علم الفسلجة Physiology : فرع من فروع علوم الحياة , وهو علم دراسة وظائف الكائن الحي بأكمله أو وظائف أجزائه : (الأعضاء والأنسجة والخلايا وحتى العضيات الموجودة داخل الخلية) .

مجالات الفسلجة : يتضمن علم الفسلجة فروع وتقسيمات عديدة :

فعلم الفسلجة العام General Physiology يعطي صورة عامة موحدة عن الأساسيات المشتركة في اداء الوظائف المختلفة.

نظرا لتنوع الأحياء وكثرة التفاصيل في مجال علم الفسلجة , ظهرت تخصصات فرعية لهذا العلم كفسلجة الأعصاب وفسلجة التكاثر وفسلجة العضلات وفسلجة التنفس وفسلجة التكاثر ..... الخ .

ونظرا لكثرة المعلومات عن الأعداد الكبيرة من الأحياء , ظهر الأهتمام بدراسة أوجه التشابه والأختلاف في اداء الوظائف المختلفة في الأحياء المتنوعة فنشأ علم الفسلجة المقارن Comparative Physiology .

هناك تداخل واضح بين الفسلجة وباقي العلوم مما استدعى ظهور فروع تراعي هذا التداخل , كفسلجة البكتريا وفسلجة الطفيليات وفسلجة الأجنة .

كما ظهرت تخصصات تعنى بمجاميع معينة من الأحياء نظرا لأهميتها من نواحي مختلفة كالناحية الأقتصادية مثلا, ومنها فسلجة الحشرات وفسلجة القشريات وفسلجة الأسماك .

الطرائق التجريبية للفسلجة : هناك طرائق تقليدية للتحقق من وظائف الأعضاء منها مايأتي :

1- استئصال جزء معين من الكائن وملاحظة تأثير فقدان هذا الجزء على فعاليات الكائن الحي .
2- ايقاف عمل عضو معين وملاحظة تأثير هذا الأيقاف على وظيفة العضوومقارنتها بالحالة الطبيعية , ويتم ذلك بأستخدام مواد كيميائية أو بربط الوعاء الدموي الذي يجهز ذلك العضو بالدم .
3- تغيير معدل نشاط عضو معين وملاحظة تأثير ذلك في عمله , كتعريض القلب لدرجات حرارية مختلفة ودراسة تأثير ذلك على معدل النبض .
4- التعويض عن استئصال عضو معين بتجهيز الحيوان بمفرزات ذلك العضو , كأعطاء الثايروكسين للحيوان بعد استئصال غدته الدرقية أو اعطائه الأنسولين بعد استئصال البنكرياس .

المبادىء الأساسية لعلم الفسلجة

1- العلاقة بين التركيب والوظيفة Relation Between Structure and Function:

هناك ترابط وثيق جدا بين التركيب والوظيفة , ولدراسة وظيفة نسيج أو عضو معين لابد من دراسة تركيبه النسيجي وكذلك دراسة التفاعلات الكيميائية المرافقة لأداء هذه الوظيفة .

2- التبادل مع المحيط Exchange with the Environment: هناك تبادل مستمر بين الكائن الحي وبيئته , حيث أن البيئة تشكل مصدرا مهما لتجهيز الكائن بالطاقة والمواد الضرورية للنمو ومتطلبات فعالياته الحيوية , ويتم هذا التبادل بوسائل مختلفة عن طريق اجهزة معينة كالرئتين (O_2 و CO_2) والقناة الهضمية (الغذاء والتخلص من الفضلات) بالأضافة الى الكلية (البول) والجلد (العرق) . ولذلك تكون هذه الأعضاء ذات مساحة سطحية واسعة ومجهزة بعدد كبير من الأوعية الدموية الشعرية مما يزيد من كفاءة عملية التبادل بينها وبين المحيط الخارجي .

3- الأيض Metabolism : وهو مجمل الفعاليات والتفاعلات الكيميائية الحاصلة في الجسم وهو الحصيلة النهائية لعمليتين متداخلتين ومتوازنتين هما :

- **عمليات هدم Catabolism:** وتتضمن تحليل الجزيئات الكبيرة الى جزيئات صغيرة وكذلك أكسدة هذه الجزيئات الى CO_2 وماء, والغرض الرئيس من عمليات الهدم هو تحرير الطاقة الضرورية للنمو والتجديد والقيام بالفعاليات الحيوية.
- **عمليات ابتناء Anabolism:** وتتضمن بناء مواد معقدة من ترابط مواد بسيطة , كبناء البروتينات من ارتباط الأحماض الأمينية عن طريق اواصر ببتيدية, وبناء اللبيدات بأرتباط الكليسرول مع الأحماض الدهنية بأواصر استرية, وبناء السكريات المتعددة من ارتباط سكريات احادية بأواصر كلايكوسيدية. علما أن هذه العمليات تستهلك طاقة.

4- التنسيق الداخلي Internal Coordination : ويعتمد على حجم الكائن الحي , فمثلا في الأحياء وحيدة الخلية كالأميبا والبراميسيوم تكفي الحركة العشوائية للمواد لأنتقال هذه المواد بين أجزاء الخلية فيتحقق التنسيق الكيميائي , كما ان الحركة الدورانية **Cyclosis** (وهي حركة السايتوبلازم داخل الخلية والتي تتم بواسطة الخيوط الدقيقة Microfilaments) تسرع من عملية التنسيق الداخلي, اذ تساعد في انتقال المواد كالماء والأوكسجين والبروتينات وغيرها داخل الخلية. أما في الأحياء الأكبر حجما وأكثر تعقيدا فيجب توفر آليات معينة لغرض التنسيق الداخلي بين الأعضاء والخلايا , وتتم هذه الآليات عن طريق أجهزة متخصصة تشمل مايأتي :

أ- جهاز الدوران الذي يحمل المواد من والى الخلايا .

ب- جهاز الغدد الصم الذي يقوم بتنظيم عمل الاعضاء ويتضمن العديد من الغدد التي تفرز هورموناتها الى الدم الذي يحملها الى الأنسجة والأعضاء المستهدفة لتحفيز أو تثبيط نشاط معين , علما بأن الهورمونات تتميز ببطئ عملها مقارنة مع الجهاز العصبي .

جـ - الجهاز العصبي الذي ينقل الأيعازات العصبية بين أجزاء الجسم المختلفة بسرعة كبيرة جدا

- قد يكون للهرمون الواحد نشاطان متضادان , فالأدرينالين مثلا يعمل على توسيع الأوعية الدموية في العضلات الهيكلية ,بينما يعمل على تضييق الأوعية الدموية للجلد وذلك لغرض تجهيز العضلات بالأوكسجين وكذلك التجهيز بالطاقة الضرورية لتهيئة الحيوان للأجهاد نتيجة التعرض لمواجهة معينة تتطلب منه الكر أو الفرار Fight or Flight .
- التنسيق العصبي مطلوب في الحالات التي تتطلب تنفيذا سريعا يستغرق أجزاء من الثانية كما في حالة الأفعال الأنعكاسية الشوكية , بينما يستغرق التنسيق الهورموني وقتا طويلا للأنجاز

كما ان الأستجابات للتأثيرات الهورمونية تكون طويلة الأمد مما يجعل تحقيقها عن طريق الجهاز العصبي صعبا وتؤدي الى اتعابه لأنها تتطلب توليد سيالات (ايعازات) عصبية متكررة ومستمرة لفترات طويلة .

- لقد وجد بأن الجهاز العصبي وجهاز الغدد الصم يشتركان بآلية تعرف بالتأثير الثنائي المتضاد , حيث يكون نشاط عضو معين محصلة لتأثير هورمونين متضادين أو محصلة تنبيهين عصبيين متضادين وتعرف هذه الآلية بآلية الدفع والسحب Push-Pull Mechanism وهذه الآلية أفضل من ان يكون نشاط العضو واقع تحت تأثير واحد متدرج. ومن الأمثلة على هذه الآلية :

نبض القلب الذي يقع تحت السيطرة العصبية والسيطرة الهورمونية , فبالنسبة للسيطرة العصبية الألياف العصبية الودية تحفز زيادة معدل نبض القلب بينما الألياف العصبية نظير الودية تعمل العكس . وبالنسبة للسيطرة الهورمونية فأن النورادرينالين (النور ابينفرين) يحفز زيادة معدل النبض بينما الأستل كولين يعمل العكس .

5- الأستتباب Homeostasis : ان اهم تأثيرات التنسيق الداخلي هو تحقيق حالة ثبات في البيئة الداخلية للكائن الحي ويمكن التحري عن هذا الثبات عن طريق قياس العديد من المعايير والمعالم التي من المفترض أن تبقى قيمها ثابتة ضمن مقادير معينة ومن الأمثلة على هذه المعايير درجة الحرارة والأس الهيدروجيني (PH) للسوائل الجسمية ومستوى الكلوكوز وتركيز الأيونات في الدم .

ان حالة الأستتباب ضرورية لكي تحافظ الخلايا على تركيبها الكيميائي الضروري لأداء وظائفها ضمن النسيج والعضو , وعند حدوث أي اختلال في حالة الأستتباب فهناك آلية تعمل على اعادة الوضع الطبيعي , وتعرف هذه الآلية بآلية التغذية الراجعة (الأسترجاعية) Feedback Mechanism التي تكون على نوعين :

1- تغذية راجعة موجبة positive Feedback وفيها يؤدي تنشيط عنصر معين الى تنشيط عنصر آخر فمثلا عندما يكون هورمون الأستروجين Estrogen بمستويات متدنية اثناء الدورة الشهرية يتم تحفيز افراز الهورمون المحفز للجريبات Follicle-Stimulating Hormone (FSH) الذي بدوره يحفز افراز الأستروجين وذلك سيؤدي الى زيادة تركيز كل من الأستروجين والـ FSH.

2- تغذية راجعة سالبة Negative Feedback وهي الأكثر شيوعا وفيها يؤدي تنشيط عنصر معين الى تثبيط عنصر آخر ومن أمثلتها :

- عند زيادة مستوى الكلوكوز في الدم يتم افراز هورمون الأنسولين الذي يقوم بتحويل فائض الكلوكوز الى كلايكوجين يخزن في الكبد وهذا يؤدي الى انخفاض مستوى الكلوكوز الى الحد الطبيعي فيتوقف افراز الأنسولين .
- يسيطر الهورمون المضاد للأبالة Antidiuretic Hormone (ADH) الذي يفرز من الفص الخلفي للغدة النخامية على اعادة امتصاص الماء خلال النبيبات الكلوية , حيث يزداد افرازه عند فقدان الجسم للماء وارتفاع الضغط التناضحي للدم فيعمل على اعادة امتصاص الماء خلال النبيبات الكلوية القاصية والقنوات الجامعة فينخفض الضغط التناضحي للدم ويتوقف افراز الهورمون .

6- التنسيق الخارجي External Coordination : ان التغيرات البيئية الخارجية تؤثر على فعاليات وسلوك الكائن الحي . وتمتلك الأحياء القدرة على تحسس المحيط والتفاعل مع المتغيرات التي تطرأ عليه , فالكائنات وحيدة الخلية تعتمد في ذلك على خواص البروتوبلازم الذي يتعامل مع المؤثرات الموجودة في المحيط الخارجي ويكون ذلك تحت سيطرة النواة المسؤولة عن تخليق البروتينات التي تشمل الأنزيمات فضلا عن بعض البروتينات التقلصية التي تسهم في حركة الكائن الحي وحيد الخلية بوساطة اسواطه أو اهدابه استجابة للمنبهات المختلفة كالضوء والحرارة والمواد الكيميائية, بينما تطورت هذه القدرة في الأحياء متعددة الخلايا التي تمتلك جهازا عصبيا وأعضاء حس تمكنها من التفاعل مع البيئة الخارجية , فالفقريات تمتلك مستقبلات تستلم المعلومات من المحيط الخارجي وترسلها الى الجهاز العصبي المركزي عن طريق الألياف العصبية الحسية , ثم تنتقل الأيعازات العصبية الى الأعضاء المنفذة عن طريق الخلايا العصبية الحركية .

- تكون الأستجابات بسيطة بصورة افعال انعكاسية اذا كانت بمستوى الحبل الشوكي دون تدخل الدماغ لكونها تتطلب سرعة في التنفيذ خصوصا في حالات الخطر , أما الأستجابات المعقدة فتتطلب تدخل الدماغ , كما يحدث في حالة السلوك الغريزي كجمع الطعام والهجرة تحسبا لبرد الشتاء أو في حالة التكيف كالسبات أو اتخاذ التدابير من ناحية التغذية والملبس كما في البشر .

فسلجة الأعصاب

يلعب الجهاز العصبي دورا مهما في تنسيق استجابة الحيوان للبيئة الداخلية والخارجية . ويقسم هذا الجهاز من الناحية التشريحية الى :

1- الجهاز العصبي المركزي Central Nervous System الذي يتألف من الدماغ والحبل الشوكي .
2- الجهاز العصبي المحيطي Peripheral Nervous System الذي يشمل الأعصاب المحيطية (القحفية Cranial و الشوكية Spinal) والعقد العصبية Ganglia وجذور ساق الدماغ وجذور الحبل الشوكي .
3- الجهاز العصبي الذاتي Autonomic System الذي يتألف بدوره من :
   a- الجهاز العصبي الودي Sympathetic Nervous System .
   b- الجهاز العصبي نظير الودي Parasympathetic Nervous System .

يتألف الجهاز العصبي من نوعين من الخلايا هما :

1- الخلايا العصبية Nerve Cells (Neurons) : التي تمتاز بقدرتها على التهيج Excitation (انعكاس لجهد الغشاء). والنقل (اي ايصال الأيعاز العصبي) Conduction بالأضافة الى فترة حياتها الطويلة ومعدل أيضها العالي .
2- الخلايا الدبقية Glia Cells : وهي خلايا ساندة غير متهيجة تعمل كنسيج رابط ساند كما انها تعمل على تغذية الخلايا العصبية وحمايتها من المواد السامة .

تكون الخلايا الدبقية على نوعين رئيسيين: الخلاي الدبقية الصغيرة Microglia والخلايا الدبقية الكبيرة Macroglia

1-الخلايا الدبقية الصغيرة Microglia : هي خلايا مناعية في الجهاز العصبي المركزي وهي خلايا متطاولة بروزاتها الشجيرية قصيرة تقوم بالبلعمة لكل مسببات المرض وحطام الخلايا الناجم عن ضرر الجهاز العصبي المركزي كما تقوم بافراز السايتوكينات .

2- الخلايا الدبقية الكبيرة Macroglia : وتكون على انواع

أ-الخلايا النجمية Astrocytes :تقوم بربط الخلايا العصبية مع الاوعية الشعرية الدموية الموجودة بطبقة الام العطوف المحيطة بالدماغ لنقل الغذاء الى الخلايا العصبية .

ب- الخلايا قليلة التشجر Oligodendrocytes : تعملهذه الخلايا على تكوين الطبقة العازلة بوساطة غلافها النخاعيني Myelin sheath فتعمل على تغليف محاور العصبونات في ال CNS فتحقق بذلك عزلا كهربائيا للمحاور .

ج- خلايا شوان Schwann cells : تعمل بوساطة غلافها النخاعيني على تغليف محاورالخلايا العصبية في الجهازالعصبي المحيطي محققة العزل الكهربائي للمحاور .

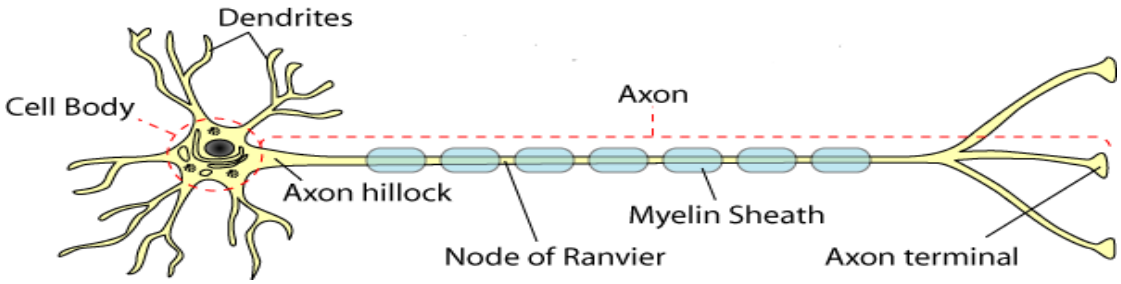
تتألف الخلية العصبية من جسم الخلية Cell Body (Perikaryon) والزوائد Processes

- يحتوي جسم الخلية على النواة والعديد من المايتوكوندريا وجهاز كولجي والجسيمات الحالة والخيوط والنبيبات الدقيقة .
- أما الزوائد فهي نوعان هما:

1- البروزات الشجيرية Dendrites: وهي استطالات قصيرة تنقل الأيعاز العصبي Nerve Impulse الى جسم الخلية العصبية.

2- المحور Axon: وهو عبارة عن استطالة طويلة تنشأ من منطقة في جسم الخلية تدعى بروز المحورAxon Hillock, و يعمل المحور على نقل الأيعاز العصبي من خلية عصبية الى اخرى ويتفرع في نهايته الى عدد من الأفرع التي تنتهي بما يدعى الأزرار النهائية Terminal Buttons أو نهايات المحور Axon Terminals و تحتوي هذه الأزرارعلى حويصلات Vesicles تعمل على خزن الناقل الأشتباكي Synaptic Transmitter

ملاحظة: يطلق على مصطلح الأيعاز العصبي في بعض المصادر مصطلح السيالة العصبية.



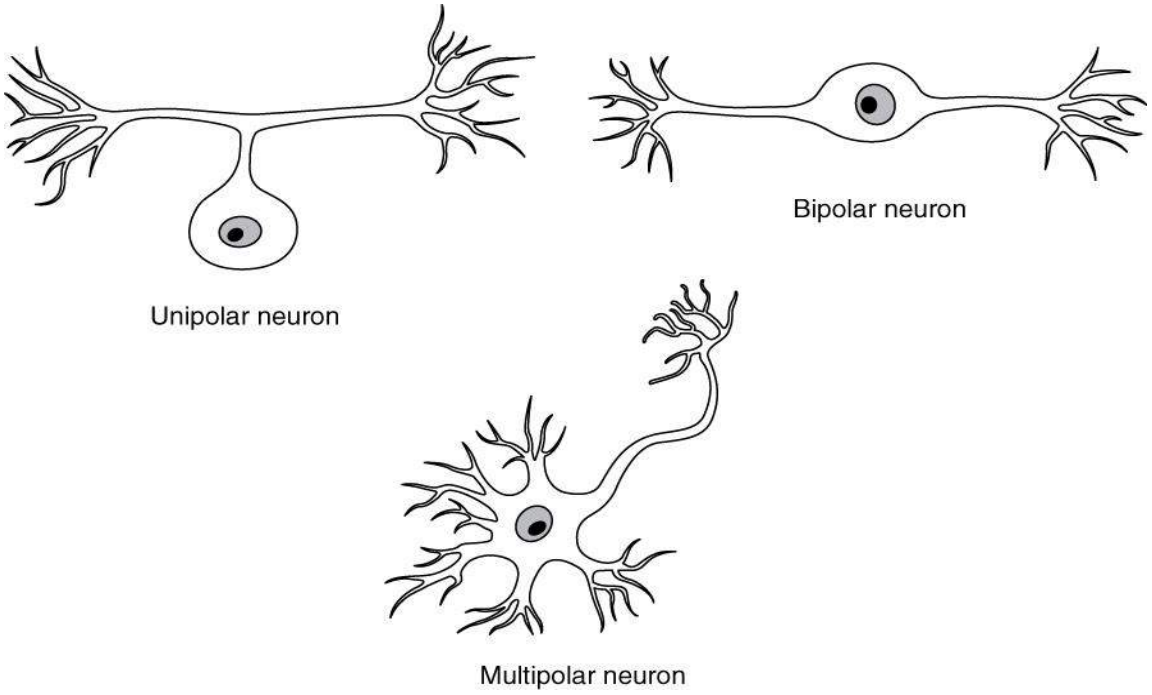
اجزاء الخلية العصبية Neuron

أنواع الخلايا العصبية تبعا للزوائد المتصلة بها

1- الخلايا العصبية احادية القطب Unipolar Neurons

2- الخلايا العصبية ثنائية الأقطاب Bipolar Neurons

3- الخلايا العصبية متعددة الأقطاب Multipolar Neurons



للكائن الحي القدرةعلى التنبه أو التأثر بالمنبهات الخارجية والداخلية وتدعى هذه القدرة بالتأثرية Irritability وهذا يؤدي الى استجابة الكائن (Response) اما بشكل تهيج Excitation او تثبيط Inhibition.

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

العقد العصبية Ganglion: وهو مصطلح يدل على تجمع اجسام الخلايا العصبية الموجودة في الجعاز العصبي الذاتي .

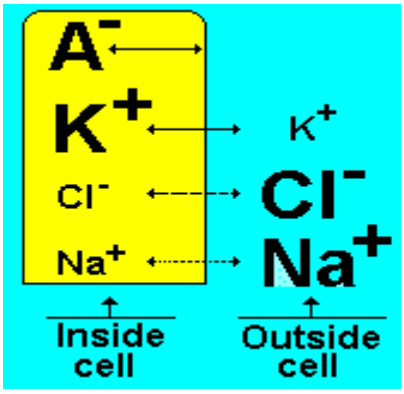
الظواهر الكهربائية للتنبه: للتنبه ثلاث مظاهر كهربائية هي:

1- جهد الراحة Resting Potential:

يكون الغشاء البلازمي في الاحوال الاعتيادية (وضع الراحة دون تاثرها باي مؤثر) لجميع الخلايا ومنها الخلايا العصبية والخلايا العضلية مستقطبا Polarized ، اي هناك فرق في الشحنة على جهتي الغشاء بمعنى وجود فرق في الجهد بحيث يكون السطح الخارجي موجب قياسا بالسطح الداخلي ولو تم قياس الفرق بوضع اقطاب على

جهتي الغشاء لسجل رقم يتراوح من –mv9 الى– mv100 اعتمادا على نوع الخلايا يطلق على الفرق في الشحنة بين جهتي الغشاء اسم جهد الراحة Resting potential ويعطى الاشارة السالبة بمعنى ان السطح الداخلي يكون سالب قياسا بالخارجي ويعود ذلك الى عوامل يمكن ايجازها بما يأتي:

1- الأختلاف في درجة نفاذية غشاء الخلية لبعض الأيونات المهمة فهو شديد النفاذية لآيونات البوتاسيوم (K^+) وقليل النفاذية لآيونات الصوديوم (Na^+) والكلور (Cl^-).
2- الفرق في تركيز آيونات البوتاسيوم بين داخل الخلية وخارجها حيث ان التركيز في الداخل اعلى من التركيز في الخارج بينما يكون تركيز كل من ايونات الصوديوم والكلور في الخارج أعلى من تركيزهما في الداخل .



تراكيز الآيونات على جانبي الغشاء

3- وجود آيونات عضوية سالبة (Anions =A) داخل الخلية العصبية ذات حجم كبير لا تستطيع المرور خلال غشاء الخلية وهذه تشمل البروتينات المتأينة والأحماض العضوية.

تحت تأثير هذه العوامل تخرج كميات قليلة جدا من ايونات البوتاسيوم من داخل الخلية وتتراكم على السطح الخارجي للغشاء بأستمرار فيكتسب شحنة كهربائية موجبة بينما يصبح السطح الداخلي ذو شحنة سالبة وهنا يدعى الغشاء مستقطبا (Polarized).

دور قوتا التركيز والكهربائية في نشوء فرق الجهد:

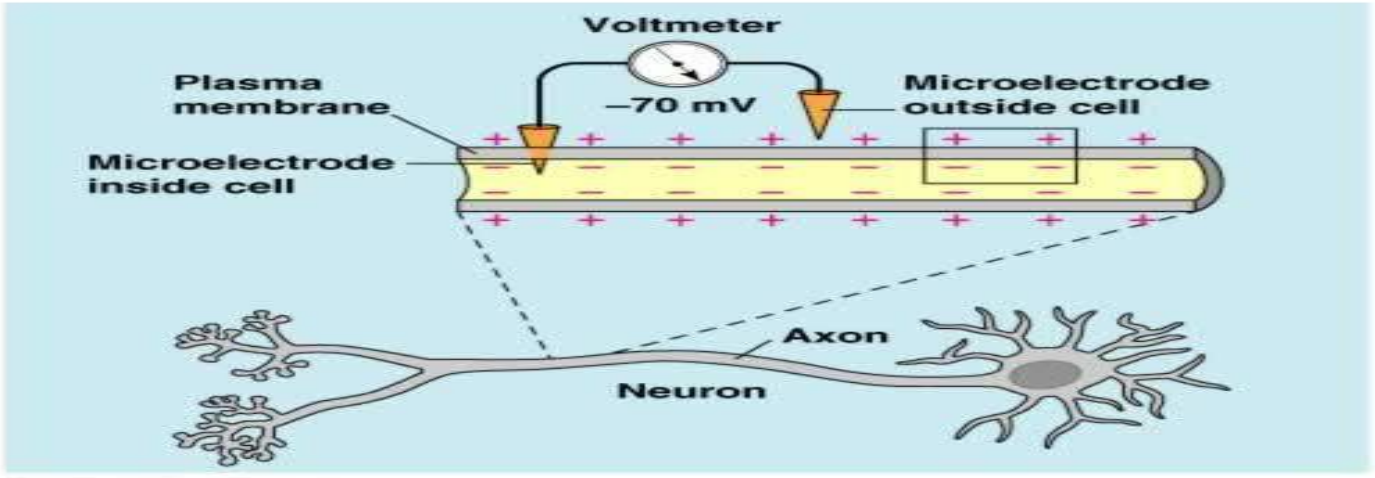
استنادا لما تم ذكره تميل ايونات البوتاسيوم للمغادرة من داخل العصبونة عبرقنوات بروتينية منتشرة في الغشاء البلازمي للعصبونة متخصصة لمرورايونات البوتاسيوم + K دون غيرها من الايونات تدعى قنوات ايونات البوتاسيوم المبوبة فولتيا channels K + Voltage- gatedبالية الانتشار فيصبح داخل الخلية سالبا بالنسبة لخارجها 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 المتاينة ذات الشحنة السالبة العالية في داخل الخلية فقط ، مما يؤدي الى اكتساب الوسط الداخلي للخلية والسطح الداخلي لغشاء الخلية الشحنة السالبة قياسا بماهو 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.



جهد الراحة في الليف العصبي

2- جهد الفعل Action Potential:

عند تحفيز الليف العصبي تتغير نضوحية غشاءه فيصبح شديد النضوحية لآيونات الصوديوم بينما تقل نضوحيته لآيونات البوتاسيوم ونظرا لوجود آيونات الصوديوم بتركيز اعلى خارج الليف العصبي فأن جزءا من هذه الآيونات يدخل الليف العصبي مما يؤدي الى انخفاض في فرق الجهد على جانبي الغشاء وتدعى هذه العملية زوال استقطاب (Depolarization) وبأستمرار هذه العملية يتساوى الجهد الكهربائي على جانبي

الغشاء أي يصبح فرق الجهد الكهربائي صفرا ولكن العملية لا تتوقف عند هذا الحد وانما تستمر الى ان يصبح السطح الخارجي سالبا بالنسبة للسطح الداخلي وهذا يدعى بأنقلاب الأستقطاب .

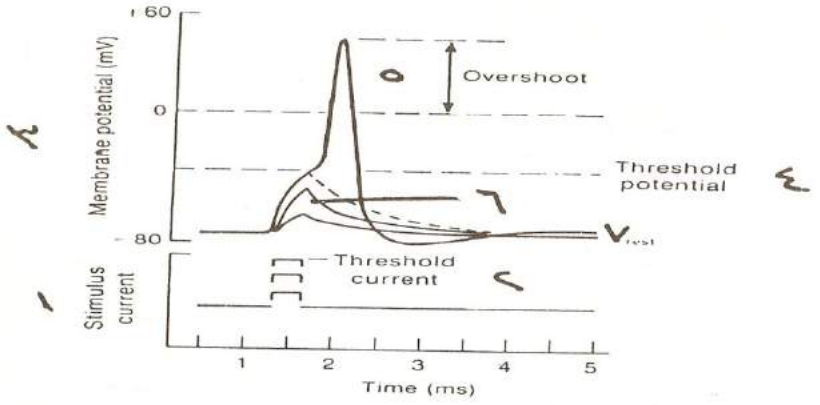
- لا يقتصر هذا التغير الكهربائي على منطقة التحفيز بل يسري من نقطة الى اخرى من غشاء الليف العصبي وهذا السريان في جهد الفعل هو الأيعاز العصبي Nerve Impulse.

- ان هذا التغير في نضوحية غشاء الليف العصبي للآيونات والذي يسبق تولد الأيعاز العصبي يكون قصير العمر لا يتجاوز اكثر من بضع مليثواني في اية منطقة محدودة من الغشاء وبعدها يعود الغشاء الى خواصه النضوحية السابقة أي يصبح مرة اخرى اكثر نضوحية لآيونات البوتاسيوم مما هو لأيونات الصوديوم حيث يؤدي ذلك الى خروج كمية من آيونات البوتاسيوم وتراكمها على السطح الخارجي لغشاء الليف العصبي وبذلك يعود الغشاء الى وضعه السابق من الأستقطاب أي يصبح السطح الخارجي موجبا بالنسبة الى السطح الداخلي من جديد وتدعى هذه العملية عودة الأستقطاب (Repolarization).

أما ايونات الصوديوم التي دخلت فيتم التخلص منها بآلية النقل الفعال أو مضخة الصوديوم- البوتاسيوم Sodium-Potassium Pump التي تتطلب صرف طاقة لذلك تتوقف هذه الآلية عند تعرض الليف الى مثبطات ايضية كالسيانيد .

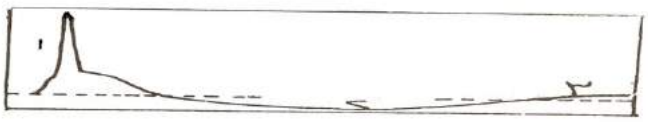
- ان مجمل العمليات التي تشمل زوال استقطاب وانقلابه ومن ثم عودته مرة اخرى الى جهد الراحة يشكل مايدعى بجهد الفعل.

- يظهر جهد الفعل على شاشة المخطاط الذبذبي (Oscilloscope) بشكل موجة حادة يشار لها بالشوكة (Spike) لذلك يطلق عليه بجهد الشوكة Spike Potential حيث تنطلق الموجة من مستوى جهد الراحة (70 -) ملي فولت لتبلغ مستوى الصفر ثم تتجاوزه لتبلغ الذروة (40 +) ملي فولت التي تمثل اقصى درجة لأنقلاب الأستقطاب ثم تنخفض لتعود الى فرق جهد يساوي صفرا ثم تنحدر دون الصفر الى ان تصل الى مستوى جهد الراحة يتبع ذلك جهد تلوي يدعى الجهد التلوي السالب (negative after-potential) ثم جهد تلوي يدعى الجهد التلوي الموجب (positive after-potential) قبل ان يستقر النشاط الكهربائي في المنطقة المنبهة عند جهد الراحة .



خاصية المتبة

١ . تيارات المنبه
٢ . تيارات المتبة
٣ . جهد الغشاء
٤ . جهد المتبة
٥ . جهد الفعل (ظهور السيالة)
٦ . جهد موضعي
٧ . جهد تلوي



شكل يوضح جهد الفعل و الجهود التلوية

١- جهد الفعل ٢- الجهد التلوي السالب ٣- الجهد التلوي الموجب

يمكن قياس فرق الجهد آليا بأستخدام جهاز المخطاط الذبذبي أو حسابيا (نظريا) بأستخدام معادلة نيرنست (Nernst equation): وحسب الصيغ الآتية:

1- قياس جهد الراحة

$$E_k = -58 \text{ Log } \frac{[K^+]\, i}{[K^+]o}$$

حيث ان E_k تمثل جهد التوازن للبوتاسيوم وتمثل جهد الراحة

$[K^+]i$ تمثل تركيز البوتاسيوم داخل الخلايا مقسوماً على $[K^+]o$ التي تمثل تركيز البوتاسيوم خارج الخلايا . (o = out) (i= in)

أي أن قيمة جهد الراحة الناتج عن فرق التركيز في ايونات البوتاسيوم بين داخل الخلية وخارجها يعادل 58 مضروبا x لوغاريتم التركيز الداخلي / التركيزالخارجي لأيونات البوتاسيوم , والقيمة سالبة لكون السطح الداخلي للغشاء في حالة الراحة يكون سالبا .

2- قياس جهد الفعل

$$E_{Na} = 58 \text{ Log } \frac{[Na^+]o}{[Na^+]i}$$

حيث E_{Na} تمثل جهد التوازن للصوديوم وتمثل جهد الفعل ويلاحظ في المعادلة تقسيم تركيز الصوديوم في الخارج على تركيزه في الداخل وذلك لأن تدفق الأيون بعد التحفيز يكون من الخارج الى الداخل , والقيمة هنا موجبة لكون السطح الداخلي في هذه الحالة يصبح موجبا .

3- التوتر الكهربائي (الجهد الموضعي) Electrotonus

عندما يحفز الليف العصبي بمنبه دون حد العتبة الخاصة به فأنه يفشل في توليد جهد فعل منتشر على هيئة ايعاز عصبي أي بعبارة اخرى يحدث زوال استقطاب جزئي للغشاء يتلاشى بسرعة ويعود الغشاء الى وضع الراحة دون قيام جهد فعل و توليد سيالة عصبية.

- العتبة Threshold: هي ادنى قوة حافز تحدث استجابة في الليف العصبي.
- عند استخدام رجات كهربائية متتالية ذات شدة دون العتبة قد تتآزر الجهود الموضعية وتولد جهد فعل سارٍ .
- لكي يتولد جهد الفعل ويسري في الليف العصبي يجب ان ينخفض جهد الراحة في منطقة التحفيز بمقدار الثلث على الأقل اما اذا كان زوال الأستقطاب اقل من ذلك فأن التبدل الكهربائي يكون موضعيا وسرعان ما يضمحل في مكانه دون ان يتحول الى جهد فعل سارٍ في الليف العصبي.

الخصائص التجريبية للتنبه :

1- العتبة Threshold:

ان الحوافز الضعيفة لاتحدث استجابة في الليف العصبي أي لا تولد ايعازا عصبيا ولكن عند وصول الحافز الى شدة معينة كافية لتوليد ايعاز عصبي يقال بأن هذا الحافز او المنبه قد وصل الى حد العتبة وهنا تبلغ الأستجابة اقصى حد لها ولا تزداد بزيادة شدة الحافز ويطلق على هذه الخاصية قانون الكل أو اللا شيء (All or none law) علما بأن الألياف العضلية تخضع لهذا القانون ايضا.

2- التلاؤم Accomodation:

عند تعرض الليف العصبي الى حافز يعاني غشاء الليف من عمليتين متضادتين اولاهما عملية التنبه والأخرى عملية مقاومة المنبه حيث تعمد الثانية الى تقليل تأثير المنبه او تأخير الأستجابة وهذا يعرف بالتلاؤم ويحدث عندما يكون المنبه دون حد العتبة.

3- زمن العصيان Refractory Period:

ليتم تحفيز الليف العصبي يجب ان يكون في حالة الراحة أي يكون غشاءه مستقطبا ولا يمكن تنبيهه عندما يكون في حالة زوال استقطاب او انقلاب استقطاب وعليه يمتنع الليف العصبي عن الأستجابة ثانية اذا كان الفاصل الزمني بين الحافزين قصير جدا (2 ملي ثانية أو اقل) وتسمى هذه الفترة الزمنية بزمن العصيان المطلق (Absolute Refractory Period) .

- عندما تكون الفترة الزمنية بين الحافزين اكثر من ذلك فأن الليف العصبي يستجيب بشرط زيادة شدة الحافز عن حد العتبة و عندها يطلق على الفترة الزمنية بين الحافزين بزمن العصيان النسبي (Relative Refractory Period).

- عندما تكون الفترة الزمنية بين الحافزين (20-15) ملي ثانية او اكثر تتولد استجابة خاصة بكل حافز أي ان قوة الحافز المطلوبة تكون قريبة من حد العتبة كلما ازداد الزمن بين الحافزين المتتاليين.

المحاضرة الثانية

التوتر الكهربائي (الجهد الموضعي) Electrotonus

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

1 - موضعية Local بمعنى انها لاتلتقط 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

الخصائص التجريبية للتنبه :

1- العتبة Threshold:

ادنى قوة منبه (حافز) ضرورية لاحداث ايعازا عصبيا اذ ان تولد الايعاز العصبي يتبع قانون الكل أو اللا شيء (All or none law) بمعنى ان الايعازلا يتولد اذا كان دون العتبة ولكن اذا وصل التنبيه الى حد العتبة سيتولد ايعاز عصبي ساري وهنا تبلغ الأستجابة اقصى حد لها ولا تزداد بزيادة شدة الحافزعلما بأن الألياف العضلية تخضع لهذا القانون ايضا.

2- التلاؤم Accomodation:

ان كان المنبه المسلط على الليف العصبي دون العتبة ستتولد عمليتان متضادتان الاولى محاولة الاستجابة للتنبيه وتوليد جهد فعل والثانية عملية مقاومة المنبه حيث تعمد الثانية الى تقليل تأثير المنبه او تأخير الأستجابة وهذا يعرف بالتلاؤم.

3 - زمن العصيان Refractory Period:

وهي الفترة التي يمتنع فيها غشاء الليف العصبي عن الاستجابة لمنبه بالرغم من كونه بمستوى العتبه لكون الليف بحالة استجابه لمنبه سابق اي انه بمرحلة زوال استقطاب وتقسم زمن العصيان الى

زمن العصيان المطلق (Absolute Refractory Period) وهي حالة امتناع الليف العصبي عن الاستجابه لحافز ثاني اذا كان الفاصل الزمني بين الحافزين قصير جدا (2 ملي ثانية أو اقل) .

- زمن العصيان النسبي (Relative Refractory Period) وهي استجابة الليف العصبي لحافز ثاني اذا زادت الفترة الزمنية بين الحافزين عن 2 ملي ثانية مع زيادة شدة المنبه

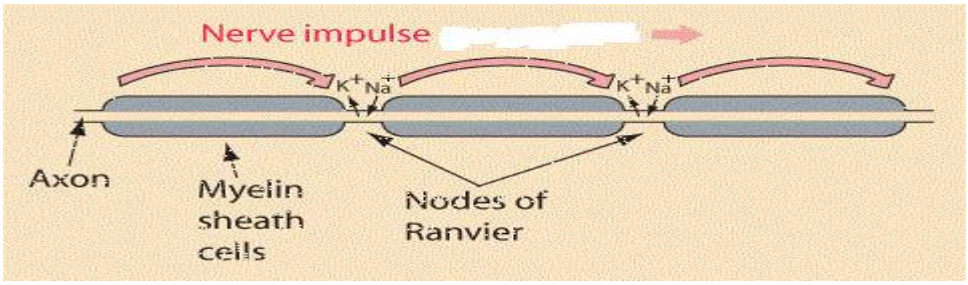
- عندما تكون الفترة الزمنية بين الحافزين (20-15) ملي ثانية او اكثر تتولد استجابة خاصة بكل حافز أي ان قوة الحافز المطلوبة تكون قريبة من حد العتبة كلما ازداد الزمن بين الحافزين المتتاليي

تعتمد سرعة سريان الأيعاز العصبي على العوامل الآتية:

1- **نوع الحيوان**: حيث تكون سرعة الايعازات العصبية في الحيوانات متغيرة درجة الحرارة اوطأ مما في الحيوانات الثابتة درجة الحرارة , وفي اللا فقريات اوطأ مما في الفقريات, كما انها تكون في الحيوانات الخاملة اوطأ مما في الحيوانات النشطة حتى في الأنواع المتقاربة.

2- **الغلاف الدهني (النخاعيني)** Myelinated Sheath: حيث تكون سرعة الأيعاز في الألياف ذات الغلاف الدهني Myelinated Fibers أكبر من سرعته في الألياف غير المغلفة حيث يعمل التغميد (احاطة المحاور بالغلاف الدهني لخلايا شوان) على عزل المحور عن السائل خارج الخلية ولن يتعرض له الا في المناطق العارية من الغلاف النخاعيني (عقد رانفير) ولكون الايونات الذائبة في الماء هي الحاملة للشحنات عبر الغشاء لذلك سيتعرض الغشاء للايونات فقط في المناطق العارية من الغلاف النخاعيني (عقد رانفير) لذلك سينتقل الايعاز العصبي قافزا عبر خلايا شوان حتى يصل للمناطق العارية

اي ينتقل الايعازالعصبي بالقفز من عقدة رانفير الى اخرى على طول الليف العصبي وهذا يدعى بالسريان الوثبي (Saltatory Conduction).



السريان الوثبي للأيعاز العصبي

3- **قطر الليف العصبي:** حيث تتناسب سرعة الأيعاز العصبي طرديا مع قطر الليف العصبي أي ان الألياف العصبية السميكة اسرع في ايصال الأيعاز مقارنة بالألياف النحيفة.

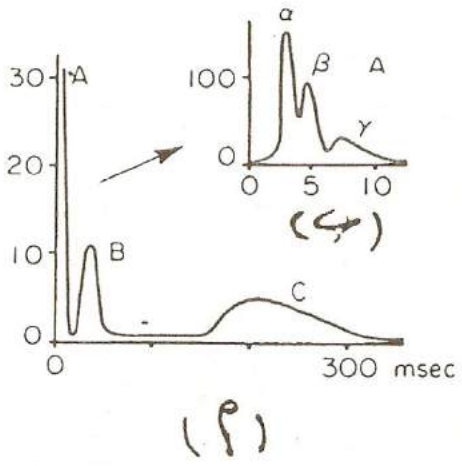
جهد الفعل المركب Compound Action Potential :

يحتوي العصب المحيطي على عدد من الألياف العصبية المختلفة في اقطارها وفي كونها مغلفة او غير مغلفة بغلاف دهني كما ان الياف العصب الواحد تختلف في درجة استقطابها مما يؤدي الى اختلاف في اطوال شوكاتها وهذا يقود الى تعقيد في تسجيل النشاط الكهربائي للعصب وعليه قام عدد من الباحثين بتحليل نشاط العصب المحفز وتصنيف الألياف العصبية الى ثلاث مجاميع رئيسية هي (A , B , C) اعتمادا على حجم وسرعة شوكاتها :

- حيث تمثل المجموعة A الألياف الحركية والحسية للدماغ والحبل الشوكي كأ لياف الحس العضلي واللمس والحرارة والألم وتمتاز بشوكاتها الكبيرة والسريعة. بينما تمثل المجموعتان B و C الياف ذات شوكات صغيرة وبطيئة كألياف الجهاز العصبي الذاتي من النوع غير المحاط بغلاف دهني.

