كل من الحجم المدي والحجم الشهيق الاحتياطي .

**Functional residual capacity** : هي حجم الهواء الموجود في الرئتين عند نهاية الزفير السلبي وتقدر بثلاثة التار .

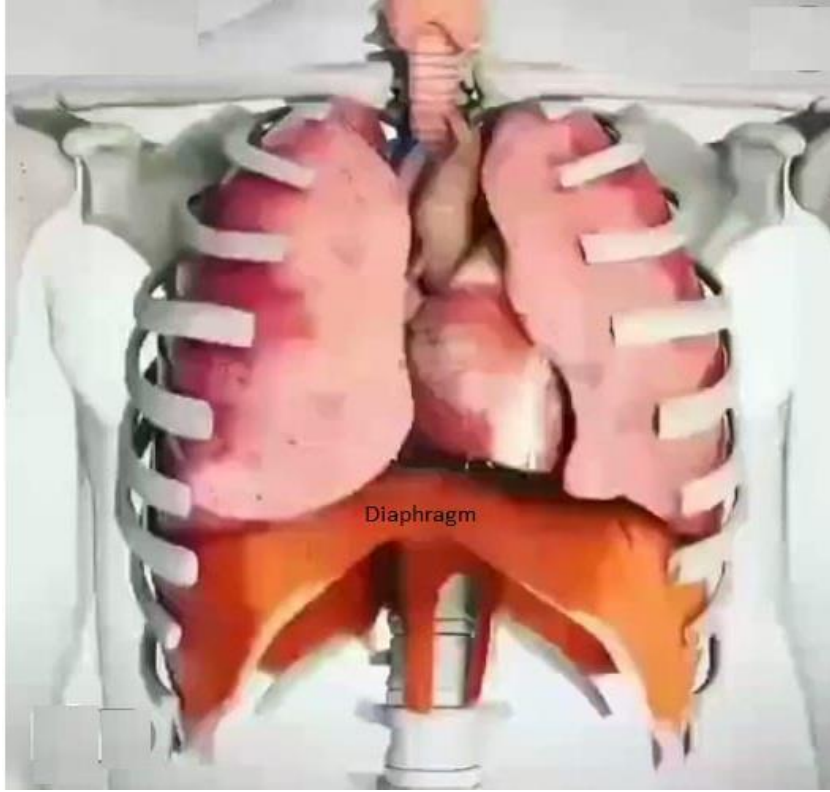


الشكل - 10 : الحجم التنفسي (للاطلاع) .

الحيز الميت Dead space : هو جزء من حجم الهواء المدي الذي لا يشترك في التبادل الغازي والذي يوجد في الانف و الرغامى ( القصبة الهوائية) وباقي الممرات التنفسية ذات الجدران السميكة وتبلغ كميته  $150 \text{ cm}^3$  وهو جزء من الحجم المدي لذا يبلغ حجم الهواء المدي المشترك بالتبادل الغازي  $350 \text{ cm}^3$  .

يتم تجديد هواء الاسناخ ( التهوية الرئوية ) بمعدل يوازي استهلاك ال  $\text{O}_2$  و انتاج ال  $\text{CO}_2$  لبقاء الضغط الجزئي للاوكسجين عال وثابت والضغط الجزئي لثنائي اوكسيد الكربون واطى وثابت في هواء الاسناخ اثناء الراحة او الاجهاد بمختلف مستوياته ، كما يقاس حجم الهواء الداخل الى الرئتين والخارج منها بجهاز خاص بقياس التنفس Respirometer . تتم التهوية الرئوية في الاسناخ بعملية الشهيق Inspiration والزفير Expiration . ان الشهيق عملية ايجابية يتم خلالها بذل جهد من قبل العضلات التنفسية ( الحجاب الحاجز Diaphragm والعضلات بين اضلاع القفص الصدري الخارجية ( الوردية) ) .

دور الحجاب الحاجز في عملية الشهيق: تسهم عضلة الحجاب الحاجز التي تفصل بين التجويفين الصدري والبطني في عملية الشهيق بنسبة 75% . وهي صفيحة عضلية رقيقة عند الارتخاء محدبة للاعلى ( تشبه القبة ) اما اسفل الصفيحة فيكون متصل بالاضلاع السفلى للقفص الصدري ( الشكل - 11 ) .



الشكل - 11 : الحجاب الحاجز Diaphragm ( للاطلاع ) .

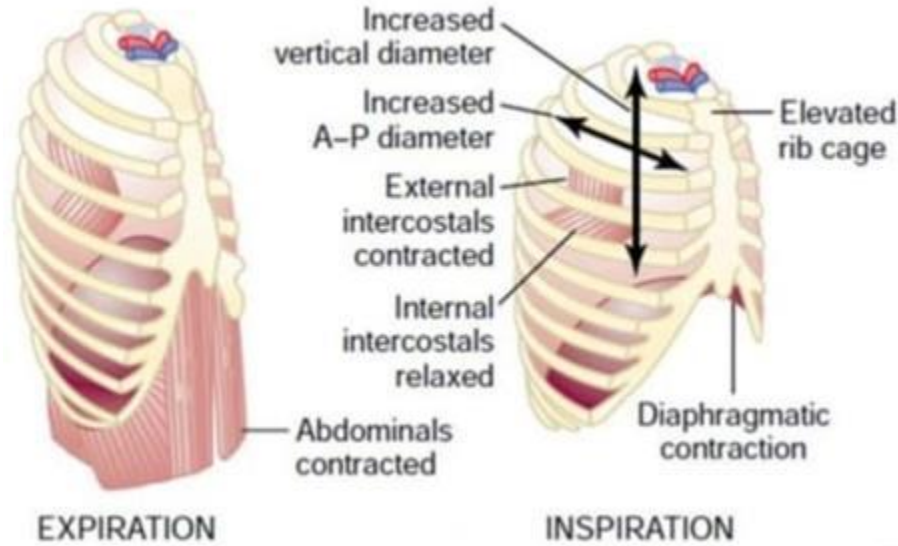
وتتم السيطرة على الصفيحة بوساطة العصبين الحجابيين Phrenic nerves. اثناء تقلص عضلة الحجاب الحاجز يصبح شكلها مستو دافعة بذلك احشاء البطن الى الاسفل والامام مما يؤدي الى زيادة حجم تجويف القفص الصدري طوليا وتخلخل الضغط فيه ، فضلا عن تمدد الرئتان ( لزيادة ضغط البلورا) مما يؤدي الى انخفاض الضغط داخل الرئتين Intrapulmonary pressure ( الضغط داخل الاسناخ Intra-alveolar pressure ) فيتغلب عندئذ ضغط الهواء الخارجي ( الضغط الجوي Atmospheric pressure ) فيدخل الهواء الى الرئتين اي حدوث الشهيق .

لذا يعد الشهيق عملية ايجابية يتم خلالها صرف طاقة بفعل تقلص عضلة الحجاب الحاجز فضلا عن نسبة ضئيلة من تقلص العضلات بين الاضلاع الخارجية External intercostal muscles . اما الزفير فهو عملية سلبية ( يدعى الزفير السلبي Passive exhale ) ليست بحاجة للطاقة و تحدث بعودة تجويف الصدر والرئتين الى حجمهما السوي ، اي بارتخاء الحجاب الحاجز والعضلات الملساء ( الداخلة في تركيب الشعبات الهوائية في الرئتين ) وبالتالي يطرد الهواء من الرئتين الى الخارج سالكا ذات الطريق المتبع لدخوله .



العضلات بين الاضلاع ( الوريية ): تقسم هذه العضلات الى نوعين الخارجية والداخلية و لا تسهم العضلات بين الاضلاع اثناء التنفس الهادىء في احداث الشهيق باستثناء اشتراك العضلات الخارجية بنسبة ضئيلة لاحداث الشهيق كما تقدم ذكره ، الا انها تسهم بدور كبير في احداثه ان دعت الحاجة له اي اثناء عسر التنفس Hyperpnea ) وهو عبارة عن زيادة معدل وقوة التنفس عند زيادة الجهد البدني متمثلا بالتمارين الرياضية او الاعمال الشاقة ( لغرض الحصول على المزيد من الهواء ، اذ لا بد من اخذ نفس اعمق لذا تسهم العضلات بين الاضلاع لزيادة اكثر في حجم القفص الصدري ،

فعند تقلص العضلات بين الاضلاع الخارجية تصبح الاضلاع مستوية بعد ان كانت مائلة الى الاسفل اثناء الراحة مسببة بذلك زيادة في حجم تجويف القفص الصدري ، ويتم تقلص هذه العضلات عبر الاعصاب المزودة للعضلات بين الاضلاع فيتخلخل الضغط داخل القفص الصدري بفعل اتساعه الى الامام والاعلى وتتمدد الرئتان اكثر فيدخل حجم اكبر من الهواء لكون الضغط الخارجي اعلى مما هو عليه داخل الرئتين فيحدث الشهيق العميق .بينما تسهم العضلات بين الاضلاع الداخلية في عملية الزفير القسري ( فضلا عن اشتراك عضلات مساعدة متمثلة بالعضلات البطنية ) اذ تضغط هذه العضلات بقوة اكثر عند الارتخاء فينكمش حجم القفص الصدري وتضغط على الرئتين اكثر فيدفع مزيد من الهواء الى الخارج وبما ان التمدد والانكماش اكثر سيندفع حجم اكبر من الهواء الى ومن الرئتين ( الشكل - 12 ) .



الشكل - 12 : دور الحجاب الحاجز والعضلات بين الاضلاع في التنفس (للاطلاع) .

معدل التنفس : هو عدد حركات التنفس ( الشهيق والزفير ) الهادئ اثناء دقيقة واحدة وتبلغ 12 - 18 حركة تنفسية او 12 - 20 في البالغ . يختلف معدل التنفس باختلاف العمر (40- 70 حركة في حديثي الولادة ) والجنس ( عددها في الاناث اكثر مما هو في الذكور بمقدار 2-4 حركة ) والوضع الفسلجي ( اثناء الاجهاد البدني او الرياضة تصل الى 100 حركة ) .

حجم الدقيقة التنفسية : كمية الهواء الخارجة والداخلة الى الرئتين اثناء دقيقة واحدة ويبلغ 6 لتر .

معدل التهوية السنخية : حجم الهواء المتجدد الكلي الداخل الى الاسناخ في الدقيقة ويبلغ 4200 مل في الدقيقة وهو حاصل ضرب معدل التنفس في الدقيقة ( 12 ) X حجم هواء السنخ المشترك بالتبادل الغازي ( 350 مل ) .

العوامل التي يعتمد عليها تجهيز الاوكسجين الى النسيج:

- 1- كمية الاوكسجين الداخل الى الرئتين .
- 2- الكمية الكافية من الغاز المتبادل .
- 3- كمية الدم القادم الى النسيج .
- 4- كفاءة الدم في حمل الاوكسجين .

العوامل التي تحدد كمية الاوكسجين في الدم:

- 1- كمية الاوكسجين الذائب في الدم .
- 2- كمية الهيموغلوبين في الدم .
- 3- درجة الفة الهيموغلوبين للاوكسجين .

حساب كمية ال O<sub>2</sub> في 100 مل من الدم : تعتمد هذه الكمية على قابلية الهيموكلوبين Hb للاتحاد بالاوكسجين وتحسب كالاتي :

نظرا لاحتواء كل 100مل من الدم على 15 غراما من ال Hb ، و لكون كل غرام منه يرتبط ب1.34مل (1.34 cm<sup>3</sup>) لذا : 15 x 1.34 = 20.1 مل ( ملي لتر ) .

اذا كل 100مل من الدم تنقل 20.1 مل (20.1 cm<sup>3</sup>) من ال O<sub>2</sub> التي تمثل اقصى كمية من الاوكسجين الموجودة في 100مل من الدم اي عندها يكون الدم مشبع بالاوكسجين وتدعى هذه الكمية بالسعة الاوكسجينية Oxygen capacity .

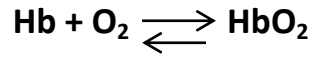


## اشكال او صور غاز الاوكسجين O<sub>2</sub> في الدم :

1- يوجد ال O<sub>2</sub> ذائبا في بلازما الدم بنسبة قليلة جدا تقريبا (0.5- 1 مل ) في كل 100 cm<sup>3</sup> من الدم .

2- يوجد متحد مع الهيموغلوبين بنسبة 97- 99% .

يتمكن الدم من حمل كمية كبيرة من الاوكسجين رغم قابلية هذا الغاز الواطئة جدا على الذوبان في ماء الدم ويعود السبب الى وجود الهيموكلوبين اذ يتحد ال O<sub>2</sub> مع الهيموكلوبين Hb مكونا الهيموكلوبين المؤكسج Oxyhemoglobin ذو اللون الاحمر ويرمز له بال (HbO<sub>2</sub>) وفق المعادلة الاتية :



يتميز الاتحاد بكونه :

1- راجع ( عكوس ) اعتمادا على مقدار الفرق في الضغط الجزئي للاوكسجين Po<sub>2</sub> اذ يكون الضغط الجزئي للاوكسجين عاليا في هواء الاسناخ ومنخفض في الدم الوارد اليها لذا سيكون التفاعل باتجاه اليمين ، بينما يكون التفاعل باتجاه اليسار لكون الضغط الجزئي للاوكسجين واطنا في النسيج النشط .

2-التفاعل سريع في كلا الاتجاهين .

يكتب الهيموكلوبين المؤكسج HbO<sub>2</sub> ذو اللون الاحمر بصيغة اخرى هي Hb<sub>4</sub>O<sub>8</sub> وان سبب ذلك هو تركيب الهيموكلوبين ، بينما يدعى الهيموغلوبين غير المرتبط بالاكسجين Deoxyhemoglobin ويكون ذو لون بنفسجي مزرق .

