وقل رب زدني علما
Damascus University

- كلية العلوم الصحية
- قسم السمعيات والعلاج النفسي الحركي
- المحاضرة الثانية (العصب والعضلة -١)
- الدكتور عبدالوهاب شهلا

فيزيولوجيا العصب والعضلة
Excitable tissue

- لدراسة وفهم الجهاز العصبي لابد من الإحاطة بالنقاط الأربعة التالية
- الإشارة التي يتعامل بها الجهاز العصبي(Action potential)
- الوحدة التشريحية للجهاز العصبي (العصبون Neurons)
- الوحدة الوظيفية للجهاز العصبي (الفعل المنعكس)
- المشبك العصبي (المكان المفضل للتحكم بالإشارة)

Damascus University

كامن الغشاء وكامن الفعل
Membrane potential and action potential

- يوجد كامن كهربائي عبر أغشية كافة خلايا الجسم
- بعض هذه الخلايا مستثارة Excitable

١- قادرة على التوليد الذاتي لدفعات كيميائية كهربائية على أغشيتها

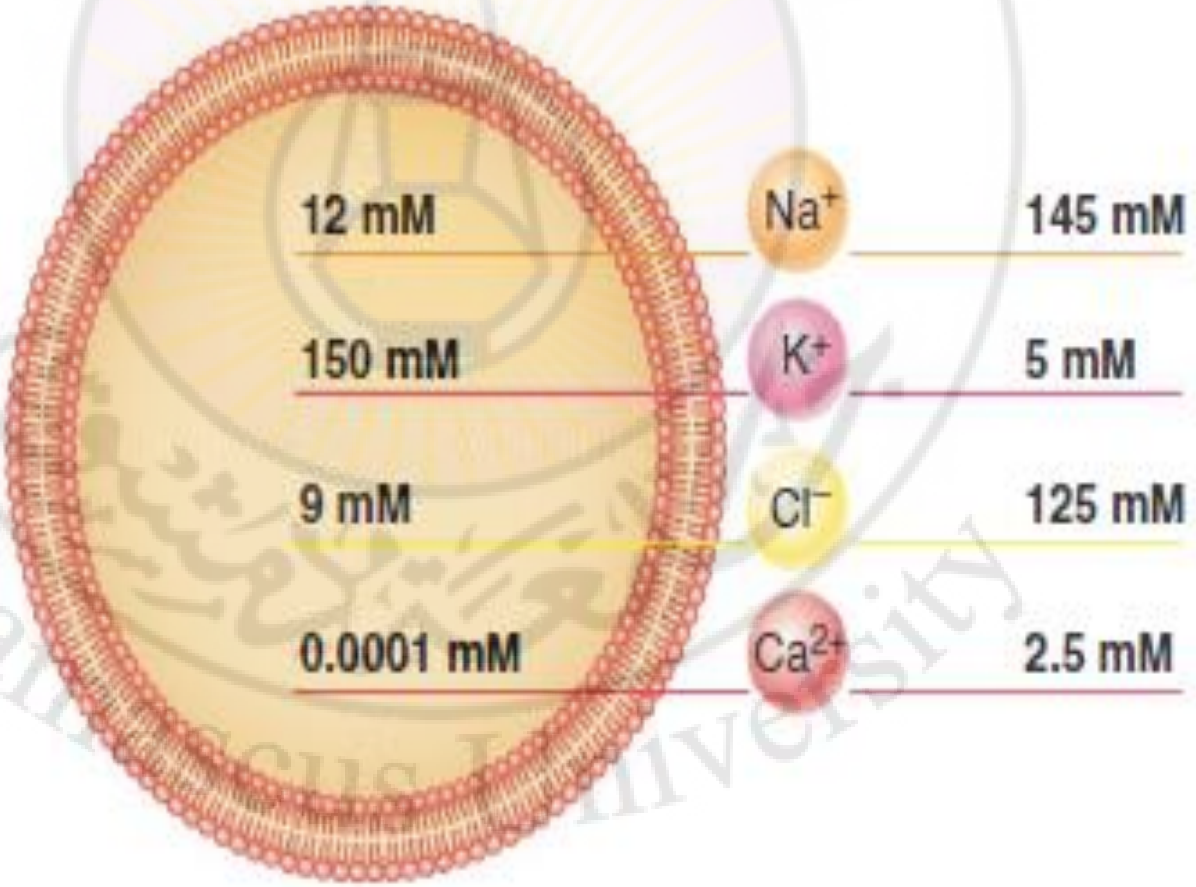
٢- استخدام هذه التنبيهات لنقل إشارات على طول هذه الأغشية.

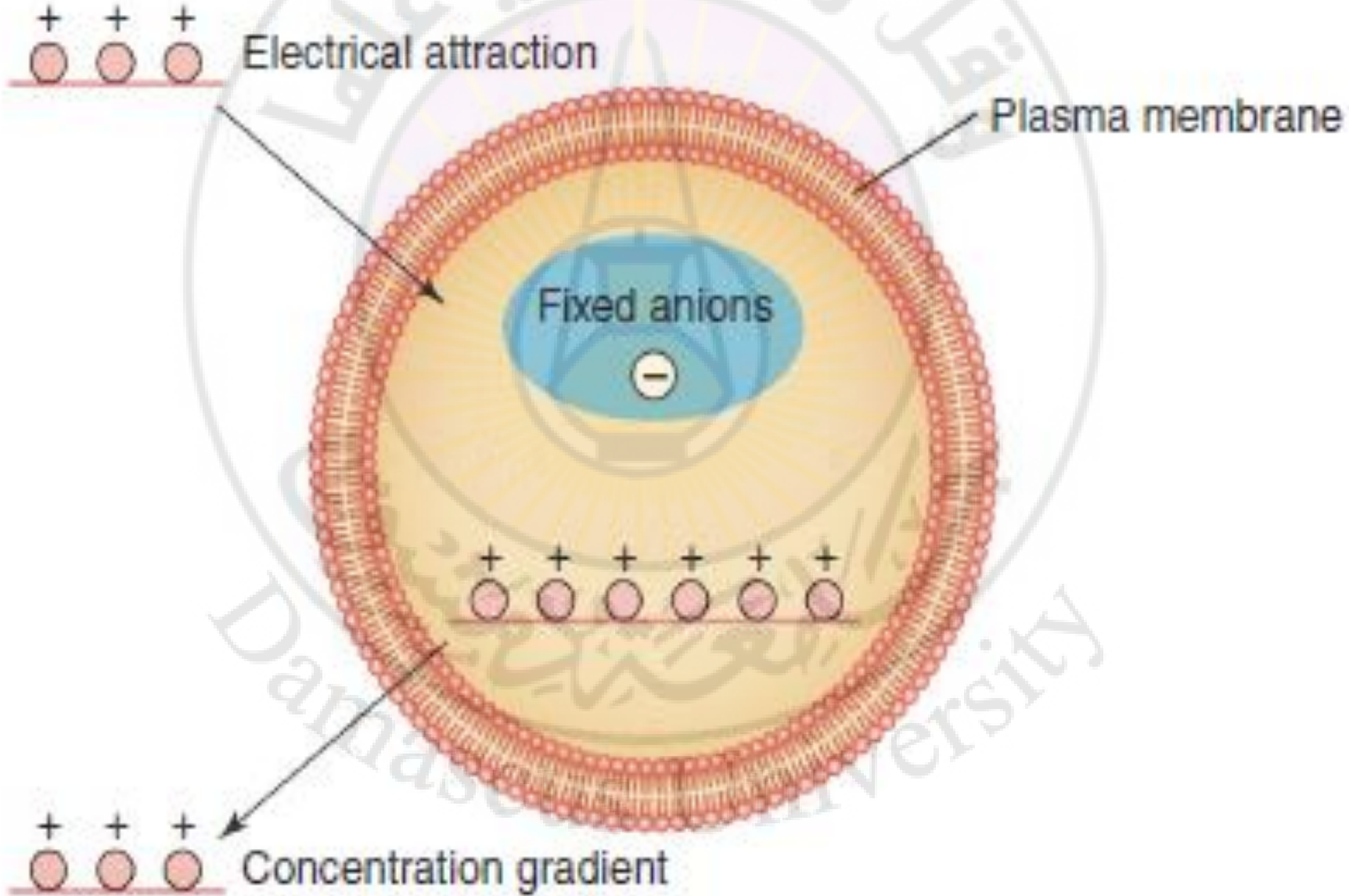
Damascus University

يجب التركيز على مجموعة من المفاهيم الأساسية

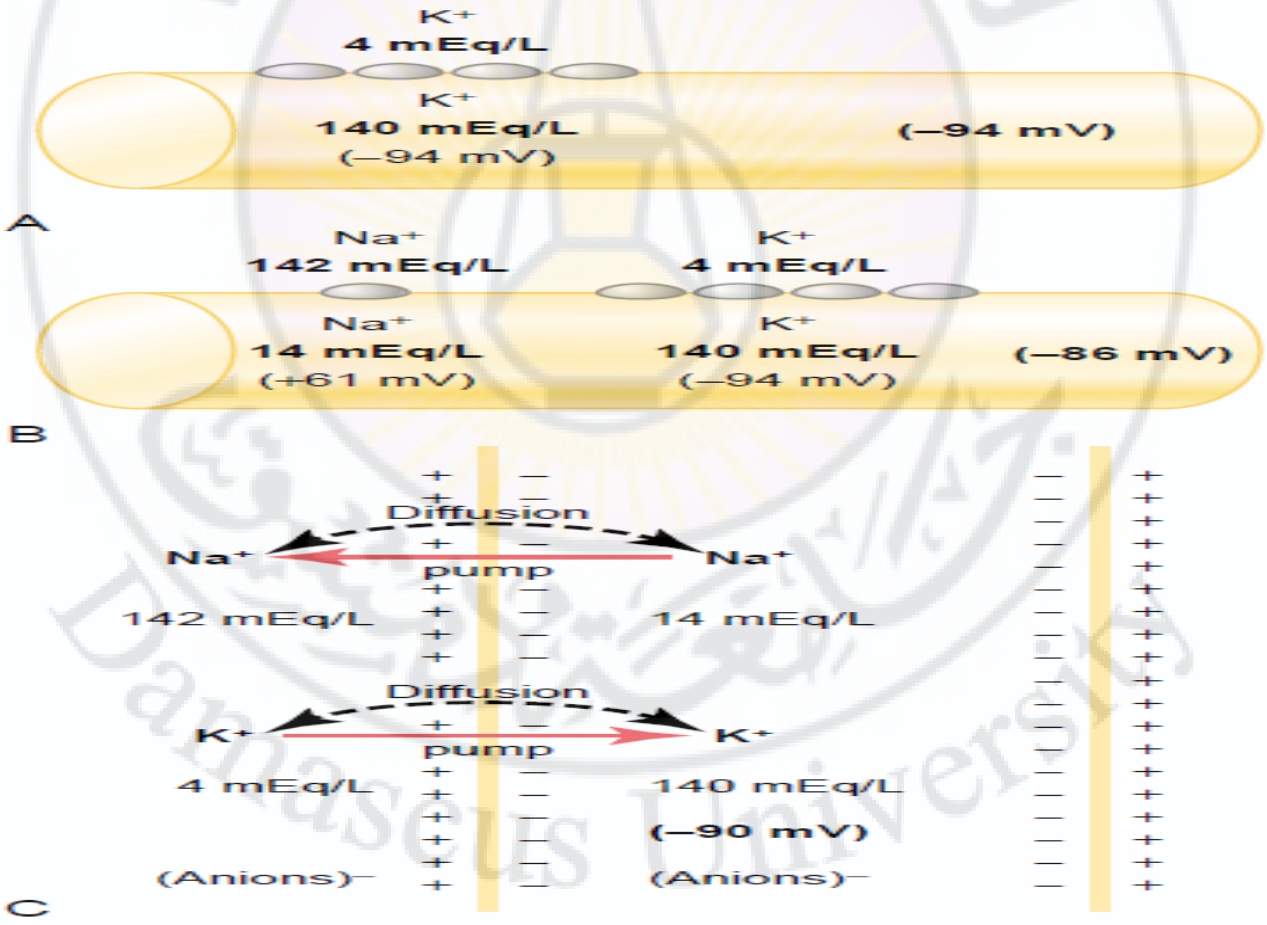
- مدروج التركيز (Concentration gradient)
- المدروج الكهربائي(Electrical gradient)
- Voltage gated channels
- Ligand gated channels

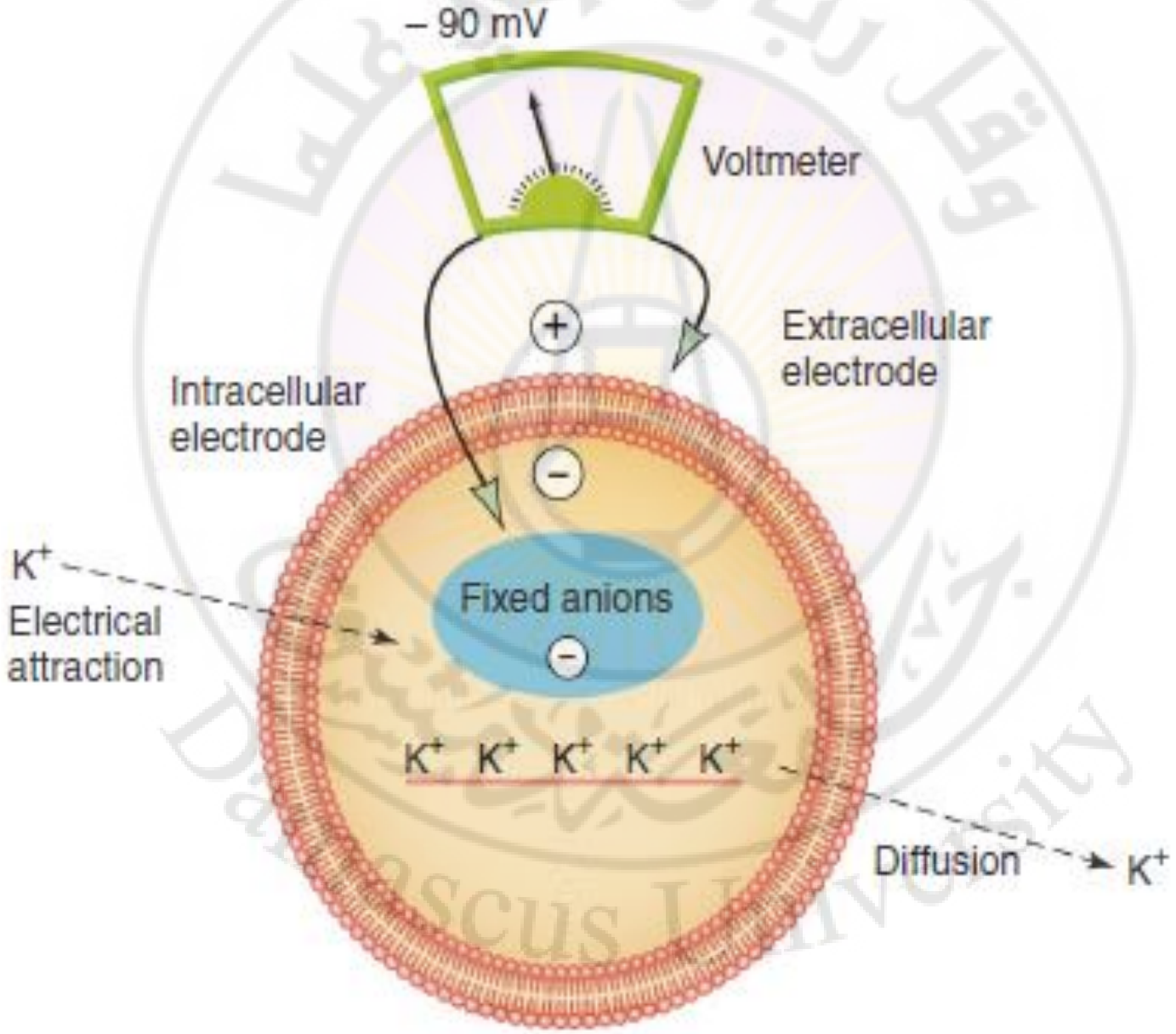
Damascus University


12 mM
Na+
145 mM
150 mM
K+
5 mM
9 mM
Cl−
125 mM
0.0001 mM
Ca2+
2.5 mM


Electrical attraction
Plasma membrane
Fixed anions
Concentration gradient

أولاً-الفيزياء الأساسية لكامن الغشاء
١-كامن الغشاء الناتج عن الانتشار.




– 90 mV
Voltmeter
+
Extracellular electrode
Intracellular electrode
−
K+
Electrical attraction
Fixed anions
−
K+ K+ K+ K+ K+
Diffusion
K+

العلاقة بين كامن الانتشار وفرق التركيز.

- كامن نيرنست

التركيز في الداخل

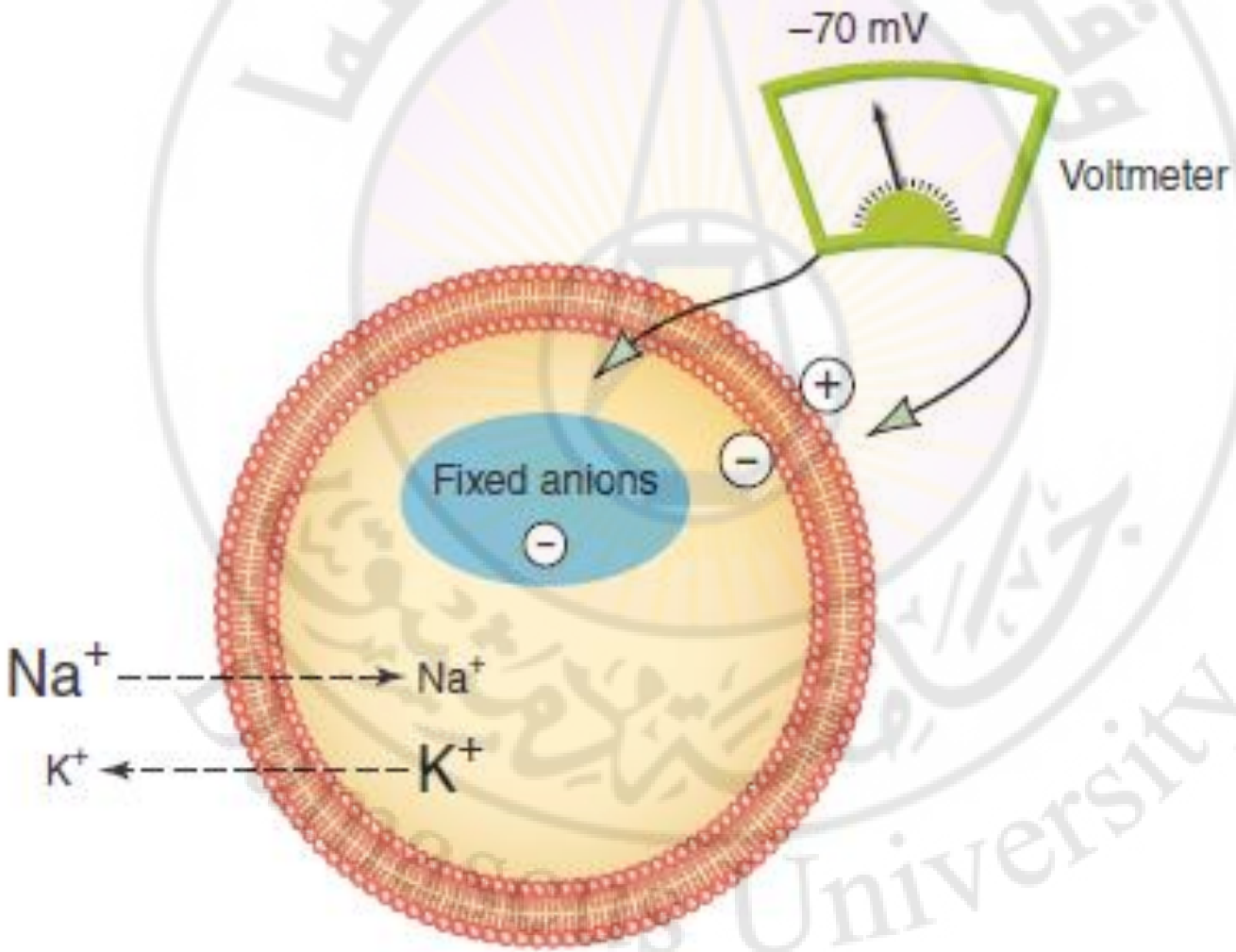
- **القوة المحركة الكهربائية(ميلي فولط) = ± ٦١ لغ**
-

التركيز في الخارج

ينجم كامن الراحة عن جداء عاملين هما

- فرق تركيز الشاردة على جانبي الغشاء
- نفوذية الغشاء لهذه الشاردة

Damascus University


−70 mV
Voltmeter
+
−
Fixed anions
−
Na+
Na+
K+
K+

العوامل الهامة في توطيد كامن الغشاء السوي في أثناء الراحة بمقدار -٩٠ ميلي فولط

- **مساهمة كامن انتشار البوتاسيوم.**
- **مساهمة انتشار الصوديوم عبر غشاء العصب.**
  - كلا العاملين يجعل كامن الغشاء حوالي -٨٦ ميلي فولط.
- **مساهمة مضخة الصوديوم والبوتاسيوم.**
  - تساهم هذه المضخة في(-٤ ميلي فولط) وهكذا فإن كوامن الانتشار

Damascus University

حساب كامن الانتشار
عندما يكون الغشاء نفوذاً لعدة شوارد مختلفة.

- يعتمد كامن الانتشارعلى
- ١-قطبية (Polarity) الشحنة الكهربائية لكل شاردة.
- ٢-نفوذية الغشاء لكل شاردة.
- ٣- التركيز الخاص بكل شاردة في داخل الغشاء وخارجه.

.

Damascus University

معادلة كولدمان-هودجكن-كاتز

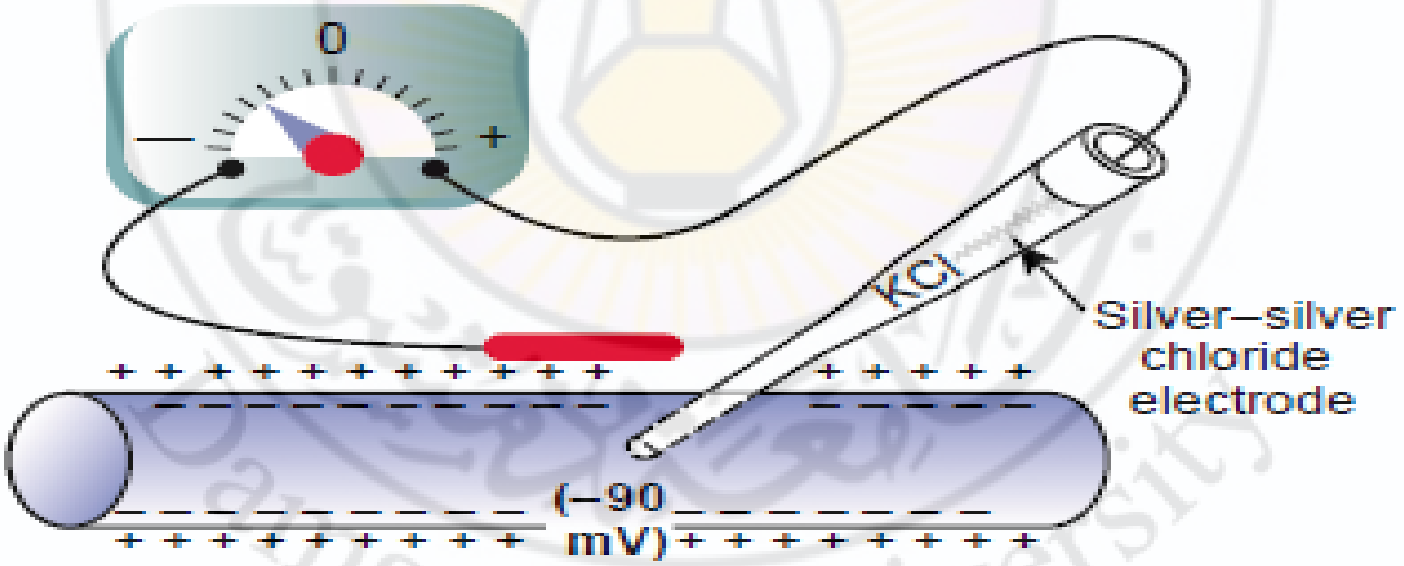
- تعطي كامن الغشاء المحسوب على الوجه الداخلي للغشاء
- C Na+iPNa+ +C K+IPK++C cl- oPcl-
- EMF=-61 Log----------
- --------
- CNa+oPNa++CK+oPK++Ccl-IPcl-

أهمية ومعنى هذه المعادلة

- ١- شوارد الصوديوم والبوتاسيوم والكلور
  (هي الشوارد الأكثر أهمية)
- ٢- تتناسب أهمية كل شاردة مع جداء
  - نفوذية الغشاء لهذه الشاردة.
  - مدروج التركيز وتأثيره على حركة الشوارد

- ٣- تخضع نفوذية قنوات الصوديوم و البوتاسيوم لتبدلات سريعة جداً في أثناء توصيل الدفعات العصبية.
- ٤- لا تتبدل نفوذية قنوات الكلور كثيراً في أثناء هذا الحدث

٤- قياس كامن الغشاء



٥ ـ كامن الغشاء في الأعصاب في أثناء الراحة
Resting Membrane Potential of Nerves

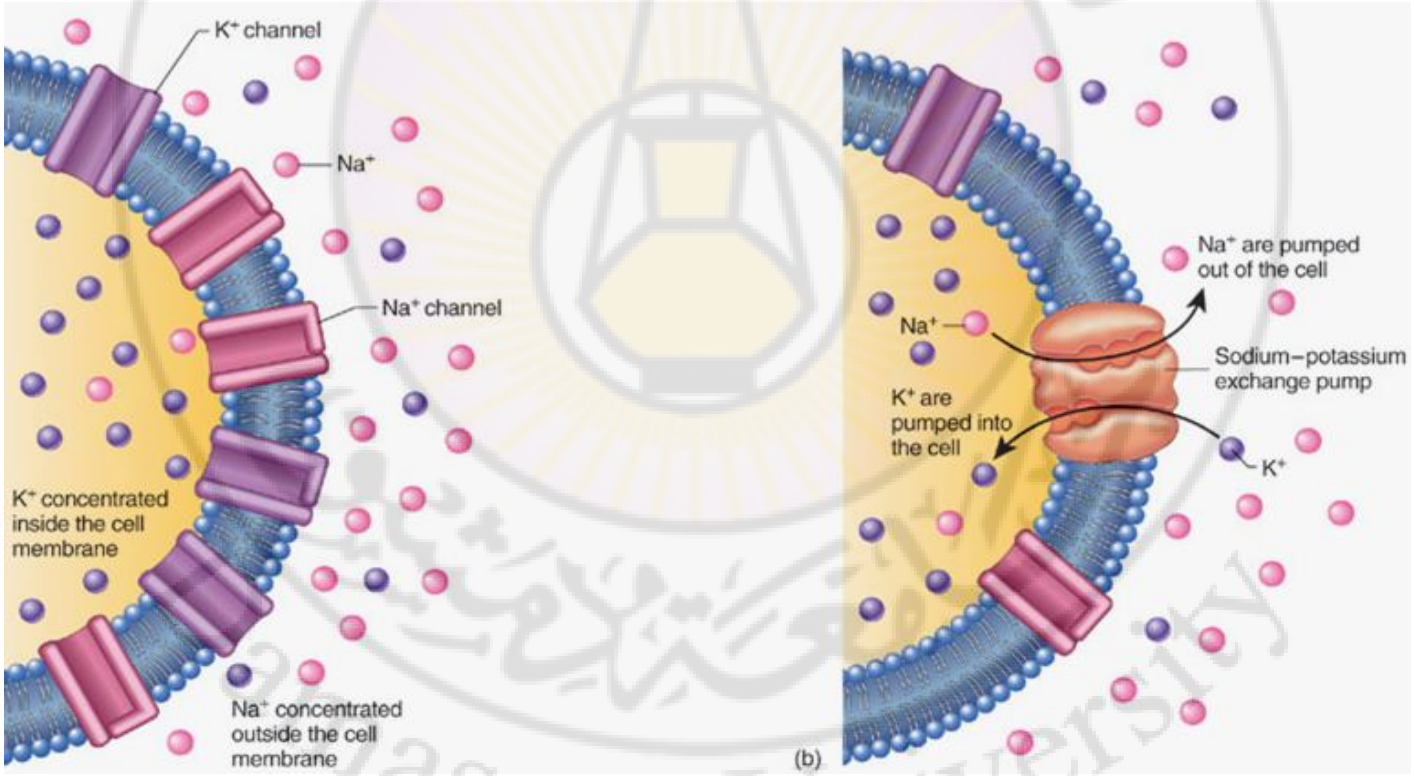
- العوامل الهامة في توطيد كامن الغشاء السوي في أثناء الراحة

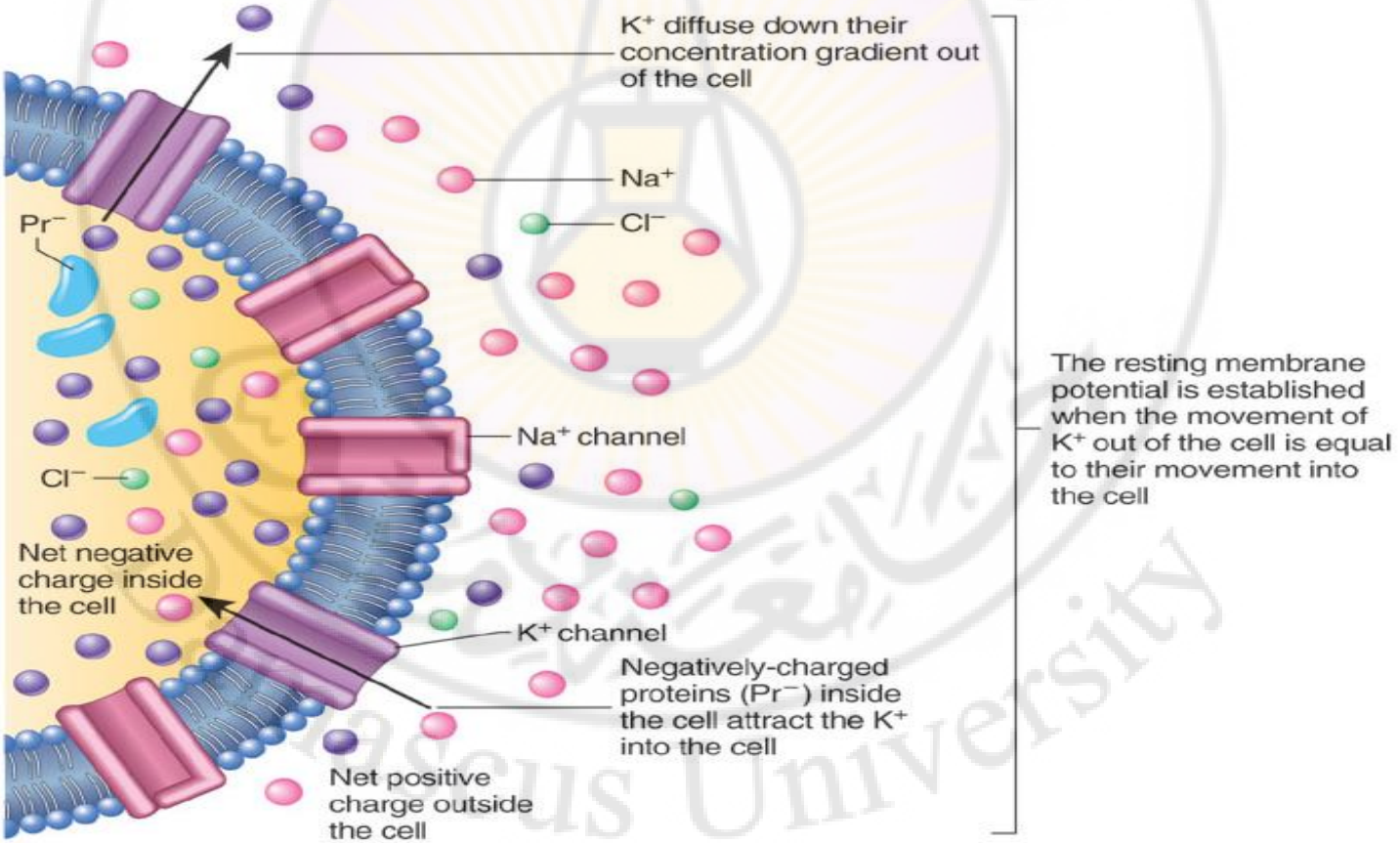
- مساهمة كامن انتشار البوتاسيوم. (-٩٤ ميلي فولط)

- مساهمة انتشار الصوديوم عبر غشاء العصب.(حوالي -٨٦

- مساهمة مضخة الصوديوم والبوتاسيوم.(-٤ ميلي فولط)

Damascus University

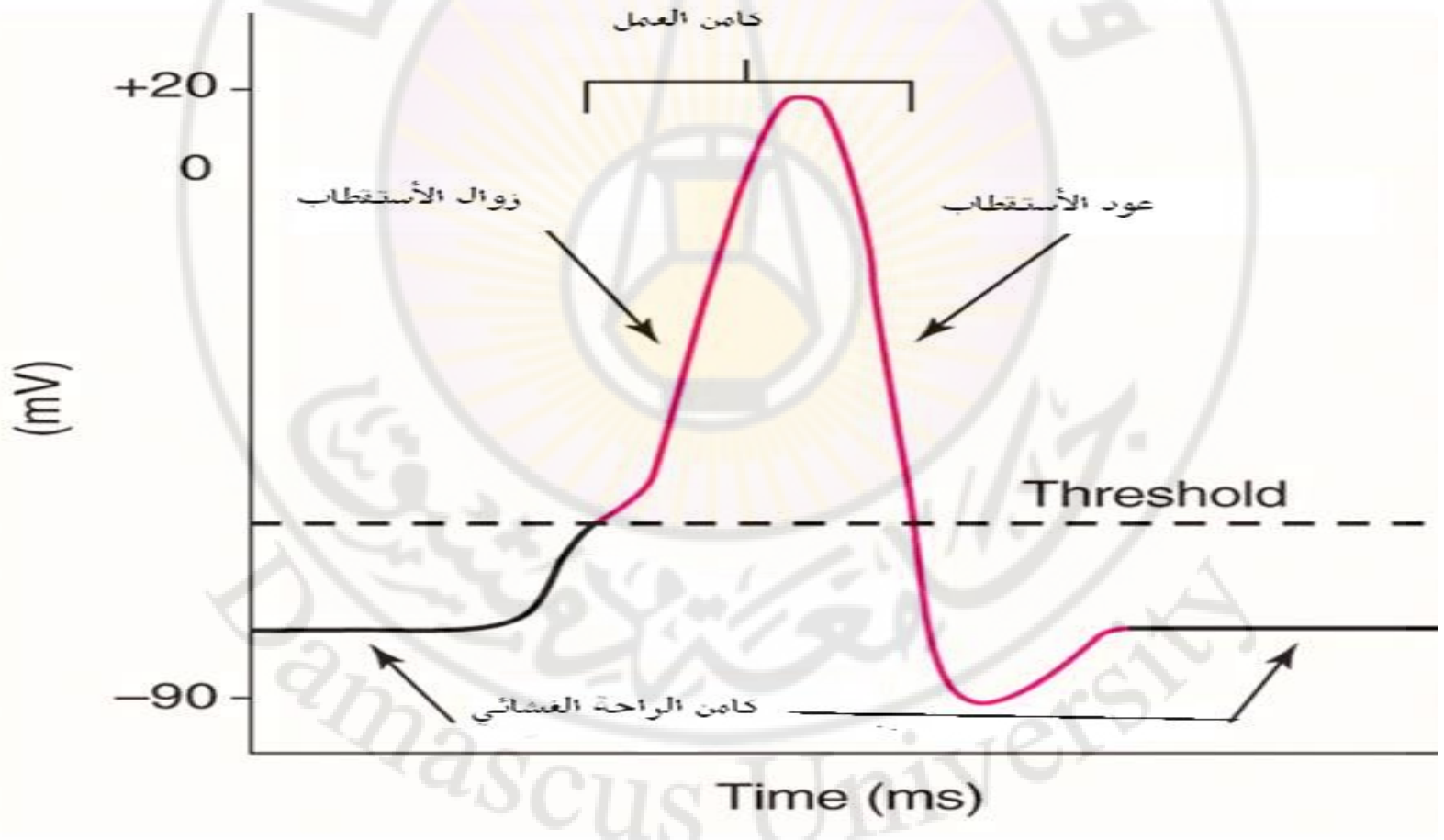

K+ channel
Na+
Na+ channel
K+ concentrated inside the cell membrane
Na+ concentrated outside the cell membrane
(b)
Na+ are pumped out of the cell
Na+
Sodium–potassium exchange pump
K+ are pumped into the cell
K+

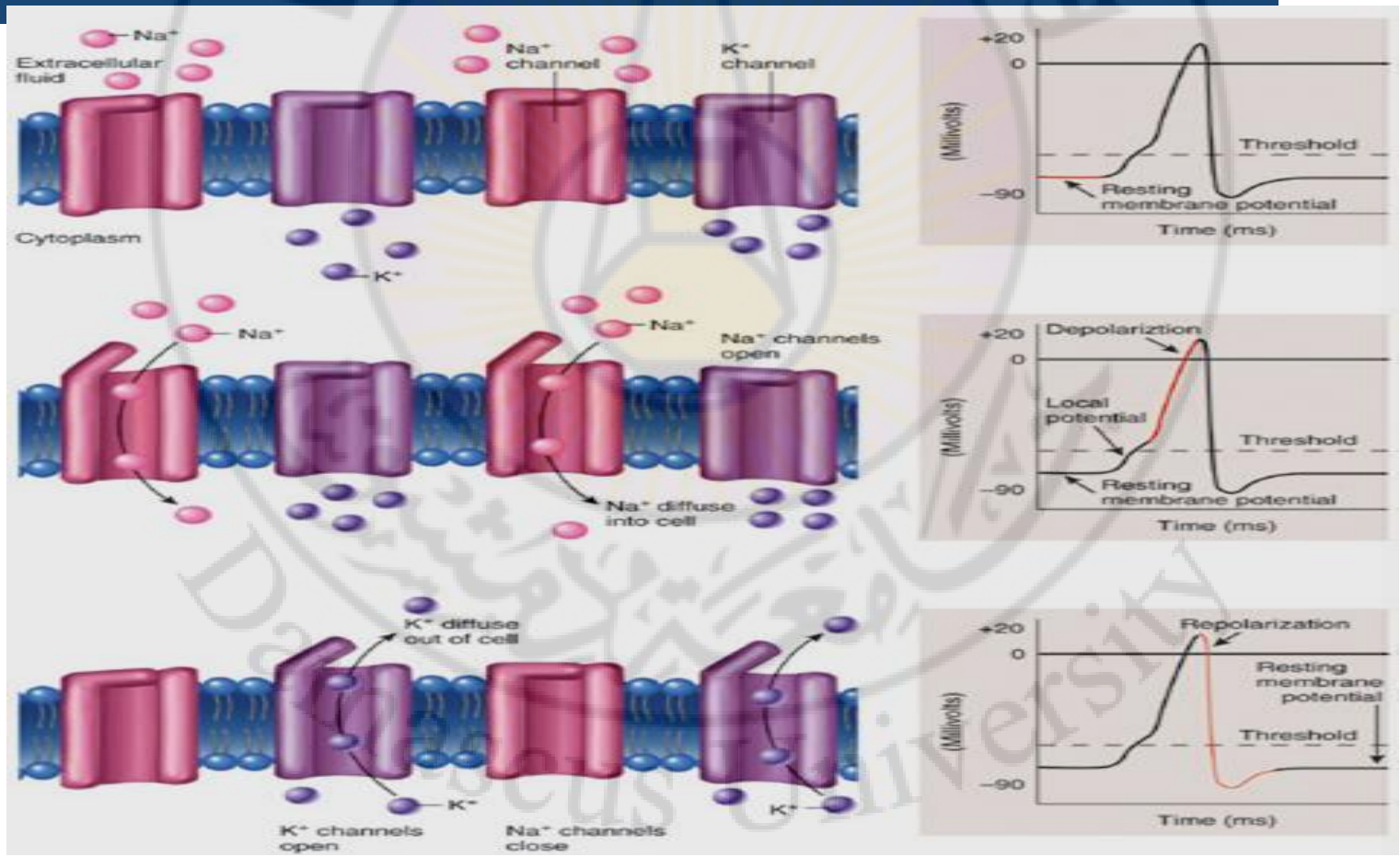

K+ diffuse down their concentration gradient out of the cell
Na+
Cl−
Pr−
Na+ channel
Cl−
Net negative charge inside the cell
K+ channel
Negatively-charged proteins (Pr−) inside the cell attract the K+ into the cell
Net positive charge outside the cell
The resting membrane potential is established when the movement of K+ out of the cell is equal to their movement into the cell

٧-كامن فعل العصب
Nerve Action Potential

- تبدلات سريعة في كامن الغشاء .
- من كامن راحة سالب إلى موجب ثم يعود ثانية إلى كامن سالب
- غالباً ما تكون سرعة العودة مساوية لسرعة التبدل .
- يحتاج نقل الإشارة العصبية إلى انتقال كامن الفعل على طول الليف العصبي حتى يصل إلى نهاية الليف

Damascus University


كامن العمل
+20
0
زوال الأستقطاب
عود الأستقطاب
(mV)
Threshold
−90
كامن الراحة الغشائي
Time (ms)


Na+
Extracellular fluid
Na+ channel
K+ channel
Cytoplasm
K+
Na+
Na+
Na+ channels open
Na+ diffuse into cell
K+ diffuse out of cell
K+
K+
K+ channels open
Na+ channels close
+20
0
−90
(Millivolts)
Threshold
Resting membrane potential
Time (ms)
+20
0
−90
(Millivolts)
Depolariztion
Local potential
Threshold
Resting membrane potential
Time (ms)
+20
0
−90
(Millivolts)
Repolarization
Resting membrane potential
Threshold
Time (ms)

- دور الراحة:
- مرحلة نزع الاستقطاب : Depolarization Stage
- مرحلة عود الاستقطاب . Repolarization Stage

ميزة هامة لعملية تعطيل قناة الصوديوم

- بوابة التعطيل

- لا تعود للانفتاح مرة ثانية مالم يعد كامن الغشاء إلى قيمته الأصلية أثناء الراحة أو إلى قيمة قريبة منه.

-لا يمكن لقنوات الصوديوم أن تنفتح مرة أخرى دون أن يتم عودة الليف العصبي إلى الاستقطاب اولاً.

دور الشوارد الأخرى في أثناء كامن العمل

- **الشوارد السالبة وغير النفوذة الموجودة داخل المحوار.**
- **شوارد الكالسيوم .**

- تحتاج لزمن اكبر ب ١٠- ٢٠ مرة مما تحتاجه قنوات الصوديوم لتتفعل
- تتواجد قنوات الكالسيوم بوفرة شديدة في كل من العضلة القلبية والعضلات الملس.

- **شوارد الكلور.**

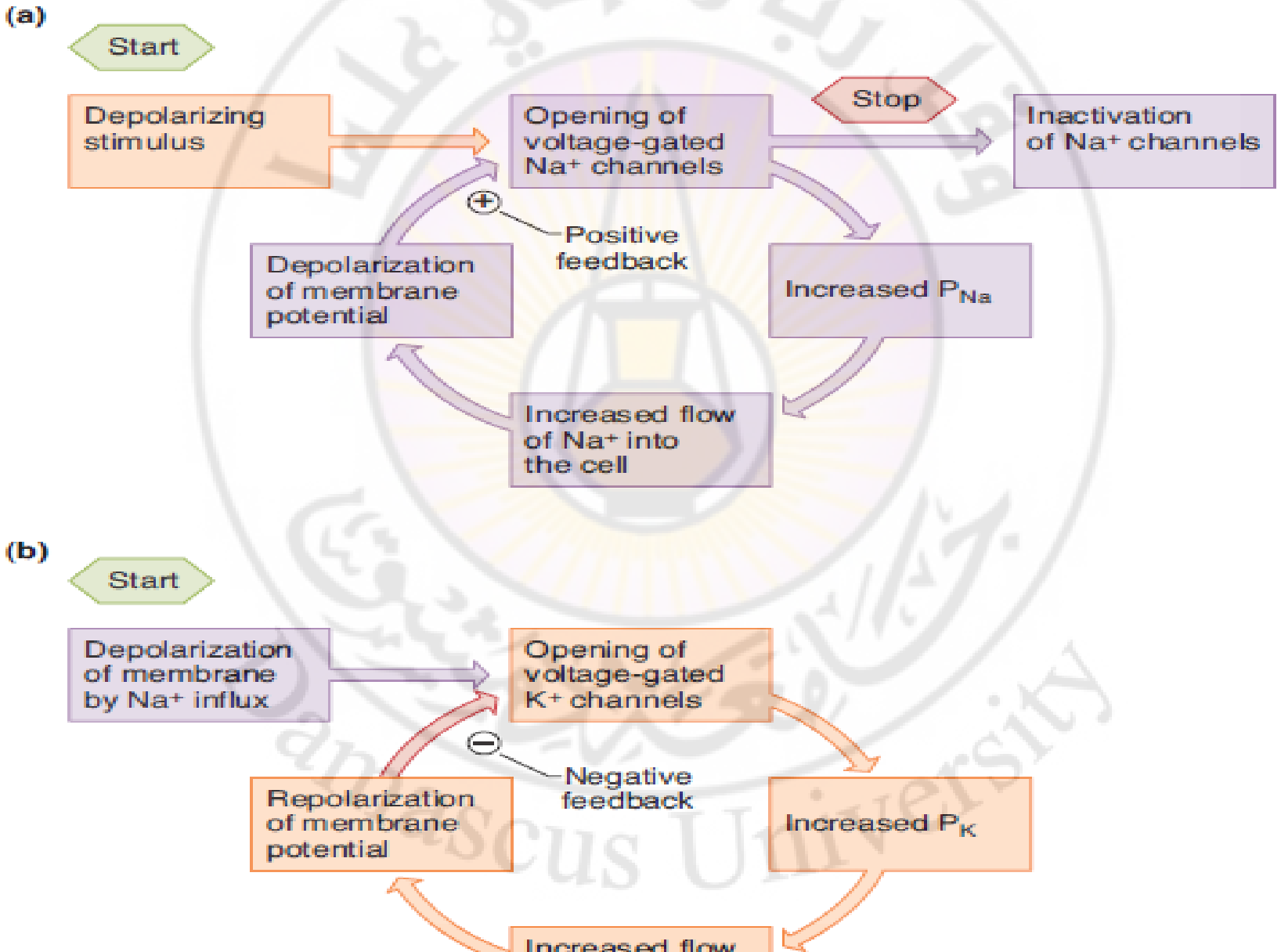
Damascus University

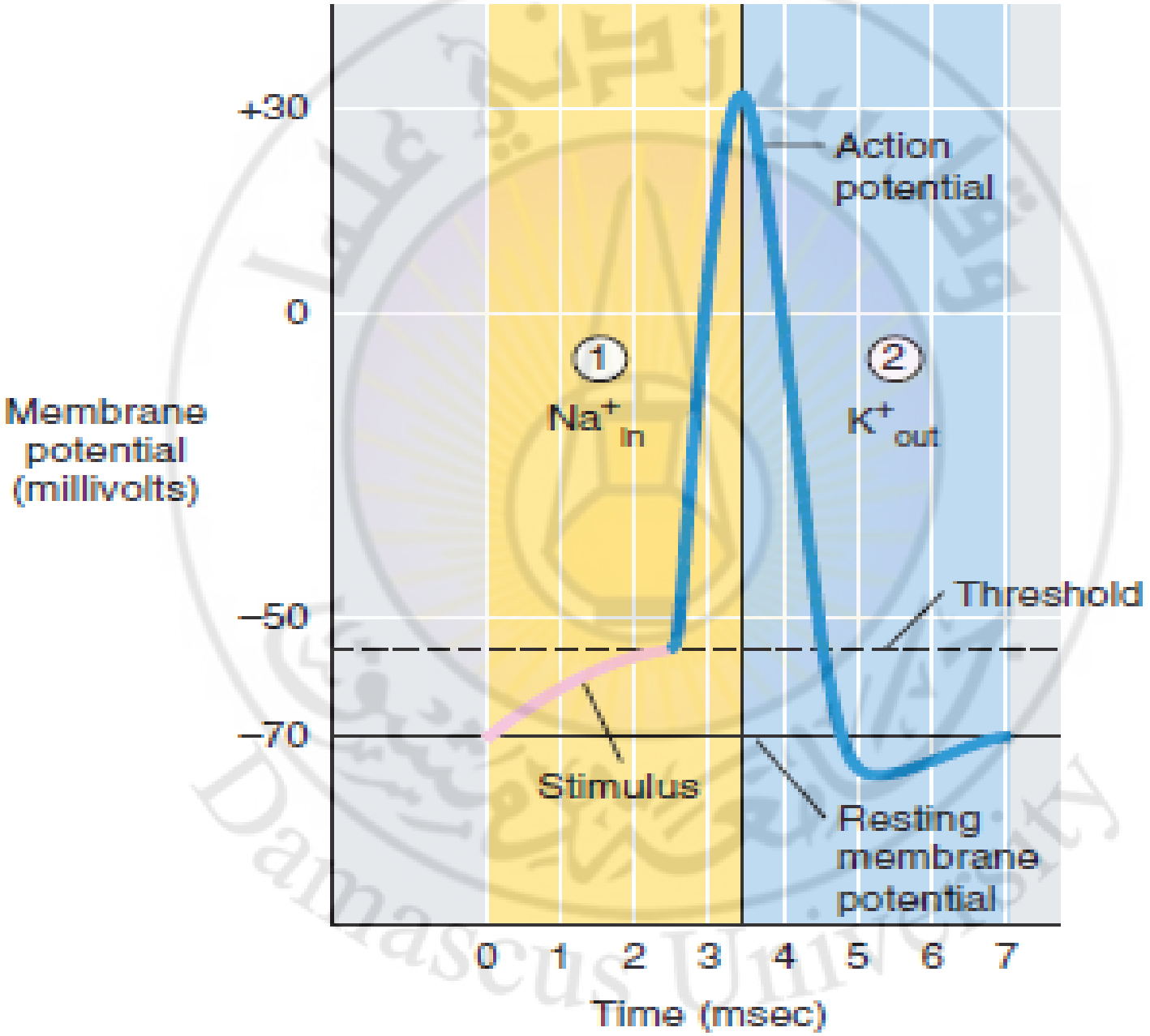
بدء (استهلال)كامن الفعل
Initiation of the action potential

- لا يحدث كامن فعل في العصب السوي ما لم يصب الليف العصبي باضطراب.
- ارتفاعاً بدئياً كافياً في كامن الغشاء
  (من ـ ٩٠ ميلي فولط باتجاه مستوى الصفر)
- بدء انفتاح العديد من قنوات الصوديوم المبوبة بالفولطاج
- تدفق سريع لشوارد الصوديوم نحو الداخل

Damascus University

- فتح المزيد من قنوات الصوديوم المبوبة بالفولطاج
- دائرة معيبة من التلقيم الراجع الايجابي
- تصبح جميع قنوات الصوديوم المبوبة بالفولطاج مفعلة(مفتوحة)
- بدء تعطيل قنوات الصوديوم
- انفتاح قنوات البوتاسيوم وينتهي في الحال كامن الفعل.