- وهناك من قسم هذه المجاميع الى مجاميع ثانوية فالمجموعة A مثلا قسمت الى المجاميع الثانوية:

الفا (α) و بيتا (β) و كاما (γ) كما في الشكل :



جهد الفعل المركب
(أ) جهد الفعل المركب للعصب الوركي في الضفدع
(ب) جهود فعل الالياف ضمن مجموعة (A)

المستقبلات Receptors:

لكي يتسجيب الكائن الحي بطريقة مناسبة للتغيرات التي تحصل في البيئة لابد من تجهيز الجهاز العصبي بمعلومات دقيقة عن تلك التغييرات وهي وظيفة المستقبلات اذ ان المستقبلات هي محطات لتحويل الطاقة الكهرومغناطيسية أو الميكانيكية أو الكيميائية التي يتعرض لها الحيوان في بيئته (الخارجية والداخلية) الى طاقة كهربائية على هيئة سيالات عصبية , ان تخصص المستقبل لحافز معين كالضغط او الضوء او الحرارة يعود الى كون الحافز له القدرة على تغيير نفوذية غشاء المستقبل للآيونات.تقسم المستقبلات وفقا الى موقعها في الجسم الى ثلاثة أنواع هي:

1- المستقبلات الخارجية Exteroceptors: التي تقع على سطح الجسم وتتحفز بالتغيرات التي تحدث في البيئة الخارجية وتشمل مستقبلات اللمس والألم والضغط والحرارة والشم والبصر والسمع.
2- المستقبلات الداخلية Interoceptors: التي تقع في الأحشاء الداخلية وتتحفز بالتغيرات التي تحدث في درجة حرارة الجسم وضغط الدم وتركيز الآيونات والمواد الكيميائية وضغوط الغازات.

3- المستقبلات الذاتية Proprioceptors: التي تقع في العضلات الهيكلية والأوتار وتتحفز بالتغيرات التي تحدث في توتر هذه التراكيب.

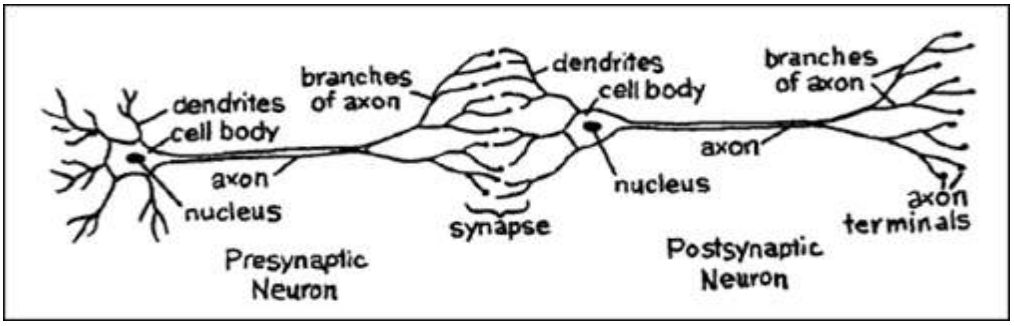
- ان وظائف المستقبلات تتلخص بـأستلام الطاقة وتحويلها, وانتقال الحافز المناسب , كما ان للمستقبلات القدرة على تضخيم طاقة المحفز ليصبح قادرا على احداث فرق جهد كهربائي يكفي لأحداث الأستجابة.

- في العادة يتخصص مستقبل واحد لنوع واحد من الحوافز ولكن هناك حالات معينة يستجيب فيها المستقبل لأكثر من نوع من الحوافز كما هو الحال مع المستقبل الضوئي photoreceptor الذي يمكن ان يتنبه بالضغط ايضا, فمثلا عند ضغط جانب من مقلة العين المغلقة اثناء الظلام تظهر للشخص بقعة زرقاء اللون.

انتقال التنبه :

لوحظ عند حقن مادة تدعى بالكيوراري (ويلفظ ايضا الكوراري أو الكورار) Curare (وهي مادة كانت تستخدم قديما من قبل سكان امريكا الجنوبية حيث تطلى بها نهايات الرماح عند القتال او الصيد لتصيب الفريسة بالشلل) عند حقنها في الضفدع وجد بأنه يصاب بالشلل دون حدوث اذى للأعصاب او العضلات حيث اكتشف بأن تأثيره ينحصر في منطقة التقاء العصب بالعضلة ومن هنا جاءت فكرة التشابك العصبي أو المشبك العصبي Nerve Synapse وهو محل التقاء نهاية محور الليف العصبي مع خلية عصبية اخرى وهو اتصال وظيفي وليس تشريحي .تشير فكرة التشابك العصبي الى ان التنبه ينتقل من الخلية العصبية قبل المشبكية Presynaptic nerve cell ويستقبل من الخلية العصبية بعد التشابك Postsynaptic nerve cell ويوجد بينهما فسحة تدعى الفالق الاشتباكيSynaptic Cleft مملوءة بمادة مخاطية متعددة السكريات.

يختلف ترتيب المشابك العصبية ولكن بصورة عامة فأن نهايات محاور الخلايا العصبية قبل التشابك العصبي تقترب من الزوائد الشجيرية ومن اجسام الخلايا بعد المشابك. أي لايوجد اتصال فعلي بين سايتوبلازم او غشاء الخليتين العصبيتين بل توجد فسحة بين التفرعات النهائية لمحور الخلية قبل التشابك والتفرعات الشجيرية لجسم الخلية بعد التشابك ومع ذلك ينتقل الأيعاز العصبي من الخلية الأولى الى الثانية وعليه فأن الأتصال وظيفي وليس تشريحي.



تشابك عصبي-عصبي (أي بين خليتين عصبيتين)

للمشبك العصبى اربعة خصائص هى:

1- القطبية Polarity : حيث ان انتقال المنبه يسلك اتجاها واحدا من الخلية قبل المشبك الى الخلية بعد المشبك ولا ينتقل بالأتجاه المعاكس.
2- الأبطاء Delay: حيث ان الزمن الذي يتطلبه انتقال الأيعاز العصبي عبر المشبك اكبر من الزمن اللازم لقطع المسافة نفسها على الليف العصبي.
3- التيسير Facilitation : ان انتقال الأيعاز الى الخلية بعد التشابك يعتمد على عدد جهود الفعل التي تتولد في الخلية قبل المشبك وقد تفشل جهود فعل متعددة في عبور الأيعاز الى الخلية بعد المشبك لضعف ترددها او لقلة عددها.
4- التثبيط Inhibition: حيث لايصل الأيعاز العصبي الى الخلية العصبية بعد المشبك اذا عرضت الخلية قبل المشبك الى مثبط معين.

التركيب المجهري الدقيق للمشابك العصبية:

يتفرع محور الخلية العصبية (أي الليف العصبي) في نهايته الى فروع عديدة وتنتهي هذه الفروع بتراكيب منتفخة تدعى الأزرار النهائية Terminal Buttons او الأقدام النهائية End Feet وهذه الأقدام النهائية مناطق نشطة وظيفيا وتحوي عددا كبيرا من المايتوكوندريا وعدد كبير من اكياس تختزن مادة تدعى بالناقل الكيميائي وهو الذي له اهمية كبيرة في انتقال الأيعاز العصبي من خلية عصبية الى اخرى وهذه الأكياس تدعى بحويصلات التشابك Synaptic Vesicles .

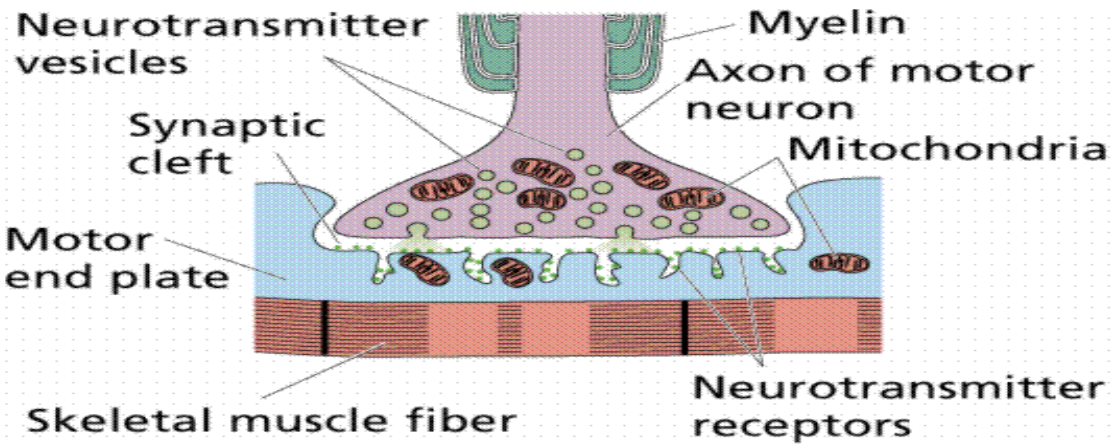
تفصل بين الخليتين العصبيتين فجوة تدعى بالفالق المشبكي Synaptic Cleft تحوي مادة مخاطية متعددة السكريات Mucopolysaccharides.

انواع انتقال السيالة العصبية

يوجد نوعان من النقل للسيلة العصبية الاول انتقال كيميائي والثاني انتقال كهربائي

1- الأنتقال الكيميائي Chemical Transmission:

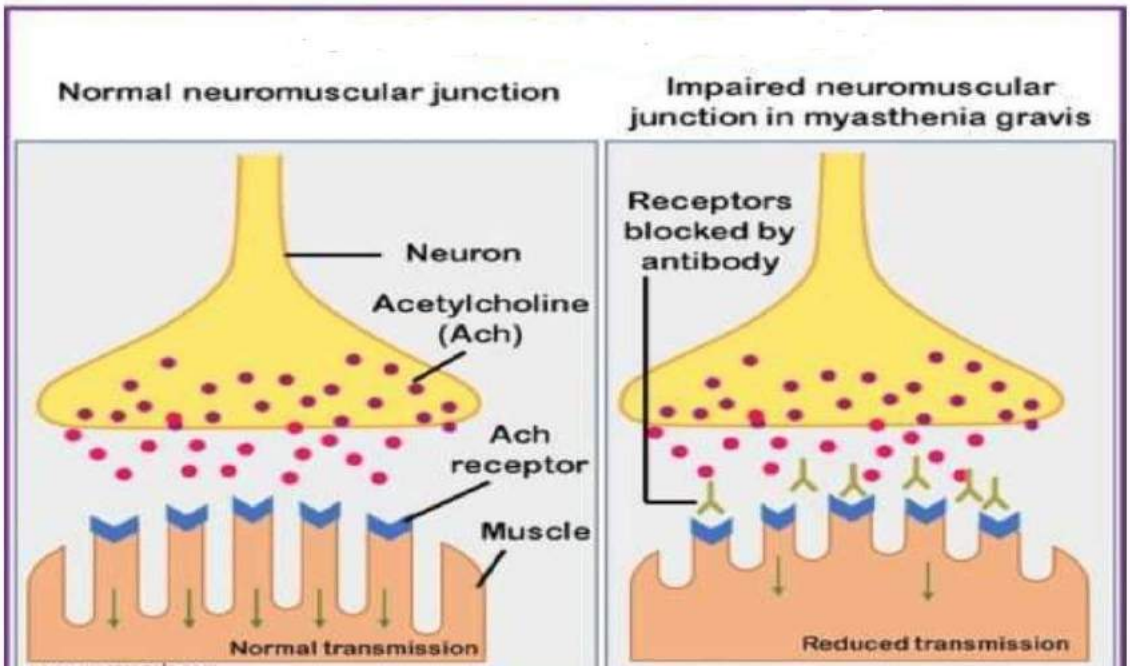
عند وصول الأيعاز العصبي الى نهاية فروع المحور في الخلية العصبية قبل التشابك يؤدي الى فتح قنوات في غشاء الأزرار النهائية تسمح بدخول ايونات الكالسيوم Ca^{++} وترتبط هذه الآيونات مع حويصلات التشابك وتؤدي الى اندماج هذه الحويصلات مع غشاء الأزرار النهائية وتفرغ محتوياتها من الناقل الكيميائي الى الفالق المشبكي بوسيلة الأخراج الخلوي وعند وصول جزيئات الناقل الكيميائي الى الغشاء بعد المشبك ترتبط بمستقبلاتها على الغشاء مما يؤدي الى تبدل في نفاذية الغشاء بعد التشابكي حيث تفتح قنوات لمرور ايونات الصوديوم وهذا يؤدي الى حدوث زوال استقطاب في غشاء الخلية بعد التشابكية ومن ثم يتولد ايعاز عصبي (اذا كانت الخلية بعد التشابك خلية عصبية) او يحدث تقلص عضلي (اذا كانت الخلية بعد التشابك ليف عضلي).



ملتقى عصبي-عضلي (اي بين نهاية خلية عصبية وليف عضلي)

- في حالة الملتقى العصبي - العضلي الهيكلي ينتهي القدم النهائي عند منطقة على الليف العضلي تدعى بالصفيحة النهائية الحركية Motor End Plate وفي هذه الحالة يكون الناقل الكيميائي الموجود في الحويصلات التشابكية هو الأستل كولين Acetylcholine وتدعى المشابك في هذه الحالة بالمشابك الكولينرجية cholinergic Synapses .

هناك حالة مرضية من امراض المناعة الذاتية تدعى بالوهن العضلي الوبيل Myasthenia Gravis وفيها تعمل الأجسام المضادة على غلق مستقبلات الأستل كولين فتفقد العضلة قدرتها على التقلص.



الوهن العضلي الوبيل Myasthenia Gravis

- تستخدم مادة تدعى Tetrodotoxin (TTX) لمنع نشوء جهد الفعل لغرض اظهار التغيرات التي تمهد لتولده ووجد بأن جهد الفعل في الليف العضلي يكون مسبوقا بجهد يدعى جهد الصفيحة النهائية (EPP) End Plate Potential .

- بعد حدوث زوال الأستقطاب الضروري لحدوث عملية التقلص العضلي يجب ان يعود الغشاء الى حالة الأستقطاب مرة اخرى ليتمكن الليف العضلي من التقلص مرة ثانية أي يجب ان يزال الناقل الكيميائي ويتم ذلك في حالة الأستل كولين بواسطة انزيم يدعى كولين استريز (Cholinesterase) الذي يحلل الأستل كولين الى كولين و حامض الخليك على سطح الغشاء بعد المشبك ويتم امتصاص الكولين وتعاد استرته الى استل كولين في الأزرار النهائية .

- يمكن ابطال عمل انزيم الكولين استريز بواسطة مادة تدعى الأيزرين Eserine او بواسطة بعض المبيدات والغازات السامة وبذلك يترك الأستل كولين حرا فيرتبط بالغشاء بعد التشابك ويمنع عودة استقطابه او يتلف المستقبلات على هذا الغشاء وبذلك يتلف الملتقى العصبي العضلي وقد يؤدي ذلك الى الوفاة .

- ان الآلية التي تسيطر على عمل المشابك العصبية بين خليتين عصبيتين لا تختلف من حيث الأساس عما تم ذكره حول التشابك العصبي - العضلي حيث يتولد جهد بعد المشبك Post Synaptic Potential (PSP) بدلا

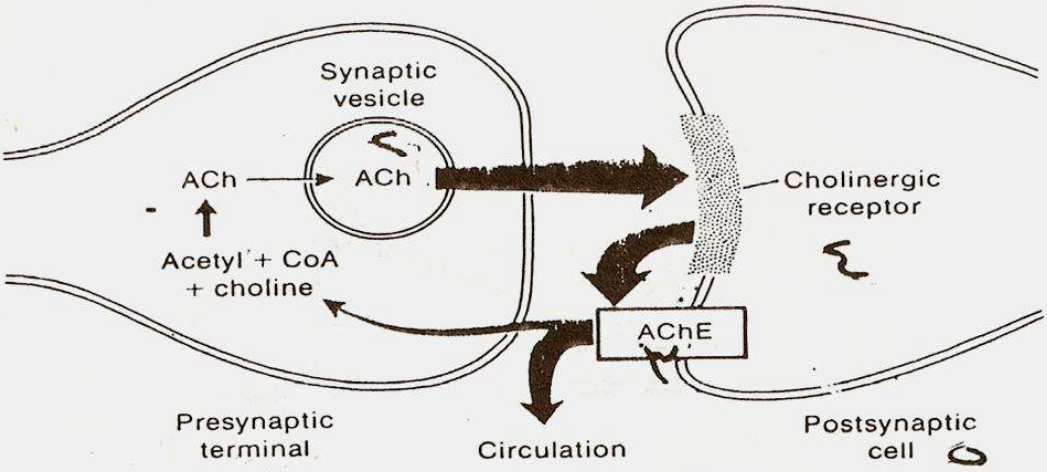
عن جهد الصفيحة النهائية الحركية (EPP). والجهد بعد المشبك اما يكون جهدا مهيجا (حيث يكون بأتجاه انخفاض جهد الغشاء نحو العتبة مما يؤدي الى تهيج الخلية العصبية بعد التشابكية لذلك يدعى بالجهد مابعد التشابكي التهيجي Excitatory Post Synaptic Potential (EPSP) و يحدث نتيجة تسهيل دخول ايونات الصوديوم واحداث زوال استقطاب في غشاء الخلية بعد المشبك.

أو يكون جهدا مثبطا (أي يكون بأتجاه زيادة جهد الغشاء Hyperpolarization مما يؤدي الى اعاقة حدوث استجابة اذ يؤدي الى زيادة نفاذية غشاء الخلية بعد المشبك لآيونات الكلور والبوتاسيوم أو كليهما فيحدث فرط استقطاب وتثبيط. ويدعى في هذه الحالة بالجهد مابعد المشبكي التثبيطي Inhibitory Post Synaptic Potential (IPSP) .

- ان النهايات العصبية الودية تفرز مادة النورادرينالين التي تؤثر في العضلات الملساء وفي هذه الحالة تدعى المشابك بالمشابك الأدرينرجية Adrenergic Synapses حيث يتم تحضير النورادرينالين من الحامض الأميني (الانين) الذي يتحول الى التايروسين الذي يتحول بدوره الى مركب يدعى دوبا وهذا يتحول الى الدوبامين الذي يدخل الى حويصلات التشابك ثم يتحول الى النورادرينالين.

- ان المادة التي تقوم بتحليل النورادرينالين هي انزيم مونوأمين اوكسديز Monoamine Oxidase.

- يمتص بعض النورادرينالين من النهايات قبل المشبك بعد تحرره ويعطل قسم منه بعملية المثيلة Methylation ويحمل مع الدم للتخلص منه اما النورادرينالين الذي يعاد الى الأزرار النهائية فيتم خزنه في الحويصلات التشابكية مرة ثانية أو يتم تحليله بفعل انزيم مونوأمين اوكسديز في المايتوكوندريا.



بناء الناقل الكيمياوي الاستيل كولين

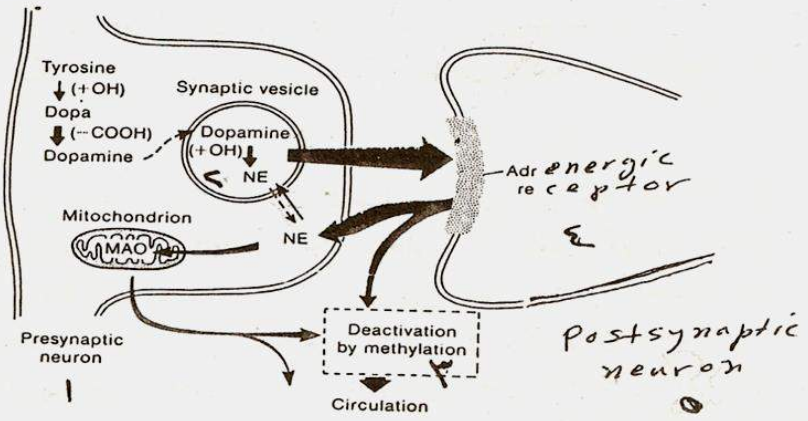
١ . العصبة قبل المشبك

٢ . حويصلة مشكية تختزن **Ach**

٣ . الانزيم **AChE** بغلق جزيئة **Ach** الى كولين ، يعاد امتصاصه من قبل العصبة قبل المشبك ونواتج اخرى تزال بالدوران .

٤ . المتسلمات الكولنرجية .

٥ . العصبة بعد المشبك .



بناء الناقل الكيمياوي النورادرينالين **NE**

١ . العصبة قبل المشبك

٢ . حويصلة مشبكية يحصل في داخلها تحول الدوبامين الى النورادرينالين

٣ . اتلاف النورادرينالين بالمثلة والتخلص من النواتج عن طريق الدوران

٤ . متسلمات ادرينالجية في الغشاء بعد المشبك

٥ . العصبة بعد المشبك .

العصبة = الخلية العصبية

بناء النواقل الكيميائية (الأستل كولين و النورادرينالين)

المحاضرة الثالثة

البناء الحيوي للناقل استيل كولين

يبنى هذا الناقل في الخلايا العصبية الفارزة له المسماة بالخلايا العصبية الكولينرجية cholinergic Neurons ويتكون هذا الناقل من مركبين هما استيل كو انزيم Acetyl co enzyme A والكولين Choline .

يبنى الناقل استيل كولين موضعيا في ازرار نهاية الليف العصبي للخلايا العصبية الكولينرجية اما الانزيم اللازم لبنائه والذي يدعى كولين استيل ترانسفيريز (Choline Acetyl Transferase ChAT)فيبنى في اجسام الخلايا العصبية ثم ينتقل بجريان السايتوبلازم الى نهايات المحاور . يساعد انزيم ChAT على بناء الناقل استيل كولين اذ يحفز على نقل مجموعة الاستيل Acetyl Group من المركب

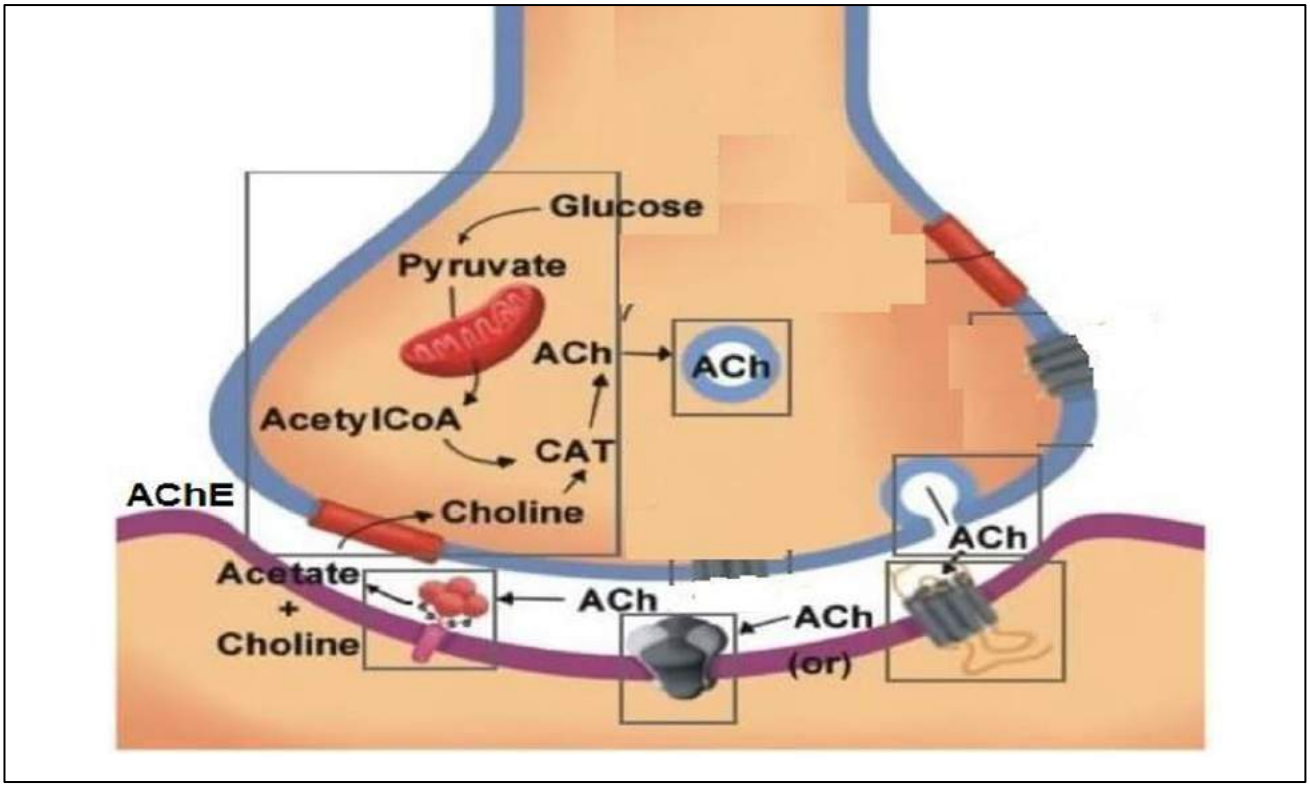
Acetyl co enzyme A الى الكولين وفق التفاعل التالي

$$\text{Choline + Acetyl co enzyme A} \longrightarrow \text{Ach+ co enzyme A}$$

ثم ينقل الاستيل كولين ليخزن في الحويصلات الاشتباكية .

ان تخليق الاستيل كولين محدد يتركيز الكولين داخل الخلية العصبية اما المركب Acetyl co enzyme A فيتم بنائه في المايتوكوندريا عن طريق اكسدة حامض البايروفيك الى حامض الخليك Acetate .

بعد قيام الاستيل كولين بعمله في نقل الاشارة العصبية يتحلل الاستيل كولين Ach الى Acetate و Choline بمساعدة انزيم Achestrase الموجود في الغشاء العصبي بعد الاشتباكي فيعود الكولين الى الزر قبل الاشتباكي لاعادة استخدامه في تكوين الاستيل كولين مرة ثانية كما توجد مصادر اخرى للكولين وهي بلازما الدم ومن تكسير المركب Phosphatidylcholine الموجود في غشاء الزر الاشتباكي كما في الشكل التالي



البناء الحيوي للناقل الكيميائي الاستيل كولين

دور الاستيل كولين في نقل الاشارة العصبية الى الخلية العصبية بعد الاشتباكية

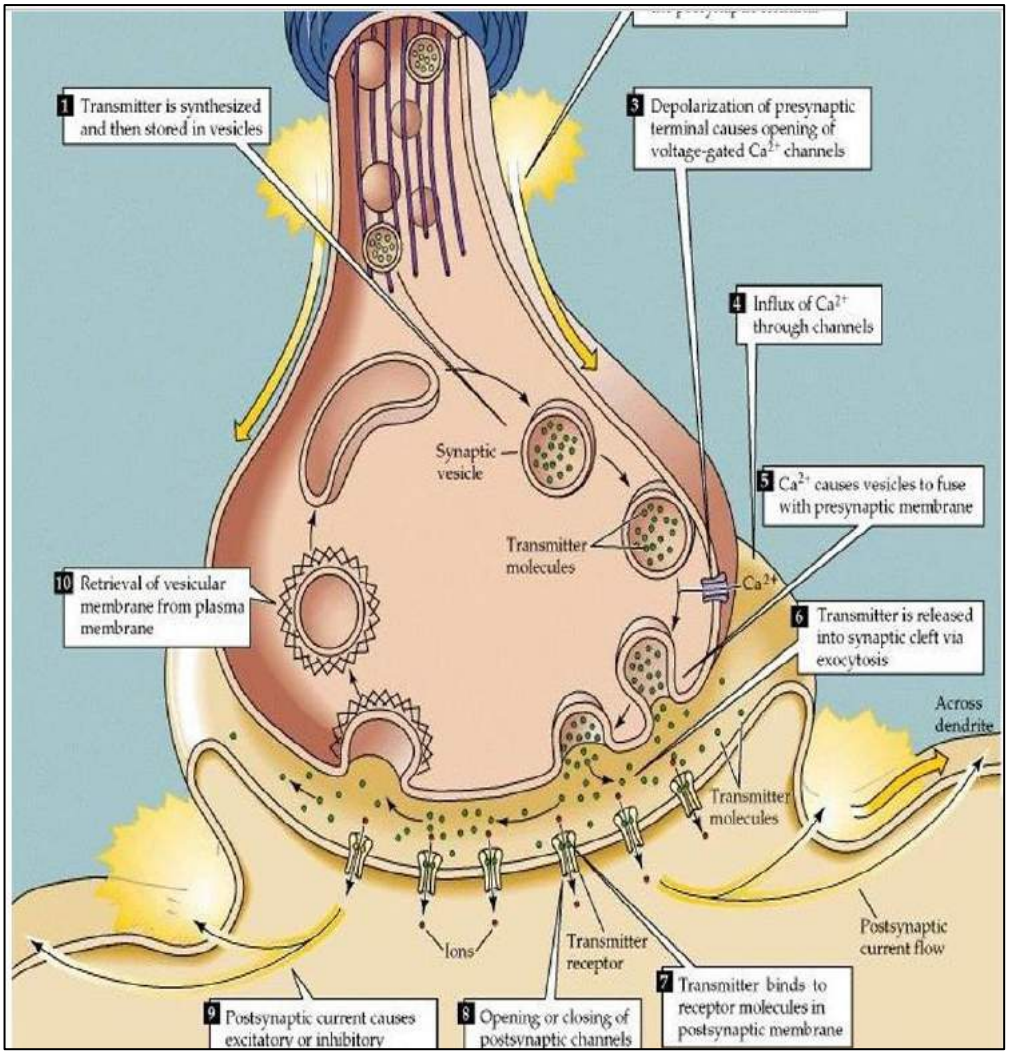
بوصول الايعاز العصبي الى نهاية المحور للخلية العصبية قبل الاشتباكية ولوجود الفالق الاشتباكي لايمكن للاشارة العصبية من عبور الفالق المشبكي كأشارة كهربائية عندئذ تتحول الى اشارة كيميائية ويتم ذلك بحوادث متسلسلة كالاتي

1. تتمثل الاشارة الكيميائية بارتفاع موضعي لتركيز ايونات الكالسيوم في سايتوبلازم الزر الاشتباكي فعند وصول الايعاز العصبي الى منطقة الزر الاشتباكي يؤدي ذلك الى انفتاح قنوات ايون الكاليسيوم المبوبة فولتيا Voltage gated Ca^{+2} Channel ثم دخول ايونات الكالسيوم فيرتفع تركيزه من 0.1 مايكرومول وصولا الى 1 حتى يبلغ 100 مايكرومول مما يؤدي الى حركة الحويصلات وارتباطها بغشاء الزر الاشتباكي مسببة اندماج الحويصلات بالغشاء البلازمي وحصول اطلاق لمحتوياتها بعملية الاخراج الخلوي Exocytosis بينما تحصل عملية تدوير لاغشية الحويصلات المندمجة باعادتها الى الزر الاشتباكي اي يعاد تكوين الحويصلات مرة ثانية اما فائض ايونات الكالسيوم فيتم ضخه خارج الزر الاشتباكي بعملية النقل الفعال (التي تحتاج الى طاقة) مما يخفض مستوى ايونات الكالسيوم داخل نهاية الليف العصبي فيصبح مهيأ 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 النفاذية للغشاء بعد التشابكي (انفتاح قنوات ايونات الصوديوم).
3. بدخول ايونات الصوديوم عبر قنواتها الى داخل الخلية بعد الاشتباكية يتغير جهد الغشاء اي تحدث عملية زوال استقطاب Depolarization اي يؤدي الى تهيج في الخلية العصبية بعد الاشتباكية وهذا التغير في جهد الغشاء يدعى جهد التهيج بعد الاشتباكي Excitatory Post Synaptic Potential (EPSP) او يؤدي الى الجهد التثبيطي بعد الاشتباكي Inhibitory Post Synaptic Potential (IPSP)

أي يكون بأتجاه زيادة جهد الاستقطاب Hyperpolarization مما يؤدي الى اعاقة حدوث استجابة اذ يؤدي الى زيادة نفاذية غشاء الخلية بعد المشبك لآيونات الكلور والبوتاسيوم أو كليهما فيحدث فرط استقطاب وتثبيط ويعتمد الجهد التهيجي والتثبيطي على كمية الناقل المتحرر الى الشق الاشتباكي .

4. يقوم انزيم استيل كولين استريز **AchE** الموجود في الغشاء بعد الاشتباكي بتحليل الاستيل كولين الى كولين واستيت ليعود جهد الغشاء الى جهد الراحة مرة ثانية (عودة استقطاب).

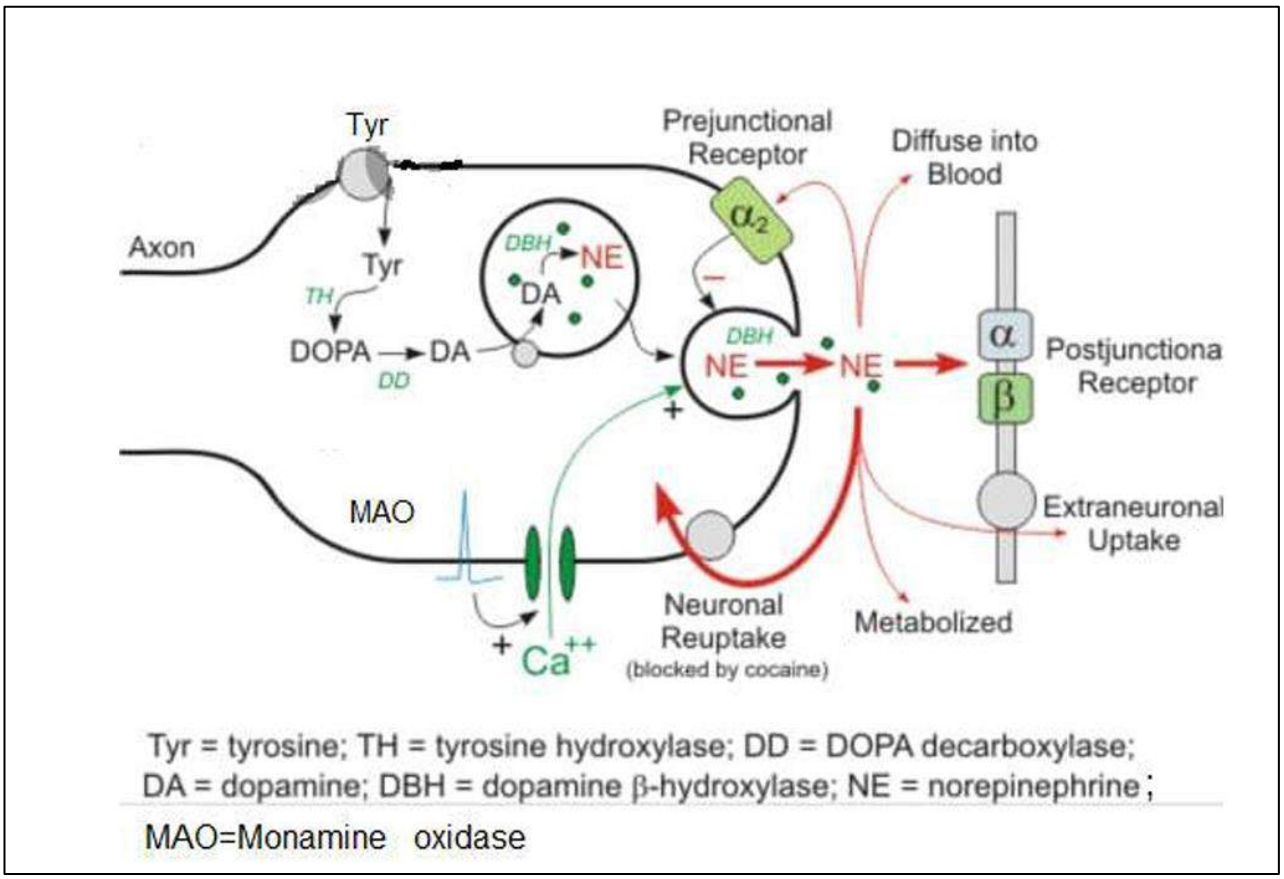


تدوير اغشية الحويصلات للاطلاع

البناء الحيوي للناقل الكيميائى النورادرينالين او النور ابينفرين

يتحول الحامض الاميني Alanine الى الحامض الاميني Tyrosine الذي ينتقل الى الخلايا العصبية الفارزة للادرينالين حيث يتحول الى Dopa بوجود انزيم Tyrosine hydroxylase وذلك باضافة مجموعة OHالى التايروسين اي حصول عملية Hydroxylation ثم يعاني ال Dopa عملية ازالة مجموعة الكاربوكسيل فيتحول الى Dopamine دوبامين . يدخل الدوبامين الى الحويصلات الاشتباكية فيتحول فيها الى نورادرينالين وذلك باضافة مجموعة الهايدروكسيل OH . اما مصير النورادرينالين بعد افرازه واداء دوره فيعاد امتصاص قسم منه في النهايات العصبية قبل الاشتباكية الفارزة له ويتم خزنه في الحويصلات التشابكية لاستخدامه مرة ثانية أو يتم تحليله بفعل انزيم مونوأمين اوكسديز Monoamine Oxidase في المايتوكوندريا ويعطل قسم منه بعملية المثيلة

Methylation بمساعدة انزيم (**COMT**) Catechol methyltransferase وينقل الناتج النهائي من عملية تحليل النورادرينالين الى الدم ثم التخلص منه بطرحه مع البول .

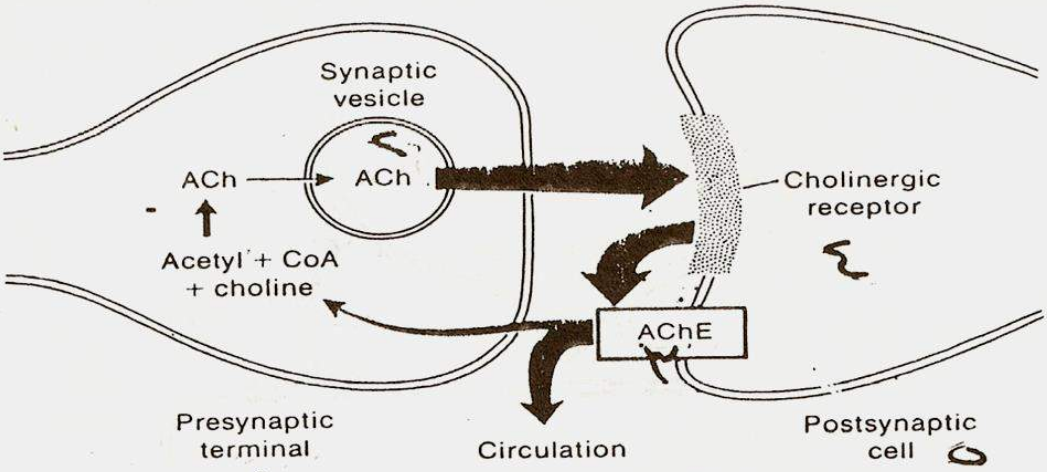


البناء الحيوي للناقل الكيميائي النورادرينالين

- ان النهايات العصبية الودية تفرز مادة النورادرينالين التي تؤثر في العضلات الملساء وفي هذه الحالة تدعى المشابك بالمشابك الأدرينرجية Adrenergic Synapses حيث يتم تحضير النورادرينالين من الحامض الأميني (الانين) الذي يتحول الى التايروسين الذي يتحول بدوره الى مركب يدعى دوبا وهذا يتحول الى الدوبامين الذي يدخل الى حويصلات التشابك ثم يتحول الى النورادرينالين.

- ان المادة التي تقوم بتحليل النورادرينالين هي انزيم مونوأمين اوكسديز Monoamine Oxidase.

- يمتص بعض النورادرينالين من النهايات قبل المشبك بعد تحرره ويعطل قسم منه بعملية المثيلة Methylation ويحمل مع الدم للتخلص منه اما النورادرينالين الذي يعاد الى الأزرار النهائية فيتم خزنه في الحويصلات التشابكية مرة ثانية أو يتم تحليله بفعل انزيم مونوأمين اوكسديز في المايتوكوندريا.



بناء الناقل الكيمياوي الاستيل كولين

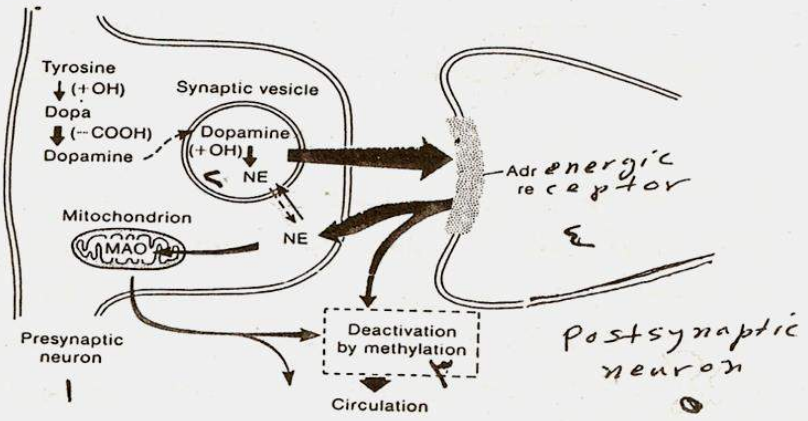
١ . العصبة قبل المشبك

٢ . حويصلة مشكية تختزن **Ach**

٣ . الانزيم **AChE** بغلق جزيئة **Ach** الى كولين ، يعاد امتصاصه من قبل العصبة قبل المشبك ونواتج اخرى تزال بالدوران .

٤ . المتسلمات الكولنرجية .

٥ . العصبة بعد المشبك .



بناء الناقل الكيمياوي النورادرينالين **NE**

١ . العصبة قبل المشبك

٢ . حويصلة مشبكية يحصل في داخلها تحول الدوبامين الى النورادرينالين

٣ . اتلاف النورادرينالين بالمثلة والتخلص من النواتج عن طريق الدوران

٤ . متسلمات ادرينالجية في الغشاء بعد المشبك

٥ . العصبة بعد المشبك .

العصبة = الخلية العصبية

بناء النواقل الكيميائية (الأستل كولين و النورادرينالين)

2-الأنتقال الكهربائي Elecetrical Transmission:

وهو انتقال الأيعاز العصبي بين خليتين عصبيتين بشكل كهربائي وليس كيميائي اي بنفس الآلية التي يسري بها الأيعاز على طول الليف العصبي وذلك عن طريق سريان تيارات موضعية ويوجد هذا النوع من المشابك الكهربائية في مواقع مختلفة من الجهاز العصبي المركزي وفي الألياف العضلية القلبية والخلايا العصبية لبعض الأسماك والسرطان النهري ولكي يتحقق هذا النوع من الأنتقال يجب توفر بعض الشروط التي تشمل:

1- تمر التيارات الموضعية المتولدة في الأزرار النهائية الى الخلية العصبية المجاورة بدون ان يحدث تسريب جانبي كبير لها عبر الفالق المشبكي.
2- ان تكون التيارات الموضعية كبيرة بما يكفي لتوليد جهد فعل في الخلية بعد المشبك وكلما كان الفالق المشبكي ضيقا ازدادت امكانية حدوث الأنتقال الكهربائي .
3- الأبطاء في حالة المشابك الكهربائية اقل مقارنة بالمشابك الكيميائية.
4- القطبية موجودة في حالة كون المشابك الكهربائية داخل الجسم ولكن تنعدم هذه الخاصية في التحضيرات المفصولة من الجسم حيث عندها يمكن حدوث الأنتقال بالأتجاهين وهذا لا يحدث في حالة المشابك الكيميائية لأن قنوات دخول الآيونات في الغشاء بعد التشابك تخضع لآلية كيمياوية ولا تفتح بطرق كهربائية .
5- يحدث الأنتقال الكهربائي بين الخلايا العصبية فقط ولا يحدث بين خلية عصبية وخلية عضلية.