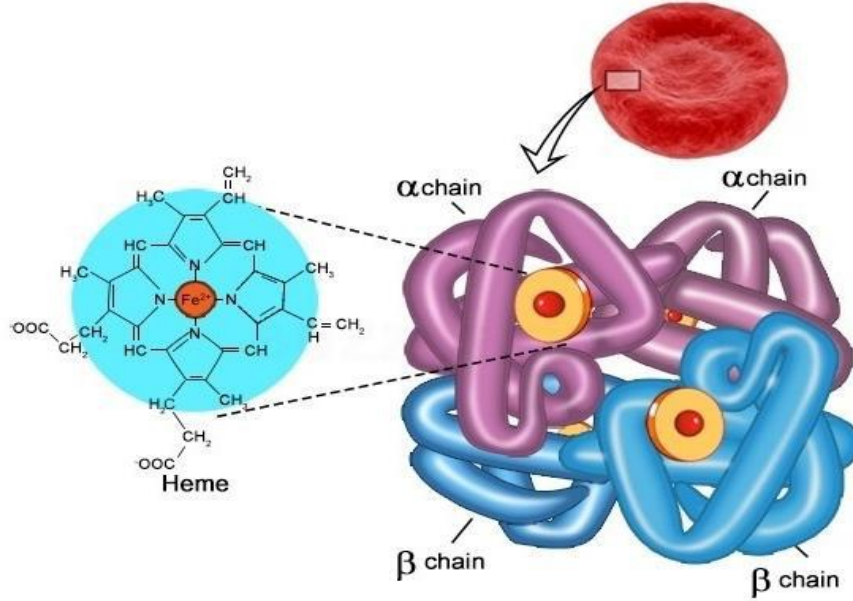
## جزيئة الهيموغلوبين :

تتألف جزيئة الهيموكلوبين من اربع وحدات ثانوية . ويكون تركيب كل وحدة ثانوية منها كالاتي :

ا- جزء بروتيني يدعى الكلوبين Globin وهو عبارة عن اربع سلاسل بولي ببتيدية ( اثنتان من نوع الفا واثنتان من نوع بيتا ) .

ب- جزء غير بروتيني متمثل باربع مجاميع هيم Heme وتحاط كل مجموعة من الهيم بسلسلة واحدة من الكلوبين .

**تركيب الهيم** : الهيم مركب معقد يشبه الحلقة و يتكون من مركب عضوي يدعى البورفيرين البدائي Protoporphyrin وكذلك من ذرة حديد ثنائية التكافؤ ( حديدوز ) تقع في وسط الحلقة . اما تركيب البورفيرين البدائي فهو اربع حلقات خماسية ( بايرون ) وتتكون الحلقة الواحدة من ذرة نيتروجين واحدة واربع ذرات كاربون ويرتبط البورفيرين البدائي مع الحديدوز بواسطة ذرات النيتروجين . كما ترتبط الحلقات الخماسية مع بعضها بجسور مثيلينية (  $-CH=$  )، (الشكل - 13) .



الشكل - 13 : جزيئة الهيموكلوبين ( للاطلاع ) .

يدعى اتحاد الاوكسجين بالهيموغلوبين بعملية اكسجة وليس اكسدة لبقاء تكافؤ الحديد ثنائي بهينة حديدوز ولا يتغير الى التكافؤ الثلاثي (حديديك) . يعمل الهيموغلوبين على الارتباط بكل من غاز ال  $O_2$  وال  $CO_2$  لحصول التبادل الغازي .

جامعة بغداد / كلية التربية للعلوم الصرفة – ابن الهيثم

المرحلة الرابعة شعبة ( أ ) صباحي

قسم علوم الحياة

اسم المحاضر أ.د. نهلة جاسم محمد الشاهري

### محاضرة النظرى / الجزء الثانى / 2022 - 2023

#### فسلجة الجهاز التنفسى Physiology of respiratory system

##### القوانين المتعلقة بنقل الغازات:

لا تستعمل النسبة المئوية للتعبير عن الكمية او الوفرة او المقدار لاي غاز بل يعبر عن ذلك بمصطلح الضغط الجزئي Partial pressure للغاز ويرمز له بالحرف P مضافا له اسم الغاز كالاتي :

- يشير الرمز  $P_{O_2}$  الى الضغط الجزئي لغاز الاوكسجين .

- يشير الرمز  $P_{CO_2}$  الى الضغط الجزئي لغاز ثنائي اوكسيد الكربون ، وهكذا بالنسبة للغازات الاخرى.

كما ان الضغط الجزئي لاي غاز هو عبارة عن حاصل ضرب النسبة المئوية للغاز  $X$  الضغط الجوي .

يعتمد تبادل الغازات بين وسطين على الفرق في الضغط الجزئي للغازات الموجودة فيهما اذ يعد القوة الدافعة لانتشار الغازات كما هو حاصل اثناء التبادل الغازي في عملية التنفس .

يتضح مفهوم الضغط الجزئي للغاز من قانونين متعلقين بالغازات هما :

1- قانون هنري: تتناسب كمية الغاز المذاب في محلول ( عند درجة حرارة ثابتة ) مع الضغط الجزئي للغاز الحر فوق المحلول . اي ان الضغط الجزئي للغاز يحدد مقدار ذوبانه في المحلول المعرض له . لذا تعتمد كمية الغاز المذاب على الضغط الجزئي للغاز .

كما ان حجم ( كمية ) الغاز = حجم المحلول  $X$  الضغط الجزئي للغاز  $X$  معامل الذوبان .

تعد درجة الحرارة عاملا اخر يؤثر على حجم الغاز في الوسط ( المحلول ) اضافة للعاملين المتمثلين بالضغط الجزئي ومعامل الذوبان فعند ارتفاع درجة الحرارة تنخفض قابلية ذوبان الغاز في الوسط مما يؤدي الى انخفاض حجم او كمية الغاز المذاب في المحلول .

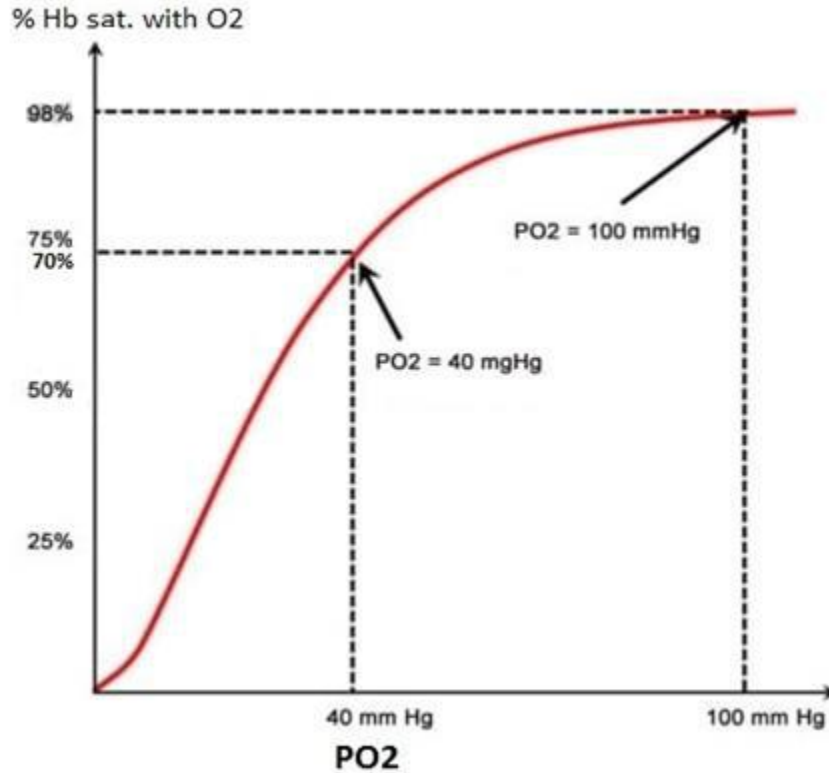
2- قانون دالتون: ينص على ان مقدار الضغط الكلي لخليط من الغازات في حيز ( وعاء ) = مجموع الضغوط الجزئية لكل غاز من الغازات المكونة للخليط اذ يسלט كل غاز منهم ضغطه الخاص به على انفراد وكماته يشغل الحيز لمفرده .

تبلغ قيمة الضغط الجوي 760 ملم ز. (mmHg) وهو حاصل جمع الضغوط الجزئية للغازات المكونة للهواء الجوي .

$$\text{اذ ان الضغط الجوي (760 ملم ز.)} = P_{N_2} (597 \text{ ملم ز.}) + P_{O_2} (159 \text{ ملم ز.}) + P_{CO_2} (0.3 \text{ ملم ز.}) + P_{H_2O} (3.7 \text{ ملم ز.}) .$$

منحنى افتراق او تفكك او تحلل الاوكسجيني Oxygen dissociation curve: هو علاقة بين الضغط الجزئي لغاز الاوكسجين ونسبة تشبع Saturation الهيموكلوبين بذلك الغاز . يلاحظ ان العلاقة طردية لكنها ليست خطية وانما بشكل حرف S .

يلاحظ ان الدم الخارج من الرئتين عند  $P_{O_2}$  مساويا ل 100 ملليمتر زئبق يكون الهيموكلوبين فيه مشبع بالاوكسجين بنسبة 98% ، وعند هذه النسبة تساوي كمية الاوكسجين في كل 100 مل من الدم 20 مل ، واثناء ذهابه الى النسيج تبقى نسبة التشبع عالية اذ تصل الى 70% حتى لو انخفض الضغط الجزئي الى 40 ملم ز. وعند ترك الدم للنسيج لا يفقد الدم سوى 5 مل من الاوكسجين يكون قد منحها للنسيج ( اي كل 100 مل من الدم الوريدي حاوية على 15 مل من الاوكسجين ) ، ( الشكل - 1 ) .

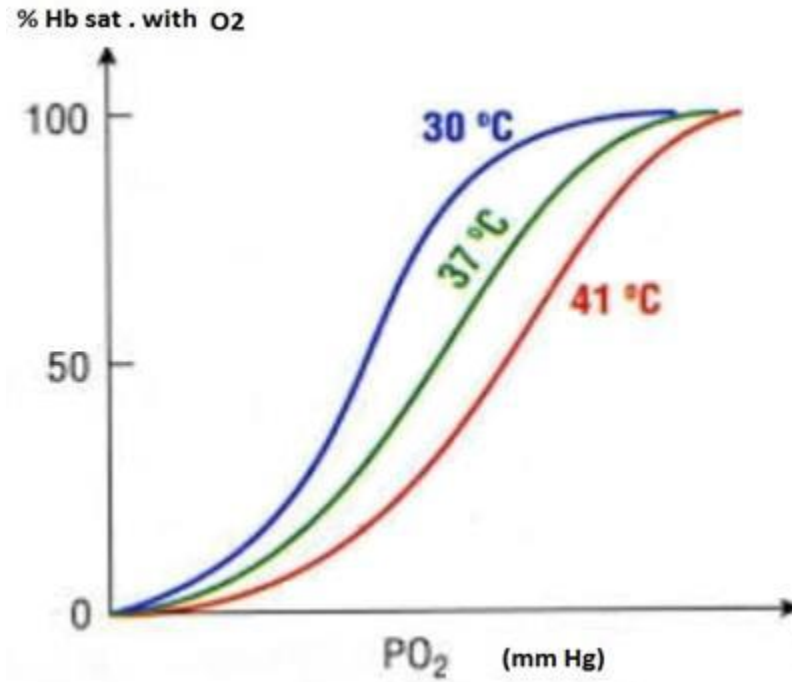


الشكل - 1 : منحنى الافتراق الاوكسجيني .

## العوامل المؤثرة على قابلية الدم لنقل الاوكسجين وتدعى بتاثير بور Bohr effect :

يتضمن تاثير بور ثلاثة عوامل متمثلة بالحرارة و  $P_{CO_2}$  و  $P^H$  ( الباء هاء ) ، اما الاهمية الوظيفية لتاثير بور فهو يساعد في الرنتين على اتحاد الاوكسجين بالهيموكلوبين ، كما يساعد على تحلل الاوكسي هيموكلوبين  $HbO_2$  الى  $Hb$  و  $O_2$  بسهولة في النسيج .

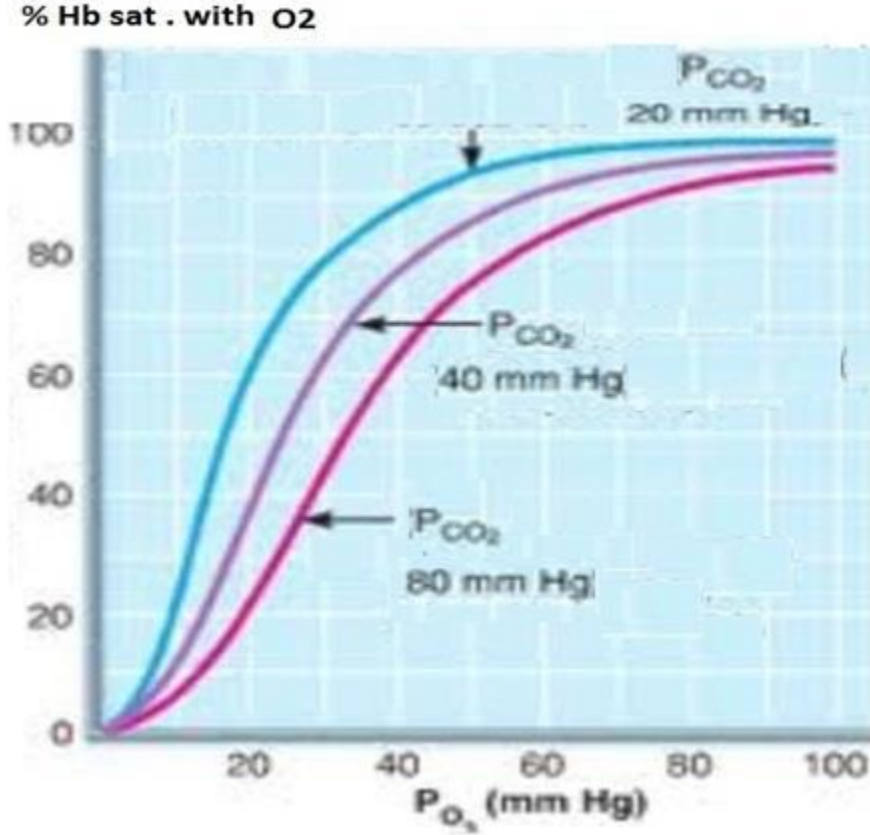
1- الحرارة : ان ارتفاع درجة حرارة النسيج قليلا ( اثناء قيام النسيج بفعالية عالية ) تقلل من قابلية اتحاد الاوكسجين بالهيموكلوبين مما يساعد في تحلل الاوكسي هيموكلوبين وبالتالي يتزود النسيج بكمية اضافية من الاوكسجين في حين تزداد قابلية الاتحاد بينهما عند برودة النسيج لذا فان تحرر الاوكسجين من الهيموكلوبين غير كافي لاحتياجات الخلايا فيموت النسيج اختناقا . وهذا معبر عنه بالمنحنى الذي يمثل نسبة تشبع الهيموكلوبين بالاكسجين اذ يتحرك المنحنى باتجاه اليمين او الى الاسفل بارتفاع درجة الحرارة عن 37 سليزية ، في حين بانخفاض درجة الحرارة عن 37 سليزية يتحرك المنحنى باتجاه اليسار او الى الاعلى ( الشكل - 2 ) .