(a)
Start
Depolarizing stimulus
Opening of voltage-gated Na+ channels
Stop
Inactivation of Na+ channels
Positive feedback
Depolarization of membrane potential
Increased P_{Na}
Increased flow of Na+ into the cell
(b)
Start
Depolarization of membrane by Na+ influx
Opening of voltage-gated K+ channels
Negative feedback
Repolarization of membrane potential
Increased P_K


+30
0
–50
–70
Membrane potential (millivolts)
Action potential
1
Na+ In
2
K+ out
Threshold
Stimulus
Resting membrane potential
0 1 2 3 4 5 6 7
Time (msec)

إعادة توطيد المدروجات الشاردية للصوديوم والبوتاسيوم بعد إتمام كامن الفعل

- تنقص فروق تركيز الصوديوم والبوتاسيوم بشكل طفيف
- يمكن لألياف العصب الكبيرة أن تنقل ١٠٠,٠٠٠ إلى ٥٠ مليون دفعة
- الحد الذي يتوقف عنده نقل كامن الفعل.

مضخة الصوديوم-البوتاسيوم

- تتنبه بشدة عند تراكم الصوديوم داخل غشاء الخلية.
- تزداد فعالية الضخ (يتناسب مع القوة الثالثة لتغير تركيز الصوديوم)
- ازدياد تركيز الصوديوم من ١٠ إلى ٢٠ ميلي مكافيء/ليتر

-ثمانية أضعاف.

الاستثارة لكامن الفعل

- أي عامل يؤدي إلى بدء انتشار +Naعبر الغشاء نحو الداخل

١-اضطراب ألي (ميكانيكي) في الغشاء

٢- تأثيرات كيميائية على الغشاء

٣- مرور الكهرباء عبر الغشاء

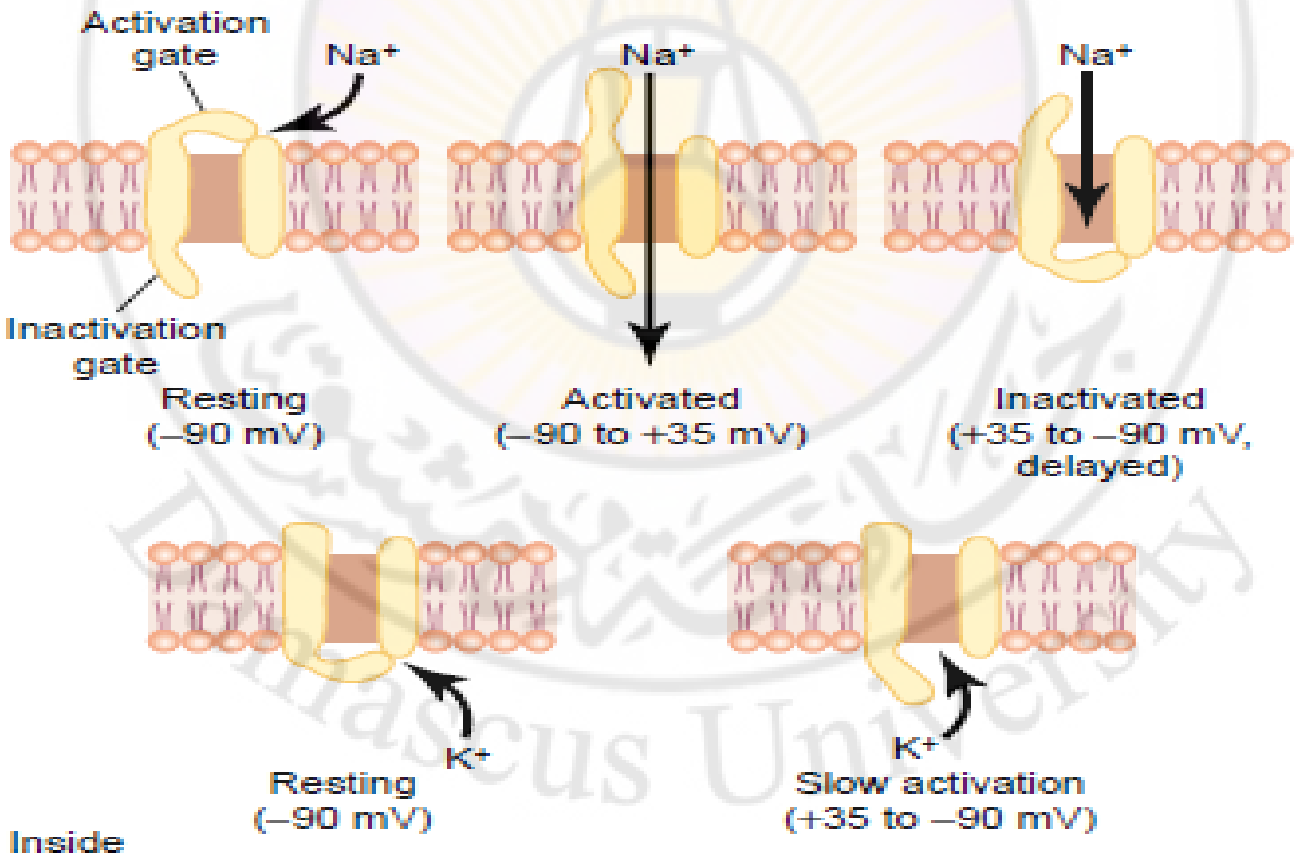
(نقل الإشارات بين الخلايا العضلية في القلب والأمعاء).

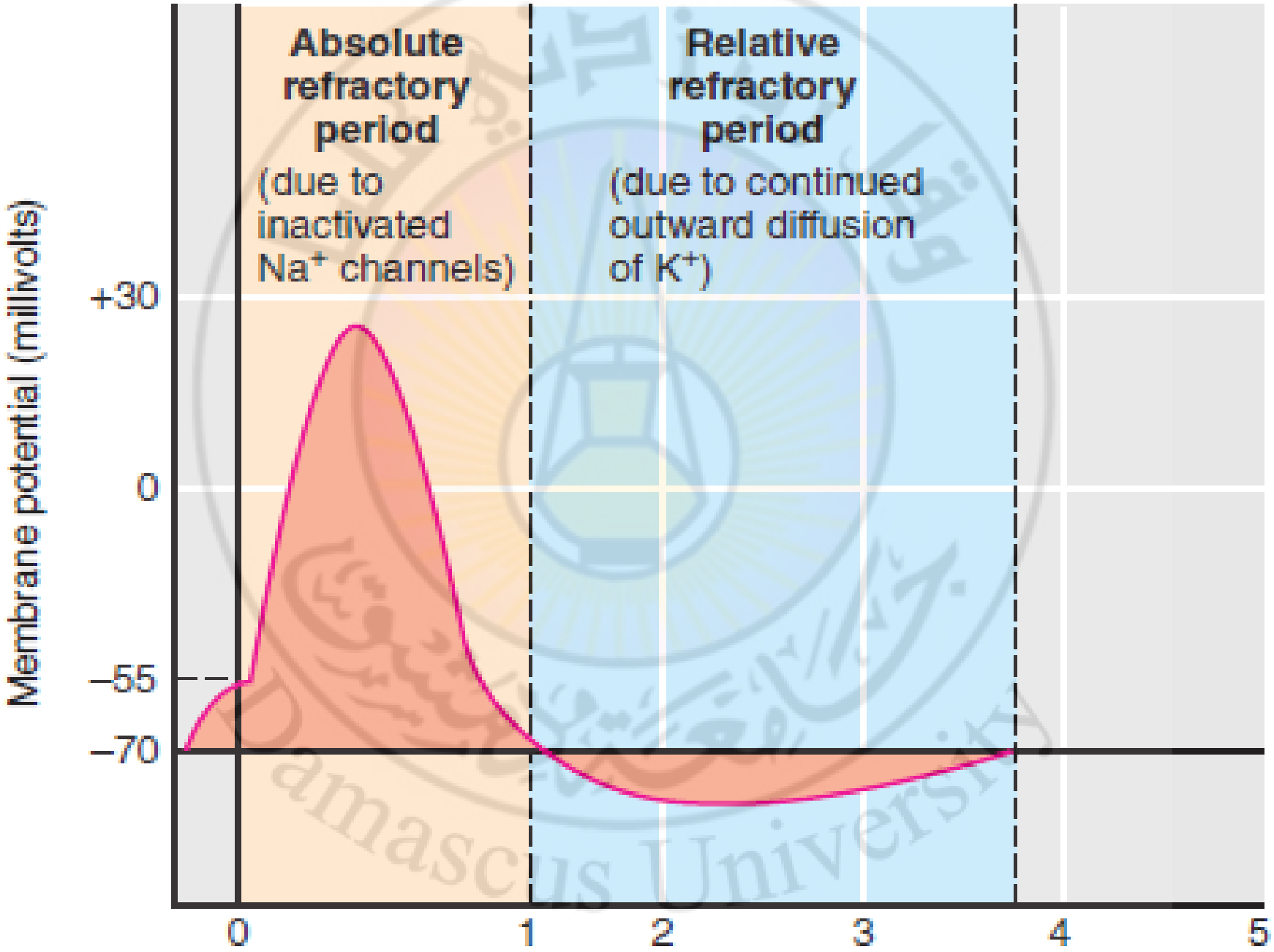
فترة الحران (العصيان).

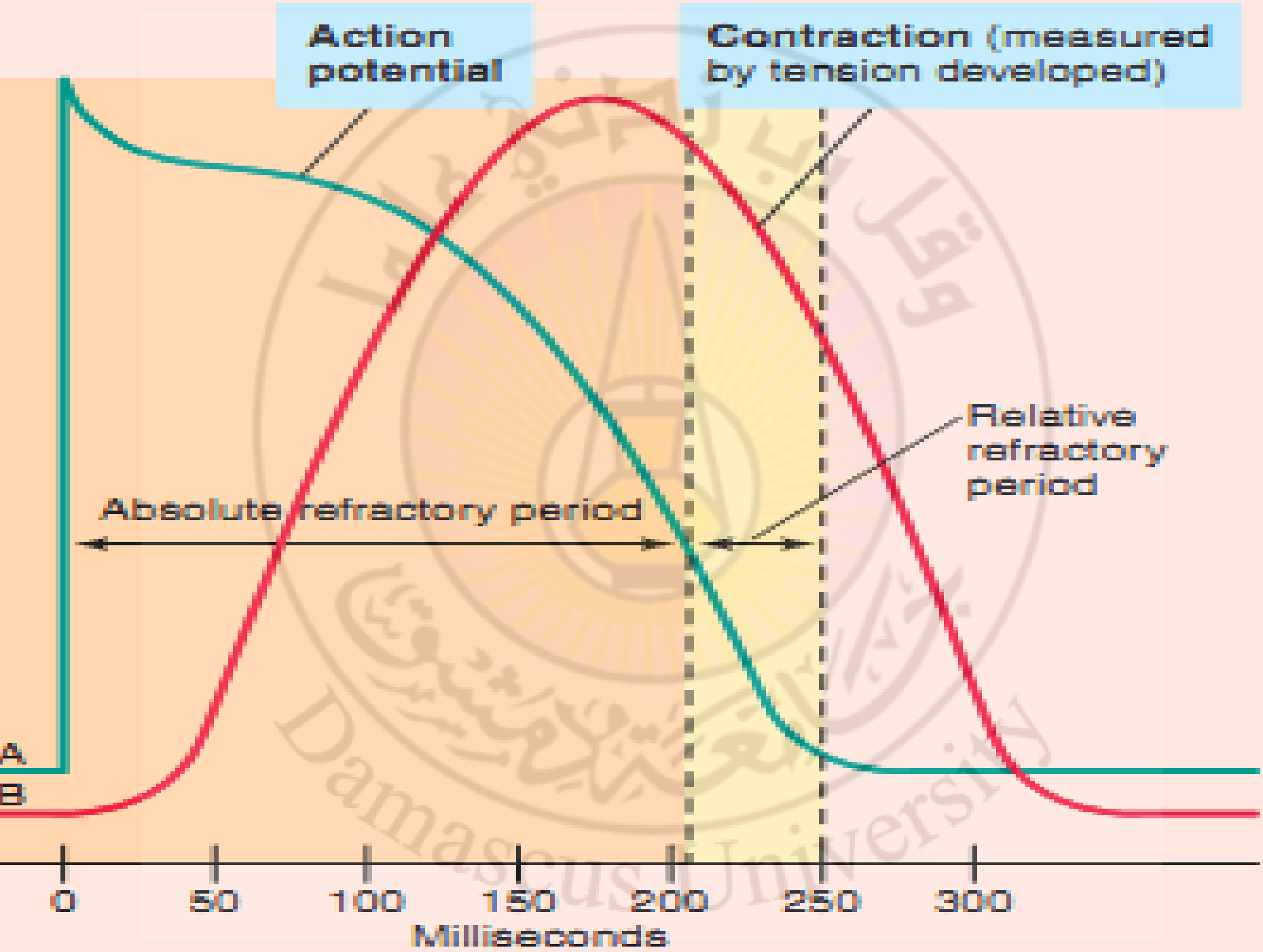
- الحالة الوحيدة التي تعيد فتح هذه القنوات هي

-عودة كامن الغشاء إلى مستوى كامن الغشاء الأصلي أثناء الراحة أو إلى مستوى قريب منه

- العصيان المطلق Absolute refractory period .
- تعادل هذه الفترة بالنسبة للألياف العصبية النخاعينية الكبيرة ١/٢٥٠٠ ثانية
- **يستطيع نقل حد أقصى هو ٢٥٠٠ دفعة في الثانية الواحدة تقريباً.**


Activation gate
Na+
Inactivation gate
Resting (–90 mV)
Na+
Activated (–90 to +35 mV)
Na+
Inactivated (+35 to –90 mV, delayed)
K+
Resting (–90 mV)
K+
Slow activation (+35 to –90 mV)
Inside

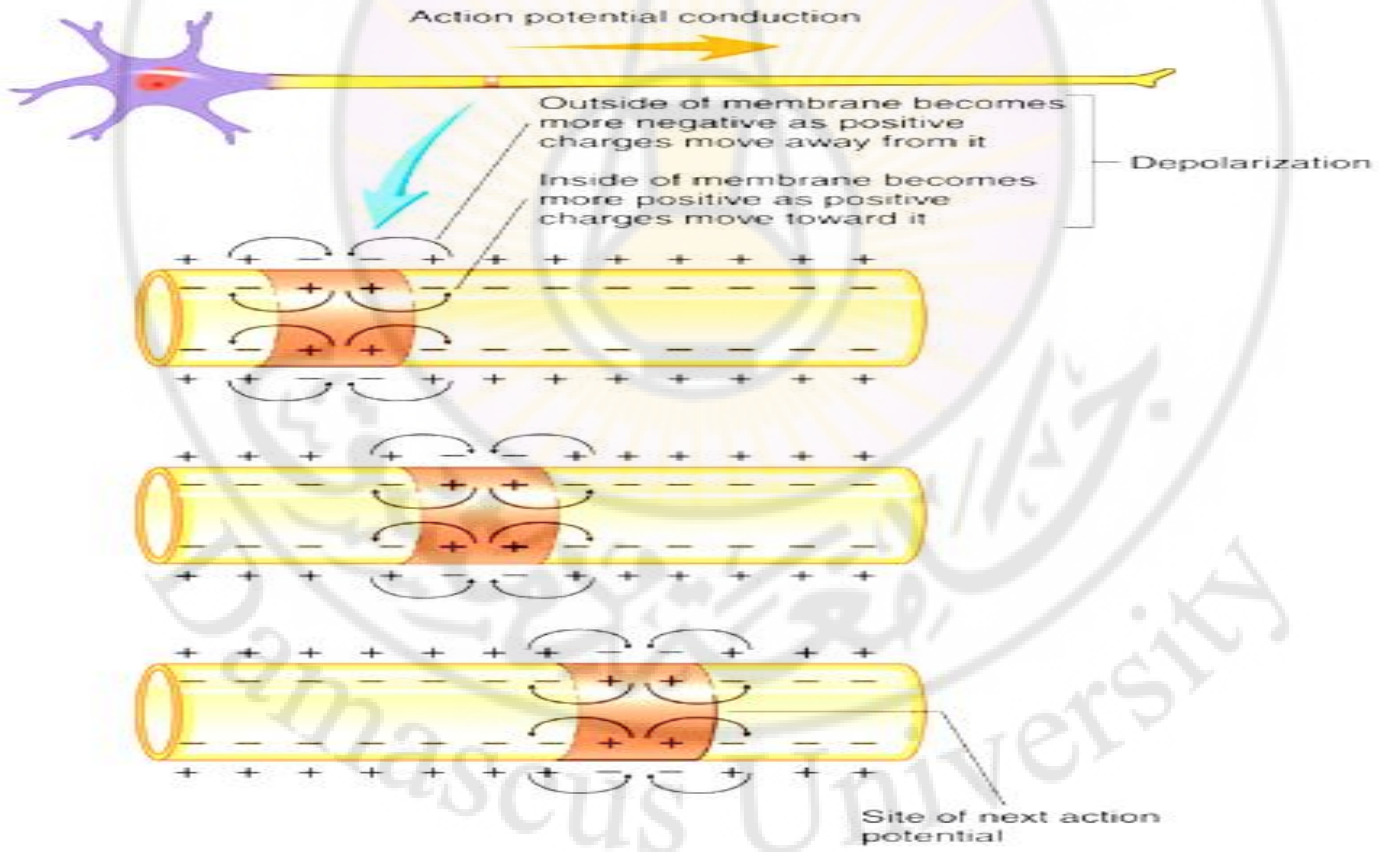

Absolute refractory period
(due to inactivated Na^+ channels)
Relative refractory period
(due to continued outward diffusion of K^+)
Membrane potential (millivolts)
+30
0
–55
–70
0
1
2
3
4
5


Action potential
Contraction (measured by tension developed)
Absolute refractory period
Relative refractory period
A
B
0
50
100
150
200
250
300
Milliseconds

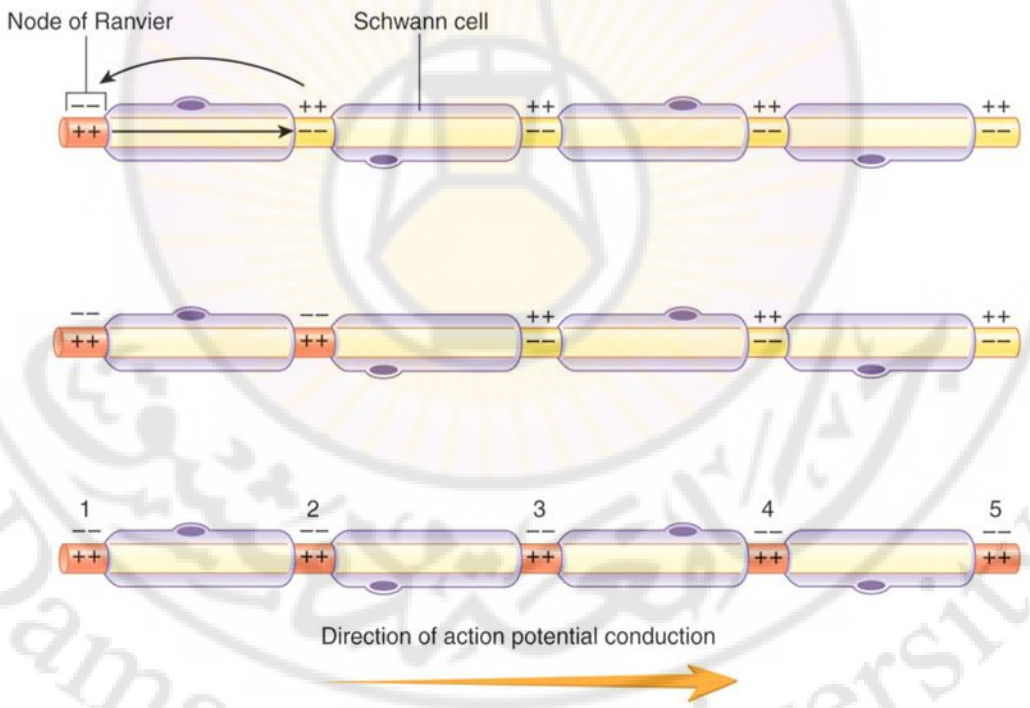
خصائص كامن الفعل

- يحدث وفق قانون All-or-none fashion
- يحدث في نمط معين من الخلايا دائماً بنفس الشدة.
- زيادة شدة المنبه تؤدي إلى زيادة عدد كوامن الفعل المتولدة
- ينتقل ببطء في المحاورغير المغمدة و بسرعة اكبر في المغمدة
- تتناسب سرعة النقل طردياً مع قطر المحوار.

انتقال كامن الفعل في محور اسطواني عديم النخاعين



انتقال كامن الفعل في محور اسطواني مغمد بالنخاعين(النقل القفزي)



انتقال الإشارات في الأعصاب

- اهمية النقل القفزي Saltatory conduction.
- **١- تزيد سرعة النقل العصبي بمقدار ٥ أضعاف إلى ٥٠ ضعف .**
- ٢- يحفظ طاقة المحوار
- تختلف سرعة النقل من ٠,٥ م/ثا إلى ١٠٠م/ثا.
- تزداد السرعة

- بشكل يتناسب مع قطر الليف في الألياف العصبية النخاعينية

- مع الجذر التربيعي لقطر الليف في الألياف عديمة النخاعين.

الفيزيولوجيا
كلية العلوم الصحية

الفصل الاول
مقدمة ومفاهيم عامة

١-تعريف الفيزيولوجيا Physiology

Physiology from the Greek

(*physis* = nature; *logos* = study)

- **الية العمل لمكونات الكائن(من أصغر جزء إلى اكبر مكون) في الحالة الطبيعية.**
- **الية عمل مختلف مكونات الكائن بشكل متكامل.**
- **هي دراسة الخصائص والآليات التي تجعل من الإنسان كائناً حياً**

- ينمو ويتطور (يحيا كفرد). - يتكاثر ليبقى كنوع.

- إن هدف الفيزيولوجيا هو إيضاح العوامل الفيزيائية والكيميائية عن أصل الحياة وتطورها. إن كل نمط من الحياة من أصغر حمة إلى أعقد كائن (الكائن البشري) له خصائصه الوظيفية الذاتية. لذلك يمكن تقسيم حقل الفيزيولوجيا الواسع إلى الفيزيولوجيا الحموية والفيزيولوجيا الجرثومية والفيزيولوجيا الخلوية وفيزيولوجيا النبات والفيزيولوجيا البشرية، بالإضافة إلى تقسيمات أخرى أصغر من التي ذُكرت.
تعتبر الخلية الوحدة الأساسية الفعالة (الحية) في الجسم، يتألف كامل الجسم البشري من حوالي ٧٥ ـ ١٠٠ تريليون خلية، تتجمع الخلايا المتشابهة مع بعضها لتشكل الأنسجة، وتجمع الأنسجة ذات الوظائف المتكاملة يشكل الأعضاء، وتتشكل الأجهزة من عدة أعضاء ذات وظائف متكاملة.

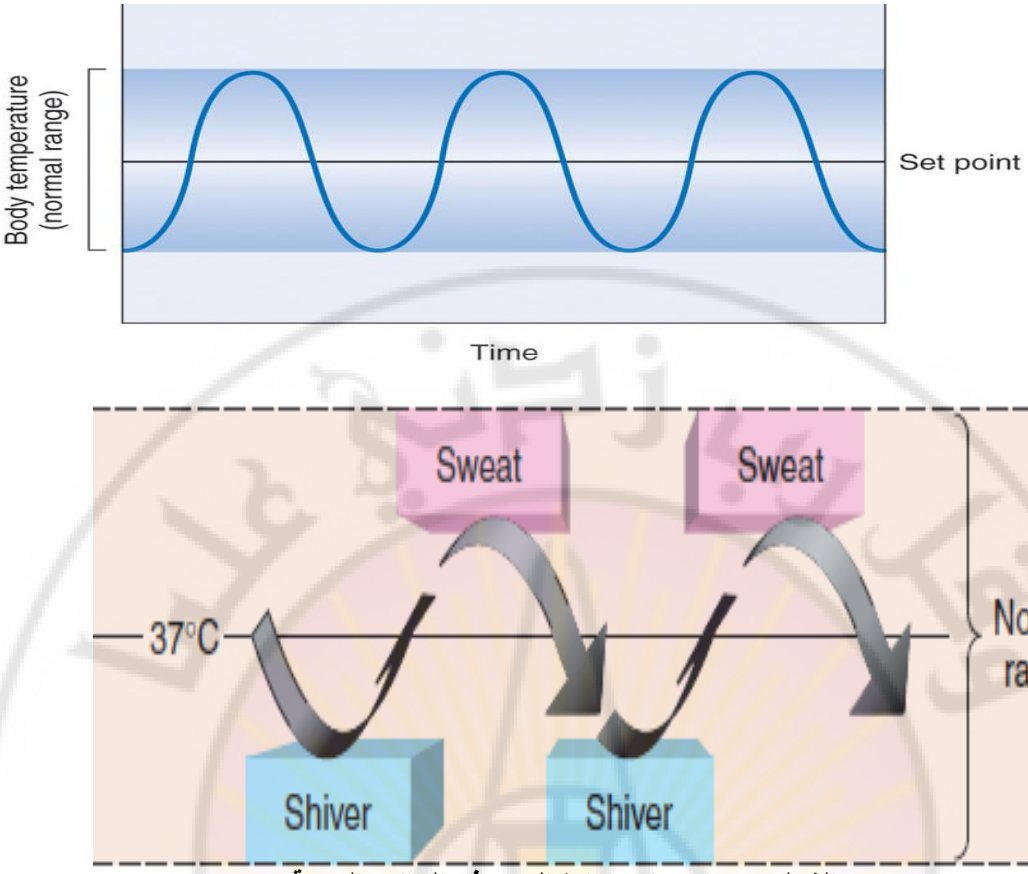
يتركز اهتمام علماء الفيزيولوجيا البشرية على دراسة

١. بناء الجسم وجاهزيته الوظيفية من أجل التفاعل مع البيئة.
٢. الأليات التي يستخدمها الإنسان من أجل التفاعل مع البيئة.
٣. صيانة التوازن الداخلي للجسم (دوام صحة الجسم والعقل).
٤. كيفية انجاز الوظائف الجسدية والعقلية والوظيفة التوالدية.

٢- الاستتباب Homeostasis.

Homeo = same Stasis = standing still

المحافظة على الاستقرار في وسط متغير(الشكل ١)



الشكل (١): استتباب حرارة الجسم في الحالات السوية

٣-آليات الضبط والمراقبة

التلقيم الراجع السلبي Negative feedback

(معاكسة المتغير البدئي وتصحيحه)

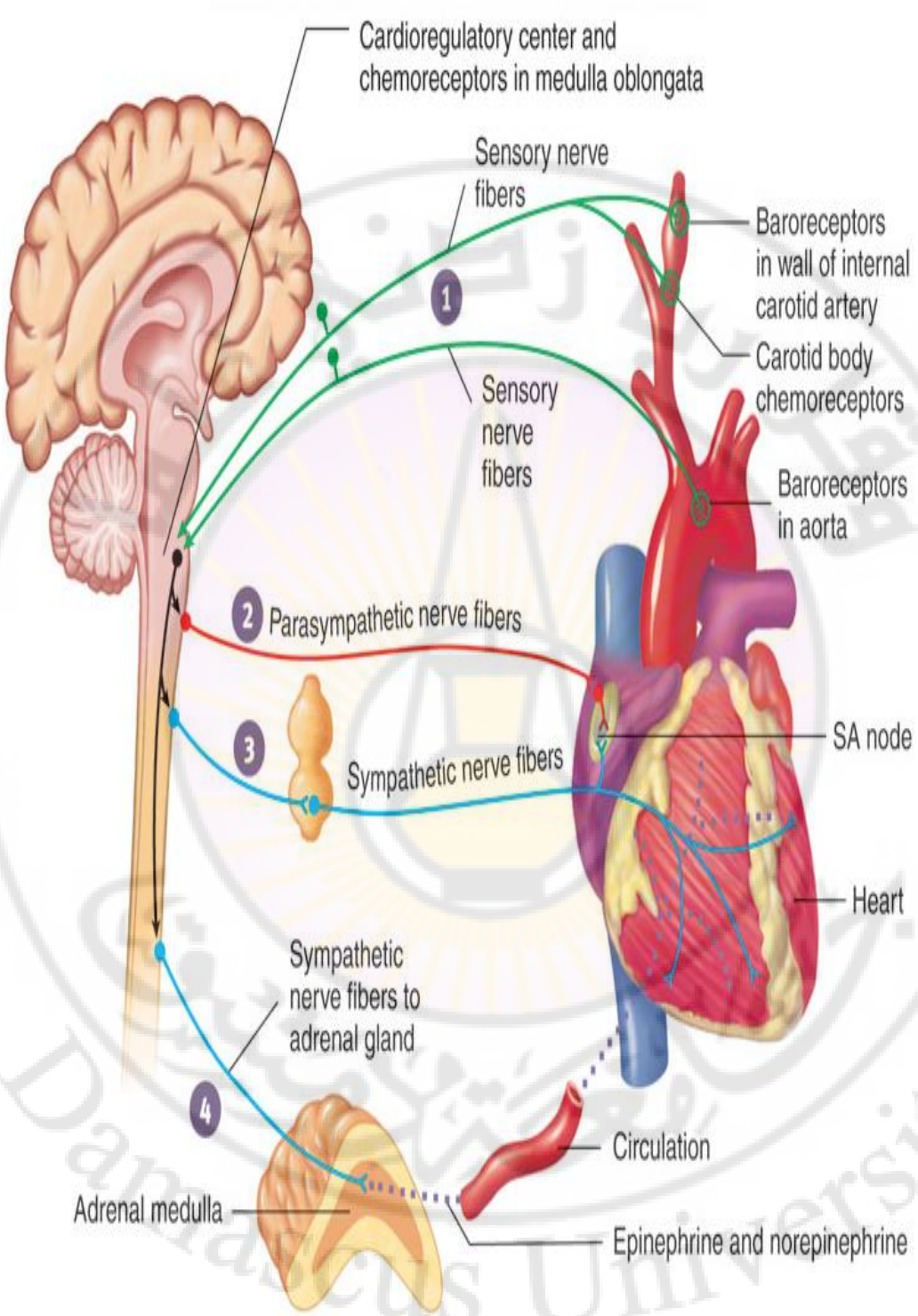
- تنظم هذه الألية معظم أجهزة الجسم
- تعمل للحفاظ على الاستتباب.
- تعمل على مقاومة التغير عن نقطة السواء أوالسماح بتغير طفيف.
- لا تستطيع أن تمنع التغير ولكنها تحافظ على التغير ضمن الحدود الطبيعية.

مثال (الحفاظ على ضغط شرياني طبيعي).

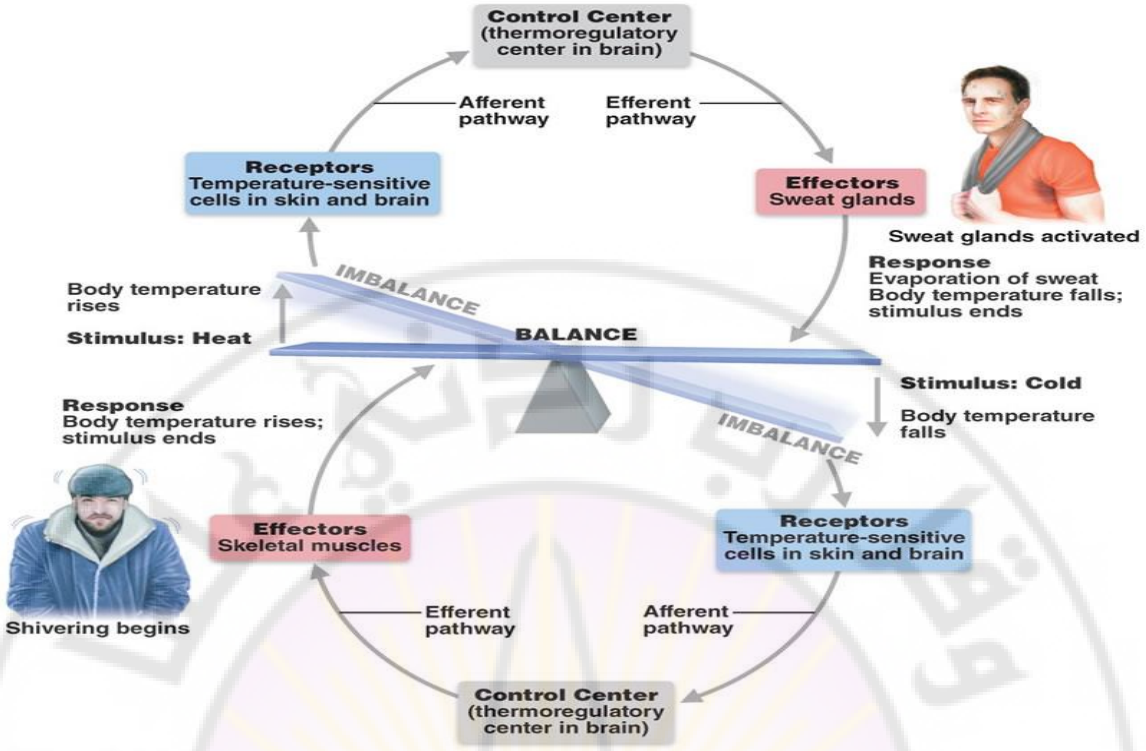
مكونات أجهزة الضبط (ضبط الضغط الشرياني)

- ١- مستقبل أو حساس (يراقب قيمة المتغير).
- ٢- جهاز المقارنة (جزء من الدماغ) يحافظ على نقطة السواء.
- ٣- الجهاز المراقب (القلب والأوعية الدموية).
- ٤- المتغير المنظم(الضغط الشرياني).

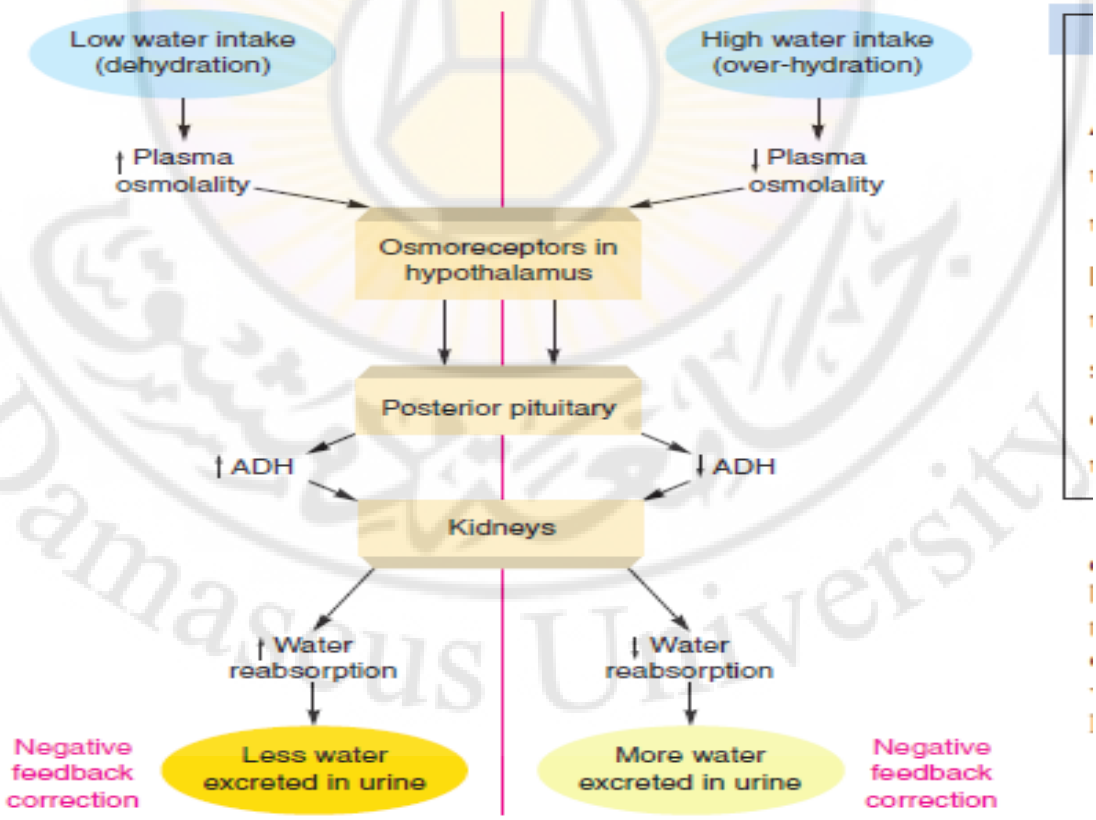
- **التلقيم الراجع السلبي (الاشكال ٢ و٣ و٤)**



الشكل (٢) التحكم وضبط الضغط الشرياني بالية التلقيم الراجع السلبي



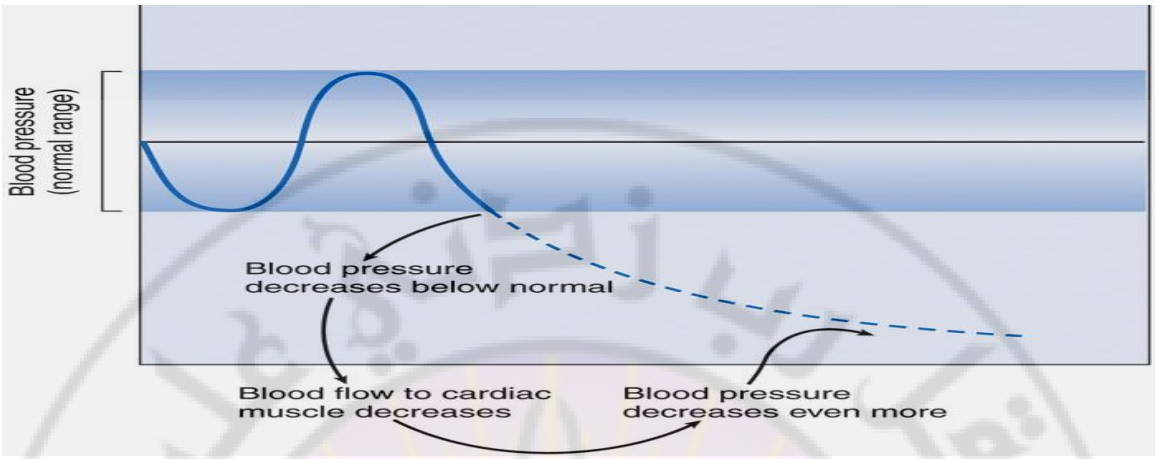
الشكل(٣) التحكم وضبط حرارة الجسم بالية التلقيم الراجع السلبي



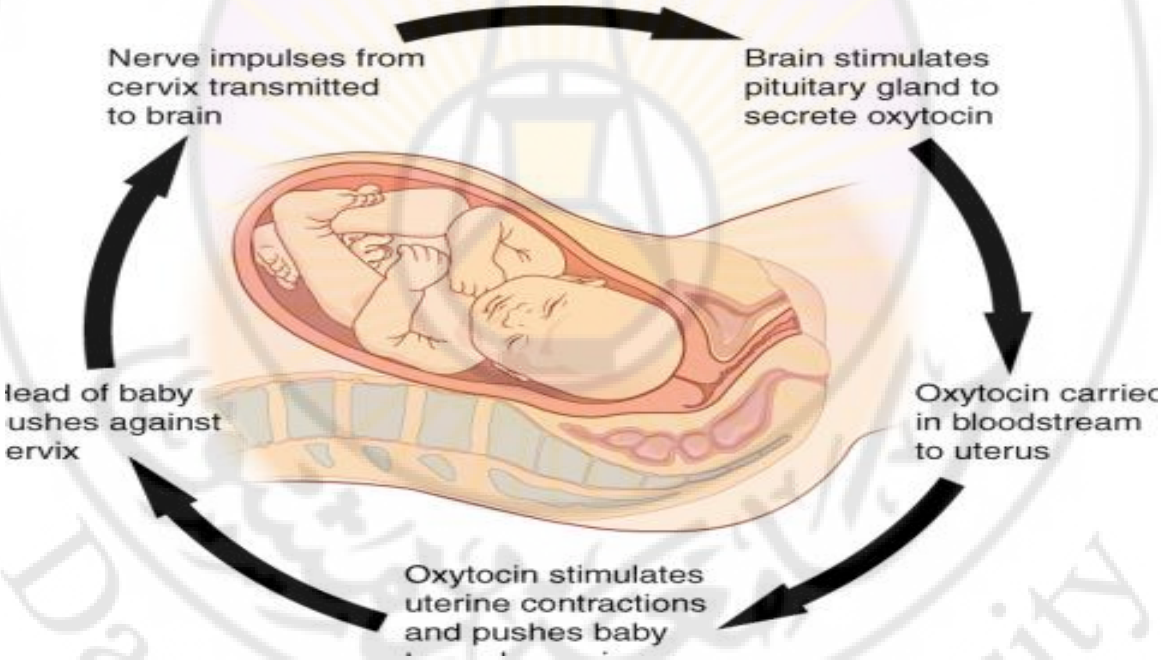
الشكل (٤) التحكم وضبط كمية الماء قي الجسم بالية التلقيم الراجع السلبي

التلقيم الراجع الايجابي Positive feedback(الشكلان ٥ و ٦)

(تعزيز المتغير البدئي زيادةً أو نقصاناً)



الشكل (٥) : التلقيم الراجع الايجابي في الضغط الشرياني



الشكل (٦): الية التلقيم الراجع الإيجابي أثناء الولادة

أمثلة على التلقيم الراجع الإيجابي

- ١- تخثر الدم
- ٢- عملية الإباضة بعد نضج الجريبات المبيضية
- ٣- اللمفاويات التائية المساعدة
- ٤- تعزيز تقلصات الرحم أثناء الولادة

الفصل الثاني

الانسجة المستثارة Excitable Tissue
العصب والعضلة

اولاً - كامن الغشاء وكامن الفعل

Membrane potential and action potential

يوجد كامن كهربائي عبر أغشية كافة خلايا الجسم، وبالإضافة إلى ذلك تكون بعض هذه الخلايا مستثارة Excitable (كما في الخلايا العصبية والخلايا العضلية)، يعني ذلك أنها قادرة على التوليد الذاتي لدفعات كيميائية كهربائية Electrochemical Impulses على أغشيتها واستخدام هذه التنبيهات في معظم الحالات لنقل إشارات على طول هذه الأغشية.

الفيزياء الأساسية لكامن الغشاء.

يجب التركيز على مجموعة من المفاهيم الأساسية

١. **مدروج التركيز (Concentration gradient)**
٢. **المدروج الكهربائي(Electrical gradient)**
٣. **Voltage gated channels**
٤. **Ligand gated channels**

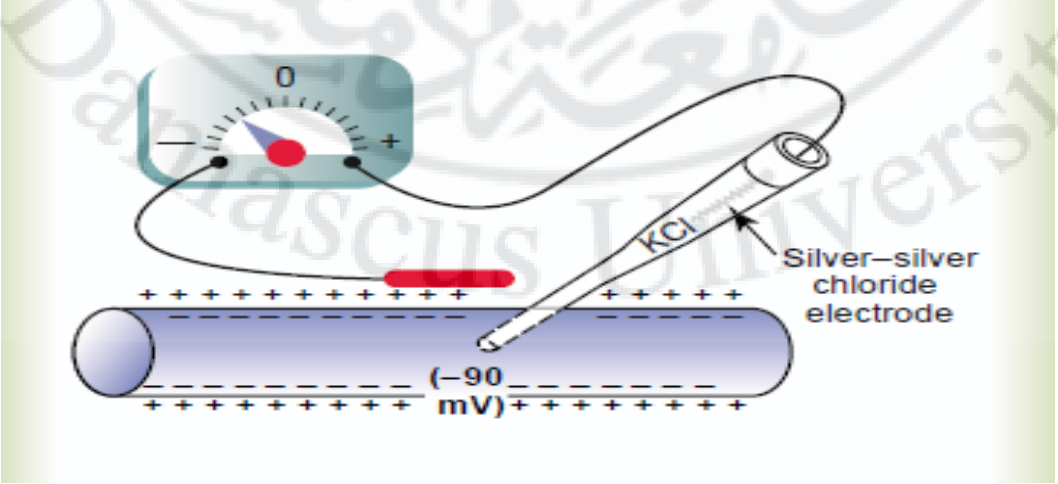
١- كامن الغشاء أثناء الراحة Resting membrane potential

ينجم كامن الراحة عن جداء عاملين هما

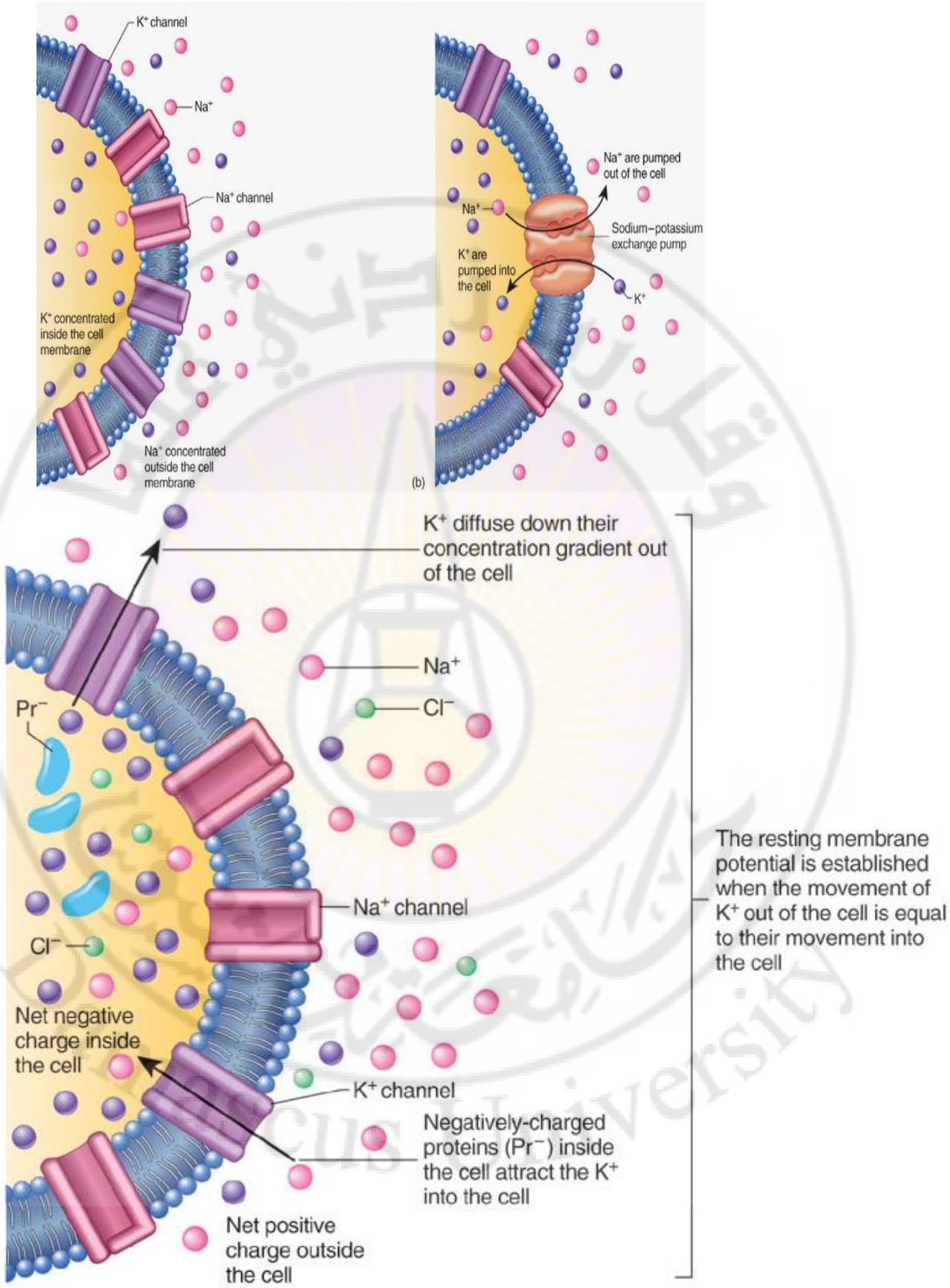
١. فرق تركيز الشاردة على جانبي الغشاء
٢. نفوذية الغشاء لهذه الشاردة

يبين الشكل(٢) العوامل الهامة في توطيد كامن الغشاء السوي في أثناء الراحة بمقدار -٩٠ ميلي فولط وهذه العوامل هي.

١. **مساهمة كامن انتشار البوتاسيوم.**
٢. **مساهمة انتشار الصوديوم عبر غشاء العصب.**
٣. **مساهمة مضخة الصوديوم والبوتاسيوم**



الشكل (١). شكل يوضح الطريقة التي يُقاس بها كامن الغشاء.

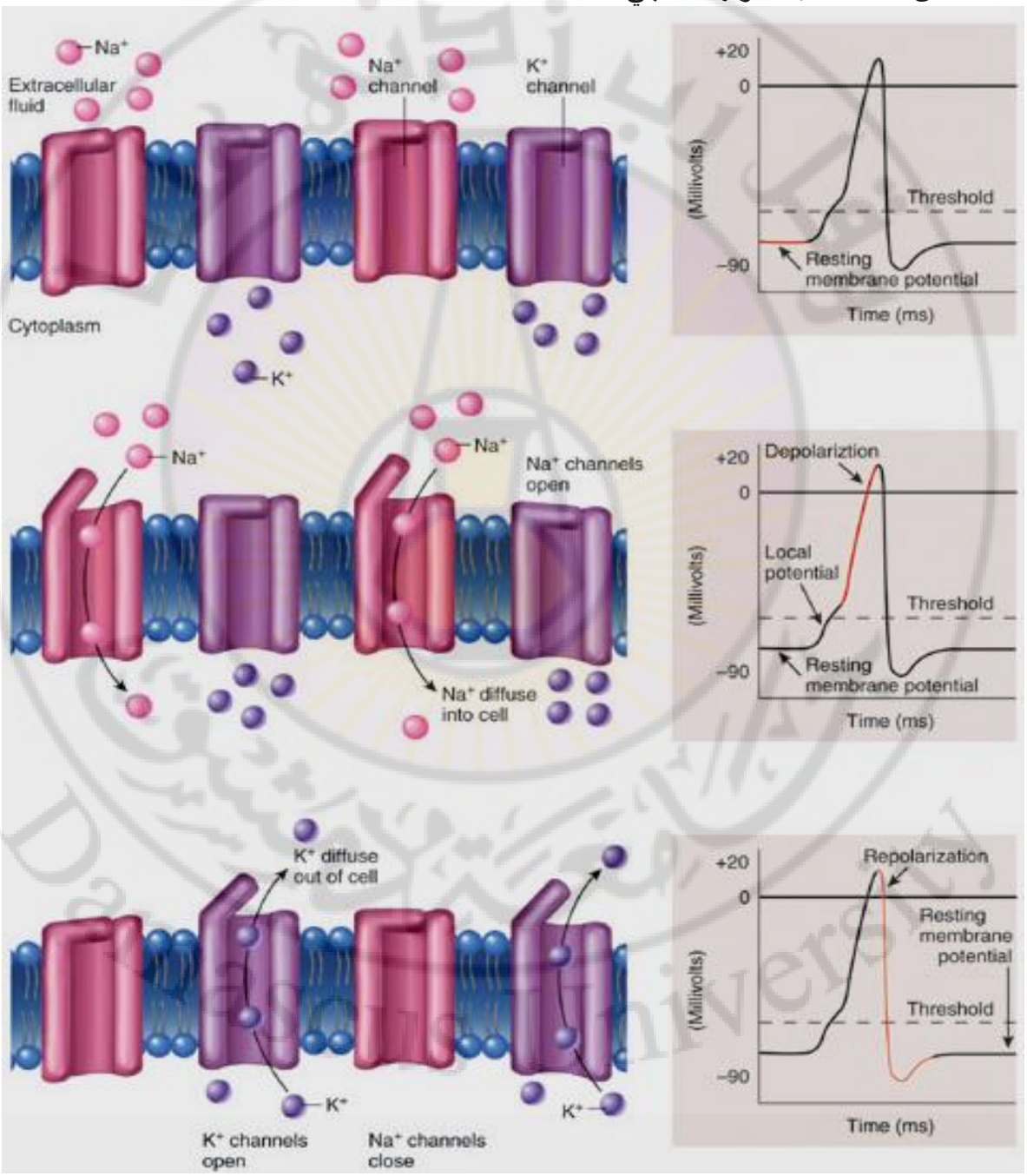


الشكل(٢): العوامل المساهمة في توطيد كامن الغشاء السوي.