التزود (التجهيز الثنائي) Dual Innervation:

ان اكثر الأعضاء الداخلية كالقلب والقناة الهضمية والغدد اللعابية تكون مزودة بألياف عصبية مابعد عقدية ودية ونظير ودية .

- هناك اعضاء اخرى كالغدد العرقية ومعظم الأوعية الدموية الصغيرة والعضلات المحركة للشعر تكون مزودة بألياف ودية فقط .
- عند التزود الثنائي قد يعمل النوعان من الألياف العصبية بصورة متضادة (تضاد) Antagonism كما في الحالتين الآتيتين:

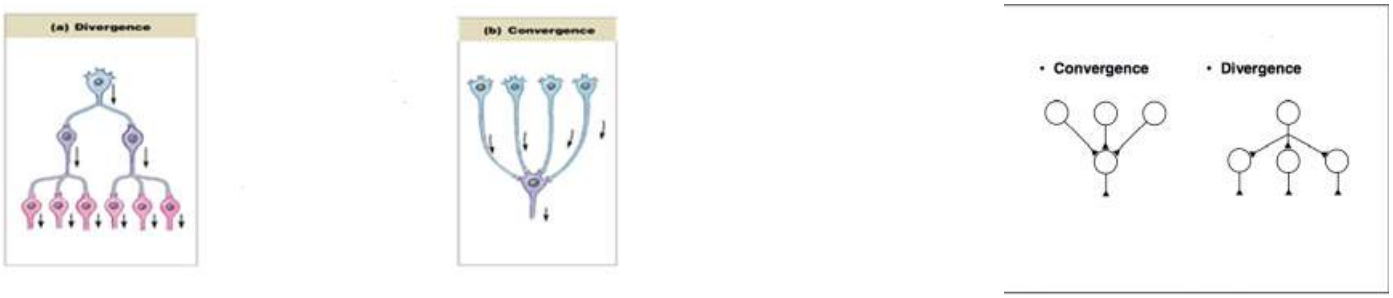
1- الألياف نظير الودية تقلل من ضربات القلب بينما الودية تزيد من هذه الضربات.

2- الأمر معكوس في القناة الهضمية حيث تزيد الألياف نظير الودية من حركة الجدران العضلية وتزيد من كمية الأفراز بينما الألياف الودية تهدىء القناة الهضمية (علما بأن نشاط العضو المعين يعتمد على التوازن بين شدة تحفيز كلا النوعين من الألياف)

- قد يعمل النوعان من الألياف العصبية الودية ونظير الودية بشكل متآزر (تآزر) Synergism كما في حالة الغدد اللعابية حيث يعمل كلا التحفيزين الودي ونظير الودي على تنشيط هذه الغدد مع ان نوع اللعاب ومحتواه الأنزيمي يعتمد على النسبة بين النوعين من التحفيز.

الطرز العصبية Neural Patterns:

عند اشتباك خلية عصبية بينية مع عدد من الخلايا العصبية الحركية يؤدي ذلك الى تفريق الأيعاز العصبي وتدعى هذه الحالة بالتباعد Divergence بينما قد تصل لخلية عصبية حركية واحدة عدد من الأيعازات العصبية عن طريق عدد من الخلايا العصبية البينية مما يؤدي الى تضخيم الأستجابة ويدعى ذلك بالتقارب Convergence .



الطرز العصبية Neural Patterns

المنعكسات (الأفعال الأنعكاسية) Reflexes وتشمل

المنعكس The reflex هو حركة تظهر كاستجابة لحافز معين وهو الوحدة الوظيفية للجهاز العصبي

القوس الانعكاسي Reflex arc هو الوحدة التركيبية للجهاز العصبي وهو يمثل الترابط البسيط بين الخلايا العصبية في الجهاز العصبي

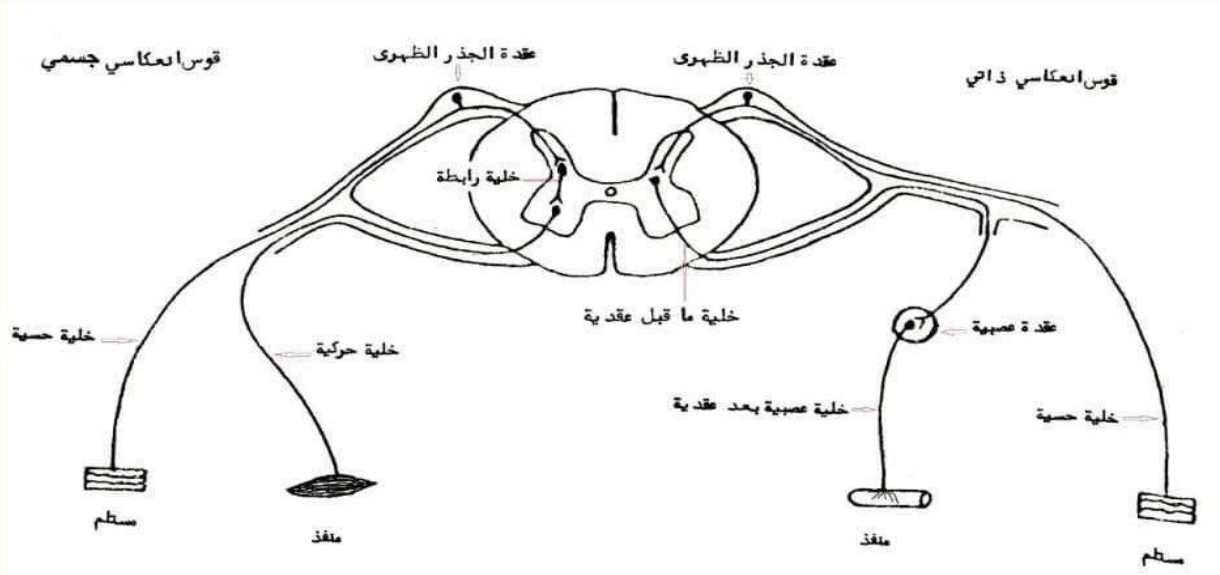
تقسم المنعكسات الى :

1- منعكسات جسمية Somatic Reflexes : تنظم علاقة الحيوان ببيئته الخارجية تقع جميع الاقواس الجسمية في الحبل الشوكي ويتألف القوس الأنعكاسي Reflex Arc المسؤول عنها من العناصر الآتية : مستقبل Receptor, خلية حسية (واردة) Afferent Nerve Cell , خلية حركية (صادرة) Efferent Nerve Cell , منفذ Effector وقد تربط بين الخلايا العصبية في القوس الأنعكاسي خلايا عصبية رابطة (بينية) Connecting Nerve Cells.

<u>نموذج يمثل المنعكسات الجسمية:</u>

منعكس نفضة الركبة Knee Jerk وهو من ابسط الأفعال الأنعكاسية يحدث عند الضرب تحت منطقة الركبة ويسمى هذا المنعكس بالمنعكس احادي التشابك Monosynaptic Reflex حيث يتكون القوس الأنعكاسي المسؤول عنه من مستقبل شد عبارة عن مغزل عضلي وخلية حسية واردة وخلية عصبية حركية والعضو الهدف هو العضلة الرافعة للساق .حيث يؤدي ضرب وتر هذه العضلة الى سحبها وتقلصها فتركل الساق الى الأمام .

2-منعكسات ذاتية Autonomic Reflexes: تنظم فعاليات الأعضاء الداخلية تقع الاقواس الانعكاسية الذاتية في الدماغ والحبل الشوكي ويتألف القوس الأنعكاسي المسؤول عنها من العناصر الآتية : مستقبل , خلية عصبية واردة , خلية عصبية قبل عقدية , خلية عصبية بعد عقدية , منفذ .



مكونات القوس الأنعكاسي الذاتي (يمين) و القوس الأنعكاسي الجسمي (يسار)

انواع الاقواس الانعكاسية وفقا لعدد الاشتباكات العصبية التي تتضمنها

تقسم الاقواس الانعكاسية وفقا لعدد الاشتباكات العصبية الى

1-**اقواس انعكاسية احادية التشابك Monosynaptic reflex arc :**هو قوس انعكاسي يتكون من خليتين عصبيتين هما motor and sensory neuron اي يوجد فيه اشتباك عصبي واحد مثل منعكس نفضة الركبة

2-**اقواس انعكاسية متعددة التشابك Multi synaptic reflex arc :** هي اقوس انعكاسية يوجد فيها اكثر من تشابك عصبي Sensory, Connecting Nerve Cell and motor neuron

نماذج لمنعكسات ذاتية :

أ- **المنعكس الودي المنظم لضغط الدم:** ويشتمل قوسه الأنعكاسي على مجموعة من الخلايا العصبية تدعى بالمركز المحرك الوعائي Vaso Motor Center تقع في النخاع Medulla وهذه الخلايا تتحكم بسعة الأوعية الدموية وبالتالي تتحكم بضغط الدم.

ب- **منعكس تنظيم درجة حرارة الجلد:** ويؤدي وظيفته عن طريق التحكم في سعة الأوعية الدموية للجلد وبالتالي التحكم في سرعة جريان الدم في هذه الأوعية الدموية .

جـ - منعكس هيرنك- بروير Hering- Breuer Reflex : وينظم عملية الشهيق

- عند الشهيق تتسع الرئتان مما يؤدي الى احداث شد على مستقبلات الشد في الرئتين فتتحفز وينتقل ايعاز عصبي بواسطة الخلايا العصبية الواردة التابعة للعصب التائه الى مركز التنفس لغرض تثبيط عملية الشهيق حيث ترتخي العضلات التنفسية ويعود القفص الصدري الى حجمه قبل الشهيق فتصغر الرئتان ويخرج منهما هواء وهذا هو الزفير ويدعى المنعكس الناتج عن تحفيز مستقبلات الشد بمنعكس هيرنك - بروير.

فسلجة العضلات

تعد العضلات نسيجا متخصصا للتقلص والحركة .كما ان الحركة ميزة مهمة في الكائنات الحية اذ تقترن بتقلص العضلات. وتعتمد الحركة على وجود البروتينات المتخصصة للقيام بالتقلص ومن اهم هذه البروتينات بروتين الاكتين والمايوسين لذا تعد العضلات اجهزة متخصصة لتحويل الطاقة الكيمياوية الى طاقة ميكانيكية.

انواع العضلات

1- **العضلات الهيكلية Skeletal Muscles :** عضلات مخططة Striated تمتلك القدرة على التقلص القوي والسريع ولكنها تتعب بسرعة. وهي عضلات ارادية اذ تقع عادة تحت سيطرة المراكز القشرية في الدماغ (مع امكانية تقلصها لا راديا كما يحدث في حالة الأفعال الأنعكاسية الشوكية التي تتطلب سرعة كبيرة فضلا عن تقلص العضلات التنفسية كعضلة الحجاب الحاجز والعضلات بين الأضلاع بدون تدخل ارادي), وتحتاج هذه العضلات الى الأعصاب لتؤدي عملها (اي اصل التقلص فيها عصبي المنشا) اي انها تصاب بالشلل والضمور عند قطع او تلف العصب المرتبط بها لكونها لاتمتلك القدرة على التقلص ذاتيا . يكون التقلص مسبوقا بجهد فعل ويستمر جهد الفعل الذي يسبق تقلص العضلة الهيكلية فترة قصيرة حوالي (8-10) ملي ثانية وهذه الفترة أقصر بكثيرمن الفترة التي يستغرقها جهد الفعل في العضلة القلبية. تكون قيمة جهد الغشاء عند الراحة حوالي (90-) ملي فولت وتمتلك شبكة ساركوبلازمية جيدة التكوين .

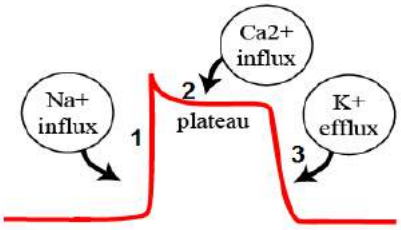
2- **العضلات القلبية Cardiac Muscles :** تكون الياف العضلات القلبية اسطوانية متفرعة تحتوي على نواة مركزية الموقع وهي عضلات مخططة لا ارادية تمتلك القدرة على التقلص الذاتي اي اصل النبض فيها عضلي المنشا كما انها مزودة باعصاب ذاتية تعمل على تحوير التقلص وفق الحالة الفسلجية وتتميز العضلات القلبية بخاصيتين هما:

1- النسقية اذ انها تتقلص وتنبسط بالتعاقب 2- التوصيل اذ ان اليافها المتفرعة المتشابكة تسهل انتقال جهود الفعل فيما بينها انتقالا كهربائيا مما يؤدي الى انتشار النشاط الكهربائي في العضلة ككل. ويتميز جهد الفعل الذي يسبق تقلص العضلات القلبية بالمراحل الآتية:

1- زوال استقطاب سريع (بسبب الزيادة السريعة في نفاذية ايونات الصوديوم الى الداخل Na^+ influx) .

2- هضبة plateau (ناتجة عن زيادة بطيئة وطويلة في نفاذية ايونات الكالسيوم الى الداخل Ca^{++} influx) .

3- عودة استقطاب بطيئة (بسبب الزيادة المتأخرة في نفاذية ايونات البوتاسيوم الى الخارج K^+ influx) . وبذلك قد تصل فترة جهد الفعل الذي يسبق تقلص هذه العضلات الى حوالي (300) ملي ثانية وتكون قيمة جهد الغشاء عند الراحة حوالي (80-) ملي فولت.



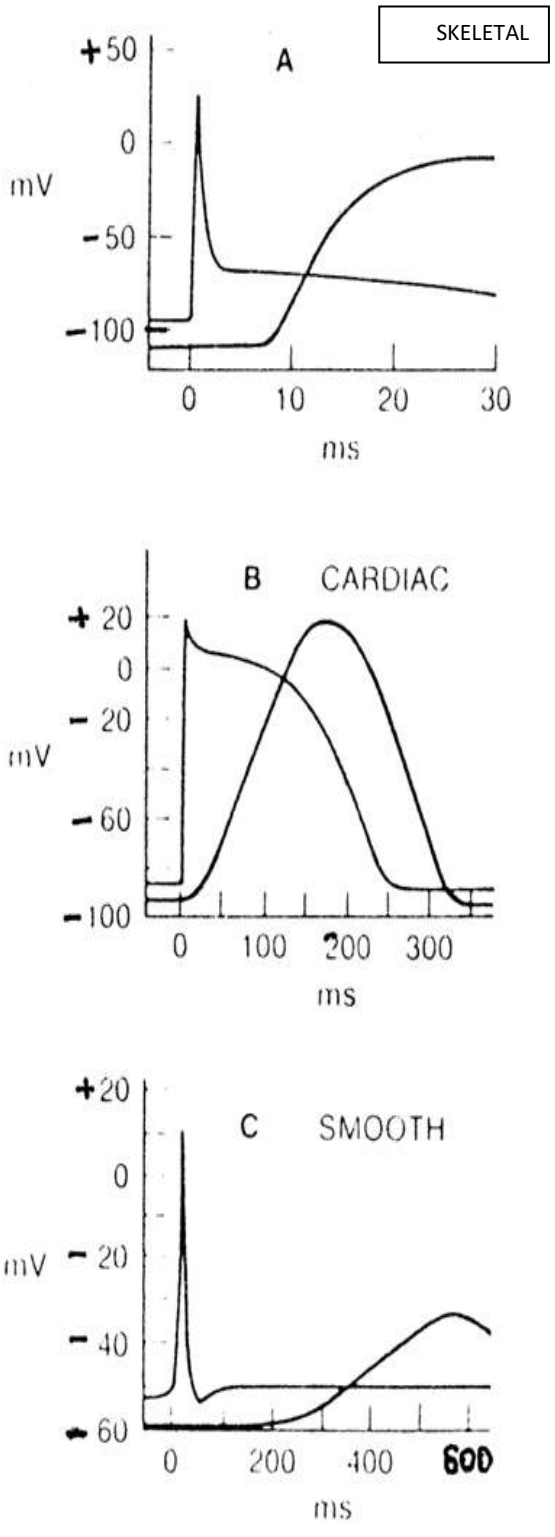
شكل (1): مراحل جهد الفعل في العضلة القلبية

3- **العضلات الملساء Smooth Muscles :** وهي عضلات غير مخططة لا ارادية تدخل في تركيب الاحشاء الداخلية وهي ذات الياف مغزلية الشكل تقسم الى نوعين هما:

أ- **العضلات الملساء الوحدوية Unitary Smooth Muscles** : توجد بهيئة صفائح كبيرة تعمل كوحدة واحدة و تدخل في بناء جدران الأعضاء المجوفة في الأحشاء كالقناة الهضمية والمثانة والحالبين والرحم لذلك تدعى ايضا بالعضلات الملساء الحشوية Visceral Smooth Muscles. تمتلك هذه العضلات القدرة على التقلص الذاتي وهي مجهزة بأعصاب من الجهاز العصبي الذاتي تعمل على تنظيم تقلصها.

ب- **العضلات الملساء متعددة الوحدات Multiunit Smooth Muscles** : تترتب بهيئة وحدات حركية لاتتقلص ذاتيا بل تتقلص بتنبيه عصبي وهي بذلك تشبه العضلات الهيكلية وتوجد في جدران الأوعية وفي قزحية العين .

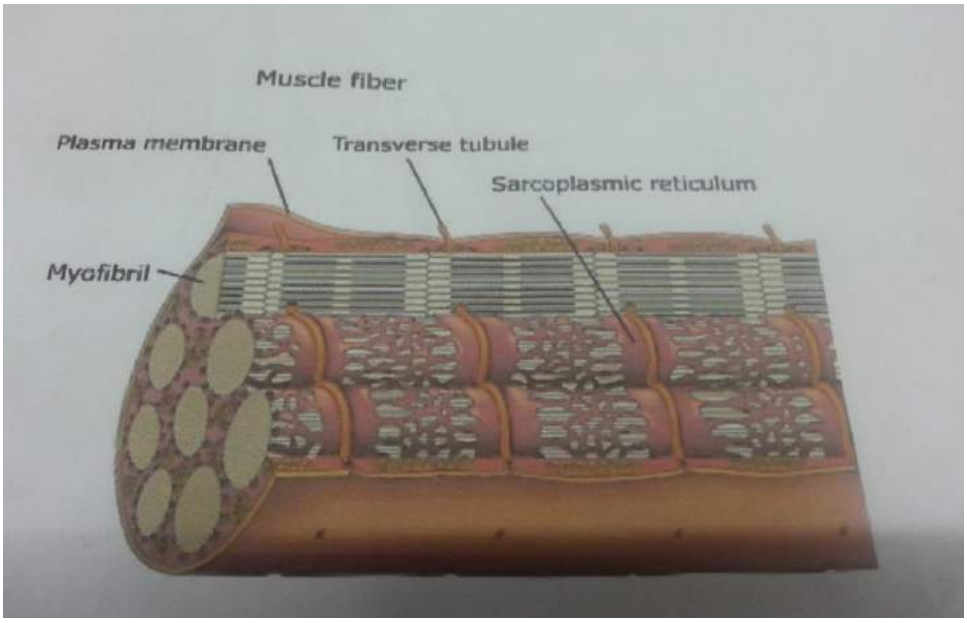
يستغرق تقلص العضلات الملساء وقتا طويلا وتتميز ايضا بالنسقية والتوصيل. وقد تصل قيمة جهد الغشاء عند الراحة في هذه العضلات الى (50-) ملي فولت.



شكل (2): جهود الفعل وتقلص أنواع العضلات المختلفة

العضلات الهيكلية Skeletal Muscles

تتألف العضلة الهيكلية من حزم من الألياف العضلية Muscle Fibers تمتد بطول العضلة وكل ليف عضلي يمثل خلية متعددة الأنوية تحوي لييفات عضلية Myofibrils والليفات تحوي خيوط Filaments والتي تتألف من بروتينات تقلصية .



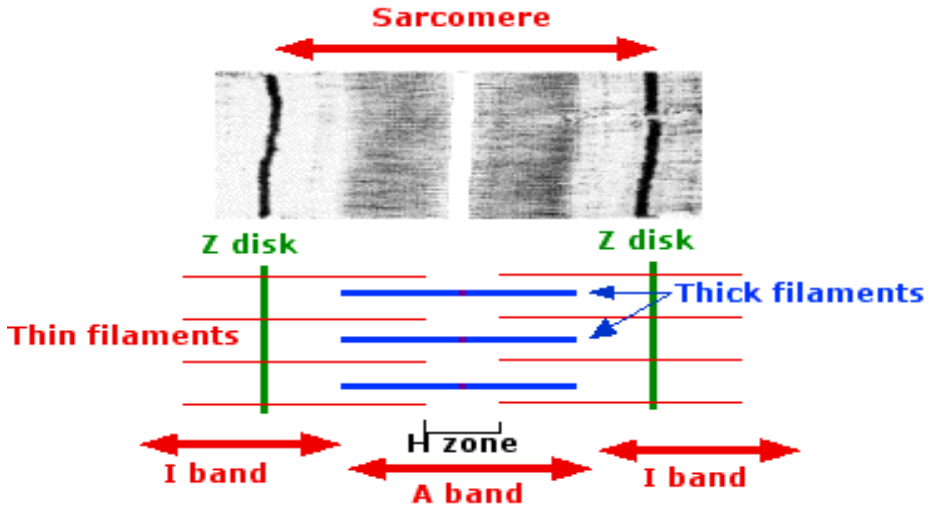
شكل (3): تركيب الليف العضلي Muscle Fiber

***- بأستخدام المجهر الضوئي تلاحظ:**

- مناطق غامقة تتبادل مع مناطق فاتحة على امتداد الليف العضلي وتدعى المناطق الداكنة بالأشرطة غير المتجانسة ضوئيا Anisotropic Bands (A-bands) أما المناطق الفاتحة فتدعى بالأشرطة المتجانسة ضوئيا Isotropic Bands (I-bands).
- يقسم شريط I في وسطه بغشاء يدعى خط-Z (Z- line) و يدعى أيضا قرص-Z (Z-disk) والمنطقة المحصورة بين خطي Z متجاورين تدعى بالقطعة العضلية Sarcomere.(الحرف Z مشتق من كلمة المانية تعني بين الأقراص (Zwischenschieben)
- هناك منطقة فاتحة نسبيا تقع وسط شريط A تدعى Hensen Zone (H-Zone).

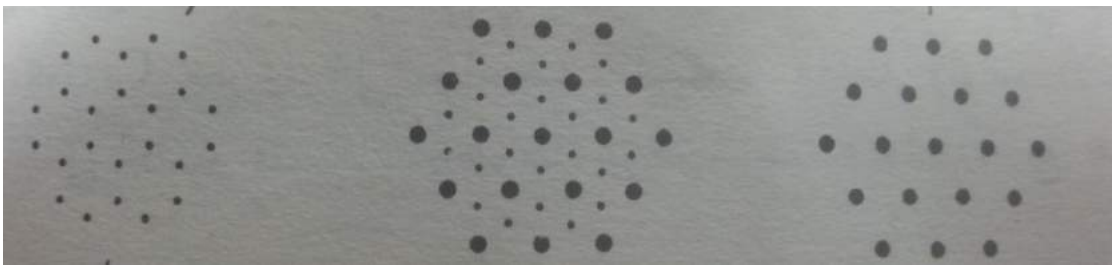
عند فحص الليف العضلي بأستخدام المجهر الألكتروني تلاحظ:

- كل قطعة عضلية تحوي خيوط نحيفة Thin Filaments تمتد من كل خط Z بأتجاه منتصف القطعة وخيوط غليظة Thick Filaments بين الخيوط النحيفة وهذه لاتتصل بخطوط Z.
- ان الشريط A يحوي كلا النوعين من الخيوط (النحيفة والسميكة) والشريط I يحوي النحيفة فقط بينما تحوي المنطقة H الخيوط السميكة فقط.



شكل (4): القطعة العضلية Sarcomere

- كل خيط سميك في الليف العضلي يكون محاط بـ 6 خيوط نحيفة وكل خيط نحيف محاط بـ 3 خيوط سميكة كما في الشكل الآتي.



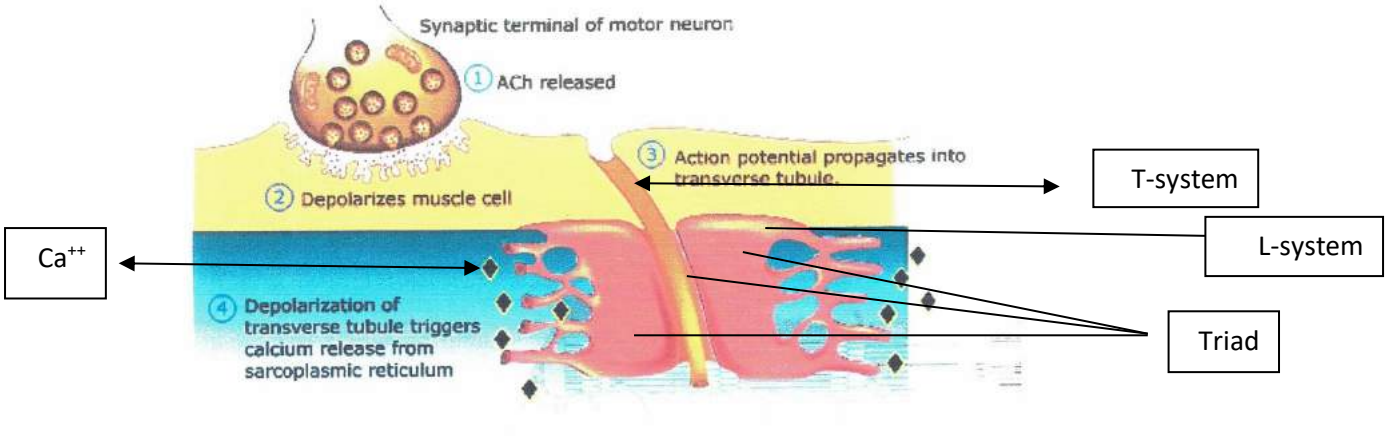
شكل (5): ترتيب الخيوط السميكة والخيوط النحيفة في الليف العضلي

- تمتد من الخيوط الغليظة بأتجاه الخيوط النحيفة امتدادات تدعى بالجسور العرضية Cross Bridges .

*- يحتوي الساركوبلازم Sarcoplasm (أي سايتوبلازم الليف العضلي) على جهاز نبيبي عضلي Sarco-tubular System وهو عبارة عن مجموعة من النبيبات الغشائية التي تقسم الى مجموعتين:

1- الجهاز المستعرض Transverse System (T-System) : الذي يتألف من مجموعة من النبيبات الناشئة عن انبعاجات في غشاء الليف العضلي وتكون هذه النبيبات عمودية على المحور الطولي لليف العضلي. ويقوم هذا الجهاز بنقل جهد الفعل من غشاء الليف العضلي الى كافة الليفات الموجودة داخل الليف العضلي.

2- الجهاز الطولي Longitudinal System (L-System): ويعرف ايضا بالشبكة الساركوبلازمية Sarcoplasmic Reticulum ويشمل مجموعة من النبيبات الغشائية تمتد بين النبيبات المستعرضة . وتندمج نبيبات الجهاز الطولي مع بعضها بالقرب من الجهاز المستعرض لتكوين اكياس كبيرة بحيث يقع كل كيس على احد جانبي النبيب المستعرض ليكون الثلاثة معا مايعرف بالنظام الثلاثي أو الثالوث Triad . وتتميز الشبكة الساركوبلازمية بقابليتها على تجميع ايونات الكالسيوم ca^{++} .



شكل (6): الجهاز النبيبي العضلي Sarco-tubular System

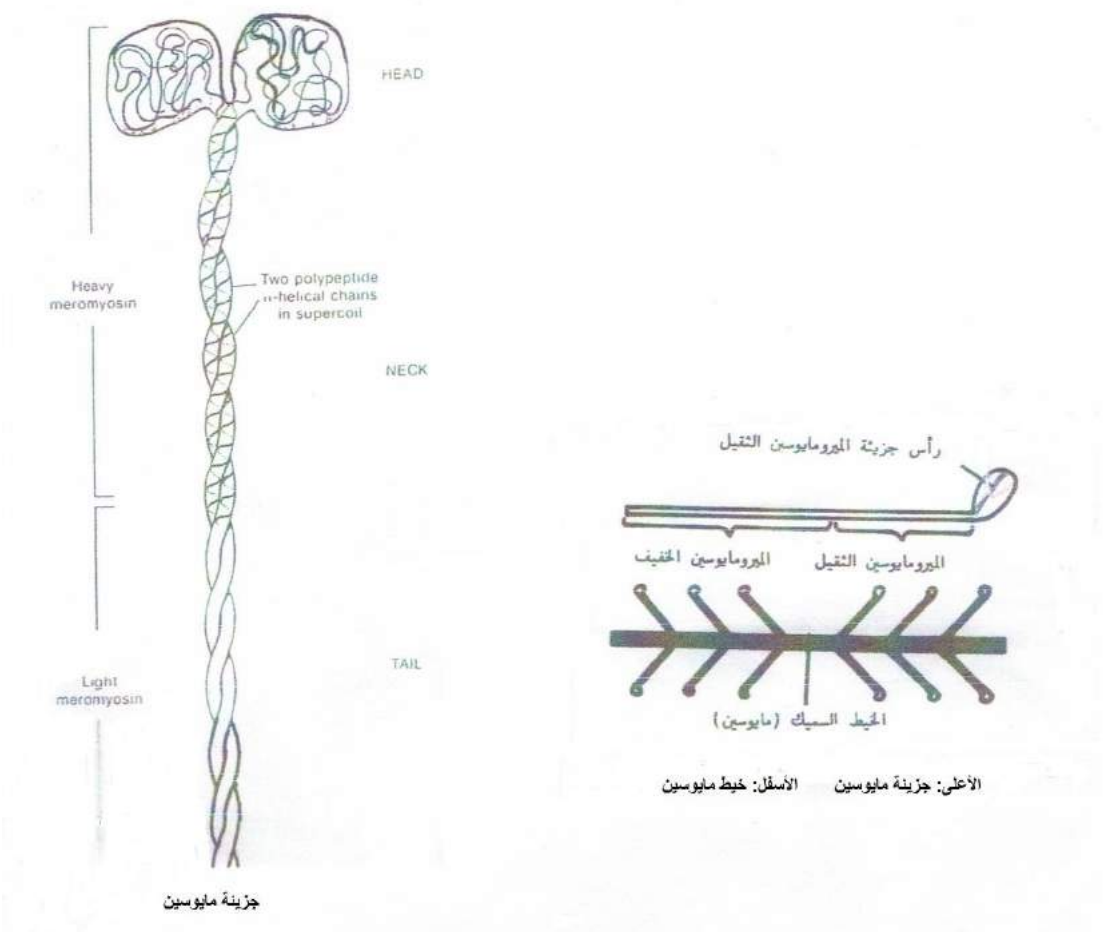
الخصائص الكيميائية للعضلة

هناك اربعة انواع من البروتينات في القطعة العضلية تشارك في عملية التقلص العضلي وهي:

1- **المايوسين Myosin**: وهو الذي يشكل مادة الخيوط الغليظة وتتألف جزيئة المايوسين من سلاسل ببتيدية تلتف بشكل حلزون ذو رأس مزدوج وذنب وبأستخدام انزيم التربسين تتجزأ الجزيئة الى جزئين احدهما يحوي الرأس وجزء من الذنب ويدعى بالميرومايوسين الثقيل Heavy Meromyosin (HMM) والآ خر يحوي ماتبقى من الذنب ويدعى بالميرومايوسين الخفيف Light Meromyosin (LMM).

*- يعمل الميرومايوسين الثقيل بمثابة ATPase حيث يحلل الـ ATP لتحرير الطاقة , كما يأتي:

$$ATP \longrightarrow ADP + Pi + (Energy)$$



شكل (7): جزيئة وخيط المايوسين

2- **الأكتين Actin**: ويشكل مادة الخيوط النحيفة وهو بروتين خيطي ملتف بشكل حلزون مزدوج Double Helix يتألف من وحدات بروتينية كروية , حيث انه ينشأ عن بلمرة الأكتين الكروي Globular Actin (G-Actin) الى اكتين ليفي Fibrous Actin (F-Actin) وتدعى هذه العملية بالتحول الكروي – الليفي وتتم بوجود ايونات المغنسيوم (mg^{+2}) وجزيئات ATP كما في المعادلة الآتية :

$$G\text{-}Actin + ATP \xrightarrow{Mg^{+2}} F\text{-}Actin + ADP + HPO_4$$

- يحوي خيط الأكتين مواقع مهيئة للأرتباط مع رؤوس الجسور العرضية الممتدة من خيط المايوسين.

3- التروبومايوسين Tropomyosin

وهو بروتين ليفي يمتد في ثنايا حلزون الأكتين وفي وضع الراحة يعمل هذا البروتين على تغطية المواقع الموجودة على خيط الأكتين والمهيئة للأرتباط برؤوس الجسور العرضية للمايوسين.

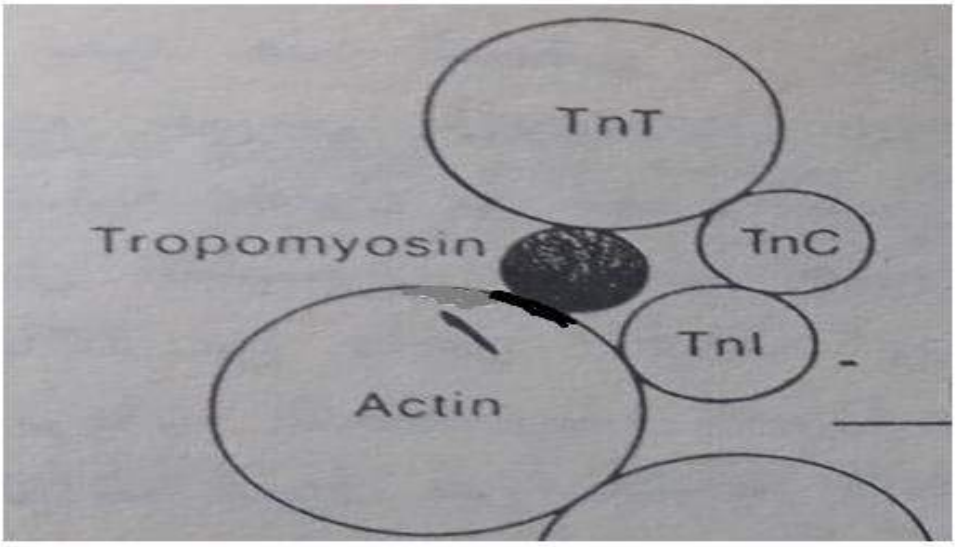
4- التروبونين Troponin

ويتألف هذا البروتين من ثلاث وحدات كروية ثانوية تقع في اخاديد حلزون الأكتين وهي :

- Troponin-T ويرتبط بالتروبومايوسين لذلك يدعى T .

- Troponin-I ويقوم بتثبيط فعالية الـ ATPase لذلك يدعى I نسبة الى كلمة Inhibitor لكونه (في الألياف المستريحة) يوجد بوضع يمنع الجسور العرضية للمايوسين من الأتصال بالمواقع الخاصة الموجودة على خيط الأكتين , وهو مثبط لفعل الميرومايوسين الثقيل

- Troponin-C ويحوي مواقع للأرتباط بأيونات الكالسيوم Ca^{++} لذلك يدعى C .



شكل (8) : مواقع التروبومايوسين و الوحدات الثانوية للتروبونين على خيط الأكتين

فسلجة العضلات الجزء الثاني

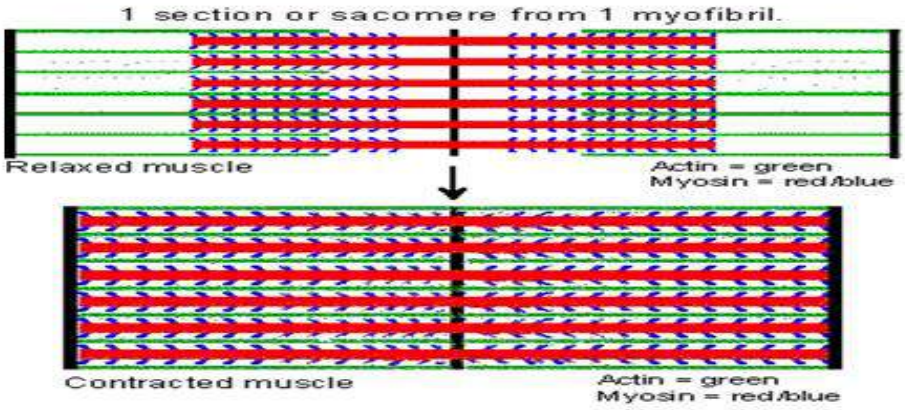
ملخص خطوات عملية التقلص العضلي ونظرية الأنزلاق الخيطي Filament Sliding Theory

1- يصل الأيعاز العصبي الى نهايات الليف العصبي مما يؤدي الى افراز الناقل الكيميائي (الأستل كولين) من الحويصلات التشابكية الموجودة في منطقة الأزرار (الأقدام) النهائية ثم تنتقل جزيئات هذا الناقل الى سطح الليف العضلي في منطقة الصفيحة النهائية الحركية وعند ارتباطها بمستقبلاتها تؤدي الى حدوث زوال استقطاب في غشاء الليف العضلي ناتج عن تغير في نضوحية الغشاء للآيونات ويتولد نتيجة ذلك ما يسمى بجهد الصفيحة النهائية End Plate Potential (EPP) .

2- ينتقل جهد الفعل من غشاء الليف العضلي الى اعماق الليف بواسطة T- System ثم يصل الى الشبكة الساركوبلازمية فتتحرر منها ايونات الكالسيوم.

3- ترتبط ايونات الكالسيوم مع التروبونين C مما يؤدي الى تغير شكله ويقوم بأزاحة التروبونين I أي يحدث تغير في مواقع التروبونين وكذلك التروبومايوسين (المرتبط بالتروبونين-T) فتنكشف المواقع التي كانت مغطاة بالتروبومايوسين على خيط الأكتين والتي هي مواقع لأرتباط رؤوس الجسور العرضية الممتدة من خيط المايوسين.

4- ترتبط رؤوس الجسور العرضية للمايوسين بالمواقع الخاصة على خيط الأكتين ثم تنتقل هذه الرؤوس من موقع الى آخر على خيط الأكتين مما يولد شد في هذه الجسور وفي خيط المايوسين وبالنتيجة ينزلق خيط الأكتين على خيط المايوسين بأتجاه منطقة H في القطعة العضلية Sarcomere مما يؤدي الى قصرالقطعة وهكذا الحال مع باقي القطع العضلية ضمن العضلة فيقصر طول العضلة ككل ويحدث التقلص.



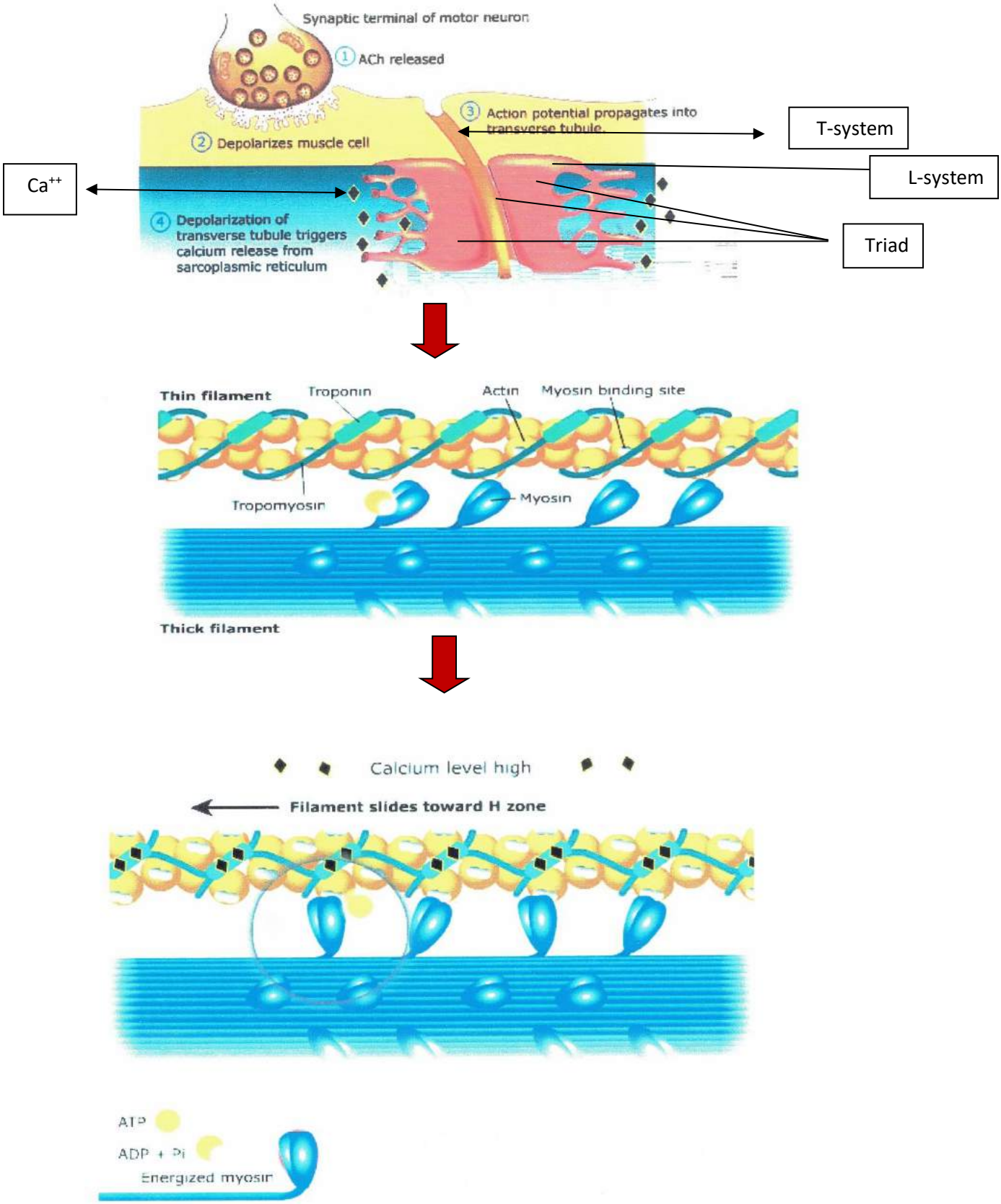
شكل (9): قصر القطعة العضلية نتيجة انزلاق خيوط الأكتين على خيوط المايوسين

5- لحدوث الأرتخاء يتحلل الـ ATP لتوفير طاقة لفك ارتباط رؤوس الجسور العرضية بخيط الأكتين وتعود ايونات الكالسيوم الى داخل الشبكة الساركوبلازمية تاركة التروبونين C ليأخذ وضعه السابق وبهذا يعود كل من التروبونين والتروبومايوسين الى موقعهما السابق فيعود التروبومايوسين ليغطي مواقع الأكتين الخاصة بأرتباط رؤوس الجسور العرضية للمايوسين.