الشكل - 2 : تاثير الحرارة على منحنى الافتراق الاوكسجيني .

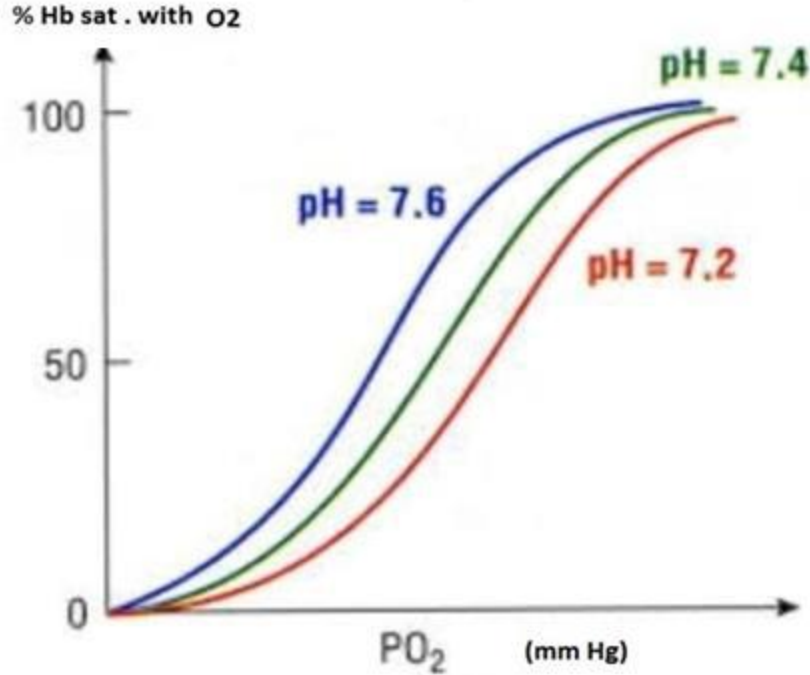
2-  $P_{CO_2}$  : تتاثر قابلية ارتباط الهيموكلوبين بالاكسجين بكمية  $CO_2$  الموجودة في الدم اي بالضغط الجزئي لثنائي اوكسيد الكربون  $P_{CO_2}$  ، فوجود كمية كبيرة من ال  $CO_2$  يقلل من قابلية ارتباط الهيموكلوبين بالاكسجين لذا يلاحظ تحرك المنحنى باتجاه اليمين اي الى الاسفل وبالتالي يتزود

النسيج بالاكسجين كما يحصل في النسيج ذو الفعالية العالية. اما عند انخفاض الـ  $P_{CO_2}$  فان قابلية ارتباط الهيموغلوبين بالاكسجين تزداد لذا يلاحظ تحرك المنحنى باتجاه اليسار اوالى الاعلى ( الشكل - 3 ) .



الشكل - 3 : تأثير  $PCO_2$  على منحنى الافتراق الاوكسجيني .

3- الباء هاء  $p^H$  ( الاس الهيدروجيني ) : تتأثر قابلية ارتباط الهيموكلوبين بالاكسجين بالانخفاض الحاصل في  $p^H$  الدم ( ارتفاع حموضة الدم ) مما يقلل من قابلية ارتباط الهيموكلوبين بالاكسجين (اي حصول تفكك الـ Hb عن الـ  $O_2$  مما يوفر الاوكسجين للنسج ذات الفعالية العالية ) ، بمعنى ان المنحنى سيتحرك باتجاه اليمين اي الى الاسفل ، بينما يؤدي ارتفاع  $p^H$  الدم ( انخفاض حموضة الدم اي زيادة قلويته ) الى تحرك المنحنى الى اليسار او الاعلى مما يوشر زيادة الارتباط بين الهيموكلوبين والاكسجين ( الشكل - 4 ) .



الشكل - 4 : تأثير pH على منحنى الافتراق الاوكسيجيني .

نقل ( اشكال ) غاز ثنائي اوكسيد الكربون في الدم : ينتقل غاز CO<sub>2</sub> في الدم بعدة طرائق كالآتي :

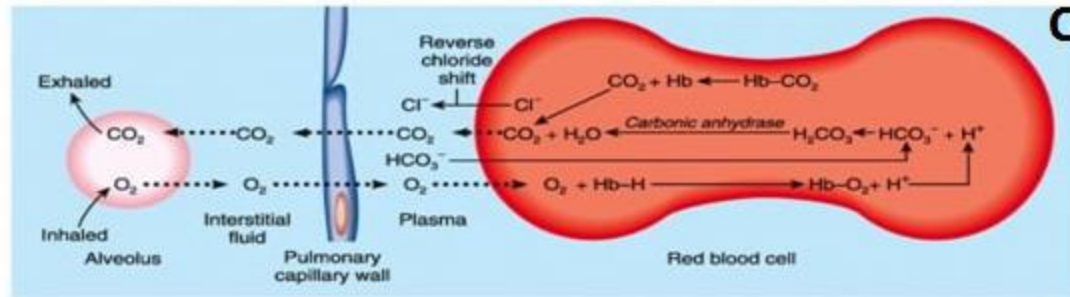
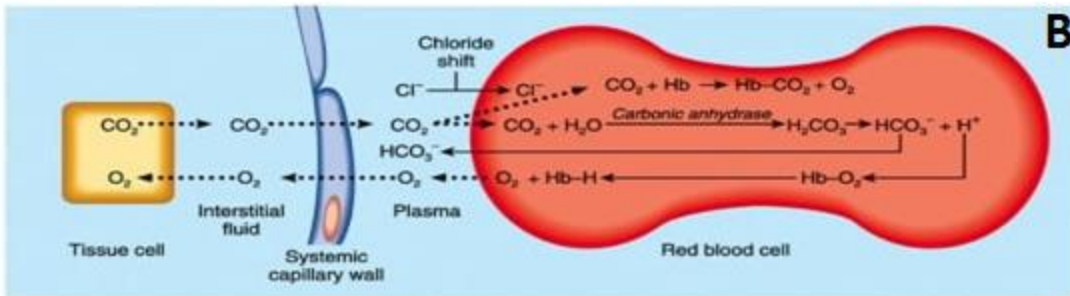
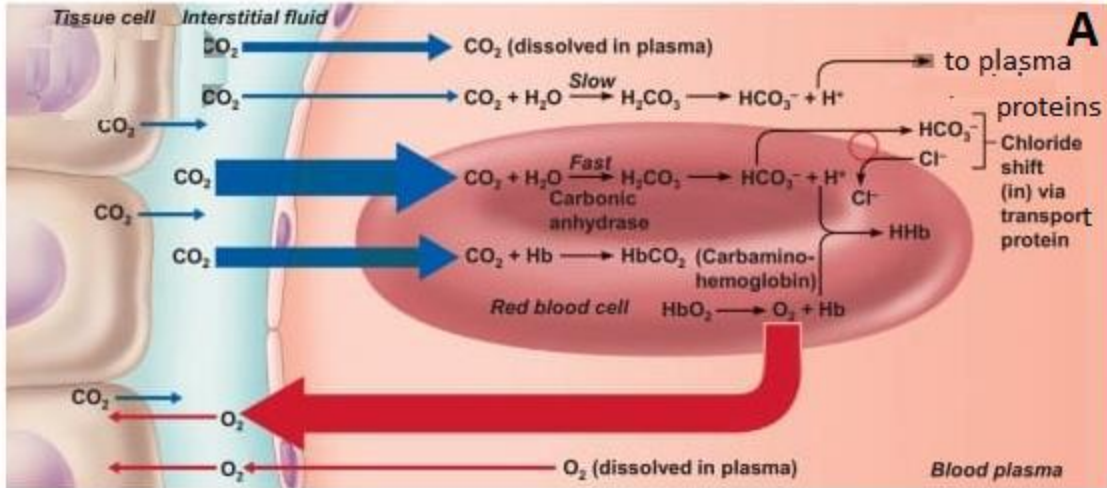
- 1- يكون ال CO<sub>2</sub> حرا (غاز ذائب) في بلازما الدم بنسبة 5% . اذ يمتلك قابلية ذوبان في الدم الوريدي او الشرياني اكثر من الاوكسجين بحوالي 20 مرة . كما يتميز الCO<sub>2</sub> بكونه اسرع انتشارا من غاز ال O<sub>2</sub> خلال الاغشية الخلوية .
- 2- متحد مع ماء البلازما بنسبة 7% او 10% وان سبب هذه النسبة الواطئة هو انعدام وجود انزيم Carbonic anhydrase الذي يساعد على هذا التفاعل في البلازما .
- 3- متحد مع الهيموغلوبين بنسبة 30% او 23% ومع بروتينات الدم الاخرى في البلازما اذ يتحد مع مجموعة الامين NH<sub>2</sub> الداخلة في تركيبهم فيتكون مركب كاربامينوبروتين . يدعى الCO<sub>2</sub> المتحد مع Hb بكاربامينوهيموغلوبين Carbaminohemoglobin الذي يتميز بكونه غير قابل للتبادل السريع كما يعد التفاعل بين الCO<sub>2</sub> والبروتينات من التفاعلات البطيئة في كلا الاتجاهين . وهكذا بالنسبة لمركبات الكاربامينوبروتين الاخرى اذ تتميز ببطء التفاعلات وللاتجاهين .
- 4- ينقل او يوجد ال CO<sub>2</sub> في الدم بهيئة بيكاربونات الصوديوم NaHCO<sub>3</sub> بنسبة 60% او 70% و تمثل هذه الهيئة اعلى نسبة ينقل بها في الدم ، اذ يتحد CO<sub>2</sub> مع الماء في داخل الكريات الحمر مكونا حمض الكربونيك H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> وذلك لوجود انزيم Carbonic anhydrase . سرعان ماتتفكك جزيئات حمض H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> الى ايونات الهيدروجين H<sup>+</sup> التي سترتبط بالهيموكلوبين وايونات البيكاربونات HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> التي تنتقل الى البلازما متحدة مع ايونات الصوديوم Na<sup>+</sup> مكونا بيكاربونات الصوديوم . بسبب خروج ايون البيكاربونات السالب من الكرية يدخل عوضا عنه ايون الكلور السالب

$Cl^-$  من البلازما الى داخل الكرية للحفاظ على التوازن الايوني للكربية . يحصل العكس بوصول الدم الى الرنتين فيخرج ايون الكلور السالب من الكرية عائدا الى البلازما ويعود ايون البيكاربونات السالب الى الكرية حيث يتفكك الى  $CO_2$  وماء ، ثم يخرج غاز  $CO_2$  الى البلازما ويغادر خلال الغشاء السنخي الى تجاويف الاسناخ الرئوية . بالرغم من اختلاف نسب اشكال ال  $CO_2$  التي ينتقل بها في الدم وفقا لما اشارت اليه المصادر الا ان جميعها تشير الى كون البيكاربونات هي اعلى نسبة ينتقل بها هذا الغاز . وان انتقال ال  $CO_2$  بعد ذوبانه في بلازما الدم تمثل اقل نسبة ( الشكل- 5 A ) .

5- ذائب في سايتوبلازم الكرية الحمراء بنسبة 5% كما جاء في المصادر السابقة .

انحراف الكلورايد Chloride shift : ان انحراف الكلورايد هو حركة ايونات الكلور السالب ( الكلورايد ) الى داخل الكريات الحمر وخروج ايونات البيكاربونات السالبة منها عندما يمر الدم في النسيج ثم انعكاس عملية الحركة للتوعين من الايونات عند وصول الدم الى الرنتين ( الشكل - 5 B و C ) . يحمل الدم الذي يصل الى الرنتين 35 مل من  $CO_2$  لكل 100مل من الدم ، بينما يبلغ 49 مل لكل 100مل من الدم عند خروجه منها ، لذا فان الحجم المفقود من هذا الغاز يبلغ 4 مل لكل 100 مل من الدم المار في الرنتين وهو يمثل حجم الغاز المكتسب لكل 100 مل من الدم عند مروره في النسيج .





الشكل - 5 : A - اشكال انتقال ال  $\text{CO}_2$  في الدم .

B و C - انحراف الكلورايد عند مرور الدم في النسيج والرتنين

على التتابع ( للاطلاع ) .