٢ـكامن فعل العصب Nerve Action Potential.

هو عبارة عن تبدلات سريعة في كامن الغشاء. يبدأ كل كامن فعل بتبدل فجائي من كامن راحة سوي سالب إلى كامن غشاء موجب ثم يعود ثانية إلى كامن سالب وغالباً ما تكون سرعة العودة مساوية لسرعة التبدل. ويحتاج نقل الإشارة العصبية إلى انتقال كامن الفعل على طول الليف العصبي حتى يصل إلى نهاية الليف.

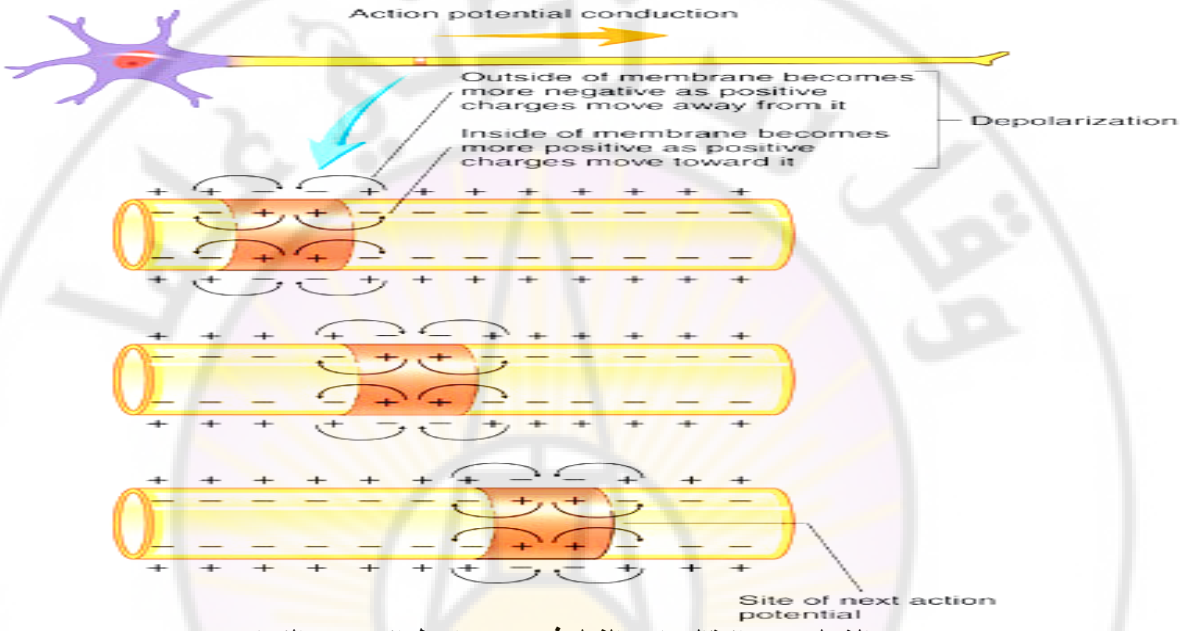
يبدي الشكل (٣) رسماً بيانياً للتبدلات المتعاقبة في كامن الغشاء خلال بضعة أجزاء من الثانية ويوضح هذا الرسم البدء السريع لكامن الفعل الذي يساوي غالباً العودة السريعة وإن تتالي مراحل كامن الفعل حسب حدوثها كما يلي:



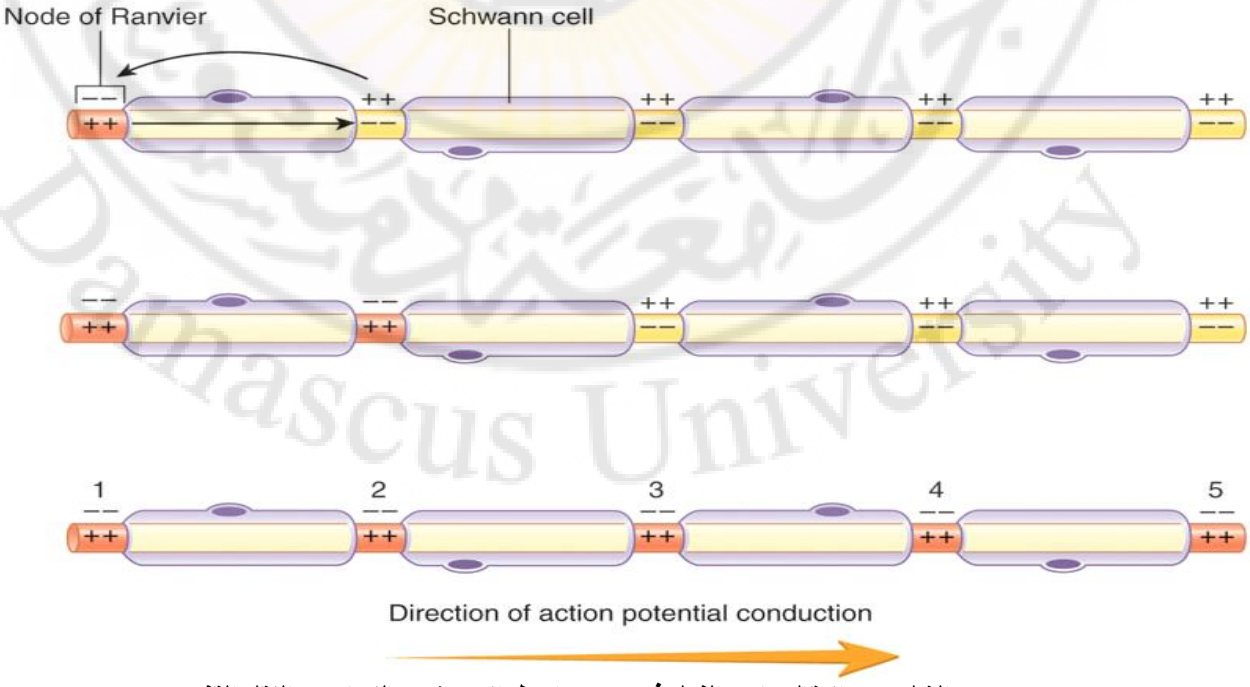
الشكل(٣): المراحل المختلفة لكامن الفعل.

٣ـخصائص كامن الفعل

١. يحدث وفق قانون الكل أو لاشئ **(All-or-none fashion)**
٢. يحدث في نمط معين من الخلايا بنفس الشدة دائماً.
٣. زيادة شدة المنبه تؤدي إلى زيادة عدد كوامن الفعل المتولدة وتبقى الشدة ثابتة.
٤. ينتقل كامن الفعل ببطء في المحاور الاسطوانية غير المغمدة بغمد النخاعين وتنتقل بسرعة اكبر في المحاور الاسطوانية المغمدة وتتناسب سرعة النقل طردياً مع قطر المحوار.(الشكلان ٤ و٥)



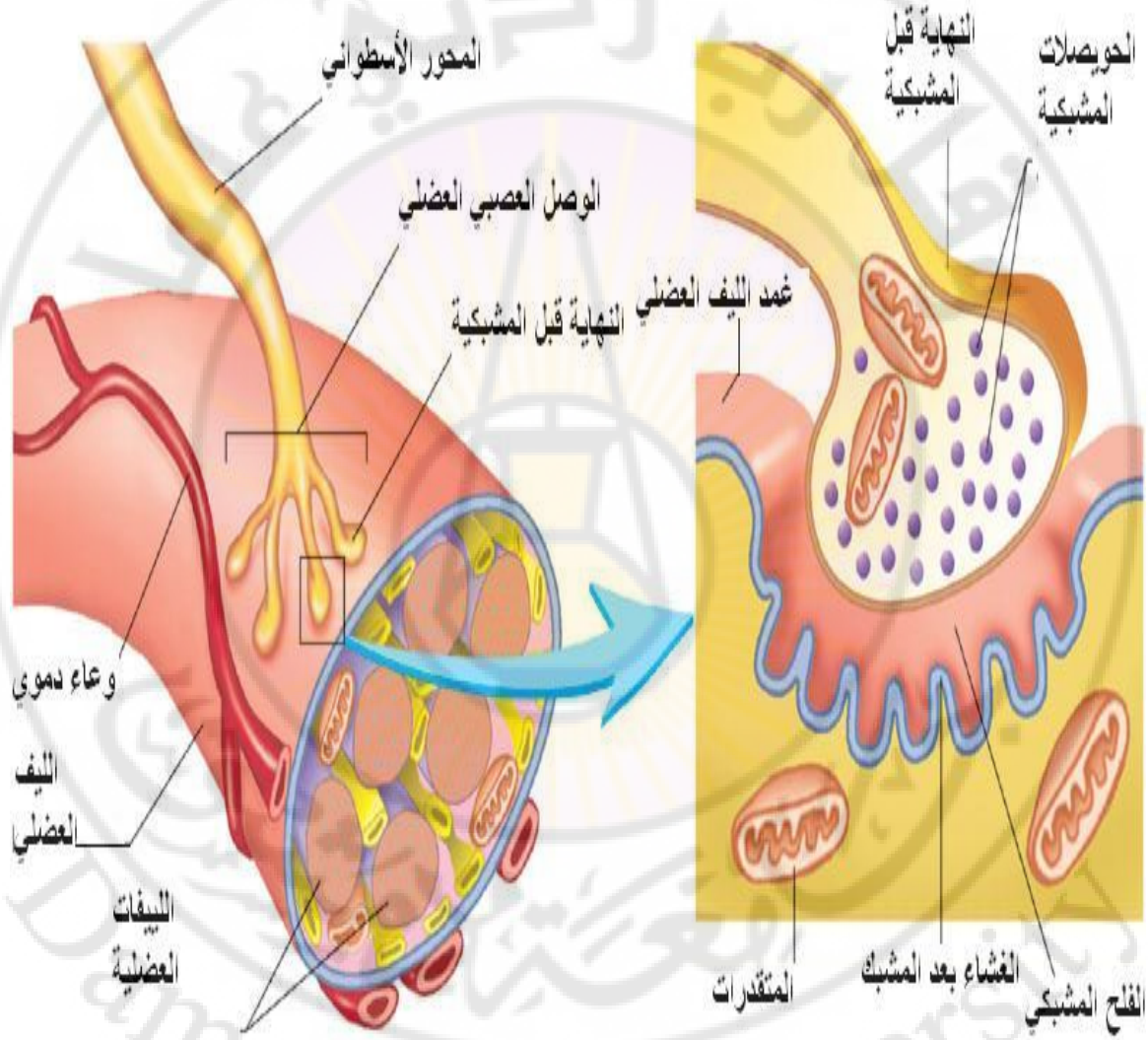
الشكل (٤): انتقال كامن الفعل في محور اسطواني عديم النخاعين



الشل (٥):انتقال كامن الفعل في محور اسطواني مغمد بالنخاعين(النقل القفزي)

٤-نقل الدفعات(Impulses) من الأعصاب إلى ألياف العضلات الهيكلية

تعصب الألياف العضلية بألياف عصبية نخاعية كبيرة تنشأ من العصبونات الحركية الكبيرة في القرون الأمامية للنخاع الشوكي، ويتفرع كل ليف عصبي في الحالة السوية إلى عدة فروع وينبه من ثلاثة إلى عدة مئات من الألياف العضلية الهيكلية. تصنع نهاية الليف العصبي مع الليف العضلي قرب منتصفه موصلاً يدعى الموصل العصبي العضلي



الشكل(٦) الوصل العصبي العضلي

٥-إفراز الأستيل كولين من النهايات العصبية

عندما تصل دفعة (Impulse) من العصب إلى الموصل العصبي العضلي يتحرر الأستيل كولين ويتحد مع مستقبلات موجودة على غشاء الليف العضلي مؤدية إلى نشوء كامن فعل الليف العضلي الذي يؤدي في مراحل لاحقة إلى حدوث التقلص العضلي.

ثانياً-النسيج العضلي Muscle Tissue

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

١ ـ العضلات الهيكلية

تشكل العضلات الهيكلية حوالي ٤٠ % من وزن الجسم تقريباً، بينما تشكل العضلات الملس والعضلة القلبية ١٠% منه.

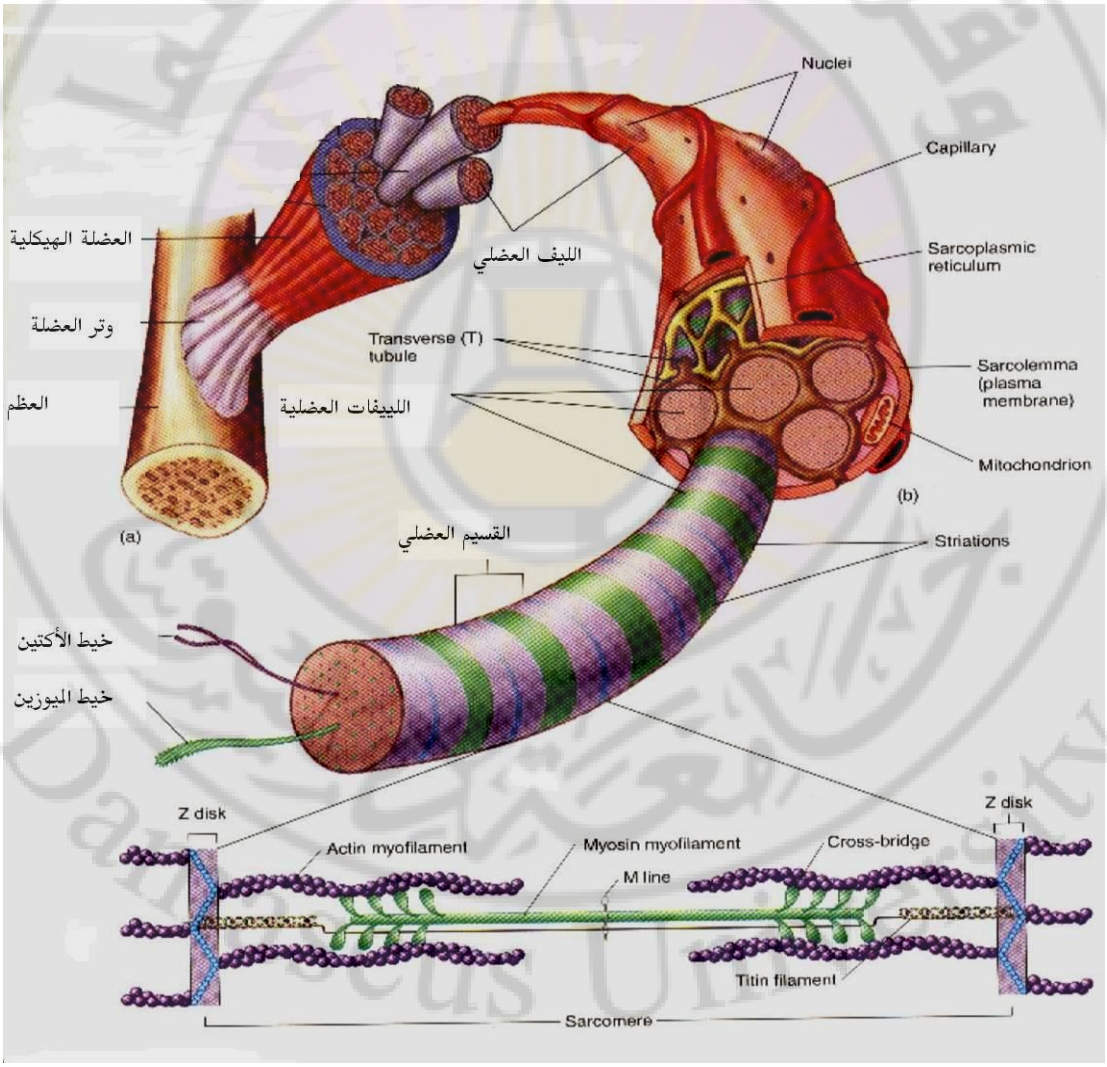
ـ التشريح الفيزيولوجي للعضلات الهيكلية

تتألف العضلة الهيكلية من عدد كبير من الألياف يتراوح قطرها بين ١٠ و ٨٠ ميكرومتر ويتكون كل ليف بدوره من تحت وحدات أصغر فأصغر موضحة في الشكل(٧).

إن بنية الليف العضلي هي كالتالي:

١ـ غمد الليف العضلي وهو عبارة عن الغشاء الخلوي لليف العضلي

٢ـ الليفات العضلية ـ خيوط الأكتين والميوزين.



الشكل(٧) بنية العضلة الهيكلية

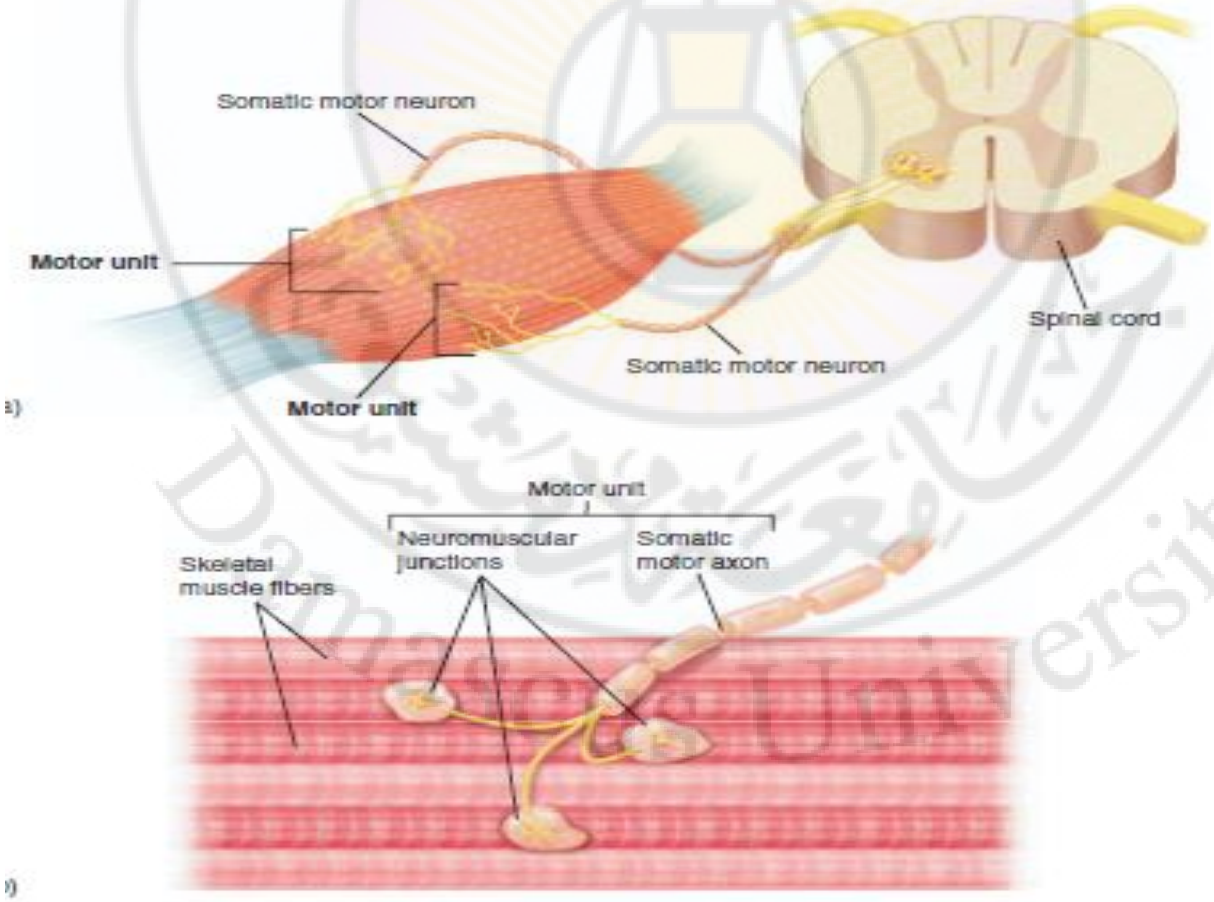
٣ـ الهيولى العضلية:

٤ـ الشبكة الهيولية العضلية Sarcoplasmic reticulum

الآلية العامة للتقلص العضلي

يحدث بدء وتنفيذ التقلص العضلي وفق المراحل التالية (الشكلان ٨ و٩):

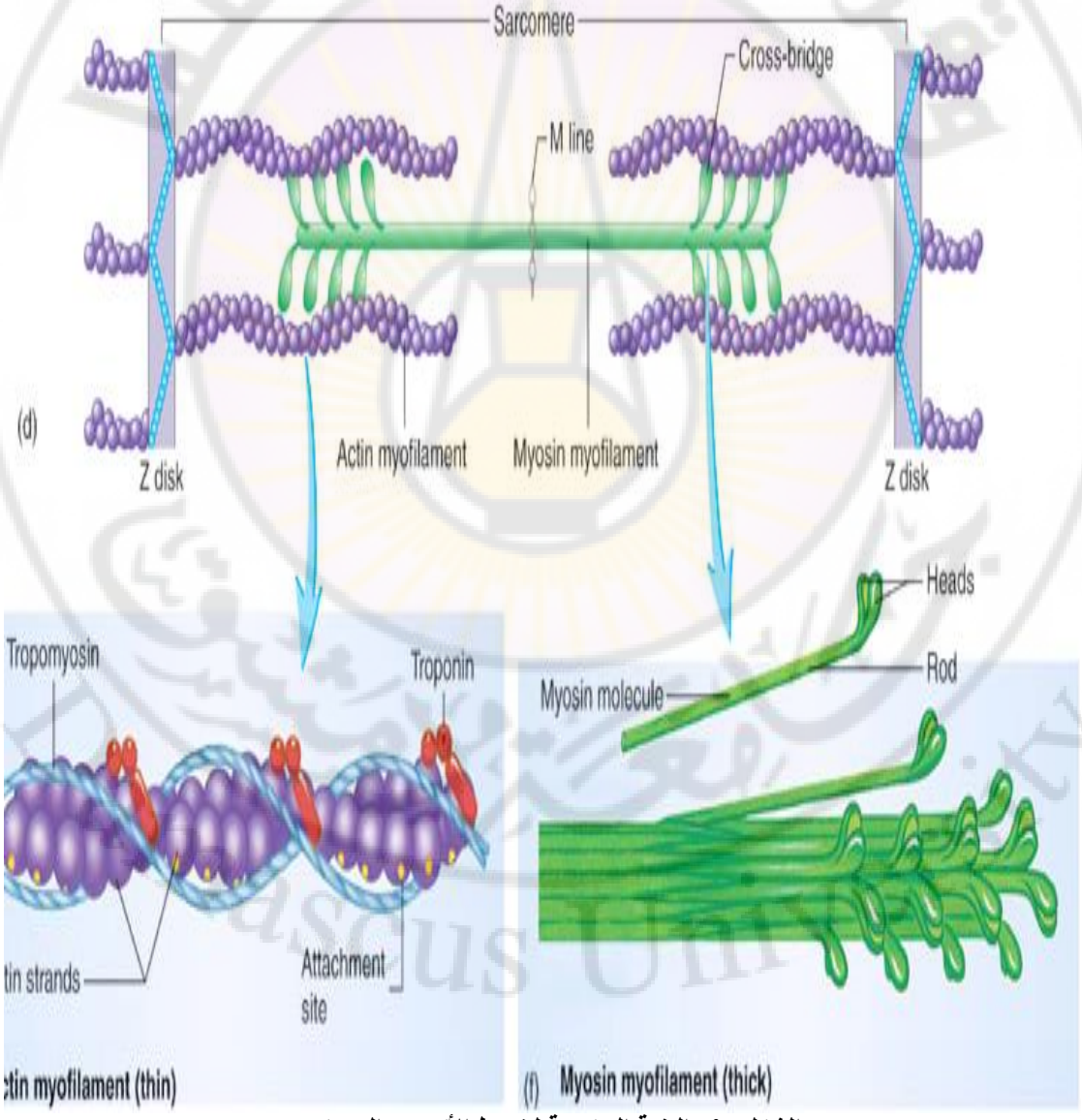
١. يسير كامن الفعل Action potential على طول العصب المحرك إلى نهاية الألياف العصبية.
٢. يفرز العصب عند كل نهاية عصبية كمية من مادة ناقلة عصبية تدعى الأستيل كولين.
٣. يؤثر الأستيل كولين على منطقة موضعية من غشاء الليف العضلي فيفتح عدة قنوات بروتينية مبوبة بالأستيل كولين في غشاء الليف العضلي.
٤. يسمح انفتاح قنوات الأستيل كولين لكميات كبيرة من شوارد الصوديوم بالدخول إلى داخل الليف العضلي عند نقطة النهاية العصبية وهكذا يتكون كامن فعل الليف العضلي.
٥. يسير كامن الفعل على طول غشاء الليف العضلي بالطريقة نفسها التي يسير بها على طول الغشاء العصبي.
٦. يزيل كامن الفعل استقطاب غشاء الليف العضلي ويتجه عميقاً داخل الليف العضلي وهنا يؤدي إلى تحرير كميات كبيرة من شوارد الكالسيوم من قبل الشبكة الهيولية العضلية (حيث تكون مخزنة ضمنها) إلى داخل الليفات العضلية.
٧. تحدث شوارد الكالسيوم قوى جذب بين خيوط الأكتين والميوزين مسببةً انزلاقها على بعضها البعض وهذا الانزلاق هو الحدث التقلصي.
٨. تضخ شوارد الكالسيوم بعد جزء من الثانية عائدة إلى الشبكة الهيولية حيث تبقى هناك حتى يأتي كامن فعل عضلي جديد وهكذا يتوقف تقلص العضلة.



الشكل(٨) العصب والعضلة.

الآلية الجزئيية للتقلص العضلي

خيوط الميوزين .يتركب خيط الميوزين من جزئيات ميوزين عديدة،يتركب جزيء الميوزين من ست سلاسل عديدة البيبتيد، اثنتان منها سلاسل ثقيلة وأربع سلاسل خفيفة.
تلتف السلسلتان الثقيلتان كل منهما حول الأخرى حلزونياً لتشكل حلزوناً مضاعفاً يدعى ذيل خيط الميوزين،بينما تتطوى إحدى نهايتي كل من السلسلتين لتشكل بروتيناً كروياً يدعى رأس الميوزين، وبالتالي يوجد رأسان حران في إحدى نهايتي جزيء الميوزين .تشكل السلاسل الخفيفة أجزاء من رأس جزيء الميوزين(سلسلتان لكل رأس). تساعد هذه السلاسل الخفيفة في التحكم بوظيفة الرأس في أثناء التقلص العضلي. يتألف خيط الميوزين من ٢٠٠ جزيء ميوزين أو أكثر ويبين الجزء المركزي لأحد هذه الخيوط اجتماع جزئيات الميوزين مع بعضها بشكل حزم لتشكل جسم الخيط ،بينما تبرز رؤوس العديد من الجزئيات معلقة على جوانب الجسم ويبرز معها على الجانب قسم من الجزء الحلزوني لكل جزيء مشكلاً ذراعاً يعلق به الرأس بعيداً عن الجسم .
إن الطول الكلي لجميع خيوط الميوزين واحد ويساوي١.٦ميكرومتر. ويلاحظ عدم وجود رؤوس الجسورالمعترضة في الجزء المركزي من خيط الميوزين لمسافة ٠.٢ مكرومتر(الشكل ٩).



الشكل (٩) البنية الجزيئية لخيوط الأكتين والميوزين.

فعالية رأس الميوزين المشابهة لفعالية الـ ATPase

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

خيط الأكتين.

يتألف من ثلاث مكونات بروتينية مختلفة وهي:

١. الأكتين F يشكل العمود الفقري لخيط الأكتين . يتألف كل طاق من حلزون أكتين F المزدوج من جزئيات أكتين مكثورة ويوجد عليها المواقع الفعالة.
٢. جزئيات التروبوميوزين. تتوضع في حالة الراحة فوق المواقع الفعالة لطاقي الأكتين لذلك لايمكن أن يحصل جذب بين خيوط الأكتين والميوزين كي يحدث التقلص.
٣. التربونين. يرتبط قرب إحدى نهايتي كل جزئ من التروبوميوزين جزيء بروتيني أخر هو التروبونين وهو مركب فعلياً من ثلاث تحت وحدات مرتبطة بشكل رخو،يلعب كل منها دوراً خاصاً في التحكم بالتقلص العضلي(تربونين I و T وC).

آلية حدوث التقلص

١. تتحد رؤوس الجسور المعترضة قبل بدء التقلص بالـ ATP التي تُشطر حالاً بفضل فعالية رؤوس الميوزين المشابهة **للـ ATPase** لكن منتجات هذا الشطر تبقى مربوطة إلى الرأس.
٢. يتثبط التآثر التثبيطي لمعقد تروبونين تروبوميوزين بوساطة شوارد الكالسيوم وتكشف المواقع الفعالة على خيط الأكتين ثم ترتبط بها رؤوس الميوزين.
٣. ضربة القدرة.يسبب الاتحاد بين رأس الجسر المعترض والموقع الفعال تغيراً شكلياً في الرأس حاثاً إياه للميل باتجاه ذراع الجسر المعترض، وهذا يعطي ضربة القدرة لجذب خيط الأكتين.
٤. بعد أن يميل رأس الجسر المعترض يسمح بتحرر الـ ADP والفوسفور ويرتبط مكانه الـATP وهذا ما يسبب انفصال الرأس عن الأكتين.
٥. بعد انفصال الرأس عن الأكتين يُشطر الجزيء الجديد من ATP وتقوم القدرة المتحررة بإعادة الرأس إلى وضعيته العمودية استعداداً لبدء ضربة قدرة جديدة.
٦. يبدأ الارتباط على موقع فعال جديد على خيط الأكتين يطلق الزناد مرة أخرى وتحدث ضربة قدرة جديدة.
٧. يتواصل الحدث مرات عديدة حتى تجذب خيوط الأكتين الغشاء Z إلى نهايات خيوط الميوزين أو حتى يصبح الحمل على العضلة كبيراً جداً بحيث لا يحدث معه مزيد من الجر.

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

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

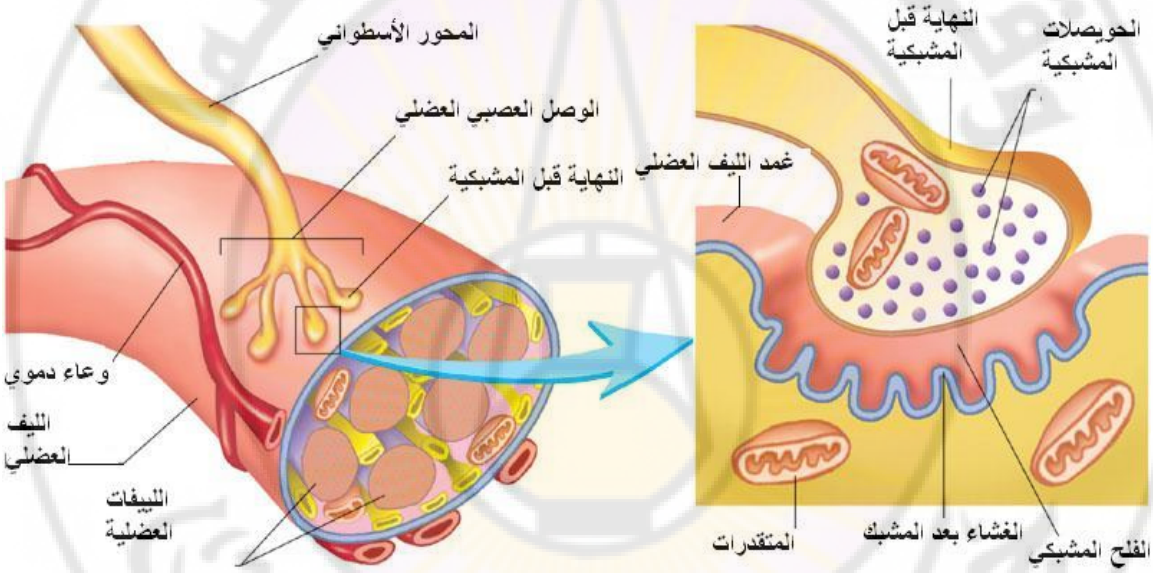
علاقة سرعة التقلص بالحمل

تتقلص العضلة بشكل سريع جداً عندما لا تعاكس حملاً ،حيث تصل إلى تقلص كامل في حوالي ٠.١ من الثانية بالنسبة للعضلة المتوسطة .أما عندما يطبق حمل ما تنقص سرعة التقلص تدريجياً

بشكل يتناسب مع زيادة الحمل وعندما يصبح الحمل مساوياً لأعظم قوة تستطيع العضلة بذلها فإن سرعة التقلص تصبح مساوية للصفر ولا ينتج أي تقلص بالرغم من تفعيل الليف العضلي.

نقل الدفعات من الأعصاب إلى ألياف العضلات الهيكلية

تعصب الألياف العضلية بألياف عصبية نخاعية كبيرة تنشأ من العصبونات الحركية الكبيرة في القرون الأمامية للنخاع الشوكي، ويتفرع كل ليف عصبي في الحالة السوية إلى عدة فروع وينبه من ثلاثة إلى عدة مئات من الألياف العضلية الهيكلية. تصنع نهاية الليف العصبي مع الليف العضلي قرب منتصفه موصلاً يدعى الموصل العصبي العضلي Neuromuscular junction و يدعى هذا الموصل الصفيحة المحركة الانتهائية. ومنه ينتقل كامن الفعل في الليف العضلي في كلا الاتجاهين إلى نهايتي الليف العضلي. يتفرع الليف العصبي عند نهايته ليشكل مجموعة من النهايات العصبية المتفرعة التي تنغلف في الليف العضلي لكنها تتوضع بكاملها خارج الغشاء الهيولي لليف العضلي، تدعى هذه البنية بكاملها الصفيحة الانتهائية المحركة، الشكل (١٠).



الشكل(١٠) الوصل العصبي العضلي

إفراز الأستيل كولين من النهايات العصبية

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

كامن فعل العضلة

- يبلغ كامن الغشاء في أثناء الراحة حوالي (- ٨٠ إلى – ٩٠ ميلي فولط) وهو نفسه في ألياف الأعصاب الكبيرة النخاعية.
- مدة كامن الفعل: ١ ـ ٥ ميلي ثانية في الألياف العضلية الهيكلية وهي أكبر بحوالي خمس مرات من كامن الفعل في الألياف العصبية الكبيرة النخاعية.

- سرعة التوصيل: ٣ ـ ٥ م/ثا تساوي حوالي ١٨/١ من سرعة التوصيل في ألياف الأعصاب النخاعية الكبيرة التي تنبه العضلات الهيكلية.

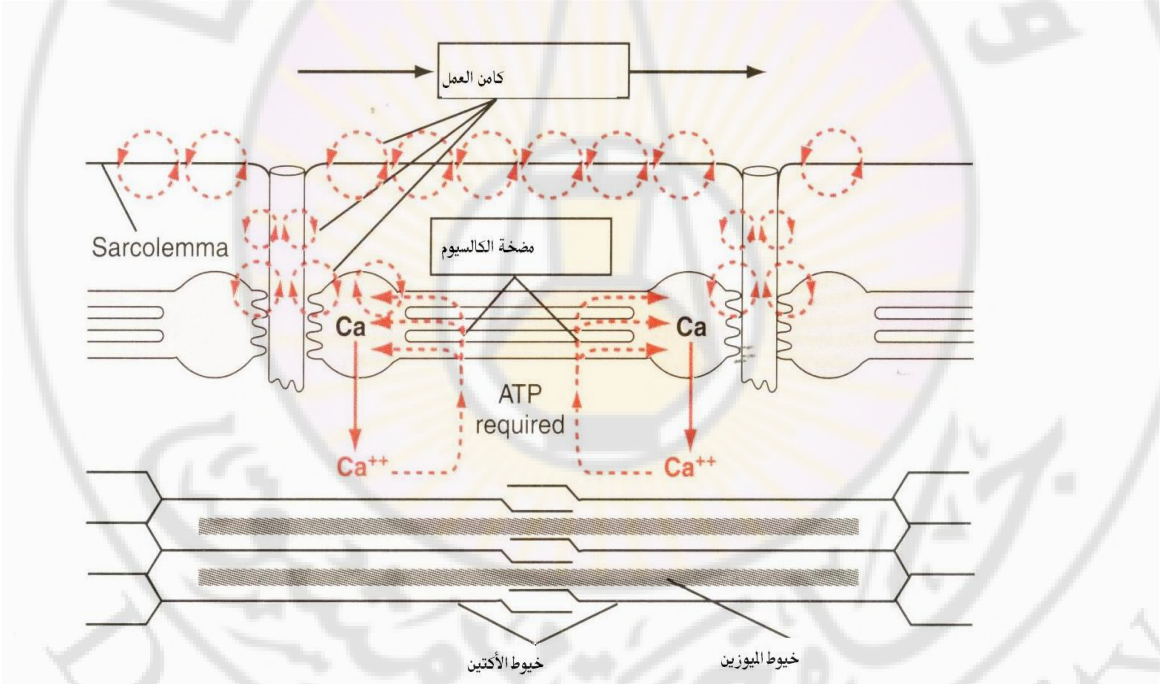
انتشار كامن الفعل إلى داخل الليف العضلي

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

اقتران الاستثارة ـ التقلص

يُظهر الشكل (١١) انتشار كامن الفعل في الليف العضلي ووصوله إلى جوار الليفات العضلية وتحرر شوارد الكالسيوم من مخازنها في الشبكة الهيولية العضلية وحدوث ارتباط خيوط الأكتين مع الميوزين وانزلاقها وبالتالي حدوث التقلص.

يُظهر الشكل(١١) كامن الفعل الذي يسبب تحرر شوارد الكالسيوم من الشبكة الهيولية العضلية ومن ثم إعادة طرد شوارد الكالسيوم بوساطة مضخة الكالسيوم.

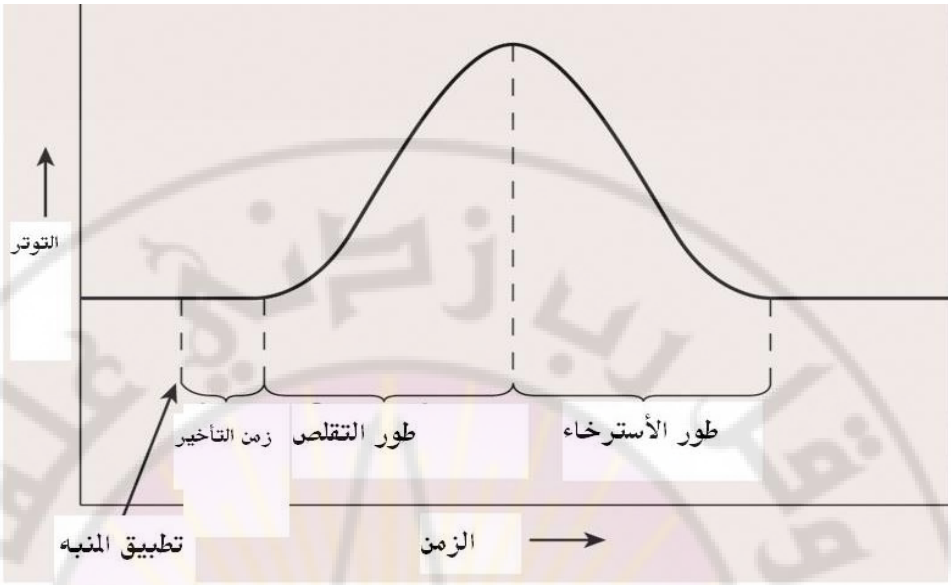


الشكل(١١) اقتران الاستثارة ـ التقلص.يُظهر الشكل كامن الفعل الذي يُسبب تحرر شوارد الكالسيوم من الشبكة الهيولية العضلية ومن ثم إعادة طرد شوارد الكالسيوم بوساطة مضخة الكالسيوم.

الاستجابة التقلصية للعضلة

من المهم التفريق بين الحوادث الكهربائية والميكانيكية في العضلة حيث يبدأ زوال الاستقطاب لغشاء الليف العضلي عند الموصل العصبي العضلي وينتقل كامن الفعل على طول الليف العضلي محدثاً بدء الاستجابة التقلصية التي تعرف بالنفضة العضلية حيث يؤدي كامن فعل واحد لحدوث تقلص سريع يتبع بمرحلة استرخاء ويظهر في الشكل (١٢) كامن الفعل والنفضة العضلية حيث تبدأ النفضة بعد ٢ ميلي ثانية من زوال استقطاب الغشاء وقبل فترة عود الاستقطاب التام وتختلف مدة النفضة بحسب نوع العضلة فهي تساوي ٢٥ ميلي ثانية في

العضلات سريعة التقلص كالعضلة العينية وتصل لحوالي ٦٧ ميلي ثانية في العضلات بطيئة التقلص كالعضلة النعلية(الشكل ١٢).



الشكل(١٢)النفضة العضلية.

ميزات تقلص كامل العضلة

يمكن إظهار الكثير من ملامح التقلص العضلي بشكل جيد خاصة بوساطة إحداث نفضات عضلية Muscle twitches مفردة، ويمكن إنجاز ذلك بإثارة عصب العضلة مباشرة أو بوساطة تمرير تنبيهات كهربائية قصيرة عبر العضلة نفسها وهي تسبب تقلصاً مفاجئاً يستمر جزءاً من الثانية.

التقلص أسوي المقاسات إزاء التقلص أسوي التوتر

Isometric versus isotonic contraction

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

مصادر الطاقة لتقلص العضلة

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

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

فعالية التقلص العضلي

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

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

الدراسة الحركية للتقلص العضلي Mechanics of skeletal muscle contraction
الوحدة المحركة The Motor unit

يعصب كل عصبون محرك(يوجد جسم العصبون في القرن الأمامي للنخاع الشوكي ويغادر المحور الأسطواني النخاع الشوكي متجهاً نحو العضلات)عدداً من الألياف العضلية المختلفة ،ويعتمد هذا العدد على نمط العضلة . تدعى جميع الألياف العضلية المعصبة بعصبون محرك واحد بالوحدة الحركية. يختلف عدد الألياف العضلية المكونة للوحدات الحركية من عضلة لأخرى ،وبشكل عام فإن العضلات ذات الإرتكاس السريع التي تحتاج لتنظيم دقيق تحتوي في كل وحدة حركية على عدد قليل من الألياف العضلية(٢ إلى ٣ في العضلات الحنجرية). وبالمقابل قد تحتوي العضلات الكبيرة التي لا تحتاج لتنظيم دقيق جداً مثل عضلة الساق على عدة مئات من الألياف العضلية في كل وحدة حركية .لا يزال العدد المتوسط للألياف العضلية في الوحدات المحركة لجميع عضلات الجسم موضع خلاف ولكن يعتقد أنه قريب من المئة.
لا تتجمع الألياف العضلية في كل وحدة حركية في العضلة مع بعضها بل تنتشر في العضلة في حزم صغيرة مكونة من ٣-١٥ ليفاً وهي تتوضع بين حزم صغيرة مشابهة من وحدات حركية أخرى. يسمح هذا التداخل للوحدات الحركية المنفصلة أن تتقلص داعمةً بعضها بعضاً أكثر مما لو كانت كوحدات منفصلة بشكل عام.

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

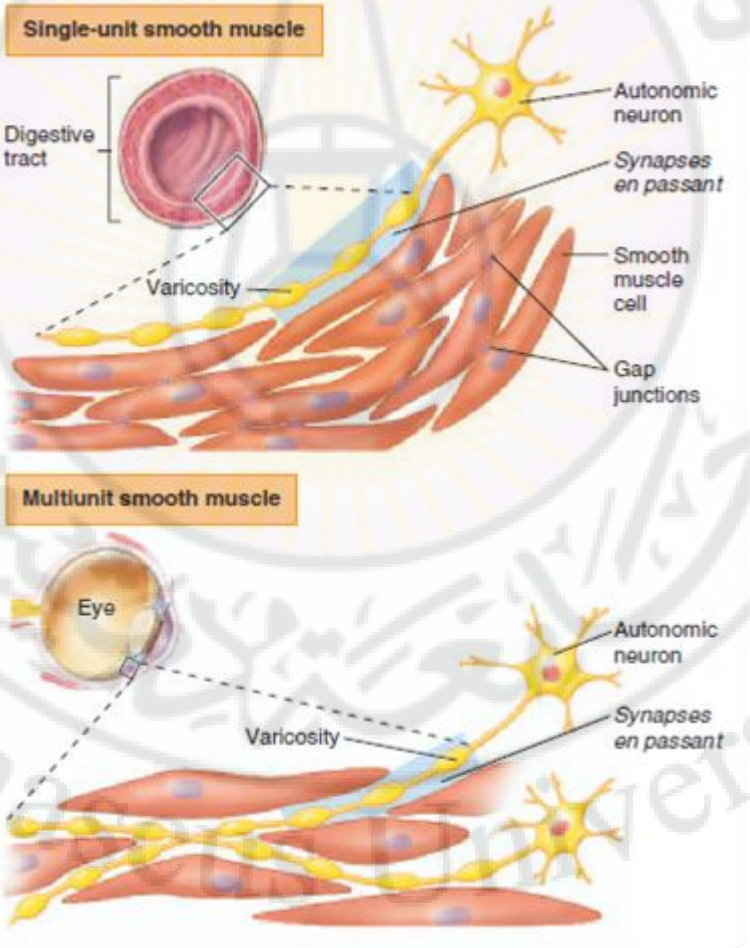
أنماط العضلات الملس
يمكن تقسيم العضلات الملس إلى نمطين رئيسين:
١ ـ العضلات الملس عديدة الوحدة Multi unit smooth muscles
يتألف هذا النمط من العضلات الملس من ألياف عضلية ملساء مستقلة يعمل كل منها بشكل مستقل تماماً عن الألياف الأخرى ويعصب كذلك بوساطة نهاية عصبية مفردة كما يحدث في ألياف العضلات الهيكلية.
إن الخاصة الأكثر أهمية للألياف العضلية الملس عديدة الوحدة أن كل ليف يمكنه أن يتقلص بشكل مستقل عن الألياف الأخرى، وإن التحكم بها يتم بشكل رئيس بوساطة الإشارات العصبية وهذا بعكس القسم الأكبر من تحكم العضلات الملس الحشوية الذي يتم بتنبيهات غير عصبية.
ومن الأمثلة على العضلات الملس عديدة الوحدة الموجودة في الجسم هي الألياف العضلية الملس الموجودة في العضلة الهدبية للعين وحدقة العين.

٢ ـ العضلات الملس وحيدة الوحدة

single - unit smooth muscles

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

تتجمع الألياف عادة في صفائح أو حزم وتكون أغشيتها الخلوية ملتصقة ببعضها في عدة نقاط لذلك يمكن للقوة التي تنشأ من أحدها أن تنتقل إلى ألياف مجاورة بالإضافة إلى ذلك فإن أغشية الخلايا تتصل بوساطة الكثير من gap junction التي يمكن للشوارد أن تمر عبرها بحرية من خلية إلى التي تليها ولذلك فإن كامن الفعل ينتقل من ليف إلى مجاوره ويسبب تقلص جميع ألياف العضلة مع بعضها، وهذه العضلات موجودة في جدران معظم الأحشاء في الجسم بما فيها المعي والأقنية الصفراوية والحالبين والرحم والكثير من الأوعية الدموية ولذلك فإنها تدعى كذلك العضلات الملس الحشوية (الشكل ١٣).



الشكل ١٣:العضلات الملس بنوعيها.

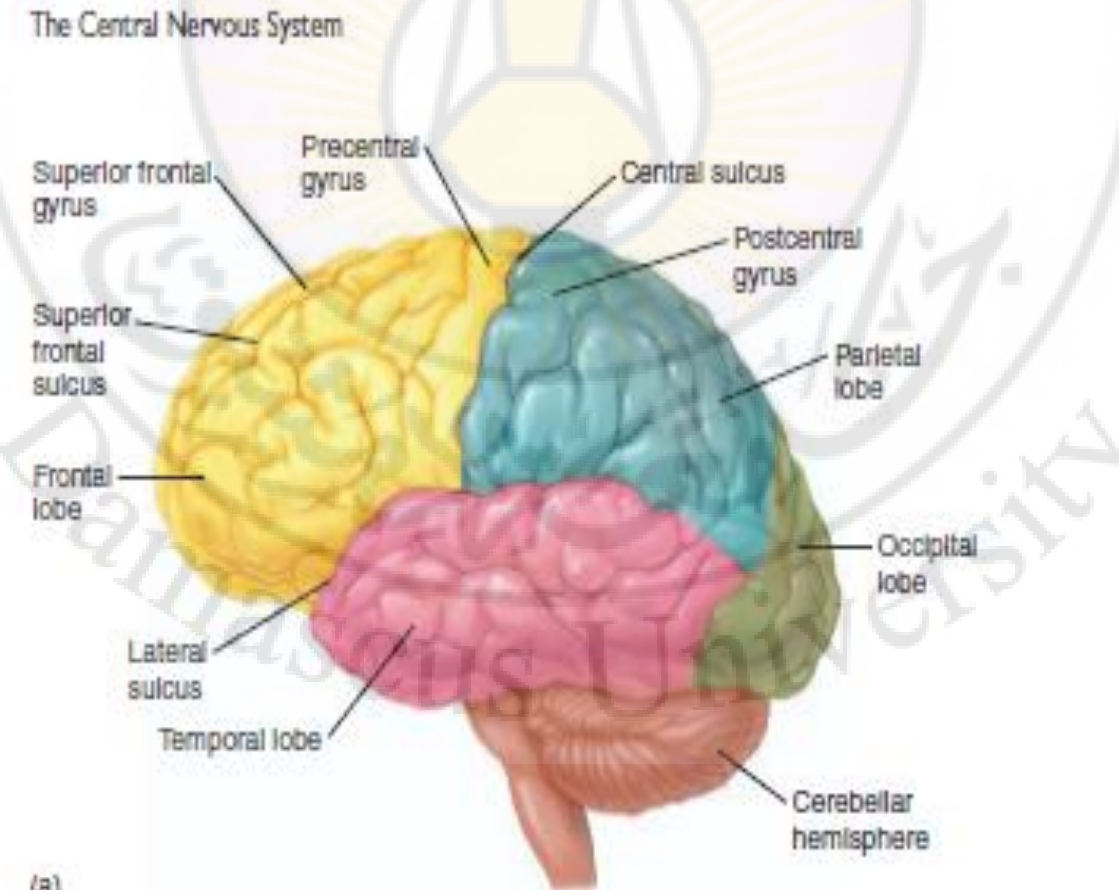
الفصل الثالث
الجهاز العصبي

مقدمة:

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

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

البناء العام للجهاز العصبي



الشكل(١). الجملة العصبية المركزية

تشريحياً تقسم الجملة العصبية إلى:

١ ـ الجملة العصبية المركزية Central nervous system
تتألف الجملة العصبية المركزية من الدماغ والنخاع الشوكي (الشكل ١).