اي ان عملية الأرخاء في العضلة تتطلب شرطين هما :

1- توفر الطاقة المتحررة من جزيئات الـ ATP لغرض فك الأرتباط بين رؤوس الجسور العرضية وخيط الأكتين .

2- انخفاض تركيز ايونات الكالسيوم Ca^{+2} الى مستوى واطيء يمنع عودة الأرتباط بين رؤوس الجسور العرضية مع خيط الأكتين , حيث ينخفض تركيزه في الساركوبلازم (سايتوبلازم الليف العضلي) الى دون 10^{-7} مول بعد أن كان تركيزه حوالي 10^{-6} مول .



شكل (10): خطوات نظرية الأنزلاق الخيطي

مصادر الطاقة للتقلص العضلي:

- ان أهم مصدر للـ ATP هو **الكلايكوجين Glycogen** (الذي تبلغ نسبته في العضلات الهيكلية حوالي 1%) حيث يتحلل بسلسلة من الخطوات الى حامض البايروفك بعملية التحلل السكري لأنتاج جزيئات ATP الذي يعد المصدر المباشر للطاقة في عملية التقلص العضلي.

يعد مركب **الادينوسين ثلاثي الفوسفات ATP** مصدرا مباشرا للطاقة اللازمة لحصول التقلص العضلي اذ يتحلل الى مركب الادينوسين ثنائي الفوسفات ADP ومجموعة فوسفات لاعضوية Pi وطاقة بفعل الميروميوسين الثقيل HMM كما في المعادلة

$$ATP \xrightarrow{HMM} ADP + Pi + (Energy)$$

- ان استمرار عملية التقلص والأرتخاء يؤدي الى نفاذ الـ ATP فتصاب العضلة بحالة تدعى الصمل Rigor حيث تصبح في حالة توتر دائم وتفقد مرونتها وقدرتها على التقلص والأرتخاء بسبب ارتباط رؤوس الجسور العرضية للمايوسين بخيوط الأكتين وتوقف عملية الأنزلاق وهنا لابد من انتاجه بفسفرة الـ ADP بواسطة مركب يدعى **فوسفات الكرياتين Creatin Phosphate** ويرمز له CP وهي مادة غنية بالطاقة توجد في عضلات الفقريات والافقريات بنسبة 0.5% يمنح الCP طاقته بصورة غيرمباشرة عند انخفاض ال ATPاللازم للتقلص العضلي اذ يقوم بفسفرة الADP (منح مجموعة الفوسفات الخاصة به الى جزيئة الADP) بمساعدة انزيم Creatine phosphokinase حسب التفاعل التالي

$$ADP + CP \xrightarrow{\text{creatine phosphokinase}} ATP + C$$

وبهذا تتمكن العضلات من التواصل عند القيام بمجهود كبير.

واحيانا يتم **انتاج الـ ATP بأستخدام جزيئتين من ADP** بمساعدة انزيمmyokinase

$$2ADP \xrightarrow{\text{myokinase}} AMP + ATP$$

ولكن لايمكن الاستفادة من جزيئة ATP المتولدة بهذه الطريقة اذ سرعان ما تفقد مجموعة الفوسفات التي اكتسبتها متحولة الى ADP وللحيلولة دون ذلك يتحول مركب الـ AMP الى مركب انوسين احادي الفوسفات IMP عن طريق ازالة مجموعة امين

AMP-Aminohydrolase

$$AMP \longrightarrow IMP + NH_3$$

علما بأنه لايمكن تحويل الـ IMP مرة اخرى الى AMP وبالتالي تتم الاستفادة من جزيئتين ADP لتوليد ATP واحدة اي تعود نصف كمية ATP المستهلكة في التقلص العضلي وتستعمل هذه الالية في الحالات الطارئة من العضلات المجهدة لكون تحويل IMP الى ATP مكلفة

العجز (الدين) الأوكسجيني Oxygen Debt

عند القيام بمجهود كبير لايمكن للدم ان يجهز العضلات بكميات كافية من الأوكسجين لغرض حرق الكلايكوجين وتحرير طاقة بقدر كافي بواسطة التنفس الهوائي لكون استهلاك العضلات النشطة للاوكسجين اعلى مما يوفره الدم عندئذ ستلجا العضلات الى التنفس اللاهوائي لغرض الحصول على الطاقة وان كان اقل كفاءة من التنفس الهوائي فيختزل حامض البايروفك الناتج من التحلل السكري بدلا من اكسدته متحولا الى حامض اللبنيك Lactic Acid الذي يسبب الشعور بالالم وتوقف العضلات عن النشاط العنيف اي حصول عجز اوكسجيني اذ يحتاج حامض اللبنيك الى كميات كبيرة من الأوكسجين لأكسدته الى ماء و CO_2 أو لتحويله الى كلايكوجين عندئذ يستمر كل من جهازي الدوران والتنفس بمستوى عالي من الفعالية (حركات تنفسية سريعة وضخ قلبي عالي ونبض سريع) لدقائق بعد التوقف عن النشاط العنيف كتكيف فسلجي تحتاجه العضلات لاعادة تخزين ال ATP والفوسفوكرياتين ولاعادة خزن الاوكسجين المرتبط بالمايوكلوبين Myoglobin اذ يتألف المايوكلوبين من سلسلة ببتيدية واحدة ومجموعة هيم واحدة اي يحوي ذرة حديد واحدة ووظيفته مماثلة لوظيفة الهيموغلوبين حيث يعمل كمستودع للأوكسجين فيساعد في تزويد العضلات به وخصوصا في حالة انقطاع الدوران عن العضلات كالذي يحدث في الحيتان . لذا فالعجز الاوكسجيني هو ظاهرة لجوء العضلة الى الايض اللاهوائي نتيجة تراكم حامض اللبنيك فيها وتحدث هذه الظاهرة في حالة قيام العضلة بجهد كبير مفاجئ .

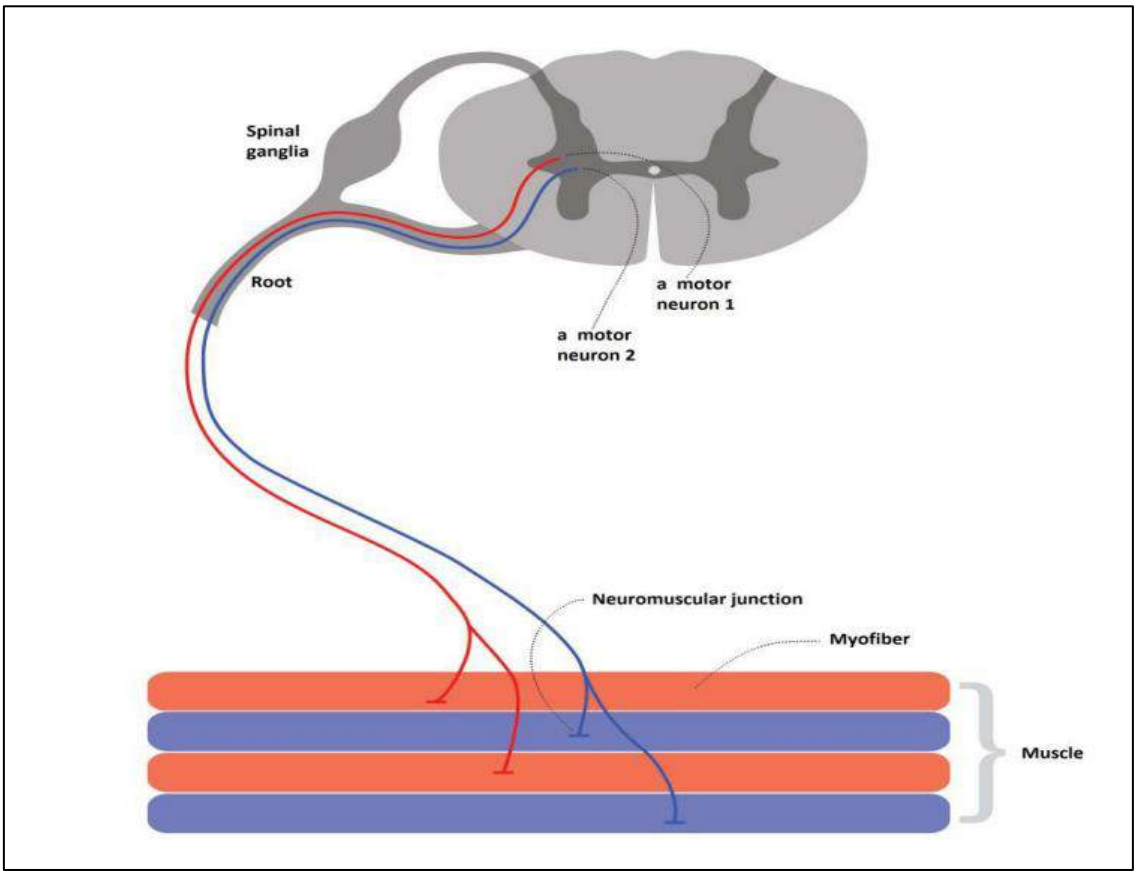
يتم التخلص من حامض اللبنيك المتراكم في العضلات كالاتي:

1- يؤكسد حامض اللبنيك الى حمض البايروفيك متحولا الى ماء و CO_2 .
2- تتم ازالة حامض اللبنيك من العضلات بنقله الى الكبد لتحويله الى كلايكوجين

اي ان بتوفر الأوكسجين اللازم يتم تمثيل قسم من حامض اللبنيك في دورة كريبس والسلسلة التنفسية الى ماء و CO_2 والطاقة المتحررة تستخدم في تحويل باقي حامض اللبنيك الى كلايكوجين.

الوحدة الحركية Motor unit

تتصل العضلة الهيكلية بالعصب (العصب مجموعة من الالياف العصبية) ولكون عدد الالياف العصبية ضمن العصب الواحد لايكافئ عدد الالياف العضلية المكونه للعضلة (عدد الالياف العضلية اكبر من عدد الالياف العصبية) لذا تتفرع نهايات كل ليف عصبي الى فروع عديدة وكل فرع منها يتصل بليف عضلي وبذلك سيتصل الليف العصبي الحركي الواحد بعدد من الالياف العضلية الهيكلية ويطلق على هذه المنظومة بالوحدة الحركية Motor unit وبذلك تكون العضلة مؤلفة من عدد كبير من الوحدات الحركية . تتبع الوحدة الحركية قانون الكل او اللاشئ All or none low بمعنى ان الوحدة الحركية لاتستجيب الا اذا كان الحافز بمستوى عتبتها بينما العضلة ككل لاتخضع لهذا القانون لانها مؤلفة من عدد كبير من الوحدات الحركية ولكل وحدة حركية عتبتها الخاصة بها .



الوحدة الحركية

دراسة بعض استجابات العضلة الهيكلية

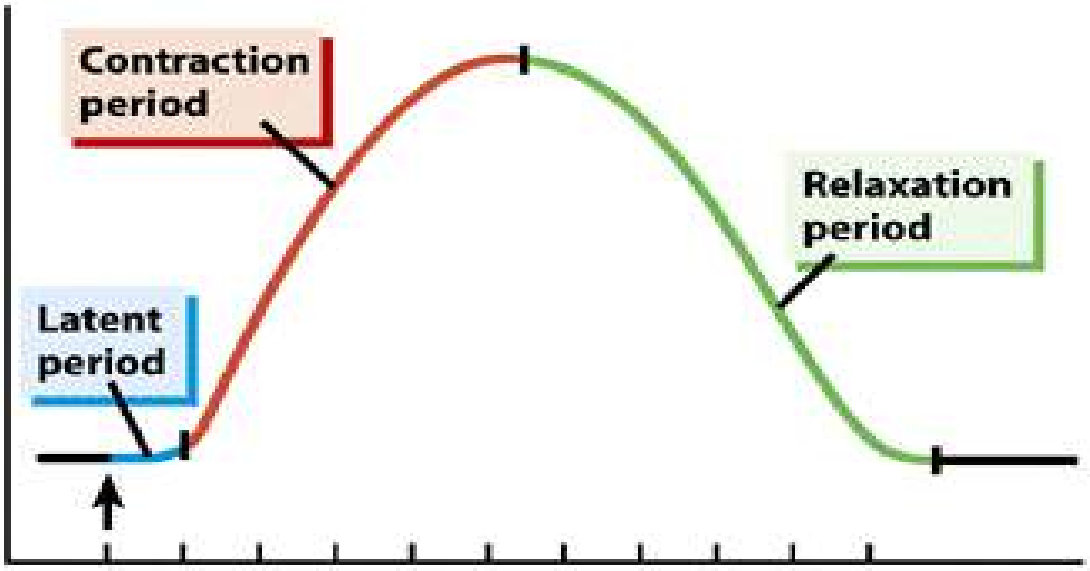
1- التقلص العضلي البسيط (الخطفة العضلية) Simple Muscle Twitch

عند تحفيز العضلة بصورة مباشرة أو غير مباشرة عن طريق العصب المرتبط بها بحافز منفرد ذو قوة كافية فأنها تتقلص بسرعة ثم تنبسط (ترتخي) . علما بأن استجابة العضلة لا تحدث مباشرة عند تحفيزها بل هناك فترة زمنية تقع بين لحظة اعطاء الحافز وحدوث الأستجابة وتدعى هذه الفترة بفترة أو دور الكمون Latent Period تستغرق حوالي 10 ملي ثانية . وتعزى هذه الفترة (في حالة التحفيز غير المباشر) الى الأسباب الآتية :

1- الفترة اللازمة لوصول الأيعاز العصبي من موقع التحفيز على العصب الى الأقدام (الأزرار) النهائية الموجودة في نهاية فروع الليف العصبي (الملتقى العصبي العضلي) .
2- الفترة اللازمة لأفراز الناقل الكيميائي (الأستل كولين) من الحويصلات التشابكية الموجودة في الأزرارالنهائية وتسربه الى الفجوة الموجودة في الملتقى العضلي-العصبي ثم ارتباطه بمستقبلاته على غشاء الليف العضلي .
3- الفترة اللازمة لحدوث زوال الأستقطاب في غشاء الليف العضلي وتولد جهد الفعل (جهد اللوحة الانتهائية) وانتشاره في لييفات الليف العضلي والذي يؤدي الى حدوث التقلص العضلي .
4- الوقت اللازم للتغلب على زخم عتلة الجهاز واحتكاك ابرة الرسم مع سطح اسطوانة جهاز الكايموغراف .

س- في اي الحالتين تكون فترة الكمون أقصر ؟ عندما يكون التحفيز مباشر أم غير مباشر . ولماذا ؟

بعد انتهاء فترة الكمون تمر العضلة بفترة انكماش وتدعى هذه بفترة التقلص Contraction Period وتستغرق حوالي 40 ملي ثانية وهي الفترة التي تحصل خلالها ضربة القوة ثم تعقبها فترة انبساط (ارتخاء) Relaxation Period تستغرق حوالي 50 ملي ثانية .



أدوار(فترات)التقلص العضلي البسيط (الخطفة العضلية) Simple Muscle Twitch

دور الكمون Latent Period

دور التقلص Contraction Period

دور الأرتخاء Relaxation Period

أنواع التقلص العضلي

1- **التقلص متساوي التوتر Isotonic Contraction** وفي هذه الحالة عند تحفيز العضلة(بعد تثبيت احدى نهايتيها وتعليق ثقل في النهاية الأخرى) يقصر طولها أي تنكمش دون ان يتغير توترها , علما بأن فعاليات المشي والجري تحدث عن طريق تقلصات متساوية التوتر.

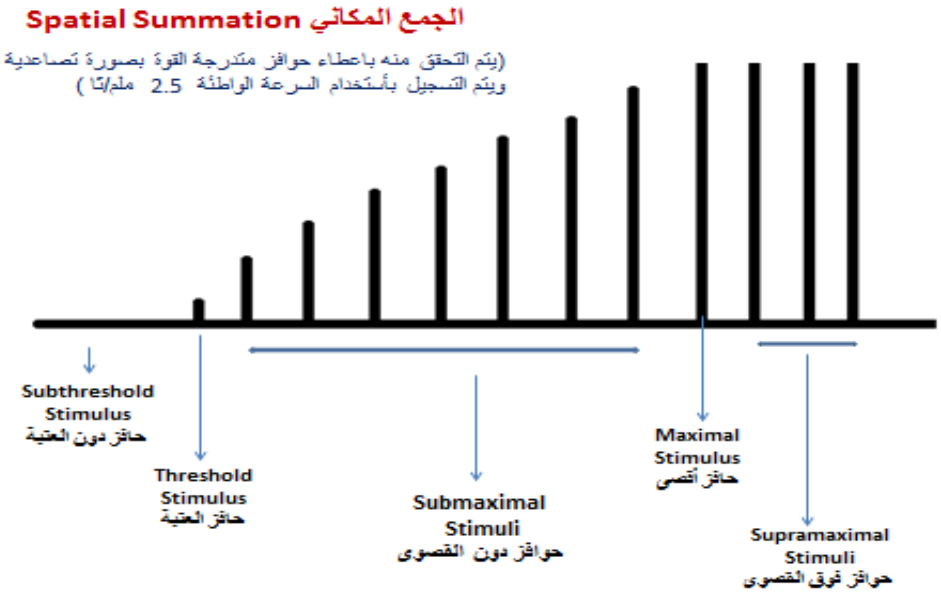
2- **التقلص متساوي الطول (ويدعى ايضا متساوي القياس) Isometric:** وفي هذا النوع يتم تثبيت طرفا العضلة لمنع انكماشها (اي منع قصرها) وعند تحفيزها تحصل زيادة في التوتر دون ان يتغير طولها علما بأن هذا النوع من التقلصات يحافظ على انتصاب الجسم ومقاومة الجاذبية عن طريق منعكسات تدعى بالمنعكسات الوضعية تشارك فيها العضلات الخلفية للرقبة وعضلات الظهر والأطراف السفلى.

ظاهرة الضم (الجمع) Summation

كما تم ذكره سابقا لاتخضع العضلة الهيكلية لقانون الكل أو اللاشيء لأن اليافها العضلية والعصبية موزعة الى وحدات حركية مستقلة عن بعضها وان لكل وحدة حركية حساسية (حد عتبة) خاصة بها , اذ لبعضها عتبات واطئة ولبعضها الآخر عتبات عالية . وعليه فأن العضلة تظهر ظاهرة الضم بشكل واضح . الضم هو زيادة مقدار الأستجابة بتغيير الحافز سواء من حيث العلاقة الزمنية أو من حيث قوة الحافز . لذلك هناك نوعان من الضم(الجمع) هما الجمع المكاني Spatial Summation والجمع الزمني Temporal Summation .

الجمع المكاني Spatial Summation

عند تحفيز العضلة الهيكلية بحوافز تصاعدية فأن مقدار الأستجابة يزداد مع زيادة قوة الحافز . فعند التحفيز بحافز ضعيف قد لاتستجيب العضلة نهائيا لأن الحافز لايزال دون حد العتبة Subthreshold Stimulus لجميع الوحدات الحركية في العضلة وعند زيادة قوة الحافز قليلا من الممكن ان تحدث استجابة ضعيفة اذ ان الحافز وصلت قوته الى حد عتبة عدد من الوحدات الحركية ذات العتبات الواطئة , ويطلق على اقل قوة حافز ادت الى حدوث اول استجابة ضعيفة بحافز العتبة Threshold Stimulus . وهكذا كلما ازدادت قوة الحافز تزداد قوة استجابة العضلة بسبب انضمام وحدات حركية اكثر الى الأستجابة لكون الحافز وصل الى حدود عتباتها وهذا مايعرف بالجمع المكاني . وعند الأستمرار بزيادة قوةالحافز سنصل الى مرحلة نجد فيها ثبات الأستجابة على أقصى حد وصلت له اي ان الحافز السابق كان الحافز الأقصى Maximal Stimulus ولاتزداد شدة الأستجابة بعد ذلك مهما زيدنا قوة الحافز وذلك لأن الحافز وصل الى حد عتبة جميع الوحدات الحركية في العضلة ولم تعد هناك وحدات حركية اخرى تضاف الى الأستجابة لتزيد من قوتها , اي ان تقلص العضلة وصل الى اقصى حد ممكن , علما بأن الحوافز التي تعقب الحافز الأقصى تدعى بالحوافز فوق القصوى Supermaximal Stimuli



الجمع الزمني Temporal Summation

عند تحفيز العضلة بحافزين متساوين في القوة وكانت الفترة الزمنية بين الحافزين قصيرة جدا نلاحظ تسجيل استجابتين وتكون الأستجابة الثانية أقوى من الأولى مع أن كلا الحافزين بنفس القوة . ان تفسير ذلك هو أن الحافز الأول احدث استجابة في عدد من الوحدات الحركية لكونه يصل الى حدود عتباتها بينما احدث تهيجا (زوال استقطاب) في وحدات حركية اخرى لم يكن الحافز ضمن حدود عتباتها وعند اعطاء الحافز الثاني بسرعة ادى الحافز الثاني الى استجابة الوحدات الحركية التي تهيجت بفعل الحافز الأول فأنضمت الى الأستجابة وعززت من قوتها

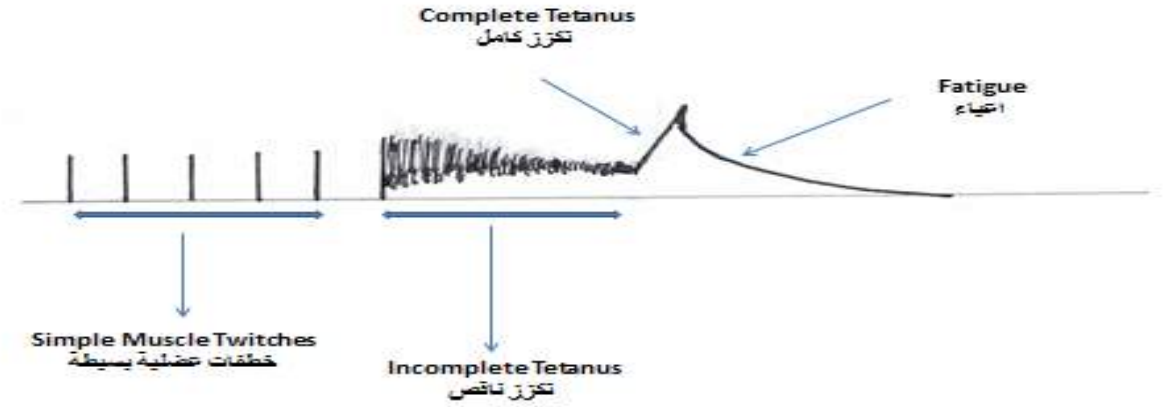
ملاحظة : يشترط ان يكون الحافز المستخدم معتدل الشدة اي دون قوة الحافز الأقصى , لأنه بأستخدام حافز اقصى ستكون الأستجابتين بأقصى مقدار ممكن ولانحصل على جمع زمني .

التكزز Tetanus وهو شكل من اشكال الجمع الزمني ولكن يحدث بأستخدام حوافز عديدة متتالية متساوية وبصورة سريعة وهناك نوعان من التكزز هما:

1- **التكزز الناقص Incomplete Tetanus** :ويحدث عند اعطاء حوافز متتالية تكون الفترات الزمنية بينها قصيرة فتكون الأستجابة بشكل تقلصات متتالية مندمجة بشكل جزئي (اي تكون ادوار الأرتخاء بين التقلصات غير مكتملة) (لاحظ دور الأرتخاء في الشكل السابق الذي يمثل الجمع الزمني)
2- **التكزز الكامل Complete Tetanus** : ويحدث عند اعطاء حوافز متتالية تكون الفترات الزمنية بينها قصيرة جدا فتكون الأستجابة بشكل بشكل تقلص مستمر قوي ناتج عن اندماج تقلصات متتالية .

الأعياء Fatigue : هو انعدام قدرة العضلات (المرتبطة بالجسم او المفصولة عنه) على الاستجابة بالرغم من التبيه المستمريحدث الأعياء نتيجة الأستمرار بالتعرض الى الحوافزالمتتالية وبفترات زمنية قصيرة اذ تفقد العضلة قدرتها على التقلص ولايظهر الاعياء في العضلات المرتبطة بالجسم بسرعة بينما يظهر سريعا في العضلة المفصولة عن الجسم .

التكزز الناقص: يتم تسجيله عن طريق اعطاء حوافز متتالية الفترات الزمنية بينها قصيرة
التكزز الكامل: يتم تسجيله عن طريق اعطاء حوافز متتالية قوية الفترات الزمنية بينها قصيرة جدا فتتصاب العضلة نتيجة ذلك بالأعياء
(علما أن سرعة جهاز التسجيل المستخدمة واطئة 2.5 ملم/ثا)



يحدث الأعياء في العضلات المفصولة عن الجسم للأسباب الآتية :

1- تراكم الفضلات في الألياف العضلية (حامض اللبنيك و CO_2).
2- انخفاض مستويات الكلايكوجين والكلوكوز بسبب استهلاكها في المجهود العضلي الكبير .
3- نفاذ مصادر الطاقة (ATP والكرياتين فوسفيت CP) .
4- نقص الأوكسجين .
5- نفاذ مادة الناقل الكيميائي الأستل كولين في منطقة الأندماج العضلي-العصبي (في حالة التحفيز غير المباشر أي عن طريق العصب) .

يمكن للعضلة المفصولة عن الجسم أن تستعيد قدرتها على التقلص عند تركها ترتاح لفترة من الزمن في محلول رنكر .

مثال : عند حملنا لشيء ثقيل لفترة من الزمن قد تصل العضلة الى مرحلة الأعياء ولكن بمجرد اعطاءها الراحة وتحريكها قليلا تستعيد قدرتها على الأستجابة بسرعة . اذ يعمل كلا من الجهاز التنفسي وجهاز الدوران على ازالة اسباب الأعياء المذكورة أعلاه بتوفير العناصر الضرورية للتقلص وازالة الفضلات.

انتاج الحرارة في العضلة

تتحرر اثناء التقلص العضلي حرارة يمكن قياس كميتها بأستخدام المزدوج الحراري Thermocouple , وتقسم الحرارة المنبعثة نتيجة التقلص العضلي الى:

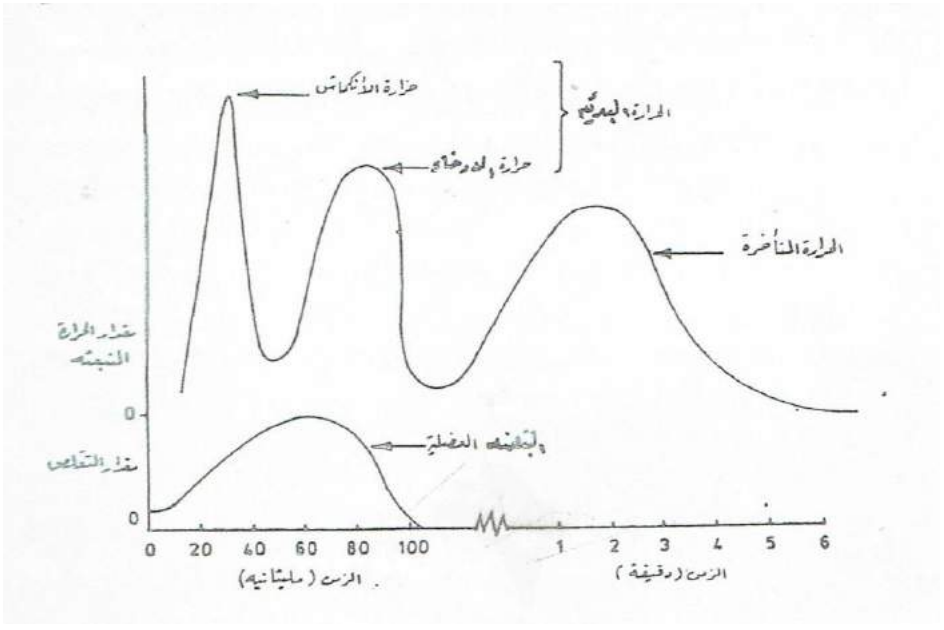
1- **الحرارة البدئية Initial Heat :** وهي الحرارة المنبعثة خلال تقلص وارتخاء العضلة وتشمل:

أ- حرارة الأنكماش (التقصير) Shortening Heat: وهي الحرارة التي ترافق قصر طول العضلة وتنبعث بكمية كبيرة ولفترة قصيرة ولا تتأثر من حيث مقدارها سواء كان التقلص العضلي في ظروف هوائية أو لاهوائية فهي تعزى الى تحول الـ ATP الى ADP و Pi وتعتمد على مقدار انكماش العضلة.

ب- حرارة الأرتخاء Relaxation Heat: وهي اقل من حرارة الأنكماش ولكنها تبقى لفترة اطول وهي ناتجة عن تحول الطاقة الكامنة في العضلة الى طاقة حرارية عند الأرتخاء اي انها ناتجة عن عوامل ميكانيكية كأحتكاك الألياف العضلية عند الأرتخاء.

2- **الحرارة المتأخرة (Delay Heat) :**

وتدعى ايضا بحرارة الترميم Recovery Heat وهي الحرارة المنبعثة بعد انتهاء عملية الأرتخاء وتستمر لدقائق وتعزى الى عملية تمثيل الكلوكوز أو الكلايكوجين لأعادة انتاج الـ ATP والـ CP وبما ان معظم الطاقة تتحرر في المرحلة الهوائية من التنفس لذلك فأن مقدار هذه الحرارة يعتمد الى حد كبير على توفر الأوكسجين ولذلك تختزل في الظروف اللا هوائية.



شكل (11): انواع الحرارة المنبعثة اثناء التقلص العضلي وبعده

فسلجة الدوران والدم

يعمل جهاز الدوران على حمل الأوكسجين والمواد الغذائية والهورمونات عن طريق الدم الى الخلايا وحمل المواد الناتجة عن عمليات الأيض في الخلايا كثنائي اوكسيد الكربون واليوريا والكرياتنين لغرض ازالتها من الجسم.

يتم ضخ الدم وتنظيم عملية جريانه لأيصاله الى مختلف خلايا الجسم بالكميات المطلوبة وتحت ضغط مناسب بواسطة الجهاز القلبي الوعائي Cardiovascular System الذي يتكون من القلب والأوعية الدموية (الشرايين والشرينات والأوعية الدموية الشعرية والأوردة والوريدات.

أنواع أجهزة الدوران

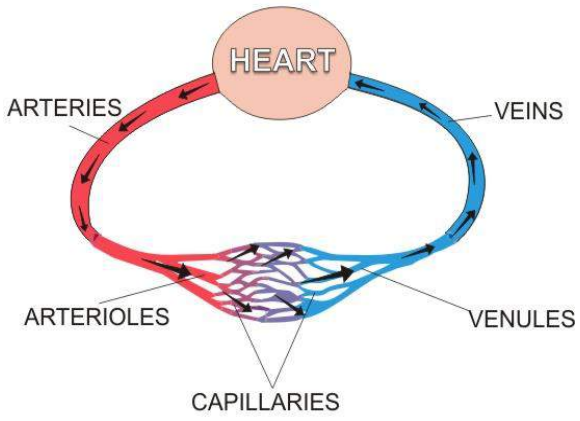
1- جهاز الدوران المفتوح Open Circulatory System

وفيه يتم ضخ الهيمولمف Hemolymph من القلب عبر أوعية (تدعى بالشرايين في بعض المصادر) الى تجاويف خاصة تدعى التجاويف الدمية Hemocoels تقع بين الأنسجة، ويكون الفاصل بين الدم وخلايا الجسم أغشية الخلايا نفسها ، ويعود الدم الى القلب عن طريق فتحات Ostia، كما يحدث في المفصليات والنواعم.

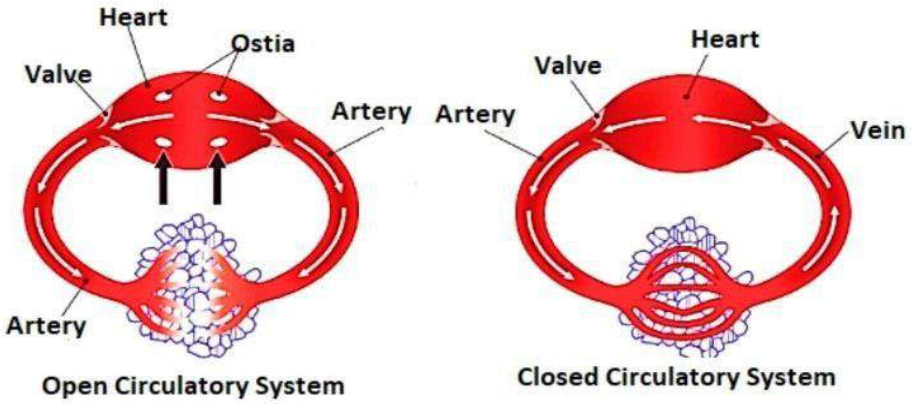
الهيمولمف Hemolymph : وهو السائل المرادف للدم في المفصليات والنواعم، اذ يكون الدم ممتزجا مع السائل البيني (السائل خارج الخلايا) Interstitial fluid مكوناً مايعرف بالهيمولمف.

2- جهاز الدوران المغلق Closed Circulatory System

وفيه يعمل القلب على ضخ الدم الى خلايا الجسم المختلفة ثم يعود الى القلب مرة اخرى عن طريق أوعية دموية . اذ يضخ القلب الدم عن طريق الشرايين Arteries التي تتفرع بدورها الى فروع أصغر تدعى الشرينات Arterioles ثم الى أوعية دموية شعرية Capillaries ثم ينتقل الدم الى اوعية دموية تدعى الوريدات Venules ثم الى الأوردة Veins التي تعيده الى القلب مرة اخرى، كما يحدث في جميع الفقريات.



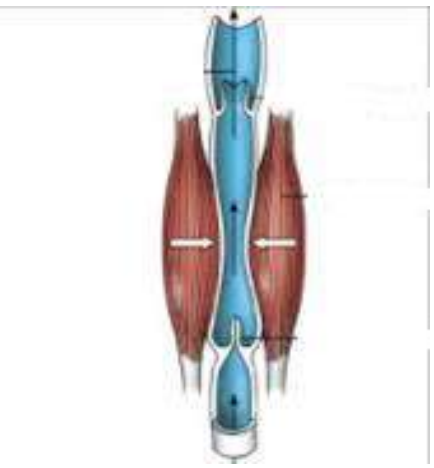
جهاز الدوران المغلق



مقارنة بين جهاز الدوران المفتوح وجهاز الدوران المغلق

- تمتلك الديدان الحلقية (التي تعود الى اللافقريات) جهاز دوران مغلق ولكنها لاتمتلك قلبا، اذ يجري الدم في الأوعية الدموية عن طريق حركة خاصة تدعى بالحركة التمعجية Peristalsis مع وجود صمامات تدفع الدم بأتجاه واحد، وتدعى هذه الآلية كذلك بالمضخة التمعجية Peristaltic-Pump.

من الجدير بالذكر ان هناك اوردة نحيفة في ساق الأنسان تعمل بآلية الحركة التمعجية اذ تكون هذه الأوردة مجهزة بصمامات تمنع عودة الدم الذي يجري بأتجاه القلب، ويكون اندفاع الدم داخل هذه الأوردة ناتجا عن الضغط المسلط عليها من تقلص عضلات الساق.



المضخة التمعجية في ساق الأنسان

قلب الفقريات

وهو عضو عضلي محاط بغلاف ليفي يدعى التامور Pericardium ومبطن بالشغاف Endocardium الذي يكون بتماس مع الدم الذي يضخه القلب .

- يمتلك قلب الأنسان أربعة ردهات أذينان (ايمن و ايسر) يستقبلان الدم وبطينان (ايمن و ايسر) يصرفان الدم.

صمامات القلب

1- الصمامات الأذينية البطينية Atrioventricular Valves التي تقع بين الأذينين والبطينين وتشمل :

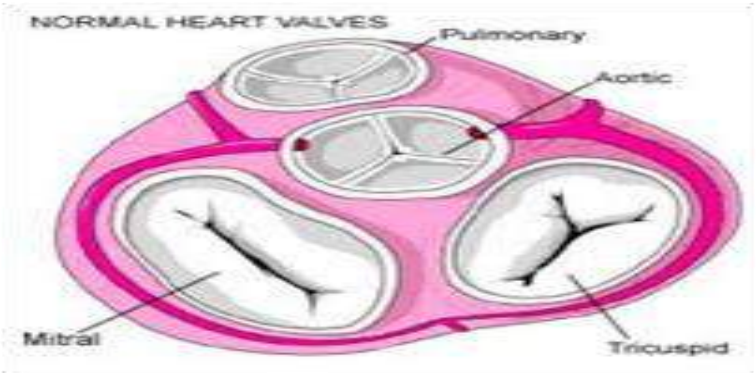
أ - **الصمام التاجي** Mitral Valve : ويدعى ايضا بالصمام الثنائي لتكونه من صفيحتان ويقع بين الأذين الأيسر والبطين الأيسر ويمنع رجوع الدم من البطين الى الأذين اثناء انقباض البطين الأيسر.

ب - **الصمام الثلاثي** Tricuspid Valve: وهو ثلاثي الصفائح ويقع بين الأذين الأيمن والبطين الأيمن ويمنع رجوع الدم من البطين الى الأذين اثناء انقباض البطين الأيمن.

2- الصمامات شبه الهلالية Semilunar Valves وتشمل:

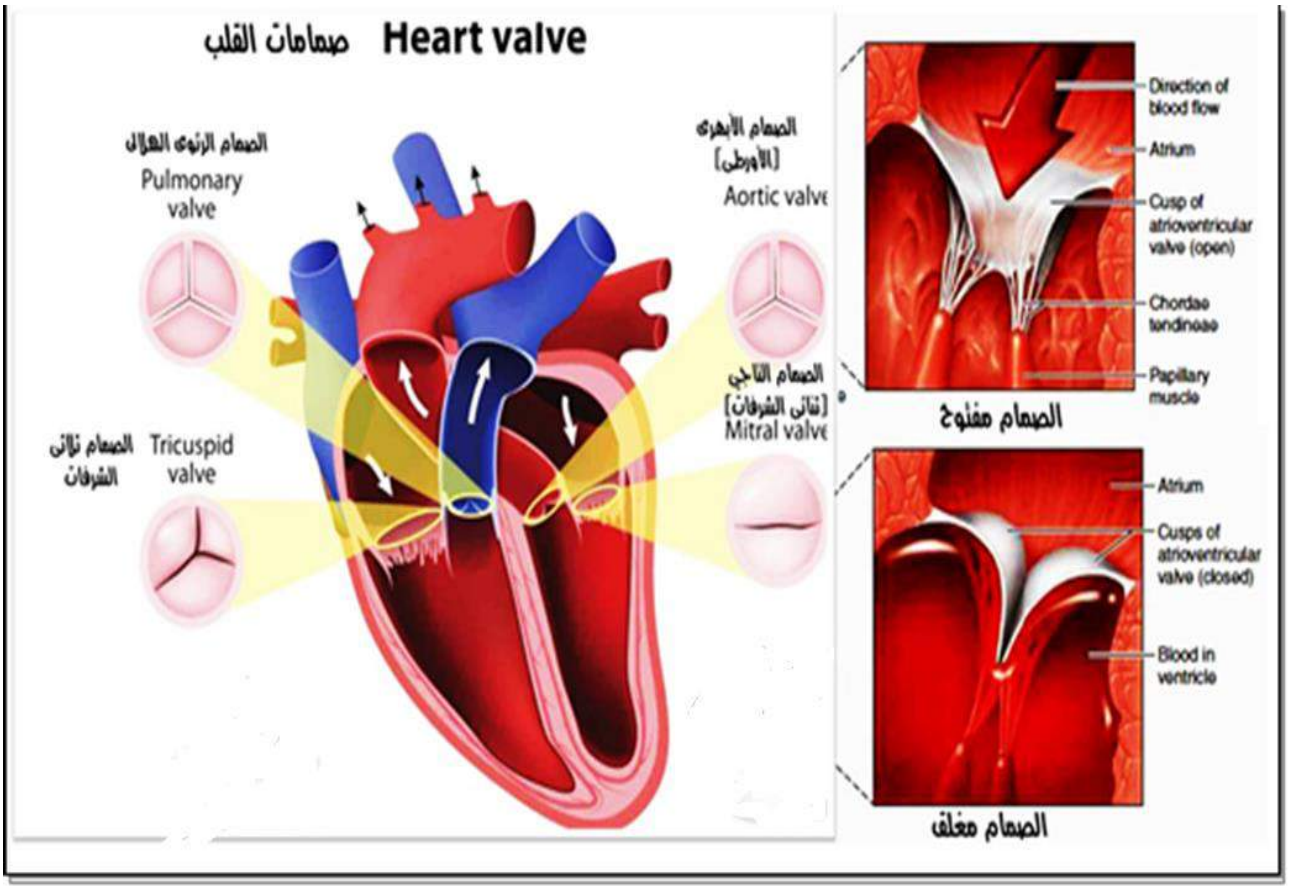
أ- **الصمام الأبهري** Aortic Valve: ويقع في بداية الشريان الأبهر الذي يخرج من البطين الأيسر ويعمل هذا الصمام على منع رجوع الدم من الأبهر الى البطين الأيسر اثناء انبساط هذا البطين.

ب- **الصمام الرئوي** Pulmonary Valve: ويقع في بداية الشريان الرئوي الذي يخرج من البطين الأيمن ويعمل هذا الصمام على منع رجوع الدم من الشريان الرئوي الى البطين الأيمن اثناء انبساط هذا البطين.



*- لاتوجد في مواضع الأرتباط بين الأوردة والأذينين صمامات بل يوجد مايدعى بالعاصرات وهي عبارة عن عضلات دائرية تقع بين الأوردة والأذينين تمنع رجوع الدم من الأذينين الى الأوردة اثناء الأنقباض الأذيني.

- في الصمامات الأذينية البطينية تتصل حافات الصفائح المكونة لهذه الصمامات بحبال رفيعة تدعى بالحبال الوترية التي تتصل نهاياتها الأخرى بنتوءات عضلية على السطح المبطن للبطينين وتعمل هذه الأوتار مع النتوءات العضلية على منع دخول حافات صفائح الصمامات الى الأذينين اثناء تقلص البطينين.