## التنفس الخلوي Cellular respiration ( العملية الثالثة من عملية التنفس ) :

يتميز الكائن الحي بحاجته الدائمة الى الطاقة لتمشيته فعالياته الحيوية ،حتى وان لم تكن ظاهرة وبخلاف ذلك يعني موت الكائن الحي . يعد الكلوكوز (وهو احد نواتج هضم الطعام ) المصدر النهائي المستعمل في انتاج الطاقة عبر سلسلة من التفاعلات المتكررة يطلق عليها المسارات الايضية Metabolic pathways ، التي تتم بوجود عدد من الانزيمات النوعية . يوجد في الخلية المنات من تلك التفاعلات ( المسارات الايضية ) سواء اكانت تفاعلات تسهم في هدم او بناء المكونات الخلوية الجديدة . ان هدم ( تقويض ) جزيئة كلوكوز ( سكر العنب ) واحدة يتطلب ثلاثة مسارات ايضية متميزة ومتداخلة وهي :

1- التحلل السكري Glycolysis

2- دورة كربس Krebs cycle

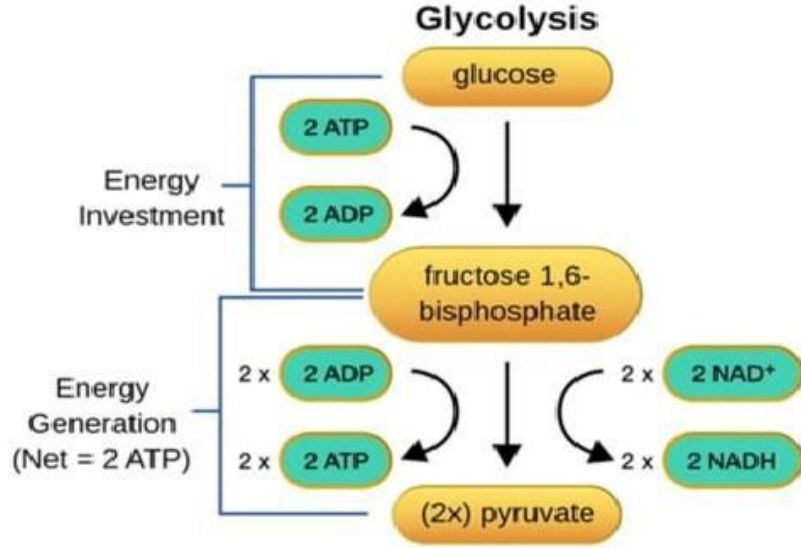
3- الفسفرة التاكسدية Oxidative phosphorylation او سلسلة الفسفرة التنفسية.

اولا : التحلل السكري ( مسار امبدن - مايرهوف ) : شخص العالمان جميع المركبات الوسطية الناتجة خلال هذا المسار عام 1930 . يشمل المسار 10 خطوات تفاعلية محفزة بوساطة 10 انزيمات. تستهلك خلال هذا المسار تحديدا في الخطوات الثلاث الاولى جزيئتان من مركب ATP ، اذ تعمل المجاميع الفوسفاتية المشتقة من المركب المذكور على تفكيك قيد الالكترونات في الجزيئات العضوية وتحويلها من الحالة الخاملة الى الحالة الفعالة . اما عن نواتج هذا المسار فهي :

1- جزيئتان من حمض البيروفيك ( بيروفيت في الحالة الايونية ) .

2- اربع جزيئات من مركب الATP اثنتان عوضت عن الجزيئتان التي صرفت خلال هذا المسار .

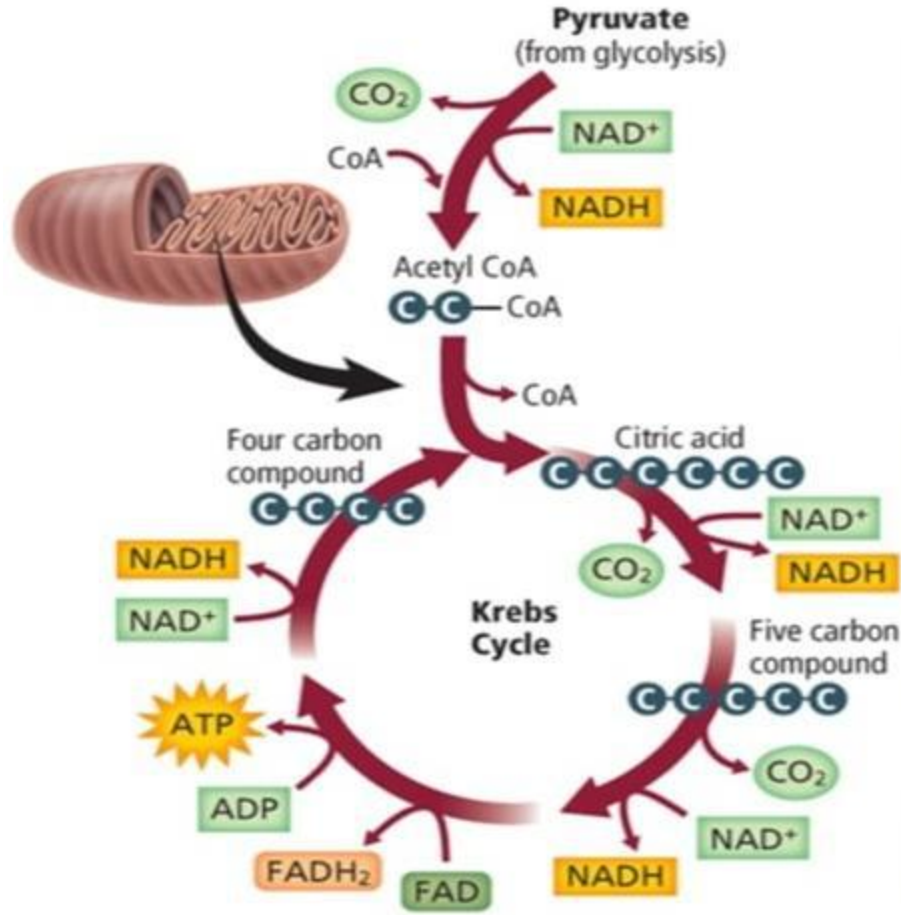
تجرى خطوات هذا المسار في الساييتوبلازم لان الانزيمات الخاصة بتفاعلاته موجودة فيه . في الظروف اللاهوائية اي عند انخفاض الضغط الجزئي للاوكسجين اثناء القيام بالاعمال الشاقة او ممارسة الرياضة العنيفة فان ناتج تفاعلات هذا المسار هو اختزال حمض البيروفيك الى حمض اللاكتيك ( اللبنيك) . ان تراكم هذا الحمض في العضلات يؤدي الى تورمها والشعور بالحم فيها عندئذ تمر العضلات بما يدعى العجز الاوكسجيني Oxygen debt مما ينبه كل من جهازي الدوران والتنفس للتغلب على هذا العجز ، اذ تزداد سرعة النبض وضخ قلبي عال وتزداد سرعة وعمق التنفس . وينقل حمض اللبنيك من العضلات الى الكبد ليتحول في خلاياه الى حمض البيروفيك الذي يستعمل في بناء الكلوكوز الذي يخزن بالكبد بهيئة كلايكوجين ( الشكل - 6 ) .



الشكل - 6 : التحلل السكري ( للاطلاع ) .

ثانيا : دورة كربس : يدخل ناتج المسار الاول ( حمض البيروفيك ) بوجود الاوكسجين في تفاعلات هذا المسار ( دورة كربس ) اذ يرتبط مع مركب Co- enzyme لتكوين مركب الاستيل كو -A ، الذي يدخل في سلسلة تفاعلات دورة كربس و التي تنتقل خلالها ذرات الهيدروجين والكتروناتها الى مساعد الانزيم NAD فينتج مساعد الانزيم المختزل NADH . اما عن نواتج هذا المسار ولجزئية سكر واحدة فهي :

- 1- ثمان ذرات هيدروجين .
- 2- اربع جزيئات CO<sub>2</sub> .
- 3- جزيئتان من الATP ( الشكل - 7 ) .



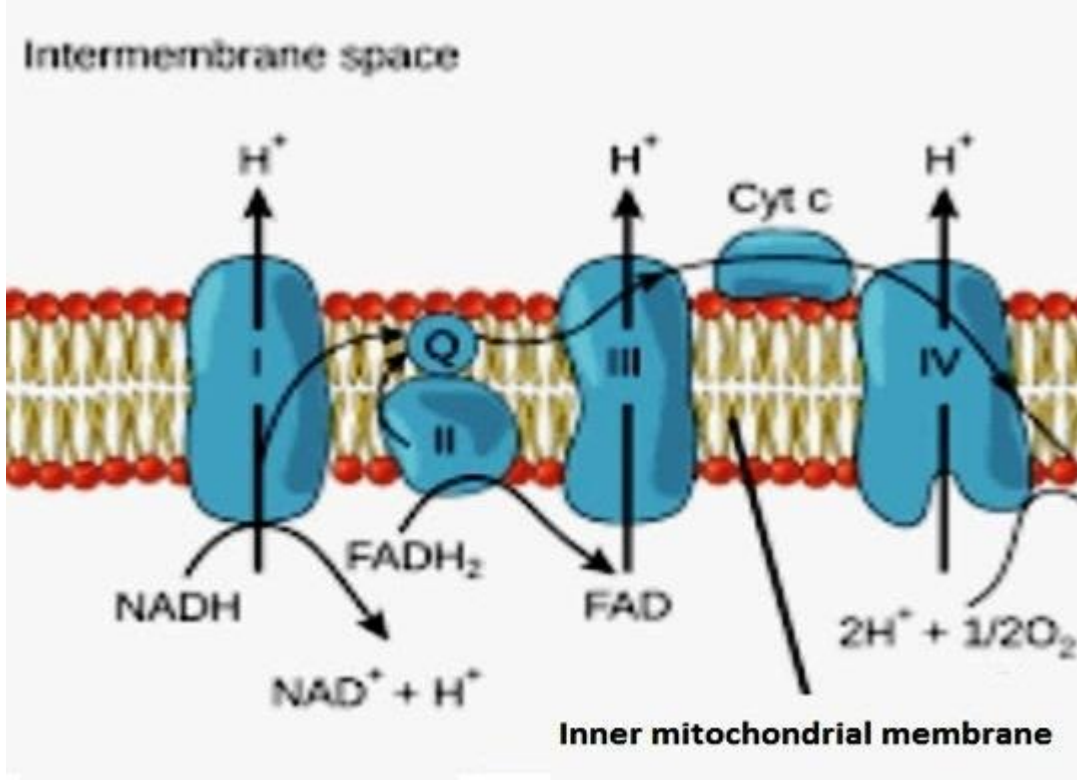
الشكل - 7 : دورة كربس ( للاطلاع ) .

ثالثا : الفسفرة التأكسدية وسلسلة الفسفرة التنفسية : يتضمن هذا المسار نوعان مستقلان من التفاعلات هما :

- 1- انتقال الإلكترون
- 2- الفسفرة

تمر ذرات الهيدروجين الناتجة من تفاعلات دورة كربس من حامل او ناقل ( سايتوكروم وهو بروتين يحوي حديد ) الى اخر . لذا سيتناوب بين الحالة الاختزالية والتأكسدية . في حين يكون الاوكسجين اخر مستلم للإلكترون والذي يختزل مكونا ماء . لذا توجد حاجة الى توفر الاوكسجين خلال هذا المسار ( التنفس هوائي ) . بانتقال الإلكترون سيفقد قسم من طاقته لتحويل جزيئات ال ADP الى ATP وبذلك تبني مركبات الطاقة . ان ناتج هذا المسار هو 34 جزيئة ATP ( الشكل - 8 ) .

استنادا لذلك فان اكسدة (حرق) جزيئة كلوكوز واحدة ينتج عنه 34 جزيئة ATP من الفسفرة التاكسدية فضلا عن 2 جزيئة ATP من دورة كريس و2 جزيئة من مسار التحلل السكري فالمجموع يكون 38 جزيئة.



الشكل - 8 : الفسفرة التاكسدية ( للاطلاع ) .

### تنظيم التنفس :

تتميز الحركات التنفسية الاعتيادية التي تحصل بشكل دوري منظم بمعدل 12-18 مرة في الدقيقة بكونها لا ارادية وتتكيف من حيث المعدل والعمق تبعا لحاجة الجسم فيبقى الضغط الجزئي للاوكسجين في هواء الاسناخ الرئوية 100 ملم . ز تقريبا خلال الاجهاد او الراحة ، اذ تنظم الحركات التنفسية بنوعين من التنظيم هما :

1- السيطرة العصبية Neural control : تتم السيطرة العصبية على عملية التنفس اللارادية من خلال المركز التنفسي Respiratory center الواقع في جذع الدماغ Brainstem تحديدا في كل من

القطرة ( الجسر ) Pons والنخاع المستطيل Medulla oblongata . يكون المركز التنفسي مسؤولاً عن توليد التنفس والحفاظ على ايقاعه ( الشكل – 9 ) .

يتكون المركز التنفسي من اربعة مجموعات تنفسية كالاتي :

أ – المركز الشهيقي Inspiratory center ( المجموعة التنفسية الظهرية Dorsal respiratory group ) :

يتألف المركز الشهيقي من مجموعة من العصبونات مكونة كتلة متطاولة تمتد في الجهة الظهرية للنخاع المستطيل وهو المسؤول عن البدء التلقائي لعملية الشهيق اذ تولد عصبونات تلتقانيا سيالات عصبية تنتقل عبر العصب الحجابي Phrenic nerve (الايمن و الايسر) الى عضلة الحجاب الحاجز مؤدية الى انقباضها ، كما تنتقل السيالات العصبية عبر الاعصاب المزودة للعضلات بين الاضلاع الخارجية (التي تسهم بنسبة ضئيلة بعملية الشهيق اثناء التنفس الهادئ ) فينتج عن انقباض النوعين من العضلات عملية الشهيق التي تتبع بالزفير السلبي . يستمر النشاط العصبي لهذا المركز لمدة ثانية يليه فترة هدوء تستمر ثلاث ثواني ثم يعاود النشاط مرة اخرى ويتكرر ذلك طيلة حياة الكائن الحي ، وان التفسير الاكثر قبولاً لهذا النشاط الدوري الذي يتميز به المركز الشهيقى بانه ينتج عن تثبيط متبادل بين شبكات من عصبونات مترابطة توجد داخل النخاع المستطيل . اذا يكون المركز الشهيقى مسؤولاً عن ايقاع التنفس الهادئ ( يسر التنفس ) .