يتألف الدماغ بدوره من:

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

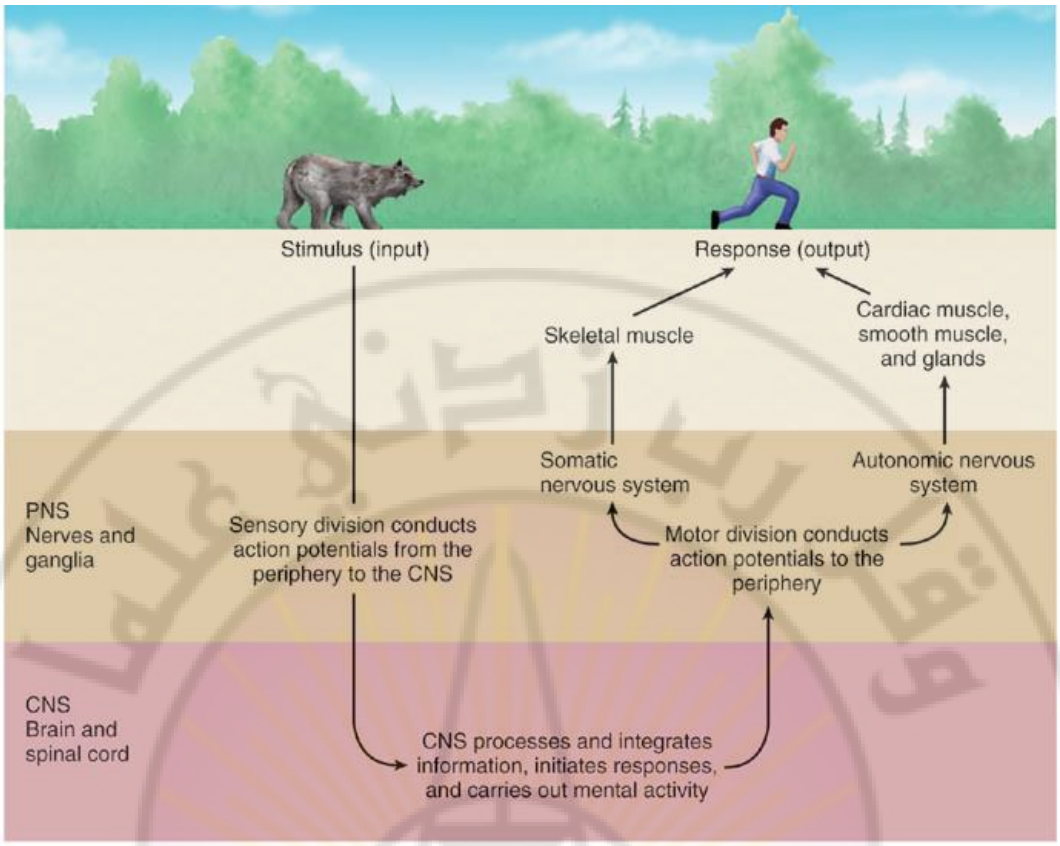
٢ ـ الجملة العصبية المحيطية Peripheral nervous system
تتألف الجملة العصبية المحيطية من الأعصاب القحفية والأعصاب الشوكية وهي تقوم بنقل المعلومات من و إلى الجملة العصبية المركزية وهذه المعلومات تنقل إما من داخل الجسم أو من خارجه وبدورها تقسم الجملة العصبية المحيطية إلى قسم وارد وقسم صادر.

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

- الخلايا الدبقية ولها عدة أنواع تقوم بوظائف داعمة ومغذية لأنواع أخرى من الخلايا ولا يتولد فيها كوامن عمل.
- العصبونات Neurons يتولد في هذا النوع من الخلايا كوامن عمل وتنتقل هذه الكوامن إلى خلايا أخرى.

تقسم الجملة العصبية وظيفياً (فيزيولوجياً) إلى ثلاثة أقسام

١. القسم الحسي.
٢. مراكز الدمج.
٣. القسم الحركي.



الشكل(٢) البناء العام للجهاز العصبي (من الناحية الوظيفية).

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

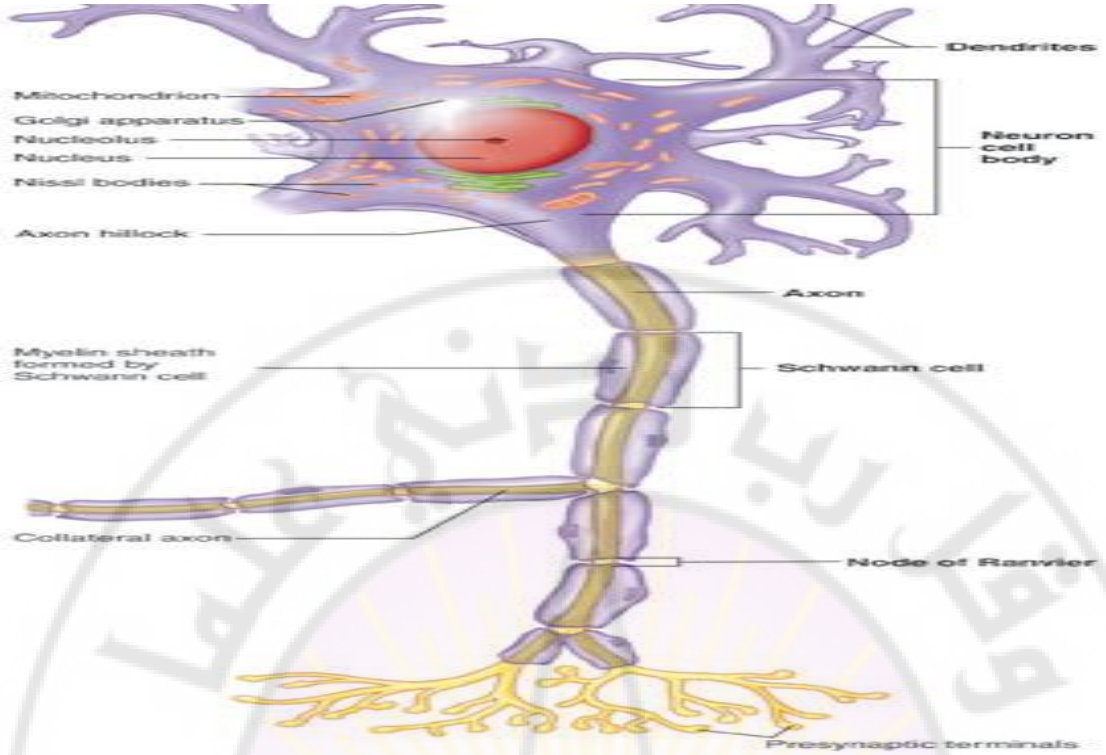
بنية العصبون

يتألف العصبون من ثلاثة أقسام رئيسية:

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

٢. **المحور الأسطواني The Axon** هو استطالة سيتوبلاسمية طويلة ومجموع المحاور الأسطوانية يشكل الأعصاب ويوجد في بنية المحور الأسطواني الليفات العصبية والأجسام الكوندرية كما يوجد في نهايته الحويصلات التي تحوي النواقل العصبية ويمتاز المحور الأسطواني بقدرته على نقل كامن العمل إلى نهايته المحيطية وهناك يمكن تحرر نواقل تكون مخزنة في حويصلات.

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

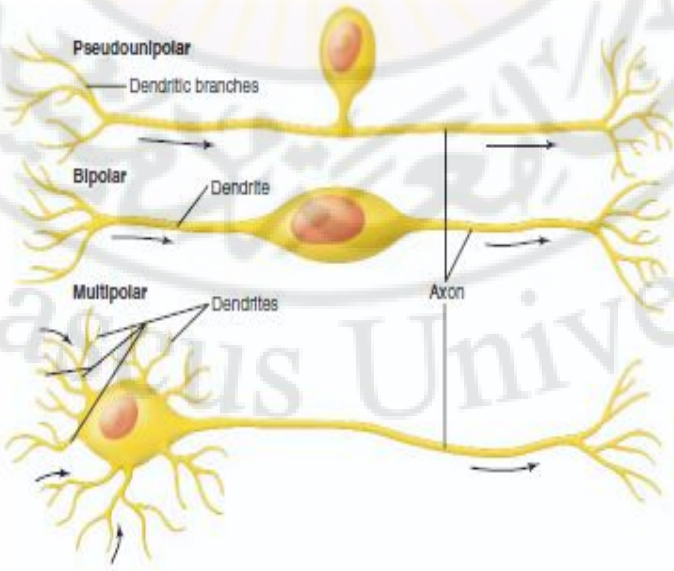


الشكل(٣).بنية العصبون

تصنف العصبونات إما بحسب شكلها أو بحسب وظيفتها

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

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



الشكل(٤) تصنيف للعصبونات بحسب الشكل.

دور المشابك في معاملة المعلومات.

إن المشبك هو نقطة الاتصال بين عصبون وآخر، ولهذا السبب فهو الموضع المفضل للتحكم بنقل الإشارات، إن وظائف المشبك في النقل العصبي هامة ومتعددة ومن هنا كانت الأهمية في دراسة النقل المشبكي بالتفصيل.

وظائف المشبك

١. نقل الإشارة العصبية من عصبون لشيء أخر.
٢. تثبيط الإشارة
٣. تحويل الإشارة الكهربائية إلى طبيعة كيميائية وبالعكس ايضاً.
٤. توزيع الإشارة إلى عدة أماكن.
٥. تجميع الإشارات من عدة أماكن إلى مكان واحد.
٦. تطويل زمن الإشارة لمدة قصيرة أو طويلة (الذاكرة) .

النقل المشبكي Synaptic Transmission

أولاً: أنماط النقل المشبكي (Types of synaptic transmission)

النقل المشبكي هو نقل الدفعات العصبية (كوامن العمل) من عصبون إلى أخر عبر المشبك، يمكن للنقل أن يكون:

١) النقل الكهربائي (Electric T)

يحدث انتقال الدفعات العصبية من عصبون إلى العصبون الذي يليه بشكل مشابه لانتقال التيار الكهربائي في السلك ويعود ذلك إلى كون مناطق الاتصال بين العصبونين المتجاورين هي من النوع الذي يسمح بحرية انتقال الشوارد (gap junction)، وفي هذا النوع من المشابك يمكن للإشارة العصبية أن تنتقل في كلا الاتجاهين. يعتبر هذا النوع من المشابك قليل التواجد في الجهاز العصبي المركزي للإنسان (يوجد فقط في العصبونات الموجودة في النواة الدهليزية الجانبية وفي الشبكية).

٢) النقل الكيميائي (Chemical Transmission)

إن معظم المشابك المستخدمة لنقل الدفعات العصبية في الجهاز العصبي المركزي عند الكائن البشري هي من النوع الكيميائي، وفي هذا النوع من المشابك يفرز العصبون الأول مادة كيميائية (تدعى الناقل العصبي) في المشبك، يؤثر هذا الناقل على مستقبل بروتيني في غشاء العصبون الثاني مؤدياً إما إلى تنبيه أو إلى تثبيط أو إلى تعديل فعالية وحساسية العصبون الثاني، يدعى العصبون الأول بالعصبون قبل المشبك ويدعى العصبون الثاني بالعصبون بعد المشبك.

ثانياً: التشريح الوظيفي للمشابك(Functional anatomy of synapses).

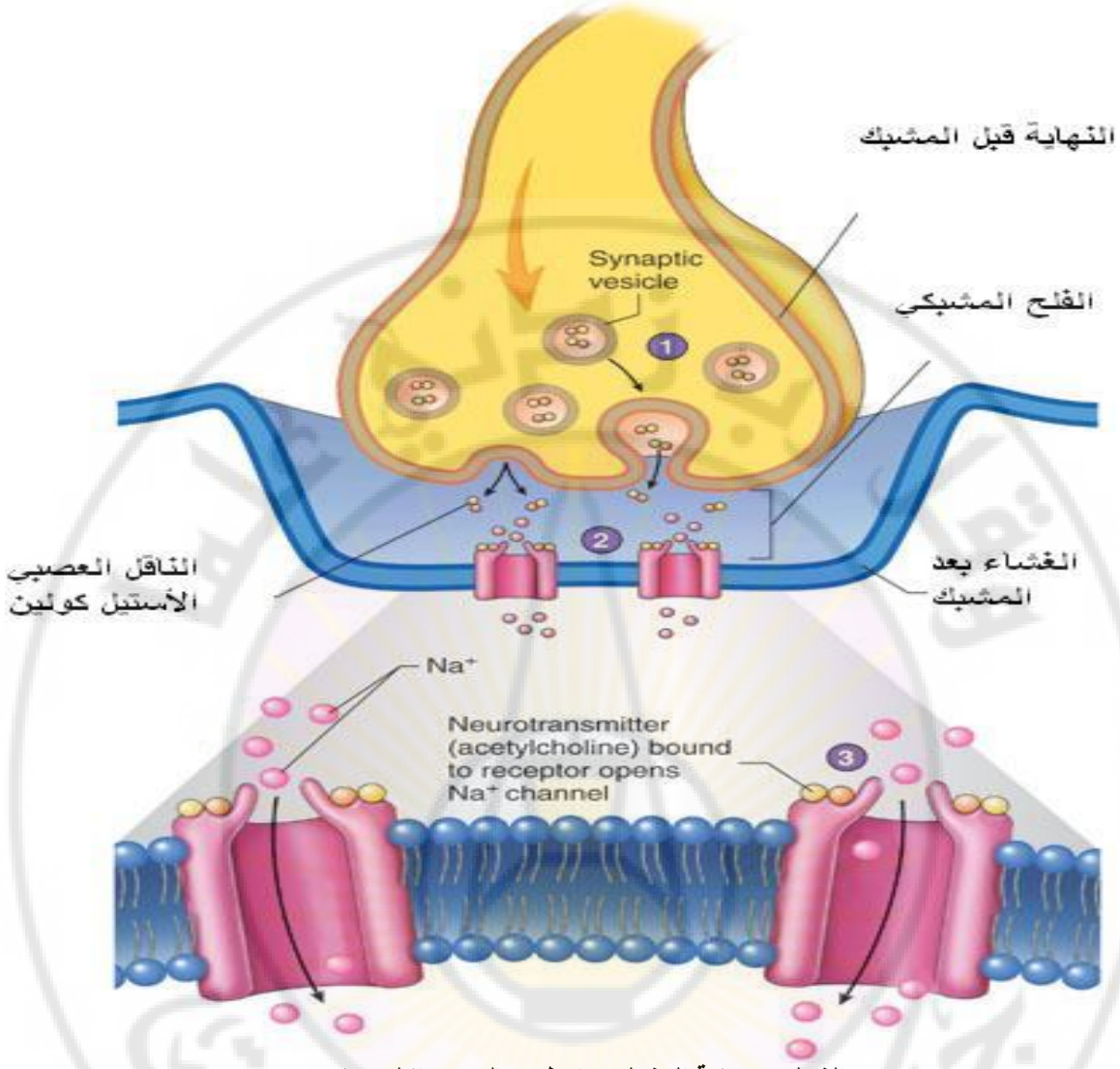
يتشكل المشبك من اتصال بين نهاية المحور الأسطواني للعصبون الأول (العصبون قبل المشبك) وكل من:

- الاستطالات الهيولية للعصبون الثاني (العصبون بعد المشبك) ويدعى هذا النوع بـ (axodendretic).
- مع جسم الخلية للعصبون الثاني ويدعى هذا النوع (axosomatic).
- مع المحور الأسطواني للعصبون الثاني ويدعى هذا النوع (axo-axonic).

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

يلاحظ في هذا المجال أن نهايات العصبون قبل المشبك (التفرعات النهائية للمحور الأسطواني) يمكن أن تتشابك مع العديد من العصبونات بعد المشبك، وبالمقابل فإنه يمكن للعديد من العصبونات قبل المشبك أن تتجمع وتتشابك على عصبون واحد بعد المشبك، وهكذا فقد لوحظ أن بعض العصبونات يمكن أن تستقبل حوالي ١٠٠٠٠٠ نهاية محورية.
يشكل نوع المشابك الذي يدعى (axosomatic)، حوالي ٥-٢٠% من المشابك، بينما يشكل (axodendretic) حوالي ٨٠-٩٠% بينما يُعتبر النوع الأخر من المشابك (axo-axonic) نادر، ومن ناحية أخرى يعتبر هذا النوع من المشابك (axo-axonic) أكثر الأنواع حساسيةً للنقل المشبكي يليه (axosomatic) في حين يُعتبر(axodendretic) أقلها حساسيةً للنقل.

ثالثاً: بنية المشابك كما تظهر في المجهر الإلكتروني.
يتشكل المشبك من ثلاث مناطق هي:
١) العقدة المشبكية (The synaptic Knob)
وهي الانتفاخ النهائي للتفرعات الناجمة عن المحور الاسطواني للعصبون قبل المشبك وينفصل الغشاء الخلوي للعقدة عن الغشاء الخلوي للعصبون بعد المشبك لمسافة يصل عرضها إلى ٣٠-٥٠ نانومتر وهي التي تمنع العبور المباشر للإشارة العصبية (كامن العمل) من نهاية الغشاء الخلوي للعقدة المشبكية إلى العصبون بعد المشبك.
تحتوي النهايات العقدية على العديد من الحويصلات (Vesicles) بأنواعها المختلفة الحبيبية والرائقة، يضاف إليها العديد من الجسيمات الكوندرية، وتحتوي الحويصلات الرائقة على النواقل العصبية سريعة الفعل المسئولة عن الفعاليات السريعة للجملة العصبية، بينما تحتوي الحويصلات الحبيبية على الببتيدات العصبية (Neuropeptides) والتي تعمل ببطء ولكن بقوة أكثر، تمتد أفعالها لأيام وأحياناً إلى سنين، ويحرر كلا النوعين من الحويصلات محتواها بوساطة طريقة تدعى الالتفاظ (Exocytosis)
يوجد في نهاية العقدة المشبكية وكما يظهر في الشكل (٥) منطقة كثيفة تحوي العديد من الحويصلات تدعى المنطقة الفعالة (active zone)، تكون الحويصلات الرائقة موجودة بكثرة بالقرب من المنطقة الفعالة، ويوجد في غشائها الخلوي بنية بروتينية تحوي نوعين من البروتينات البنيوية يدعى البروتين الأول الـ (synopsin) وظيفته تثبيت الحويصل في مكانه على الشبكة السيتوبلاسمية (cytoplasmic skeleton)



الشكل (٥) بنية المشبك كما يظهر بالمجهر الالكتروني.

ويدعى البروتين الثاني بـ (Steinin) ويملك هذا البروتين ميلاً كبيراً للاتحاد مع بروتين آخر يدعى (Neurin) يوجد هذا البروتين الأخير في الغشاء الخلوي للعقدة المشبكية في المنطقة المسماة بالمنطقة الفعالة، ويعتقد أن شوارد الكالسيوم عن طريق تفعيلها للكالموديولين كيناز II تؤدي إلى فسفرة الـ (synopsin)، تؤدي هذه الفسفرة إلى تحرر الحويصلات من مكان ارتباطها على (cytoskeleton) وبالتالي يؤدي ذلك إلى تحرك الحويصل إلى المنطقة الفعالة ويتحد الـ (Steinin) مع الـ (Neurin) وهذا الاتحاد يؤدي إلى تمزق الحويصل وتحرر الناقل الكيميائي إلى الفلح المشبكي (synptic cleft).

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

٢) الفلح المشبكي (The synaptic cleft)

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

٣) الغشاء الخلوي للعصبون بعد المشبك (The postsynaptic membrane)

يحتوي غشاء العصبون بعد المشبك كميات كبيرة من المستقبلات البروتينية في منطقة المشبك

آلية النقل المشبكي Mechanism of Synaptic Transmission

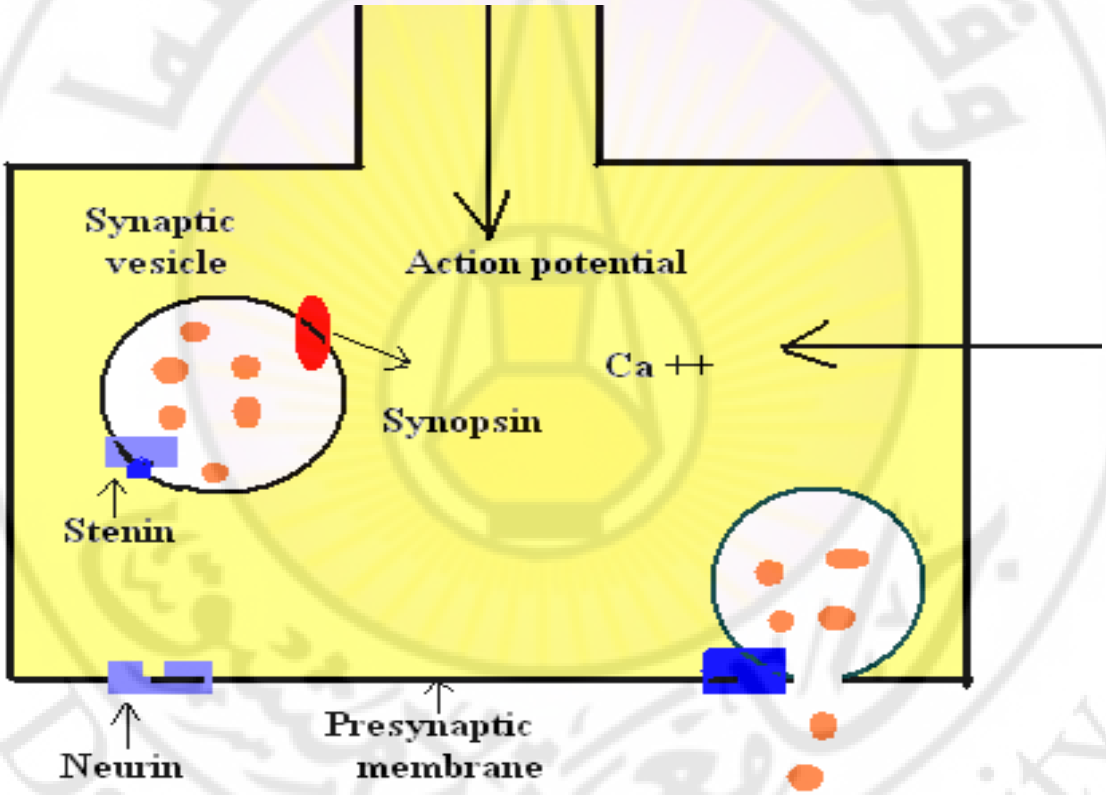
يحدث النقل المشبكي وفق المراحل التالية:

١) تحرر الناقل الكيميائي (Release of chemical transmitter):

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

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

تلتحم هذه الحويصلات مع الغشاء الخلوي للعصبون قبل المشبك، ثم تنفتح هذه الحويصلات ويتحرر الناقل الكيميائي الموجود داخلها إلى الشق المشبكي، وتتناسب كمية الناقل الكيميائي المتحررة طرداً مع كمية شوارد الكالسيوم التي دخلت إلى العصبون قبل المشبك(الشكل ٦).



الشكل(٦). آلية تحرر الناقل الكيميائي.

٢) اتحاد الناقل الكيميائي مع مستقبلاته:

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

٣) نشوء كامن العمل المشبكي:

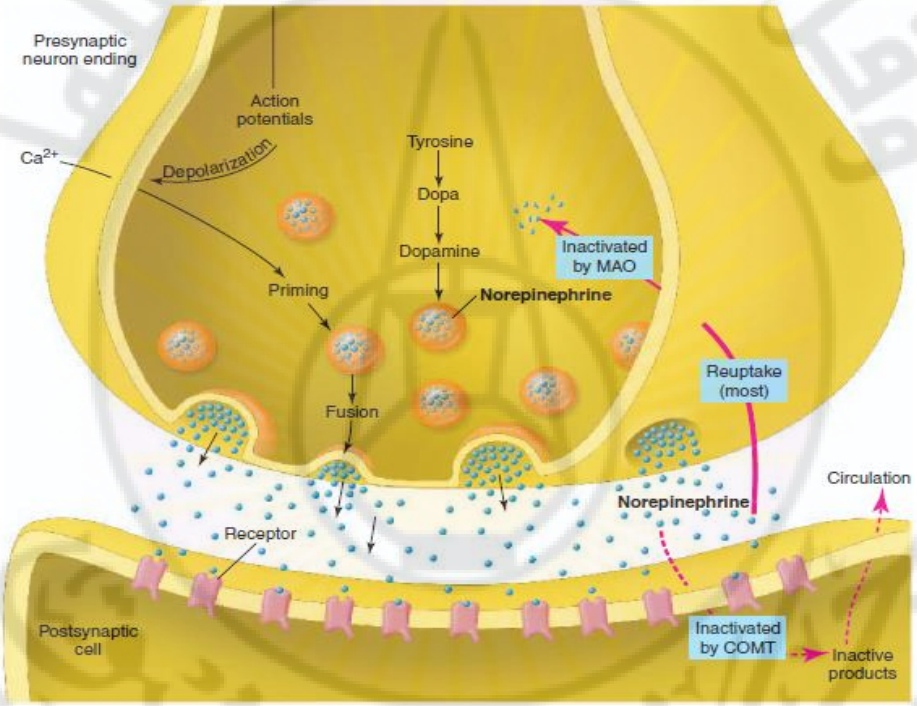
يقود تدفق الشوارد خلال الغشاء الخلوي إلى تغيير في كامن الراحة للغشاء الخلوي للعصبون بعد المشبك والذي يمكن أن يكون على أحد شكلين:

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

٤) إزالة النواقل العصبية من الفلح المشبكي:

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

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



الشكل(٧). طرق إزالة النواقل العصبية من الفلح المشبكي

خصائص النقل المشبكيCharacters of synaptic transmission

أولاً: النقل باتجاه الأمام (Forward Direction)

يتم نقل الدفعات في المشبك في اتجاه واحد فقط من العصبون قبل المشبك إلى العصبون بعد المشبك، ويعود سبب ذلك إلى أن الناقل العصبي يتشكل ويتحرر من العصبون قبل المشبك فقط ولا يتحرر من العصبون بعد المشبك، والمقصود بذلك هو أن المشبك يتلقى الناقل العصبي من العصبون قبل المشبك فقط.

ثانياً: التأخير المشبكي (Synaptic delay)

هو الزمن الذي تحتاجه الدفعة لكي تنتقل عبر المشبك، ويقدر هذا الزمن بحوالي ٠.٥ ميلي ثانية. وينجم هذا التأخير عن الزمن الذي يحتاجه إفراز الناقل العصبي ثم اتحاده مع مستقبلاته وبعد ذلك فتحه لبوابات الشوارد ثم تدفق الشوارد وتأسيسها للكامن بعد المشبكي حتى يصل إلى عتبة الإطلاق، ويتم الوصول إلى عتبة الإطلاق (كامن العمل) بواسطة الجمع.

يستخدم التأخير المشبكي لمعرفة عدد المشابك في القوس الانعكاسية لأي منعكس وذلك عن طريق تقسيم فترة التأخير المركزي في المنعكس على ٠.٥ وبذلك يتم التوصل إلى معرفة عدد المشابك في هذا المنعكس.

ثالثاً: التعب (Fatigue)

هو نقص معدل إطلاق الدفعات العصبية من العصبون بعد المشبك في حالة التنبيه المتكرر للعصبون قبل المشبك وينجم التعب عن:

١. بشكل رئيسي عن استنزاف الحويصلات الحاوية على الناقل العصبي الموجودة في العصبون قبل المشبك (النهايات المحورية) الناجمة عن التنبيه المتكرر للعصبون قبل المشبك.
٢. تثبط مستقبلات العصبون بعد المشبك.
٣. يؤدي تراكم شوارد الكالسيوم داخل جسم الخلية للعصبون بعد المشبك إلى فتح قنوات البوتاسيوم المعتمدة على الكالسيوم، وهذا يؤدي إلى تدفق شوارد البوتاسيوم نحو الخارج مسببة فرط استقطاب في غشاء العصبون بعد المشبك.

إن فائدة التعب المشبكي هو في قطع الدارات القصيرة التي تحدث في المناطق مفرطة الإثارة في الجملة العصبية المركزية كما في نوبات الصرع حيث يؤدي التعب إلى توقف الاختلاج.

رابعاً: المطاوعة المشبكية (Synaptic plasticity)

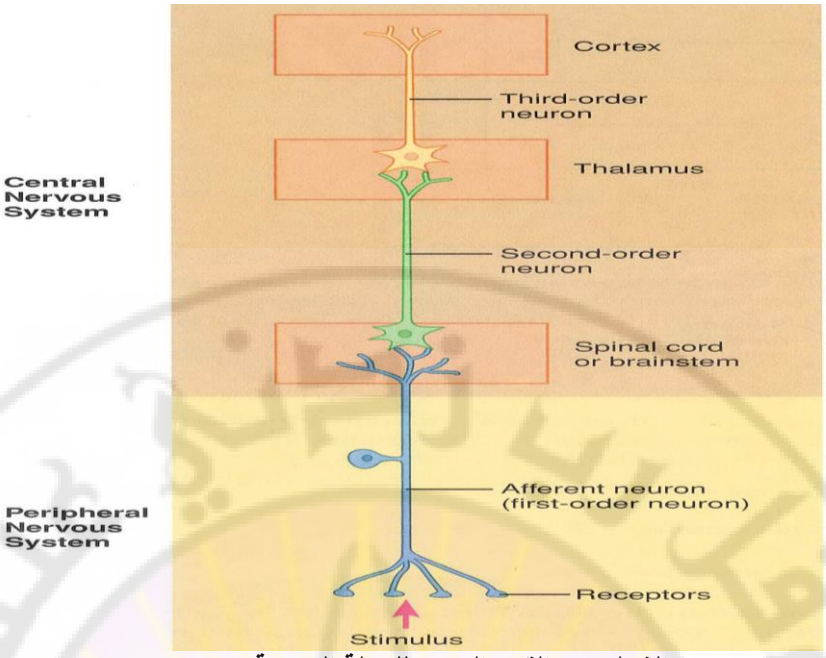
تعني المطاوعة المشبكية القدرة على تغيير أو تعديل وظيفة المشبك وفقاً للحاجة المطلوبة من المشبك، وهكذا يمكن للنقل المشبكي أن يزداد قوة أو يضعف ولفترة قصيرة أو طويلة وذلك بوساطة تنبيهات متكررة تطبق على المشبك.

القسم الحسي للجملة العصبية

يستخدم تعبير الجملة الحسية (Sensory System) للإشارة لتلك الأقسام من الجملة العصبية المعنية بإعلام الشخص عما يحدث في المحيط، سواء كان المحيط الداخلي أو المحيط الخارجي، مثال على ذلك تغيرات الضغط الدموي، تغيرات درجة حرارة المحيط الخارجي أو الداخلي، الضوء والصوت. تَكتشف جميع هذه التغيرات أو هذه المعلومات بواسطة تراكيب خاصة موجودة في النهايات المحيطية للألياف العصبية الواردة وتدعى المستقبلات. ثم بعد ذلك تحمل هذه المعلومات في سبل خاصة بكل نوع من المعلومات إلى قشرة الدماغ ليتم تحليلها وإدراكها.

تتضمن الجملة الحسية الأقسام التالية:

١. المستقبلات الحسية وأليافها الواردة.
٢. السبل الحسية.
٣. المهاد (Thalamus).
٤. القشرة الحسية (Sensory cortex).(الشكل ٨)



الشكل(٨) :القسم الحسي للجملة العصبية .

المستقبلات الحسية

هي عبارة عن نهايات عصبية (نهايات ألياف عصبية) معدلة أو عبارة عن خلايا معدلة تقوم بالوظائف التالية:

١. تحدد المنبه الملائم (Specific Stimuli).
٢. تحول الطاقة الموجودة في المنبه إلى تغيرات كمونية والتي تؤدي بدورها إلى نشوء دفعات عصبية في الألياف الحسية.
٣. تنتقل هذه الدفعات إلى الجملة العصبية المركزية لتعلمها بمختلف الأحاسيس.

ويظهر أن هناك خمسة أنواع مختلفة رئيسية من المستقبلات الحسية:

١. المستقبلات الآلية (Mechanoreceptors) يكشف هذا النوع من المستقبلات التغيرات الآلية التي تتعرض لها المستقبلة أو الخلايا المجاورة للمستقبلة.
٢. المستقبلات الحرورية (Thermo receptors) وهي تكشف تغيرات درجة الحرارة، حيث يكتشف بعضها البرودة وبعضها الآخر الدفء.
٣. مستقبلات الأذية أو مستقبلات الألم (pain receptors) (Nociceptors) تكشف أذية النسج سواء أكانت فيزيائية أم كيميائية.
٤. المستقبلات الكهرمغناطيسية (Electromagnetic receptors) تكشف الضوء الساقط على الشبكية في العين.
٥. المستقبلات الكيميائية (chemo receptors)

تكشف حس الذوق في الفم والشم في الأنف ومستوى الأوكسجين في الدم الشرياني والأوسمولية في سوائل الجسم وتركيز ثاني أكسيد الكربون، وربما عوامل أخرى تساهم في تشكيل كيمياء الجسم.

ولتوضيح الآلية التي تعمل بها المستقبلات سوف يتم دراسة وظيفة بعض الأنماط الخاصة من المستقبلات وخصوصاً المستقبلات الآلية المحيطية.

إن أول سؤال يتبادر إلى الذهن هو كيف يتم تحويل الطاقة الموجودة في المنبه إلى إحساس خاص بهذا المنبه مع العلم أن الأعصاب تنقل شكل واحد من الإشارات العصبية (Impulses) ؟

والجواب على ذلك هو أن كل سبيل عصبي ينتهي عند نقطة معينة في الجهاز العصبي المركزي وبالتالي نشعر بنمط الإحساس تبعاً للمنطقة التي ينتهي عندها العصب المنبه، فعلى سبيل المثال عندما يتنبه الليف العصبي الخاص بالألم يشعر المرء بالألم بغض النظر عن طبيعة المنبه الذي أثار ذلك الليف، فقد يكون كهربائياً أو حرارياً أو أذية نسيجية ومع ذلك يبقى الشعور هو الألم.
وبشكل مشابه تنتهي الألياف القادمة من شبكية العين في مكان معين من قشرة الدماغ (باحات الرؤية في الفص القفوي) بينما تنتهي الألياف القادمة من الأذن في باحات السمع في الدماغ والألياف الحرارية في باحات الحرارة.

خصائص المستقبلات (properties of receptors)

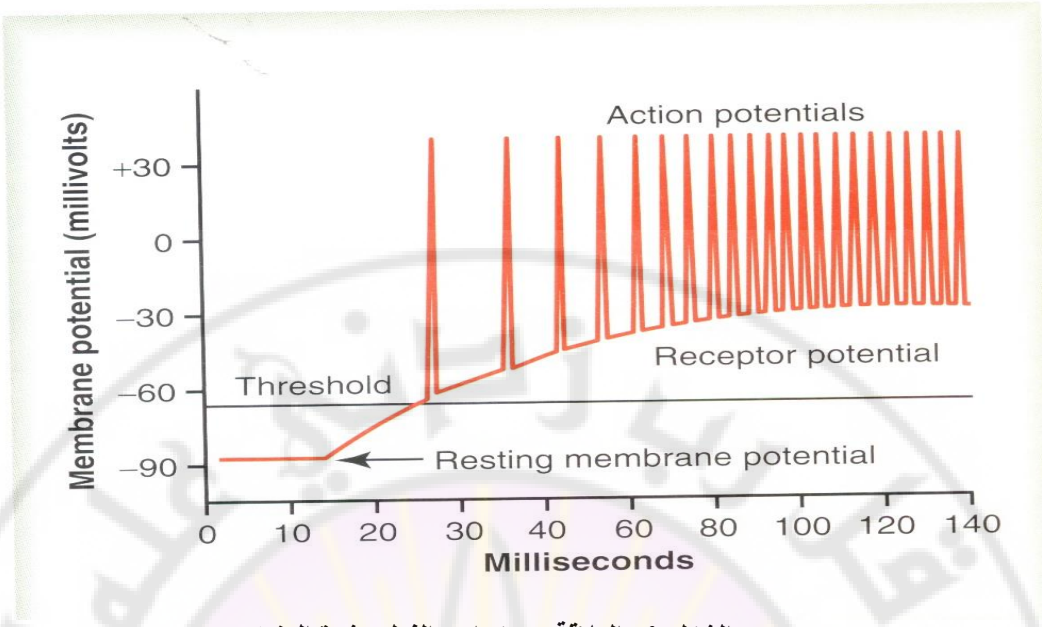
١. النوعية (specificity)

تنص قاعدة النوعية على أن كل مستقبل حساس لنمط محدد من المنبهات يدعى المنبه الملائم (adequate stimulus) (الضوء، الصوت .... إلخ)، ويستجيب هذا المستقبل للأشكال الأخرى من المنبهات (غير المنبه الملائم) ولكن بشرط أن يكون هذا المنبه أكثر شدة من المنبه الملائم، وكمثال على ذلك فإن المنبه الملائم للمستقبلات الموجودة في الشبكية هو الضوء ولكن المنبه الميكانيكي إذا كان قوياً يستطيع تنبيه هذه المستقبلات، وعندما تنبه هذه المستقبلات فإنها تعطي الإحساس نفسه بغض النظر عن طبيعة المنبه.

٢. كامن المستقبلة (Receptor Potential)

تتميز جميع المستقبلات الحسية بطبيعة واحدة عموماً، فمهما كان نمط المنبه المثير للمستقبلة فإن تأثيره المباشر هو تغيير كامن غشاء المستقبلة، ويدعى هذا التغير بـ "كامن المستقبلة".

العلاقة بين كامن المستقبلة وكامن الفعل.
إن المدى الأعظمي لكوامن المستقبلات هو ١٠٠ ميلي فولط في معظم المستقبلات الحسية، وهي تقريباً نفس سعة الكامن المسجل أثناء كامن الفعل، وعندما يتجاوز كامن المستقبلة عتبة تحريض كامن الفعل في الليف العصبي المتصل بالمستقبلة فإن كوامن الفعل تبدأ بالظهور الشكل (٩)، ونلاحظ أنه كلما ارتفع كامن المستقبلة فوق مستوى العتبة كان تواتر كامن الفعل أكثر ونرى أيضاً أن كامن المستقبلة ينبه الليف العصبي الحسي بالطريقة التي ينبه بها كامن الإثارة بعد المشبكي العصبون بعد المشبك.

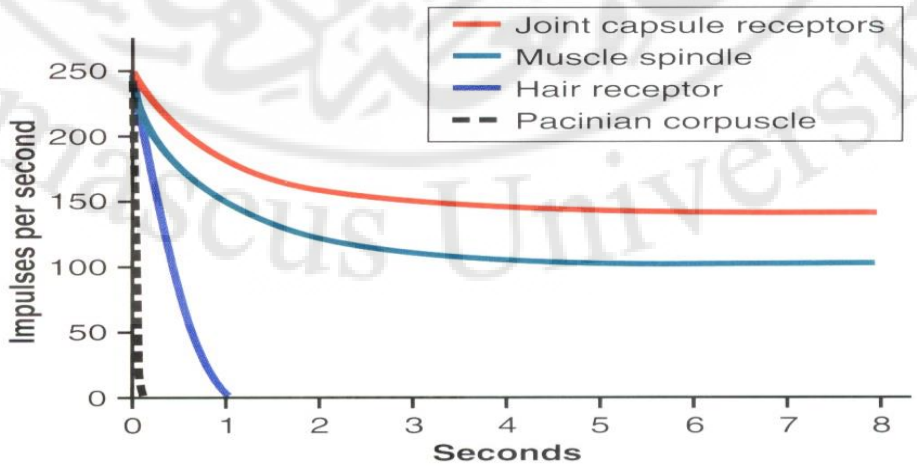


الشكل(٩):العلاقة بين كوامن الفعل وشدة المنبه.

تلاؤم المستقبلات (Adaptation of receptor)

تتميز جميع المستقبلات الحسية بأنها تتلاءم مع منبهاتها وذلك بشكل جزئي أو كلي بعد فترة من الزمن، وهذا يعني أن المستقبلة تستجيب عند تطبيق منبه حسي مستمر بمعدل إطلاق كبير في البداية، ثم ينخفض المعدل بالتدريج حتى ينعدم في النهاية عند كثير من المستقبلات.

يبين الشكل (١٠) التلاؤم النموذجي لأنماط معينة من المستقبلات حيث يلاحظ أن جسيم باشيني يتلاءم بسرعة كبيرة، ومستقبلات الشعرة تتلاءم في غضون ثانية تقريباً، بينما نجد أن مستقبلات محفظة المفصل ومغزل العضلة تتلاءم ببطء شديد، وعلاوة على ذلك هناك مستقبلات ذات قدرة على التلاؤم أكبر بكثير من غيرها، فعلى سبيل المثال تتلاءم جسيمات باشيني حتى الاختفاء في غضون بضعة أجزاء من المئة من الثانية، وتتلاءم مستقبلات قاعدة الشعرة حتى الانطفاء في غضون ثانية، ومن المحتمل أن تتلاءم جميع المستقبلات الآلية الأخرى بشكل تام في النهاية ولكن بعضها يحتاج إلى ساعات وإلى أيام ولذلك تدعى بالمستقبلات اللاتلاؤمية، أما أطول مدة سجلت لتلاؤم المستقبلات الآلية فهي نحو يومين وذلك لمستقبلات الضغط في الأبهر والسباتي، وإن بعض المستقبلات غير الآلية (الكيميائية ومستقبلات الألم) قد لا تتلاءم بشكل تام نهائياً.



الشكل(١٠) تلاؤم المستقبلات.

الألياف العصبية التي تنقل التنبيهات وتصنيفاتها الفيزيولوجية:

تحتاج بعض التنبيهات إلى سرعة كبيرة أثناء نقلها إلى الجملة العصبية المركزية، وإذا لم تنقل بهذه السرعة فقدت أهميتها، ومثال على ذلك التنبيهات الحسية التي تعلم الدماغ بالوضع الآني للأطراف في كل جزء من الثانية أثناء الجري، والمثال الأخر هو التنبيهات الحركية التي ترسل من الدماغ عائدة إلى العضلات، وبالمقابل فإن بعض المعلومات الحسية (كالتي تنقل حس الألم) لا تحتاج إلى نقل سريع على الإطلاق وبالتالي يتم نقلها بواسطة ألياف بطيئة التوصيل جداً.

تتراوح أقطار الألياف العصبية بين ٠.٢ و ٢٠ ميكرومتر وكلما ازداد قطر الليف ازدادت سرعة التوصيل، وتتراوح سرعة التوصيل بين ٠.٥ إلى ١٢٠ متر/ثا.

ويوضح الشكل (١١) تصنيفين مختلفين للألياف العصبية يستعملان عادة .

التصنيف العام الذي يتضمن الألياف الحسية والحركية بما فيها الألياف العصبية الذاتية، والثاني هو تصنيف الألياف العصبية الحسية المستعمل بشكل أساسي من قبل الاختصاصيين بالفيزيولوجيا العصبية الحسية.

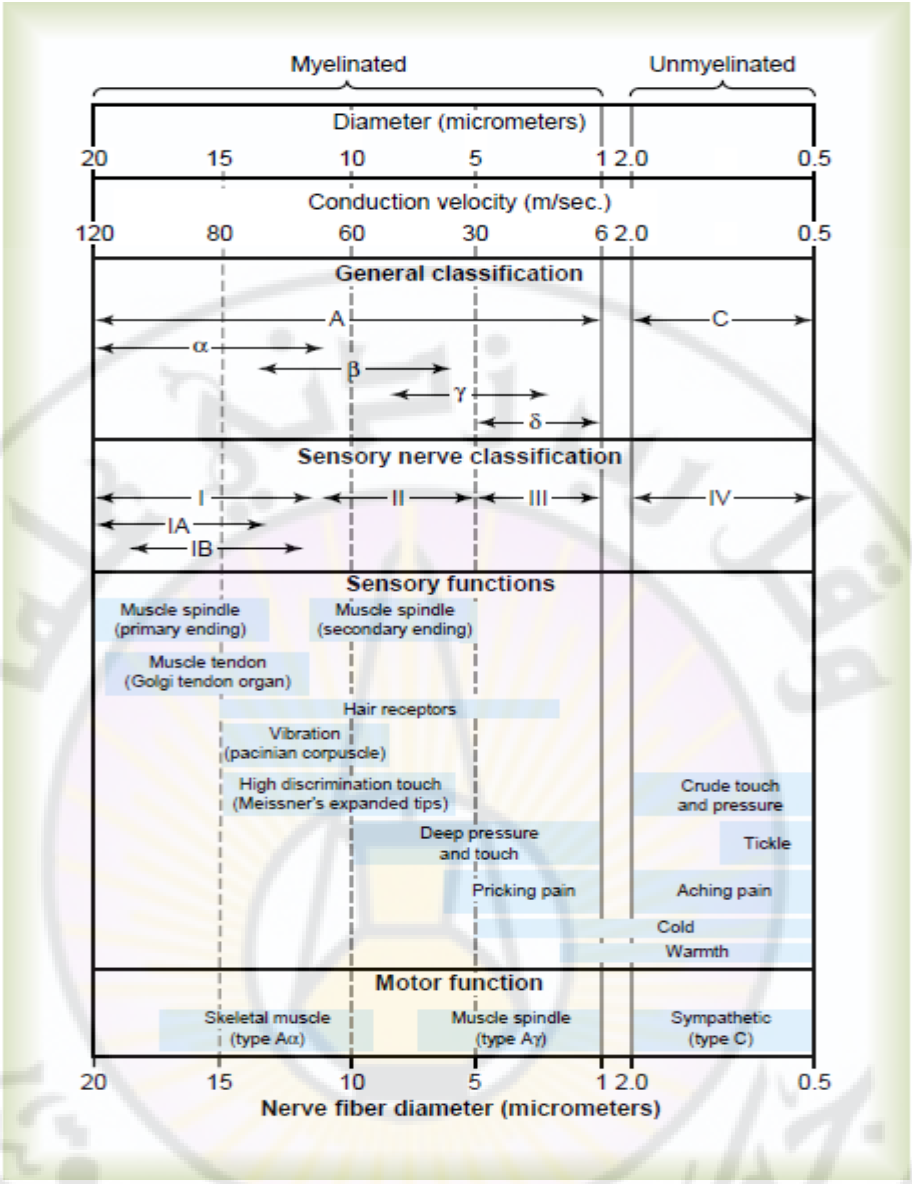
التصنيف العام

تقسم الألياف إلى النمطين A و C وبدورها تقسم ألياف النمط A إلى α،β، دلتا ،δ.

تمثل الألياف A الألياف النخاعينية النموذجية من أعصاب النخاع الشوكي بينما يمثل النمط C ألياف الأعصاب غير النخاعينية الصغيرة جداً التي تنقل الدفعات بسرعة منخفضة وهي تشكل أكثر من نصف الألياف الحسية من معظم الأعصاب المحيطية وجميع الألياف الذاتية بعد العقد، ويوضح الشكل حجوم وسرعات التوصيل ووظيفة الأنماط المختلفة من الألياف العصبية، ويلاحظ أن بضعة ألياف ضخمة جداً تستطيع نقل الدفعات بسرعة كبيرة تصل حتى ١٢٠ م/ثا، في حين أن أكثر الألياف صغراً تنقل بسرعة ٠.٥ م/ثا.

التصنيف البديل المستعمل من قبل الاختصاصيين بالفيزيولوجيا الحسية:

١. المجموعة I_a : وهي تضم الألياف التي تأتي من النهايات الحلقية الحلزونية للمغازل العضلية ومعدل قطرها ١٧ ميكرون وهي الألياف Aα في التصنيف العام.
٢. المجموعة I_b : تضم الألياف التي تأتي من أعضاء غولجي الوترية (معدل قطرها ١٦ ميكرون وهي أيضاً الألياف Aα نفسها)
٣. المجموعة II : معدل قطرها ٨ ميكرون وهي تمثل الألياف A , Aβ ، وهذه الألياف تأتي من نهايات الغصن المزهر في المغازل العضلية.
٤. المجموعة III : معدل قطرها ٣ ميكرون وهي تمثل الألياف Aδ وتحمل أحاسيس الحرارة واللمس الخشن والألم الواخز.
٥. المجموعة IV : هي ألياف لانخاعينية تحمل أحاسيس الألم والحك والحرارة واللمس الخشن ومعدل قطرها ٠،٥_ ٢ ميكرون وهي تمثل الألياف من النمط C.



الشكل(١١). التصنيف الحسي للألياف العصبية.

الأحاسيس الجسدية (Somatic sensation)

الإحساس: هو الشعور الذي ينجم عن التغير في المحيط أو بواسطة إثارة المستقبلات أو حتى بإثارة الطريق العصبي الذي يوصل الدفعات العصبية من المستقبلات إلى المراكز العصبية.

تصنف الإحساسات إلى:

١. الأحاسيس الخاصة (Special sensation) (العين، الأذن، ..)
٢. الأحاسيس العامة وتقسم بدورها إلى:
   - الأحاسيس الجسدية وهي موضوع بحثنا هذا الفصل.
   - الأحاسيس العضوية (العطش، الجوع، الرغبة الجنسية).

السبل الحسية لنقل الإشارات الحسية الجسدية إلى الجملة العصبية المركزية

تدخل جميع المعلومات الحسية من مختلف أقسام الجسم إلى النخاع الشوكي عبر الجذور الظهرية للأعصاب الشوكية (باستثناء عدة ألياف صغيرة وغير واضحة الأهمية تدخل عبر الجذور البطنية)، وبعد ذلك ومن نقطة الدخول إلى النخاع الشوكي إلى الدماغ تُحمل الإشارات الحسية بواسطة أحد السبيلين التاليين:

١. جملة العمود الظهري والفتيل الأنسي
٢. الجملة الأمامية الجانبية

تحمل جملة العمود الظهري الإشارات الحسية وكما يدل عليها اسمها في العمودين الظهريين للنخاع الشوكي، وبعد أن يتم التشابك مع العصبون الثاني في مستوى البصلة تعبر ألياف المحاور الأسطوانية للعصبون الثاني نحو الجهة المقابلة من البصلة وتصعد الإشارات عبر جذع الدماغ إلى المهاد بطريق الفتيل الأنسي.

أما بالنسبة للإشارات الحسية التي تنتقل ضمن الجملة الأمامية الجانبية فإنها تصعد عبر الحبلين الأمامي والجانبي لتنتهي عند جميع مستويات جذع الدماغ وفي المهاد.

الاختلافات بين جملتي النقل:

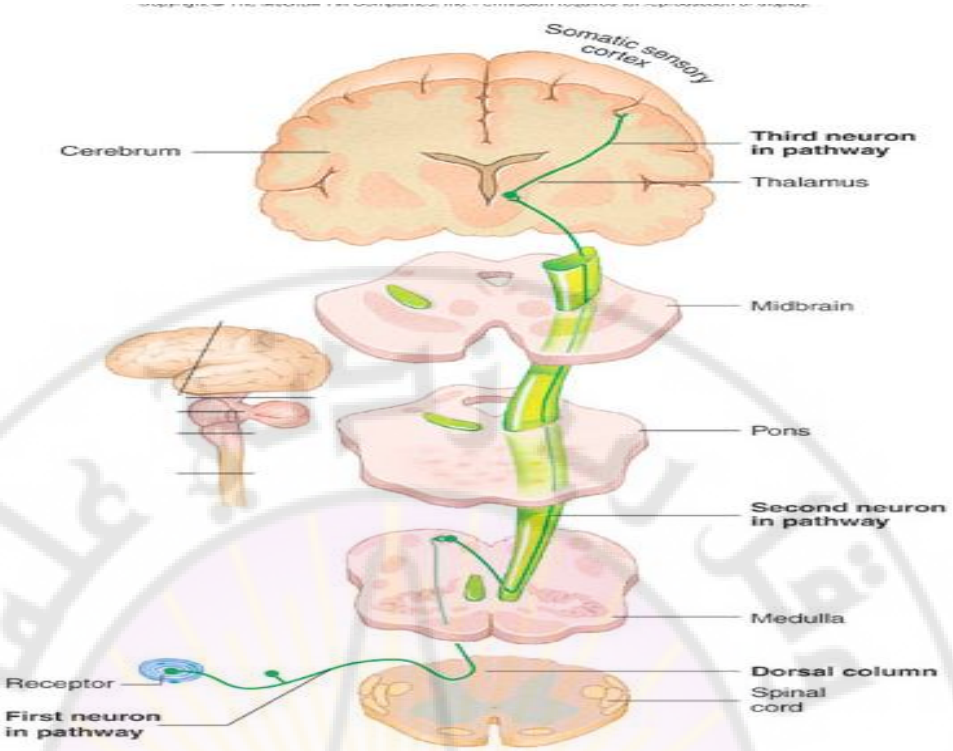
لا بد من الإشارة إلى وجود عدد من الاختلافات بين كل من جملتي النقل وهي:

١. تتركب جملة العمود الظهري من ألياف عصبية ضخمة نخاعينية تنقل الإشارات إلى الدماغ بسرعة ٣٠ــ١١٠ م/ثا، بينما تتركب الجملة الأمامية الجانبية من ألياف نخاعينية أصغر بكثير (معدل قطرها ٤ ميكرومتر)، تنقل الإشارات بسرعة تتراوح بين بضعة مترات وحتى ٤٠ متر في الثانية.
٢. تملك الألياف العصبية في جملة العمود الظهري درجة عالية من التوجه المكاني بالنسبة لمنشئها، بينما تكون درجة التوجه المكاني عند الجملة الأمامية الجانبية أقل بكثير.
٣. تنقل المعلومات الحسية التي نحتاج في نقلها إلى سرعة وأمانة زمانية ومكانية عبر جملة العمود الظهري، بينما تنقل المعلومات التي لا تحتاج إلى سرعة أو أمانة مكانية عبر الجملة الأمامية الجانبية.
٤. تملك الجملة الأمامية الجانبية ميزة خاصة وهي قدرتها على نقل طيف واسع من الأنماط الحسية، بينما تقتصر قدرة جملة العمود الظهري على نقل الأنماط الأكثر تميزاً من أحاسيس المستقبلات الآلية فقط.