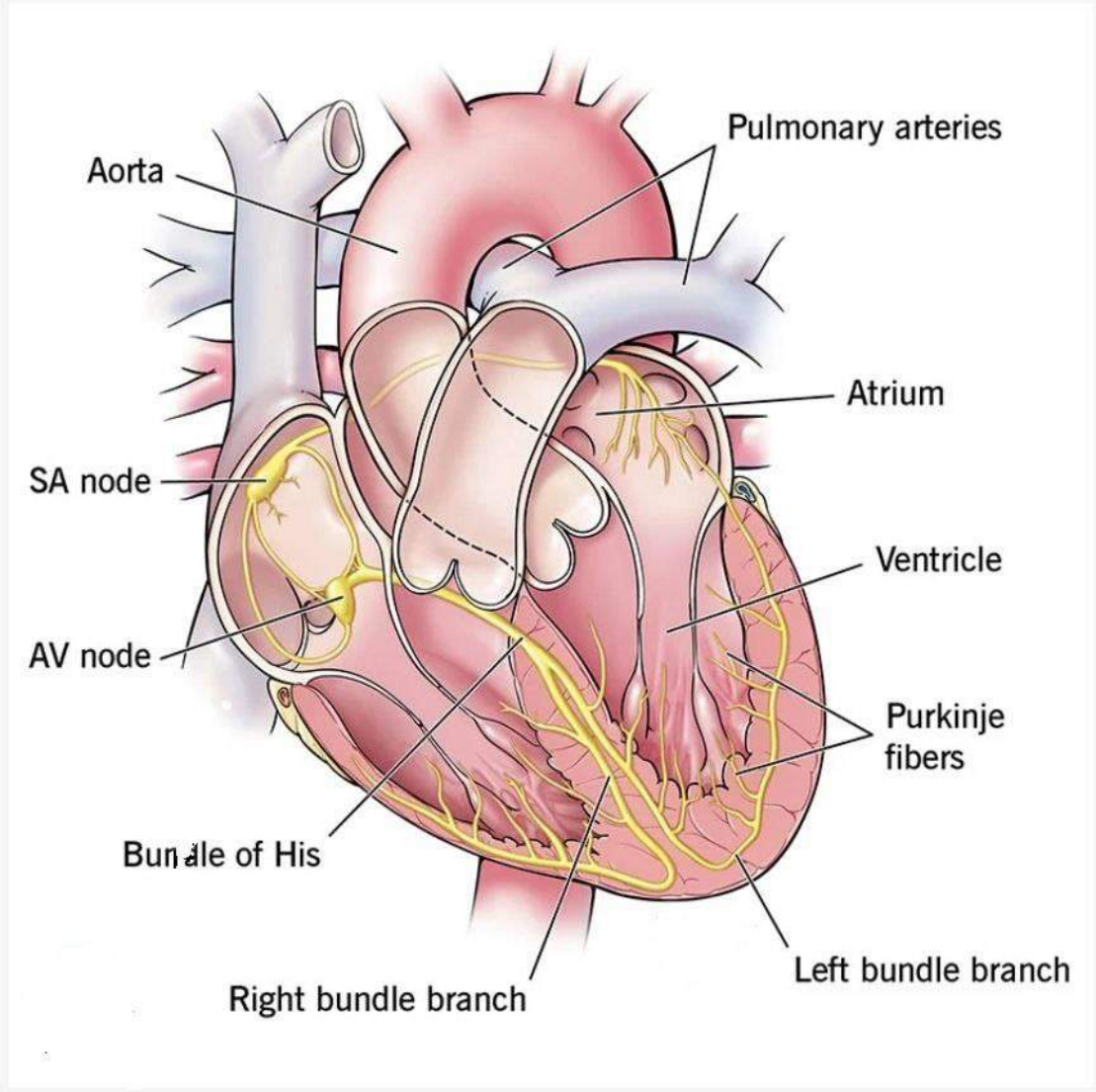


انتقال التهيج خلال القلب:

تبدأ موجة التهيج في مجموعة من الأنسجة المتحورة تدعى بمنظم نبض القلب (منظم الخطى) Heart Pacemaker وموقع هذه الأنسجة في اللبائن يكون العقدة الكيسية الأذينية Sinoatrial Node ويرمز لها (S-A Node) وتقع في منطقة اتصال الوريد الأجوف العلوي الأيمن بالأذين الأيمن.

- تنتقل موجة التهيج من هذه العقدة الى جدران الأذينين ثم الى مجموعة اخرى من الأنسجة المتحورة الواقعة في اعلى البطين الأيمن والتي تعرف بالعقدة الأذينية البطينية Atrioventricular Node ويرمز لها (A-V Node).

وتمتد من هذه العقدة حزمة من الألياف العضلية تدعى بحزمة هس Bundle of His التي تتفرع الى فرعين بطيني ايمن وبطيني ايسر وكل فرع يتفرع الى عدد من الألياف الممتدة في جدران البطينين والتي تعرف بألياف بركنجي Purkinje Fibers.



مواقع انتقال موجة التهيج خلال القلب

- تنتقل موجة التهيج عن طريق حزمة هس الى كل اجزاء الشغاف آنيا وبذلك تتقلص كل ألياف العضلة تزامنيا.
- ان الياف العضلات القلبية مرتبة بطريقة تمكنها من ارسال تقلصات منفصلة ومتزامنة لكل من الأذينين والبطينين . كما ان التوصيل البطيء خلال العقدة الأذينية- البطينية يسمح للتقلصات الأذينية ان تسبق التقلصات البطينية وهذا يسمح بوقت كاف لأنتقال الدم من الأذينين الى البطينين.

تدفق الدم عبر القلب

يعمل الجانبان الأيمن والأيسر من القلب معًا لضمان تدفق الدم من والى جميع أجزاء الجسم كما يأتي:

الجانب الأيمن من القلب

1- يدخل الدم الوريدي القادم من جميع أجزاء الجسم إلى الأذين الأيمن عبر وريدين كبيرين هما الوريد الأجوف السفلي Inferior vena cava والوريد الأجوف العلوي Superior vena cava .

2- يفتح الصمام الثلاثي للسماح للدم بالانتقال من الأذين الأيمن إلى البطين الأيمن.

3- امتلاء البطين الأيمن بالدم يولد ضغطا يؤدي الى غلق الصمام الثلاثي وفتح الصمام الرئوي.

4- يتدفق الدم من البطين الأيمن عبر الشريان الرئوي إلى الرئتين ، حيث يتم تجهيزه بالأوكسجين.

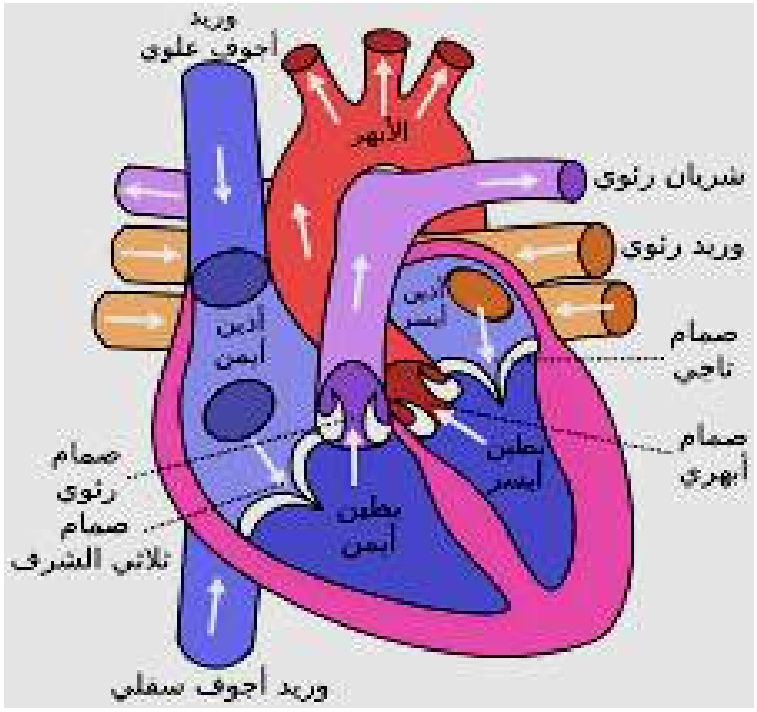
الجانب الأيسر من القلب

1- ينتقل الدم الغني بالأوكسجين من الرئتين إلى الأذين الأيسر عبر أوردة كبيرة تسمى الأوردة الرئوية.

2- يفتح الصمام التاجي لينتقل الدم من الأذين الأيسر إلى البطين الأيسر.

3- امتلاء البطين الأيسربالدم يولد ضغطا يؤدي الى غلق الصمام التاجي وفتح الصمام الأبهري.

4- يضخ البطين الأيسر الدم عبر الصمام الأبهري إلى الشريان الابهر كي يتدفق إلى باقي أجزاء الجسم.



مخطط تدفق الدم عبر القلب

الحوادث الكهربائية المرافقة لنبض القلب

هناك تغيرات كهربائية تسبق تقلص عضلة القلب ويمكن متابعتها من مناطق بعيدة عن القلب عن طريق ربط سطح الجسم بأقطاب كهربائية Electrods مرتبطة بجهاز يدعى جهاز تخطيط القلب Electrocardiograph ويتم تسجيل التغيرات الكهربائية على ورق بياتي يدعى التخطيط القلبي الكهربائي Electrocardiogram الذي يرمز له اختصارا ECG .

- يمكن الأستدلال على التيار المنتقل خلال الفعالية التزامنية للألياف العضلية القلبية من التغيرات الصغيرة في الجهد الكهربائي عبر نقاط تقع على كل سطح الجسم ، وهذه التغيرات عبارة عن انعكاس للفعالية الكهربائية في القلب .

يتأثر التخطيط القلبي الكهربائي بطبيعة ووضع الأقطاب اضافة الى الحالة الفسلجية للقلب ويمكن تلخيص الحوادث الكهربائية المرافقة لنبض القلب بكونها موجة من التقلص العضلي تسري من العقدة الكيسية تكون مسبوقة ببضع ملي ثواني بموجة من الجهد الكهربائي تستمر بحيث تكون الألياف المتقلصة موجبة الشحنة والمنبسطة سالبة الشحنة ، وخلال الأنقباض يكون هناك زوال استقطاب وجهد فعل وعند الأنبساط عودة استقطاب للألياف العضلية القلبية .

مثلث اينتهوفن Einthoven Triangle : وهو المثلث الذي يمثل عملية ربط الأقطاب الرئيسة الخاصة بجهاز تخطيط القلب على سطح الجسم

*- يتم ربط الأقطاب الخاصة بجهاز تخطيط القلب على سطح الجسم بالشكل الآتي :

1- يربط أحد الأقطاب على الذراع اليسرى Left Arm (LA) .

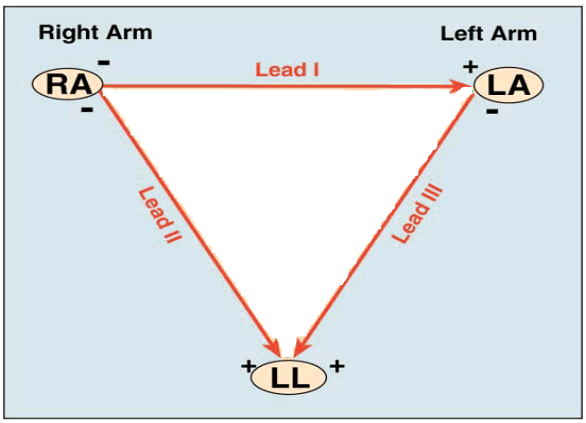
2- يربط القطب الثاني على الذراع اليمنى Right Arm (RA) .

3- يربط القطب الثالث على الساق اليسرى Left Leg (LL) .

- الربط بين قطبي الذراع الأيسر و الذراع الأيمن يدعى (Lead I) ويستخدم لتسجيل فرق الجهد الكهربائي بين الذراعين الأيسر والأيمن.

- الربط بين قطبي الذراع الأيمن والساق اليسرى يدعى (Lead II) ويستخدم لتسجيل فرق الجهد الكهربائي بين الذراع الأيمن والساق اليسرى.

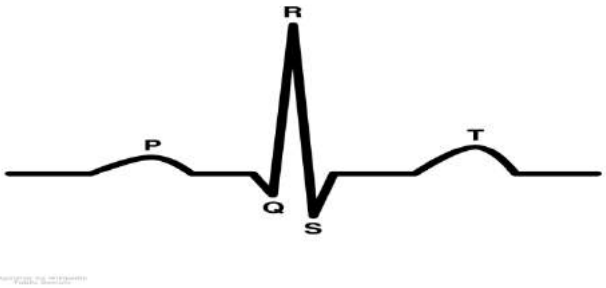
- الربط بين الذراع الأيسر والساق اليسرى يدعى (Lead III) ويستخدم لتسجيل فرق الجهد الكهربائي بين الذراع الأيسر والساق اليسرى .



مثلث اينتهوفن

و تصاحب النبض القلبي ثلاث موجات رئيسة هي :

- موجة P التي تمثل زوال الأستقطاب في الأذينين .
- موجة مركبة تعرف بموجة QRS التي تمثل زوال الأستقطاب في البطينين.
- الموجة T التي تمثل عودة الأستقطاب في البطينين.



الموجات الرئيسة المصاحبة لنبض القلب

*- للتحقق من الفعالية الكهربائية للعضلات القلبية من زوايا مختلفة يتم ربط اقطاب اضافية في مناطق معينة على منطقة الصدر.

<u>الأصوات القلبية Heart Sounds:</u> يرافق النبض صوتان متميزان هما :

1- **الصوت الأول First Sound (S_1)** : ويحدث نتيجة انغلاق الصمامات الأذينية البطينية (الصمام التاجي والصمام الثلاثي) عند بداية الأنقباض البطيني ويشبه اللفظ lub . ويكون هذا الصوت أطول و أوطأ نغمة مقارنة بالصوت الثاني.

2- **الصوت الثاني Second Sound (S_2)** : ويحدث نتيجة انغلاق الصمامات شبه الهلالية (الصمام الأبهري والصمام الرئوي) عند نهاية الأنقباض البطيني وبداية الأنبساط البطيني ويشبه اللفظ dup. ويكون هذا الصوت أقصر و أعلى من الصوت الأول

وعليه يكون الصوت القلبي متعاقبا بالشكل التالي:

Lub dup lub dup

- اضافة الى الصوتين الأول والثاني هناك صوت ثالث (S_3) يحدث نتيجة انتقال الدم من الأذينين الى البطينين اثناء الأنبساط البطيني، كما ان انقباض الأذينين يؤدي الى حدوث صوت رابع (S_4) من اصوات القلب ولكن من الصعوبة سماع هذا الصوت وتمييزه وذلك لأندماجه مع الصوت الأول للقلب.
- عند وجود خلل أو تلف في الصمامات ينتج عنه صوت يعرف باللغط Murmur وهو صوت ناتج عن اضطراب في تدفق الدم. ويمكن تشخيص العديد من اضطرابات القلب عن طريق سماع الأصوات القلبية.

السيطرة على نبض القلب

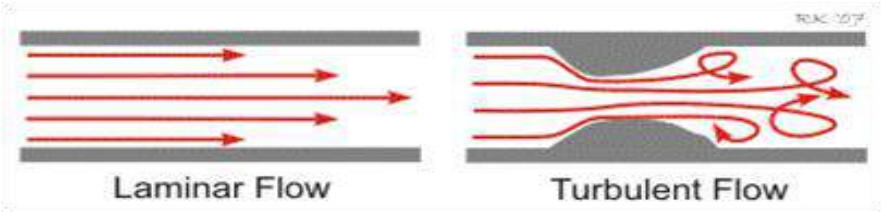
1- **السيطرة العصبية** : على الرغم من القابلية على النبض الذاتي الا ان الأعصاب تلعب دورا مهما في تحوير معدل وقوة النبض القلبي. ويقع نبض القلب تحت سيطرة الجهاز العصبي الذاتي الذي يشمل الجهاز العصبي الودي (السمبثاوي) Sympathetic Nerve System الذي تعمل اليافه العصبية على تحفيز سرعة وقوة النبض بالأضافة الى دوره المهم في السيطرة على اقطار الأوعية الدموية والجهاز العصبي نظير الودي Parasympathetic Nerve System الذي تعمل اليافه العصبية على تثبيط سرعة وقوة النبض.

2- **السيطرة الكيميائية :** وتشمل تأثير الأستل كولين الذي يتحرر من الألياف العصبية الكولينية الفعل والذي يبطيء معدل نبض القلب عن طريق زيادة تواصل البوتاسيوم فيزيد من استقطاب الأغشية فتزداد الفترات الزمنية بين جهود الفعل المتتالية كما انه يقلل سرعة التوصيل من الأذينين الى البطينين خلال العقدة الأذينية- البطينية مما يؤدي الى بطيء معدل النبض أما الأبينفرين والنورابينفرين فيسببان زيادة في معدل نبض القلب حيث يزداد تواصل الصوديوم فيزداد معدل زوال الأستقطاب في جهد منظم الخطى فتقصر الفترات الزمنية بين جهود الفعل المتتالية كما تزداد سرعة التوصيل خلال العقدة الأذينية- البطينية فيزداد معدل النبض .

جريان الدم Blood Flow:

يكون جريان الدم داخل الأوعية الدموية بشكل طبقي أي صفائحي Laminar Flow أي يكون الجريان في وسط الوعاء أسرع مما هو عليه قرب جدار الوعاء .

- عند حدوث انسداد جزئي في مجرى الدم فأن سرعة جريان الدم بعد عبوره منطقة الأنسداد تكون أعلى مما يؤدي الى احداث صوت يمكن سماعه بأستخدام سماعة طبية بسبب مرور الدم من منطقة ضيقة الى منطقة أوسع وهنا يدعى جريان الدم بجريان الدم الضوضائي Noisy Blood Flow (أو الجريان المضطرب Turbulent Flow) وهو الأساس في سماع الصوت عند قياس ضغط الدم عن طريق ربط جهاز قياس الضغط حول منطقة الشريان العضدي وهذا الصوت يعرف بصوت كورتكوف Korotkov Sound و يزول الصوت عندما يفتح الشريان بشكل كامل حيث يصبح جريان الدم بدون اضطراب .



جريان الدم

ضغط الدم Blood Pressure:

وهو القوة التي يسلطها الدم على جدران الأوعية الدموية. ويقاس ضغط الدم عادة بقياس القوة التي يسلطها الدم على جدران الشرايين ، وهناك رقمان مرتبطان بقياس ضغط الدم، الأول يمثل مايدعى بضغط الدم الأنقباضي Systolic Pressure وهو قوة الدم المسلطة على جدران الوعاء اثناء تقلص القلب لضخ الدم. اما الرقم الثاني فيمثل مايدعى بالضغط الأنبساطي Diastolic pressure وهو القوة التي يسلطها الدم على جدران الوعاء اثناء انبساط القلب ، وبذلك يكون الضغط الأنقباضي دائما اعلى من الضغط الأنبساطي.

- ان ضغط الدم مهم جدا حيث لولاه لايمكن ضخ الدم خلال الجسم لغرض وصوله الى الأعضاء والأنسجة المختلفة.

- عند كتابة ضغط الدم يوضع الضغط الأنقباضي في الأعلى (البسط) والضغط الأنبساطي في الأسفل(المقام) فمثلا لو كان ضغط الدم الأنقباضي 120 mmHg والأنبساطي 80 mmHg فأن هذا القياس يعبر عنه بالصيغة 120/80. علما ان كلا الرقمين مهمين في تقييم ضغط الدم.

(mmHg = ملم زئبق = ملم ز) وهي وحدة قياس الضغط

عند انقباض البطين الأيسر يرتفع الضغط داخله الى 120 ملم ز وهذا يؤدي الى انفتاح الصمام الأبهري الكائن بين البطين الأيسر والشريان الأبهر فيندفع الدم الى داخل الأبهر الذي يكون الضغط داخله قد ارتفع ايضا الى 120 ملم ز ويسمى هذا الضغط بالضغط الأنقباضي Systolic pressure وبعد ذلك يبدأ البطين الأيسر بالأنبساط فينخفض الضغط بداخله الى ان يصل الى الصفر تقريبا. يرافق ذلك انخفاض الضغط داخل الشريان الأبهر والشرايين المتفرعة منه ولكن الى حد يصل الى 80 ملم ز. اذ ينغلق الصمام الأبهري وبذلك يمنع عودة الدم الى البطين الأيسر فيثبت الضغط في الشرايين عند مقدار 80 ملم ز ولا يستمر بالأنخفاض بسبب غلق الصمام ويسمى هذا الضغط بالضغط الأنبساطي Diastolic Pressure.

يدعى الفرق بين الضغط الأنقباضي والضغط الأنبساطي بضغط النبض ويعادل تقريبا 40 ملم ز عند البالغين .

اما المعدل الحسابي للضغطين الأنقباضي والأنبساطي فيدعى متوسط ضغط الدم ويحسب كما يأتي:

$$\frac{120 + 80}{2} = 100 \text{ ملم.ز}$$

تبدلات الضغوط في القلب خلال الحوادث الآلية المرافقة للنبض :

عند انبساط الأذينين. يمتليء الأذين الأيمن بالدم الوارد عن طريق الأوردة الجوفاء من انحاء الجسم ، ويمتليء الأذين الأيسر بالدم الوارد من الرئتين عن طريق الأوردة الرئوية وذلك نتيجة الفرق في الضغط بين هذه الأوردة والأذينين . حيث يكون الضغط في الأوردة أعلى من الضغط في الأذينين ببضع ملم ز ، فالضغط الوريدي الناتج عن تدليك العضلات الهيكلية لجدران الأوردة يكون حوالي 10 ملم ز، بينما يكون الضغط داخل الأذينين في هذا الأثناء صفر .

عند الأنقباض الأذيني يرتفع الضغط داخل الأذين الأيمن الى حوالي (6-4) ملم ز بينما يرتفع داخل الأذين الأيسر الى حوالي (8-7) ملم ز وفي هذه الأثناء يكون الضغط في البطينين حوالي صفر بسبب الأنبساط البطيني وهذا يؤدي الى انفتاح الصمامات الأذينية البطينية فيمتلىء البطينان بالدم .

بعد ذلك تأتي مرحلة الأنقباض البطيني الذي يكون انقباضا قويا بسبب سمك جدران البطينين ، فيرتفع الضغط في البطين الأيسر الى حوالي 120 ملم ز وفي البطين الأيمن الى حوالي 25 ملم ز ، ان ارتفاع الضغط في البطينين يؤدي الى انغلاق الصمامات الأذينية البطينية وذلك يمنع عودة الدم الى الأذينين .

وبنفس الوقت ستنفتح الصمامات شبه الهلالية فيندفع الدم من البطين الأيسر بقوة الى الشريان الأبهر ، بينما يندفع الدم من البطين الأيمن الى الشريان الرئوي ، ونتيجة ذلك سيرتفع الضغط في الشريان الأبهر الى 120 ملم ز ، ويرتفع الضغط في الشريان الرئوي الى 25 ملم ز .

يلي ذلك انبساط البطينين ، فينخفض الضغط فيهما الى الصفر وتنغلق الصمامات شبه الهلالية تاركة الضغط في الشريان الأبهر بحدود 80 ملم ز وبحدود 10 ملم ز في الشريان الرئوي . وبأنغلاق الصمامات شبه الهلالية لايمكن للدم أن يعود الى البطينين .

أسباب عدم عودة الدم من الأذينين الى الأوردة خلال التقلص (الأنقباض) الأذيني :

1- بقاء الضغط في الأذينين عند انقباضهما أقل من الضغط داخل الأوردة .
2- اثناء الأنقباض الأذيني يحدث تضيق في الفتحة الكائنة بين الأذين والوريد بفعل الألياف الحلقية الموجودة بمنطقة اتصال الأوردة بالأذينين .
3- تكون المقاومة ضد انتقال الدم من الأذينين الى البطينين ضعيفة جدا بسبب الترتيب الخاص للصمامات الأذينية البطينية .

العوامل المؤثرة في ضغط الدم

1- المقاومة المحيطية Peripheral Resistance

وهي المقاومة التي تواجه الدم في المناطق البعيدة عن القلب والشرايين الرئيسة وتتركز بصورة اساسية في الشرينات . وتتناسب المقاومة المحيطية عكسيا مع قطر الوعاء الدموي حيث يؤدي تضيق الشرينات الى زيادة المقاومة المحيطية وبالتالي زيادة ضغط الدم أي أن العلاقة بين ضغط الدم والمقاومة المحيطية علاقة طردية.

2- النتاج القلبي Cardiac Output

ويقصد به حجم الدم الذي يضخه القلب في الدقيقة الواحدة ويعتمد على معدل النبض (أي عدد النبضات في الدقيقة) وعلى حجم الضربة (اي حجم الدم الذي يضخه كل بطين في النبضة الواحدة) علما أن العلاقة بين ضغط الدم وبين النتاج القلبي علاقة طردية

- يعتمد معدل النبض على التبدلات الأيونية والهورمونية ودرجة الحرارة ، بينما يعتمد حجم الضربة على حجم الدم الوريدي العائد الى القلب وعلى حجم القلب وعلى قوة

العضلات القلبية والحالة الفسلجية للشخص ولذلك يكون حجم القلب عند الأشخاص الرياضيين أكبر ويرافق ذلك زيادة في البروتينات العضلية والمايوكلوبين ويكون نبضهم أوطأ

- اما المرضى المصابون بتضخم القلب فعلى الرغم من زيادة كتلة العضلات القلبية في قلوبهم الا أن قوة الأنقباض لديهم تكون ضعيفة

3- لزوجة الدم Viscosity of Blood

تزداد لزوجة الدم بزيادة عدد الخلايا الحمر كما يحدث في حالة فرط الخلايا الحمر ، بينما يؤدي فقر الدم الى انخفاضها ، كما تعتمد ايضا على مايحويه البلازما من مواد بروتينية، علما أن العلاقة بين ضغط الدم ولزوجته علاقة طردية.

الدم Blood :

يتألف الدم من انواع مختلفة من العناصر الخلوية ضمن سائل البلازما.

بلازما الدم :معظمه (حوالي **90%**) ماء و يحوي مواد عديدة ذائبة تشمل:

1- الآيونات : كآيونات الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم والكلورايد والبيكاربونات وهذه الآيونات لها دور مهم في الحفاظ على التوازن الأوزموزي للدم. كما ان بعضها يساعد كداريء للدم لجعل حامضيته (PH) ثابتة نحو قيمة (**7.4**).

2- بروتينات لها وظائف عديدة تشمل:

- الألبومين الذي يعمل مع غيره من البروتينات كداريء ضد تغير حامضية الدم PH , بالأضافة الى الحفاظ على التوازن الأوزموزي بين الدم والسائل البيني interstitial fluid والمساهمة في منح اللزوجة للدم.

- هناك أنواع من بروتينات البلازما لها وظائف خاصة تشمل:

- الكلوبيولينات ألفا وبيتا (α Globulins , β Globulins) وتعرف هذه الكلوبيولينات بالبروتينات الناقلة Transport Proteins حيث تعمل على نقل الهورمونات والأنزيمات عبر الدم .

- الكلوبيولينات كاما γ Globulins ومنها الأميونو كلوبيولينات Immunoglobulins أو الأجسام المضادة Antibodies وهي تساعد في مكافحة الفايروسات وغيرها من العوامل التي تغزو الجسم.

- الفايبرينوجين Fibrinogen وهو برتين مجلط يساعد في عمل سدادة عند تعرض الأوعية الدموية للضرر، وعند ازالة هذا البروتين فأن المتبقي من البلازما يدعى بالمصل Serum . (جمع مصل هو أمصال أو مصول Sera or Serums)

3- كما تحوي البلازما أيضا أنواع عديدة من المواد التي تنتقل بين اجزاء الجسم والتي تشمل المغذيات Nutrients كالكلوكوز والأحماض الدهنية والفيتامينات وكذلك تحوي الفضلات الأيضية و الغازات التنفسية والهورمونات.

العناصر الخلوية في الدم : يوجد في بلازما الدم ثلاث عناصر خلوية هي الخلايا الحمر (RBCs) Red Blood Cells والتي تعرف ايضا بـ Erythrocytes التي تنقل الأوكسجين، والخلايا البيض(WBCs) White Blood Cells وتعرف ايضا بـ Leukocytes ذات الوظيفة الدفاعية ، والصفيحات الدموية (plts) Blood Platelets وتعرف ايضا بـ Thrombocytes وهي قطع خلوية ترتبط بعملية ايقاف النزف و تخثر الدم.

الخلايا الجذعية Stem Cells وتكوين خلايا الدم Hematopoiesis :

الخلايا الجذعية Stem Cells: وهي خلايا تمتلك صفات تميزها عن باقي الانواع من الخلايا حيث انها:

1- خلايا غير متخصصة Unspecialized Cells تمتلك القدرة على تكرار(تجديد) نفسها Self Renewing والتكاثر Proliferation لفترات طويلة عن طريق الأنقسام الخلوي.

2- تحت ظروف فسلجية او تجريبية يمكن تحفيزها لتصبح خلايا ذات وظائف خاصة معينة كأن تصبح خلايا عظمية أو غضروفية أو دهنية أو عصبية أو دموية وغيرها من انواع الخلايا، وتدعى هذه الخاصية بمرونة الخلايا الجذعية Stem Cell Plasticity وهذه الخاصية مهمة جدا في علاج العديد من الأمراض الهامة كبعض امراض القلب ومرض السكري ومرض باركنسن

انواع الخلايا الجذعية: هناك نوعين رئيسين من الخلايا الجذعية حسب تواجدها هما :

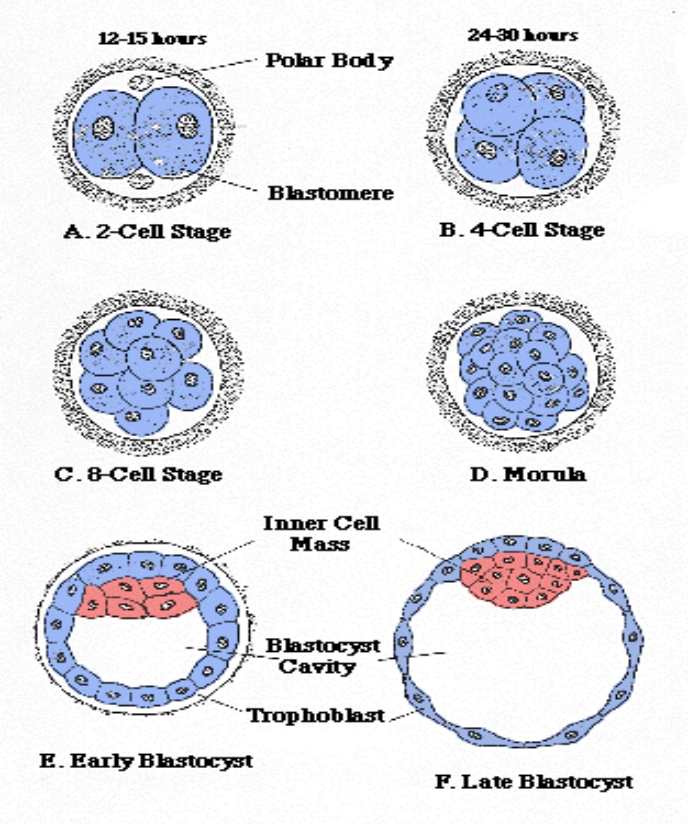
1- الخلايا الجذعية الجنينية Embryonic Stem Cells

وتتكون بعد تخصيب البيضة ، ولغرض الحصول على هذا النوع من الخلايا للأغراض الطبية أو التجريبية يتم تلقيح البيضة خارج الجسم وتستخرج الخلايا الجذعية من الجنين وهو بعمر(4-5) ايام والذي يكون حينها عبارة عن كرة مجهرية مجوفة من الخلايا وتدعى بالكيس الأريمي Blastocyst الذي يتضمن ثلاث تراكيب هي :

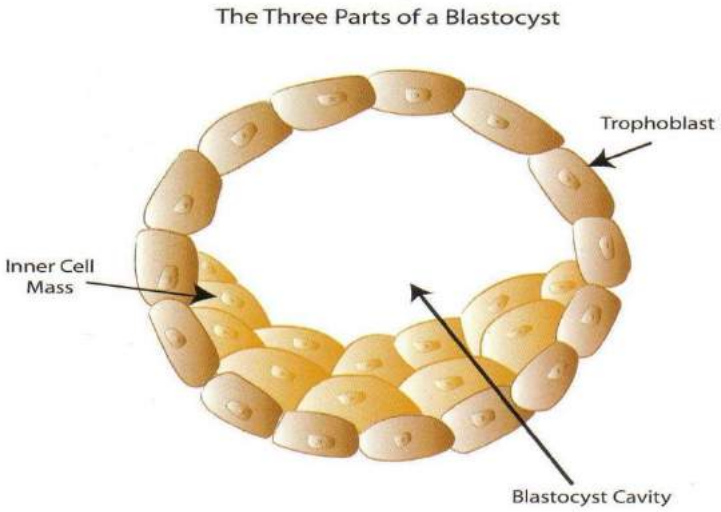
- الطبقة المغذية Trophoblast التي تشكل السطح الخارجي .

- الجوف الأريمي Blastocoel وهو التجويف الموجود داخل الكيس الأريمي ويدعى أيضا Blastocyst Cavity.

- كتلة خلوية داخلية Inner Cell Mass وهي مجموعة خلوية تتألف من حوالي 30 خلية جذعية موجودة في احدى نهايات الجوف الأريمي .



مراحل انقسام البيضة المخصبة (Zygote) لحين تكوين الكيس الأريمي (Blastocyst)



تراكيب الكيس الأريمي Blastocyst

*- لو سمح للكيس الأريمي بأستكمال نموه فأن الطبقة المغذية تتطور الى الأغشية المحيطة بالجنين Extra-Embryonic Membranes و المشيمة placenta ، اما طبقة الخلايا الداخلية فتتطور لتكوين الجنين وهذا مايحدث في حالات الحمل عند تلقيح البويضة داخل جسم الأنثى .

2- **الخلايا الجذعية البالغة Adult Stem Cells**: وتعرف ايضا بالخلايا الجذعية الجسمية Somatic Stem Cells وهي عبارة عن خلايا جذعية غير متخصصة موجودة ضمن نسيج او عضو متخصص ، حيث يمكنها تجديد نفسها والتخصص لأنتاج خلايا متخصصة ضمن النسيج او العضو.ان الدور الأساسي لهذا النوع من الخلايا في الكائن الحي هو الحفاظ على النسيج الذي توجد ضمنه واصلاح التالف منه. ويوجد هذا النوع من الخلايا الجذعية في مختلف اجزاء الجسم كالنخاع العظمي و الدم المحيطي والجلد والدماغ والأوعية الدموية والعضلات والكبد بالأضافة الى وجودها بكميات جيدة في دم الحبل السري.

*- ان استخدام الخلايا الجذعية البالغة يمتلك اهمية كبيرة حيث ان استخدام الخلايا الجذعية المعزولة من المريض ذاته، ومن ثم اكثارها واعادتها الى المريض يعني تجاوز عقبة رفض الجهاز المناعي للخلايا، دون الحاجة الى اعطاء مثبطات مناعية Immunosuppressive Drugs ، بينما يمكن ان يواجه اعطاء الخلايا الجذعية الجنينية الى المريض رفضا مناعيا.

*- يمكن للخلايا الجذعية الجنينية ان تعطي كل انماط خلايا الجسم ، بينما يكاد يقتصر دور الخلايا الجذعية البالغة على التمايز الى نمط خلايا النسيج أو العضو الذي تتواجد فيه، مع وجود دلائل تشير الى امكانية تمايزها الى انواع اخرى من الخلايا ولكن بصورة محدودة بالمقارنة مع الخلايا الجذعية الجنينية.

*- ان اهم فائدة تطبيقية للخلايا الجذعية هي امكانية توليد خلايا وانسجة يمكن استخدامها في علاج العديد من الحالات المرضية، حيث ان توجيه الخلايا الجذعية لكي تتمايز الى نمط خلوي معين يمنح امكانية تعويض الخلايا والأنسجة التالفة مما يؤدي الى امكانية علاج العديد من الحالات المرضية كالسكري Diabetes، ومرض باركنسن Parkinson's Disease ، ومرض الزهايمرAlzheimer's Disease ، وامراض القلب، والحروق، وغيرها .

- **<u>مرض باركنسن</u> : مرض ناتج عن تلف جزء محدد في النواة القاعدية للدماغ معروف بأسم المادة السوداء وهذه المادة مسؤولة عن افراز مادة الدوبامين الضرورية لتوازن وضبط حركات الأنسان، ومن ابرز اعراض المرض الرجفان وتصلب الجسم واختلال التوازن.**
- **<u>مرض الزهايمر</u>: ويدعى ايضا بمرض النسيان أو الخرف وهو مرض يصيب الخلايا العصبية في المخ ويؤدي الى تلفها والى انكماش حجم المخ حيث يصيب الجزء المسؤول عن التفكير والذاكرة واللغة.**

تكوين خلايا الدم Hemopoiesis or Hematopoiesis

ان عملية تكوين خلايا الدم تبدأ مبكرا في كيس المح Yolk Sac ثم بعدها تحدث في الكبد ثم الطحال. ويتكون نخاع العظم في نهاية الشهر الثاني من عمر الجنين ولكن اهميته في تكوين خلايا الدم تبدأ من الشهر الخامس. وفي الشهر السابع من الحمل يصبح نخاع العظم (الموجود حينها في تجاويف كل عظام الجسم) الموقع الرئيسي لهذه العملية.

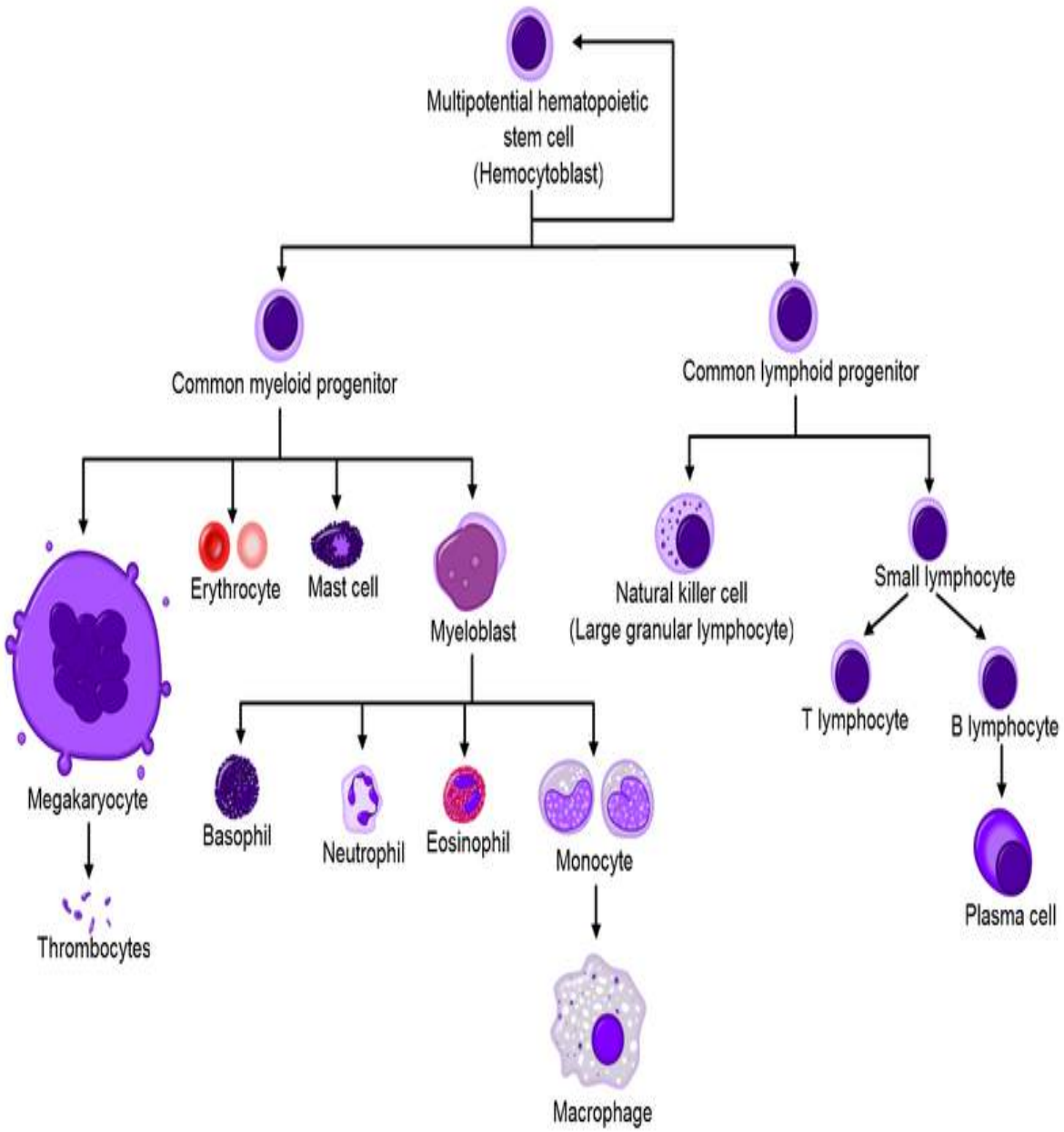
*- خلال السبع سنوات الأولى يتواجد نخاع العظم الأحمر(لأحتوائه على كمية كبيرة من الخلايا المكونة للخلايا الحمربمراحل نضج مختلفة) في كل تجاويف العظام ثم يبدأ وجوده بالأنحسار تدريجيا ، و بعد البلوغ يقتصر وجوده في مناطق محددة من تجاويف العظام كنهايات العظام الطويلة القريبة من محور الجسم (الفخذ والساق والعضد) والعظام المسطحة (كالترقوة والقص والفقرات والأضلاع) ويحل محله في المناطق الأخرى نخاع عظم اصفر دهني، ويستمر ذلك حتى سن الحادية والعشرين.

*- بعد الولادة يقتصر حدوث عملية تكوين خلايا الدم على نخاع العظم ولكن في حالات مرضية كالأصابة بعدوى مايكروبية أو الأصابة باللوكيميا Leukemia أو الورم الليمفاوي Lymphoma يعود دور كل من الكبد والطحال في هذه العملية وهذا مايعرف بتكوين خلايا الدم خارج النخاع (Extramedullary Hemopoiesis)

تنظيم تكون خلايا الدم: هناك عوامل نمو Growth Factors تشمل مايعرف بالسايتوكاينات Cytokines والأنترلوكينات Interleukins (ILs) والهرمونات Hormones تشترك في تنظيم كل مراحل تكوين خلايا الدم فمثلا الـعامل المحفز لمستعمرات الخلايا الحبيبية Granulocyte-Colony Stimulating Factor (G-CSF) الذي ينتج من قبل الخلايا السدوية في نخاع العظم ينظم عملية تكوين الخلايا البيض الحبيبية Granulopoiesis ، وهورمون Erythropoietin الذي تنتجه الكلية ينظم تكوين خلايا الدم الحمر Erythropoiesis والـ Thrombopoietin الذي ينتجه الكبد ينظم تكوين الصفيحات الدموية.