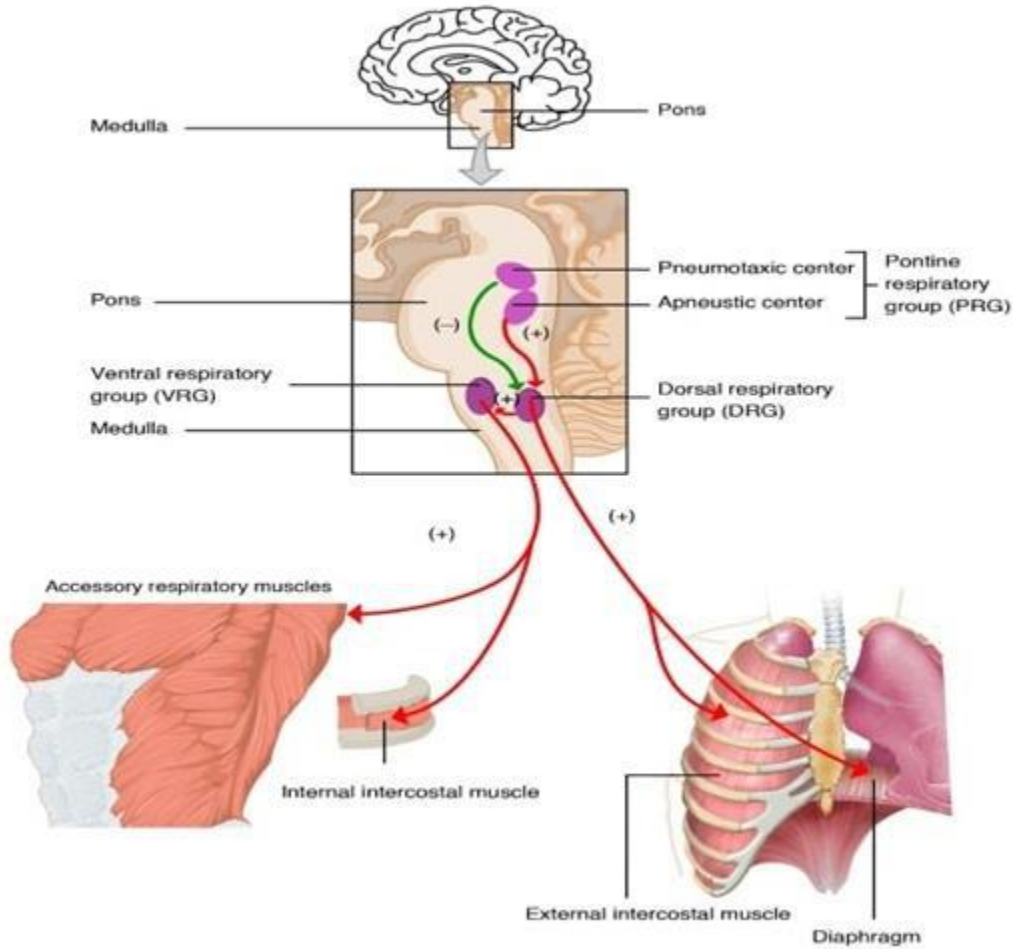
ب- المركز الزفيري Expiratory center ( المجموعة التنفسية البطنية Ventral respiratory group ) :

يتألف من اربعة مجاميع من العصبونات تقع في الجهة البطنية للنخاع المستطيل وهوالمسؤول عن عملية الزفيرالنشط Active exhale الذي يتطلب تنشيط انقباض العضلات البطنية والعضلات بين الاضلاع الداخلية . يكون هذا المركز غير فعال اثناء التنفس الهادئ ولكنه ينشط اثناء الجهد البدني والاعمال الشاقة والتمارين الرياضية العنيفة . يمتلك هذا المركز عند تنشيطه تأثيراً مثبطاً للمركز الشهيقى .

ج- المركز المنظم لسرعة التنفس او المركز المنسق الحركي Pneumotaxic center : يتألف من مجموعتين من العصبونات تقعان اعلى القنطرة وعلى جهتيها . يقوم هذا المركز بتنظيم ايقاع التنفس اذ يمتلك تأثيراً مثبطاً للمركز الشهيقى فيمنع الانتفاخ المفرط للرئتين وبذلك ينظم الحجم المدي فضلاً عن تنظيمه لمعدل التنفس اي يجعل معدل نشاط مركز الشهيق سريع وقصير. كما يمتلك هذا المركز ايضاً تأثيراً مثبطاً لمركز الابنيوستك اي يعد مضاداً له .

د- مركز الابنيوستك ( وقف التنفس ) Apneustic center : يتالف من مجموعتين من العصبونات تقعان اسفل القنطرة وعلى جهتيها . يمتلك هذا المركز تأثيرا منبها للمركز الشهيقي مما يمنع ايقافه فيعمل على اطالة وعمق الشهيق ( الشكل - 9 ) . يطلق على كلا المركزين النيوموتاكسك و الابنيوستك بالمركز التنفسي الجسري ( القنطري ) Pontine respiratory center .

وبذلك تتالف الدورة التنفسية من تناوب رتيب لعمليتي الشهيق والزفير بشكل دوائر تذبذبية بين كل من المركزين الشهيقي والزفيري في النخاع المستطيل وبين المركز المنسق الحركي في القنطرة .



الشكل - 9 : مكونات المركز التنفسي .



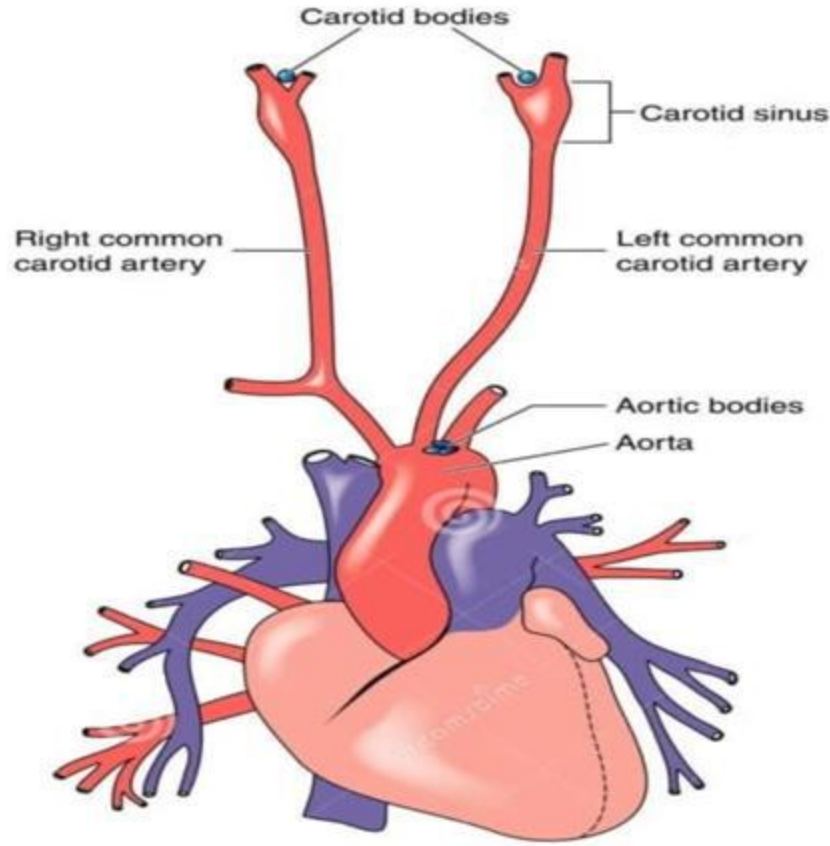
يتم تنظيم نشاط المركز التنفسي كالآتي :

**التنظيم الكيميائي Chemical regulation** : يعد التنظيم الكيميائي عاملا مهما ومؤثرا على تنبيه المركز التنفسي ، إذ تؤثر التغيرات الحاصلة في بعض معالم الدم المتمثلة بكل من  $P_{CO_2}$  و  $P_{O_2}$  وتركيز ال  $H^+$  ( درجة ال  $P^H$  ) الدم على النوعين من المستقبلات الكيميائية المركزية والمحيطية كالآتي :

1- التأثيرات المباشرة على المركز التنفسي : إذ تتحسس المستقبلات الكيميائية المركزية Central chemoreceptors القريبة من المركز التنفسي بالزيادة الحاصلة في ال  $P_{CO_2}$  اوفي تركيز  $H^+$  ( ارتفاع حموضة ) في الدم المار خلال المركز فتنبه عصبونات المركز وتعمل على زيادة عمق ومعدل التنفس . اما النقص ( الحاد ) في الاوكسجين فيؤدي الى خمولها وينتج عنه التنفس السطحي ، بينما يؤدي النقص ( الحاد جدا ) في الاوكسجين الى توقف التنفس ، فضلا عن تأثر المراكز التنفسية بدرجة حرارة الدم المار خلالهم فتنبه تلك المراكز . اما زيادة درجة حرارة الدم فتؤدي الي تسريع التنفس و لن تعمقه . بينما يؤدي انخفاض درجة حرارة الدم الى ابطاء عملية التنفس .

2- التأثيرات غير المباشرة على المركز التنفسي : توجد المستقبلات الكيميائية المحيطية Peripheral chemoreceptors في كل من الجسمين السباتيين (الواقعين بين تفرع كل من الشريانيين السباتيين ) وفي الجسمين الابهريين ( الواقعين على فرعي القوس الابهري ) ، ( الشكل - 10 ) . تتحسس هذه المستقبلات بشكل خاص بالتغيرات في  $P_{O_2}$  وبدرجة اقل بالتغيرات في  $P_{CO_2}$  وبتركيز ال  $H^+$  فتُرسل سيالات عصبية عبر الاعصاب القحفية ( التاسع والعاشر ) ثم الى المركز التنفسي الشهيق ، فتخرج سيالات عصبية من هذا المركز الى عضلات التنفس التي تستجيب بشكل منعكس . تتأثر المستقبلات الكيميائية بزيادة  $CO_2$  الدم دون انخفاض الاوكسجين عندئذ يكون لهذه الزيادة تأثير مسيطر على المستقبلات الكيميائية المذكورة .





الشكل - 10 : المستقبلات الكيميائية المحيطة ( للاطلاع ) .

وبذلك فان العوامل المؤثرة في المستقبلات الكيميائية هي قلة الاوكسجين و زيادة ثنائي اوكسيد الكربون وانخفاض الباء هاء ( الاس الهيدروجيني) .

الانعكاسات العصبية الاضافية التي تسيطر على التنفس : يتاثرالمركز التنفسي وهي انعكاسات عصبية اضافية تؤثر في سرعة وعمق الحركات التنفسية وهي :

أ- انعكاسات تنفسية من الجسمين السباتيين والجسمين الابهريين عند تنبيههما بزيادة ضغط الدم مثبتا بذلك الحركات التنفسية.

ب- الانعكاسات التنفسية الوقائية : تحصل هذه الانعكاسات عند تنبيه المستقبلات الموجودة في الممرات التنفسية ( بطانتي الحنجرة والرغامى وبطانة الانف ) بمختلف المنبهات ( الغبار او الياف او دخان او مخاط متراكم ) فترسل المستقبلات سيالات عصبية عبر العصب التائه الى المركز التنفسي اذ يقوم بتغيير معدل وعمق ونمط التنفس فيثبط الشهيق ويقوى الزفير . لذا فان تنبيه المستقبلات في الرغامى والقصبات يؤدي الى منعكس السعال Cough ، بينما يؤدي تنبيه بطانة الانف الى العطاس Sneeze .

ج - التمارين الرياضية ( العضلية ) : التمارين العنيفة تؤدي الى زيادة معدل وعمق الحركات التنفسية وزيادة التهوية الرئوية مع حصول زيادة في التنبهات الكيميائية للمراكز التنفسية الناجم عن ارتفاع الايض اثناء الاجهاد العضلي .

د- سيطرة الوطاء ( تحت الهاد ) Hypothalamus : يؤثر الشعور بالالم و الحالات العاطفية ( الضحك والحزن والغضب ) على المراكز الودية في الوطاء والتي تؤثر بدورها على المركزين التنفسيين في النخاع المستطيل مما يؤثر في معدل وعمق التنفس .

هـ- سيطرة منعكس هيرنك - بروير : يعمل هذا المنعكس على حماية الرئة بتثبيطه للشهيق العميق عند ممارسة التمارين العنيفة مما يمنع من الزيادة في انتفاخ الرئة .

#### السيطرة الارادية على التنفس :

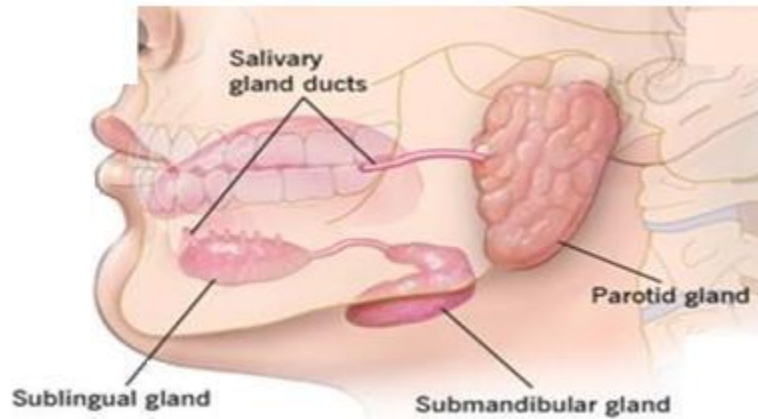
اما عن عملية التنفس الارادية ، بالرغم من كون التنفس عملية لارادية خلال التنفس الهادئ الاعتيادي فبالامكان زيادة عدد وعمق الحركات التنفسية اراديا كما يحصل عند ايقاف او ابطاء او زيادة الحركات التنفسية اراديا ، يعود سبب ذلك الى وقوع جميع المراكز التنفسية تحت سيطرة المراكز العصبية العليا في قشرة المخ التي تتحكم في التنفس الارادي اذ ترسل سيالات عصبية الى العصبونات الحركية المزودة للعضلات التنفسية متجاوزة عصبونات المركز التنفسي في النخاع المستطيل ، وهذا النوع من السيطرة محدود لكون وقف التنفس لفترة من الوقت يؤدي الى زيادة  $PCO_2$  في الدم مما ينبه المركز التنفسي على اطلاق التنفس مرة اخرى .