ويمكن تصنيف الأحاسيس التي تنقل عبر كل جملة كالتالي:

١) جملة العمود الظهري والفتيل الأنسي:

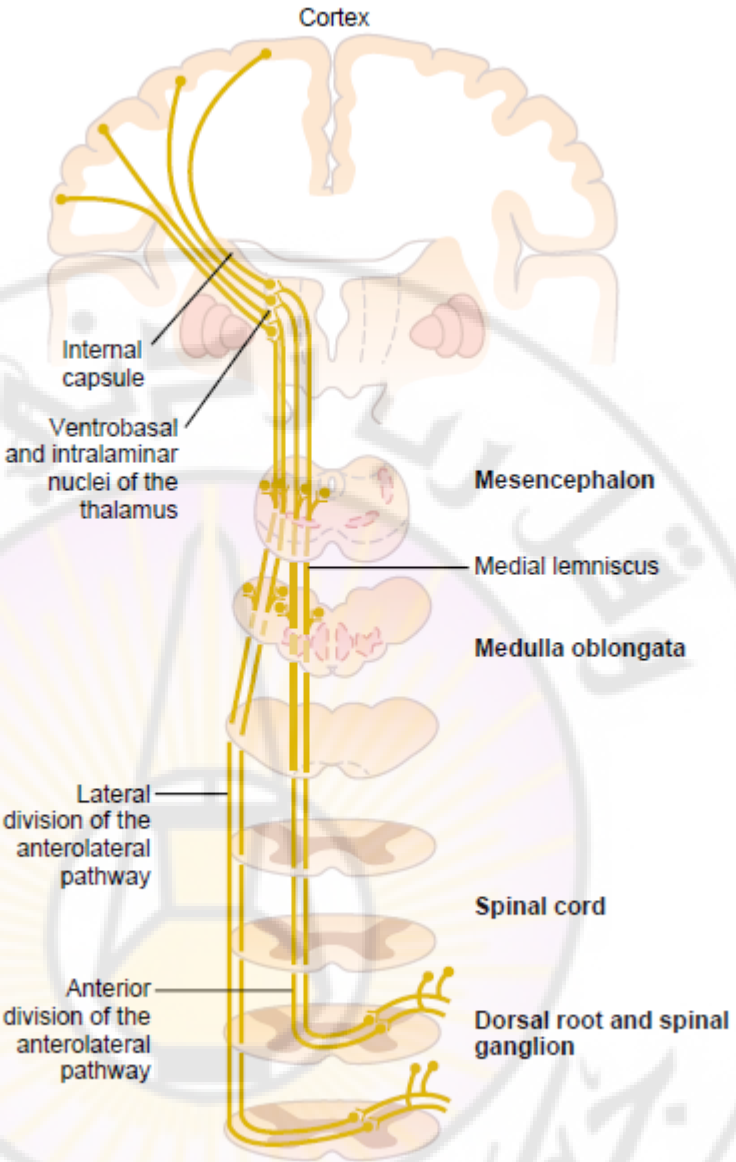
- أحاسيس اللمس التي تحتاج إلى درجة عالية من تحديد موضع المنبه (اللمس الدقيق).
- أحاسيس اللمس التي تحتاج إلى نقل التدرجات الخفيفة في الشدة.
- الأحاسيس الطورية، كأحاسيس الاهتزاز.
- الأحاسيس التي تنقل الحركة المطبقة على الجلد.
- أحاسيس الوضعة.
- أحاسيس الضغط التي تحتاج إلى درجة عالية من القدرة على تحديد شدة الضغط (Fine pressure).



الشكل(١٢): جملة النقل في العمود الظهري.

٢) الجملة الأمامية الجانبية:

- الألم.
- أحاسيس الحرور بما فيها الدفء والبرودة.
- أحاسيس اللمس والضغط الخشن (Crude Touch and pressure).
- أحاسيس الدغدغة والحك.
- الأحاسيس الجنسية.



الشكل(١٣):النقل في الجملة الأمامية الجانبية.

الأحاسيس الحرارية (Thermal sensations)

يمكن للكائن البشري أن يدرك التدرجات المختلفة لدرجة الحرارة بدءاً من التجمد (Freezing) إلى البارد (Cold) فالبارد بشكل لطيف (Cool) إلى المعتدل (Indifferent) إلى الدافئ (Warm) إلى الحار (Hot) وحتى الحار المحرق (Burning hot).

يتم تمييز تدرجات الحرارة المختلفة بثلاثة أنماط مختلفة على الأقل من المستقبلات الحسية:

- مستقبلات الدفء.
- مستقبلات البرد.
- ومستقبلات الألم.

وتتنبه مستقبلات الألم بالدرجات الشديدة فقط من الحرارة والبرودة، ولهذا السبب فهي مسئولة بالإضافة إلى مستقبلات الدفء والبرد عن أحاسيس البارد المجمد والحار المحرق.

تتوضع مستقبلات البرد والدفء تحت الجلد مباشرة في نقاط متميزة منفصلة، ويبلغ مجال قطر تنبيه كل منها حوالي ١ مم، ويبلغ عدد مستقبلات البرد في معظم باحات الجسم ٣ــ ١٠ أضعاف

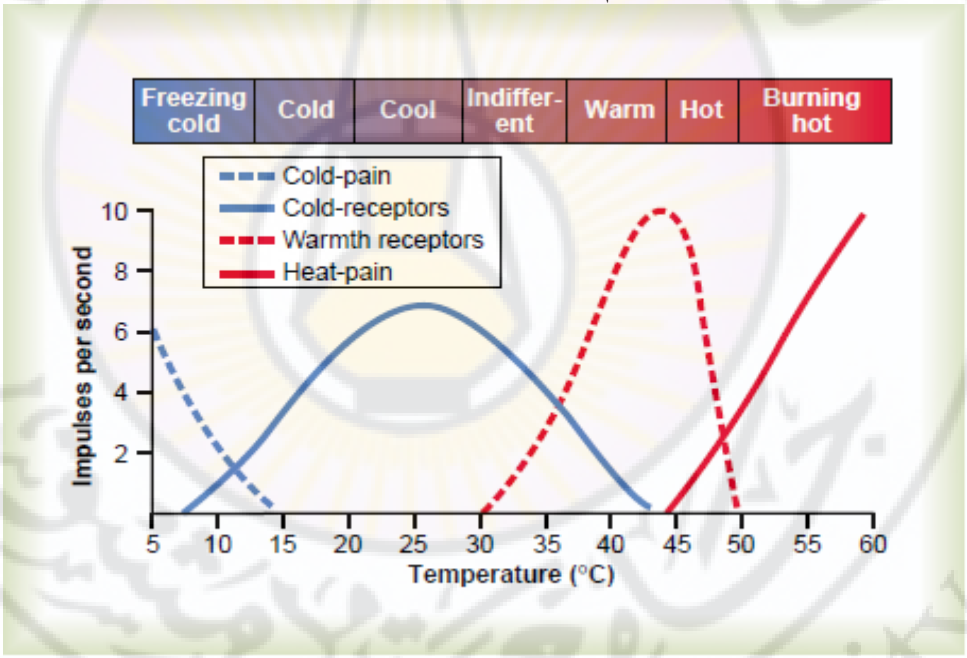
عدد مستقبلات الدفء، ويختلف عدد المستقبلات باختلاف مناطق الجسم فيبلغ عدد مستقبلات البرد من ١٥ــ٢٥ في سم^{٢} من الشفتين، و٣ـ٥ /سم^{٢} في الإصبع، وأقل من واحدة/سم^{٢} في مناطق سطحية واسعة من الجذع.

يوضح الشكل (١٤) تأثيرات درجات الحرارة المختلفة على استجابة أربعة ألياف عصبية مختلفة:

١. ليف ألمي يتنبه بالبرد.
٢. ليف يتنبه بالبرد.
٣. ليف يتنبه بالدفء.
٤. ليف ألمي يتنبه بالسخونة.

ويلاحظ أن هذه الألياف تستجيب بشكل مختلف عند درجات الحرارة المختلفة، فعلى سبيل المثال تتنبه ألياف الألم البارد فقط في المنطقة الباردة جداً (حتى لو أصبح الجلد أكثر برودة أو وصل إلى درجة التجمد فإنه حتى هذه الألياف لا تتنبه).

وعندما ترتفع درجات الحرارة إلى ١٠ _ ١٥ ْم تتوقف الدفعات الألمية ويبدأ تنبيه مستقبلات البرد، وعندما تتجاوز درجة الحرارة ٣٠ ْم تتنبه مستقبلات الدفء وتتناقص درجة تنبه مستقبلات البرد بدءاً من درجة ٢٥ ْم وتتخامد تماماً عند درجة ٤٣ ْم وأخيراً تعود الألياف الألمية لتتنبه بالحرارة عند درجة ٤٥ ْم تقريباً.



الشكل(١٤) : يوضح تأثيرات درجات الحرارة المختلفة على استجابة أربعة ألياف عصبية مختلفة.

تلاؤم المستقبلات الحرورية

عندما تتعرض مستقبلة البرد لانخفاض مفاجئ في درجة الحرارة، فإنها تتنبه بشدة في البداية لكن هذا التنبه يتخامد بسرعة خلال عدة ثوان ثم بشكل أبطأ بالتدريج خلال ثلاثين دقيقة أو أكثر بمعنى آخر فإن مستقبلة البرد تتلاءم إلى درجة كبيرة دون أن تصل إلى ١٠٠% من التلاؤم. ولذلك فمن الواضح أن الحواس الحرارية تستجيب بشكل ملحوظ لتغيرات درجة الحرارة إضافة إلى أنها قادرة على الاستجابة لدرجات الحرارة الثابتة. وهذا يعني أن المرء يشعر ببرودة أكثر عندما تنخفض درجة حرارة الجلد مما لو بقيت عند المستوى نفسه (يشعر المرء ببرودة أكثر عندما تنخفض درجة حرارة الجلد من ١٠ ْم إلى ٨ ْم أكثر من عند بقائها في الدرجة ٨ ْم لفترة طويلة) . وبشكل معاكس عندما ترتفع درجة الحرارة يشعر المرء بدفء أعظم مما لو كانت الدرجة نفسها من الحرارة ثابتة.

حس الألم

الألم هو إحساس غير سار ويعد الألم آلية وقائية للجسم فهو يحدث عندما يتأذى أي نسيج مما يدفع المرء إلى القيام بإزالة المنبه المؤلم أو أنه ينشد النصيحة الطبية أو المساعدة الطبية.

مستقبلات الألم Pain receptors

إن جميع مستقبلات الألم هي نهايات عصبية حرة، وهي واسعة الانتشار بالطبقات السطحية من الجلد و في نسج داخلية معينة (كالسمحاق والسطوح المفصلية وجدر الشرايين ومنجل وخيمة القبو القحفي)، أما معظم النسج العميقة الأخرى فهي فقيرة بالنهايات الألمية، وتكون هذه النهايات الألمية غير موجودة في برانشيم الكبد والأسناخ الرئوية والنسيج الدماغي. تثار هذه المستقبلات الألمية بثلاث أنواع من المنبهات وطبقاً لذلك تقسم إلى:

أ- المستقبلات الآلية Mechanical pain receptors وتستجيب للتمطط الآلي.

ب- المستقبلات الحرورية Thermal pain receptors
و تستجيب لزيادة الحرارة أو زيادة البرودة.

ج- المستقبلات الكيميائية Chemical pain receptors
تتضمن المواد الكيميائية التي تثير النمط الكيميائي من المستقبلات الألمية كلاً من:

- البراديكينين
- السيرتونين
- شوارد البوتاسيوم
- الأستيل كولين
- الأنزيمات الحالة للبروتين
- الحموض.
- إضافة إلى ذلك فإن البروستاغلاندينات تعزز حساسية النهايات الألمية و لكن لا تثيرها بشكل مباشر.

هذا لا يعني أن المستقبلات الآلية لا تستجيب للمنبهات الحرارية أو الكيميائية و إنما يمكن لمعظم الألياف الألمية أن تثار بأنماط عدة من المنبهات لكن تستجيب بشكل أفضل للمنبه الملائم.

آليات تنبيه المستقبلات الألمية:

١- الأذية النسيجية: تسبب مستخلصات النسج المتأذية ألماً شديداً عندما تزرق تحت الجلد السوي، إذ تحوي هذه المستخلصات جميع المواد الكيميائية المذكورة سابقاً و التي تثير المستقبلات الألمية الكيميائية، و يبدو أن البراديكينين المادة الأكثر إيلاماً على الإطلاق كما وجد أيضاً أن شدة الألم ذات علاقة بالازدياد الموضعي لشوارد البوتاسيوم أيضاً ويجب أن نتذكر أن الأنزيمات حالة البروتينات تستطيع أن تهاجم النهايات العصبية مباشرة فتثير الألم بجعل أغشية النهايات العصبية أكثر نفوذاً للشوارد. إن إطلاق مثيرات الألم المختلفة لا تنبه النهايات الألمية الكيمائية فقط وإنما تنقص بشكل كبير عتبة تنبه المستقبلات الألمية الحساسة للحرارة و المنبهات الميكانيكية ومثال ذلك الألم الشديد الناجم عن المنبهات الحرارية والآلية البسيطة التالية للتأذي النسيجي بحرق الشمس.

٢- الإقفار النسيجي:عندما يتوقف جريان الدم إلى النسيج فإن هذا النسيج يصبح مؤلماً جداً خلال عدة دقائق وكلما ازداد معدل الاستقلاب النسيجي تسارع الألم بالظهور.

إن أحد الأسباب المقترحة للألم بالإقفار هو تجمع كميات كبيرة من حمض اللاكتيك في النسج بسبب الاستقلاب اللاهوائي، ومن المحتمل أن تتشكل في النسج عوامل كيميائية أخرى أيضاً

كالبراديكينين والأنزيمات حالة البروتين، وهذه المواد إضافةً لحمض اللاكتيك تنبه المستقبلات الألمية.

٣- التشنج العضلي: يعد التشنج العضلي سبباً شائعاً جداً للألم وقد ينجم هذا الألم بشكل جزئي من:

- التأثير المباشر للتشنج العضلي في تنبيه مستقبلات الألم الحساسة آلياً.
- و قد ينجم أيضاً من التأثير غير المباشر للتشنج العضلي في ضغط الأوعية الدموية و إحداث الإقفار.
- كما أن التشنج يزيد معدل الاستقلاب في النسيج العضلي في الوقت نفسه محدثاً إقفاراً نسبياً قد يكون شديداً.

عتبة الإحساس بالألم Threshold of pain

إن عتبة الألم هي نفسها في جميع الناس ولكن الإرتكاس للألم يختلف من شخص لآخر. يبدأ الإنسان الطبيعي بالشعور بالألم عندما تتجاوز حرارة الجلد ٤٥ درجة، ويكون رد الفعل أو الاستجابة للألم بـ:

١- المنعكسات الحركية:

- منعكس السحب و الغاية منه سحب و إبعاد الجزء المتأذي عن المنبه المؤلم.
- ازدياد المقوية العضلية فوق المنطقة المتأذية (ازدياد المقوية العضلية لعضلات البطن في التهاب الزائدة).

٢- الاستجابات الذاتية Autonomic reaction تسرع القلب، ارتفاع التوتر الشرياني في الألم الحاد، الغثيان في الألم المزمن.

٣- الاستجابات العاطفية Emotional reaction البكاء، القلق في الألم الحاد، الكآبة في الألم المزمن.

تلاؤم مستقبلات الألم Adaptation

خلافاً لمعظم المستقبلات الحسية الأخرى في الجسم، فإن تلاؤم مستقبلات الألم ضئيل جداً، وأحياناً لا تتلاءم مطلقاً.

في الحقيقة تزداد استثارة الألياف الألمية بشكل مطرد في بعض الظروف ما دام المنبه مستمراً. و تدعى هذه الزيادة في حساسية مستقبلات الألم فرط التألم.

ويمكن للمرء أن يدرك أهمية عدم تلاؤم مستقبلات الألم إذ أن ذلك يجعل الشخص يقظاً للمنبه المؤذي الذي بسبب الألم ما دام مستمراً.

أنماط الألم Types of pain sensation

١. الألم السريع:

- يحدث الألم السريع خلال ٠.١ ثانية تقريباً عند تطبيق منبه ألمي ويستمر لمدة قصيرة.
- يثار بالأنماط الحرارية و الميكانيكية من المستقبلات.
- حسن التوضع.
- يحمل بواسطة الألياف A دلتا التي يمكن إحصارها بالضغط ونقص O_2 وهي تنتهي في القشرة الدماغية. وبعضها إلى الـ RAS (Reticular activating system)
- لا يشاهد هذا النوع من الألم(في الحالات العادية) في الأنسجة العميقة ومع ذلك يمكن أن يحدث عندما يوجد التهاب في الجنب الجداري أو في البريتوان أو في الأغشية المفصلية.

٢- الألم البطيء: ويدعى أيضاً الألم المحرق Burning p والألم الموجع Aching p والألم الغثياني Nauseous p والألم المزمن Chronic p وخصائص هذا النوع من الألم:

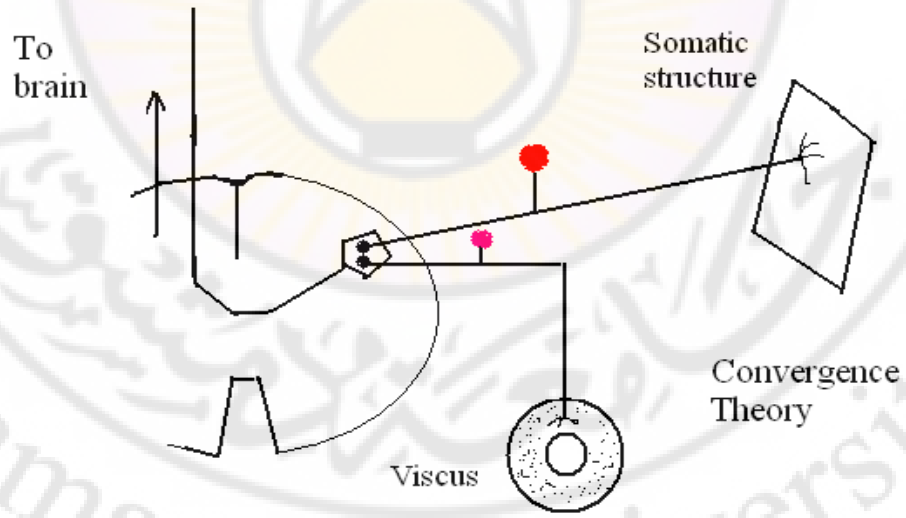
- يمكن الشعور به بعد ثانية أو أكثر من تطبيق المنبه المؤلم و يزداد في شدته مع الزمن.
- يثار بتنبيه كل المستقبلات الألمية.
- توضعه غير دقيق Poorly localized.
- يحمل بواسطة الألياف C التي يمكن إحصارها بالمخدرات الموضعية.
- يمكن أن يحدث في الجلد و في أي نسيج آخر.

الألم الرجيع Referred Pain

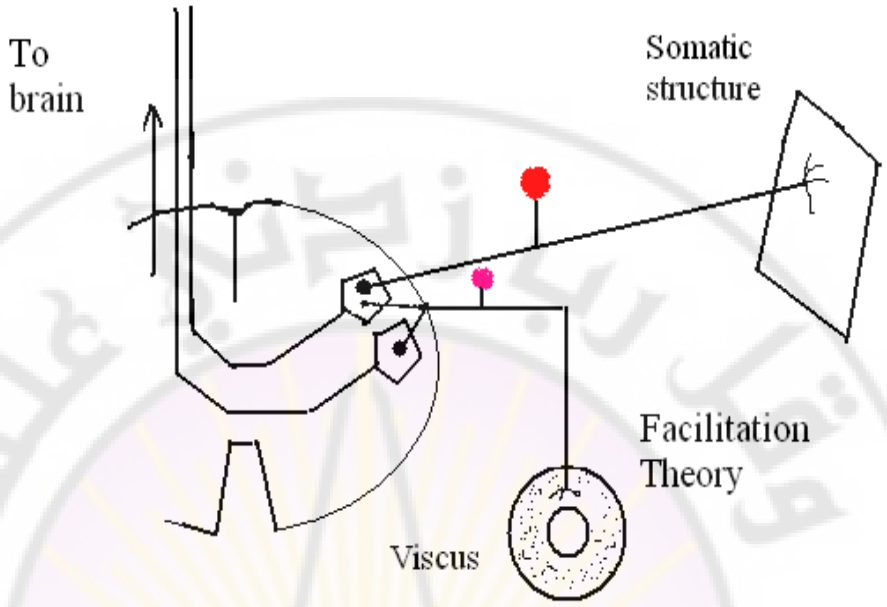
هو الشعور بالألم في المنطقة السطحية التي تنشأ من نفس الباشرة (Dermatome) للمنطقة المؤوفة أي باختصار الشعور بالألم في مكان بعيد عن مصدره الأصلي (الألم القلبي قد يشعر به في المنطقة الواقعة بين الفك السفلي والذراع اليسرى).

آلية حدوث الألم الرجيع:

- تتقارب ألياف الألم من الجلد والمنطقة الحشوية على نفس العصبون في المادة الهلامية لرولاندي (العصبون الثاني) أو يحدث التقارب في المهاد (العصبون الثالث) وبغض النظر عن مكان الألم فإن قشر الدماغ يتخيل أن الألم مكانه في الجلد باعتبار الجلد مكان شائع للألم (الشكل ١٥) .
- النظرية التسهيلية : يعطي العصبون الحشوي فرع إلى العصبون الجسدي والنتيجة تكون كما في السابق الشكل (١٦).



الشكل (١٥). نظرية التقارب في تفسير حس الألم الرجيع .



الشكل(١٦) النظرية التسهيلية في تفسير حس الألم الرجيع.

The Thalamus المهاد

Functional anatomy التشريح الوظيفي

يوجد في الجسم مهادين يتبع كل واحد منهما لنصف كرة مخية. يدعى المهاد سكرتير الدماغ، وسبب هذه التسمية هو أن أي إشارة حسية تصعد إلى قشرة المخ يجب أن تمر عبر المهاد، كما أن إحدى وظائف المهاد هي ترتيب الإشارات الحسية بحسب شكل الإحساس ومكان نشوئه ثم إرساله إلى قشرة الدماغ.

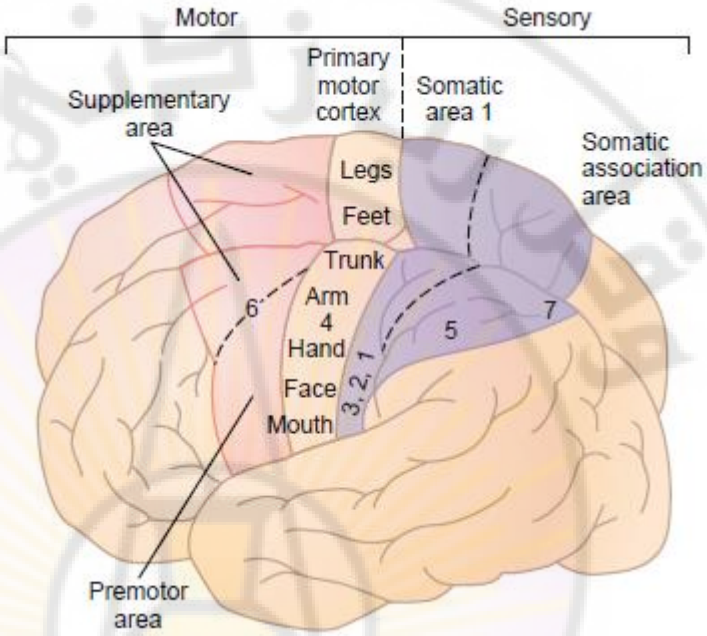
كما أن من الوظائف الأخرى للمهاد هي حصر الإشارات الحسية غير المهمة مانعاً إياها من الوصول إلى القشرة الدماغية. لا بد من أن نشير إلى أن الإشارات الحسية الوحيدة التي تصل القشرة دون المرور في المهاد هي الإشارات الحسية الشمية.

Somatic sensory cortex القشرة الحسية الجسدية

قبل أن نبحث دور القشرة المخية في الأحاسيس الجسدية، يجب أن نلقي نظرة على الباحات المختلفة في القشرة. يمثل الشكل (١٧) خريطة للقشرة الدماغية البشرية حيث يظهر أن القشرة مقسمة إلى ما يقرب ٥٠ باحة متميزة تدعى باحات برودمان بناءً على فوارق بنيوية نسيجية. ولهذه الخريطة أهمية كبرى تكمن في أنها تستعمل من قبل جميع الاختصاصيين بالفيزيولوجيا العصبية وأطباء الأعصاب في الإشارة إلى مختلف الباحات الوظيفية للقشرة المخية البشرية.

ويلاحظ في الشكل الشق المركزي الكبير (الذي يدعى بالثلم المركزي Central sulcus) والذي يمتد بشكل أفقي عبر الدماغ. وبشكل عام، تنتهي الإشارات الحسية من جميع الأشكال الحسية في القشرة المخية خلف الشق المركزي. وبشكل عام أيضاً فإن النصف الأمامي من الفص الجداري

يكون معنياً بالكامل بإدراك وترجمة الإشارات الحسية الجسدية، بينما يكون النصف الخلفي معنياً بالمستويات العالية من الترجمة. تنتهي الإشارات البصرية في الفص القذالي بينما تنتهي الإشارات السمعية في الفص الصدغي.ومن ناحية أخرى فإن القسم من القشرة الواقع أمام الشق المركزي ومكونات من النصف الخلفي للفص الصدغي يكون مكرساً على الأغلب بالكامل للتحكم بالعضلات وحركات الجسم. تشارك الأقسام الحسية بشكل كبير في التحكم بهذه الحركات عن طريق إرسال إشارات إلى المنطقة الحركية تقوم هذه الإشارات بشكل مستمر بإعطاء معلومات عن أوضاع وحركات مختلف أجزاء الجسم.



الشكل(١٧):القشرة الحسية الجسدية

الباحات الحسية الجسدية I و II:

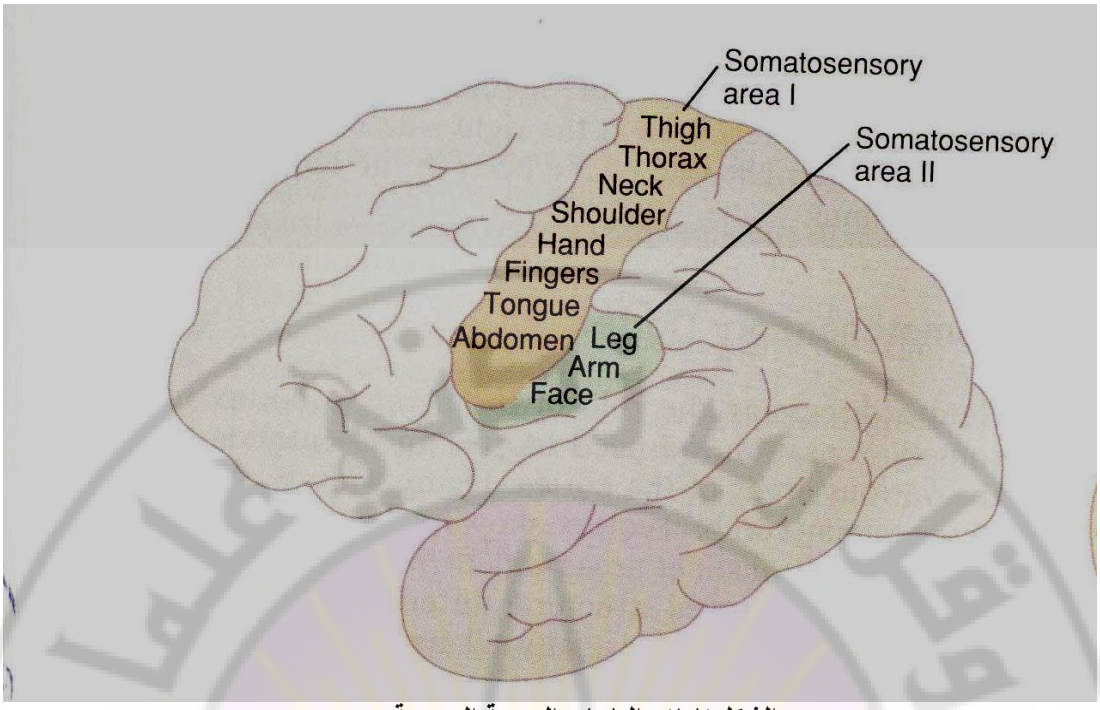
يظهر الشكل (١٨) باحتين في الناحية الأمامية من الفص الجداري تدعيان الباحة الحسية الجسدية I والباحة الحسية الجسدية II.

يعود سبب تقسيم هذه المناطق الحسية إلى باحتين منفصلتين إلى وجود تمثيل مكاني لمختلف أجزاء الجسم بشكل مختلف على هاتين الباحتين.

ومع ذلك، فإن الباحة الحسية الجسدية I هي أكبر من حيث الحجم وأكثر أهمية من الباحة الجسدية II من حيث الاستخدام الشائع popular usage.

ومن هنا كان تعبير القشرة الحسية الجسدية على الأغلب دائماً يعني المنطقة I. تملك الباحة الحسية الجسدية I درجة عالية من التوضع لمختلف أجزاء الجسم كما يظهر الشكل (٤). بالمقابل فإن درجة التوضع يكون ضعيفاً في الباحة الحسية الجسدية II وعلى الرغم من ذلك يظهر بعض التوضع في هذه الباحة بشكل خشن بأن يمثل الوجه في الأمام واليدين في الوسط والرجلين في الخلف من هذه الباحة.

وهكذا فإن القليل من المعرفة متوافر حول وظيفة الباحة الحسية الجسدية II. من المعروف أن بعض الإشارات تدخل إلى هذه المنطقة قادمة من جذع الدماغ ناقلة إشارات صاعدة من كلتا جهتي الجسم. بالإضافة إلى ذلك، يأتي بشكل ثانوي العديد من الإشارات من الباحة الحسية الجسدية I ومن المناطق الحسية الأخرى للدماغ وحتى من المناطق الحسية البصرية والسمعية. بالمقابل فإن وظائف الباحة الحسية الجسدية I قد درست بتفصيل كبير وإن أغلب ما نعرفه عن الإحساسات الجسدية قد يتوضح بمعرفتنا وظائف الباحة الحسية الجسدية I.

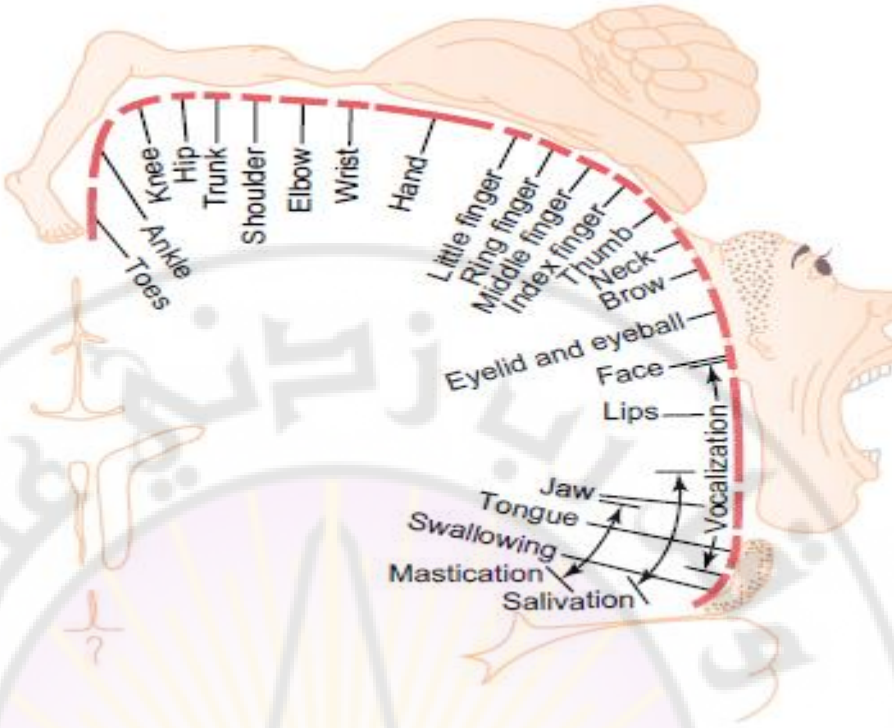


الشكل(١٨): الباحات الحسية الجسدية I و II:

تمثيل الجسم على الباحة الحسية الجسدية I :

تتوضع الباحة الحسية الجسدية I مباشرة خلف الشق المركزي، في التلفيف خلف المركزي من القشرة المخية البشرية (في باحات برودمان ٣ و ١ و ٢) وتملك هذه الباحات ترتيب مكاني مميز لاستقبال الإشارات العصبية الحسية من مناطق الجسم المختلفة. يظهر الشكل (١٩) مقطعاً عرضياً عبر الدماغ عند مستوى التلفيف خلف المركزي، موضحاً تمثيل مختلف مناطق الجسم في مناطق منفصلة من الباحة الحسية الجسدية I. ويلاحظ أن كل جانب من القشرة يتلقى معلومات حسية من الجانب المقابل للجسم وذلك بشكل حصري (باستثناء الوجه الذي يتلقى كمية قليلة من المعلومات الحسية من نفس الجانب).

تمثل بعض مناطق الجسم بباحات كبيرة من القشرة الجسدية الحسية، أكبرها الشفتان ثم الوجه والإبهام، بينما يمثل كامل الجذع والقسم السفلي من الجسم بمناطق صغيرة نسبياً. تتناسب حجوم هذه الباحات طرداً مع عدد المستقبلات الحسية الخاصة بكل منطقة محيطية من الجسم.



الشكل(١٩): تمثيل الجسم على الباحة الحسية الجسدية I :

- التحكم القشري بالحساسية الحسية

Cortical control of sensory sensitivity

بالإضافة إلى الإشارات الحسية الجسدية المنقولة من المحيط إلى الدماغ، يتم نقل إشارات قشرية صادرة بالطريق الراجع من القشرة المخية إلى المحطات الحسية السفلى (المهاد، البصلة، النخاع الشوكي)، وهذه الإشارات تتحكم بحساسية الإشارات الواردة. وتعد الإشارات القشرية الصادرة إشارات مثبطة، فعندما تصبح شدة الإشارة الواردة كبيرة جداً، تقوم هذه الإشارات بشكل تلقائي بإنقاص النقل في نوى المحطات.

الوظائف التكاملية للمراكز العصبية

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

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

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

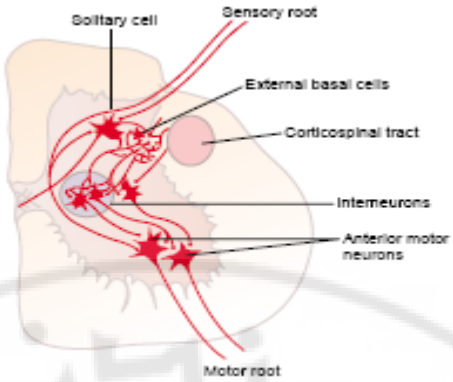
القسم الحركي للجهاز العصبي
يتضمن القسم الحركي للجملة العصبية الطرق العصبية التي تتحكم بنموذج وتتالي التقلصات العضلية، تؤدي هذه التقلصات العضلية إلى اتخاذ الجسم لمختلف الأوضاع وإلى المنعكسات والفعاليات المنتظمة (الحركات الإرادية).

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

الوظائف المحركة للنخاع الشوكي

تتكامل المعلومات الحسية عند جميع مستويات الجهاز العصبي وتؤدي إلى إحداث الاستجابات الحركية المناسبة ابتداءً من النخاع الشوكي حيث تحدث المنعكسات البسيطة نسبياً ومروراً بجذع الدماغ حيث تصبح الاستجابات أكثر تعقيداً حتى تصل في النهاية إلى المخ حيث يتم التحكم بالاستجابات المعقدة جداً، ولمعرفة الآلية التي يتحكم بها النخاع الشوكي بالوظائف العضلية لا بد من الإشارة إلى النخاع الشوكي ليس مجرد قناة للإشارات الحسية الذاهبة إلى الدماغ أو الإشارات المحركة العائدة من الدماغ إلى المحيط فحسب، إنما الحقيقة تقول أنه لا يمكن لمعظم أجهزة التحكم المحركة الأساسية في الدماغ أن تحدث أية حركة عضلية هادفة بدون الدارات العصبونية النخاعية، وكمثال على ذلك لا توجد أي دارة عصبونية في الدماغ تحدث الحركة النوعية للساقين نحو الأمام والخلف الضرورية للمشي، بل توجد هذه الدارات في النخاع الشوكي ويقوم الدماغ بإرسال أوامر كي تُبدئ عملية المشي، ومع ذلك ضمن شروط معينة يمكن جعل الكلاب أو القطط (التي تم فصل نخاعها الشوكي عن الدماغ في مستوى الرقبة) تمشي.
وعلى أي حال لا يمكن التقليل من دور الدماغ، لأن الدماغ هو الذي يعطي التوجيهات المتتالية للفعالية النخاعية فهو الذي يحض على حركات الدوران عندما تكون مطلوبة ويحني الجسم نحو الأمام عند الجري، ويغير الحركات من المشي إلى القفز عند الحاجة، ويراقب باستمرار ليتحكم بالتوازن، ويتم القيام بكل ما تم ذكره سابقاً عبر إشارات آمرة قادمة من الدماغ، ولكن وعلى الرغم من ذلك فهناك حاجة أيضاً إلى الدارات العصبونية الكثيرة للنخاع الشوكي والتي هي نفسها أهداف هذه الأوامر. تؤمن هذه الدارات بدورها جميع هذه الدارات ولكن جزءاً صغيراً من التحكم المباشر بالعضلات.

تنظيم النخاع الشوكي للوظائف المحركة:
تعد المادة السنجابية النخاعية باحة متكاملة للمنعكسات النخاعية والوظائف المحركة الأخرى يوضح الشكل (٢٠) التنظيم النموذجي للمادة السنجابية النخاعية في شدفة نخاعية مفردة، حيث تدخل الإشارات الحسية النخاع بشكل كامل تقريباً عبر الجذور الحسية، تسير كل إشارة حسية بعد دخولها النخاع إلى مكانين منفصلين:
١) ينتهي أحد فرعي العصب الحسي في المادة السنجابية للنخاع ويثير منعكسات شدفية موضعية بالإضافة إلى تأثيرات أخرى.
٢) يوصل فرع آخر إشارته إلى المستويات العليا من الجهاز العصبي (إلى المستويات الأعلى من النخاع نفسه وإلى جذع الدماغ وحتى إلى القشرة المخية).



الشكل(٢٠) التنظيم النموذجي للمادة السنجابية النخاعية في شدفة نخاعية مفردة

تحوي كل شدفة من النخاع الشوكي عدة ملايين من العصبونات في مادتها السنجابية فبالإضافة إلى العصبونات الحسية، تنقسم العصبونات المتبقية إلى نمطين منفصلين:

١. العصبونات المحركة الأمامية:

يتوضع في كل شدفة من القرون الأمامية للمادة السنجابية النخاعية عدة آلاف من العصبونات الكبيرة نسبياً (أكبر من العصبونات الأخرى بـ ٥٠ــ١٠٠% في الحجم)، تدعى بالعصبونات المحركة الأمامية، تنشأ من هذه العصبونات الألياف العصبية التي تغادر النخاع الشوكي عبر الجذور الأمامية وتعصب الألياف العضلية الهيكلية ويوجد نمطان من هذه العصبونات:

- العصبونات المحركة ألفا (Alpha motor neurons) ينشأ من هذه العصبونات ألياف عصبية ضخمة من النمط (Aα) والتي يتراوح قطرها مابين ٩-٢٠ ميكرومتر وهي تعصب الألياف العضلية الهيكلية الضخمة، يثير تنبه ليف عصبي مفرد من ثلاثة إلى عدة آلاف من الألياف العضلية الهيكلية والتي يدعى مجموعها بالوحدة المحركة.
- العصبونات المحركة غاما تتوضع إلى جانب العصبونات المحركة ألفا وهي اصغر منها حجماً وأقل عدداً (يبلغ عددها نصف عدد عصبونات ألفا تقريباً)، وتعطي هذه العصبونات المنشأ لألياف من النمط (A Gamma) التي تنقل الدفعات إلى ألياف عضلية هيكلية خاصة صغيرة جداً تدعى الألياف داخل المغزل (جزء من المغزل العضلي).

٢. العصبونات البينية (Interneurons)

توجد هذه العصبونات البينية في جميع مناطق المادة السنجابية النخاعية (في القرون الظهرية وفي القرون الأمامية وفي المناطق المتوسطة بينهما)، هذه العصبونات أكثر عدداً من العصبونات المحركة الأمامية بنحو ثلاثين ضعفاً، كما أنها صغيرة ومستثارة (Excitable) بشدة وغالباً ما تظهر فعالية تلقائية وقدرة على الإطلاق بمعدل ١٥٠٠ مرة بالثانية بالإضافة إلى ذلك فإن هذه العصبونات تملك اتصالات بينية كثيرة فيما بينها ويعصب الكثير منها مباشرة العصبونات المحركة الأمامية كما هو مبين في الشكل (20).

إن الاتصالات بين العصبونات البينية وبين العصبونات المحركة الأمامية مسؤول عن الكثير من الوظائف التكاملية للنخاع الشوكي.

توجد بشكل أساسي جميع الأنماط المختلفة للدارات العصبونية في جميعة pool الخلايا العصبونية في النخاع الشوكي، وهي تتضمن دارات التقارب والتباعد ودارات التفريغ المتكرر وسنرى لاحقاً الكثير من استعمالات مختلف هذه الدارات لإنجاز أفعال انعاكسية نوعية من قبل النخاع الشوكي.

تنتهي فقط القليل من الإشارات الحسية القادمة من المحيط أو الإشارات الحركية القادمة من الدماغ إلى العصبونات المحركة الأمامية مباشرة، بينما ينقل معظمها عبر عصبونات بينية أولاً

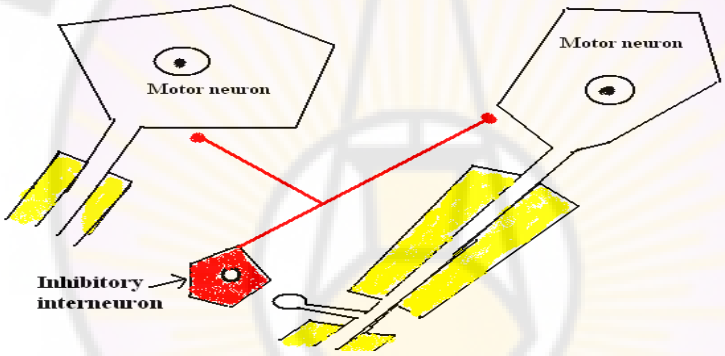
حيث تتم معاملتها بشكل مناسب ثم ترسل إلى العصبونات المحركة الأمامية للتحكم بالوظائف العضلية، وكمثال على هذه العصبونات البينية توجد جملة خلايا رنشاو المثبطة.

جملة خلايا رنشاو المثبطة (Renshaw cell Inhibitory system)

يتوضع في القرون البطنية للنخاع الشوكي عدد كبير من العصبونات البينية الصغيرة وهي على صلة وثيقة بالعصبونات المحركة تدعى خلايا رنشاو.

بعد أن يغادر المحور جسم العصبون المحرك الأمامي تمر على الأغلب فروع منه إلى خلايا رنشاو المجاورة، وهي خلايا مثبطة تقوم بدورها بإرسال إشارات مثبطة إلى العصبونات المحركة المجاورة، وهكذا فإن تنبيه كل عصبون محرك يفضي إلى تثبيط العصبونات المحركة المحيطة به ويدعى هذا التأثير بالتأثير المثبط الراجع ومن المحتمل أن يكون هذا التأثير هاماً للسبب الرئيسي التالي:

لقد تبين أن الجملة المحركة تستخدم مبدأ التثبيط الجانبي كي تركز أو تزيد حدة إشارتها باتجاه معين في حين تثبط ميل الإشارات للانتشار إلى العصبونات المجاورة كما يظهر الشكل (٢١).



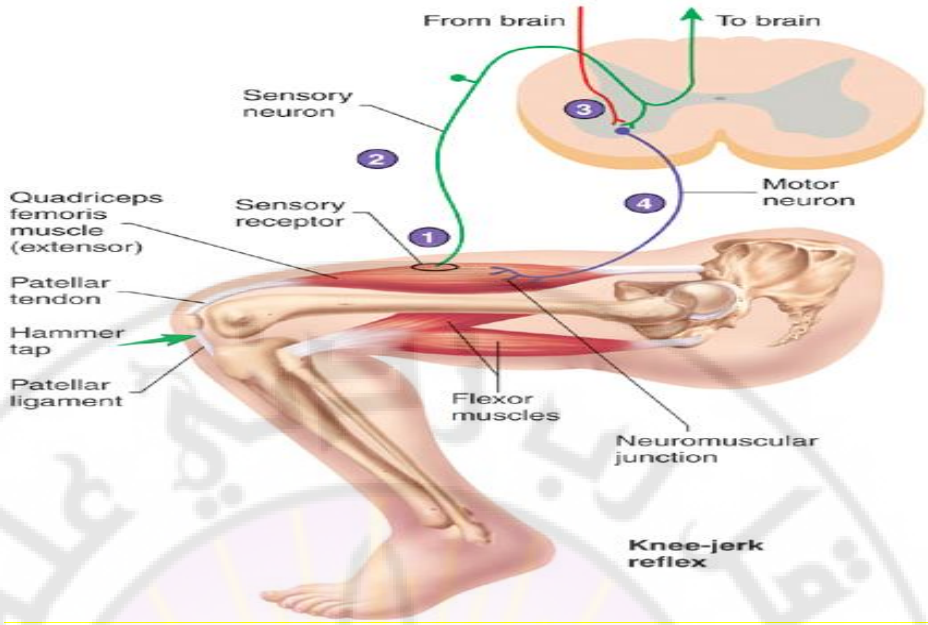
الشكل (٢١). جملة خلايا رنشاو المثبطة.

المنعكسات النخاعية (Spinal Reflexes)

يوجد نوعين من المنعكسات النخاعية

(١) منعكس وحيد المشبك. (٢) منعكس متعدد المشابك.

١. المنعكس وحيد المشبك (Monosynaptic reflex).الشكل(٢٢).



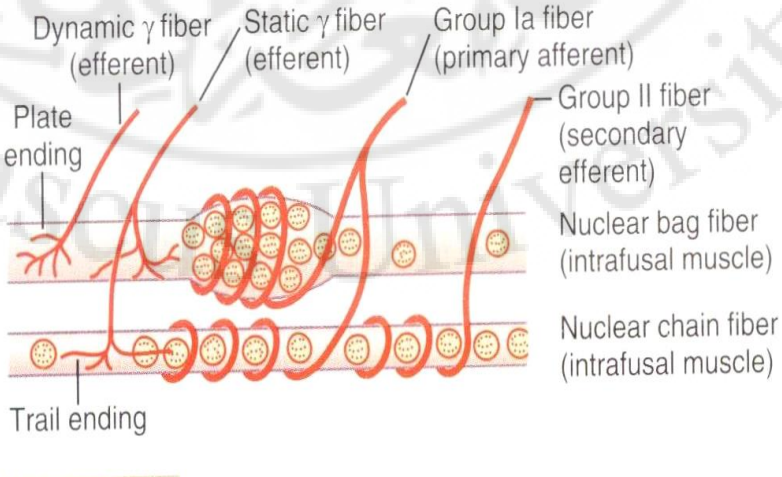
الشكل(٢٢).منعكس التمطط العضلي.

يوجد في الجسم منعكس واحد فقط وحيد المشبك هو منعكس التمطط العضلي وقبل دراسة هذا المنعكس يجب التعرف على المستقبلات الموجودة في العضلات وآلية عملها.

يجب معرفة حقيقة هامة مفادها أن التحكم المناسب بالوظيفة العضلية لا يقتضي إثارة العضلة بواسطة العصبونات المحركة الأمامية بل لا بد من وجود تلقيم راجع مستمر للمعلومات من كل عضلة إلى الجهاز العصبي تبين حالة العضلة في كل لحظة ولتأمين هذه المعلومات زودت العضلات وأوتارها بشكل غزير بنمطين من المستقبلات الحسية:

- المغازل العضلية (Muscle spindles) وتنتشر في كل أنحاء بطن العضلة وترسل معلومات عن طول العضلة وعن معدل تغير طولها إلى الجهاز العصبي.
- أعضاء غولجي الوترية (Golgi Tendon organs) وتتوضع في أوتار العضلة وترسل المعلومات عن التوتر ومعدل تغير هذا التوتر (التقلص العضلي).

بنية وتعصيب المغزل العضلي:



الشكل(٢٣).بنية وتعصيب المغزل العضلي.

يبين الشكل (٢٣) التنظيم الفيزيولوجي للمغزل العضلي، يبلغ طول المغزل العضلي من ٣-١٠ ملم طولاً وهو عبارة عن ألياف عضلية هيكلية صغيرة تدعى الألياف داخل المغزل لتمييزها عن الألياف العضلية الهيكلية الكبيرة نسبياً والتي تدعى الألياف خارج المغزل وهي متصلة بنهايتها بطريقة حيث تؤدي إطالة أو قصر الألياف العضلية خارج المغزل إلى إطالة أو قصر الألياف داخل المغزل، ويوجد نوعين من هذه الألياف العضلية داخل المغزل:

- الألياف ذات الأكياس النووية (١-٣ في كل مغزل) حيث تتجمع النوى في كيس متمدد في الجزء المركزي من هذا الليف.
- الألياف ذات السلاسل النووية (٣-٩ في كل مغزل) ويبلغ قطرها نحو نصف قطر الألياف ذات الأكياس النووية وطولها نحو نصف تلك الألياف.

إن الجزء المركزي من هذه الألياف داخل المغزل بنوعيها غير قادر على التقلص لعدم احتواء أليافه على الأكتين والميوزين أو لوجود كمية قليلة جداً منها، وإنما يلعب دور مستقبل في حين أن الجزء المحيطي من المغزل قادر على التقلص لاحتواء أليافه على الأكتين والميوزين.