*- تعطي الخلايا الجذعية المكونة للدم Hemopoietic(Hematopoietic) Stem Cells كل انواع خلايا الدم، فبعد تكاثر الخلايا الجذعية يبدأ قسم منها بالتمايز لتصبح مايعرف بالخلايا المتعهدة Committed Cells ويطلق عليها ايضا مصطلح Progenitor Cells، وهذه الخلايا المتعهدة يتم توجيه قسم منها لأنتاج الخلايا النخاعينية لذلك تعرف بالخلايا المتعهدة النخاعينية Myeloid Progenitor Cells والتي تستمر بالتمايز لتنتج كل من الخلايا البيض الحبيبية بأنواعها، والخلايا البدينة، والخلايا الوحيدة، والخلايا الحمر، والخلايا النواء Megakaryocytes التي تنشأ منها الصفيحات الدموية. بينما يتم توجيه القسم الأخر ليعطي الخلايا اللمفاوية

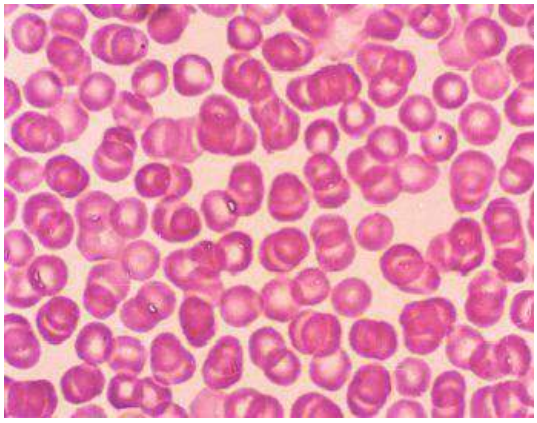
لذلك تعرف بالخلايا المتعهدة اللمفاوية Lymphoid Progenitor Cells والتي تعطي بعد تمايزها الخلايا اللمفاوية (B وT) بالأضافة الى الخلايا القاتلة الطبيعية Natural Killer Cells كما هو موضح في الشكل .



مراحل تكون الأنواع المختلفة من خلايا الدم

<u>خلايا الدم الحمر (RBCs)</u> : وهي خلايا صغيرة الحجم يبلغ قطرها حوالي **µm (8.5 -7)** قرصية الشكل مقعرة الوجهين (Biconcave Shape) حيث ان مركزها ارق من حافاتها .

بالمجهر الألكتروني



بالمجهر الضوئي

خلايا الدم الحمر Erythrocytes

ان حجم الخلايا الصغير وشكلها يعطي مساحة سطحية كلية كبيرة وهذا بدوره يعزز من كفاءة التبادل الغازي

- الخلايا الحمر في مجرى الدم لاتحوي نواة حيث انها فقدتها مع باقي العضيات خلال مراحل تكوينها في نخاع العظم مما يتيح مجال اوسع للهيموغلوبين الذي تحويه .

- مع ان الخلايا الحمر لاتمتلك مايتوكوندريا ولكنها نشطة ايضيا حيث تحصل على الطاقة بتوليد الـ ATP عن طريق الأيض غير الهوائي Anaerobic Metabolism (ان نقل الأوكسجين بواسطة الخلايا الحمر يكون اقل فاعلية لو كانت هذه الخلايا تستعين بالأيض الهوائي حيث انها عندئذ ستستهلك بعض الأوكسجين الذي تحمله).

- تمتلك الخلايا الحمر القدرة العالية على تغيير شكلها وذلك يمكنها من المرور خلال اوعية دموية صغيرة قد يصل قطرها الى (**3 µm**) ويطلق على هذه الصفة مصطلح Erythrocyte Deformability .

- الغشاء البلازمي للخلايا الحمر مدعم من الداخل بهيكل شبكي متألف من بروتينات متقلصة هي الأكتين Actin والسبكترين Spectrin وهي مسؤولة الى حد كبير عن الحفاظ على الشكل ثنائي التقعر المميز لهذه الخلايا.

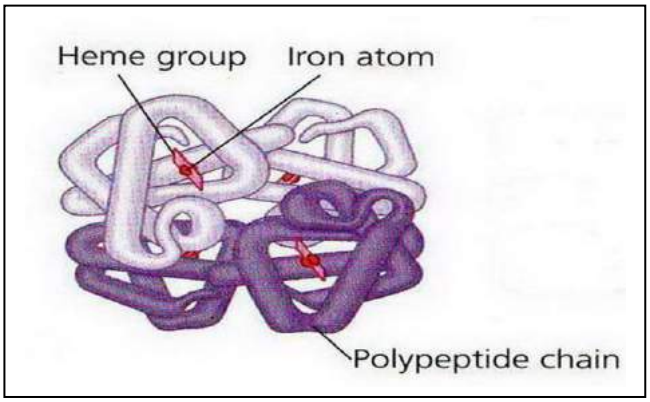
- للخلايا الحمر فترة حياة تتراوح بين (**100-120**) يوم في الدورة الدموية، حيث ان الخلايا كبيرة العمر غير قادرة على تصنيع انزيمات جديدة بدل تلك التي فقدتها خلال عمليات الأيض الطبيعية وبذلك تفقد الخلايا الكثير من قدراتها وتصبح اقل مرونة، ويتم التخلص من الخلايا كبيرة العمر والخلايا المشوهة في الطحال بصورة رئيسة وتزال بواسطة الألتهام الخلوي.

الهيموغلوبين Hemoglobin (Hb) :

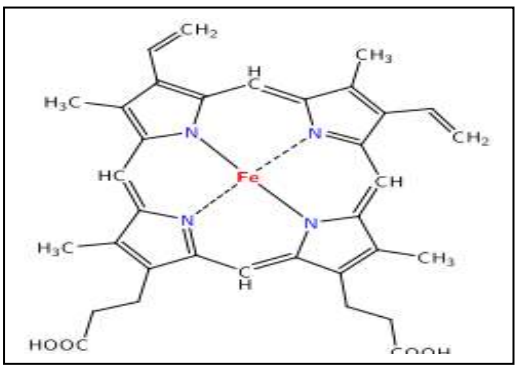
وهو البروتين الناقل للأوكسجين والحاوي على الحديد ، ويؤلف حوالي (**97%**) من المحتوى الجاف للخلية الحمراء وحوالي (**35%**) من المحتوى الكلي لها بضمنه الماء.

- تتألف جزيئة الهيموغلوبين من اربع وحدات ثانوية بروتينية كروية و كل وحدة ثانوية عبارة عن سلسلة متعدد الببتايد (Polypeptide Chain) ترتبط بمجموعة غير بروتينية تدعى الهيم (Heme) ،علما بأن كل سلسلة تنتظم بشكل طيات تحوي جيب يرتبط بقوة بمجموعة الهيم .

- ان الحديد في مجموعة الهيم يكون بهيئة حديدوز Ferrous أي Fe^{2+} ويكون محمولا ضمن حلقة تعرف بالبورفيرين (Porphyrin)، حيث ان ايون الحديدوز الذي هو موضع ارتباط الأوكسجين يرتبط بدوره مع اربعة ذرات نيتروجين في مركز الحلقة ويكون الجميع ضمن مستوي واحد ، كما ان أيون الحديدوز يرتبط بقوة بالبروتين الكروي بواسطة حلقة اميدازول (Imidazole Ring).



جزيئة هيموغلوبين



مجموعة هيم

- يمكن لجزيئة هيموغلوبين واحدة أن ترتبط بـ (1-4) جزيئات اوكسجين وذلك لأمتلاكها أربعة مجاميع هيم وكل مجموعة هيم تمتلك آيون حديدوز مع التأكيد على ان كل أيون حديدوز يمتلك القدرة على الأرتباط بجزيئة اوكسجين واحدة .

أنواع الهيموغلوبين الطبيعي : هناك أنواع مختلفة من الهيموغلوبين الطبيعي يتم انتاجها خلال مراحل نشوء ونمو الشخص الطبيعي وتشمل :

1- **هيموغلوبين البالغ Adult Hemoglobin** : ويرمز له (HbA) ويبدأ بالتكون بكميات قليلة في حوالي الأسبوع الثامن من الحمل وتزداد كميته مع تقدم عمر الجنين ويصبح سائدا الى حوالي الشهر السادس من عمر الطفل (أي حوالي 6 أشهر بعد الولادة)

- يتألف هيموغلوبين البالغ من اربع مجاميع هيم وأربعة سلاسل متعدد الببتايد حيث يبلغ المجموع الكلي للأحماض الأمينية (**574**) حامض اميني.

- تنتظم سلاسل متعدد الببتايد الى سلسلتين من نوع ألفا Alpha وسلسلتين من نوع بيتا Beta .
- يمتلك هيموغلوبين البالغ (**141**) حامض اميني في كل سلسلة من نوع ألفا و (**146**) حامض اميني في كل سلسلة من سلاسل بيتا، علما بأن تعاقب هذه الأحماض الأمينية معروف ومهم في تشخيص الهيموغلوبين غير الطبيعي.
- هناك نوع من هيموغلوبين البالغ يدعى HbA2 يتألف من سلسلتين ألفا وسلسلتين من سلاسل تدعى دلتا Delta ويوجد بنسبة قليلة لا تتجاوز حوالي 3% من مجموع الهيموغلوبين .

2- **الهيموغلوبين الجنيني البدائي Embryonic Hb**: ويتكون في كيس المح ويستمر وجوده في الجنين الى حوالي نهاية الشهر الثالث من الحمل ويوجد بأربعة أنواع هي :

1- Gower 1 : يتألف من سلسلتين من سلاسل تدعى زيتا Zeta والتي تناظر سلاسل ألفا في الهيموغلوبين البالغ وسلسلتين من سلاسل تدعى ابسلون Epsilon .
2- Gower 2 : يتألف من سلسلتين من سلاسل ألفا مع سلسلتين من سلاسل أبسلون .
3- Portland I : يتألف من سلسلتين من سلاسل زيتا وسلسلتين من سلاسل تدعى كاما Gamma .
4- Portland II : يتألف من سلسلتين زيتا وسلسلتين بيتا .

3 - **الهيموغلوبين الجنيني Fetal Hb (HbF)**: وهو النوع السائد في الأجنة وحديثي الولادة ، ويتألف من سلسلتين ألفا وسلسلتين كاما . ويظهر هذا النوع في الأسبوع الخامس من الحمل حيث يتكون في الكبد ويبقى بكميات كبيرة لعدة اشهر بعد الولادة (حوالي ستة أشهر) وبعدها تبدأ كميته بالتناقص لتصل الى أقل من 2% من مجموع الهيموغلوبين الكلي .

ملاحظة : تم تسمية السلاسل الببتيدية اعتمادا على الجينات التي تشفر لها، وتختلف هذه السلاسل في محتوى وتسلسل الأحماض الأمينية التي تحويها.

- عندما تكون جزيئة الهيموغلوبين محملة بالأوكسجين يدعى المركب الناتج بالهيموغلوبين المؤكسج Oxyhemoglobin ، ويحدث هذا التزود بالأوكسجين في الأوعية الدموية الشعرية الموجودة على جدران الحويصلات الرئوية . وعند انفصال الأوكسجين عن الهيموغلوبين يدعى المركب الناتج بالهيموغلوبين المنزوع عنه الأوكسجين Deoxyhemoglobin ويحدث ذلك بعد تحرر الأوكسجين من الهيموغلوبين الى الأنسجة .
- عند أكسدة الحديدوز Ferrous (Fe^{2+}) الموجود في جزيئة الهيموغلوبين الى حديديك Ferric (Fe^{3+})

فأن المركب الناتج يعرف بـ الميتهيموغلوبين Methemoglobin (علما بأن الحديديك لايرتبط بالأوكسجين) وقد تحدث هذه الأكسدة بتأثير بعض العقاقير المؤكسدة الحاوية على Nitrates أو Sulfonamides أو بعض مواد التخدير الموضعي كالـ Lidocaine .

في الحالات الطبيعية يعاد الهيموغلوبين الى حالته الطبيعية في الخلايا الحمر بفعل مواد مختزلة كانزيم NADH Methemoglobin Reductase الذي يمتلك الدور الرئيسي في هذه العملية بالأضافة الى انزيم NADPH Methemoglobin Reductase و الكلوتاثايون Glotathione و حامض الأسكوربك Ascorbic Acid (أي Vitamin C) .

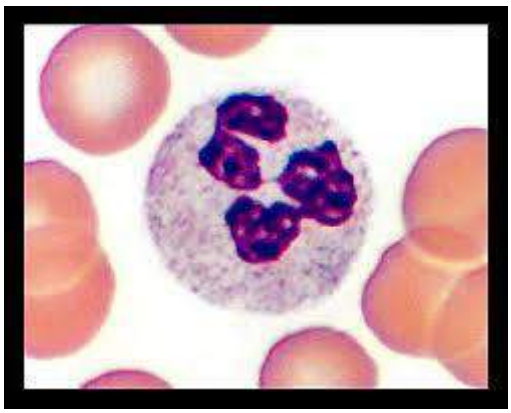
في بعض الحالات المرضية تحدث زيادة كبيرة في مستويات الميتهيموغلوبين نتيجة نقص في انزيم NADH Methemoglobin Reductase أو نتيجة التعرض لمستويات عالية من العقاقير والمواد المؤكسدة ، وفي هذه الحالة المسماة Methemoglobinemia تقل كفاءة الدم في نقل الأوكسجين الى الأنسجة، أي يحدث نقص أوكسجيني Hypoxia ويتم علاج هذه الحالات بتزويد المريض بمركبات تؤدي الى اختزال الميهيموغلوبين الى هيموغلوبين طبيعي ومن هذه المواد ازرق المثيلين الـ Methylene Blue .

- للهيموغلوبين ميل شديد للأرتباط بغاز احادي أوكسيد الكربون CO (أكثر من ميله للأرتباط بالأوكسجين بأكثر من 200 مرة) والمركب الناتج يدعى كاربوكسي هيموغلوبين Carboxyhemoglobin حيث يكون الأرتباط بنفس موقع ارتباط الأوكسجين ولذلك فأن التعرض لكميات قليلة منه يختزل كفاءة الهيموغلوبين في نقل الأوكسجين الى الأنسجة وفي الحالات الشديدة قد يؤدي الى الموت . علما ان مصدر هذا الغاز قد يكون عادم المركبات والمولدات ودخان الحرائق وكذلك دخان السكائر .
- ينتقل قسم من غاز ثنائي أوكسيد الكربون CO_2 عن طريق الهيموغلوبين وذلك بأرتباطه بمجاميع الأمين في جزيئة الكلوبين وليس بمجاميع الهيم ويدعى المركب عندئذ بـ Carbaminohemoglobin .

خلايا الدم البيض (WBCs) : خلايا تشترك في عمليات الدفاع ضد المواد الغريبة وهي تحوي انوية وعضيات وتشمل نوعين رئيسين هما:

الخلايا البيض الحبيبية Granular Leukocytes : ويطلق عليها ايضا الخلايا النخاعينية Myeloid Cells لكون منشأها في نخاع العظم. يحوي السايتوبلام في هذه الخلايا حبيبات واضحة، ويقسم هذا النوع نسبة الى الفة الحبيبات للأصطباغ بالصبغات الحامضية والقاعدية الى:

1- **الخلايا العدلة Neutrophils:** وتدعى ايضا Polymorphonuclear Leukocytes او Polymorphs Leukocytes حيث تكون نواتها ذات فصوص متعدة (**2-5**) وعدد الفصوص يرتبط بتقدم عمر الخلية . وهي الأكثر شيوعا في الخلايا البيض .



خلايا عدلة Neutrophils

- تمتلك الخلايا العدلة القليل من المايتوكوندريا والتي تجهز الخلية بحوالي (**50%**) من الطاقة التي تحتاجها وعند نشاطها فأنها تحتاج الى المزيد من الطاقة لذلك فهي تمتلك كمية وافرة من الكلايكوجين الذي يزودها بالطاقة عن طريق التحلل السكري.

تترك الخلايا العدلة الدم وتدخل الأنسجة لتصبح خلايا ملتهمة ذات حركة نشطة حيث تعمل على تناول الأحياء المجهرية التي تغزو الأنسجة ثم تقضي عليها بعملية تدعى بالألتهام الخلوي أو البلعمة Phagocytosis علما بأن حبيباتها تعتبر نوع متخصص من الأجسام الحالة Lysosomes والتي تحوي انزيمات محللة.

- لوصول الخلايا العدلة الى منطقة الأصابة او النسيج المتضرر فأنها تغادر الدوران عن طريق الألتصاق بالخلايا البطانية Endothelial Cells بواسطة جزيئات لاصقة Adhesion Molecules ثم تنتقل عبر البطانة والغشاء

القاعدي، وانتقالها يكون استجابة لعوامل جذب كيميائي Chemotaxins كالنواتج المتسربة من الخلايا الميتة والسكريات المتعددة المشتقة من البكتريا .

مراحل الألتهام الخلوي (البلعمة) Phagocytosis: ويمكن تلخيصها بالخطوات الآتية:

(a)- ترتبط الخلية العدلة بالجسيم الغريب بواسطة المستقبلات النوعية الموجودة على غشائها .

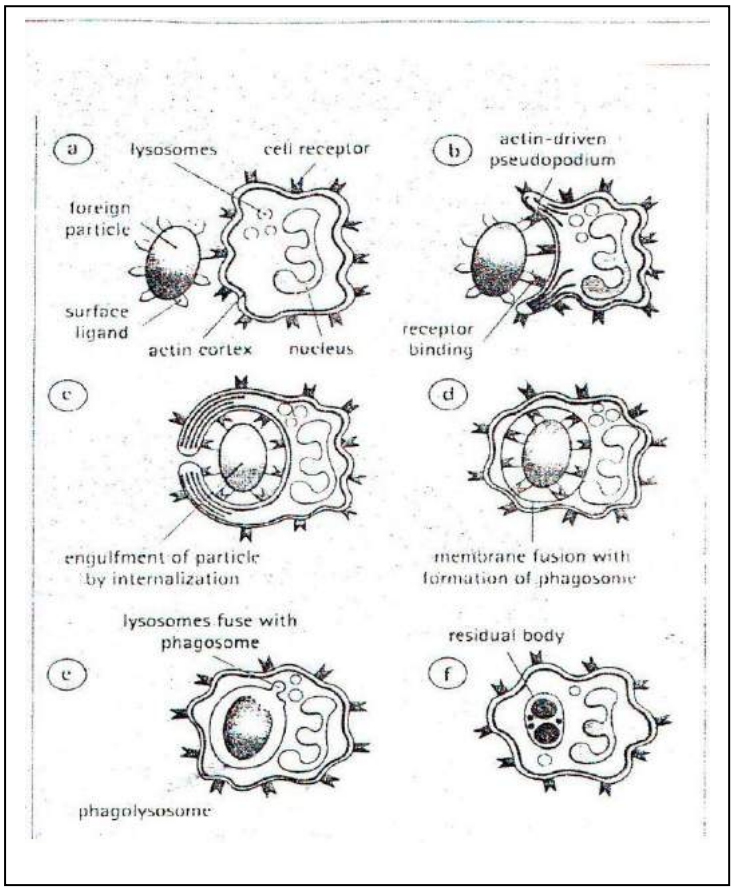
(b)- بعد اكتمال الأرتباط تبدأ الخلية العدلة بمد اقدام كاذبة Pseudopodia لتحيط بالجسيم الغريب

(c)- يتم ابتلاع Engulfment الجسيم الغريب.

(d)- بأندماج الغشاء يتكون مايدعى بالجسم الملتهم Phagosome والذي هو عبارة عن الجسيم المحصور ضمن الكيس المتكون بعد الأبتلاع.

(e)- تندمج الأجسام الحالة مع الكيس الحاوي على الجسيم الغريب وتطلق محتوياتها من الأنزيمات الحالة لقتله.

(f)- يتم تحطيم الجسيم الغريب.



الألتهام الخلوي Phagocytosis

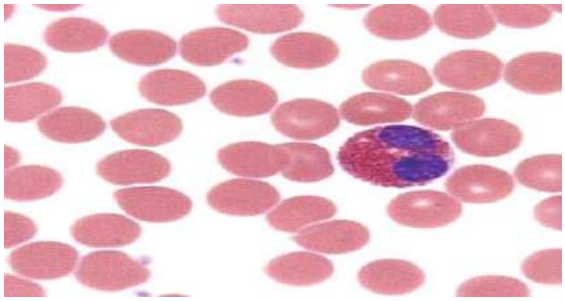
- تموت الخلايا العدلة بعد عملية الألتهام الخلوي التي تستنزف مقدار كبير من طاقتها وتستهلك احتياطي الكلايكوجين فيها.

- بعد موت الخلايا تتحرر انزيماتها المحللة الى خارج الخلايا وتسبب سيولة النسيج المجاور.

- ان مزيج الخلايا العدلة الميتة والبكتريا وحطام الخلايا الميتة والسائل النسيجي المتكون يكون مايعرف بالقيح Pus الذي يحوي ايضا بعض الخلايا الحية وعدد من الخلايا الملتهمة (البلاعم) الكبيرة Macrophages التي تستجيب ايضا لعوامل الجذب الكيميائي.

- لحصر منطقة الأصابة والألتهاب تتم احاطة هذا القيح بواسطة محفظة من الياف الكولاجين والتركيب الناتج عن ذلك يدعى الخراج Abscess.

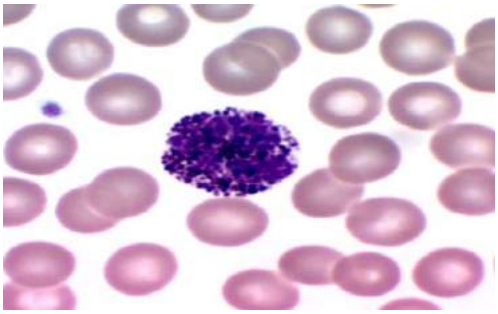
2- الخلايا الحمضة Acidophils or Eosinophils: تمتلك نواة ذات فصين وهي خلايا ملتهمة ذات ميل خاص لألتهام معقدات المستضد - الجسم المضادة Antigen-Antibody Comlexes، بينما تمتلك فعالية اقل في قتل الأحياء المجهرية بالمقارنة مع الخلايا العدلة. وتزداد هذه الخلايا في حالات الحساسية والأصابات الطفيلية، وهي ايضا تنتقل استجابة لنواتج البكتريا كما انها تجذب بواسطة المواد المتحررة من حبيبات الـ الخلايا البدينة Mast Cells كالهستامين، وعندما يكون الهدف كبير جدا ولايمكنها ابتلاعه كالطفيلي مثلا فأنها تحرر محتويات حبيباتها الى المحيط الخارجي.



خلية حمضة Eosinophil

3- **الخلايا القعدة Basophils** : نواتها غير منتظمة الشكل ، وحبيباتها تحوي الهيبارين الذي يمنع تخثر الدم والهستامين الذي يحدث زيادة في نفاذية الأوعية كما انه يجذب الخلايا الحمضة.

عند التعرض للمحسسات Allergens تحدث عملية اخراج خلوي Exocytosis لحبيبات الخلايا وتتحرر مكوناتها الى الخارج.



خلية قعدة Basophil

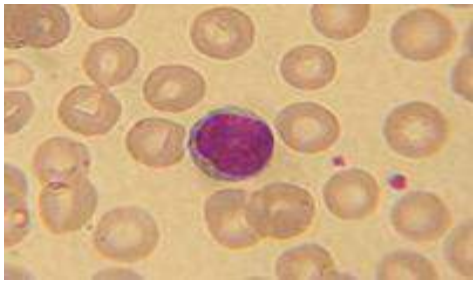
<u>الخلايا البيض غير الحبيبية Agranular Leukocytes</u>: وتكون ذات سايتوبلازم متجانس خالي من الحبيبات التي تميز النوع الأخر . وتشمل نوعين من الخلايا هما:

1- الخلايا اللمفاوية Lymphocytes: وتتكون في الأنسجة اللمفاوية كالعقد اللمفاوية والطحال واللوزتين وغدة التوثة Thymus gland بالأضافة الى نخاع العظم. يزداد عددها عند الأصابة بالفايروسات. وهي تشمل نوعين رئيسين هما :

أ- B Cells وهذه تتحول الى الخلايا البلازمية Plasma Cells التي تفرز الأجسام المضادة Antibodies .

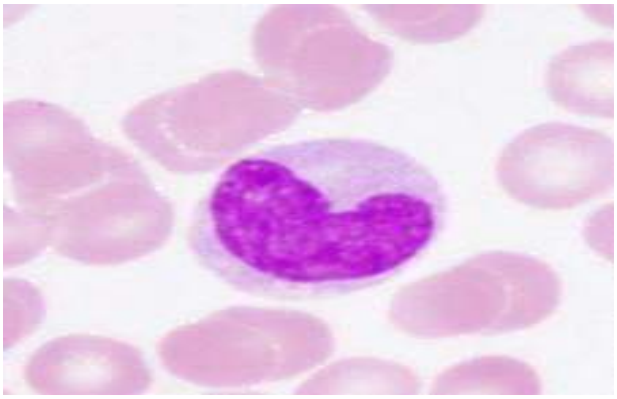
ب- T cells وتتوسط المناعة الخلوية.

- الخلايا اللمفاوية نشطة الحركة ولكن ليس لها القدرة على الألتهام.



خلية لمفاوية Lymphocyte

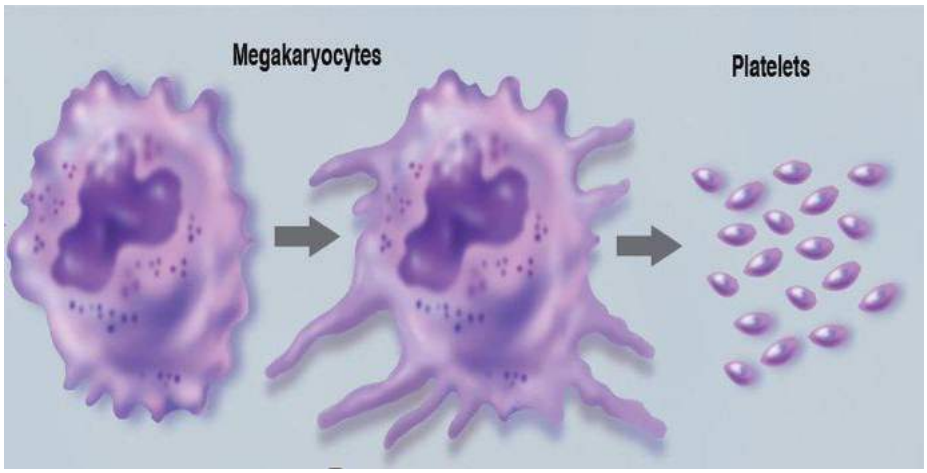
2- الخلايا الوحيدة Monocytes : وتنشأ في الطحال ونخاع العظم ، وهي خلايا ملتهمة كبيرة الحجم متحركة تستجيب كيميائيا لمواد التنخر والأحياء المجهرية وعند دخولها الأنسجة يطلق عليها الملتهمات او البلاعم الكبيرة Macrophages .



خلية وحيدة Monocyte

الصفيحات الدموية Blood Platelets : يبلغ قطرها حوالي µm(2-3) وتشتق من الخلايا الكبيرة الموجودة في نخاع العظم والتي تعرف بـ الخلايا النواء(Megakaryocytes) حيث تمد هذه الأخيرة امتدادات سايتوبلازمية طويلة، ثم تتخصر هذه الأمتدادت في مناطق مختلفة وتنقسم الى قطع كبيرة وهذه القطع هي التي تدعى بالصفيحات الدموية التي تقوم بدور كبير في عملية ايقاف النزف الدموي والتى تعرف ايضا بالأرقاء (Hemostasis).

- كل خلية نواء تنتج حوالي من (1000-2000) صفيحة تتحرر الى الدوران، بينما تتحطم بقايا المادة النووية للخلية .



تكوين الصفيحات الدموية من الخلية النواء

الجانب التركيبي للصفيحة الدموية: عند فحص الصفيحة بأستخدام المجهر الألكتروني ، تلاحظ التراكيب الأتية :

- طبقة رقيقة كالزغب تحيط بالغشاء البلازمي للصفيحة تعرف بـ Glycocalyx وتحوي مستقبلات كلايكوبروتينية خاصة بألتصاق الصفيحة وتغيير شكلها كما انها تحوي بروتينات البلازما.

- الغشاء البلازمي وتحته مباشرة توجد سلاسل من خيوط دقيقة Microfilaments و نبيبات دقيقة Microtubules والتي تكون الهيكل الخلوي للصفيحة وتحافظ على شكلها القرصي.

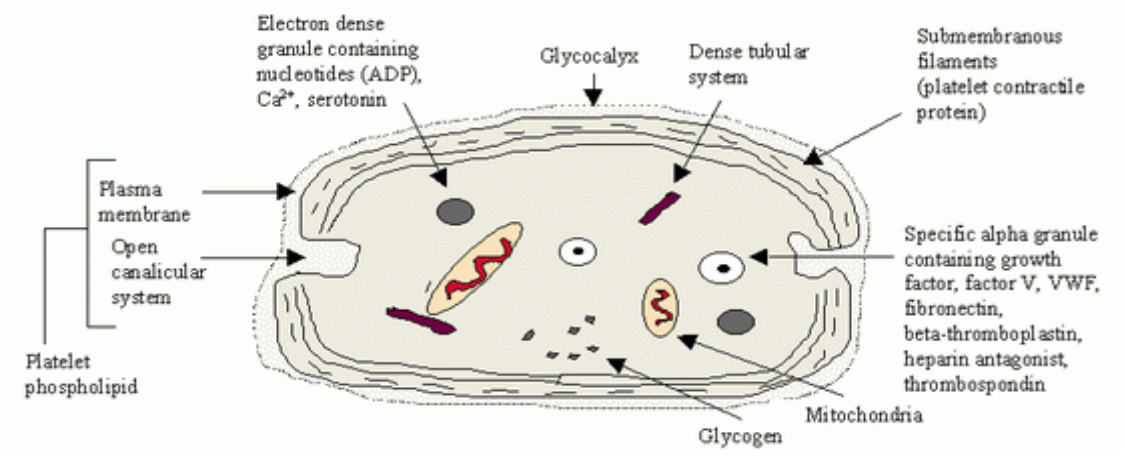
- يمتد عبر الغشاء البلازمي الى داخل الصفيحة جهاز اقنية مفتوح النهايات تتحرر عن طريقه نواتج الحبيبات الى البيئة الخارجية.

- يحتوي السايتوبلازم على بروتينات تقلصية تشمل الأكتومايوسين Actomyosin والمايوسين Myosin و الخيطين Filamin.

- تحوي الصفيحة الدموية انواع مختلفة من الحبيبات الخازنة والتي تحوي مواد عديدة تشمل:

عوامل التخثر، والسيروتونين، والأيبينفرين، والأدنين ثنائي الفوسفات (ADP)، وايونات الكالسيوم (Ca^{++})، وبروستاكلاندينات Prostaglandins ، وانزيمات التحلل المائي.

الصفيحة الدموية ذات طاقة عالية جدا، حيث انها ذات معدل ايض يفوق معدل ايض الخلية الحمراء بحوالي (10) مرات، وهي تحصل على الطاقة عن طريق الأيض الهوائي في المايتوكوندريا، والأيض اللاهوائي بأستخدام الكلايكوجين في عملية التحلل السكري Glycolysis.



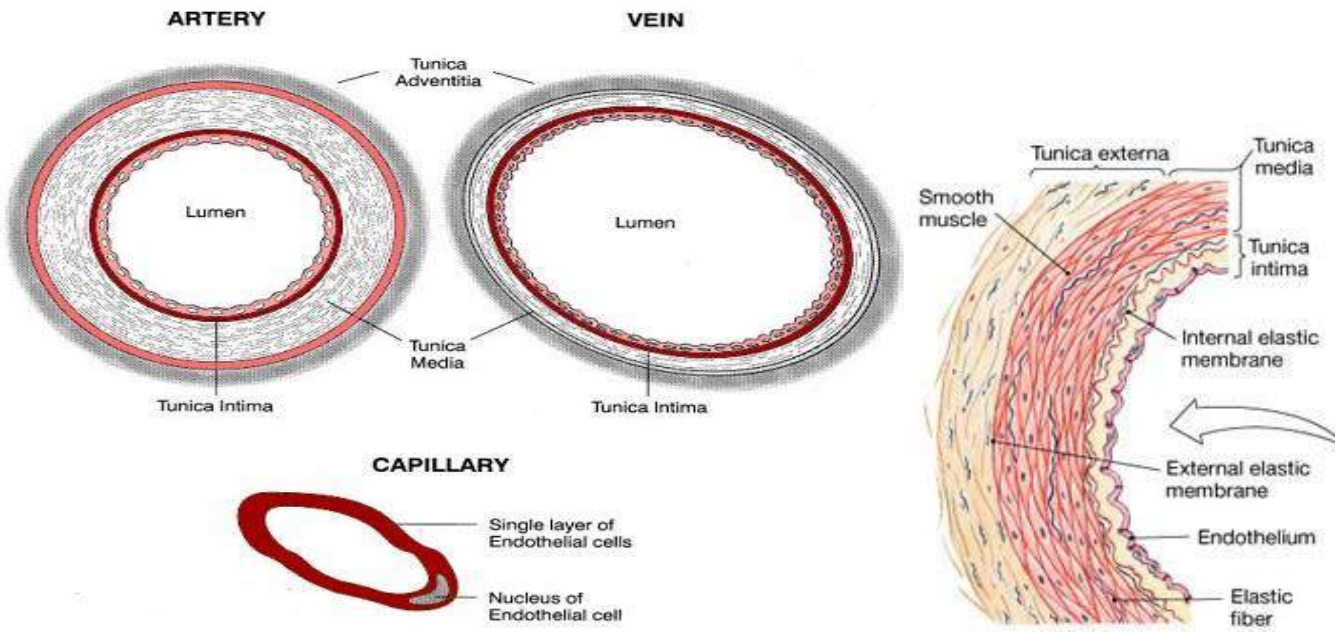
تركيب الصفيحة الدموية بالمجهر الألكتروني

<u>الأرقاء (Hemostasis)</u>: وهي عملية ايقاف النزف الدموي Hemorrhage.

على الرغم من التغايرات في حجم الأوعية الدموية وانواعها شرايين Arteries، واوردة Veins، وشرينات Arterioles، و وريدات Venules، الا ان جدرانها بصورة عامة تقسم الى ثلاث طبقات نسيجية هي

1- الغلاف الداخلي (البطاني) Tunica Intima يتألف من طبقة مفردة من خلايا بطانية Endothelial Cells مثخنة بواسطة طبقة من نسيج رابط تحت بطاني يحوي الياف مطاطة تشمل الكولاجين Collagen والأيلاستين Elastin .
2- الغلاف الوسطاني Tunica Media وهي الطبقة الأكثر سمكا وتتألف من الياف عضلية ملساء والياف مطاطة.
3- الغلاف البراني Tunica Adventitia أو Tunica Externa يتألف من نسيج رابط ليفي يحوي نهايات عصبية ذاتية كما يحوي شبكة صغيرة من الأوعية الدموية التي تغذي انسجة جدار الوعاء الدموي.

أما الأوعية الدموية الشعرية أي الشعيرات Capillaries فتكون ذات جدران رقيقة تتألف من طبقة مفردة من الخلايا البطانية Endothelial Cells ، وهي الأكثر وفرة من بين انواع الأوعية الدموية.

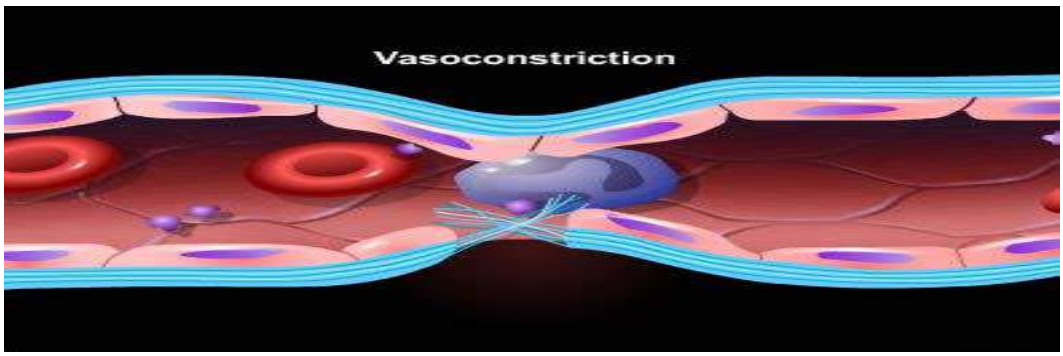


طبقات جدار الوعاء الدموي

- عند حدوث ضرر او تمزق في الأوعية الكبيرة او متوسطة الحجم كالشرايين والأوردة فأن ذلك يتطلب تداخل جراحي سريع لأيقاف النزف.

- عند حدوث الضرر في وعاء اصغر كالشرينات او الوريدات او الشعيرات يحدث الأرقاء الذي يشمل المراحل الأتية :

1- **التضيق الوعائي Vasoconstriction :** ويحدث فيه انقباض في جدران الوعاء لغرض السيطرة على النزف بتخفيض تدفق الدم من الوعاء المتضرر وهي رد فعل انعكاسي يبقى لفترة قصيرة وتقوم به العضلات الملساء الموجودة في جدار الوعاء بتحفيز من التفرعات الودية Sympathetic Branches. وبسبب التضيق يزداد التماس بين جدران الوعاء فيختزل النزف. قد يكون التضيق كاف لغلق النهايات الممزقة للشعيرات حيث تكبس البطانات اللزجة مع بعضها، كما ان التضيق يسمح ايضا بزيادة التماس بين جدار الوعاء المتضرر والصفيحات الدموية وبروتينات التخثر.

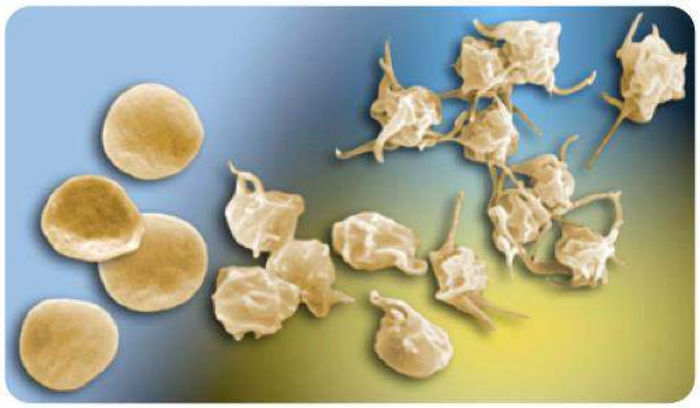


التضيق الوعائي Vasoconstriction

2- تكوين السدادة الصفيحية Platelet Plug Formation: وفيها تلتصق الصفيحات مباشرة بالنسيج الرابط تحت البطاني الذي اصبح مكشوفا (حيث تلتصق بالكولاجين بصورة خاصة). ان الصفيحات المتجمعة تعزز التضيق الوعائي عن طريق تحرير السيروتونين والأيبينفرين ومادة اخرى تدعى Thromboxane A2، وهذه الأخيرة تتكون بفعل التحلل المائي لفوسفوليبيدات غشاء الصفيحة، حيث يتحرر حامض الأراشيدونك Arachidonic Acid الذي يتحول الى بروستاكلاندينات والتي بدورها تتحول الى الـ Thromboxane A2، والتي لها دور ايضا في تسهيل تحرر المكونات الأخرى لحبيبات الصفيحة، كما ان هذه المادة تحث الصفيحات الأخرى على التجمع.

- الـ ADP المتحرر من الصفيحات يزيد من لزوجة وسرعة التصاق الصفيحات وبالتالي يؤدي الى تجمع عدد اكبر منها.

- الصفيحات غير المحفزة في مجرى الدم تكون قرصية ذات سطح املس وعند تحفيزها تصبح لزجة مع الحفاظ على شكلها القرصي ولكن عندما يكون الحافز اقوى فأنها تتحول الى شكل كروي وتمد اقداما كاذبة شوكية الشكل تساعدها على التجمع مع بعضها، وهذا التغير الأخير يحدث بوجود زيادة في مستوى الكالسيوم في السايتوبلازم.



Activated platelets show little cell feet called pseudopodia.

الصفيحات الدموية المحفزة بقوة

(الشكل الكروي ذو الأمتدادات الشوكية)

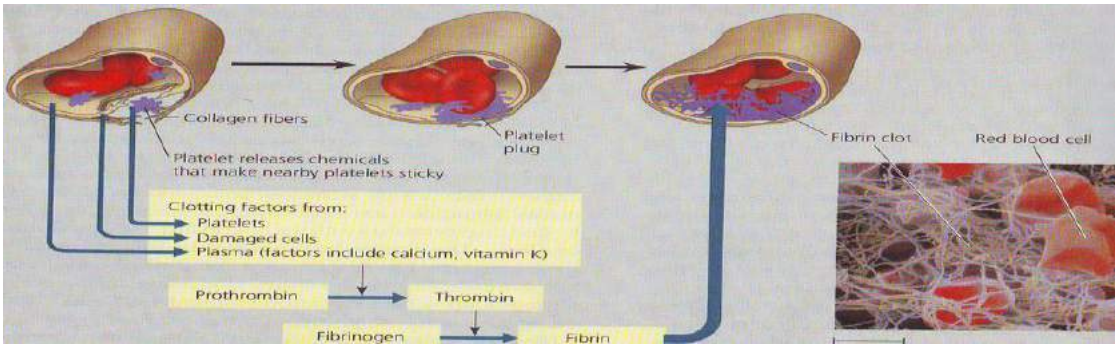
3- **<u>تخثر (تجلط) الدم Blood Coagulation :</u>** وهي مرحلة تثبيت السدادة الصفيحية وتشترك فيها عوامل تخثر عديدة ويمكن تلخيص هذه المرحلة بما يأتي:

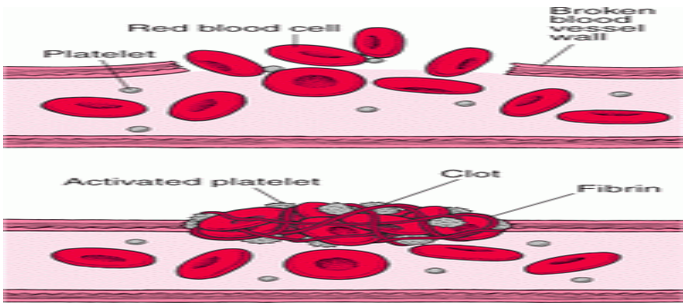
$$\text{Prothrombin} \xrightarrow{\text{Thromboplastin} + Ca^{++}} \text{Thrombin}$$

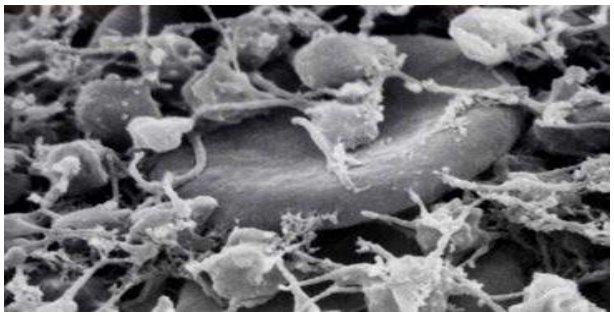
$$\text{Fibrinogen} \xrightarrow{\text{Thrombin}} \text{Fibrin}$$

حيث يترسب الفايبرين المبلمر حول كل صفيحة وبذلك يعمل على تماسك وتثبيت السدادة الصفيحية أي يتكون مايدعى بالخثرة Clot التي تحوي عددا من الخلايا الحمر العالقة.

* البروثرومبين يصنع في الكبد بوجود كمية مناسبة من فيتامين K.