منشا الحركات التنفسية عند الولادة : الرئتان لدى الجنين تكونان غير عاملتين قبل الولادة وليس لديه اي حركات تنفسية وهو داخل الرحم . بينما تبدأ رئتيه في العمل اثناء عملية الولادة نتيجة قلة الاوكسجين الناجم عن انقطاع الاتصال مع الدورة المشيمية للام ، وتلعب المحفزات الحرارية واللمسية في الجلد والاطراف دورا مهما في عمل رئتيه .

فسلجة الجهاز الهضمي Physiology of digestive system

تقسم المواد الغذائية المتناولة من قبل الانسان الى : بروتينات وكربوهيدرات ودهون وفيتامينات واملاح وماء ، تتميز معظم هذه المواد باستثناء ( الفيتامينات والماء والاملاح ) بكونها مواد معقدة التركيب وذات اوزان جزيئية كبيرة ( حجم كبير ) فلا يمكن امتصاصها بعد تناولها دون هضمها ( تحويلها الى مواد ذائبة قابلة للامتصاص ) ويتم ذلك بعمليات ميكانيكية وافرازية وكيميائية . يعرف الهضم بانه عملية تحلل مائي تتم اثنائه فصم الروابط ( الاواصر ) الكيميائية ضمن الجزيئات المعقدة باضافة جزيئة ماء لكل رابطة وبمساعدة انزيمات هضمية تفرز من الغدد الواقعة في جدران القناة الهضمية ، او من قبل غدد خارج القناة الهضمية ملحقة بها متمثلة بالبكرياس والكبد والغدد اللعابية . توجد في الانسان واللبائن الاخرى 3 ازواج من الغدد كالاتي :

- 1- زوج من الغدد النكفية Parotid glands : تقع اسفل الاذنين تفتح قنواتهما قرب الطواحن العليا الثانية ، يحوي اللعاب المفرز من هذه الغدد كمية كبيرة من الماء لكنه يفتقر لانزيم الامليز .
- 2- زوج من الغدد تحت الفك Submaxillary or submandibular glands : تفتح قنواتهما عند اسفل اللسان .
- 3- زوج من الغدد تحت اللسانية Sublingual glands : تفتح بعدد من القنوات الدقيقة في الجزء الامامي من قاع الفم (الشكل - 1) .



الشكل - 1 : الغدد اللعابية ( للاطلاع ) .

**اللعباب Saliva** : سائل مائي تقدر كميته ب1.5 لتر لكل يوم في الانسان . يفرز من قبل الغدد اللعابية ويتكون من 99.5% ماء و 0.5% مواد صلبة مذابة في الماء متمثلة باملاح عضوية ولاعضوية ( الايونات السالبة والموجبة ويشكل كلوريد الصوديوم الجزء الاعظم من هذه الاملاح ) وايضا مواد عضوية بروتينية متمثلة بكل من المخاطين mucin ( له وظيفة تزييت لتسهيل بلع الطعام ) والانزيمات ( الاميليز اللعابي Salivary amylase او التايلين Ptyline والمالتيز Maltase واللايسوزايم Lysozyme والكتاليز Catalase وغيرها من الانزيمات ) ، كما توجد مواد غير بروتينية مثل اليوريا والكرياتين .

### وظائف اللعاب:

- 1- يرطب الطعام ويسهل مضغه ويسهل الكلام ، يقوم المخاطين ( احد مكونات اللعاب ) بجعل الطعام كتلة يسهل ابتلاعها .
- 2- يساعد انزيم الاميليز اللعابي ( التايلين ) على التذوق ، فضلا عن دوره في هضم النشا وتحويله الى مواد ايسط ( الدكسترين Dextrine والسكر الثنائي Maltose ) يستمر عمل الاميليز اللعابي في المعدة لنصف ساعة ثم يثبط بحمض المعدة HCl .
- 3- يقوم اللعاب بتطهير الفم نظرا لوجود انزيم اللايسوزايم .
- 4- يساعد على تنظيم درجة حرارة الجسم في الكلاب والقطط .
- 5- يوفر وسطا ملائما لنمو البكتريا المفيدة في الحيوانات المجترة .

### طرق افراز اللعاب :

- 1- الطريقة الفيزيائية : يثير النظر الى الطعام او شم رائحته او التفكير فيه الغدد اللعابية وهذا يدعى المنعكس النفسي Psychic reflex او المنعكس المشروط Conditioned reflex اعتمادا على خبرة الانسان او الحيوان السابقة او على طبيعة الظرف الذي حدث فيه التنبيه.
- 2- الطريقة الميكانيكية او الكيميائية : يفرز اللعاب بهذه الطريقة بكميات كبيرة ( الرغوة او الزبد Froth ) اذ يؤثر الطعام الداخل الى الفم اما على المستلمات الضغطية الواقعة في اللسان او على المستلمات الكيميائية الموجودة في البراعم الذوقية المنتشرة على سطح اللسان (مستلمات الحموضة والملوحة والحلاوة والمرارة ) مما يؤدي الى نشاط الغدد اللعابية فتقوم بافراز اللعاب ، ويتم ذلك بانتقال السوائل العصبية المتولدة بالمستلمات المذكورة الى المراكز اللعابية الواقعة في النخاع المستطيل فيحصل تنبيه للمراكز اللعابية فتصدر سيالات الى الغدد اللعابية لحصول منعكس افراز اللعاب .
- 3- الطريقة العصبية : تزود الغدد اللعابية بالوعيين من الالياف العصبية الودية ونظير الودية، ان تنبيه الاعصاب الودية ونظير الودية له تاثير تازري على الغدد اللعابية والاختلاف فقط بالمحتوى الانزيمي .

**بلع الطعام Swallowing :** يتم البلع بثلاث مراحل كالآتي :

1-المرحلة الاولى : مرحلة الفم Buccal stage و تكون تحت السيطرة العصبية الارادية فتتحرك اللقمة الممضوغة الى السطح العلوي للسان ثم تسحب الى الخلف بواسطة عضلات اللسان فتصل البلعوم المحاط بعضلتين .

2-المرحلة الثانية : مرحلة البلعوم Pharyngeal stage و تكون تحت السيطرة اللاارادية فيعبر الطعام خلال البلعوم نتيجة لتقلص عضلاته فيدفع الطعام بقوة الى المرئ مع ارتفاع الحنجرة الى الاعلى .

3-المرحلة الثالثة : مرحلة المرئ Oesophageal stage و تكون تحت السيطرة اللاارادية فيعبر الطعام الى اسفل المرئ اي الى المعدة بواسطة الحركات التمعجية وباقتراب الطعام من المعدة ينفتح الصمام الفؤادي Cardiac sphincter فيدخل الى المعدة .

المعدة : تتألف المعدة في الانسان والحيوانات غير المجتررة من حجرة واحدة وتقسم الى المنطقة الفؤادية والقاعية (جسم المعدة ) والمنطقة البوابية ويدخل الطعام اليها بعد بلعه كما تتميز بقابليتها على التوسع لاستيعاب الطعام ، يحتوي الغشاء المخاطي المبطن للمعدة على الانزيمات الهاضمة للبروتين والانزيمات المهمة في امتصاص فيتامين B<sub>12</sub> وعوامل تكون الدم التي تعمل مع ما يوجد في الغذاء على تكوين العامل المضاد لفقر الدم Anti-anaemic factor فضلا عن قيام الغشاء المخاطي بافراز العصير المعدي Gastric juice .

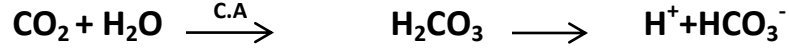
الغدد المعدية : وهي ثلاثة انواع كالآتي :

- 1- الغدد الفؤادية:هي غدد مخاطية افرازية .
- 2- الغدد القاعية : تتكون من 3 انواع من الخلايا ( الخلايا الجسمية الرئيسة التي تفرز الانزيمات والخلايا المخاطية العنقية التي تفرز المخاط والخلايا الجدارية التي تفرز ال HCl ) .
- 3- الغدد البوابية : تتكون افرازاتها من المخاط وكميات قليلة من انزيمات هاضمة للبروتينات .

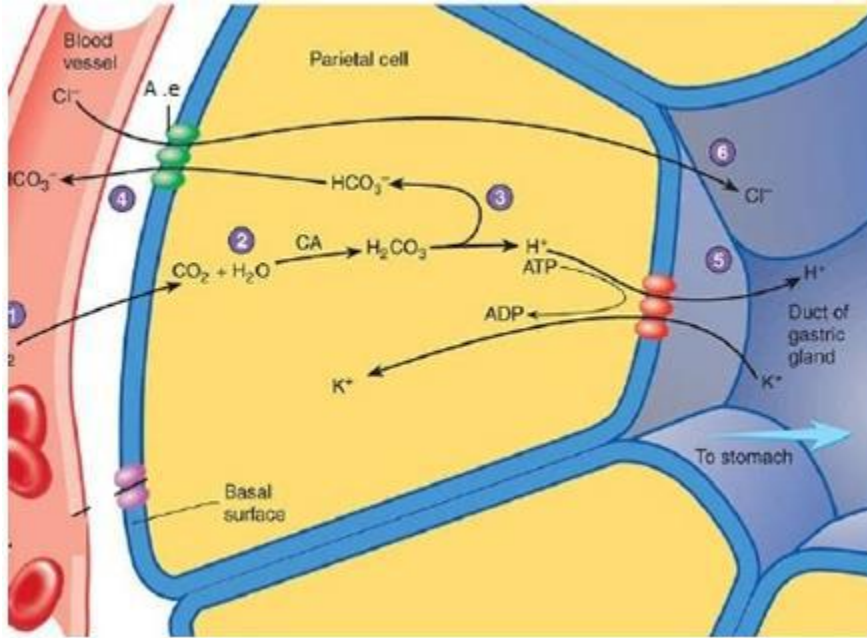
مكونات العصير المعدي : يتكون العصير المعدي من المواد الاتية :

- 1- الماء بنسبة 95% من العصير المعدي .
- 2- الايونات: الايونات السالبة المتمثلة بالكلور (وهو الغالب) والبيكاربونات ، اما الايونات الموجبة فتتمثل بايونات الهيدروجين والصوديوم ( وهما الغالبان) والكالسيوم والبوتاسيوم .
- 3- حمض الهيدروكلوريك HCl المفرز من الخلايا الجدارية اوالحمضية في الغدد القاعية للمعدة .

افراز حمض الهيدروكلوريك : تفرز المعدة حمض HCl بكميات كبيرة اذ يبلغ تركيزه في العصارة المعدية 0.1% ، بينما يصل تركيزه في الخلايا الجدارية Parietal cells 0.4-0.5% . يبدأ انتاج الحمض باتحاد الماء وثنائي اوكسيد الكربون ضمن سايتوبلازم الخلية الجدارية بمساعدة انزيم **Carbonic anhydrase(C.A)** وفق المعادلة الاتية :



مكونا حمض الكربونيك الذي يتحلل تلقائيا الى ايون هيدروجين و ايون البيكاربونات. ثم ينتقل ال  $\text{H}^+$  الى تجويف المعدة بالية نقل فعال تتم بمضخة نقل فعال انزيمية  $\text{H}^+ - \text{K}^+ \text{ATPase}$  وبالتبادل بين ايون البوتاسيوم في المعدة مع ايون الهيدروجين الموجب في الخلية الجدارية. كما ينتقل ايون البيكاربونات السالب الى خارج الخلية بالتبادل مع ايون الكلور السالب بوساطة بروتين ناقل يدعى **Anion exchanger (A.e)** . ثم ينتقل ايون الكلور السالب الى تجويف المعدة عبرقناة خاصة بايون الكلور **Chloride channel** . وبوجود الايونين ال  $\text{H}^+$  و  $\text{Cl}^-$  المختلفين بالشحنة سيتم اتحادهما فينتج حمض ال HCl ( الشكل - 2 ) .



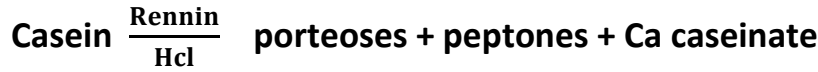
الشكل - 2 : افراز حمض الهيدروكلوريك في المعدة .

## وظائف حمض الهيدروكلوريك في المعدة :

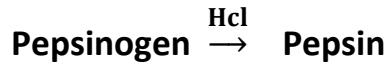
- 1- يساعد في هضم البروتينات اذ تكون المعدة اول موقع لهضم البروتين حيث توجد الانزيمات الخاصة بذلك .
- 2- يسهم بتحلل السكريات الثنائية الى احادية .
- 3- يساعد في ذوبان ايونات الحديد والنحاس ثم امتصاصهما.
- 4- ينشط تحول الببسينوجين غير الفعال Pepsinogen الى ببسين Pepsin والذي يعمل على تحليل الروابط الببتيدية بين الحموض الامينية .
- 5- يسيطر على عمل الصمام البوابي (الياف عضلية عاصرة توجد في منطقة التقاء المعدة بالاثني عشر ) الذي يربط المعدة بالاثني عشر .
- 6- يكون حمض ال HCl مطهر للمعدة اذ يقتل الجراثيم الداخلة الى المعدة .

## انزيمات المعدة :

يملك للعصب التائه الفارز للاستيل كولين دور في تنبيه المعدة على افراز انزيم الببسين ، بينما يقلل الاتروبين ذلك . كما تفرز معدة صغار الابقار والاطفال الرضع انزيم الرنين Rennin الذي يعمل في محيط حامضي على تخثر او تجبن الحليب اذ يحول كازئين الحليب الى باراكازئين والذي يتحد بدوره مع عنصر الكالسيوم الموجود في الحليب فيتكون بذلك باراكازئين الكالسيوم الذي يشبه الجبن وبذلك يكون عمل انزيم الببسين على باراكازئين الكالسيوم سهلا فيساعد بتكسيه الى حموض امينية .



يفرز انزيم الببسين الفعال من الخلايا الجسمية الرئيسية للغدد المعدية والذي يكون موجود فيها بشكل غير فعال يدعى مولد الببسين pepsinogen والذي يتحول بعد افرازه الى الببسين الفعال بفعل ال HCl . يقوم الببسين بهضم البروتينات في محيط شديد الحامضية فيحولها الى مواد ابسط .