يتلقى المغزل العضلي نوعين من التعصيب تعصيب حسي وتعصيب حركي.

التعصيب الحسي للمغزل العضلي:

يعتبر الجزء المركزي من الألياف داخل المغزل بنوعيها هو المستقبل الحسي للمغزل العضلي ويوجد نمطان من النهايات الحسية في هذه المنطقة:

١. النهاية الأولية (primary ending)

يطوق ليف حسي ضخم الجزء المركزي من كل ليف داخل المغزل في المنطقة المركزية للمستقبلة مشكلاً ما يدعى النهاية الأولية أو النهاية الحلقية الحلزونية وهذا الليف العصبي هو ليف من النمط (I_a) يبلغ متوسط قطره ١٧ ميكرون وهو ينقل الإشارات الحسية إلى النخاع الشوكي بسرعة ٧٠-١٢٠ م/ثا.

٢. النهاية الثانوية (Secondary ending)

يعصب عادة واحد وأحياناً اثنين من الألياف العصبية الحسية الصغيرة (من النمط II والتي يبلغ قطرها ٨ ميكرون) المنطقة المستقبلة عند أحد جانبي النهاية الأولية، وتدعى هذه النهاية النهاية الثانوية أو أحياناً نهاية الغصن المزهر.

الاستجابة السكونية (Static response)

عندما يمطط القسم المستقبل من المغزل العضلي ببطء، يزداد عدد الدفعات المرسلة من كلا النهايات الأولية والثانوية مباشرة بشكل يناسب درجة التمطط ويدعى هذا الفعل بالاستجابة السكونية لمستقبلة المغزل ويعني هذا ببساطة أن كلتا النهايتين الأولية والثانوية تستمر بإرسال إشاراتها طوال فترة بقاء المستقبلة ممططة، وبما أن الألياف داخل المغزل ذات السلاسل النووية هي فقط التي تعصب بالنهايات الأولية والثانوية لذلك يعتقد أن الألياف ذات السلاسل النووية هي المسؤولة عن الاستجابة السكونية.

الاستجابة الدينمية (Dynamic response)

عندما يزداد طول مستقبلة المغزل بشكل مفاجئ، تتنبه النهاية الأولية بشدة (بينما لا تتنبه النهاية الثانوية) ويكون التنبيه أكثر شدة من التنبيه الناجم عن الاستجابة السكونية، ويدعى هذا التنبه الشديد للنهاية الأولية بالاستجابة الدينمية (الاستجابة الحركية)، والتي تعني أن النهاية الأولية تستجيب بفعالية شديدة لتغير الطول المفاجئ. فعندما يزداد طول مستقبلة المغزل جزءاً من الميكرون ويحدث هذا في جزء من الثانية، ترسل المستقبلة الأولية عدداً هائلاً من الدفعات القوية

عبر الألياف (I_a) ولكن معدل انفراغ الدفعات يستمر طالما أن هناك تزايد فعلي في الطول، ويتوقف عندما تتوقف زيادة الطول.
وعلى العكس من ذلك، عندما تقصر مستقبلة المغزل فإن هذا التغير يؤدي فوراً إلى إنقاص الدفعات الناتجة عن النهاية الأولية ولكن حالما تصل المستقبلة إلى طولها الأقصر الجديد تظهر الدفعات مرة أخرى.
وبما أن النهايات الأولية هي الوحيدة التي تنقل الاستجابة الدينمية والألياف داخل المغزل ذات الأكياس النووية هي فقط التي تملك نهايات أولية. أفترض أن الألياف ذات الأكياس النووية هي المسؤولة عن الاستجابة الدينمية القوية.

التعصيب الحركي للمغزل العضلي:
يمكن تقسيم الأعصاب المحركة غاما (تنشأ هذه الألياف العصبية من العصبونات المحركة غاما الموجودة في القرون الأمامية للنخاع الشوكي) إلى نمطين مختلفين:
١. ألياف غاما الدينمية تثير هذه الألياف العصبية الألياف داخل المغزل ذات الأكياس النووية بشكل رئيسي وتؤدي إثارتها إلى تعزيز الاستجابة الدينمية في المغزل العضلي بشدة، بينما لا تتأثر الاستجابة السكونية أو تتأثر بصعوبة.
٢. ألياف غاما السكونية: تثير هذه الألياف العصبية الألياف داخل المغزل ذات السلاسل النووية بشكل رئيسي علماً أن تعصب كل النوعين من الألياف داخل المغزل أي أن تنبه هذه الألياف يعزز الاستجابة السكونية في حين أنه لا يملك سوى تأثيراً بسيطاً على الاستجابة الدينمية.

التفريغ المستمر للمغازل العضلية في الحالة السوية:
تصدر المغازل العضلية (في الحالة السوية) دفعات عصبية حسية بشكل مستمر وخاصة إذا كان هناك كمية طفيفة من الإثارة بألياف غاما المحركة، يؤدي تمطيط المغازل العضلية إلى زيادة معدل الإطلاق في حين إن تقصيرها تنقص المعدل. وبذلك يستطيع المغزل العضلي إرسال إشارات إيجابية إلى النخاع الشوكي (أي زيادة عدد الدفعات نتيجة التمطيط) أو إرسال إشارات سلبية (إنقاص عدد الدفعات إلى دون المستوى السوي) لتشير إلى إن العضلة غير ممططة فعلياً.

منعكس تمطيط العضلة (Muscle stretch reflex)
يعد منعكس تمطط العضلة أبسط تظاهرات وظيفة مغزل العضلة وينص هذا المنعكس: تمطيط العضلة يؤدي إلى إثارة المغازل ومن ثم إلى تقلص انعكاسي للألياف العضلية الهيكلية الضخمة المحيطة بالمغازل.
الدارة العصبونية لمنعكس التمطيط:
يبين الشكل (٢٣) الدارة الأساسية لمنعكس تمطيط المغزل العضلي، حيث يظهر ليفاً من النمط (I_a) ينشأ من المغزل العضلي ويدخل الجذر الظهري للنخاع الشوكي، ومن ثم تسير أحد فروعه مباشرة إلى القرن الأمامي للنخاع الشوكي ويتشابك مباشرة مع العصبونات المحركة الأمامية التي ترسل بدورها ألياف عصبية عائدة إلى العضلة ذاتها التي نشأ منها ليف المغزل العضلي، وهكذا فإن هذا السبيل وحيد المشبك يسمح للإشارة الانعكاسية بالعودة بأقصر زمن ممكن إلى العضلة نفسها بعد إشارة المغزل.
تنتهي بعض الألياف من النمط II (القادمة من النهايات الثانوية) بشكل مشابه لما سبق أي وحيدة المشبك، لكن معظم الألياف من النمط II (بالإضافة إلى الكثير من الألياف الجانبية الناشئة من I_a والآتية من النهايات الأولية) تنتهي عند عصبونات بينية متعددة في المادة السنجابية النخاعية، تقوم بدورها بإرسال إشارات متأخرة إلى العصبونات المحركة الأمامية كما تقوم بوظائف أخرى.

منعكس التمطيط الدينمي والتمطيط السكوني:

يمكن تقسيم منعكس التمطيط إلى مكونتين منفصلتين:

١) منعكس التمطيط الدينمي: ويثار بالإشارات الدينمية الفعالة المرسلة من النهايات الأولية للمغازل العضلية ويحدث ذلك عندما يزداد طول العضلة فجأة، وهكذا فإن هذا المنعكس يعمل على معاكسة التغيرات المفاجئة في طول العضلة (لأن التقلص العضلي يؤدي إلى قصر العضلة)، وينتهي هذا المنعكس خلال جزء من الثانية أي بعد تمطط العضلة ووصولها إلى طول جديد تحافظ عليه.

٢) منعكس التمطيط السكوني: يثار هذا المنعكس بالإشارات السكونية المستمرة من كلتا النهايتين الأولية والثانوية ويستمر هذا المنعكس لفترة طويلة من الزمن (أهمية هذا المنعكس هو إبقائه على التقلص العضلي مادام طول العضلة زائداً.

منعكس التمطيط السلبي (Negative stretch reflex**)**

عندما تقصر العضلة فجأة يحدث فعل معاكس تماماً نتيجة الإشارات السلبية القادمة من المغازل، إذا كانت العضلة موترة (متقلصة) فإن أي تحرير مفاجئ للعضلة من الحمل (الذي سبب توترها) سيؤدي إلى قصر العضلة وبالتالي تثبيط انعكاسي سكوني ودينمي بدلاً من الإثارة، وهكذا فإن منعكس التمطيط السلبي يعاكس تقصير العضلة نفسها التي يعاكس بها منعكس التمطيط الإيجابي إطالة العضلة.

إثارة المستقبلات المغزلية:

يمكن إثارة القسم المركزي من الألياف داخل المغزل والتي تشكل الجزء المستقبل من المغزل العضلي، حيث إن الألياف الحسية تنشأ من هذا الجزء المركزي بطريقتين:

١. عندما يزداد كامل طول العضلة هذا لأن الألياف داخل المغزل متصلة بطريقة معينة مع الألياف خارج المغزل بحيث أن تطاول الألياف خارج المغزل يؤدي إلى تطاول المغازل نفسها وبالتالي تطاول الجزء المركزي من المغزل.
٢. تقلص الأجزاء النهائية من الألياف داخل المغزل (هذه الأجزاء معصبة بالألياف غاما التي تنشأ من العصبونات المحركة غاما)، بحيث يؤدي هذا التقلص إلى تطاول الجزء المركزي من الألياف داخل المغزل وبالتالي إثارتها بنفس الطريقة السابقة.
٣. تكون إثارة المغازل العضلية أعظم ما يمكن عندما يحدث الأمران السابقان معاً في نفس الوقت.

الباحات الدماغية المسؤولة عن التحكم بجهاز غاما:

يعتبر منعكس التمطيط العضلي منعكس نخاعي بالكامل، ومع ذلك يتم التحكم به وتنظيمه من قبل مناطق دماغية محددة، تثير بعض المناطق الدماغية جهاز غاما (الصادر عن العصبونات المحركة غاما) وذلك عن طريق زيادة حساسية المغازل العضلية، بينما تثبط مناطق أخرى منعكس التمطيط العضلي عن طريق تثبيطها للعصبونات المحركة غاما وبالتالي تنقص الإشارات المرسلة من هذه العصبونات إلى المغزل العضلي وتنقص حساسيته كنتيجة لذلك.

المراكز الدماغية فوق النخاعية المنشطة supra spinal facilitatory centers

ترسل هذه المراكز إشارات إلى العصبونات المحركة غاما مؤدية إلى تسهيلها وبالتالي زيادة حساسة المغزل ومنعكس التمطط وهذه المراكز هي:

- التشكلات الشبكية التسهيلية في الجسر: تتوضع في الجسر وتمتد إلى الدماغ المتوسط، ترسل هذه التشكلات إشارات مثيرة إلى العصبونات غاما وذلك عبر السبيل النخاعي الشبكي البطني، وتمتاز النوى الموجودة في هذه التشكلات بقدرتها على إصدار النظم

تلقائياً (intrinsic activity) تعمل كل المناطق المنشطة الأخرى عن طريق تفعيل هذه المنطقة.

- المخيخ الحديث (Neocerebellum)
- النواة الدهليزية الموجدة في البصلة السيسائية.
- الباحة المحركة الأولية (الباحة ٤).

المراكز الدماغية المثبطة:

ترسل إشارات مثبطة للعصبونات غاما وهذه المناطق هي:

- التشكلات الشبكية التثبيطية في البصلة: تتوضع هذه النوى في البصلة وترسل إشاراتها المثبطة إلى العصبونات غاما عبر الحزمة الشبكية النخاعية الجانبية. لا تمتلك هذه النوى فعالية داخلية أي لا تستطيع إصدار التفريغات بشكل عفوي. تعمل كل المناطق المثبطة الأخرى عن طريق إرسال إشاراتها إلى التشكلات الشبكية التثبيطية في البصلة.
- النواة الحمراء: تمارس تأثيرها المثبط عن طريق إرسال إشاراتها إلى التشكلات الشبكية التثبيطية في البصلة كما أنها ترسل بالإضافة إلى ذلك بشكل مباشر إلى العصبونات غاما في النخاع الشوكي عن طريق الحزمة الحمراوية النخاعية.

الاستعمالات السريرية لمنعكس التمطيط:

يقوم الطبيب بفحص منعكس التمطيط في كل مرة يقوم فيها بإجراء الفحص السريري، ويكون الهدف من هذا الفحص هو تحديد كمية الإثارة التي يرسلها الدماغ إلى النخاع الشوكي.

وكمثال على هذه الاستعمالات ندرس "منعكس نفضة الركبة" (Knee Jerk Reflex)

تتم إثارة نفضة الركبة بضرب خفيف على الوتر الرضفي بمطرقة منعكسات، يؤدي ذلك إلى تمطيط العضلة مربعة الرؤوس وبدء منعكس التمطيط الدينمي الذي يحدث بدوره نفضة الساق نحو الأمام، ومن الممكن الحصول على منعكسات مشابهة من أي عضلة في الجسم تقريباً سواء بضرب وتر العضلة أو بضرب بطن العضلة ذاتها (أي أن التمطيط المفاجئ للمغازل العضلية هو كل ما نحتاجه لإثارة منعكس التمطيط).

تحكم القشر وجذع الدماغ بالوظيفة الحركية

تتحكم كل من القشرة المخية وجذع الدماغ بالإضافة إلى العقد القاعدية والمخيخ بالحركات المعقدة جداً التي يقوم بها الكائن البشري.

تستلزم جميع الحركات الإرادية تدخل من قبل القشرة المخية، ولكن هذا لا يعني أن كل تقلصة لكل عضلة تتم بمشيئة القشرة نفسها، بل عوضاً عن ذلك فإن معظم التحكم الذي تقوم به القشرة هو تفعيل متواقت (بنفس الزمن) لأنماط متعددة من الوظائف المخزنة في الباحات الدماغية السفلية (في النخاع الشوكي وجذع الدماغ والعقد القاعدية والمخيخ) ومن ثم ترسل هذه المراكز السفلية معظم الإشارات المفعلة النوعية إلى العضلات، تملك القشرة من أجل بعض الحركات سبيلاً مباشراً إلى العصبونات المحركة الأمامية متجاوزة في ذلك المراكز المحركة الأخرى، وينطبق هذا بشكل خاص على الحركات الدقيقة جداً للأصابع واليدين.

القشرة المحركة:

يبين الشكل (٢٤) الباحات الوظيفية في القشرة المخية، توجد القشرة المحركة أمام الثلم المركزي محتلة الثلث الخلفي تقريباً من الفصيين الجبهيين.

تقسم القشرة المحركة نفسها إلى ثلاث باحات هي:

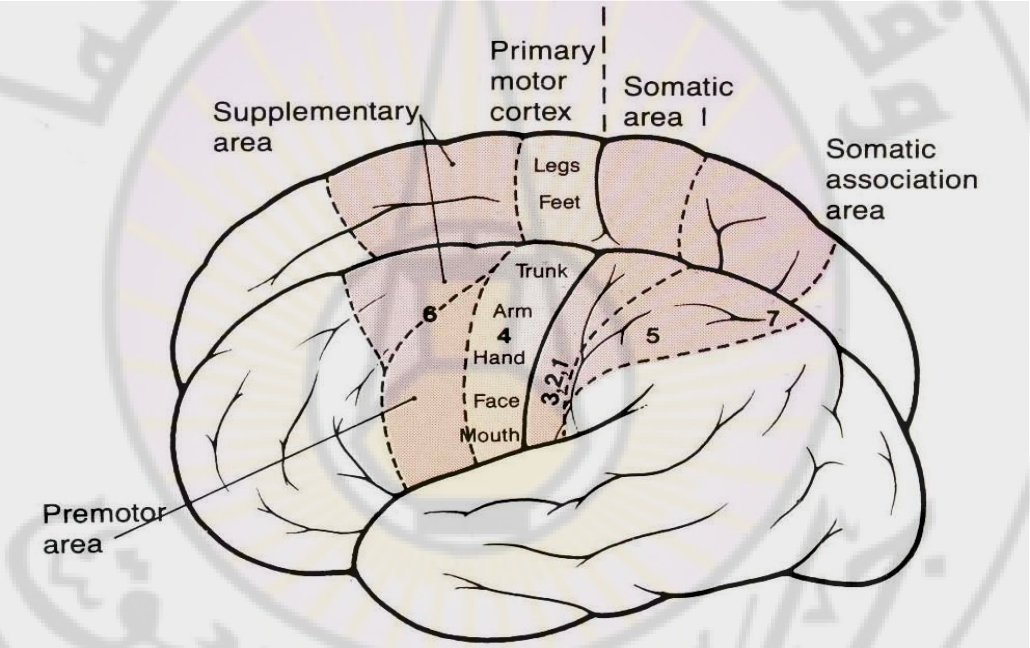
١) القشرة المحركة الأولية (primary motor cortex)

تتوضع القشرة المحركة الأولية في التلفيف الأول للفصيين الجبهيين أمام الثلم المركزي، تبدأ هذه الباحة في الوحشي من شق سلفيوس وتمتد نحو الأعلى إلى أعلى جزء في الدماغ، وثم تغوص نحو العمق في الشق الطولاني، وهذه الباحة هي نفسها الباحة رقم ٤ في تصنيف برودمان.

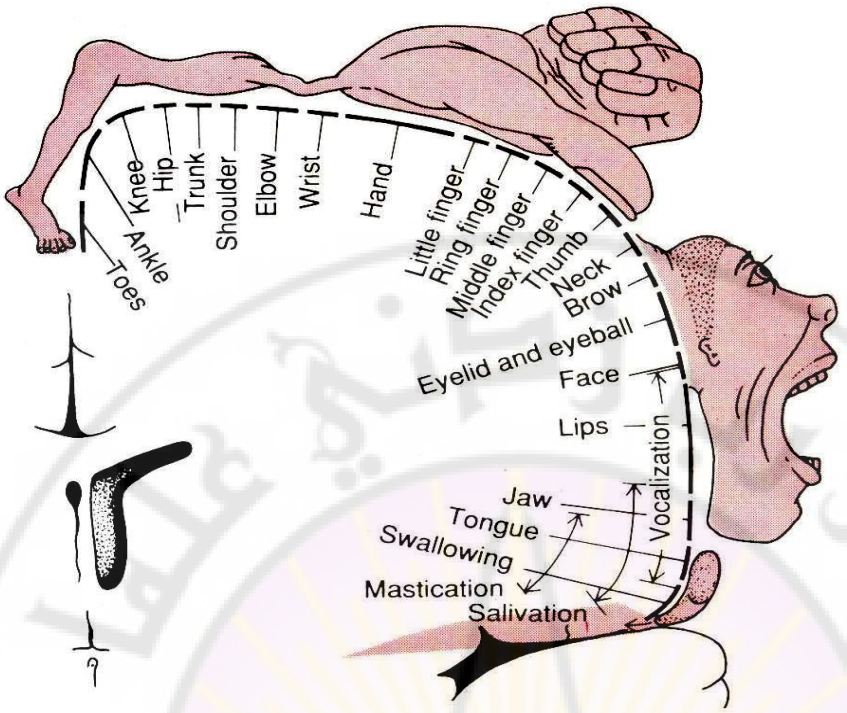
يبين الشكل (١) التمثيل الطبوغرافي لمختلف مناطق عضلات الجسم في القشرة المحركة الأولية، وقد تم إيضاح هذا التنظيم بطريقة أفضل في الشكل (٢٥) الذي يبين درجات تمثيل مختلف المناطق العضلية كما رسمها بنفيلد وراسموسين.

وقد تم رسم هذه الخريطة بواسطة التنبه الكهربائي لمختلف مناطق القشرة المحركة عند أشخاص كانت تجري لهم عمليات جراحية عصبية.

ويلاحظ أن أكثر من نصف القشرة المحركة الأمامية تهتم بالتحكم باليدين وعضلات الكلام، تؤدي التنبيهات النقطية لباحات اليدين وعضلات الكلام في معظم الأحيان إلى تقلص عضلة بمفردها، بينما تؤدي هذه التنبيهات في المناطق ذات الدرجة الأقل من التمثيل إلى تقلص مجموعة من العضلات.



الشكل (٢٤). الباحات الحركية والباحات الحسية في القشرة الدماغية.



الشكل (٢٥). درجة تمثيل مختلف عضلات الجسم على القشرة .

٢) الباحة أمام المحركة (premotor area)

تتوضع هذه الباحة أمام القشرة المحركة الأولية مباشرة، تمتد هذه الباحة أمامياً بمقدار ١-٣سم ونحو الأسفل إلى شق سيليفيوس ونحو الأعلى إلى حوالي ثلثي الشق الطولاني حيث تصبح متاخمة للباحة المحركة التكميلية.

ويلاحظ أن التنظيم الطبوغرافي للقشرة أمام المحركة هو نفسه في القشرة المحركة الأولية، حيث تتوضع باحات الفم والوجه في أقصى الوحشي ثم تتوضع وبالترتيب نحو الأعلى باحات اليد، الجذع، الرجلين. تحتل الباحة أمام المحركة جزءاً كبيراً من الباحة رقم ٦ في تصنيف برودمان.

تسبب معظم الإشارات العصبية الناشئة من الباحة أمام المحركة أنماطاً من الحركة تشمل مجموعات من العضلات التي تقوم بإنجاز مهام معينة، فعلى سبيل المثال قد تكون المهمة تثبت الكتفين والذراعين في وضع يجعل اليدين بوضع معين قادرة على إنجاز مهام معينة. ولإنجاز تلك المهمات ترسل الباحة أمام المحركة إشاراتها إما مباشرة إلى القشرة المحركة الأولية لإثارة مجموعات متعددة من العضلات أو وهو الأكثر احتمالاً عن طريق العقد القاعدية ثم تعود عبر المهاد إلى القشرة المحركة الأولية، وهكذا تؤلف القشرة أمام المحركة والعقد القاعدية والمهاد والقشرة المحركة الأولية جهازاً معقداً شاملاً للتحكم بالكثير من الأنماط الأكثر تعقيداً للفعالية العضلية المتناسقة للجسم.

٣) الباحة المحركة التكميلية (Supplementary Motor area)

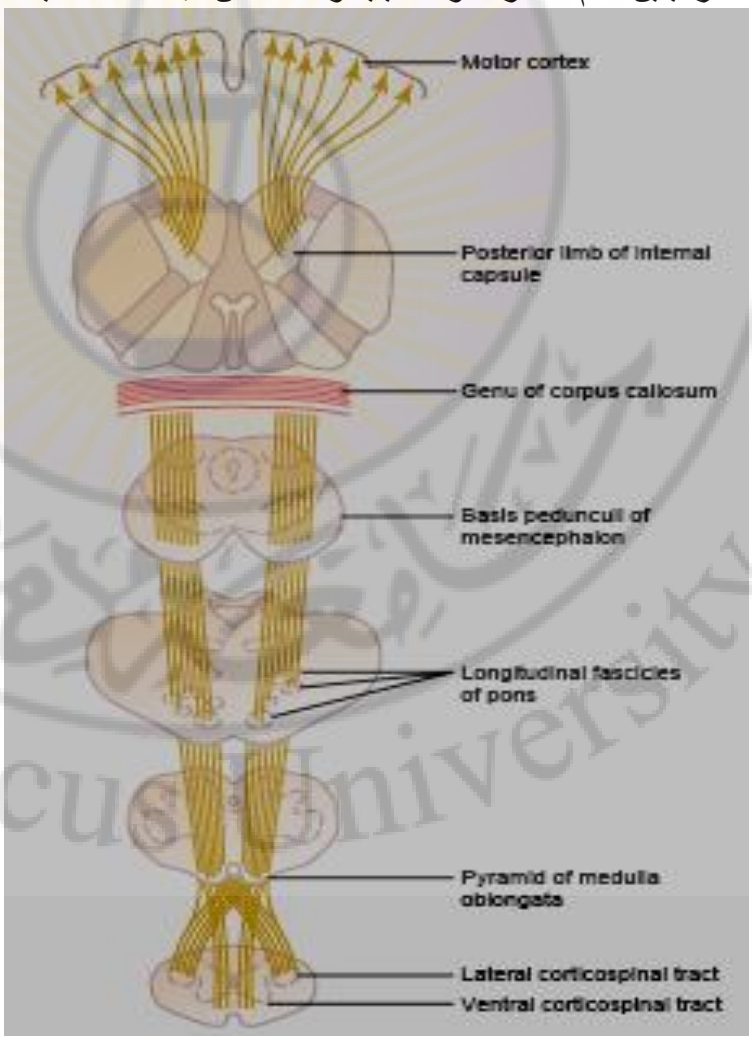
تتوضع هذه الباحة مباشرة إلى الأعلى من الباحة أمام المحركة مستقرة بشكل رئيسي في الشق الطولاني ولكنها تمتد لعدة سنتيمترات فوق الحافة إلى أعلى جزء من الناحية الوحشية للقشرة المخية.

ونحتاج في الباحة المحركة التكميلية إلى تنبيه كهربائي أشد بكثير مما نحتاجه في الباحات المحركة الأخرى لإحداث تقلص عضلي، وعندما تثار التقلصات تكون غالباً في الجانبين بدلاً من أن تكون في جانب واحد، وكمثال على ذلك يؤدي التنبه الكهربائي لمناطق معينة إلى حدوث حركات الإمساك باليدين معاً في نفس الوقت، ومن المحتمل أن تكون هذه الحركات مبادئ للأعمال التي تقوم بها اليد للقيام بالتسلق.

كما يمكن أن تحدث حركات أخرى عند التنبيه الكهربائي لمناطق أخرى كأن يحدث دوران للجذع، دوران لليدين، حركات العينين.
وبشكل عام فمن المحتمل أن تعمل هذه الباحة بانسجام مع الباحة أمام المحركة لتأمين حركات الوضع، حركات التثبيت لمختلف أقسام الجسم وذلك كخلفية للتحكم الحركي الدقيق باليدين والقدمين من قبل القشرة المحركة الأولية وأمام المحركة.

نقل الإشارات من القشرة المحركة إلى العضلات:
تنقل الإشارات المحركة من القشرة إلى النخاع الشوكي عبر طريقين:
١. طريق مباشر وذلك عبر السبيل القشري النخاعي.
٢. طريق غير مباشر يمر عبر سبل إضافية متعددة تضم العقد القاعدية والمخيخ ونوى مختلفة في جذع الدماغ.
وبشكل عام تهتم السبل المباشرة بشكل أكثر بالحركات الدقيقة والمعقدة وخاصة للأجزاء القاصية من الأطراف (حركات اليدين والأصابع).

١. السبيل القشري النخاعي (السبيل الهرمي) (Pyramidal tract)
يعتبر السبيل القشري النخاعي أكثر السبل الصادرة عن القشرة المحركة أهمية الشكل (٢٦).
ينشأ حوالي ٣٠% من السبيل القشري النخاعي من القشرة المحركة الأولية و٣٠% من الباحتين الحركيتين أمام المحركة والتكميلية و٤٠% من الباحات الحسية الجسدية.



الشكل(٢٦) السبيل الهرمي.

يعبر هذا السبيل بعد أن يغادر القشرة عبر الطرف الخلفي للمحفظة الداخلية (بين النواة المذنبة والأتبة في العقد القاعدية) ثم يسير نحو الأسفل عبر جذع الدماغ مشكلاً أهرام البصلة، تعبر بعد ذلك أغلبية الألياف الهرمية إلى الجانب المقابل وتنزل في السبيل القشري النخاعي الجانبي من النخاع الشوكي وتنتهي بشكل رئيسي على العصبونات البينية في القرن المتوسط من النخاع الشوكي (المادة السنجابية) ولكن تنتهي بعض الألياف أيضاً على العصبونات الحسية في القرن الخلفي للنخاع الشوكي وبعضها الآخر ينتهي مباشرة على العصبونات المحركة الأمامية (في القرن الأمامي) التي تسبب التقلص العضلي.
هناك عدد من الألياف التي لا تعبر إلى الجهة المقابلة في البصلة بل عوضاً عن ذلك تنزل في نفس الجهة نحو الأسفل عبر السبيل القشري النخاعي البطني ولكن هذه الألياف تعود لتعبر أيضاً إلى الجهة المقابلة وذلك إما في منطقة العنق أو في المنطقة الصدرية العليا، ربما تكون هذه الألياف عائدة للمنطقة التكميلية التي تهتم بحركات الوضعة في الجانبين.
إن الجزء الأكثر تأثيراً من مجموعة الألياف في السبيل الهرمي هي ألياف نخاعينية ضخمة يبلغ متوسط قطرها ١٦ ميكرون، تنشأ هذه الألياف من الخلايا الهرمية العملاقة والتي تدعى خلايا بيتز وهي موجودة فقط في الباحة المحركة الأولية (يبلغ قطر هذه الخلايا ٦٠ ميكرون وتنقل أليافها العصبية الدفعات إلى النخاع بسرعة ٧٠ م/ثا)
ويوجد نحو ٣٤٠٠٠ من ألياف بيتز العملاقة هذه في كل سبيل قشري نخاعي، ويبلغ العدد الكلي للألياف في كل سبيل قشري نخاعي أكثر من مليون وبذلك تشكل هذه الألياف الضخمة ٣% فقط من الألياف أما ٩٧% الباقية من تلك الألياف فهي بشكل رئيسي ألياف يبلغ قطرها أقل من ٤ ميكرون ويعتقد أن دور هذه الألياف هو:

١. تنقل إشارات مقوية إلى المناطق المحركة في النخاع لتشكل خلفية لإشارات أخرى.
٢. تنقل إشارات راجعة من القشرة لتتحكم بشدة مختلف الإشارات الحسية الذاهبة إلى الدماغ.

٢) السبل الليفية الأخرى الصادرة من القشرة المحركة:
تعطي القشرة المحركة عدداً كبيراً جداً من الألياف سواء من القشرة أو عن طريق روادف تخرج من السبيل الهرمي تسير نحو المناطق العميقة من المخ وجذع الدماغ وهي تشمل مايلي:

١. ترسل المحاوير الصادرة من خلايا بتز العملاقة روادف قصيرة تعود إلى القشرة نفسها، ويعتقد أن عمل هذه الروادف هو تثبيط الباحات المجاورة من القشرة المحركة نفسها عندما تفرغ خلايا بتز وبذلك تزيد تركيز حدود الإشارة المثيرة بشكل كبير.
٢. يمر جزء كبير من الألياف إلى كل من النواة المذنبة والأتبة.
٣. يمر عدد متوسط من الألياف إلى النوى الحمراء ومنها تنزل ألياف إضافية إلى النخاع عبر السبيل الحمراوي النخاعي.
٤. ينحرف عدد معتدل من الألياف إلى المادة الشبكية والنوى الدهليزية في جذع الدماغ ومن هنا تذهب بعض الإشارات إلى النخاع عبر السبيلين الشبكي النخاعي والدهليزي النخاعي في حين تذهب أخرى إلى المخيخ عبر السبيلين الشبكي المخيخي والدهليزي المخيخي.
٥. يتشابك عدد كبير من الألياف في النوى الجسرية والتي تعطي المنشأ للألياف الجسرية المخيخية وهذه تحمل الإشارات إلى نصفي الكرة المخيخية.
٦. تنتهي ألياف رادفة في النوى الزيتونية السفلية ومن هنا تنقل ألياف زيتونية مخيخية الإشارات إلى باحات كثيرة في المخيخ.

٣) السبل الليفية الواردة إلى القشرة المحركة:
يتم التحكم بوظائف القشرة المحركة بشكل رئيسي بواسطة الجملة الحسية الجسدية وإلى مدى أقل بواسطة الجمل الحسية الأخرى (كالسمع والرؤية). عندما تصل المعلومات الحسية من هذه

المصادر تعمل القشرة المحركة بالاشتراك مع العقد القاعدية والمخيخ على معاملة هذه المعلومات وتحديد السير المناسب للفعل الحركي.
إن السبل الليفية الأكثر أهمية الواردة إلى القشرة المحركة هي التالية:

١. ألياف تحت قشرية من الباحات القشرية المجاورة (الحسية الجسدية والسمعية والبصرية من الباحات الجبهية)
٢. ألياف تحت قشرية تمر عبر الجسم الثفني من نصف الكرة المخية المقابل.
٣. ألياف حسية جسدية مستمدة مباشرة من المركب البطني القاعدي للمهاد.
٤. سبل من النوى البطنية الوحشية والبطنية الأمامية للمهاد.

دور جذع الدماغ في التحكم بالوظيفة المحركة:

يتألف جذع الدماغ من البصلة والجسر والدماغ المتوسط، ويعتبر جذع الدماغ من بعض النواحي امتداداً للنخاع الشوكي نحو الأعلى داخل الجوف القحفي وذلك لاحتوائه على نوى حسية وحركية تنجز الوظائف الحسية والحركية لناحيتي الوجه والرأس بنفس الطريقة التي ينجز النخاع الشوكي تلك الوظائف بالنسبة للرقبة وما تحتها. ولكن من ناحية أخرى يعتبر جذع الدماغ سيد نفسه لأنه يؤمن العديد من وظائف التحكم الخاصة مثل:

١. التحكم بالتنفس.
٢. التحكم بالجهاز القلبي الوعائي.
٣. التحكم بالوظيفة المعدية المعوية.
٤. التحكم بالكثير من الحركات النمطية للجسم.
٥. التحكم بالتوازن.
٦. التحكم بحركة العينين.

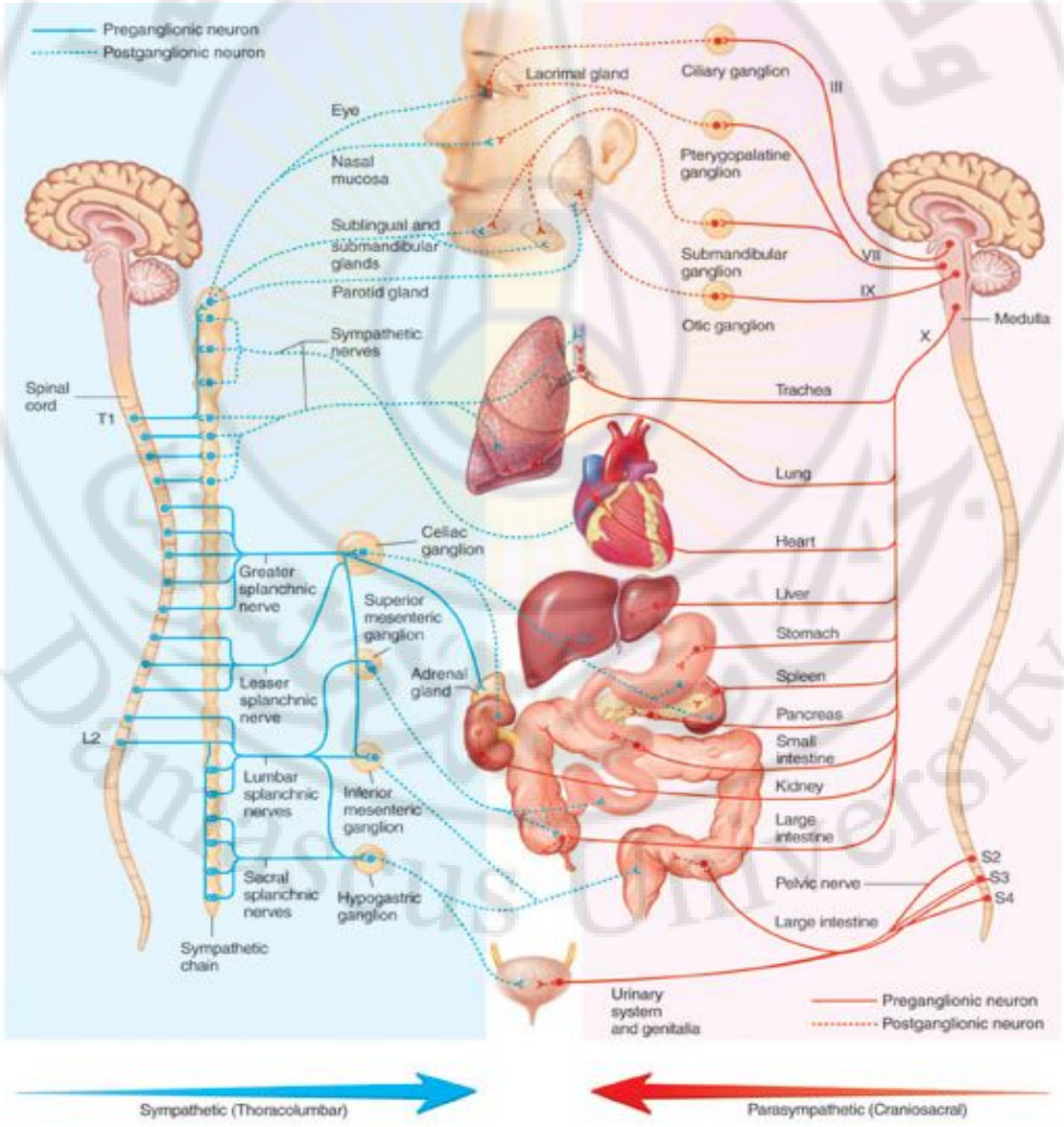
وأخيراً فإن جذع الدماغ يعمل كمحطة للمراكز العصبية العليا التي ترسل الإشارات الآمرة كي تُبدأ أو تعدل وظائف تحكمية معينة لجذع الدماغ.
ويلعب جذع الدماغ دوراً هاماً في التحكم بكامل حركات الجسم وبالتوازن عن طريق النوى الموجودة فيه وهي النوى الشبكية والنوى الدهليزية.

الجهاز العصبي المستقل(الذاتي)

يُدعى الجزء من الجهاز العصبي الذي يتحكم بأغلب الوظائف الحشوية للجسم بالجهاز العصبي المستقل. يساعد هذا الجهاز على التحكم بالضغط الشرياني وحركية وإفراز السبيل المعدي المعوي وإفراغ المثانة والتعرق وحرارة الجسم. يتم التحكم بهذه الفعاليات إما بشكل كامل أو جزئي .

إن إحدى الخصائص اللافتة للنظر التي يتمتع بها الجهاز العصبي الذاتي هو السرعة والشدة التي يستطيع بها تغيير الوظائف الحشوية. فعلى سبيل المثال، يستطيع الجهاز العصبي المستقل في غضون ٣ إلى ٥ ثوان زيادة سرعة القلب إلى ضعف السوي، وفي غضون ١٠ إلى ١٥ ثانية يمكن له مضاعفة الضغط الشرياني; أو على العكس من ذلك يمكن أن يخفض الضغط الشرياني إلى مستوى كافٍ لإحداث الغشي في غضون ١٠إلى ١٥ ثانية.

كما يمكن أن يبدأ التعرق خلال ثوان، وأن تفرغ المثانة لاارادياً خلال ثوانٍ ايضاً.تعكس هذه التغيرات السريعة جداً،المشاعر الداخلية للشخص.



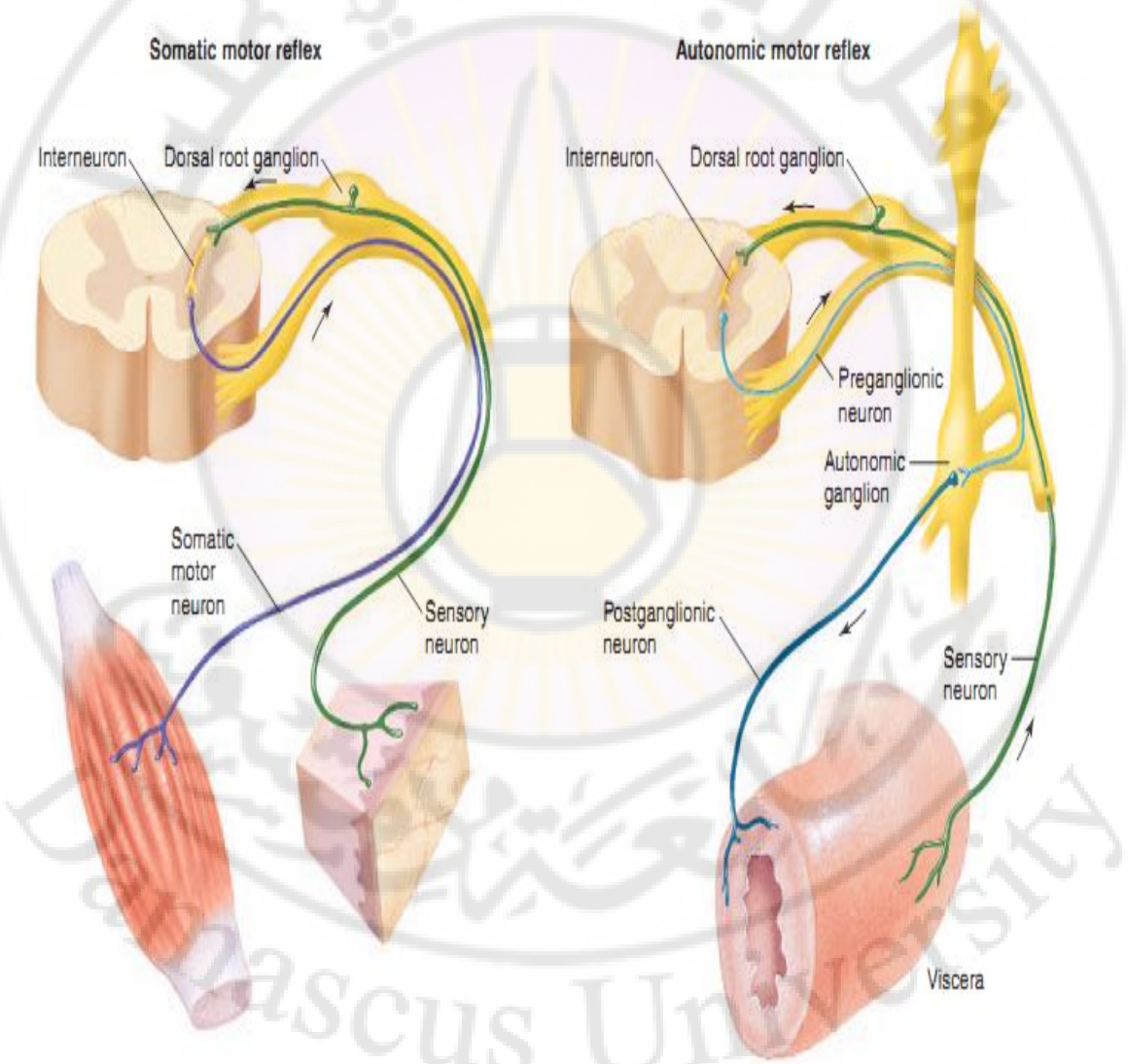
الشكل(٢٧) الجهاز العصبي الودي في اليسار ونظير الودي في اليمين.

التنظيم العام للجهاز العصبي المستقل.

يُفعل الجهاز العصبي المستقل بشكل رئيسي من قبل مراكز متوضعة في النخاع الشوكي وجذع الدماغ والوطاء،بالإضافة إلى أن أجزاء من القشرة المخية وخصوصاً القشرة الحوفية ترسل دفعات إلى المراكز الأدنى تؤثر بوساطتها على التحكم المستقل.

يعمل الجهاز العصبي المستقل ،في أغلب الأحيان ،بوساطة المنعكسات الحشوية، أي أن الإشارات الحسية دون مستوى الوعي التي تنشأ من الأعضاء الحشوية يمكن أن تدخل العقد المستقلة، جذع الدماغ أو الوطاء ثم تعود إلى الأعضاء الحشوية محدثة استجابات انعكاسية مباشرةً للتحكم بهذه الفعاليات(الشكل ٢٨).

تُنقل إشارات الجهاز العصبي المستقل الصادرة إلى الأحشاء عبر قسمين رئيسين الجهاز العصبي الودي والجهاز العصبي نظير الودي.



الشكل (٢٨). مقارنة بين المنعكس الذاتي(الحشوي) في اليمين والمنعكس الجسمي في اليسار.

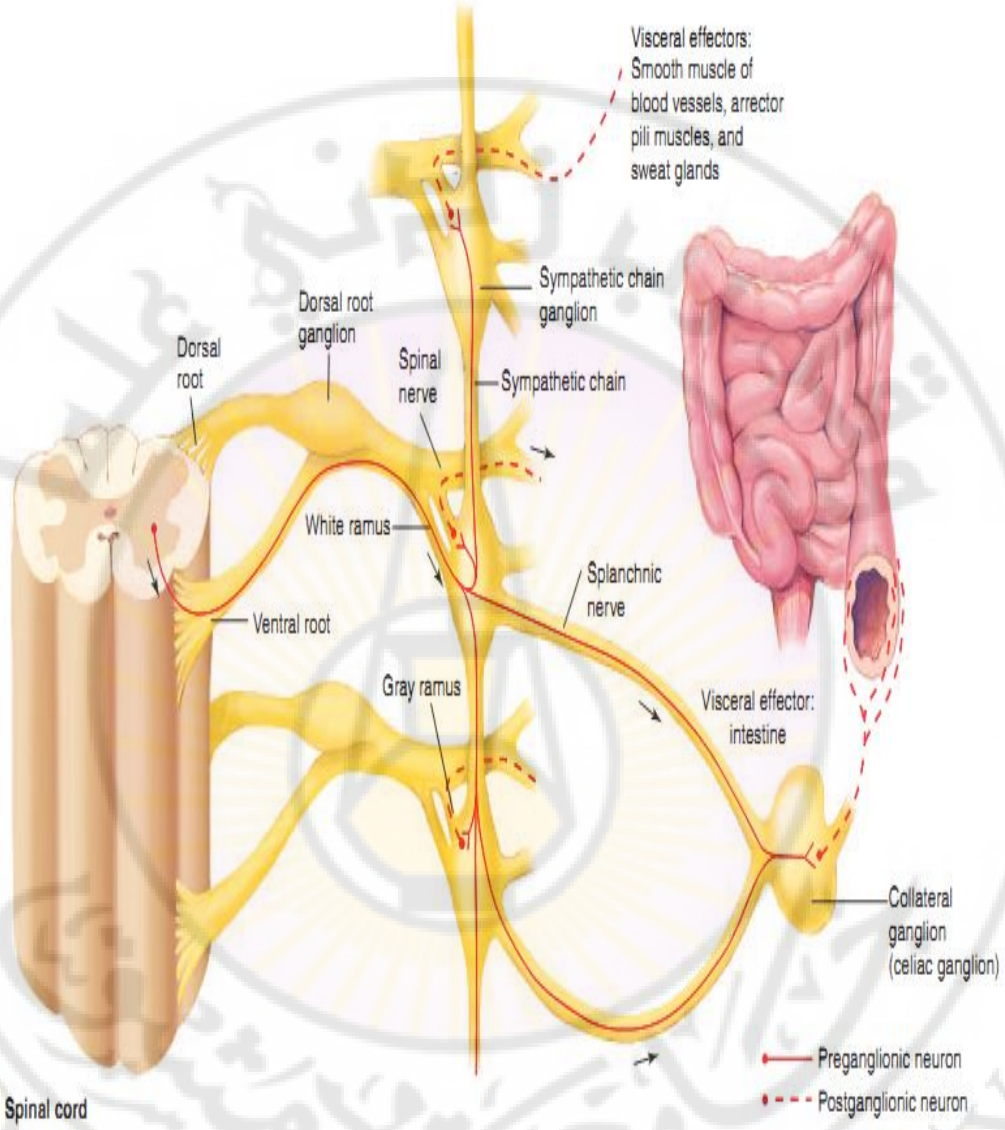
التشريح الفيزيولوجي للجهاز العصبي الودي.

يوضح الشكلان (٢٧ و٢٩) التنظيم العام للأقسام المحيطية من الجهاز العصبي الودي،يظهر فيه:

١. واحدة من سلسلتي العقد الودية جانب الفقرية والمتصلة مع الأعصاب الشوكية الموجودة على أحد جانبي العمود الفقري.
٢. العقد أمام الفقار(البطنية والخثلية).

٣. الأعصاب الممتدة من العقد إلى مختلف الأعضاء الداخلية.

تنشأ الأعصاب الودية مع الأعصاب الشوكية من النخاع الشوكي مابين الشدفة الصدرية الأولى والشدفة القطنية الثانية، تمر في البداية إلى السلسلة الودية ثم إلى النسج والأعضاء التي يجب على الأعصاب الودية تنبيهها.



الشكل(٢٩).العصبونات الودية قبل وبعد العقد .

العصبونات الودية قبل العقد وبعد العقد.

تختلف الأعصاب الودية عن الأعصاب المحركة الهيكلية بالأتي:

يتألف كل سبيل ودي (من النخاع إلى النسيج الهدف) من عصبونين، عصبون قبل العقدة وعصبون بعد العقدة،في حين أن السبيل المحرك الهيكلي يتألف من عصبون واحد فقط. يتوضع جسم العصبون قبل العقدة في القرن المتوسط الجانبي من النخاع الشوكي، وتعبر أليافه عبر الجذر الأمامي للنخاع إلى العصب الشوكي الموافق(الشكل ٢٩).

وحالما يغادر العصب الشوكي القناة الشوكية، تترك الألياف الودية قبل العقد العصب الشوكي، وتمر عبر الفرع الأبيض إلى إحدى عقد السلسلة الودية، ثم تسلك الألياف إحدى السبل الثلاثة الآتية:

١. تتشابك مع العصبونات الودية بعد العقد في العقد التي دخلتها.

٢. تسير نحو الأعلى أو الأسفل من السلسلة وتتشابك في عقدة أخرى من السلسلة.
٣. تسير مسافات مختلفة عبر السلسلة ثم عبر إحدى الأعصاب الودية الناشئة من السلسلة لتتشابك أخيراً في إحدى العقد أمام الفقار.

تنشأ العصبونات بعد العقد إما من إحدى عقد السلسلة الودية أو من إحدى العقد أمام الفقار، ومن كلا هذين المصدرين تسير الألياف بعد العقد إلى أهدافها في الأعضاء المختلفة(الشكل ٢٩).

الألياف العصبية الودية الموجودة في الأعصاب الهيكلية.

تسير بعض الألياف بعد العقد عائدة من السلسلة الودية إلى الأعصاب الشوكية عبر الفروع السنجابية عند جميع مستويات النخاع. إن كل هذه الألياف الودية هي من النمط C تذهب إلى جميع أنحاء الجسم ضمن الأعصاب الهيكلية ،وهي تتحكم بالأوعية الدموية والغدد العرقية والعضلات الناصبة للشعر. تشكل هذه الألياف الودية ٨% تقريباً من مجموع ألياف العصب الهيكلي وهذا يشير إلى أهميتها البالغة.

التوزع الشدفي للأعصاب الودية

ليس من الضروري أن تذهب المسالك الودية الناشئة من مختلف شدف النخاع الشوكي إلى الجزء نفسه من الجسم الذي تذهب إليه الياف العصب الشوكي الناشئة من الشدف نفسها.

- تذهب الألياف الودية الخارجة من الشدفة الصدرية الأولى إلى الرأس.
- تذهب الألياف الخارجة من الشدفة الصدرية الثانية إلى الرقبة .
- تذهب الألياف الخارجة من الصدريات الرابعة والخامسة والسادسة إلى الصدر.
- تذهب الألياف الخارجة من الصدريات السابعة والثامنة والتاسعة والعاشرة والحادية عشر إلى البطن.
- تذهب الألياف الخارجة من الشدف الصدرية الثانية عشر والقطنيتين الأولى والثانية إلى الساقين.

إن هذا التوزع تقريبي فقط وهو يتداخل بشدة.

يتحدد توزع الأعصاب الودية إلى كل عضو جزئياً بمكان نشوء ذلك العضو أثناء الحياة الجنينية. فعلى سبيل المثال،يتلقى القلب الكثير من الألياف الودية من الجزء الرقبي للسلسلة الودية، لأن القلب ينشأ من الرقبة عند الجنين قبل أن يهاجر إلى الصدر. تتلقى الأعضاء البطنية تعصيبها الودي من الشدف الصدرية السفلية لأن معظم الأنبوب الهضمي ينشأ من هذه المنطقة.