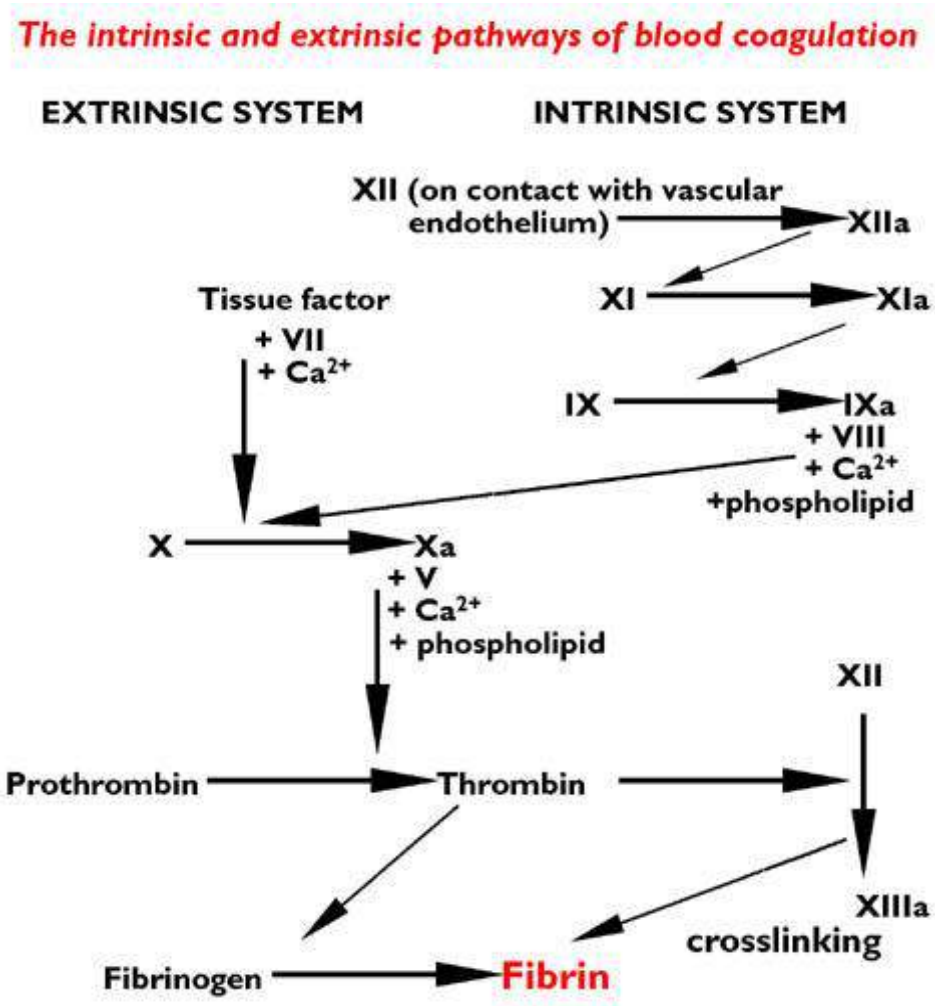




تكون خثرة الفايبرين (الليفين)

- هناك مسلكين لأشتقاق انزيم الثرومبين من الأنزيم غير النشط (البروثرومبين) أحدهما يدعى بالمسلك الداخلي Intrinsic Pathway وهذا يتم تحفيزه بواسطة عوامل موجودة ضمن الوعاء الدموي المتضرر وفيه يكون الثرومبوبلاستين متحررا من الصفيحات الدموية المتكسرة ، والآخر يدعى بالمسلك الخارجي Extrinsic Pathway وهو الذي يتم تحفيزه في الأنسجة المتمزقة المحيطة بالوعاء الدموي المتضرر حيث يتحرر الثرمبوبلاستين من هذه الأنسجة .

- المخطط الآتي يوضح بأيجاز مراحل كلا المسلكين والتي تتم بأشتراك العديد من عوامل التخثر:



- بعد تكوين الخثرة تبدأ عمليات تجديد المناطق المتضررة من جدار الوعاء، حيث تعاني الخلايا البطانية في منطقة الضرر انقسامات خلوية والخلايا الجديدة الناتجة عن هذه الأنقسامات تملأ الفجوات الناجمة عن الضرر بالأضافة الى وصول عدد من الخلايا المولدة الليفية Fibroblasts الى منطقة الأصابة لتكوين النسيج الرابط واصلاح الغشاء القاعدي للوعاء .

- بعد مراحل الأرقاء تبدأ عملية تحلل خثرة الفايبرين (الليفين) Fibrinolysis وذلك بفعل انزيم يدعى البلازمين Plasmin والذي يوجد في الدم بهيئة خاملة تدعى البلازمينوجين Plasminogen وهذا الأخير يتحول الى البلازمين بفعل مايعرف بمنشطات البلازمينوجين Plasminogen Activators .
- تزال نواتج تحلل الفايبرين بعد وصولها الى الجهاز الشبكي البطاني (في الكبد والطحال).

اللمف Lymph:

وهو السائل النسيجي الذي يدخل الى الأوعية اللمفاوية ومصدره المواد المترشحة من الأوعية الدموية الشعرية تحت تأثير الضغط الهيدروستاتي وكذلك السوائل المفرزة من خلايا الجسم. وهو مماثل لبلازما الدم ولكنه يحوي كميات أقل من بروتينات البلازما، كما يحوي اللمف خلايا لمفاوية.

- تنشأ الأوعية اللمفاوية من أوعية مغلقة النهاية تسمى الأوعية الشعرية اللمفاوية . وتدعى الأوعية اللمفاوية التي تنشأ في زغابات الأمعاء (لبينات) Lacteals.

وظائف اللمف

1- اعادة السوائل الى مجرى الدم للمحافظة على حجم الدم.
2- نقل الدهون الممتصة من الطبقة المخاطية للأمعاء الى مجرى الدم .
3- اعادة البروتينات التي تتسرب من الأوعية الدموية الشعرية والخلايا الى مجرى الدم للمحافظة على تركيز بروتينات الدم لذلك فأن حدوث انسداد في الأوعية اللمفاوية يؤدي الى انخفاض تركيز البروتينات في الدم مما يؤدي الى انخفاض الضغط الأوزموزي و قد يؤدي الى الموت.
4- الحفاظ على قدرة الدم على التخثر من خلال المحافظة على تراكيز بروتينات التخثر في بلازما الدم ونقل فيتامين K بعد امتصاصه من قبل الأمعاء، علما بأن هذا الفيتامين مهم جدا في عملية تكوين بروتين البروثرومبين في الكبد.
5- تزويد الدم بالخلايا اللمفاوية وخلايا البلازما Plasma Cells.

مجاميع الدم Blood Groups

هناك العديد من مجاميع الدم تم تسميتها اعتمادا على وجود مستضدات معينة على سطح الخلايا الحمر . فبالأضافة الى مجموعة الدم ABO ومجموعة الدم Rh هناك مجاميع دم اخرى منها مايأتي : Kell , Bombay , Lewis , Duffy , MNS , P , Lutheran , Kidd , Diego .

مجموعة الدم ABO

ان اهم انماط الدم هي مجموعة ABO (ABO Blood Group) والتي اكتشفت في اواخر عام 1900 من قبل العالم Karl Landsteiner .

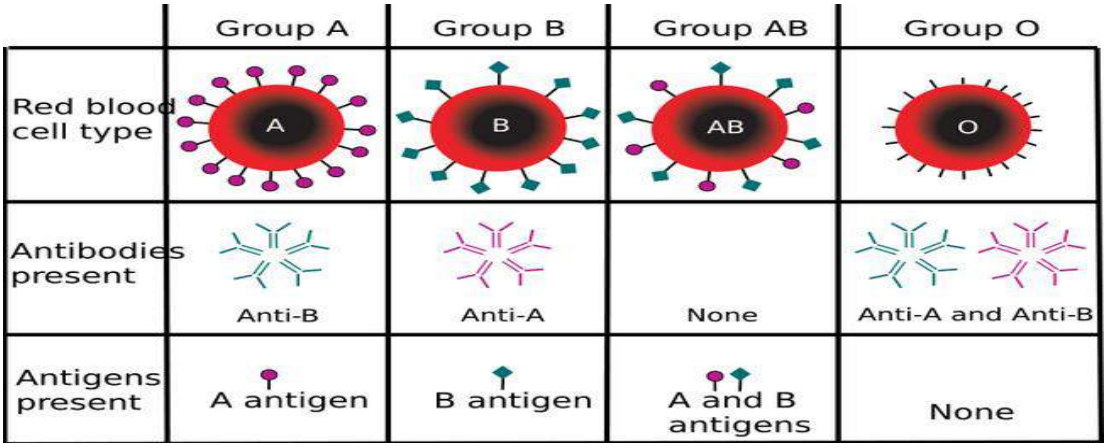
- بالأعتماد على وجود او عدم وجود نوعين من المستضدات (وهي بروتينات سكرية Glycoproteins) هما المستضد A والمستضد B على سطوح الخلايا الحمر يتم تصنيف مجاميع الدم الى اربع مجاميع رئيسة وكما يأتي:

- عند وجود المستضدات من نوع A فقط على سطوح الخلايا الحمر فأن مجموعة الدم تدعى المجموعة A . وهنا تحوي بلازما الدم اجسام مضادة من نوع b أي انها تعمل ضد المستضدات من نوع B لذلك تدعى (anti- B) .

- عند وجود المستضدات من نوع B فقط على سطوح الخلايا الحمر فأن مجموعة الدم تدعى المجموعة B . وهنا تحوي بلازما الدم اجسام مضادة من نوع a أي انها تعمل ضد المستضدات من نوع A لذلك تدعى (anti- A).

- عند وجود كلا النوعين من المستضدات (A و B)على سطوح الخلايا الحمر فأن مجموعة الدم تدعى مجموعة AB . وهنا يكون البلازما خاليا من الأجسام المضادة a و b .

- في حالة خلو سطح الخلايا الحمر من كلا النوعين من المستضدات فأن مجموعة الدم تدعى O. وهنا يحوي بلازما الدم كلا النوعين من الأجسام المضادة (a و b).



مجموعة الدم ABO : المستضدات على سطوح الخلايا الحمر، والأجسام المضادة في بلازما الدم

*- هناك مستضد اخر(بروتيني) مهم يشترك في تحديد مجموعة الدم وهو مايعرف بعامل الريسس Rhesus Factor والذي يرمز له بالرمز Rh أو الرمز D .

- عند وجود عامل الـ Rh على سطوح الخلايا الحمر فأن مجموعة الدم التي تم تحديدها اعتمادا على ماذكر سابقا تدعى بالمجموعة Positive (+) وكما يأتي (A^+ , B^+ , AB^+ , O^+).

- عند عدم وجود عامل الـ Rh على سطوح الخلايا الحمر فأن مجموعة الدم تدعى Negative (-) وكما يأتي: (A^- , B^- , AB^- , O^-).

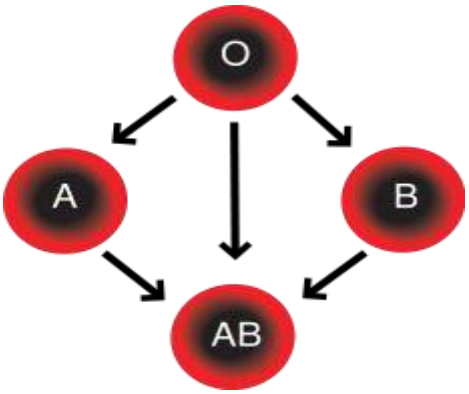
نقل الدم Blood Transfusion

- في هذه العملية يتم اعطاء الدم الى الشخص الذي يحتاجه وهنا يجب مراعاة التطابق Compatibility بين دم المستلم ودم الواهب حيث ان عدم التطابق قد يؤدي الى حدوث تفاعل مناعي من الممكن أي يسبب تحلل الخلايا الحمر المستلمة.
- في حالة عدم التطابق في المجموعة **ABO** يحدث تفاعل بين المستضدات الموجودة على سطح الخلايا الحمرللواهب والأجسام المضادة الموجودة في بلازما دم المستلم فعلى سبيل المثال ،الشخص ذو المجموعة **A** يمتلك المستضد **A** على سطوح الخلايا الحمر وهو عادة لايمتلك في بلازما دمه اجساما مضادة لهذه المستضدات بل يمتلك اجساما مضادة للمستضدات **B** وعليه لو اعطي هذا الشخص دما يعود للمجموعة **B** فأن المستضدات **B** الموجودة على سطوح الخلايا الحمر للواهب ستتفاعل مع الأجسام المضادة الموجودة في بلازما دم المستلم مما يؤدي الى تلازن الخلايا الحمر المستلمة ومن ثم تحللها بفعل تفاعلات عناصرنظام المتمم Complement System، حيث يتألف هذا النظام من عدد من البروتينات المختلفة الموجودة في بلازما الدم والتي تتفاعل مع بعضها ومع الأجسام المضادة وأغشية الخلايا مما يؤدي الى تحلل هذه الخلايا وقد يؤدي الى الوفاة في حالة حدوث تفاعل مناعي شديد. ونفس الشيء يحدث في حالة اعطاء دم يعود للمجموعة **A** الى مستلم مجموعة دمه **B**.

*- بالنسبة للأشخاص ذوي المجموعة **AB** فلا توجد في بلازما دمهم اجسام مضادة لـلـ **A** ولا للـ **B** لذلك هم يستلمون الدم من أي مجموعة دم.

*- بالنسبة للأشخاص ذوي المجموعة **O** والذين تحوي بلازما دمهم كلا النوعين من الأجسام المضادة لذلك فهم لايمكنهم استلام الدم الا من الأشخاص الذين يمتلكون نفس مجموعة دمهم .

- يمكن تلخيص امكانية وهب الدم للأشخاص اعتمادا على التطابق في مجاميع الدم **ABO** بالمخطط الأتي:



- حيث انه بألأضافة الى امكانية اعطاء الدم الى شخص يمتلك نفس مجموعة الدم للشخص الواهب فأن الشخص ذو المجموعة **O** يمكنه ان يهب الدم للأشخاص ذوي المجاميع الأخرى كافة بينما الأشخاص ذوي المجاميع **A** و **B** يمكنهم وهب الدم للأشخاص ذوي المجموعة **AB** اما ذوي المجموعة **AB** فلا يمكنهم منح الدم الا لأشخاص يمتلكون نفس المجموعة.

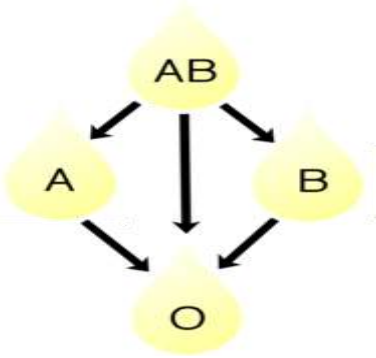
*- بالأضافة الى مراعاة التطابق في مجاميع الدم **ABO** عند اعطاء الدم يجب مراعاة التطابق في عامل الـ **Rh** حيث لايجوز ان يُعطى شخص لايمتلك عامل الـ **Rh** دما يحمل هذا العامل لأنه في هذه الحالة سيكون هذا العامل بمثابة جسم غريب يحفز الجهاز المناعي للمستلم فتتكون اجسام مضادة للـ **Rh** ترتبط بهذا المستضد الغريب بالأضافة الى تكون خلايا ذاكرة (وهي نوع من الخلايا اللمفاوية B) وعند التعرض الثاني لنفس المستضد فأن خلايا الذاكرة تبدأ بأنتاج الأجسام المضادة للـ **Rh** بسرعة أي ان الأستجابة المناعية ستكون اسرع واقوى وسيؤدي ارتباط الأجسام المضادة بالمستضدات الموجودة على سطوح الخلايا الحمر للواهب الى تحلل هذه الخلايا.

- استنادا الى ماسبق يطلق على الشخص الذي يمتلك مجموعة الدم (O^-) واهب عام Universal Donor حيث يمكنه اعطاء الدم الى ذوي المجاميع كافة بدون استثناء بينما يطلق على الشخص الذي يمتلك مجموعة الدم (AB^+) المستلم العام Universal Recipient حيث يمكنه استلام الدم من أي مجموعة دم اخرى.

*- لايمكن اعتبار ذو مجموعة الدم (O^+) واهبا عاما بصورة مطلقة حيث لايمكنه ان يهب الدم لشخص لايمتلك عامل الـ **Rh** وكذلك الحال بالنسبة للشخص ذو مجموعة الدم (AB^-) لايمكن اعتباره مستلما عاما بصورة مطلقة حيث لايمكنه استلام الدم من شخص يمتلك عامل الـ **Rh**.

*- مما سبق يلاحظ اعطاء اهمية للتفاعل بين مستضدات الواهب والأجسام المضادة في بلازما المستلم ولم يشار الى التفاعل بين الأجسام المضادة في بلازما الواهب ومستضدات المستلم وذلك يعود الى ان بلازما الواهب ستكون بكمية قليلة في دم المستلم وبذلك يكون تركيز هذه الأجسام المضادة قليل جدا وتأثيرها لايذكر.

- اما عند اعطاء بلازما الدم فقط ففي هذه الحالة يجب التركيز على الأجسام المضادة الموجودة في البلازما حيث تكون موجودة بتركيز قد يؤدي الى تفاعلها مع المستضدات الموجودة على سطوح الخلايا الحمر للمستلم والمخطط الأتي يوضح امكانية وهب بلازما الدم للأشخاص ذوي المجاميع المختلفة بالأضافة الى الأشخاص ذوي المجموعة نفسها.
- (للأسف هذه الحقيقة غير مدركة من قبل الكثير)



- حيث تكون الحالة هنا معكوسة بالمقارنة مع عملية التطابق في حالة اعطاء دم كامل أو خلايا حمر مركزة فبلازما الدم لذوي مجموعة الدم **AB** تكون خالية من الأجسام المضادة لذلك يمكنهم وهب البلازما لجميع المجاميع بينما بلازما الأشخاص ذوي مجموعة الدم **O** تحوي كلا النوعين من الأجسام المضادة لذلك يجب تجنب وهبها للمجاميع الأخرى تجنبا للتفاعل بين الأجسام المضادة في البلازما والمستضدات الموجودة على سطوح الخلايا الحمرللواهب .

- عندما تحمل الأنثى التي لاتمتلك عامل الـ **Rh** على سطوح خلاياها الحمر(أي انها **Rh^-**) جنينا يمتلك هذا العامل(حيث يكون قد ورثه من الأب علما بأن صفة الـ **Rh** سائدة) فأنه من المحتمل ان تحدث بعض المخاطر وكما يأتي:

- اذا حدث ان عبرت كمية صغيرة من دم الجنين الى دم الأم وذلك قد يحدث خلال المراحل الأخيرة من الحمل أو اثناء الولادة فأن الجهاز المناعي للأم سيستجيب بتكوين اجسام مضادة لعامل الـ **Rh** الموجود على سطوح الخلايا المتسربة الى الأم أي انه يكون (anti-Rh) اي (anti-D) و تتكون خلايا الذاكرة وهنا عادةً يسلم

الطفل الأول ولكن قد يتعرض الجنين(الذي يمتلك عامل الـ **Rh**) في حالات الحمل اللاحقة للخطورة، حيث ان خلايا الذاكرة التي تكونت نتيجة التعرض السابق للمستضد الغريب (**Rh**) ستعمل على انتاج اجسام مضادة لعامل الـ **Rh** بصورة اسرع وهذه الأجسام المضادة من نوع IgG التي بأمكانها ان تعبر المشيمة وتصل الى دم الجنين حيث تتفاعل مع المستضدات **Rh** الموجودة على سطوح الخلايا الحمر للجنين مما يؤدي الى تلازن هذه الخلايا ثم تحللها وقد يصاب الجنين بفقر دم شديد مع ارتفاع في نسبة البليروبن Bilirubin مما قد يؤدي الى الوفاة وهذه الحالة تعرف بـ Hemolytic Disease of Newborn (HDN).

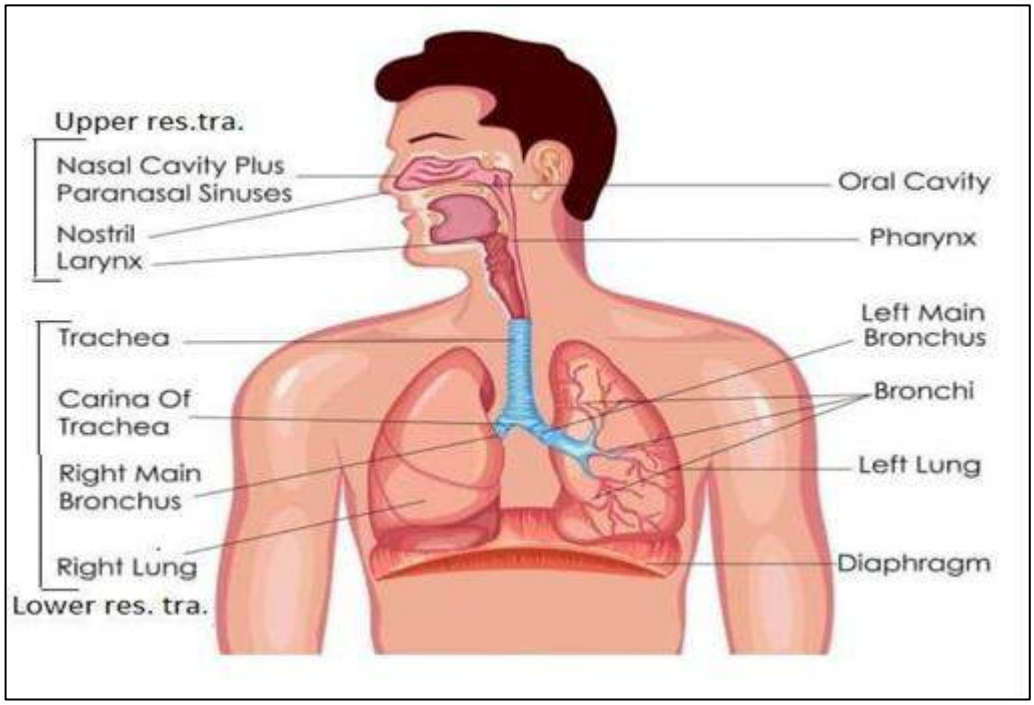
- لمنع هذه الحالة يتم حقن الأم بـ (anti-D) بعد الولادة خلال 72 ساعة في حالة كون الطفل يمتلك عامل الـ **Rh** . اذ ان حقن هذه الأجسام المضادة يؤدي الى التخلص من الخلايا الحمر الحاملة لعامل الـ **Rh** القادمة من الجنين قبل ان يستجيب الجهاز المناعي للأم ويكون اجسام مضادة للـ **Rh** وبذلك يتم تجنب تكون خلايا ذاكرة و يتم تلافي تحسس الأم لعامل الـ **Rh**.

جهاز التنفس

يتكون الجهاز التنفسي من الانف Nose والبلعوم Pharynx والحنجرة Larynx ولسان المزمار Epiglottis والرغامى Trachea والرئتين Lungs والحجاب الحاجز Diaphragm والعضلات بين الاضلاع Intercostal muscles قسمت المصادر جهاز التنفس من الناحية التركيبية الى جزئين كالاتي :

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 .

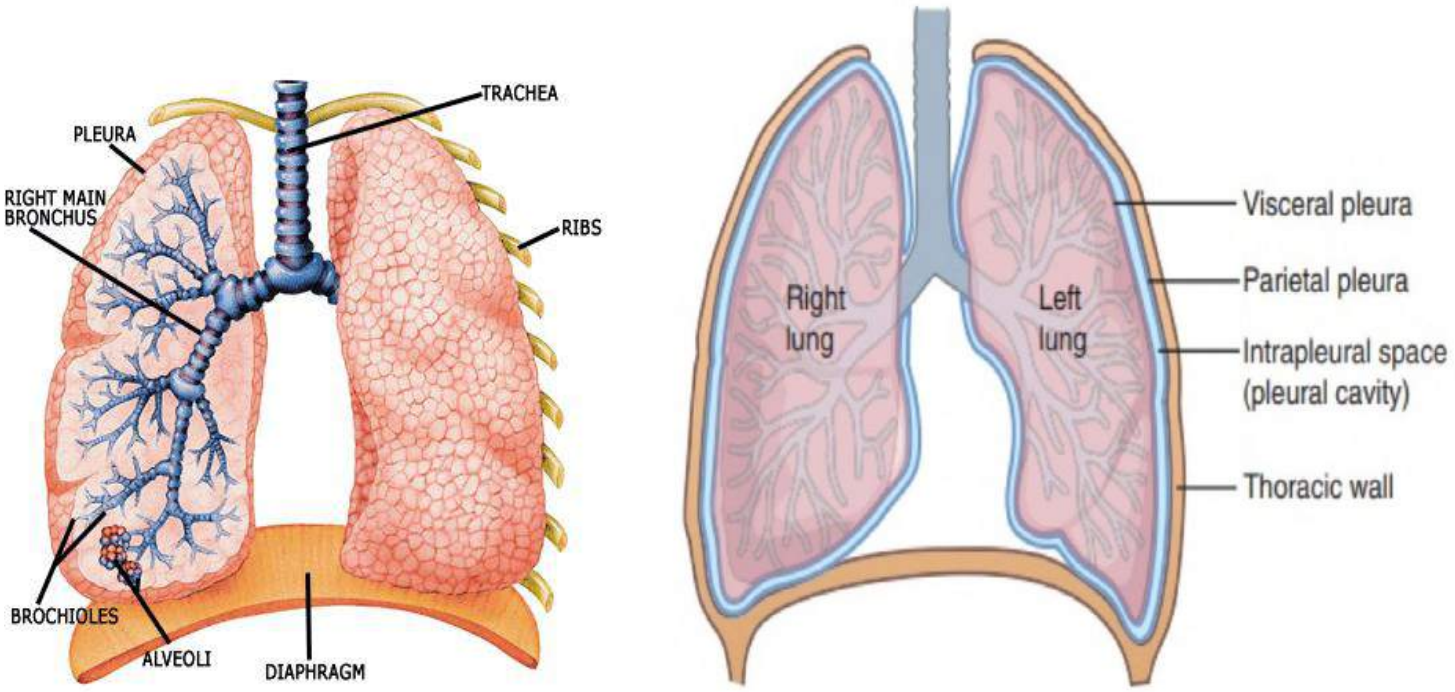
2. القناة التنفسية السفلى The lower respiratory tract : وتشمل كل من الرغامى والرئتين والقصبات والقصيبات و القنوات السنخية و الاسناخ



الجهاز التنفسي من الناحية التركيبية (للاطلاع)

التنفس فى الانسان

ويتم عن طريق الرئتين, اليمنى وتتكون من ثلاثة فصوص واليسرى من فصين وتحاط الرئتان بغشاء رقيق يدعى بغشاء الجنب Pleural Membrane (أو Pleura) الذي يتكون من طبقتين الأولى خارجية تبطن القفص الصدري وعضلة الحجاب الحاجز Diaphragm وتدعى بالجنب الجداري Parietal Pleura والثانية داخلية تغلف الرئتين وتدعى بالجنب الأحشائي Visceral Pleura وهناك فسحة رقيقة جدا بين الطبقتين تدعى بالتجويف الجنبي Pleural Cavity تملأ بسائل خاص يمنع احتكاك الطبقتين خلال عملية الشهيق حيث تتمدد الرئتان .



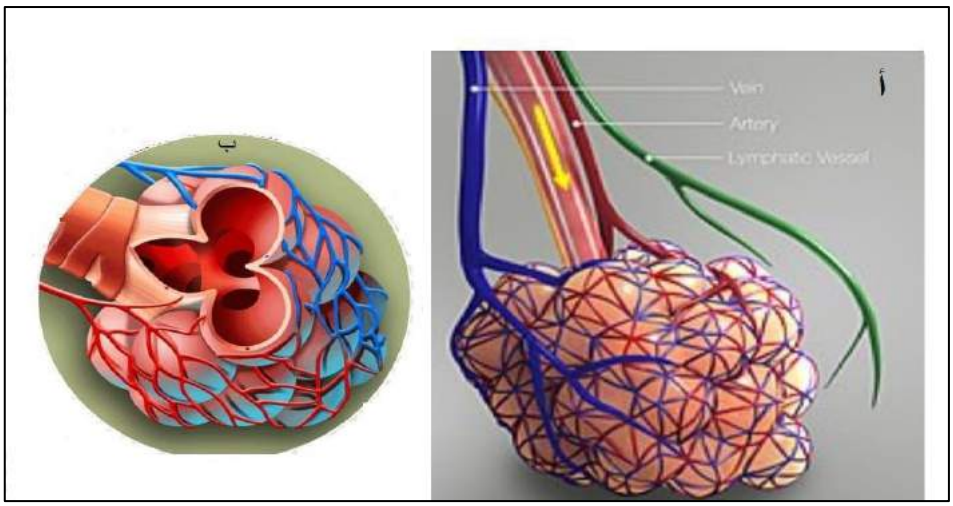
الرئتين في الأنسان

المسالك الهوائية

وتبدأ بالمنخرين وتجويفي الأنف حيث يتم ترطيب الهواء وتنظيم درجة حرارته وتصفيته من المواد الغريبة اثناء مروره ثم يتجه الهواء نحو البلعوم والحنجرة والرغامى Trachea ثم القصبات Bronchi ثم القصيبات الهوائية Bronchioles التي تنتهي بالجيوب السنخية

Alveolar Sacs التي تتسع لتكون مايعرف بالأسناخ الرئوية (وتدعى ايضا بالحويصلات الرئوية) Alveoli. وتعد هذه الحويصلات الوحدة الوظيفية في الرئة اذ تحدث عملية التبادل الغازي مع الدم عن طريقها.

- تكون الحويصلات الرئوية ذات جدار رقيق مكون من صف واحد من الخلايا الطلائية المسطحة مغطى بطبقة رقيقة من سائل خاص يجعل السطح رطبا كما يزود الجدار بشبكة من الأوعية الدموية الشعرية وعليه فأن هذه الأسناخ هي موقع التبادل الغازي بين الهواء وبين الدم المار عبر هذه الأوعية الدموية الشعرية حيث ان الحاجز الموجود بين الدم والهواء يتكون من غشائين رقيقين هما الخلايا الطلائية للأسناخ والخلايا البطانية للشعيرات الدموية.



أ الكيس السنخي ، ب مقطع في الكيس السنخي

تتمثل عمليات التنفس (تبادل الغازات) الثلاث الرئيسة 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 فيالشعيرات الدموية المحيطة بالاسناخ بالية الانتشار ، وتتم عبر الغشاء التنفسي Respiratory membrane الفاصل بين تجويف الاسناخ والدم .

3. التنفس الداخلي (التنفس الخلوي او النسجي) Internal (cellular or tissue) respiration . يحصل في جميع نسج الجسم خلال اسطح اغشية الخلايا المكونة للنسيج ويسمى التنفس الخلوي او التنفس النسجي 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.

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 Respiratory Volumes

تتضمن الحجوم التنفسية عدة انواع بعضها يحصل عند التنفس الهادئ والبعض الاخر يحصل عند التغيرفي نمط التنفس وتتمثل هذه الحجوم بالاتي :

- **الحجم المدي أو الحجم المتناوب Tidal volume** : كمية الهواء الداخل والخارج الى ومن الرئتين اثناء الشهيق والزفير الاعتيادي وتبلغ 0.5L

- **حجم الشهيق الاحتياطي Inspiratory reserve volume** : هو كمية الهواء الداخل الى الرئتين عند اعمق شهيق وتبلغ 2.5L ويمكن للشخص ان يقوم بعملية شهيق قوي ارادیا ويحدث لا ارادیا اثناء القيام بمجهود كبير .

-**حجم الزفير الاحتياطي Expiratory reserve volume** : هو كمية الهواء الخارج من الرئتين عند اعمق زفير وتبلغ 1.5 L ويمكن للشخص ان يقوم بعملية زفير قوي ارادیا ويحدث لا ارادیا اثناء القيام بمجهود كبيرايضا .

-**الحجم الثمالي او المتبقي Residual volume :** كمية الهواء المتبقية في الاسناخ الرئوية بعد اعمق زفير وتبلغ 1.3 L

-**السعة الحيوية Vital capacity:** وهي مجموع الحجوم الثلاثة الاولى (الحجم المدي +الحجم الشهيقي الاحتياطي + الحجم الزفيري الاحتياطي) وتبلغ الكمية 4.5 L

السعة الكلية للرئتين Total lung capacity : هي مجموع السعة الحيوية والحجم الثمالي (السعة الحيوية + الحجم الثمالي) وتبلغ حوالي 6. L.

- **الحيز الميت Dead space :** هو جزء من حجم الهواء المدي الذي لايشترك في التبادل الغازي والذي يوجد في الانف و الرغامى (القصبة الهوائية) وباقي الممرات التنفسية ذات الجدران السميكة ويقدر بحوالي 150 ml أي 0.15 L .

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.

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 مما يؤدي الى انخفاض الضغط داخل الرئتين Intrapulmonary pressure فيتغلب عندئذ ضغط الهواء الخارجي 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 ليست بحاجة للطاقة و تحدث بعودة تجويف الصدر والرئتين الى حجمهما السوي ، اي بارتخاء الحجاب الحاجزوالعضلات الملساء (الداخلة في تركيب الشعب الهوائية في الرئتين) وبالتالي يطرد الهواء من الرئتين الى الخارج سالكا ذات الطريق المتبع لدخوله.

نقل الأوكسجين :

يجهز الدم بالأوكسجين عن طريق الرئتين لنقله الى انسجة الجسم . ويعتمد تجهيز الأنسجة بالأوكسجين على العوامل الآتية :

1- مقدار الأوكسجين الداخل الى الرئتين.
2- الكمية الكافية من الغاز المتبادل بين الأسناخ الرئوية والأوعية الدموية الشعرية.
3- كفاءة الدم في حمل الأوكسجين.
4- كمية الدم الواصلة الى النسيج .

أما العوامل التي تحدد كمية الأوكسجين في الدم فهي :

1- كمية الأوكسجين الذائب في الدم.
2- كمية الهيموغلوبين في الدم .
3- درجة الفة الهيموغلوبين للأوكسجين .

يوجد الأوكسجين في الدم بحالتين هما:

1- ذائبا في الدم بنسبة قليلة جدا حوالي % (3-1) .
2- متحدا مع الهيموغلوبين بنسبة كبيرة جدا . حوالي % (99-97)

تتكون جزيئة الهيموغلوبين من 4 وحدات ثانوية (كل وحدة ثانوية عبارة عن سلسلة متعدد الببتايد Polypeptide منطوية)

يمكن لجزيئة هيموغلوبين واحدة أن ترتبط بـ (4 - 1) جزيئات اوكسجين وذلك لأمتلاكها أربعة مجاميع هيم وكل مجموعة هيم تمتلك آيون حديدوز مع التأكيد على ان كل أيون حديدوز يمتلك القدرة على الأرتباط بجزيئة اوكسجين واحدة .

عندما تكون جزيئة الهيموغلوبين محملة بالأوكسجين يدعى المركب الناتج بالهيموغلوبين المؤكسج Oxyhemoglobin أي ان العملية هنا عملية أكسجة وليست أكسدة وذلك لأن الحديد بعد الأرتباط بالأوكسجين يبقى بهيئة حديدوز ولا يتأكسد الى حديديك .

ان الهيموغلوبين المؤكسج مركب قلق يعتمد على الضغط الجزئي للاوكسجين Partial Pressure

PO2 اي انه يتفكك عندما ينخفض الضغط الجزئي للاوكسجين وهنا تكمن الاهمية الفسيولوجية للهيموغلوبين لانه لو كان مركب ثابت عند اتحاده مع الاوكسجين لما قام بعملية نقل الاوكسجين .

يحمل الدم كمية كبيرة من الأوكسجين لأحتواءه على الهيموغلوبين الذي يتحد مع الأوكسجين

$$Hb + O_2 \longleftrightarrow HbO_2$$

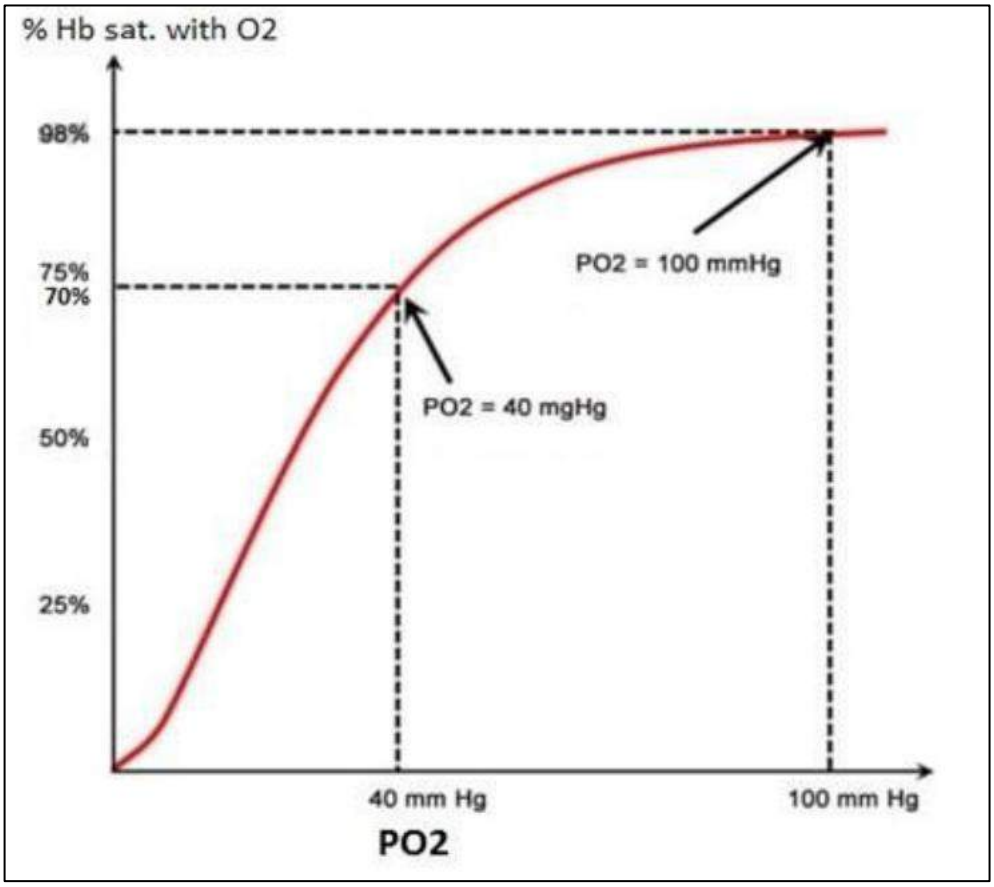
وهذا الأرتباط سريع وراجع مما يسهل عملية الأتحاد في الرئتين وفك الأرتباط في الأنسجة

تعتمد كمية الاوكسجين في الدم على قابلية الهيموغلوبين للاتحاد بالاوكسجين وتحسب كالاتي :

نظرا لاحتواء كل 100 مل من الدم على 15 غرام من الهيموغلوبين ولكون كل غرام منه يرتبط ب 1.34 مل من الاوكسجين لذا 15× 1.34= 20.1 مل من الاوكسجين والذي يمثل اقصى كمية اوكسجين في 100 مل من الدم عندها يكون الدم مشبع بالاوكسجين (الضغط الجزئي لغاز الاوكسجين عالي) اذ تعتمد نسبة اتحاد الهيموغلوبين بالأوكسجين بدرجة كبيرة على الضغط الجزئي Partial Pressure لغاز الأوكسجين PO2) بمعنى اذا عرض الدم لكمية كبيرة من الأوكسجين اي عندما يكون الضغط الجزئي للأوكسجين مرتفعا فأن الدم سيتشبع بهذا الغاز بنسبة 100 % وبذلك سيبلغ تركيزه في الدم $20\ cm^3$ لكل $100\ cm^3$ من الدم وهذا مايدعى بسعة الدم للأوكسجين Oxygen Capacity .

في الرئتين حيث يكون الضغط الجزئي للأوكسجين حوالي 100 ملم زئبق فأن الدم يحمل حوالي $19\ cm^3$ من الأوكسجين بدلا عن $20\ cm^3$ اي ان نسبة تشبع الهيموغلوبين بالأوكسجين تبلغ حوالي 95 % .

في الدم الوريدي العائد من الأنسجة بأتجاه الأذين الأيمن يبلغ الضغط الجزئي للأوكسجين حوالي 40 ملم زئبق و يحمل الدم حوالي $14\ cm^3$ من الأوكسجين في كل $100\ cm^3$ من الدم اي تكون نسبة تشبع الهيموغلوبين بالأوكسجين 70 % وعليه فأن العلاقة بين الضغط الجزئي للأوكسجين ونسبة تشبع الهيموغلوبين بالأوكسجين علاقة طردية ولكنها ليست خطية بل تكون بشكل منحنى يشبه الحرف S ويدعى هذا المنحنى بـمنحنى تفكك الأوكسجين Oxygen Dissociation Curve.



منحنى تفكك الأوكسجين

من العوامل الأخرى المؤثرة على قابلية اتحاد الأوكسجين بالهيموغلوبين كمية CO_2 ودرجة الحرارة حيث يتناسبان تناسبا عكسيا مع هذه القابلية. ان وجود كمية كبيرة من CO2 في الدم يؤدي الى زيادة الضغط الجزئي لغاز PCO_2 وبالتالي يقلل من قابلية ارتباط الهيموغلوبين بالاوكسجين لذا يلاحظ تحرك المنحنى باتجاه اليمين ويؤدي ذلك الى تزود النسيج بالاوكسجين اما عند انخفاض PCO_2 فان قابلية ارتباط الهيموغلوبين بالاوكسجين تزداد اذ يلاحظ تحرك المنحنى باتجاه اليسار كما ان زيادة الضغط الجزئي لغاز ثنائي اوكسيد الكاربونPCO_2 يؤدي الى انخفاض الأس الهيدروجيني (أي الحامضية PH) للدم وهذا بدوره يؤدي الى ضعف قابلية ارتباط الأوكسجين مع الهيموغلوبين لذا يلاحظ تحرك المنحنى باتجاه اليمين بينما يؤدي ارتفاع PH (زيادة قلوية الدم) الى زيادة ارتباط الهيموغلوبين بالاوكسجين فيتحرك المنحنى نحو اليسار , ولهذا التأثير اهمية وظيفية حيث يساعد على اتحاد الأوكسجين مع الهيموغلوبين في الرئتين

وانفصالهما في الأنسجة ويعرف هذا التأثير بتأثير بور Bohr Effect, وفيما يتعلق بتأثير الحرارة فعند القيام بفعاليات عالية في الأنسجة ترتفع درجة حرارتها قليلا وهذا يسهل انفصال الأوكسجين عن الهيموغلوبين وبذلك تتزود الأنسجة بكمية اضافية من الأوكسجين وعكس ذلك يحدث عند برودة الأنسجة حيث يصعب فصل الأوكسجين عن الهيموغلوبين مما قد يؤدي الى موت النسيج لعدم حصوله على الكمية الكافية من الأوكسجين.

نقل ثنائي اوكسيد الكربون CO_2

يوجد CO_2 في الدم بأربعة اشكال هي:

١- حوالي 4 % ذائبا في الدم.

٢- حوالي 1 % متحدا مع الماء مكونا حامض الكاربونيك H_2CO_3.