اما ال Proteoses فهو خليط من الببتيدات الناتجة عن التحلل المائي للبروتينات .

## السيطرة على الإفرازات المعدية :

1- السيطرة العصبية : تتم السيطرة على حركة القناة الهضمية وعلى نشاط الغدد الموجودة فيها بواسطة الالياف العصبية الودية ونظير الودية المزودة لجدران القناة الهضمية بما فيها المعدة ، تشتبك الالياف العصبية مكونة ظفيران عصبين واحد ( ظفيرة مايسنر ) تقع بعد الطبقة تحت المخاطية اما الظفيرة الاخرى ( ظفيرة اورياخ ) فتقع بين الطبقة العضلية الطولية والطبقة العضلية الحلقية . يعمل النوعان من الالياف العصبية بصورة متضادة اذ تقوم الالياف الودية بتثبيط حركة القناة الهضمية وكذلك تثبيط افراز الغدد الموجودة فيها . اما الالياف نظير الودية فيكون عملها بصورة معاكسة اذ تزيد من حركة القناة الهضمية وتزيد من افرازات غددها .

2- السيطرة الهرمونية ( السانلية ) وتشمل نوعين من الهرمونات:

- أ- هرمون الكاسترين Gastrin : يفرز من الغدد البوابية للمعدة نتيجة لتوسعها عند امتلائها بالطعام ، ويقوم بتثبيط افراز الغدد المعدية للانزيمات والعوامل المساعدة وبعض الهرمونات .
- ب- هرمون انتروكاسترون Entrogastron : يفرز من بطانة الاثنى عشر نتيجة وجود الدهن والحموض وملامستها للبطانة ويعمل على تثبيط افراز وحركة المعدة .

### مراحل الافراز المعدي:

- 1- المرحلة الرأسية او النفسية : وتعد منعكس لان الافراز يتم نتيجة افعال انعكاسية تبدأ من الحليمات الذوقية التي تتأثر بوجود الطعام فتنتقل المنبهات الى الدماغ فيقوم بإرسال سيالات بواسطة العصب التانه الى المعدة وتبدأ بالافراز الغني بانزيم الببسين وال HCl ، وقد اعتمد قطع العصب التانه لعلاج القرحة المعدية .
- 2- المرحلة المعدية : يحصل الافراز المعدي في هذه المرحلة بتثبيط الطعام الموجود في المعدة للغدد المعدية والبروتينات اكثر انواع الطعام تنبيهها لهذه الغدد، يعمل كل من تمدد جدران المعدة ( لوجود الطعام فيها ) وحركتها وامتصاص نواتج الهضم على تنبيه الغدد الواقعة في بطانة المنطقة البوابية للمعدة للقيام بافراز هرمون الكاسترين الذي سينتقل بالدم لينبه الغدد المعدية على افراز الحمض المعدي .
- 3- المرحلة المعوية : تبدأ هذه المرحلة بانتقال الكتلة السميكة من الطعام شبه السائل المهضوم جزئيا المعروف بالكايمس او كيموس Chymes من المعدة الى الاثنى عشر حيث الوسط القاعدي فينبه حمض ال HCl ( الممزوج بالكايمس ) بطانة الاثنى عشر لافرازها هرمون الانتروكاسترون فيعمل هذا الهرمون على تثبيط حركة وافراز المعدة . وبدخول الكايمس الى الامعاء سيتعرض للانزيمات المعوية والبنكرياسية فيكتمل عندئذ هضم البروتينات .



افرازات البنكرياس: وتشمل الاتي :

- أ- الانزيمات الهاضمة للبروتين وتشمل الترسين Trypsin والكايومتريسين Chymotrypsin اللذان يحولان البروتين الى ببتيد Peptide وبيبتونز في محيط قاعدي والكاربوكسي ببتايدز Carboxypeptidase ( الذي يحول الببتايد الى حموض امينية ) .
- ب- الانزيمات الهاضمة للكربوهيدرات: تحتوي العصارة البنكرياسية على انزيم واحد فقط هو الاميليز البنكرياسي Pancreatic amylase الذي يساعد على هضم الكربوهيدرات محولا النشا الى دكسترين ومالتوز .
- ج - الانزيمات الهاضمة للشحوم: تشمل انزيم اللايبز البنكرياسي Pancreatic lipase ويقوم بتحويل الشحوم الى حموض شحمية بسيطة وكلسيريادات .

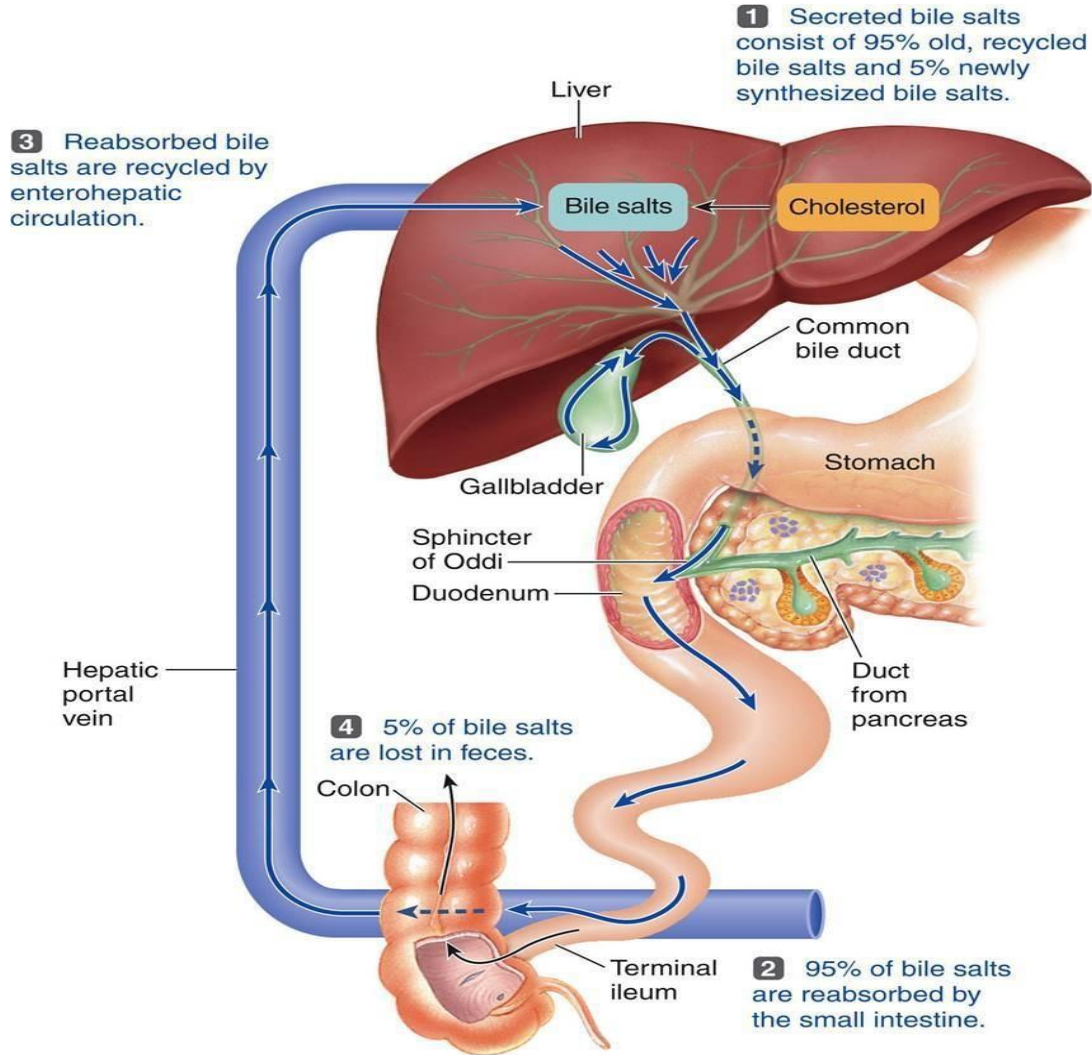
السيطرة على افرازات البنكرياس : يوجد نوعان من السيطرة على افرازات البنكرياس كالاتي :

- أ- السيطرة العصبية : يتم بتاثير العصب التانه افراز كمية قليلة من العصارة البنكرياسية المتميزة بكونها لزجة وغنية بالانزيمات الهاضمة .
- ب- السيطرة الهرمونية : تتم بوساطة هرمونين هما :
- 1- هرمون السكرتين (المفرزين ) Secretin : يتم بتاثير هذا الهرمون افراز عصارة بنكرياسية متميزة بكميتها الكبيرة وقوامها المائي وبكونها غنية بالاملاح واحتوائها كمية قليلة من الانزيمات.
- 2- هرمون البنكريوزايمين Pancreozymin: تتميز العصارة البنكرياسية المفرزة بتاثير هذا الهرمون بكونها مشابهة لمميزات العصارة بتاثير العصب التانه .

وظائف الكبد liver :

- 1- صنع وافراز مادة الصفراء (سائل قاعدي اصفر اللون مر المذاق ) .
- 2- تكوين الكلايوجين وخرنه لتنظيم السكر في الدم .
- 3- يكون بروتينات الدم ( البروثرومبين والفايبرينوجين).
- 4- تكوين اليوريا وازالة الامونيا من الحموض الامينية.
- 5- ازالة السموم والحد من نشاطها انزيميا وكذلك باضافة مواد اخرى اليها للحد من ضررها مما يجعلها مادة قابلة للذوبان بالماء فيسهل اخراجها من الجسم مع الادرار والعرق .
- 6- بناء الحموض الشحمية .
- 7- خزن وتنظيم انتشار عامل مضاد فقر الدم الخبيث.
- 8- خزن الفيتامينات الذائبة في الدهون والمتمثلة بفيتامين E و K و D و A .

مكونات مادة (عصارة) الصفراء **Bile** : تصنع مادة الصفراء في الخلايا المبطنة للقنوات في الكبد ولن تمر الى الاثنى عشر مباشرة ، وانما تخزن في كيس الصفراء **Gall bladder** . تتألف العصارة من الماء وكميات مختلفة من املاح الصفراء وصبغات الصفراء **Bilirubin** (المشتركة في عملية الهضم والامتصاص) واملاح معدنية وكولسترول ومخاطين ويوريا وبعض المواد غير العضوية ( الشكل - 3 ) .



الشكل - 3 : افراز مادة الصفراء ( للاطلاع ) .

## اهمية املاح الصفراء:

تعمل املاح الصفراء المكونة من ماء ودهن قطبي ذائب على تجزئة المواد الدهنية الى قطيرات صغيرة جدا اذ ينفذ الدهن القطبي الى داخل المادة الدهنية ويفككها ويحيط بها مكونا بذلك مذيلات ، مما يجعلها عرضة لانزيم اللايبيز الذي يساعد على هضم المواد الدهنية .

ومن العوامل التي تحفز الكبد على افراز الصفراء هو وجود املاح الصفراء في الامعاء اذ يعاد امتصاصها من قبل الدم ويحملها الى الكبد مرة اخرى ليتم افرازها ضمن الصفراء من جديد ويدعى ذلك دورة الصفراء ، ( الشكل - 3 ) .

انواع اليرقان: اليرقان Jaundice هو اصطبغ البشرة وبياض العين والاعشية المخاطية باللون الاصفر لزيادة مستوى البيليروبين في الدم وتزداد درجته بازدياد المرض وتوجد ثلاثة انواع منه كالآتي :

- 1- اليرقان التحللي Hemolytic jaundice: ينتج من زيادة تكسركريات الدم الحمر قبل وصولها 120 يوم اما وراثيا او بفعل عوامل مكتسبة .
- 2- اليرقان التسممي Toxic jaundice: ينتج من التسمم ببعض المواد الكيميائية او العقاقير مما يؤثر في كمية الصبغات في الجسم .
- 3- اليرقان الانسدادي Obstructive jaundice : ينتج من انسداد القناة الصفراوية المشتركة بحصاة الصفراء نتيجة لترسب الكولسترول غير الذائب بكيس الصفراء او ينتج من التهاب كيس الصفراء او قنواتها ، يوجد تصنيف اخر لليرقان هو Prehepatic وال Hepatic وال Posthepatic.

صمام (عاصرة) اودي Sphincter of oddi: صمام (عضلة اسطوانية عاصرة ) يوجد بين القناة الصفراوية المشتركة والاثني عشر ، يمنع انسياب الصفراء الى الامعاء في الاحوال الاعتيادية .

هرمون كولي سيستوكينين Cholecystokinin: هرمون يفرز بدخول الطعام الهضوم الى الاثني عشر وينبه انقباض كيس الصفراء وانبساط الصمام فتتساب العصارة من الكيس الى الاثني عشر بشكل دفعات تلي دفعات الطعام المتدفق .