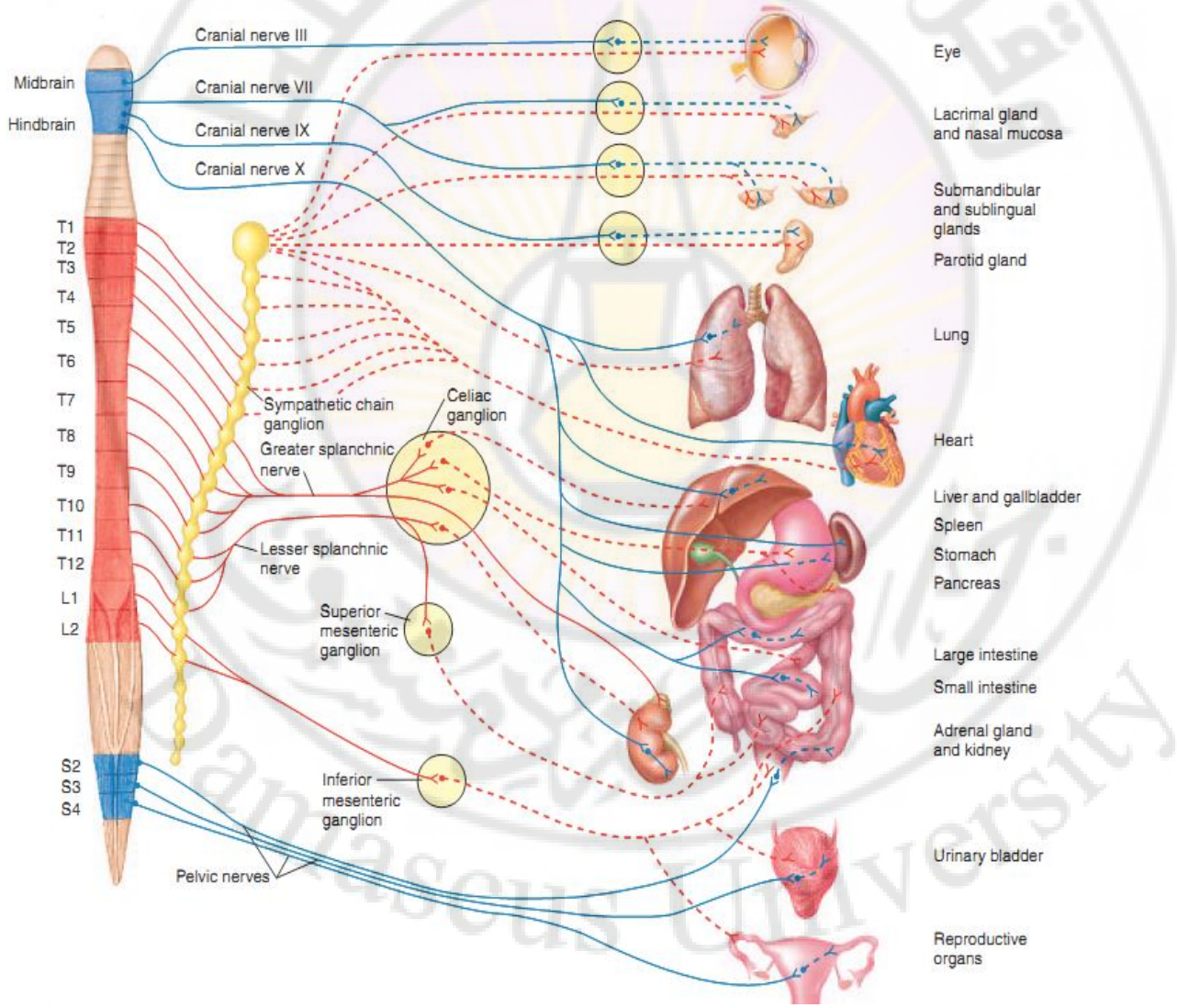
الطبيعة الخاصة لنهايات الأعصاب الودية في لب الكظر.

تسير الألياف العصبية الودية قبل العقد من خلايا القرن المتوسط الجانبي للنخاع الشوكي عبر السلسلتين الوديتين ثم عبر الأعصاب الحشوية لتصل في النهاية وبدون أي تشابك طوال ذلك الطريق إلى لب الكظر،حيث تنتهي مباشرة على خلايا عصبونية معدلة تفرز الأدرينالين والنورادرينالين إلى مجرى الدم.

التشريح الفيزيولوجي للجهاز العصبي نظير الودي.

يبين الشكل(٢٧)الجهاز العصبي اللاودي،مُظهراً أن الألياف اللاودية تغادر الجهاز العصبي المركزي عبر الأعصاب القحفية (الثالث والسابع والتاسع والعاشر)،كما أن الألياف اللاودية تغادر عبر أخفض جزء من النخاع الشوكي عبر الأعصاب الشوكية العجزية الثاني والثالث وأحياناً عبر الأول والرابع. يوجد حوالي ٧٥% من جميع الألياف اللاودية في العصبين المبهمين حيث تصل إلى كل المناطق الصدرية والبطنية للجسم،ولذلك عندما يتحدث الأختصاصيون بالفيزيولوجيا عن الجهاز العصبي اللاودي فهم على الأغلب يقصدون العصبين المبهمين .

- يؤمن العصبان المبهمان التعصيب اللاودي لكل من القلب والرئتين والمرئ والأمعاء الدقيقة بكاملها والنصف الداني من الكولون والكبد والمرارة والمعثكلة والكليتين والأجزاء العليا من الحالبين.
- تسير الألياف اللاودية في العصب القحفي الثالث إلى مصرتي الحدقتين والعضلات الهدبية في العين.
- تسير الألياف المارة عبر العصب السابع إلى الغدد الدمعية والأنفية وتحت الفك.
- تذهب ألياف عبر العصب التاسع إلى الغدة النكفية.
- توجد الألياف اللاودية العجزية في الأعصاب الحوضية التي تغادر النخاع الشوكي بمستوى الشدف العجزية الثانية والثالثة.
- تتوزع هذه الألياف إلى القولون النازل والمستقيم والمثانة والأجزاء السفلية من الحالبين، بالإضافة إلى أنها تزود الأعضاء التناسلية الظاهرة بالألياف اللاودية المسؤلة عن التنبيه الجنسي(الشكل ٤).



الشكل(٣٠). تعصيب الجهاز العصبي الذاتي وتوزع اليافه لمختلف اجزاء الجسم.

العصبونات اللاودية قبل وبعد العقدة.

يمتلك الجهاز اللاودي كما هو الحال بالنسبة للجهاز الودي،عصبونات قبل العقدة وعصبونات بعد العقدة.وباستثناء عدد قليل من الأعصاب القحفية اللاودية فإن الألياف قبل العقدة تسير إلى

الأعضاء التي تتحكم دون انقطاع ،ومن ثم تتشابك مع العصبونات بعد العقدة المتوضعة في جدار العضو،ثم تغادر الألياف بعد العقدة القصيرة جداً (طولها ١مم إلى عدة سنتمترات) العصبونات وتنتشر في العضو.

الخصائص الأساسية للوظيفة الودية واللاودية.

تفرز جميع الألياف العصبية الودية واللاودية أحد الناقليين المشبكيين التاليين:الأستيل كولين والنورادرينالين. تُدعى الألياف المفرزة للأستيل كولين الألياف كولينية الفعل أما المفرزة للنورادرينالين فتدعى ادرينالية الفعل.

إن جميع العصبونات قبل العقدة في كلا الجهازين الودي واللاودي هي ألياف كولينية الفعل، ولذلك عند تطبيق الأستيل كولين أو المواد الشبيهة به على العقد فإنه سيثير كلاً من العصبونات بعد العقدة الودية واللاودية.

إن جميع العصبونات بعد العقدة في الجهاز اللاودي هي ايضاً كولينية الفعل.على العكس من ذلك، فإن معظم العصبونات بعد العقد في الجهاز الودي هي ادرينالية الفعل، لأن الألياف العصبية الودية بعد العقدة الذاهبة إلى الغدد العرقية والعضلات الناصبة للشعر وبعض الأوعية الدمويةهي كولينية الفعل بكاملها.

مستقبلات الأعضاء المستفعلة.

قبل أن يستطيع الأستيل كولين والنورادرينالين (أو الأدرينالين) المفرزين من النهايات العصبية المستقلة التأثير على الأعضاء الهدف يجب أن يرتبط بمستقبلات خاصة في الخلايا الهدف.

تتوضع المستقبلات عادةً على الوجه الخارجي لغشاء الخلية، مرتبطة كمجموعة صميمية مع جزئية بروتين تخترق الغشاء بكامل ثخانته. يؤدي ارتباط الناقل مع المستقبلة إلى إحداث تغير شكلي في بنية جزئ البروتين،ويقوم جزئ البروتين المتبدل بدوره إما بإثارة أو تثبيط الخلية، ويتم هذا غالباً بوساطة:

١. إحداث تغيير في نفوذية الغشاء تجاه واحد أو أكثر من الشوارد.
٢. تفعيل أو تعطيل إنزيم ملتصق على النهاية الأخرى للمستقبلة البروتينية مكان بروزها داخل الخلية.

مستقبلات الأستيل كولين.

يُفعل الأستيل كولين نمطين مختلفين من المستقبلات، المستقبلات المسكارينية والنيكوتينية.توجد المستقبلات المسكارينية في جميع الخلايا المنبهة بوساطة العصبونات بعد العقدة كولينية الفعل سواء كانت في الجهاز اللاودي أو الودي.توجد المستقبلات النيكوتينية في المشابك بين العصبونات قبل وبعد العقدة في كل من الجهاز الودي واللاودي على السواء،وكذلك توجد في أغشية الألياف العضلية الهيكلية عند الوصل العصبي العضلي.

المستقبلات ادرينالية الفعل.

يوجد نمطين رئيسين من المستقبلات ادرينالية الفعل،مستقبلات الفا ومستقبلات بيتا(تقسم بيتا بدورها إلى بيتا ١ وبيتا ٢) كما يوجد تقسيم أقل وضوحاً لمستقبلات الفا(الفا ١ والفا ٢).

يثيرالنورادرينالين المستقبلات الفا بشكل رئيسي ولكن يثير بدرجة أقل مستقبلات بيتا ايضاً،في حين أن الأدرينالين يثير كلا النمطين بشكل متساو تقريباً، ولذلك فإن التأثيرات النسبية للأدرينالين و النورادرينالين على الأعضاء الهدف المختلفة تتحدد بنمط المستقبلات الموجودة في تلك الأعضاء.

التأثيرات التثبيطية والإثارية للتنبيه الودى واللاودي.
يحدث التنبيه الودي تأثيراً مثيراً في بعض الأعضاء ومثبطاً في أعضاء أخرى، وكذلك الأمر بالنسبة للتنبه اللاودي إذ يسبب إثارة بعض الأعضاء وتثبيط أعضاء أخرى. عندما يثير التنبيه الودي عضواً معيناً فإن التنبيه اللاودي يثبطه أحياناً،مما يظهر أن الجهازين يعملان أحياناً بطريقة متبادلة كل مع الأخر.تقع معظم الأعضاء تحت سيطرة احد هذين الجهازين.

العلاقة بين معدل التنبيه ودرجة تأثير الودي واللاودي.
هناك فارق خاص بين الجهاز العصبي المستقل والجهاز العصبي الهيكلي هو أننا نحتاج فقط إلى تواتر تنبيه منخفض جداً فقط لإحداث التفعيل الأقصى للمستقبلات المستقلة.بشكل عام تكفي دفعة عصبية واحدة في كل ثانية للإبقاء على التأثير السوي الودي واللاودي، ويحدث التفعيل الأقصى عندما تفرغ الألياف العصبية بمعدل ١٠ إلى ٢٠ مرة بالثانية. وبالمقارنة مع الجهاز العصبي الهيكلي فإن التفعيل الأقصى للأخير يحدث عندما يبلغ معدل الدفعات ٥٠ إلى ٥٠٠ دفعة في الثانية أو أكثر من ذلك.

المقوية الودية ونظيرة الودية.
يكون الجهازان الودي واللاودي فعالان بصورة دائمة، ويُدعى المعدل الأساسي لفعالية كل منهما على الترتيب:المقوية الودية والمقوية اللاودية. تنبع أهمية المقوية في أنه يسمح لجهاز عصبي واحد بزيادة أو إنقاص فعالية العضو المنبه. فعلى سبيل المثال، يحافظ التوتر(المقوية)الودي السوي على جميع الشرينات الجهازية تقريباً متضيقة إلى نحو نصف قطرها الأعظمي. تؤدي زيادة درجة التنبيه الودي إلى تضيق هذه الأوعية إلى درجة اكبر،وبالمقابل فإن تثبيط التوتر السوي يؤدي إلى توسعها. وهكذا إذا لم يوجد هذا التوتر الودي المستمر فإن الجهاز الودي سيكون قادراً على إحداث تضيق وعائي فقط دون إحداث توسع وعائي.

المقوية الناجمة عن الإفراز الأساسي للب الكظر.
يبلغ المعدل السوي لإفراز الأدرينالين والنورادرينالين من لب الكظر في حالة الراحة على التوالي ٠,٢ ميكروغرام/كغ/الدقيقة و ٠,٠٥ ميكروغرام/كغ/الدقيقة. تعد هذه الكميات كافية للإبقاء على ضغط الدم ضمن الحدود السوية تقريباً حتى ولو تمت إزالة جميع السبل الودية المباشرة الذاهبة إلى الجهاز القلبي الوعائي، لذلك يتضح أن كثيراً من التوتر الكلي للجهاز العصبي الودي ينجم من الإفراز الأساسي للأدرينالين والنور ادرينالين بالإضافة إلى التوتر الناجم عن التنبيه الودي المباشر.

التأثير الناجم من زوال التأثير الودي و اللاودي عقب إزالة التعصيب .
يفقد العضو المعصب التوتر الودي أو اللاودي مباشرة عقب قطع الأعصاب الودية أو اللاودية ، ففي حالة الأوعية الدموية –على سبيل المثال –فان قطع الأعصاب الودية يؤدي فوراً إلى توسع وعائي أعظمي تقريبا، ولكن بعد عدة دقائق أو ساعات أو أسابيع يزداد التوتر داخلي المنشأ في العضلات الملس للأوعية حتى يبلغ تضيق الأوعية في النهاية حده السوي تقريبا(تكيف كيميائي للألياف العضلية الملس) .
وتحدث التأثيرات نفسها في معظم الأعضاء المستفعلة عند فقدان توترها الودي أو نظير الودي. إذ تتطور المعاوضة داخلية المنشأ سريعاً لتعيد وظيفة العضو إلى المستوى الأساسي السوي تقريبا – على أن المعاوضة بالنسبة للجهاز نظير الودي تحتاج أحيانا إلى عدة أشهر .

فرط التحسس عقب إزالة تعصيب الأعضاء الودية و نظيرة الودية:

يصبح العضو المعصب بعد أسبوع(أو حوالي أسبوع) من قطع الأعصاب الودية أو اللاودية أكثر حساسية للنوادرينالين أو للاستيل كولين المزروقين على التوالي . حيث أن الجريان الدموي في الساعد قبل إزالة التعصيب الودي يبلغ ٢٠٠ مل /د، وان زرق جرعة اختبارية من النورادرينالين لا تحدث سوى تخفيض ضئيل في هذا الجريان يستمر لحوالي دقيقة، ولكن بعد أن تزال العقدة النجمية ويفقد التوتر الودي السوي، يزداد الجريان الدموي بشدة في البداية بسبب فقد التوتر الوعائي، ولكن بعد عدة أيام إلى أسابيع يعود الجريان الدموي إلى السواء تقريبا نتيجة الزيادة التدريجية في التوتر الداخلي المنشأ لعضل الأوعية نفسه معاوضا بذلك عن فقدان التوتر الودي، ولكن إعطاء جرعة اختبارية أخرى من النورادرينالين يؤدي إلى نقص أكثر في شدة الجريان الدموي من ذي قبل، مظهراً إن الأوعية الدموية أصبحت أكثر حساسية بنحو ضعفين إلى أربعة إضعاف تجاه النور ادرينالين عما كان الحال عليه سابقا. وتدعى هذه الظاهرة فرط الحساسية عقب إزالة التعصيب. وهي تحدث في كلا الأعضاء المعصبة بالودي واللاودي وتكون اشد في بعض الأعضاء منها في الأخرى فتزداد الاستجابة غالبا أكثر من عشرة إضعاف.

سبب حدوث فرط الحساسية عقب إزالة التعصيب.

لم يُعرف سبب حدوث فرط الحساسية عقب إزالة التعصيب إلا جزئيا. إن زيادة عدد المستقبلات في الأغشية بعد المشبك للخلايا المستفعلة(تبلغ احيانا عدة اضعاف) تشكل جزءاً من الإجابة على ذلك وخاصةً عندما لايوجد أي اطلاق للنورادرينالين والاستيل كولين عند المشابك. وتدعى هذه العملية التنظيم المترقي الخاص بالمستقبلات. ولذلك عندما يزرق هذان الهرمونان مؤقتا في الدوران الدموي تتعزز استجابة المستقبلات بسرعة .

المنعكسات المستقلة :

يُنظم عدد كبير من الوظائف الحشوية بوساطة المنعكسات المستقلة .

المنعكسات القلبية الوعائية الذاتية . يساعد العديد من منعكسات الجهاز القلبي الوعائي في تنظيم الضغط الشرياني وسرعة القلب بشكلٍ خاص. أحد هذه المستقبلات هو منعكس مستقبلة الضغط . وبشكل موجز تتوضع مستقبلات تمطط تدعى مستقبلات الضغط في جدر الشرايين الكبيرة التي تشمل الابهر والشريان السباتيين . فعندما تتمطط المستقبلات بالضغط المرتفع، ترسل إشارات إلى جذع الدماغ وهناك تُثبط الدفعات الودية الذاهبة إلى القلب والأوعية الدموية مما يؤدي إلى إعادة الضغط الشرياني إلى سويته.

المنعكسات المعدية المعوية المستقلة. يتم التحكم بالجزء العلوي من السبيل المعدي المعوي بالإضافة إلى المستقيم بالمنعكسات المستقلة بشكل رئيسي . فعلى سبيل المثال، تثير رائحة الطعام الشهي أو وضع الطعام في الفم إطلاق إشارات من الأنف و الفم إلى النوى المبهمة واللسانية البلعومية واللعابية في جذع الدماغ، التي ترسل بدورها إشارات عبر الأعصاب اللاودية إلى الغدد المفرزة في الفم والمعدة مسببة إفراز العصارات الهاضمة حتى قبل أن يدخل الطعام إلى الفم . وكذلك تطلق دفعات حسية نتيجة تمطط المستقيم –عند امتلاء النهاية الأخرى للمستقيم بالمواد البرازية –إلى الجزء العجزي من النخاع الشوكي فترسل إشارات انعكاسية عبر الأعصاب اللاودية إلى الجزء القاصي من القولون تنجم منها تقلصات تمعجية شديدة تفرغ الأمعاء .

المنعكسات المستقلة الأخرى. يتم التحكم بإفراغ المثانة بالطريقة نفسها التي يفرغ بها المستقيم، حيث يؤدي تمطط المثانة إلى إرسال إشارات إلى النخاع الشوكي العجزي تؤدي بدورها إلى إحداث تقلص المثانة بالإضافة إلى إرخاء المصرات البولية مما يحض على حدوث التبول.

التنبيه والتنبيه الكتلي لأعضاء منفصلة في حالات مختلفة من قبل الجهازين الودي واللاودي:

يفرغ الجهاز الودي في العديد من الحالات كوحدة كاملة تقريبا، تدعى هذه الظاهرة التفريغ الكتلي وهي تحدث عادة عندما يُفعل الوطاء نتيجة رعب أو خوف أو الم شديد، وينجم من ذلك رد فعل يشمل كامل الجسم يدعى استجابة الكرب أو الخطر .

يحدث التفعيل الودي في أوقات أخرى في أجزاء معزولة من الجهاز الودي. وأكثرها أهمية هو التالي:

١. عملية تنظيم الحرارة، فالجهاز الودي يتحكم في التعرق وبالجريان الدموي في الجلد دون أن يؤثر على الأعضاء الأخرى المعصبة بالودي.
٢. العديد من المنعكسات الموضعية تشترك بها ألياف حسية واردة تسير بشكل مركزي عبر الأعصاب الودية إلى العقدة الودية والنخاع الشوكي – مسببة استجابات انعكاسية دقيقة التوضع، فعلى سبيل المثال، يحدث تسخين باحة موضعة من الجلد توسعا وعائيا وزيادة في التعرق في الموضع نفسه في حين أن تبريد تلك الباحة يحدث تأثيرا معاكسا تماما.
٣. إن الكثير من المنعكسات الودية التي تتحكم بوظائف الجهاز المعدي المعوي متميز تماما، حيث يعمل أحيانا عبر مسالك عصبية لا تصل النخاع الشوكي ولكنها تسير من المعي إلى العقد الودية – وخاصة العقد جانب الفقار – ثم تعود إلى المعي عبر الأعصاب الودية كي تتحكم بالفعاليات الحركية والإفرازية.

الجهاز اللاودي : تعد وظائف التحكم التي يقوم بها الجهاز اللاودي أكثر نوعية بالمقارنة مع الجهاز الودي . فعلى سبيل المثال، تؤثر المنعكسات القلبية الوعائية اللاودية عادة على القلب فقط لزيادة أو إنقاص سرعة ضرباته، وبالمثل تسبب منعكسات لاودية أخرى إفرازا للغدد الفموية بشكل رئيسي، في حين تسبب في حالات أخرى إفراز الغدد المعدية بشكل رئيسي .

ويوجد عادةً ارتباط بين الوظائف اللاودية المتخالفة بشدة، فعلى سبيل المثال، رغم أن الإفراز اللعابي يمكن أن يحدث بشكل مستقل عن الإفراز المعدي إلا أن الاثنين غالباً ما يحدثان أيضا معاً، ويحدث الإفراز المعثكلي في الوقت نفسه في كثير من الأحيان . بالإضافة إلى ذلك ، فإن المنعكس المفرغ للمستقيم غالباً ما يحرض بدء منعكس افرغ المثانة مما يؤدي إلى إفراغ متواقت للمستقيم والمثانة .وبالمقابل يمكن للمنعكس المفرغ للمثانة أن يساعد على تحريض بدء إفراغ المستقيم .

استجابة الخطر أو الكرب في الجهاز العصبي الودي.

عندما تفرغ أجزاء كبيرة من الجهاز العصبي الودي دفعاتها في الوقت نفسه – أي ما يدعى بالتفريغ الكتلي فإن ذلك يزيد قدرة الجسم على القيام بفعاليات عضلية شديدة القوة وذلك بعدة طرق مختلفة .

وسنقوم بإيجاز هذه الطرق بسرعة :

١. زيادة الضغط الشرياني .

٢. زيادة الجريان الدموي إلى العضلات الفعالة مع إنقاص متزامن للجريان الدموي إلى أعضاء مختلفة – كالسبيل المعدي المعوي والكليتين – التي ليس لها أي حاجة للقيام بالنشاط العضلي السريع.
٣. زيادة معدل الاستقلاب الخلوي في كامل أنحاء الجسم .
٤. زيادة تركيز الغلوكوز في الدم .
٥. زيادة حل الغليكوجين في الكبد والعضلات .
٦. زيادة شدة التقلص العضلي .
٧. زيادة النشاط الفكري
٨. زيادة سرعة تخثر الدم .

وإن اجتماع هذه التأثيرات يسمح للشخص بالقيام بنشاط فيزيائي أكثر وأشد قوة مما يمكن القيام به لولاها. وبما أن الكرب الفكري أو الفيزيائي يثير عادة الجهاز الودي، لذلك كثيراً ما يقال إن الغرض من الجهاز الودي هو تأمين تفعيل إضافي للجسم في حالات الكرب ، وهذا ما يدعى عادة استجابة الودي للكرب.

يتم تفعيل الجهاز الودي بشدة خصوصاً في العديد من الحالات الانفعالية. فعلى سبيل المثال، في حالة الغضب rage - التي تُحرض عادةً بتنبيه الوطاء بشكل رئيسي – تُرسل إشارات نحو الأسفل عبر التشكلات الشبكية والنخاع الشوكي لإحداث تفريغ ودي كتلي فتحدث في الحال جميع الحوادث الودية التي ذكرت سابقاً. وهذا ما يدعى برد الفعل الودي تجاه الخطر sympathetic alarm reaction أو يدعى احياناً برد الفعل المحفز للهرب أو القتال، لأن معظم الحيوانات تقرر في هذه الحالة إما البقاء والقتال أو الفرار، وفي كلتا الحالتين يجعل رد الفعل الودي للخطر النشاطات التالية للحيوان أكثر شدة وقوة.

تحكم البصلة والجسر والدماغ المتوسط بالجهاز العصبي المستقل

تتحكم باحات عديدة من المادة الشبكية في البصلة والجسر والدماغ المتوسط بالإضافة إلى عدد من النوى المختصة بالوظائف المستقلة المختلفة، كالضغط الشرياني وسرعة القلب والإفراز الغدي في الجزء العلوي من السبيل المعدي المعوي والحركات الحوية للسبيل المعدي المعوي ودرجة تقلص المثانة.

إن قطع عرضي لجذع الدماغ عند منتصف الجسر يسمح باستمرار التحكم الأساسي بالضغط الشرياني كما كان من قبل، ولكنه يمنع تعديله بوساطة المراكز العصبية العليا، وخاصةً الوطاء.

ولكن إذا حدث القطع تحت البصلة مباشرة فإن ذلك يؤدي إلى انخفاض الضغط إلى نصف قيمته السوية .

تحكم الباحات العليا بالمراكز الذاتية في جذع الدماغ.

يمكن للإشارات القادمة من الوطاء ومن المخ أن تؤثر على فعاليات جميع المراكز العصبية الذاتية الموجودة في جذع الدماغ. فعلى سبيل المثال، يمكن لتنبيه باحات مناسبة من الوطاء (بشكل أساسي الجزء السفلي من الوطاء) أن يفعل المراكز البصلية المتحكمة بالقلب والأوعية بشدة كافية تسمح بزيادة الضغط الشرياني إلى ضعفي السواء.

وبالمثل، يمكن لمراكز أخرى في الوطاء أن تتحكم بحرارة الجسم أو أن تزيد أو تنقص الإلعاب أو الفعالية المعدية المعوية أو أن تسبب إفراغ المثانة. ولذلك تعمل المراكز المستقلة في جذع الدماغ إلى حد ما كمحطات استقبال ونقل لفعاليات التحكم التي تصدر عن المراكز العليا في الدماغ(خاصةً الوطاء).

الفصل الرابع
الجهاز التنفسي The Respiratory System

مقدمة. إن تعبير التنفس يستخدم للإشارة إلى مفهومين :
١-التنفس الخارجي وهو عملية تبادل الغازات بين المحيط الخارجي والرئتين.
٢ -التنفس الداخلي هو عملية تبادل الغازات بين الخلايا والوسط السائل المحيط بها (استهلاك الخلايا للأكسجين وإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون وتبادل هذه الغازات مع الوسط السائل المحيط بها).

يتكون الجهاز التنفسي وظيفياً من:
١ ـ الرئتين (العضوان اللذان يتم بهما تبادل الغازات).
٢-المضخة التي تضخ الهواء إلى الرئتين وتتألف من:

١. جدار الصدر.
٢. العضلات التنفسية التي تزيد وتنقص حجم الجوف الصدري .
٣. المناطق الدماغية التي تتحكم بهذه العضلات .
٤. السبل والأعصاب التي تربط بين هذه المناطق في الدماغ وتلك العضلات.

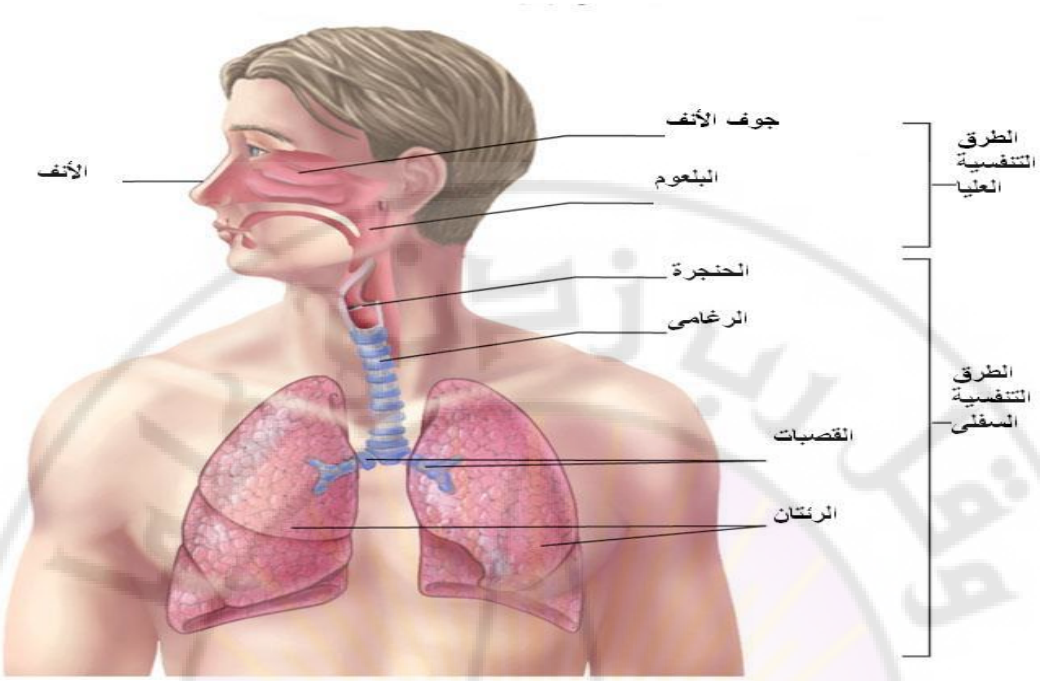
ومن ناحية أخرى يمكن تقسيم الجهاز التنفسي تشريحياً إلى:
١-الجهاز التنفسي العلوي (الطرق التنفسية العلوية) ويتألف من الأنف والأعضاء الملحقة بجوف الأنف والبلعوم (الذي هو طريق مشترك لكل من الجهازين الهضمي والتنفسي).
٢ -الجهاز التنفسي السفلي (الطرق التنفسية السفلية) ويتألف من الحنجرة، الرغامى، القصبات، الرئة (الشكل ١).

وظائف الجهاز التنفسي

١. تبادل الغازات. يسمح الجهاز التنفسي بتبادل الأكسجين وثاني أو كسيد الكربون بين كل من الهواء و الدم.
٢. المساهمة في تنظيم PH الدم ، يستطيع الجهاز التنفسي أن يغير PH الدم عن طريق تغييره مستوى Co2 في الدم.
٣. إنتاج الأصوات التي يحتاج الإنسان إليها في أثناء التكلم (مرور الهواء من خلال الحبال الصوتية).
٤. تأمين المناطق التي تعتبر بمثابة مستقبلات لحس الشم.
٥. يقوم بوظيفة حماية للجسم بمنعه الجراثيم من الدخول إلى الجسم.
٦. تركيب بعض المواد أو اختزانها أو إزالتها جزئياً من الدوران أو تفعيلها.

ويعتبر تأمين الأكسجين للنسج وتخليصها من غاز ثاني أكسيد الكربون هو أهم هدف للتنفس ولإنجاز هذا الهدف يمكن تقسيم التنفس إلى أربعة حوادث وظيفية رئيسية:

- التهوية الرئوية: تعني تبادل الهواء بين الجو الخارجي وأسناخ الرئة.
- انتشار الأكسجين وثاني أكسيد الكربون بين الأسناخ والدم.
- نقل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون بواسطة الدم وسوائل البدن إلى ومن الخلايا.
- تنظيم التهوية الرئوية.



الشكل (١).أقسام الجهاز التنفسي.

الطرق الهوائية: Air Passages

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

الوظائف التنفسية للأنف

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

١. تدفئة الهواء بوساطة السطوح الواسعة الغنية بالتروية الدموية في الأنف(الأصمخة والقرينات) حيث تبلغ مساحتها ١٦٠ سم^{٢} وترتفع درجة حرارة الهواء المستنشق عادة ١ درجة فهرنهايت عن درجة حرارة الجسم.

٢. ترطيب الهواء ويحصل ذلك بشكل كامل حتى قبل أن يجتاز الهواء الأنف وترتفع نسبة الإشباع ببخار الماء بمقدار ٢ ـ ٣ % من الإشباع الكلي قبل أن يصل إلى الرغامى (عندما يتنفس الشخص الهواء عبر أنبوب يصل مباشرةً إلى الرغامى يمكن أن تحدث أخماج خطيرة بسبب البرودة والجفاف).

٣. تنقية الهواء، يتم ذلك بالآليات التالية:

- بواسطة الأشعار الموجودة عند مدخل الأنف التي تحتجز الجزيئات الكبيرة التي يزيد حجمها عن ٦ ميكرومتر أما الجزيئات الأصغر من ذلك فتوجد آليات أخرى لاحتجازها ومنعها من الوصول إلى الرئتين.
- **Turbulent precipitation** يعني ذلك إزالة الجزئيات بوساطة القذف العنيف أي أن الهواء المار عبر الطرق الأنفية يشكل دوارات عند اصطدامه بالقرينات والوترة وجدار البلعوم وفي كل مرة عليه أن يغير اتجاه حركته مما يؤدي إلى ترسب الجزئيات التي يزيد قطرها عن ٤-٦ مكرومتر لأنها لا تستطيع تغيير اتجاه حركتها بنفس سرعة الهواء في تغيير اتجاه حركته وتعتبر هذه الآلية أهم من الأولى.

أما بالنسبة لبقية الجسيمات فيستقر الكثير منها (التي يتراوح قطرها بين ١ و٥ مكرومتر) خارج القصيبات الصغيرة نتيجة الترسب بالجاذبية، وفيما يتعلق بالجزئيات التي يتراوح قطرها بين ٠.٥ و١ مكرومتر فإنها تصل إلى هواء الأسناخ وتلتصق بالسائل السنخي، تبقى الجزئيات التي تبلغ حجماً أقل من نصف مكرومتر معلقة في هواء الأسناخ وتخرج مع الزفير التالي.

البلعوم طريق مشترك لكل من الطعام والهواء، ويحدث خلال البلع إغلاق الطريق التنفسي حتى لا يدخل الطعام إلى الرئتين ويحدث ذلك بواسطة منعكس عصبي.
بعد ذلك يسلك الهواء الداخل إلى الرئتين طريق الحنجرة وهي إضافة إلى وظيفتها في ترطيب الهواء الداخل إلى الرئتين لها دور رئيسي في التصويت Vocalization والحنجرة متكيفة بشكل خاص لتعمل عمل المهزاز، والعنصر المهتز هو الطيات الصوتية المعروفة باسم الحبال الصوتية.
ثم يسلك الهواء طريق الرغامى وبعد ذلك القصبات ثم القصيبات، وتعد الرغامى Trachea الجيل الأول للطرق التنفسية، وتعد القصبتان Bronchi اليمنى واليسرى الجيل الثاني، في حين يكون كل انقسام بعد ذلك جيلاً إضافياً، وهناك ما بين ٢٠ ـ ٢٥ جيلاً قبل أن يصل الهواء أخيراً إلى الأسناخ.
ومن أكثر المسائل أهمية في الطرق التنفسية عملية المحافظة عليها مفتوحة حتى أخرها للسماح بمرور الهواء من وإلى الأسناخ، وحتى تبقى الرغامى مفتوحة، يطوق عدد من الحلقات الغضروفية حوالي خمسة أسداس الطريق حول الرغامى، كما تنتشر في جدر القصبات صفيحات غضروفية تحافظ على صلابة معقولة في القصبات، مما يسمح بحرية كبيرة للقصبات في التمدد والانخماص، وتغدو هذه الصفيحات الغضروفية أقل انتشاراً كلما تقدمنا بتفرعات أكثر للقصبات، وتخلو القصيبات Bronchioles التي نصف قطرها ١ ـ ١.٥ ملم منها تماماً وبالتالي فهي تتمدد بنفس الضغط عبر الرئوي الذي يمدد الأسناخ، وهذا يعني أنه كلما كبرت الأسناخ تكبر معها القصيبات، وتتركب جدر الرغامى والقصبات في الأماكن الخالية من الصفيحات الغضروفية بشكل رئيسي من العضلات الملس، باستثناء أغلب القصيبات الانتهائية التي تدعى القصيبات التنفسية التي لا تحوي إلا اليافاً قليلة من العضلات الملس.

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

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

التحكم الودي
يكون التحكم المباشر بالقصيبات ضعيفاً بسبب قلة ألياف الأعصاب الودية التي تصل إلى الأجزاء المركزية من الرئة ،وعلى الرغم من ذلك فإن تأثير الجملة الودية على القصبات يكون

جلياً ويتم ذلك عن طريق النورأبينفرين والأبينفرين الجوالين في الدم المتحررين بالتحريض الودي للب الكظر. يسبب كلّ من هذين الهرمونين (وخاصةً الأيبينفرين لأنه أكثر حثاً لمستقبلات بيتا) توسعاً في الشجرة القصبية.

التحكم نظير الودي

يخترق متن الرئة القليل فقط من الأعصاب نظيرة الودية(مشتقة من العصب المبهم) وتفرز من نهاياتها الأستيل كولين، وتؤدي لدى تفعيلها إلى تضيق خفيف إلى متوسط في القصيبات ، ولكن عندما توجد حدثية مرضية تسبب التضيق للقصيبات كالربو ،فإن حث نظير الودي غالباً ما يسيء كثيراً للحالة،وفي هذه الحالة فإن إعطاء الأتروبين قد يفيد حيث يؤدي إلى ارتخاء الطرق التنفسية بشكل كاف لتفريج الانسداد.

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

مطاوعة الرئتين Compliance of the lungs

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

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

-**القوى المرنة التابعة لنسيج الرئة خاصة.** تتحدد هذه القوى بشكل أساسي بوجود ألياف الكلاجين وألياف Elastin المتوضعة بشكل نسيج في المتن الرئوي. تكون هذه الألياف في الرئتين المنكمشتين متقلصة بشكل جزئي وفي حالة مفتولة وعندما تتمدد الرئتان تتمطط الألياف وتنفك حلقاتها جزئياً وبذلك تكون قد استطالت.

القوى المرنة الناجمة عن التوتر السطحي

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

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

السورفاكتانت والتوتر السطحي

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

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

السورفاكتانت وتأثيره على التوتر السطحي

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

الضغط الانخماصي للأسناخ المغلقة الناجم عن التوتر السطحي.

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

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

تأثير حجم الأسناخ على الضغط الانخماصي الناجم من التوتر السطحي

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

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

العضلات التنفسية

١-العضلات الشهيقية:

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

- العضلات الشوكية، وهي عضلات باسطة للعمود الفقري تعمل في أثناء تقلصها على زيادة القطر الأمامي الخلفي للقفص الصدري.

العضلات الزفيرية

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

ـ آليات التهوية الرئوية

Mechanics of Pulmonary Ventilation

يمكن للرئتين أن تتمددا وتتقلصا بطريقتين:

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

يحدث التنفس الطبيعي الهادئ في معظمه بوساطة الآلية الأولى، أي بحركة الحجاب، فخلال الشهيق يؤدي تقلص الحجاب الحاجز إلى جر السطوح السفلية للرئتين إلى الأسفل، أما في أثناء الزفير فإن الحجاب يعود إلى وضعية الراحة ويساعد الارتداد المرن لكل من الرئتين وجدار الصدر والأعضاء البطنية على ضغط الرئتين.

في أثناء التنفس الثقيل (حيث لا تكفي القوى المرنة السابقة الذكر لإحداث الزفير السريع اللازم) مما يتطلب وجود قوة خارجية يمكن الحصول عليها بتقلص العضلات البطنية التي تدفع المحتويات البطنية للأعلى عكس تقعر الحجاب الحاجز.

حركة الهواء الداخل والخارج من الرئتين والضغوط التي تسبب ذلك

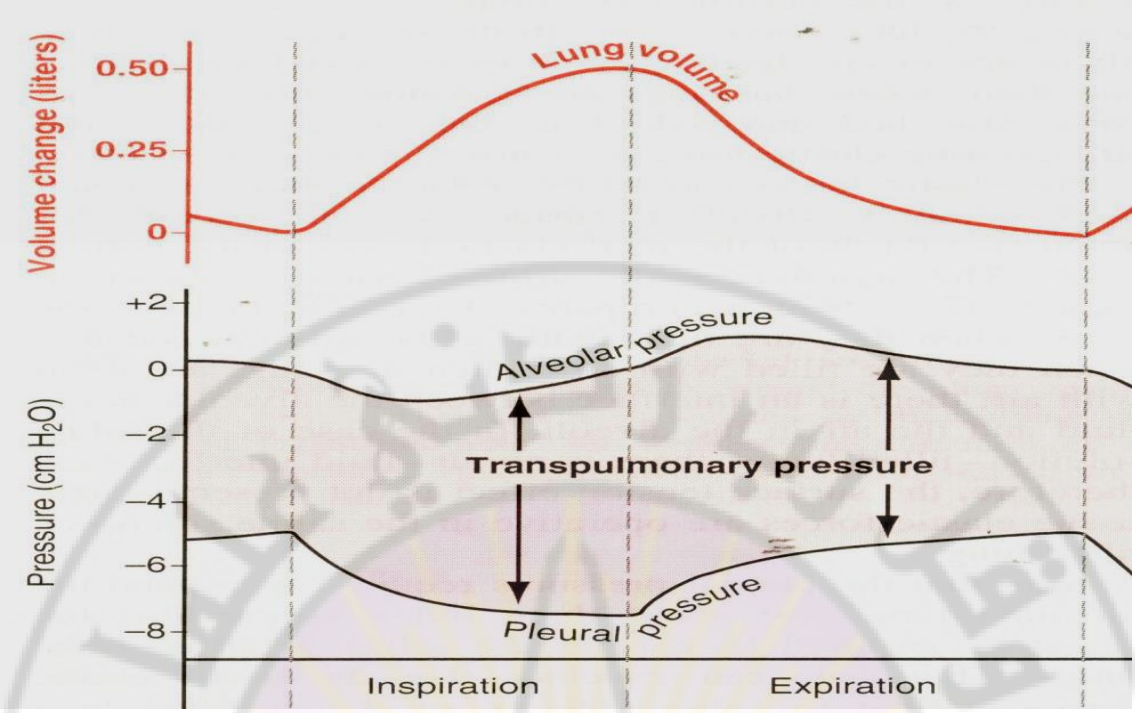
تعد الرئة بنية مرنة يمكن لها أن تنخمص كالبالون وتطرد كل الهواء عبر الرغامى في أي وقت لا تتوفر فيه القوة لإبقائها منتفخة، وكذلك لا يوجد رابط بين الرئة وجدار القفص الصدري ما عدا المكان الذي تتعلق فيه الرئة (عند سرتها) مع المنصف.

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

الضغط في جوف الجنب وتغيراته في أثناء التنفس

الضغط الجنبوي (الضغط داخل الجوف) هو الضغط الموجود في المسافة الضيقة بين جنبة الرئة وجنبة جدار الصدر، وهي كمية المص المطلوبة لإبقاء الرئتين مفتوحتين عند حدود الراحة، وفي أثناء الشهيق السوي، يؤدي تمدد القفص الصدري لسحب سطح الرئتين مع تزايد مستمر لقوة الضغط ويخلق ضغطاً متواصلاً أكثر سلبية يصل لحدود ـ ٧.٥ سم ماء تقريباً.

يوضح الشكل (٢) العلاقات الموجودة بين الضغط في جوف الجنب وتغير حجم الرئة، ويبدو فيه عند قاعدة المخطط البياني ازدياد سلبية الضغط الجنبوي من ـ ٥ إلى ـ ٧.٥ في أثناء الشهيق، وعند قمة المخطط زيادة حجم الرئة نصف ليتر، ومن ثم تنعكس الأحداث أثناء الزفير.



الشكل (٢)تبدلات حجم الرئة والضغط السنخي والضغط الجنبوي والضغط عبر الرئة في أثناء التنفس السوي(Alveolar pressure =الضغط السنخي، Pleural pressure =الضغط ضمن جوف الجنب، Transpulmonary pressure=الضغط عبر الرئوي).

ـ الضغط السنخي Alveolar pressure

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

وحتى يحدث جريان هوائي إلى الرئتين في أثناء الشهيق يجب على الضغط ضمن الأسناخ أن يهبط إلى قيمة أقل قليلاً من الضغط الجوي، ويوضح الخط البياني الثاني في الشكل (١٩) نقصاً في الضغط السنخي إلى (ـ١) سم ماء تقريباً في أثناء الشهيق السوي ويعد هذا الضغط السلبي الضئيل كافياً لتحريك حوالي ٠.٥ ليتر من الهواء إلى الرئتين خلال الثانيتين المطلوبتين من أجل الشهيق. وتحدث في أثناء الزفير تغيرات معاكسة حيث يرتفع الضغط السنخي إلى حوالي ١ سم ماء وهذا ما يدفع بنصف اللتر من الهواء المستنشق إلى خارج الرئتين خلال ٢ ـ ٣ ثوانٍ من الزفير.

انتشار الأكسجين وثاني أكسيد الكربون عبر الغشاء التنفسي

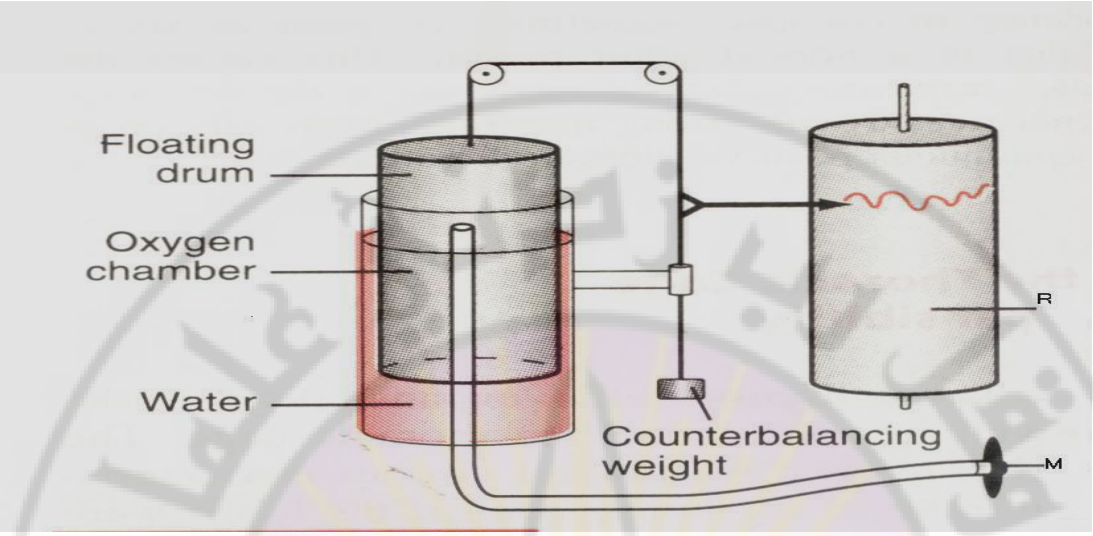
إن الخطوة التي تلي دخول الهواء إلى الأسناخ هي انتشار الأكسجين من الأسناخ إلى الدم الرئوي وانتشار ثاني أكسيد الكربون في الاتجاه المعاكس . وتتم عملية الانتشار بواسطة الحركة العشوائية للجزيئات في كلا الاتجاهين عبر الغشاء التنفسي والسوائل المجاورة لهذا الغشاء .

الحجوم والسعات الرئوية

Pulmonary Volumes and Capacities

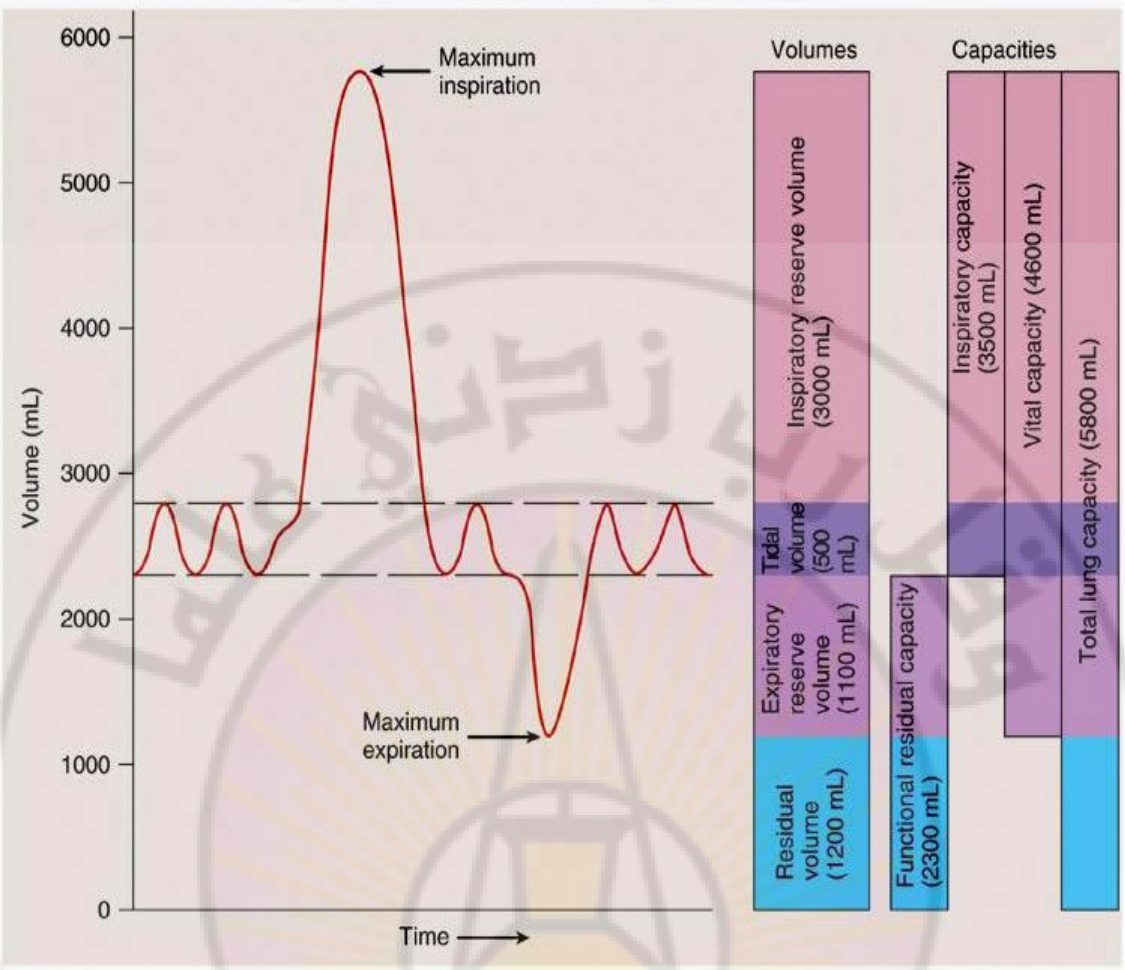
يعد تسجيل حجم الهواء الجاري من وإلى الرئتين طريقة بسيطة لدراسة التهوية الرئوية وتدعى هذه العملية قياس النفس Spirometry. يوضح الشكل (٣) مقياساً تنفسياً نموذجياً. يتألف من اسطوانة مقلوبة على وعاء يحوي الماء، ومن أجل التوازن يعلق بهذه الاسطوانة

ثقل، ويوجد داخل الاسطوانة مزيج من غازات التنفس (نفس تركيب الهواء الجوي أو عادة من الأكسجين فقط)، ويوجد أنبوب يصل فم الشخص مع حجرة الغاز، فعندما يتنفس المرء من الحجرة فإن الاسطوانة ترتفع وتنخفض ويتم رسم المخطط الموافق على صفحة الورق المتحرك.