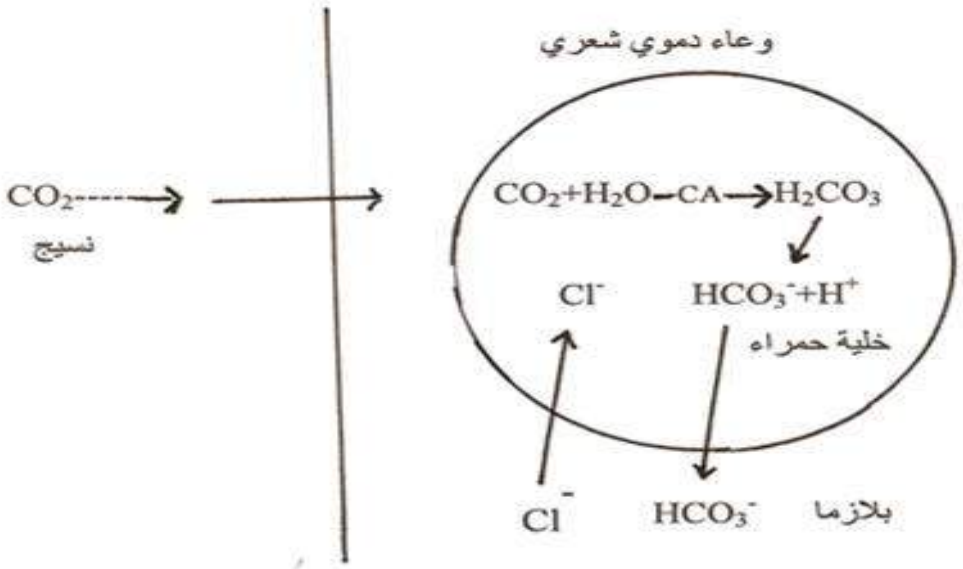
٣- حوالي 65 % بهيئة بيكاربونات ناتجة عن تأين حامض الكاربونيك

حيث يعبر الجزء الأكبر من الـ CO_2 من بلازما الدم الى خلايا الدم الحمر حيث يتحد مع الماء مكونا حامض الكاربونيك وهذا التفاعل يحتاج وجود انزيم كاربونيك انهيدريز ثم يتحلل الحامض الى بيكاربونات وأيون هيدروجين .

$$H_2O + CO_2 \xrightarrow{\text{Carbonic anhydrase (CA)}} H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 \longrightarrow HCO_3^- + H^+$$

- يجب ازالة ايونات الهيدروجين الناتجة من الدم لتجنب زيادة حموضة الدم حيث يعادل قسم منها بواسطة الهيموغلوبين وقسم منها بواسطة البفرات الموجودة في الدم وجزء يطرح عن طريق الكليتين.
- يتم انتقال ايونات البيكاربونات السالبة من الخلايا الحمر الى البلازما بالتبادل مع ايونات الكلورايد Cl^- التي تدخل من البلازما الى الخلايا الحمر للمحافظة على التوازن الأيوني.



- عند وصول الدم الى الرئتين تنعكس العملية اعلاه حيث تخرج ايونات الكلورايد من الخلايا الحمر الى البلازما و تدخل البيكاربونات من البلازما الى الخلايا الحمر حيث تتحلل الى CO_2 وماء ويخرج الـ CO_2 بعد ذلك الى البلازما ثم الى الأسناخ الرئوية.

4- حوالي % 30 يتحد مع الهيموغلوبين وبروتينات الدم الأخرى حيث يتحد ال CO_2 مع مجاميع الأمين NH_2 في جزيئة البروتين ويدعى الناتج بـ Carbamine.

*- يكون تركيز CO_2 بعد انتقال كمية منه من الأنسجة الى الدم اثناء التبادل النسيجي حوالي $53\ cm^3$ في كل $100\ cm^3$ من الدم فيكون ضغطه الجزئي 46 ملم زئبق اما الدم الذي يترك الرئتين بعد عملية التبادل الغازي فيحوي حوالي $49\ cm^3$ في كل $100\ cm^3$ من الدم ويكون ضغطه الجزئي 40 ملم زئبق

تبادل الغازات

1- التبادل الرئوي:

ويتم بين هواء الأسناخ والدم المار في الأوعية الدموية الشعرية على جدرانها ويتم التبادل الغازي عن طريق الأنتشار البسيط نتيجة الأختلاف في ضغوط الغازات على جانبي غشاء الحويصلة يحدث التبادل بسرعة كبيرة للأسباب الأتية:

1- كبر المساحة السطحية للأسناخ
2- رقة الحاجز الفاصل بين هواء الأسناخ والدم
3- الفرق الكبير في ضغوط غازي الأوكسجين وثنائي أوكسيد الكاربون على جانبي الحاجز.

2- التبادل النسجي :

حيث يتم تبادل غازي O_2 و CO_2 بين دم الأوعية الدموية الشعرية وخلايا الأنسجة فيتحرر الأوكسجين من الهيموغلوبين وينتشر الى الخلايا بينما ينتشر ثنائي أوكسيد الكربون من الخلايا الى الدم .

التنفس الخلوي : وهي بأختصار عملية تحرير الطاقة عن طريق تحليل المركبات العضوية واهمها الكلوكوز.

يتم تحليل جزيئة كلوكوز واحدة بصورة كاملة بثلاث خطوات متداخلة وهي :

1. التحلل السكري Glycolysis ويكون حاصل جزيئات الـ ATP الناتجة عنها جزيئتين
2. دورة كريبس Krebs Cycle ويكون حاصل جزيئات الـ ATP الناتجة عنها جزيئتين

3.سلسلة الفسفرة التنفسية Respiratory Chain Phosphorylation وتدعى أيضا بسلسلة نقل الألكترونات. ويكون حاصل جزيئات الـ ATP الناتجة عنها 34 جزيئة .

أي أن عدد جزيئات ATP الناتجة عن الخطوات الثلاثة هي 38 جزيئة .

تنظيم التنفس

يعتمد معدل وعمق الحركات التنفسية على حاجة الجسم ويقع تنظيم هذه الحركات تحت السيطرة العصبية والسيطرة الكيميائية.

1- السيطرة العصبية : وتتم عن طريق المراكز التنفسية التي تشمل

أ- المركز العصبي المنسق (الحركي) ويقع في الدماغ الخلفي في منطقة تدعى القنطرة (الجسر) Pons

ب- المركز الشهيقي Inspiratory Center ويتكون من خلايا مسؤولة عن تنظيم الشهيق.

جـ- المركز الزفيري Expiratory Center ويتكون من خلايا مسؤولة عن تنظيم الزفير.

يقع المركزان الأخيران في النخاع المستطيل

- تتم السيطرة عن طريق ارسال سيالات عصبية من المركز المنسق الى المركز الشهيقي الذي يرسل بدوره سيالات تصل عبر مجموعة من الأعصاب الى العضلات بين الأضلاع والحجاب الحاجز وذلك يؤدي الى تقلص هذه العضلات فيتوسع القفص الصدري طوليا وعرضيا فتتسع الرئتان ويدخل الهواء اليهما وبهذا يحصل الشهيق Inspiration .

- ثم يرسل المركز الشهيقي سيالات عصبية الى المركز العصبي المنسق الذي يرسل بدوره سيالات عصبية الى المركز التنفسي الزفيري كما انه يرسل سيالات عصبية الى المركز الشهيقي لتثبيطه وايقافه عن ارسال السيالات الى العضلات بين الأضلاع والحجاب الحاجز فترتخي هذه العضلات ويعود القفص الصدري الى حجمه فتصغر الرئتان ويخرج الهواء منهما اي يحصل الزفير Expiration. يلعب المركز الزفيري دورا محدودا اثناء التنفس الطبيعي وتظهر اهميته اثناء بذل مجهود كبير.

2- <u>السيطرة الكيميائية</u> : وتشمل

أ-تأثيرات مباشرة على المراكز التنفسية :

زيادة كمية الـ CO_2 في الدم أو ازدياد الحامضية تؤدي الى تحفيز الخلايا العصبية في المراكزالتنفسية فيزداد عمق ومعدل التنفس وان نقصان الـ CO_2 يؤدي الى خمول المراكز التنفسية فيحدث تنفسا سطحيا.ان ارتفاع حرارة الدم تؤدي الى سرعة الحركات التنفسية دون التأثير في عمق هذه الحركات بينما يؤدي انخفاضها الى بطيء هذه الحركات.

ب-التأثيرات غير المباشرة على المراكز التنفسية :

ويتم ذلك عن طريق مستقبلات كيميائية تقع خارج الجهاز العصبي المركزي حيث تقع في مايسمى بالأجسام السباتية والأبهرية وهذه المستقبلات تنقل السيالات العصبية الى النخاع المستطيل. تتحسس هذه المستقبلات بصورة رئيسة لنقص الأوكسجين في الدم الشرياني والى حد قليل لزيادة تركيز ايون الهيدروجين وثنائي أوكسيد الكربون .

- هناك افعال انعكاسية تنفسية وقائية كالسعال الذي يحدث نتيجة تحفيز بطانة الحنجرة مما يؤدي الى تثبيط الشهيق وتقوية الزفير . والعطاس الناتج عن تحفيز بطانة الأنف . وهذه الأفعال تعمل على وقاية الممرات التنفسية والرئتين من المواد الغريبة كالغبار وجزيئات الطعام والغازات المهيجة.

- ان الحركات التنفسية الأعتيادية تكون لا ارادية ذاتية لذلك فهي تستمر بأنتظام خلال النوم أو فقدان الوعي ولكنها من الممكن ان تحور عددا أو عمقا بشكل ارادي وذلك لكون المراكز التنفسية تقع تحت سيطرة المراكز العليا في المخ. تبدأ الرئتين بالعمل بعد الولادة حيث يتحفز حديث الولادة للتنفس نتيجة قلة الأوكسجين بعد قطع الدورة المشيمية وتلعب المحفزات الحرارية واللمسية في الجلد والأطراف دورا مهما في ذلك.

-يوجد النيتروجين مذابا في بلازما الدم وعندما يتعرض الشخص الى انخفاض سريع في مقدار الضغط الجوي كما هو حاصل مع الطيارين عند صعودهم بسرعة الى أعالي الجو , أو البحارين عند صعودهم من الأعماق الى سطح الماء بسرعة فأن انخفاض الضغط المسلط على الجسم يؤدي الى تحرر النايتروجين المذاب مكونا فقاعات غازية تسبب آلام شديدة وتدعى هذه الحالة بشلل الغواصين, اذ ان هذه الفقاعات قد تعمل على غلق بعض الأوعية الدموية فتسبب الشلل وقد تؤدي الى الموت .

المرحلة الرابعة / قسم علوم الحياة/ فسلجة حيوانية/ نظري

1 /Digestion الهضم

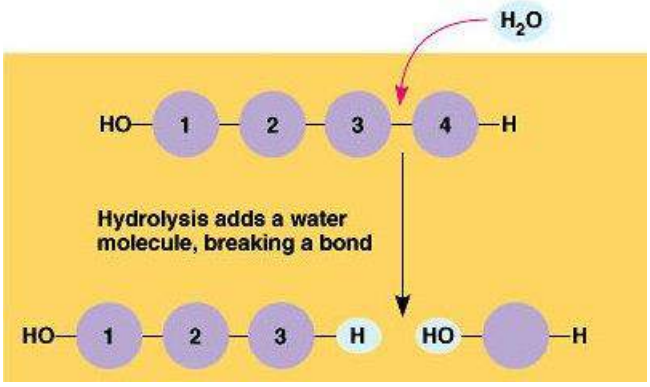
الهضم : هو مجموعة من العمليات الكيميائية وغير الكيميائية الغرض منها تحويل المواد الغذائية الى مواد قابلة للأمتصاص (تحويل المركبات الكبيرة الى مركبات بسيطة قابلة للذوبان والانتشار) لغرض نقلها عن طريق الدم واللمف الى خلايا الجسم المختلفة لغرض :

- تحرير الطاقة

- بناء البروتينات وغيرها من المواد الداخلة في بناء المادة الحية

- امداد الجسم بالعناصروالمركبات الضرورية لحدوث التفاعلات الحيوية وتنظيم الوظائف المختلفة .

الهضم عبارة عن عملية تحلل مائي Hydrolysis يتم خلالها فصم الأواصر الكيميائية للمواد بأضافة الماء بمعدل جزيئة واحدة لكل آصرة تفصم بمساعدة الانزيمات الهاضمة .



التحلل المائي Hydrolysis

يتم التحلل المائي بتأثير عدد من الأنزيمات الهاضمة المفرزة من الغدد الهضمية الموجودة في جدران القناة الهضمية فضلا عن الأنزيمات التي تفرز من خارج القناة الهضمية كالغدد اللعابية والبنكرياس .

العوامل المتعلقة بعملية الهضم

1- ميكانيكية : (المضغ , البلع , التقيؤ , حركة المعدة والأمعاء , الأبراز)

2- أفرازية : (افرازات الغدد الهضمية)

3- كيميائية : (تشمل التفاعلات مابين الانزيمات والطعام من جهه والطعام و حامض HCl من جهة اخرى)

4- مايكروبيولوجية : (البكتريا والأبتدائيات) التي تتواجد في الأمعاء الغليظة للأنسان.

لايحتاج كل من الماء والفيتامينات والأملاح الى هضم لأنها تتألف من جزيئات صغيرة او ايونات يمكنها اجتياز الغشاء المخاطي المبطن للقناة الهضمية بسهولة ومن ثم الوصول الى الدم وسوائل الجسم الأخرى وبعدها تصل الى الخلايا والأنسجة المختلفة

اما البروتينات والكربوهيدرات والدهون فتحتاج الى هضم لكونها جزيئات كبيرة لايمكن امتصاصها .

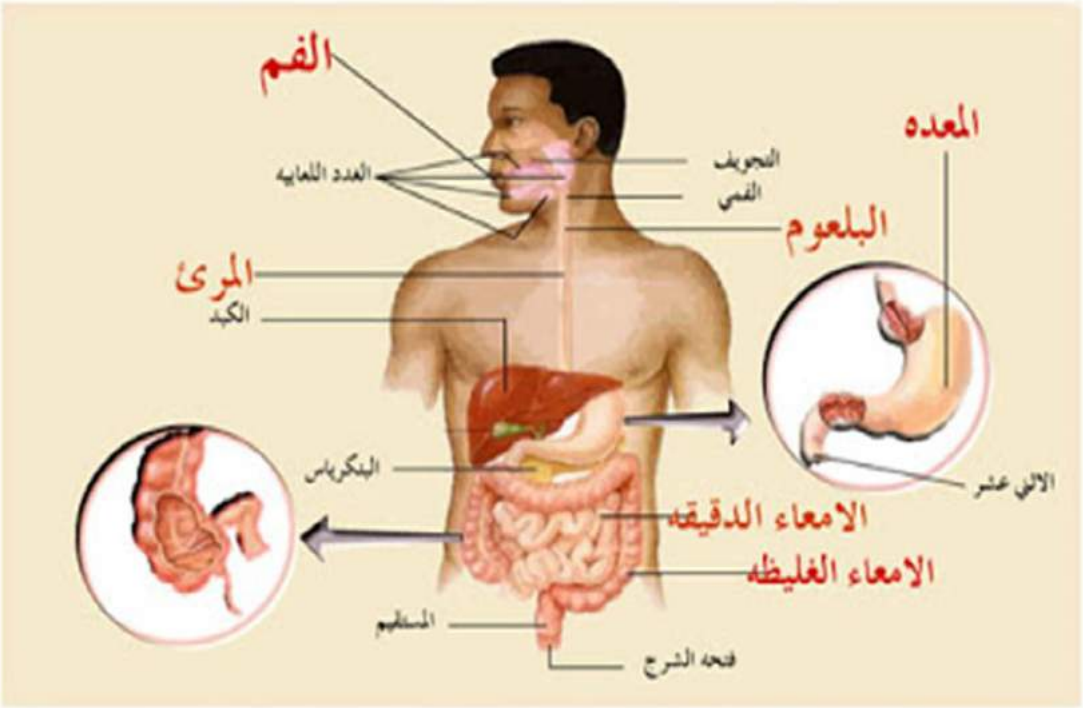
الجهاز الهضمي Digestive System ويتألف من قسمين رئيسين هما :

1- القناة الهضمية Alimentary Tract: وتتكون من

الفم , البلعوم , المريء , المعدة , الأمعاء الدقيقة (الأثني عشر والصائم واللفائفي) , الأمعاء الغليظة , المستقيم , المخرج .

2- الغدد اللاحقة Accessory Glands: التي تشمل

الغدد اللعابية , البنكرياس , الكبد .



تناول الغذاء

وهو عملية ادخال الطعام الى الفم , وتختلف بأختلاف الحيوان . وتستعمل الأسنان لمضغ وتقطيع وطحن الطعام لتحويله الى كتلة طرية بعد ان يمزج مع اللعاب المفرز من الغدد اللعابية .

الغددللعابيةSalivaryGlands

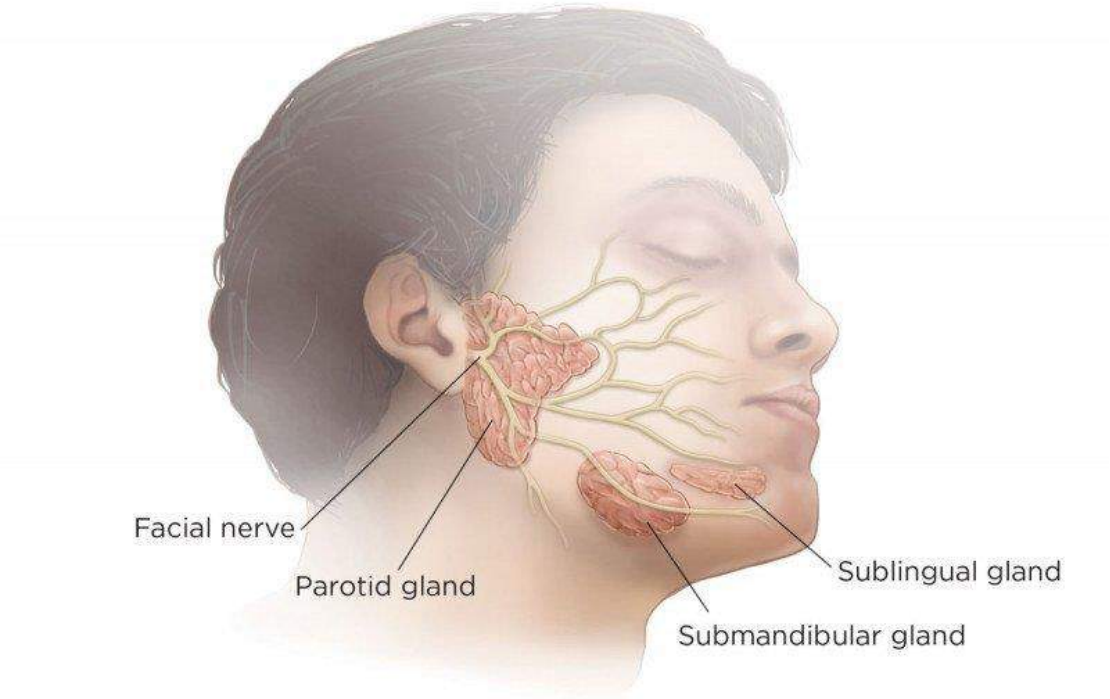
وهي الغدد التي تعمل على افراز اللعاب

تقسم الغدد اللعابية وفقا لمواضع تواجدها الى :

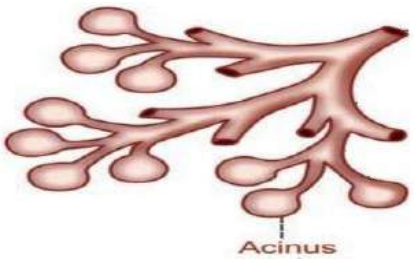
1- الغدد النكفية Parotid Glands: زوج من الغدد يقعان اسفل الأذنين وتفتح قناتهما بالقرب من الطواحن العليا الثانية في الأنسان . ويتميز اللعاب الذي تفرزه بأحتوائه كمية كبيرة من الماء والأفتقار الى انزيم الأميليز اللعابي .(في حالة الأصابة بمرض النكاف تلتهب هذه الغدد وتتضخم)

2- الغدد تحت الفكية Submaxillary or Submandibular Glands : زوج من الغدد يفتحان اسفل اللسان .

3- الغدد تحت اللسانية Sublingual Glands : زوج من الغدد , يفتحان عن طريق عدد من القنوات الدقيقة في الجزء الأمامي من قاع الفم .



تتألف كل غدة لعابية من عدد كبير من وحدات افرازية تدعى العنبات Acini (مفردها Acinus). لكل عنبة تجويف وسطي محاط بجدار مكون من صف واحد من الخلايا الطلائية . تفصل العنبات عن بعضها بواسطة انسجة رابطة تمر خلالها الأوعية الدموية والاعصاب . تتصل فجوة كل عنبة بقناة قصيرة تتصل بقنوات مشابهة من عنبات اخرى لتكون القنوات الرئيسية التي تفتح في تجويف الفم .



تفرز الغدد اللعابية سائلا مائيا يدعى اللعاب Saliva,وتقدر كمية اللعاب المفرز في الأنسان حوالي 1.5 لتر/ يوم

وتكون نسب الأفراز من الغدد اللعابية كما يأتي :

الغدد النكفية 25% , الغدد تحت الفكية 70% , الغدد تحت اللسانية 5%

أنواع الغدد اللعابية

تقسم الغدد اللعابية من حيث الأنسجة المكونة لها ونوع افرازاتها الى :

1- الغدد المصلية Serous Glands : تتألف من انسجة رابطة قوية وافرازاتها مائية رقيقة تحتوي على بروتينات وتفتقر الى المخاط Mucin

2- الغدد المخاطية Mucous Glands : تتألف من خلايا طلائية عمودية تحورت بعضها الى خلايا غدية لاتحوي اوعية دموية والياف عصبية وافرازاتها تحوي بروتين كربوهيدراتي مخاطي Glycoprotein mucin ولا تفرز الأنزيمات .

3- الغدد المختلطة Mixed Glands : تتألف من انسجة وخلايا كلا النوعين السابقين وافرازاتها تضم مجموع افرازيهما

مكونات اللعاب يتكون اللعاب مما يأتي :

1- **ماء حوالي 99.5%**

2- **مواد صلبة 0.5% وتشمل :**

a- مواد صلبة عضوية : تشمل

المخاطين Mucin الذي يسهل عملية الأبتلاع اذ يعمل على تجميع جزيئات الطعام بشكل لقمة يسهل ابتلاعها , كما تشمل المواد الصلبة العضوية انزيمات (التايلين Ptyalin , المالتيز Maltase , اللايبيز Lipase , اللايسوزايم Lysozyme والكتليز Catalase) و مواد لا بروتينية (يوريا Urea و كرياتين Creatine)

b- مواد صلبة لاعضوية : تشمل ايونات سالبة مثل (الكبريتات والكلوريدات والكاربونات) وايونات موجبة مثل (الصوديوم , البوتاسيوم , الكالسيوم , المغنسيوم) والجزء الأعظم من الأملاح يشكلها كلوريد الصوديوم .

وظائف اللعاب

1- مزج الطعام وتسهيل البلع وتسهيل النطق

2- تحفيز البراعم الذوقية Taste Buds الموجودة في اللسان بعد اذابة المواد الصلبة من الغذاء .

3- يساعد انزيم التايلين (الأميليز اللعابي) في اللعاب على التذوق فضلا عن هضم النشا وتحويله الى مواد ابسط هي الدكسترين Dextrin والسكر الثنائي المالتوز Maltose . ان هضم النشا في الفم بفعل التايلين ذو اهمية محدودة جدا لأن الطعام يبقى في الفم لفترة قصيرة ولكن يستمر الهضم بفعل التايلين اللعابي في المعدة لمدة (15-30) دقيقة بالرغم من كون المعدة ذات محيط عالي الحامضية (PH=2) وهو محيط لايناسب عمل التايلين الذي يعمل بكفاءة في المحيط المتعادل (PH=7) ويعود ذلك الى بقاء اللقمة متماسكة بعد وصولها للمعدة وهذا يحميها من التأثير الحامضي للمعدة لفترة من الزمن وعليه يتم هضم حوالي % 50 من النشا الموجود في الطعام الى سكر المالتوز ويتم هضم ماتبقى منه في الأثني عشري بفعل انزيم الأميليز البنكرياسي .

4- يقوم انزيم اللايسوزايم في اللعاب بعملية التطهير للفم Antiseptic .

5- تنظيم حرارة الجسم في الكلاب والقطط , اذ ان لعق الحيوان لجسمه ثم تبخر اللعاب يساعد على فقدان حرارة الجسم فضلا عن فقدانها عن طريق اللهاث .

6- توفير وسط ملائم لنمو بعض انواع البكتريا المفيدة في بعض الحيوانات كالمجترات .

طرائق تحفيز اللعاب

1- الطريقة الفيزيائية :

وتشمل النظر الى الطعام اوشم رائحته , التفكير بالطعام . وتختلف طبيعة اللعاب المفرز بأختلاف طبيعة الحافز أو نوع الطعام . وتعمل الأعصاب المستقبلة الموجودة في مراكز النظر والشم على تحفيز المخ وخاصة المخيخ لأظهار المنعكس النفسي Psychic reflex اذ لاحظ العالم بافلوف Pavlov اثناء دراسته لطبيعة الأفراز النفسي في الكلاب , ان رؤية اللحم الطري تعمل على تحفيز افراز كميات كبيرة من اللعاب من الغدد تحت الفكية وتحت اللسانية وليس الغدد النكفية . بينما تؤدي رؤية اللحم المجفف والخبز المجفف الى افراز كميات من اللعاب من الغدد النكفية . ويدعى المنعكس النفسي ايضا بالمنعكس المشروط Conditioned reflex لأن احداثه واستمراره يعتمد على طبيعة الظروف والحالات التي يحدث فيها وكذلك يعتمد على خبرة الحيوان .

2- الطريقة الميكانيكية أو الكيميائية:

ان مجرد دخول الطعام الى الفم يعمل على تحفيز افراز كميات كبيرة من اللعاب تسمى الرغوة أو الزبد Forth نتيجة لتحفيز المراكز اللعابية عن طريق تأثير الطعام على المستقبلات الكيميائية Chemoreceptors الموجودة في الحلمات الذوقية في اللسان . وتوجد اربعة انواع المستقبلات الذوقية (الحامضية Acid , الحلوة

Sweat , المالحة Salt , المرة Bitter) . تنتقل السيالات(الايعازات) الى المراكز اللعابية في النخاع المستطيل وذلك يؤدي الى التحفيز الأنعكاسي لأفراز اللعاب . فضلا عن ذلك قد يفرز اللعاب عن طريق تحفيز المستقبلات الموجودة في مناطق اخرى من الجسم كالذي يحدث عند تهيج بطانة المعدة او الاثني عشري الذي قد يؤدي الى تحفيز افراز اللعاب قبل التقيؤ .

3- **الطريقة العصبية**: الغدد اللعابية مجهزة بنوعين من الأعصاب هما الأعصاب الودية والأعصاب نظيرالودية . تعمل الألياف العصبية الودية على تقليص الأوعية الدموية للغدد وبذلك تقلل من كمية اللعاب المفرز , بينما تعمل الألياف العصبية نظير الودية على توسيع الأوعية الدموية المجهزة للغدد وبذلك تزيد من كمية اللعاب المفرز . يمكن تحفيز افراز الغدد اللعابية بحقن الاستل كولين أو بحقن المواد المثبطة لأنزيم الأستل كولين استريز (الكولين استريز) Cholinesterase كمادة الايزرين Eserine . اما حقن المواد المثبطة لعمل الاستل كولين كعقار الأتروبين مثلا فأنه يؤدي الى منع افراز اللعاب وبالتالي يسبب جفاف الفم لأن هذه المواد تشل (تبطل) عمل الألياف العصبية نظير الودية .
ملاحظة للتذكير : الأستل كولين هو الناقل الكيميائي الذي يفرز من نهايات الألياف العصبية نظير الودية ويتم تحليله عن طريق انزيم الكولين استريز الذي يمكن ابطال عمله بأستخدام مادة الايزرين كما تم شرحه في موضوع فسلجة الجهاز العصبي)

بلع الطعام Swallowing : هو العملية التي عن طريقها ينتقل الطعام من الفم الى المعدة .

بعد سحق الطعام ومضغه تتجمع مكوناته بشكل كتلة واحدة تسمى اللقمة Bolus وبعد ذلك تبدأ عملية البلع

يتم بلع الطعام بـ 3 مراحل تشمل :

المرحلة الأولى (مرحلة الفم) Buccal(Oral) Stage : تكون هذه المرحلة تحت السيطرة العصبية الارادية اذ تتحرك اللقمة الممضوغة الى السطح العلوي للسان ثم تسحب الى الخلف عن طريق العضلات كي تصل الى البلعوم المحاط بعضلتين من الجهتين .

المرحلة الثانية (مرحلة البلعوم) Pharyngeal Stage : تكون هذه المرحلة تحت السيطرة العصبية اللا ارادية (غير الارادية) , اذ يعبر الطعام خلال البلعوم نتيجة تقلص عضلاته التي تؤدي الى عصر الطعام ودفعه بقوة الى المريء وترتفع الحنجرة الى الأعلى في هذه المرحلة و يتم تثبيط عملية التنفس ويعمل لسان المزمار على غلق المسلك الهوائي وذلك لمنع لقمة الطعام أو السوائل من الدخول الى الممرات التنفسية .وبعد عبور اللقمة ترتخي العضلات ويفتح المزمار ويعود التنفس لوضعه الطبيعي . عند حدوث اي اختلال في توقيت دخول الطعام (كالذي يحدث عند الكلام أو الأستنشاق اثناء عملية البلع) فأن الطعام يدخل الى الممرات التنفسية وهذا يؤدي الى تحفيز منعكس السعال لطرد جزيئات الطعام أو السوائل .

المرحلة الثالثة (مرحلة المريء) Oesophageal Stage : تكون تحت السيطرة العصبية اللاارادية (غير الأرادية) ايضا اذ يعبر الطعام اسفل المريء الى المعدة , ويتحرك الطعام خلال المريء عن طريق حركات تمعجية . وعند اقتراب الطعام من المعدة ينفتح الصمام الفؤادي للمعدة ويدخل الطعام الى المعدة

المعدة : تتالف المعدة في الانسان والحيوانات غير المجترة 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 12 فضلا عن قيام الغشاء المخاطي بافراز العصير المعدي Gastric juice.

الغدد المعدية : وهي ثلاثة انواع كالاتي :

1- الغدد الفؤادية:هي غدد مخاطية افرازية .

2- الغدد القاعية : تتكون من 3 انواع من الخلايا (الخلايا 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 السالبه المتمثلة بالكلور (وهو الغالب) والبيكاربونات ، اما الايونات الموجبة فتتمل بايونات الهيدروجين والصوديوم (وهما الغالبان) والكالسيوم والبوتاسيوم .

3 -حمض الهيدروكلوريك HCl المفرز من الخلايا الجدارية.

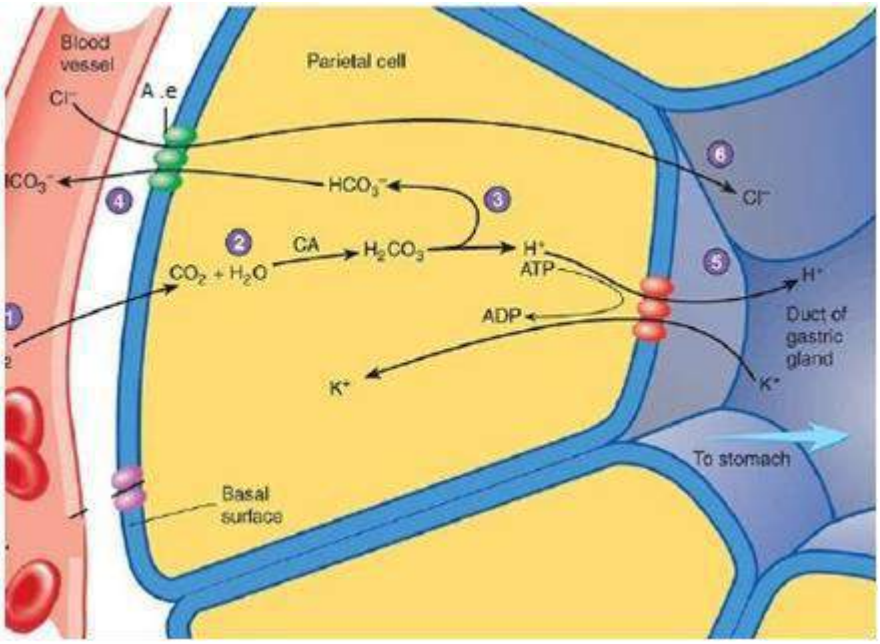
افراز حمض الهيدروكلوريك : فرز المعدة حمض HCl بكميات كبيرة اذ يبلغ تركيزه في العصارة المعدية

% 0.1.اذ تقوم الخلايا الجدارية باخذ CO2 من الدم بدلا من طرحه الدم وبذلك يبدأ انتاج الحمض باتحاد الماء وثنائي اوكسيد الكاربون ضمن سايتوبلازم الخلية الجدارية بمساعدة انزيم كاربونيك انهيدريز Carbonic anhydrase (C.A) وفق المعادلة الاتية:

$$CO_2 + H_2O \xrightarrow{C.A} H_2CO_3 \longrightarrow H^+ + HCO_3^-$$

مكونا حمض الكربونيك الذي يتحلل تلقائيا الى ايون هيدروجين و ايون البيكاربونات. ثم ينتقل الـ H + الى تجويف المعدة بالية نقل فعال تتم بمضخة نقل فعال انزيمية ATPase + K - + H وبالتبادل بين ايون البوتاسيوم في المعدة مع ايون الهيدروجين الموجب في الخلية الجدارية. كما ينتقل ايونالبيكربونات 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 Cl - و H + المختلفين بالشحنة سيتم اتحادهما فينتج حمض الـ HCl كما هو موضح في الشكل



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 للبروتين.
5- يسيطر على عمل الصمام البوابي (الياف عضلية عاصرة توجد في منطقة التقاء المعدة بالاثنى عشر) الذي يربط المعدة بالاثنى عشر .
6 -يكون حمض ال HCl مطهر للمعدة اذ يقتل الجراثيم الداخلة الى المعدة

اما الجزء العضوي من العصارة المعدية فيشمل المخاط الذي يؤدي وظيفة مهمة جدا في المعدة لانه يكون حاجزا وقائيا بين العصارة المعدية الحاوية على الحامض والانزيمات وجدار المعدة لذلك فان عدم توفر كمية كافية من المواد المخاطية سوف يؤدي الى وصول العصارة الى جدار المعدة فيحصل هضم لجدار المعدة مسببة القرحة المعدية .

انزيمات المعدة :

1- انزيم الببسين: يمتلك للعصب التائه الفارز للاستيل كولين دور في تنبيه المعدة على افراز انزيم الببسين يفرز انزيم الببسين الفعال من الخلايا الرئيسة للغدد المعدية والذي يكون موجود فيها بشكل غيرفعال 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 ويعتبر الببسين من اقوى الانزيمات الهاضمة للبروتينات ولكن تاثيره يتوقف بمجرد وصول الطعام الى الامعاء .

$$\text{Pepsinogen} \xrightarrow{\text{Hcl}} \text{Pepsin}$$

$$\text{Proteins} \xrightarrow[\text{Hcl}]{\text{Pepsin}} \text{Proteoses} + \text{Peptones}$$

اما ال Proteoses فهوخليط من الببتيدات الناتجة عن التحلل المائي للبروتينات.

2-انزيم الرنين

تفرز معدة صغار الابقار والاطفال الرضع انزيم الرنين Rennin الذي يعمل في محيط حامضي على تخثر الحليب حيث يؤثر هذا الانزيم على بروتين الحليب المسمى ب الكازائين اذ يحول كازائين الحليب الى باراكازائين والذي يتحد بدوره مع عنصر الكالسيوم الموجود في الحليب فيتكون بذلك باراكازائين الكالسيوم الذي يشبه الجبن وبذلك يكون عمل انزيم الببسين على باراكازائين الكالسيوم سهلا فيساعد بتكسيره الى حموض امينية

$$\text{Casein} \xrightarrow[\text{Hcl}]{\text{Rennin}} \text{porteoses + peptones + Ca caseinate}$$

السيطرة على الافرازات المعدية :

1 -السيطرة العصبية : تتم السيطرة على حركة القناة الهضمية وعلى نشاط الغدد الموجودة فيها بوساطة الالياف العصبية الودية ونظير الودية المزودة لجدران القناة الهضمية بما فيها المعدة ، تشتبك الالياف العصبية مكونة ظفيرتان عصبيتان واحدة (ظفيرة مايسنر) اما الظفيرة الاخرى (ظفيرة اورباخ) 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 (السائلية) وتشمل نوعين من الهرمونات:

أ- هرمون الكاسترين Gastrin : يفرز من الغدد البوابية للمعدة نتيجة لتوسعها عند امتلائها بالطعام ،ويقوم بتنبيه 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 .

افرازات البنكرياس: وتشمل الاتي :

أ- الانزيمات الهاضمة للبروتين وتشمل الترسيبن Trypsin والكايموتربسين Chymotrypsin اللذان يحولان البروتين الى ببتيد Peptide وبيبتونز في محيط قاعدي والكاربوكسي ببتايديسCarboxypeptidase

(الذي يحول الببتايد الى حموض امينية) .

ب- الانزيمات الهاضمة للكاربوهيدرات: تحتوي العصارة البنكرياسية على انزيم واحد فقط هوالاميليز البنكرياسي Pancreatic amylase الذي يساعد على هضم الكربوهيدرات محولا النشا الى دكسترين ومالتوز.

ج - الانزيمات الهاضمة للشحوم :تشمل انزيم اللاييز البنكرياسي Pancreatic lipase ويقوم بتحويل الشحوم الى حموض شحمية بسيطة وكلسيريدات .

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

أ- السيطرة العصبية : يتم بتاثير العصب التائه افرازكمية قليلة من العصارة البنكرياسية المتميزة بكونها لزجة وغنية بالانزيمات الهاضمة .

ب- السيطرة الهرمونية : تتم بوساطة هرمونين هما :

1 -هرمون السكرتين 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 التائه .

وظائف الكبد liver :

1 -صنع وافرازمادة الصفراء (سائل قاعدي اصفر اللون مر المذاق) .

2 -تكوين الكلايكوجين وخزنه لتننظيم 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

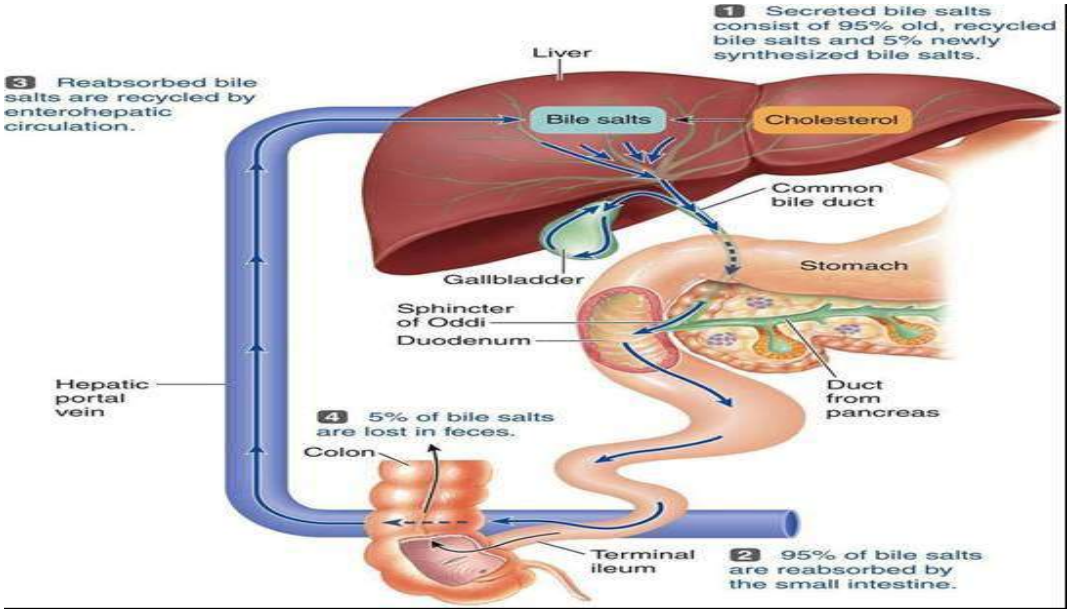
يجعلها مادة قابلة للذوبان بالماء فيسهل اخراجها من الجسم مع الادرار والعرق .

6 -بناء الحموض الشحمية .

7 -خزن وتنظيم انتشار عامل مضاد فقر الدم الخبيث.

8 -خزن الفيتامينات الذائبة في الدهون والمتمثلة بفيتامين K و E و D و A .

مكونات مادة (عصارة) الصفراء Bile : تصنع مادة الصفراء في الخلايا المبطنة للقنيوات في الكبد ولن تمر الى الاثنى عشر مباشرة ، وانما تخزن في كيس الصفراء Gall bladder . تتالف 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



افراز مادة الصفراء

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 .

اليرقان Jaundice :هو اصطباغ البشرة وبياض العين والاغشية المخاطية باللون الاصفر لزيادة مستوى البيليروبن في الدم وتزداد درجته بازدياد المرض وتوجد ثلاثة انواع منه كالاتي :

1 - اليرقان التحللي Hemolytic jaundice : ينتج من زيادة تكسركريات الدم الحمرقبل وصولها

120 يوم اما وراثيا اوبفعل عوامل مكتسبة .

2 - اليرقان التسممي Toxic jaundice : ينتج من التسمم ببعض المواد الكيميائية او العقاقيرمما 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 اوينتج من التهاب كيس الصفراءاوقنواتها .

وظائف الصفراء :

1 -تعادل حمض الهيدروكلوريك .

2 - تنشط 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-تنشط هضم الكثير من الاغذية وتنشيط عمل الانزيمات الهاضمة لها .

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 تركيب اصبعية الشكل تدعى 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 .

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 .

3 -امتصاص الكربوهيدرات : تمتص بشكل سكريات احادية من تجويف الامعاء الى الخلايا الظهارية المعوية بعملية النقل الفعال اذ تتحد جزيئة السكر مع حامل خاص بها عند دخوله الى الخلايا الطلائية فتكون معه معقد السكر والحامل الذي ينتقل الى قاعدة الخلية ثم ينفصل الحامل ليعود السطح الخلية ليقوم بعملية نقل اخرى.

4 -امتصاص الشحوم : يتم امتصاص الشحوم بشكل حموض شحمية وكلسيريدات احادية والقليل من الكلسيريدات ثنائية وثلاثية اذ تذوب كل هذه المواد في الغشاء البلازمي للخلية وتصل الى الجهة الداخلية للخلية بعملية انتشار تخرج منها الى اللمف .

حركة الامعاء : تتحرك الامعاء بعدة انواع من الحركات كالاتي :

أ- حركة تجزأ اي التقلص 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 الغليضة 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 ولايبقى 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