## وظائف الصفراء :

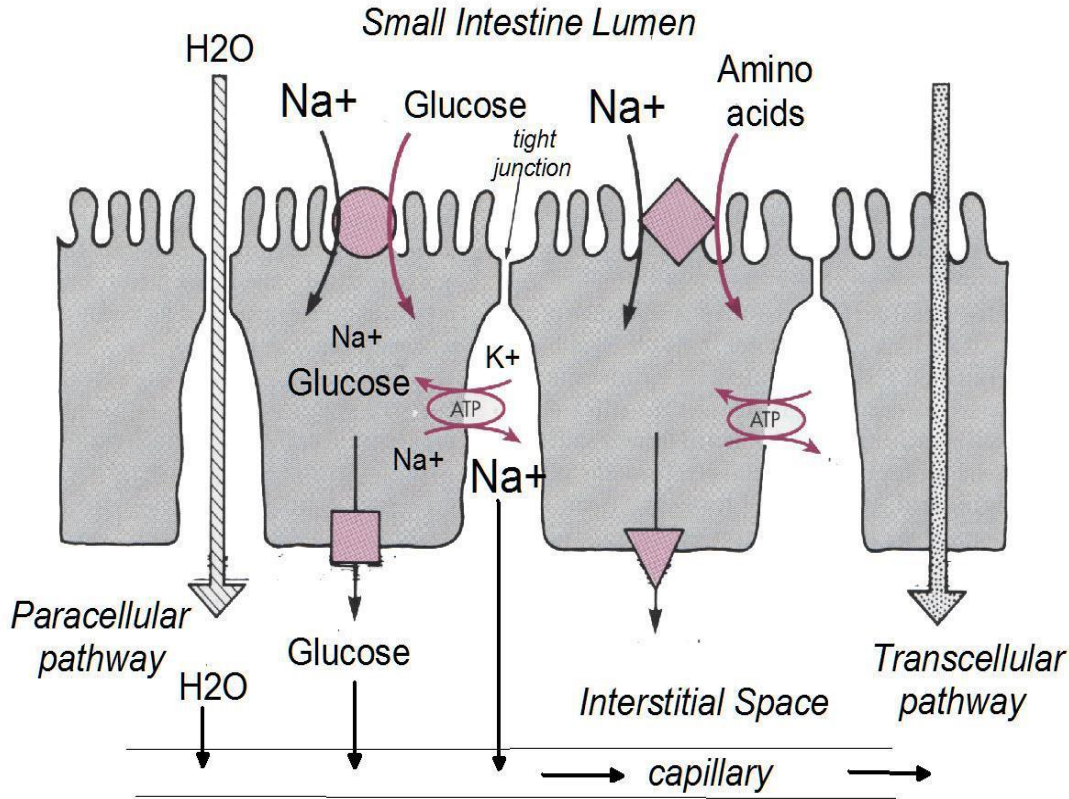
- 1- تعادل حمض الهيدروكلوريك .
- 2- تنشيط اللايبيز البنكرياسي .
- 3- تسرع عمل الاميليز البنكرياسي .
- 4- تساعد على استحلاب الدهون .
- 5- تساعد على تكوين معقد الحموض الدهنية واملاح الصفراء والذي يمتص بسهولة .
- 6- تساعد على نمو بعض انواع البكتريا المطهرة .
- 7- تنشيط هضم الكثير من الاغذية وتنشيط عمل الانزيمات الهاضمة لها .

العصير المعوي Intestinal juice : يفرز العصير المعوي من جدران الامعاء الدقيقة و يشمل نوعان من الإفرازات هما :

- 1- افرازات قاعدية مع بعض المخاط تفرز من غدد برونر في الاثنى عشر وتعمل على حماية البطانة من حموضة المعدة والطعام الحامضي المتدفق منها .
- 2- افرازات معوية تفرز من اخايد ليبركوهين في الامعاء وهي اقل لزوجة من سابقتها . وتحتوي عدد كبير من الانزيمات ( ثنائي بيبتيداز Dipeptidase و امينوببتيداز Aminopeptidase ومالتيز و لاكتيز Lactase و سكريز Sucrase و نيوكلياز Nuclease ) .

الامتصاص Absorption : هو انتقال نواتج الهضم المتمثلة بالسكريات الاحادية والحموض الامينية والحموض الدهنية والكلسرين من تجويف القناة الهضمية الى الدم او اللمف لايصالها الى خلايا الجسم . يحصل الامتصاص في المنطقة السفلى من الامعاء الدقيقة لاحتوائها على عدد كبير من الطيات المعوية في جدارها والحاوية على الملايين من الزغابات التي تساعد في زيادة السطح الماص والمكيفة لهذه الوظيفة. يتم امتصاص المواد كالاتي :

- 1- امتصاص الماء والايونات : يتم امتصاص الماء بالانتشار البسيط في حين يتم امتصاص الايونات وخاصة ايون الصوديوم بعملية النقل الفعال فينتج جهد كهربائي يعمل على جذب ايونات سالبة مثل الكلور من تجويف الامعاء الى السائل البيني ( الشكل - 4 ) .

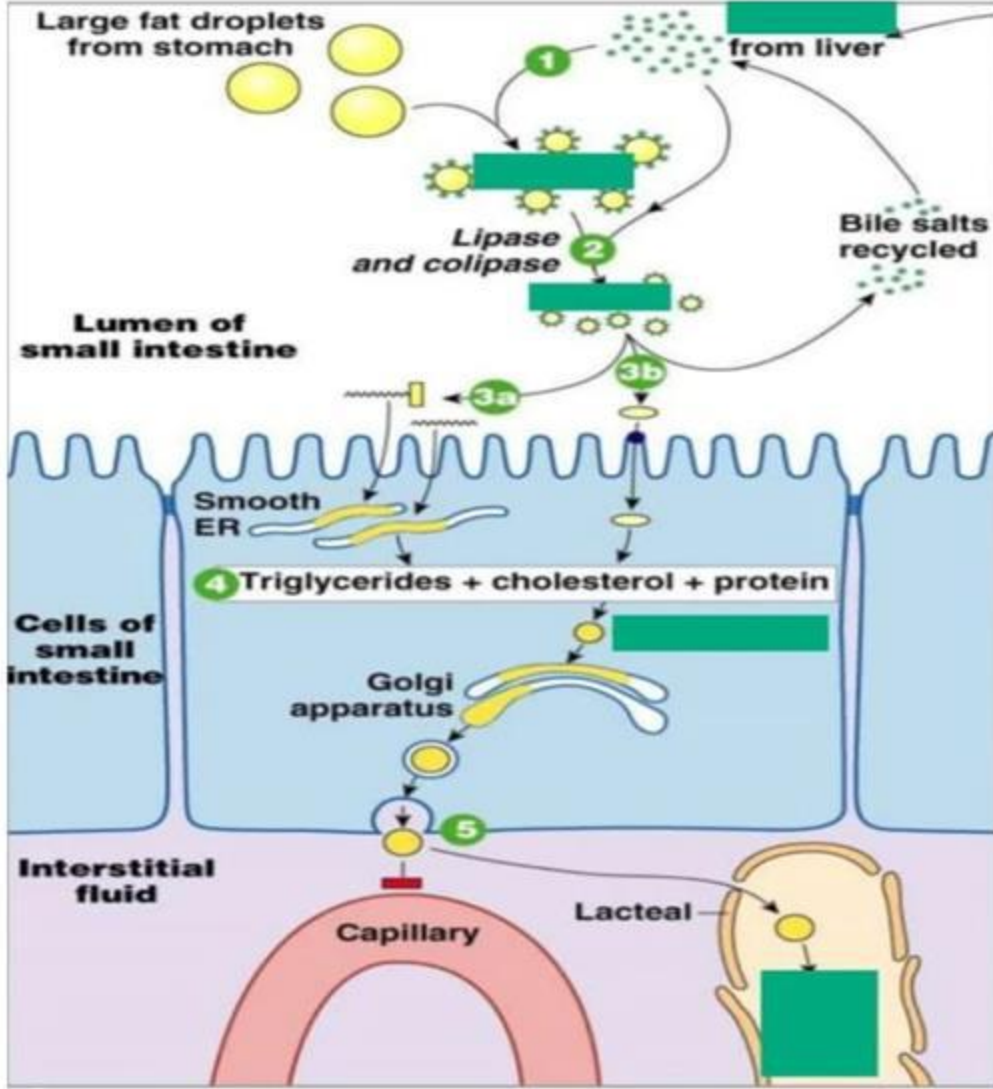


الشكل - 4 : امتصاص الماء والايونات والحموض الامينية والكاربوهيدرات ( للاطلاع ) .

2- امتصاص البروتينات : تمتص جميع البروتينات بشكل حموض امينية بالية النقل الفعال كما تمتص الحموض الامينية بسرعة تفوق تحلل البروتينات لذا تكون محتويات الامعاء خالية منها . كما تمتص الببتيدات الثنائية بعملية الشرب الخلوي . بينما تمتص الحموض الامينية الاساسية (كالارجنين) بالية الانتقال الميسر المترافق مع الصوديوم (الشكل -4) .

3- امتصاص الكربوهيدرات : تمتص بشكل سكريات احادية من تجويف الامعاء الى الخلايا الظهارية المعوية بوساطة الية الانتشار المشترك اي المرتبط بالصوديوم ولايحتاج طاقة بسبب وجود ناقل في غشاء الحافة الفرشية ( السطح القمي ) للخلية الظهارية ذو موقعين احدهما ذو الفة للصوديوم والاخر ذو الفة للكلوكوز . وبدخول الكلوكوز الى داخل الخلية الظهارية ولكون تركيزه اصبح اكثر فسينتقل عبر الغشاء الجانبي و القاعدي للخلية الظهارية بالية الانتشار الميسر( عبر ناقل الكلوكوز ) غير المرتبط بالصوديوم الى السائل البييني ومنه الى الاوعية الشعرية الدموية ( الشكل - 4 ) .

4- امتصاص الشحوم : يتم امتصاص الشحوم بشكل حموض شحمية وكلسيريديات احادية والقليل من الكلسيريديات ثنائية وثلاثية اذ تنوب كل هذه المواد في الغشاء البلازمي للخلية وتصل الى الجهة الداخلية للخلية بعملية انتشار تخرج منها الى اللف ( الشكل - 5 ) .



الشكل - 5 : امتصاص الدهون ( للاطلاع ) .

حركة الزغابات : تحتوي الزغابات على امتدادات مجهرية تدعى الزغيبات او الزغابات المجهرية Microvilli والتي تضاعف السطح العام للامتصاص بمعدل 20 مرة وبذلك تزيد الطيات والزغابات المجهرية السطح الماص للامعاء الدقيقة 600 مرة مما يجعل المساحة الكلية لهذا السطح مساوية لـ 550 متر مربع تقريبا وهذا يجعل الامتصاص سريع جدا .

تنظم حركة الزغابات بواسطة ظفيرة مايسنر فضلا عن هرمون يدعى Villikinين يفرز من الطبقة المخاطية للاثني عشر وينتقل بواسطة الدم الى الزغابات . اما حركة الطبقة العضلية فتتم بواسطة ظفيرة اورباخ ويتم امتصاص النواتج الهضمية باليات متمثلة بالانتشار والانتشار الميسر والنقل الفعال .

## حركة الامعاء : تتحرك الامعاء بعدة انواع من الحركات كالآتي :

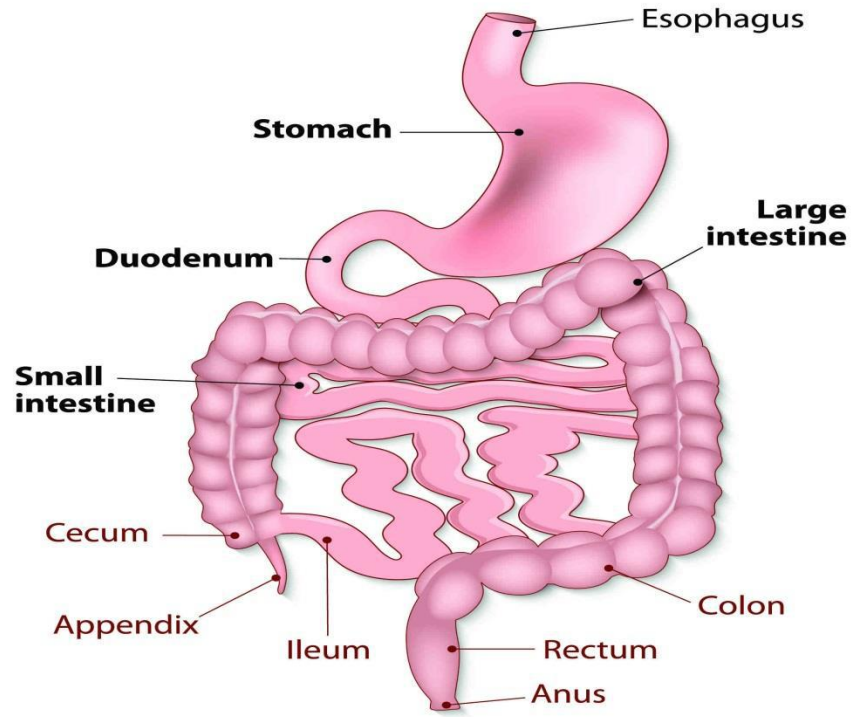
- أ- حركة تجزأ اي التقصص بفترات منتظمة تساعد على تجزئة المواد الغذائية وتكسيرها الى قطع صغيرة .
- ب- حركة تمعجية اي موجة تقلص تتبعها موجة انبساط بصورة متعاقبة وتؤدي الى دفع محتويات الامعاء الى الامام .
- ت- حركة بندولية تؤدي الى رج مكونات الامعاء .
- ث- حركة زغابية وتعني حركة الزغابات ( الزغابات هي البروزات الاصبعية الممتدة الى تجويف الامعاء الدقيقة وبصورة اقل في تجويف الامعاء الغليظة التي تحوي بداخلها شبكة شعرية دموية ووعاء لمفاوي ) التي تساعد على الامتصاص .
- ج- حركة توترية وهي تقلص مستمر للامعاء وتضيق تجويفها بما يساعد على عصر مكونات محتوياتها .
- ح- حركة عكس التمعجية وتعني موجة تقلص تتبعها موجة انبساط بالاتجاه المعاكس مما يؤدي الى عودة بعض مكونات الاثنى عشر الى المعدة في بعض الاحيان .

## النتائج العامة لحركة الامعاء :

- 1- خلط الطعام ومزجه بالافرازات الهاضمة .
- 2- جعل الطعام المهضوم في تماس مع الامعاء مما يساعد على الامتصاص .
- 3- تحريك الطعام ونقله من منطقة الى اخرى في الامعاء .
- 4- طرح بقايا الطعام الى خارج الجسم عن طريق المخرج .
- 5- المساعدة على تدفق الدم واللمف الى جدران الامعاء .

## الامتصاص في الامعاء الغليظة :

يتم امتصاص معظم الماء من الغذاء المهضوم الداخل الى الامعاء الغليظة البالغ نصف لتر في اليوم ولا يبقى منه سوى 100 مليلتر تطرح كغائط . يتم جميع الامتصاص في القولون الصاعد ولذا يسمى القولون الماص ، بينما يعمل القولون النازل على خزن الفضلات حتى طرحها لذا يدعى القولون الخازن ( الشكل - 6 ) .



الشكل - 6 : الجهاز الهضمي ( مناطق القولون الثلاثة ) ، ( للاطلاع ) .