الشكل(٣). مقياس النفس : M تعني Mouthpiece ، R تعني Recording drum.

يوضح الشكل (٤) رسماً بيانياً تنفسياً يبدي التغيرات في حجم الرئة تحت ظروف مختلفة من التنفس، ولتبسيط وصف أحداث التهوية الرئوية، قسم الهواء الموجود داخل الرئتين لمراحل مختلفة على هذا المخطط، توزعه إلى أربعة حجوم مختلفة وأربع سعات مختلفة.



الشكل(٤).مخطط يُظهر السيوح التنفسية في أثناء التنفس السوي والجهدي.

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

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

- **الحجم المدخر الشهيقي**

The Inspiratory Reserve Volume (IRV)

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

- **الحجم المدخر الزفيري**

The Expiratory Reserve Volume(ERV)

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

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

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

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

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

- **السعة الوظيفية المدخرة**

(FRC)The Functional Residual Capacity

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

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

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

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

تساوي السعة الحيوية + الحجم الثمالي وتعادل تقريباً ٥٨٠٠ مل.

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

تنظيم التنفس

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

المركز التنفسي : Respiratory Center :

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

١ – القسم البصلي : يتألف من مجموعتين من العصبونات :

أ – المجموعة التنفسية الظهرية : Dorsal Respiratory Group :

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

فعالية داخلية Intrinsic Activity أي لها قدرة على توليد النظم ذاتياً دون الاعتماد على مصدر خارجي . بالإضافة إلى ذلك يوجد نوع ثانٍ من العصبونات يدعى β و تفعيل هذه العصبونات يؤدي إلى تثبيط العصبونات α . تتلقى العصبونات β تنبيهاتها من العصبونات α و بالتالي توجد حلقة دائرية بين العصبونات α و العصبونات β . فتفعيل العصبونات α يؤدي إلى تفعيل β (التي لا تمتلك فعالية ذاتية) . و تفعيل β يؤدي إلى تثبيط α و لكن هذا التثبيط لا يكفي لإيقاف العصبونات α و إنما تحتاج إلى تنبيهات من أماكن أخرى حتى تقف عن العمل الضروري لإكمال عملية التنفس الطبيعية . لأن توقف العصبونات α بعد فترة من الزمن يؤدي إلى توقف التنبه للعصب الحجابي و بالتالي يسترخي الحجاب الحاجز و يحدث الزفير بشكل منفعل .

ب – المجموعة التنفسية البطنية : Ventral Respiratory Group

تتوضع عصبونات المجموعة التنفسية البطنية على مسافة ٥ ملم أمام و وحشي عصبونات المجموعة التنفسية الظهرية و تختلف وظيفة هذه المجموعة العصبونية عن المجموعة التنفسية الظهرية بعدة أمور :

١) يبقى مجمل عصبونات المجموعة التنفسية البطنية غير فعال تقريبا في أثناء التنفس الهادئ السوي . يحدث التنفس الهادئ السوي بوساطة إشارات شهيقية متتالية تصدر عن المجموعة

التنفسية الظهرية و تنتقل بشكل رئيسي إلى الحجاب الحاجز ، و يحدث الزفير نتيجة النكوص المرن للرئتين و القفص الصدري .
٢) يؤدي التنبيه الكهربائي لبعض عصبونات المجموعة البطنية إلى إحداث الشهيق بينما يؤدي تنبيه عصبونات أخرى إلى إحداث الزفير . لذلك تسهم هذه العصبونات في كل من الشهيق و الزفير . تكمن أهمية هذه العصبونات في إصدار تنبيهات زفيرية قوية إلى العضلات البطنية في أثناء الزفير ، لذلك تعمل هذه المنطقة عمل آلية مسرعة للتنفس عند الحاجة إلى زيادة مستوى التهوية الرئوية
ملاحظة: عندما تعمل العصبونات المسؤولة عن الشهيق تتثبط العصبونات المسؤولة عن الزفير و العكس صحيح .

٢ – القسم الجسري

Pontine Group Of The Respiratory Center

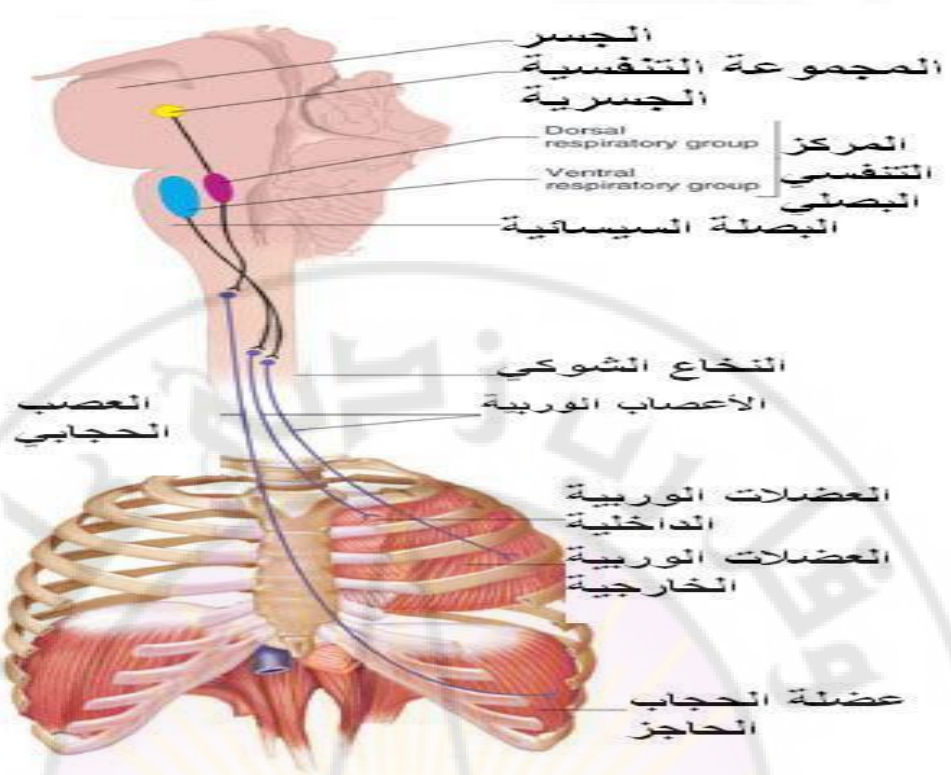
يتألف من مجموعتين من العصبونات :

أ – المركز الجسري السفلي : Apneustic Center

يدعى المركز الموقف للتنفس . تتوضع عصبونات هذا المركز في الثلث السفلي من الجسر و هو يصدر بشكل مستمر دفعات عصبية Impulses موجهة إلى مركز الشهيق ، و تحثه على تقوية الفعل الشهيقي الذي يصبح عميقاً . كما يصدر بنفس الوقت تنبيهات تسير نحو الأعلى لتنبيه المركز الجسري العلوي . يتلقى هذا المركز دفعات عصبية تثبيطية من مستقبلات التمدد الموجودة في الأسناخ الرئوية ، تسير هذه التنبيهات عبر الألياف الحسية للعصب المبهم . كما يتلقى تنبيهات تثبيطية من قبل
المركز الجسري العلوي ، لذلك يؤدي قطع المبهمين و إلغاء الدفعات القادمة من المركز الجسري العلوي (بإجراء قطع في منتصف الحدبة) إلى حدوث تنفس يتميز بشهيق عميق يكون مقطوعاً بزفير قصير سطحي و يستمر ذلك حتى حدوث الموت . و من هنا جاءت تسمية هذا المركز بالمركز الموقف للتنفس .

ب – المركز الجسري العلوي : Pneumtaxic Center

تتوضع عصبونات هذا المركز في الثلث العلوي من الجسر و يتلقى تنبيهاته من المركز الجسري السفلي و بالمقابل فإنه يرسل دفعات عصبية تثبيطية إلى كل من المركز الجسري السفلي و إلى العصبونات المسؤولة عن الشهيق المتوضعة في المجموعة التنفسية الظهرية ، لذلك فإنه يلعب دوراً رئيسياً في تحديد أمد الشهيق ، و بالتالي زيادة سرعة تتابع حركات التنفس و من هنا دعي بالمركز المنظم للتنفس .
ويظهر الشكل ٥ ما ذكر سابقاً :



الشكل(٥) المركز التنفسي.

آلية حدوث التنفس الهادئ السوي :

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

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

- يؤدي تنبيه العصبونات بيتا إلى تثبيط العصبونات ألفا الموجودة في المجموعة التنفسية الظهرية و بالتالي تتوقف العصبونات ألفا عن التفريغ النظمي و لكن هذه الآلية ضعيفة و لا تكفي لتوقف العصبونات ألفا و بالتالي تحتاج إلى تثبيط من مناطق أخرى .
- يؤدي وجود الهواء في الأسناخ و بالتالي تمددها إلى تنبه المستقبلات الموجودة في جدر الأسناخ التي ترسل تنبيهاتها التثبيطية عبر الألياف الحسية للمبهم إلى كل من المجموعة التنفسية الظهرية (العصبونات ألفا المسؤولة عن الشهيق) و إلى المركز الجسري السفلي الذي يرسل تنبيهاته إلى المجموعة التنفسية الظهرية (العصبونات ألفا)و يحرمه من التنبيه الذي كان يأتيه عبر هذا المركز، هذه الآلية قوية و كافية لإيقاف العصبونات ألفا المسؤولة عن الشهيق .
- يرسل المركز الجسري العلوي تنبيهات تثبيطية إلى كل من المركز الجسري السفلي و إلى العصبونات ألفا المسؤولة عن الشهيق . و بذلك تتضافر الآليات الثلاثة في إيقاف التفريغ النظمي ، للعصبونات ألفا المسؤولة عن الشهيق مما يؤدي إلى توقفها و يؤدي كل ما سبق إلى حدوث الزفير

الفصل الخامس
الجهاز الهضمي

مقدمة

يتألف الجهاز الهضمي من :

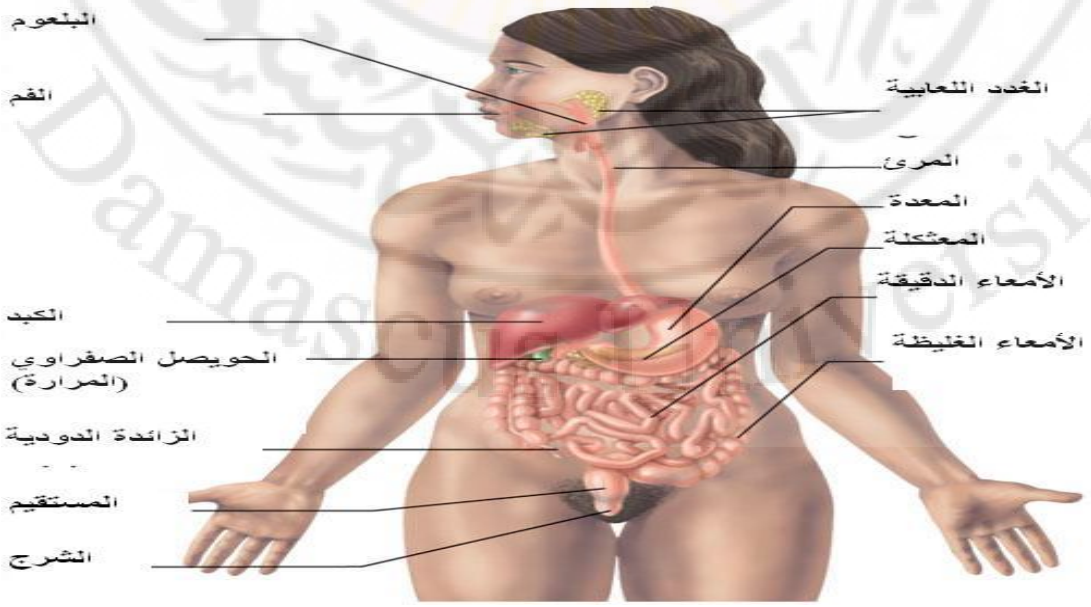
١. أنبوب الهضم. هو عبارة عن أنبوب يمتد من الفم إلى الشرج (يتألف من الفم-البلعوم-المريء-المعدة- الأمعاء الدقيقة- الأمعاء الغليظة-الشرج).
٢. الأعضاء الملحقة بأنبوب الهضم. تقوم هذه الأعضاء بإفراز السوائل (بما تحتويه من أنزيمات ومواد أخرى)إلى الأنبوب الهضمي .تشمل هذه الأعضاء كلاً من الغدد اللعابية، الكبد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

المبادئ العامة لوظيفة الجهاز الهضمي.

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

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

يظهر الشكل(١) السبيل الهضمي بأكمله وقد تأقلم كل جزء لتأدية وظائف خاصة مختلفة عن الوظائف الأخرى لبقية الأجزاء وكمثال على ذلك فإنه من المعروف أن وظيفة المريء هي فقط مرور الطعام عبر هذا الجزء إلى المعدة التي تعمل على تخزين الطعام بشكل مؤقت بينما تختص الأمعاء الدقيقة بالهضم والامتصاص.

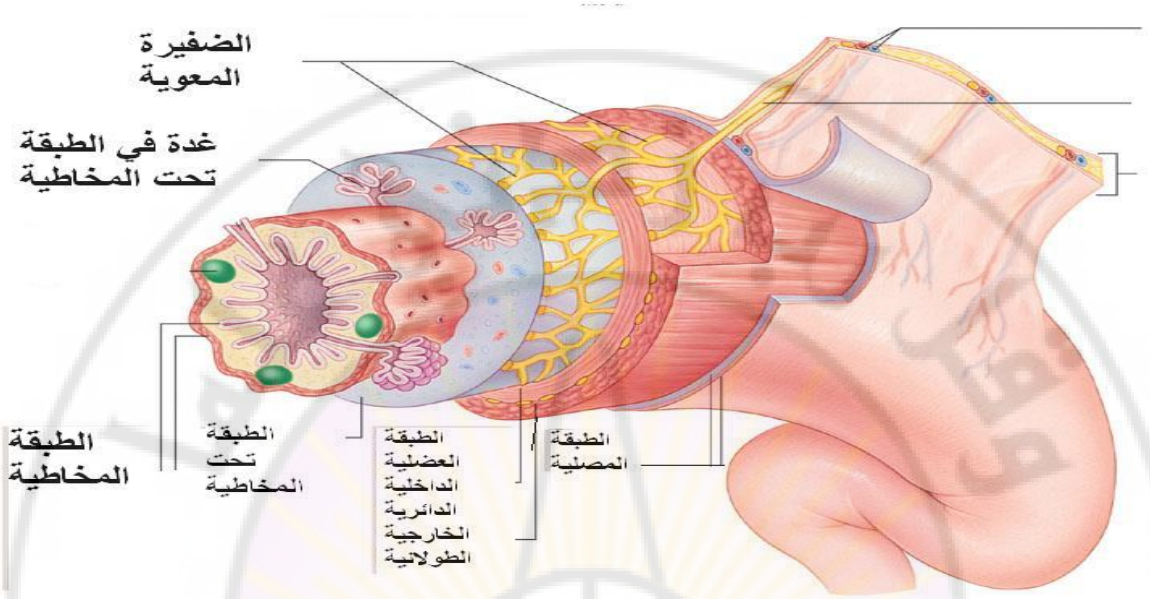


الشكل(١).الجهاز الهضمي

المبادئ العامة للتحرك الهضمي.

أ-ميزات الجدار الهضمي.

يوضح الشكل (٢)مقطعاً نموذجياً في الجدار المعوي وتظهر فيه الطبقات التالية من الخارج نحو الداخل:



الشكل(٢) مقطع في الجدار المعوي يظهر طبقات الجدار المعوي.

١-الطبقة المصلية The Serosa .
٢-طبقة العضلة الطولانية a Longitudinal muscle layer .
٣-طبقة العضلة الدائرية a circular muscle layer .
٤-الطبقة تحت المخاطية The submucosa.
٥-العضلة المخاطية The muscularis mucosae .
تنجز الوظائف الحركية لجهاز الهضم بوساطة الطبقات المختلفة من العضلات الملساء.

ب-العضلة الملساء الهضمية Gastrointestinal Smooth muscle

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

تنفصل كل حزمة من الألياف العضلية الملس بشكل جزئي عن الحزمة التي تليها بنسيج ضام رخو، ولكن هذه الحزم تتحد فيما بينها عند عدة نقاط ولذلك تعد كل طبقة عضلية عبارة عن تعريشة Latticwork متفرعة من الحزم العضلية الملساء.ولهذا السبب تعمل كل طبقة عضلية كمخلى Syncytium . يعني ذلك أنه عندما يثار كامن فعل في أي مكان من الكتلة العضلية فإنه ينتشر في جميع الاتجاهات داخل العضلة .تعتمد مسافة انتقال الإشارة (كامن الفعل)على استثارية العضلة إذ إن الإشارة تتوقف احياناً بعد عدة ملمترات وتسير احياناً عدة سنتمترات أو

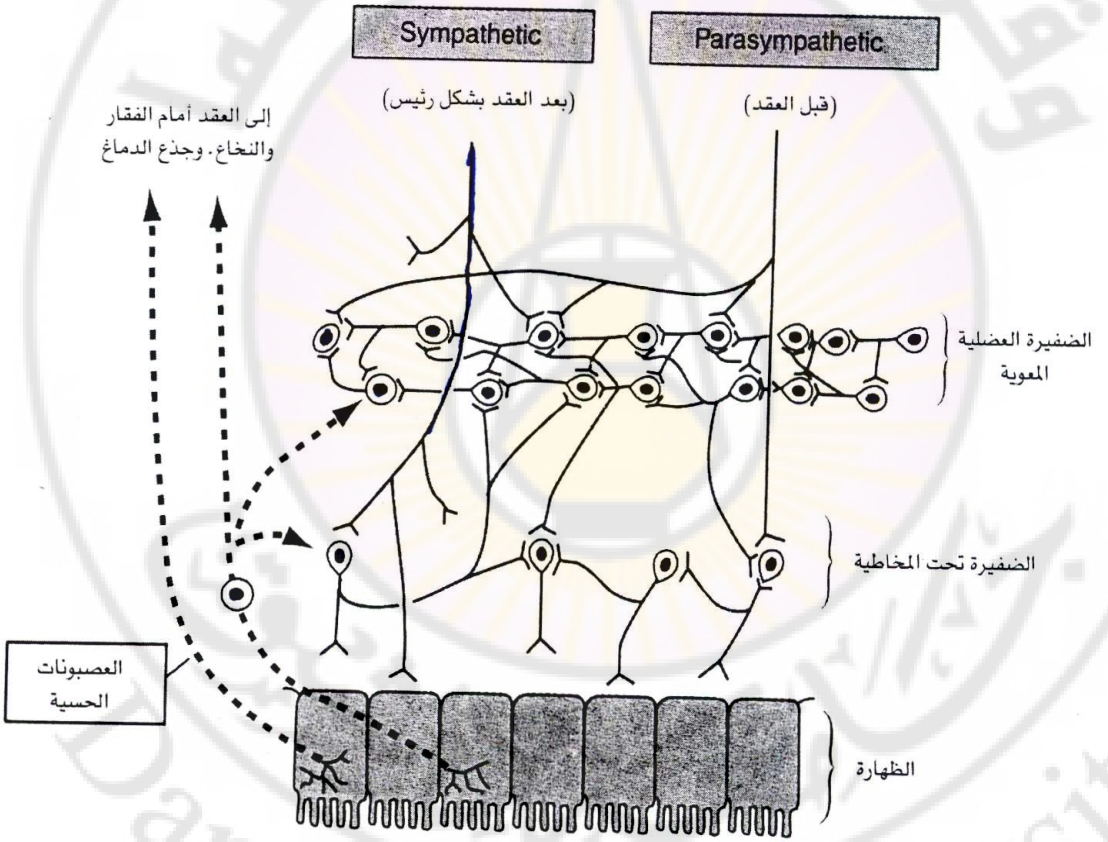
حتى على كامل السبيل المعوي.كما توجد عدة اتصالات لكنها قليلة بين الطبقة العضلية الطولانية والدائرية بحيث تؤدي إثارة إحدى هاتين الطبقتين إلى إثارة الأخرى أيضاً.

التحكم العصبي بوظيفة الهضم

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

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

تتألف الجملة العصبية المعوية بشكل رئيسي من ضفيرتين -كما هو موضح في الشكل(٣).



الشكل(٣) الجملة العصبية الذاتية واتصالاتها مع الجملة العصبية المعوية.

١. ضفيرة خارجية تتوضع بين الطبقتين العضليتين الدائرية والطولانية وتدعى الضفيرة المعوية العضلية Myenteric Plexus أو ضفيرة اورباخ.
٢. ضفيرة داخلية تدعى الضفيرة تحت المخاطية أوضفيرة مايسنر وتتوضع في الطبقة تحت المخاطية.

التحكم بالسبيل الهضمي من قبل الجملة العصبية المستقلة

١-التعصيب اللاودي Parasympathetic Innervation .

يقسم التعصيب اللاودي للمعي إلى جزء قحفي وجزء عجزي.تصل ألياف الجزء القحفي إلى السبيل الهضمي بوساطة العصبين المبهمين باستثناء بضعة ألياف تصل إلى نواحي الفم والبلعوم. تؤمن هذه الألياف تعصيباً غزيراً لكل من المريء، المعدة، المعثكلة والنصف الأول من الأمعاء الغليظة وبشكل أقل غزارة للأمعاء الدقيقة.

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

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

٢-التعصيب الودي Sympathetic Innervation

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

يؤدي تنبيه الجملة العصبية الودية إلى تثبط فعالية السبيل الهضمي محدثاً تأثيرات معاكسة لتأثيرات الجملة اللاودية.

التحكم الهرموني بالتحرك الهضمي

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

١. الغاسترين.يفرز من قبل خلايا متوضعة في مخاطية غار المعدة والعفج ويخضع إفراز هذا الهرمون لعوامل متعددة أهمها تنبيه المبهم وتمدد غار المعدة وارتفاع الـ PH . يعمل هذا الهرمون على إفراز الحمض من المعدة.
٢. السكرتين. يفرز من مخاطية العفج استجابة للعصارة المعدية الحامضة المنفرغة من المعدة عبر البواب وله تأثير مثبط معتدل على تحرك معظم أجزاء السبيل الهضمي.
٣. الكوليسيستوكينين. يفرز من مخاطية الصائم بشكل رئيسي استجابة لوجود المواد الدسمة في محتويات الأمعاء، وله تأثير هام وشديد في زيادة قلوصية المرارة.
٤. البيبتيد المعوي المثبط.يفرز من قبل مخاطية الجزء العلوي من الأمعاء الدقيقة استجابة للدسم بشكل رئيسي وللسكريات بدرجة أقل وله تأثير معتدل في إنقاص الفعالية الحركية للمعدة.

الأنماط الوظيفية للحركات في السبيل الهضمي

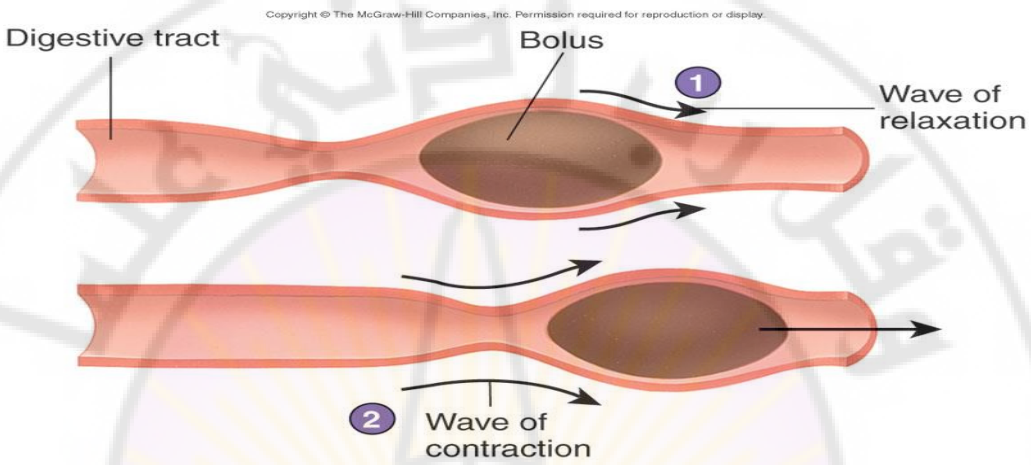
يحدث نمطان أساسيان من الحركات في السبيل الهضمي.

١-الحركات الدفعية .

تسبب هذه الحركات تحرك الطعام إلى الأمام على طول السبيل الهضمي وبمعدل ملائم للهضم والامتصاص.إن الحركة الدفعية الأساسية في السبيل الهضمي هي التمعج Peristalsis وهي خاصة متأصلة في كثير من الأنابيب العضلية الملس المخلوية ويمكن لتنبيه أي نقطة أن يؤدي إلى ظهور حلقة قلوصة تنتشر على طول الأنبوب.يعد التمدد هو المنبه المعتاد للتمعج فإذا تجمعت كمية كبيرة من الطعام في أي نقطة من المعي فإن تمطط الجدار المعوي سينبه المعي فوق هذه النقطة ب ٢-٣ سم فتظهر حلقة قلوصة تطلق الحركة التمعجية.

٢-الحركات المازجة.

تختلف الحركات المازجة باختلاف أقسام السبيل الهضمي،ففي بعض الأجزاء تسبب التقلصات التمعجية نفسها معظم المزج،وتحدث في أجزاء أخرى تقلصات مضيقة موضعية كل بضعة سنتمترات في جدار المعي.والهدف الرئيسي من هذه الحركات الحفاظ على محتويات الأمعاء ممزوجة بشكل جيد.



الشكل(٤): الحركات التمعجية في الأنبوب الهضمي.

الوظائف الإفرازية للسبيل الهضمي

تعمل الغدد الإفرازية في السبيل الهضمي على أداء وظيفتين رئيسيتين:

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

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

الأسس العامة للإفراز في السبيل الهضمي

أولا:الأنماط التشريحية للغدد في السبيل الهضمي:

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

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

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

٣-الغدد المركبة(الغدد اللعابية والمعثكلة والكبد).

المعدة

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

الوظائف الحركية للمعدة

يمكن تصنيف الوظائف الحركية للمعدة في ثلاث مجموعات:

١. تخزين كميات كبيرة من الطعام إلى أن يصبح بالإمكان احتواؤها في العفج.
٢. مزج الطعام بالمفرزات المعدية حتى يتشكل مزيج نصف سائل يدعى الكيموس.
٣. الإفراغ البطيء لمحتويات المعدة إلى الأمعاء الدقيقة وبمعدل ملائم للهضم والامتصاص في الأمعاء الدقيقة.

الوظائف الإفرازية للمعدة

تتضمن مفرزات المعدة مايلي:

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

تنظيم الإفراز المعدي.

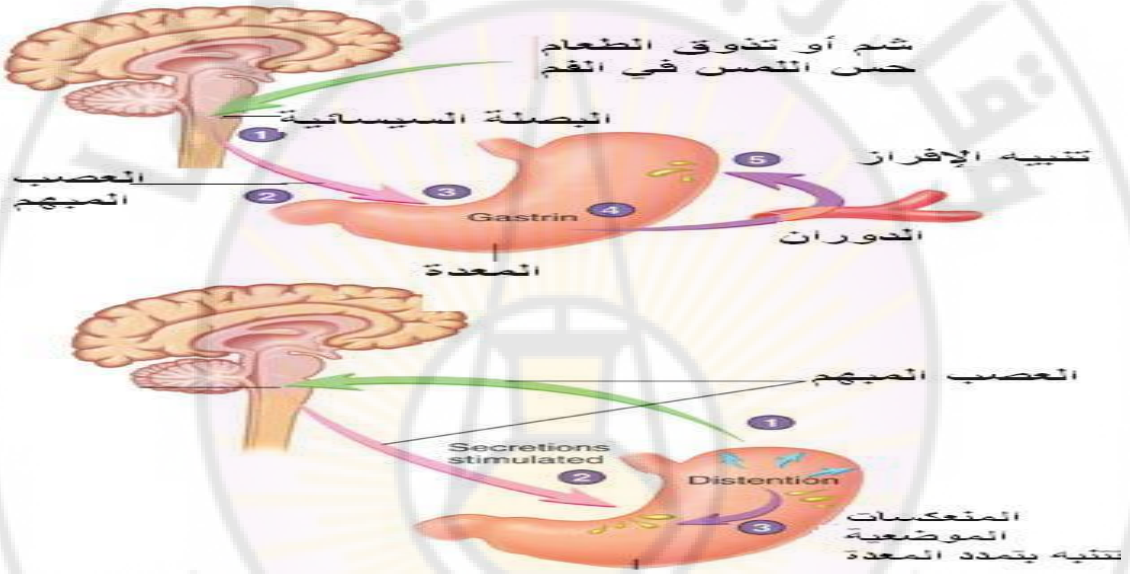
إن العوامل الأساسية التي تنبه الإفراز المعدي هي:

١. الأستيل كولين . الناقل العصبي الذي يُفرز من نهايات العصب المبهم استجابة لمجموعة من العوامل أهمها رائحة الطعام ورؤية الطعام وحتى تذكر الطعام ووجود الطعام في المعدة .
٢. الغاسترين. هرمون يُفرز استجابةً لتنبه المبهم ولوجود الطعام في المعدة.
٣. الهيستامين. تتشكل على الدوام كمية قليلة من الهيستامين في المخاطية المعدية وذلك إما استجابةً لوجود حمض في المعدة أو بسبب عوامل أخرى.

مراحل الإفراز المعدي.

يمر الإفراز المعدي بثلاث مراحل منفصلة موضحة في الشكل(٥) ،ولكن هذه المراحل متداخلة فيما بينها إلى درجة الاندماج.

١. المرحلة الرأسية.تحدث هذه المرحلة من الإفراز المعدي قبل دخول الطعام إلى المعدة أو في أثناء تناوله وهي ناتجة عن رؤية الطعام أو طعمه أو رائحته أو حتى التفكير به .يُعزى إلى هذه المرحلة نحو حوالي خمس مفرزات المعدة.
٢. المرحلة المعدية. دخول الطعام إلى المعدة يثير آلية إفراز الغاسترين التي تسبب بدورها استمرار إفراز العصارة المعدية ،ويُعزى لهذه المرحلة من الإفراز حوالي ثلثي المفرزات المعدية.
٣. المرحلة المعوية. يمكن لوجود طعام في القسم العلوي من الأمعاء الدقيقة وخصوصاً العفج أن يدفع المعدة لإفراز كميات صغيرة من العصارة المعدية، و بشكل عام خلال هذه المرحلة يحدث تثبط في الإفراز المعدي.



الشكل(٥) يوضح المرحلتين الأولى والثانية من مراحل الإفراز المعدي أما المرحلة الثالثة فهي مرحلة تثبيطية.

المعثكلة

تقع غدة المعثكلة أسفل المعدة وبشكل مواز لها وهي مؤلفة من قسمين:
١. القسم خارجي الإفراز.يشكل حوالي ٩٥% من المعثكلة ويقوم بإفراز الأنزيمات التي تقوم بهضم مختلف أنواع الطعام إضافةً لإفرازها العصارة المعثكلية التي تلعب دوراً هاماً في تعديل العصارة المعدية الحمضية وتؤمن الوسط الملائم لعمل أنزيمات المعثكلة.
٢. القسم داخلي الإفراز .يشكل هذا القسم حوالي ٥% من المعثكلة ويقوم بإفراز مجموعة من الهرمونات إلى الدم مباشرةً.

الإفراز المعثكلي

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

تحوي العصارة نوعين من المفرزات:

١. الأنزيمات:

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

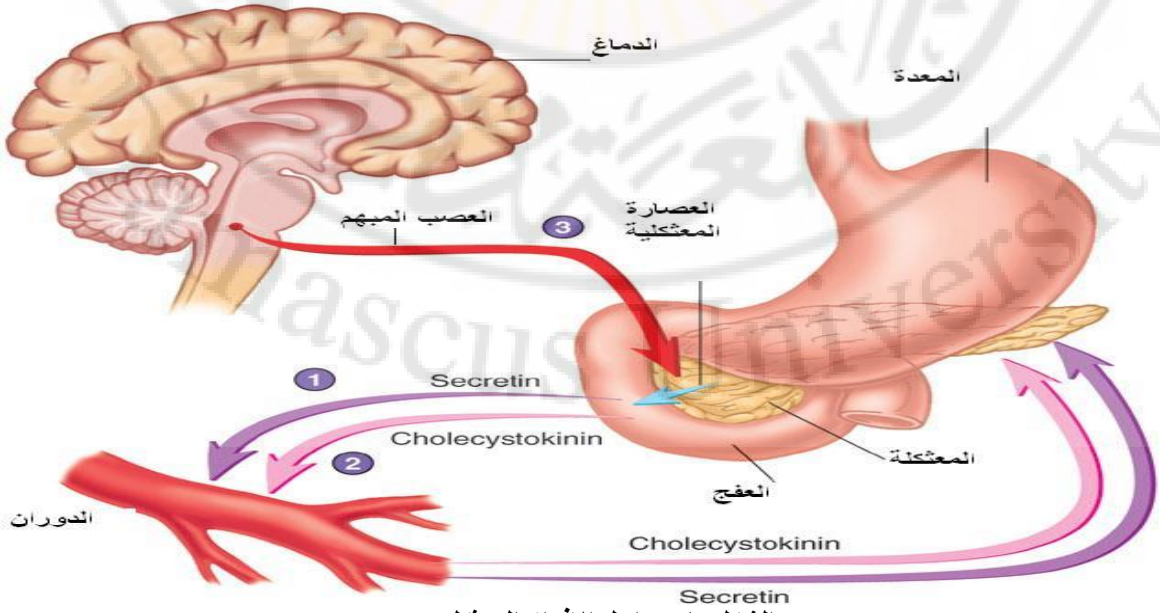
١. الليباز المعثكلية (حلمهة الدسم المعتدلة إلى حموض دسمة ووحيدات الغليسريد.
٢. إستراز الكولسترول(يحلمه استرات الكولسترول).
٣. الفوسفوليباز(يشطر الحموض الدسمة من الشحميات الفوسفورية).

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

تنظيم الإفراز المعثكلي:

محرضات الإفراز المعثكلي هي ثلاثة منبهات أساسية:

١. الأستيل كولين. ناقل عصبي يُفرز من نهايات العصب المبهم ويحرض المعثكلة على إفراز الأنزيمات.
٢. الكولي سيستوكينين. يُفرز من مخاطية العفج والصائم استجابة لوجود نواتج هضم أولية للبروتينات وحموض دسمة طويلة السلسلة(يحدث ذلك عند دخول الطعام المهضوم جزئياً إلى المعي الدقيق) ويحرض المعثكلة على إفراز الأنزيمات.
٣. السكرتين. يُفرز من مخاطية العفج والصائم استجابة لدخول طعام عالي الحموضة إلى الأمعاء الدقيقة ويقوم هذا الهرمون بتحريض المعثكلة على إفراز كميات كبيرة من محلول بيكاربونات الصوديوم.



الشكل(٦) مراحل الإفراز المعثكلي

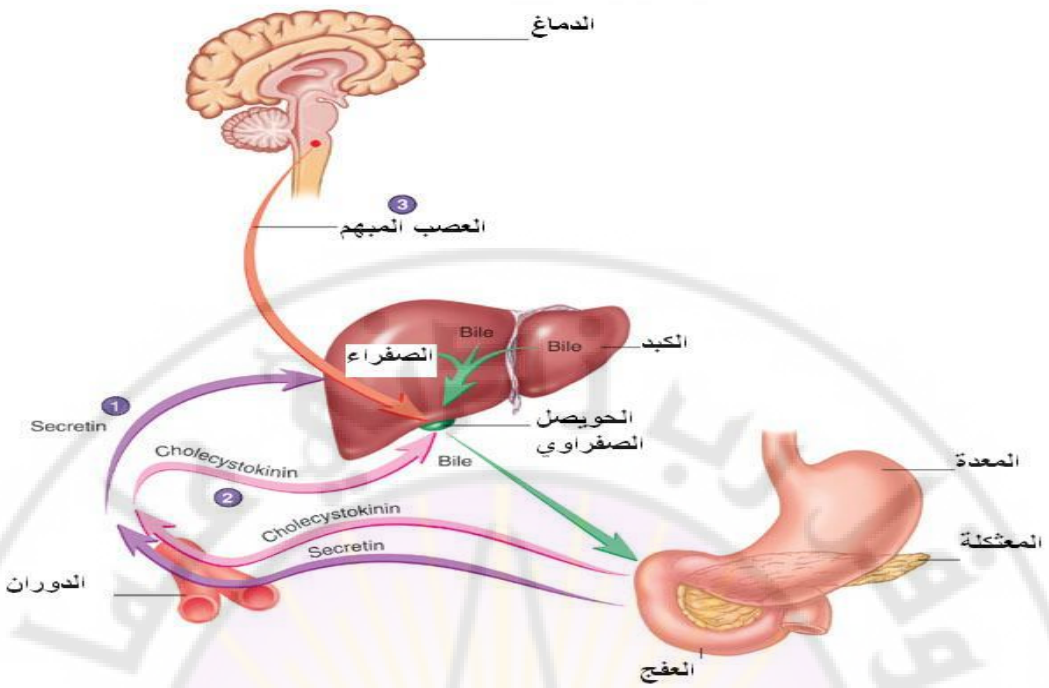
التأثير المضاعف لمختلف المنبهات.
إذا حدثت جميع منبهات الإفراز المعثكلي في وقت واحد يصبح الإفراز أكبر بكثير من مجموع إفرازاتها كلاً على حدة.

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

- المرحلتان الرأسية والمعدية. تُفرز ٢٠% من الأنزيمات خلال المرحلة الرأسية وكمية قليلة من البيكاربونات والماء، كما تُفرز ٥-١٠ % من الأنزيمات خلال المرحلة المعدية وايضاً كمية قليلة من البيكاربونات والماء.
- المرحلة المعوية. يحدث إفراز غزير للماء والبيكربونات استجابة للسكريتين مما يساعد في تحرك جميع مفرزات المعثكلة بما فيها الأنزيمات إلى العفج(الشكل ٦) .

الإفراز الصفراوي للكبد
يعتبر الإفراز الصفراوي للكبد من أهم الوظائف التي يقوم بها ، تبلغ الكمية المفرزة في الحالة السوية (٦٠٠-١٠٠٠) مل/يوم.
تقوم الصفراء بوظيفتين هامتين:
١-هضم وامتصاص الدسم (الحموض الصفراوية). لا يوجد في الصفراء أي أنزيم هاضم للدسم ولكن يأتي دور الصفراء في هضم الدسم من خلال:
-استحلاب جزئيات الدسم الكبيرة(إنقاص التوتر السطحي لجزئيات الدسم)
- تساعد في عملية امتصاص الدسم المهضومة.
٢-تخدم كوسيلة لإفراغ عدة فضلات هامة من الدم أهمها البيليروبين.

التشريح الفيزيولوجي للإفراز الصفراوي.
تفرز الصفراء من الكبد على مرحلتين.
١-المفرز الأولي. يُفرز من الخلايا الكبدية بالخاصة ويتكون من الحموض الصفراوية والكوليسترول ومكونات عضوية أخرى.
٢-المفرز النهائي. ينتج بإضافة الماء والكهارل(محلول بيكربونات الصوديوم والماء)إلى المفرز الأولي في أثناء مروره بالقنوات الصفراوية.



الشكل(٧) الإفراز الصفراوي للكبد.

تخزين وتركيز الصفراء في المرارة.

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

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

-إفراغ المرارة.

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

الفصل السادس
الدم
The Blood

يعد الدم نسيجاً حيوياً سائلاً ، يشتمل في تركيبه على ثلاثة عناصر خلوية تدعى الكريات الحمر والبيض والصفيحات الدموية، التي تتخذ لها مكاناً في وسط سائل،محدد التركيب،متميز الخصائص،يسمى البلازما،إلى أن يكتمل عمرها أو تتخرب قبل ذلك نتيجة لنشاطاتها الوظيفية أو بسبب حدثيات مرضية مختلفة،لتحل محلها خلايا جديدة فتية،وفي الحالات الطبيعية ،تتعادل بشكل يدعو إلى الدهشة،نسبة الخلايا المتكونة مع المتخربة بحيث يبقى عدد الخلايا ثابتا.
يكون الدم مع اللمف والسائل خارج الخلوي (السائل الخلالي النسيجي)مايسمى الوسط الداخلي،الذي يتميز بثبات نسبي في حجمه وتركيز مقوماته وتفاعله وضغطه التناضحي.

خصائص الدم.

١. قوام الدم: يوجد الدم داخل الأوعية الدموية السليمة بصورة سائلة، ويبقى كذلك مدى الحياة، وهذه الخاصية تمكنه من الجريان بصورة مستمرة عبر الأوعية إلى أنحاء الجسم كافة.
٢. قابلية التخثر:يتحول الدم سريعاً من الحالة السائلة إلى الحالة الجامدة عندما يخرج من الوعاء الدموي لسبب ما، وهذا ما يعرف بتخثر الدم الذي يمر بمراحل متعددة معقدة ويعمل على إيقاف النزف ويمنع ضياع الدم.
٣. لون الدم:يختلف لون الدم بحسب درجة أكسجته من الأحمر القاني في الدم الشرياني حيث توجد نسبة عالية من الأكسجين، إلى الأحمر العاتم في الدم الوريدي (عدا الأوردة الرئوية)نظراً لنقص نسبة الأكسجين المرتبطة مع الهيموغلوبين.
٤. لزوجة الدم:يمتلك الدم لزوجة معينة ترجع إلى وجود كريات الدم(خاصة الحمراء)وبروتينات البلازما. تبلغ هذه اللزوجة نحو ٥ بالنسبة للماء المقطر.
٥. كثافة الدم:تعرف الكثافة النوعية بأنها كتلة حجم معين من مادة ما إلى كتلة حجم معادل من الماء. تتراوح كثافة الدم بجميع مكوناته بين ١.٠٥١ و١.٠٥٥ وتعتمد كثافة الدم النوعية ،بدرجة أساسية ،على عدد كريات الدم الحمر.
٦. باهاء الدم PH of the blood:يبقى محتوى الدم من شوارد الهيدروجين ثابتاً نسبياً،إذ يتراوح بين ٧.٣٣ و٧.٤٥ (وسطياً ٧.٤) .
٧. الفعل الدارئ للدم:يمتلك الدم فعلاً دارئاً،له أهمية وظيفية كبيرة،إذ يعمل على إبقاء الـ PH ضمن الحدود السوية ويمنع تغيراته الواسعة،والتي يمكن أن تحدث اضطرابات وظيفية جهازية متعددة قد تكون خطرة.يتكون الجهاز الدارئ في الدم من بروتينات البلازما وأملاح الفوسفات والهيموغلوبين الذي يحتوي على البروتين الأكثر أهمية في الدم من حيث القوة الدارئة.

وظائف الدم العامة:

١. الوظيفة التنفسية:ينقل الدم الأكسجين من الأسناخ الرئوية إلى سائر خلايا الجسم،ثم يعود محملاً بثاني اكسيد الكربون لكي يتم التخلص منه.
٢. الوظيفة الغذائية:ينقل الدم المواد الغذائية المختلفة والممتصة من السبيل الهضمي إلى جميع أنسجة الجسم.

٣. الوظيفة الإفراغية: يحمل الدم فضلات الاستقلاب المختلفة كحمض البول والبولة الدموية والكرياتنين من الأنسجة إلى أجهزة الإفراغ المتعددة،لكي يتم إطراحها وتخليص الجسم منها.
٤. الوظيفة الدفاعية:بوساطة كريات الدم البيض.
٥. دور الدم في تنظيم حرارة الجسم: يساهم الدم في تنظيم حرارة الجسم بوساطة الانتقال من أنسجة الجسم العميقة إلى أنسجته السطحية،كما يساعد على التخلص من الحرارة الزائدة بسبب جريانه بالمناطق السطحية للجسم،بالإضافة إلى أن الدم يحمل العوامل الخلطية التي توسع أوعية الجلد في شروط وظيفية معينة أوتساعد على إفراز العرق،مما يؤدي إلى تلطيف حرارة الجسم.
٦. دور الدم في تأمين الارتباط الخلطي لمختلف أنحاء الجسم:يحمل الدم الهرمونات المختلفة من اماكن تكونها إلى الأعضاء الهدفية،حيث تقوم بتأثيراتها ،وبذلك يؤمن الدم وظيفة الارتباط الخلطي بين مختلف أنحاء الجسم.

حجم الدم الإجمالي:

يقدر حجم الدم الإجمالي عند الإنسان بـ٧-٨ % من وزن الجسم أي مايوافق ٧٥ سم مكعب من الدم لكل كيلو غرام واحد وهذا يعادل ٥ ليترات من الدم عند الكهل الذي يزن ٦٥-٧٠ كيلوغراماً.

خلايا الدم الحمر Red Blood Cells

وظائف خلايا الدم الحمر:

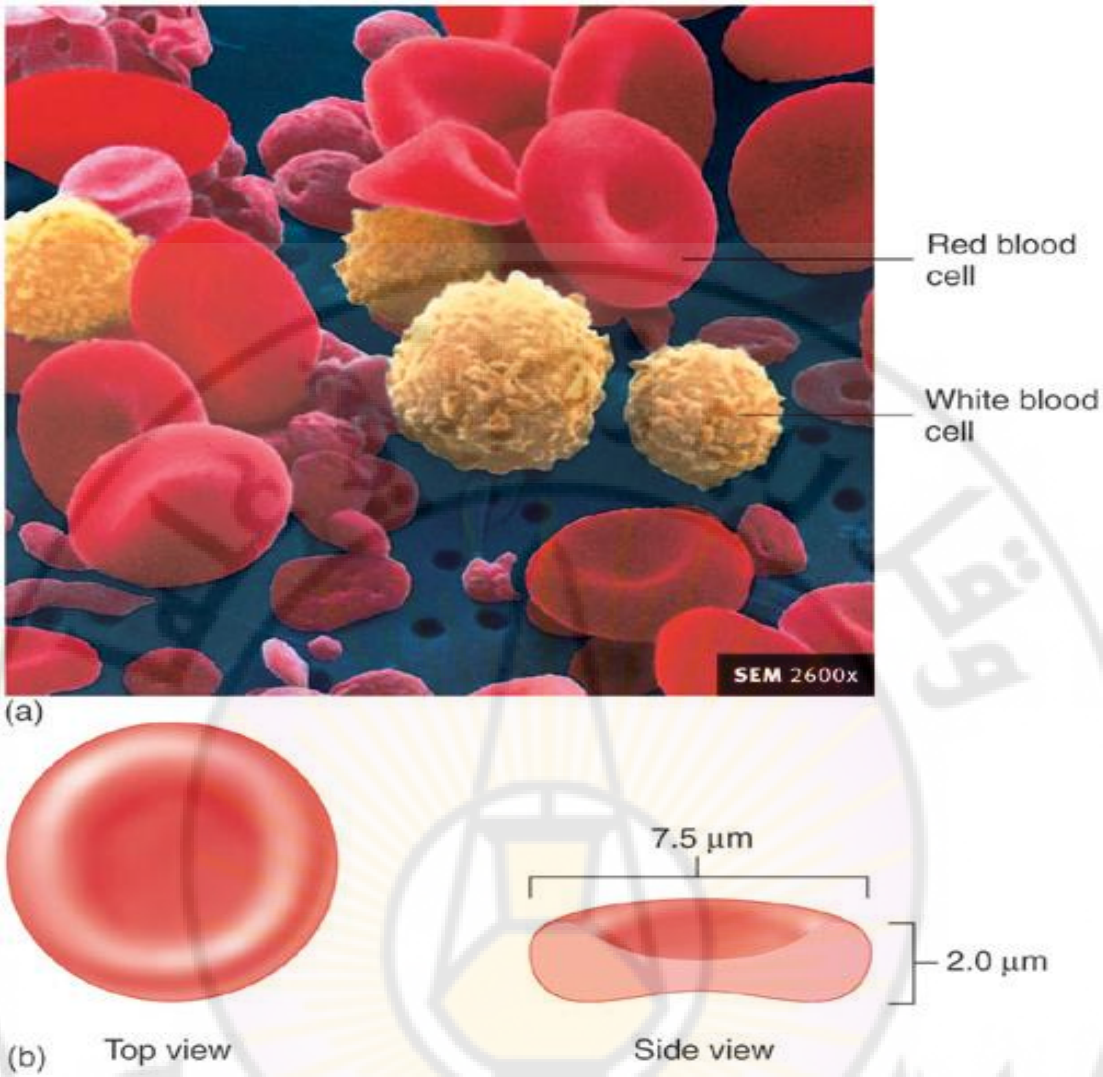
١. إن الوظيفة الرئيسية لخلايا الدم الحمر، والتي تعرف أيضاً بالكريات الحمر، هي نقل خضاب الدم Hemoglobin الذي يقوم بدوره بحمل الأكسجين من الرئتين إلى النسج. يجول خضاب الدم (في بعض الحيوانات الدنيا) في الدوران كبروتين حر في المصورة، ولو افترضنا أن خضاب الدم حراً في مصورة الكائن البشري فإن ذلك سوف يؤدي إلى تسرب ٣% منه تقريباً عبر جدر الشعريات إلى الأفضية النسيجية أو عبر الغشاء الكبيبي في الكلى إلى الرشاحة الكبيبية في كل مرة يدور فيه الدم عبر الشعريات وهذه فائدة أن يكون الخضاب الدموي داخل خلايا الدم الحمر.

٢. تحوي خلايا الدم الحمر كميات كبيرة من خميرة الأنهيدراز الكربونية Carbonic anhydrhse التي تحفز التفاعل بين ثاني أكسيد الكربون والماء وتزيد معدل حدوث هذا التفاعل آلاف المرات، وتسمح السرعة الكبيرة لهذا التفاعل بتفاعل الماء مع كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون في الدم وهذا ما يؤدي إلى انتقال ثاني أكسيد الكربون من النسج إلى الرئتين على شكل شوارد البيكربونات.

٣. يعتبر الخضاب الموجود في الخلايا دارئاً حامضياً أساسياً ممتازاً (كما هو الحال في أغلب البروتينات) وطبقاً لذلك تكون كريات الدم الحمر مسئولة عن أغلب القوى الدارئة في الدم.

شكل وحجم كريات الدم الحمر

تكون كريات الدم الحمر على شكل أقراص مقعرة الوجهين، يبلغ قطرها الوسطي ٧.٨ ميكرومتر تقريباً وثخانتها القصوى ٢.٥ ميكرومتر وفي المركز ١ ميكرومتر أو أقل، أما الحجم الوسطي لكرية الدم الحمراء فيبلغ ٨٣ ميكرومتر مكعب. يمكن لأشكال كريات الدم الحمراء أن تتغير بشكل ملحوظ عندما تتعرض للضغط وذلك عند مرورها عبر الشعيرات ويعود ذلك إلى حقيقة كون الكريات الحمر عبارة عن كيس يمكن أن يتغير إلى أي شكل تقريباً ، وبما أن غشاء الكرية السوية كبير نسبة إلى كمية المواد داخله، فتشويه الكرية لن يمطط الغشاء بشدة وبالتالي لن يمزق الكرية الشكل (١).



الشكل(١). شكل وحجم الكريات الحمر.

تركيز الكريات الحمر في الدم:

يبلغ متوسط عدد الكريات الحمر في الميليمتر المكعب من الدم ٥.٢٠٠٠٠٠ ± ٣٠٠٠٠٠ عند الرجل السوي، أما عند المرأة السوية فيبلغ ٤.٧٠٠٠٠٠ ± ٣٠٠٠٠٠

ويتأثر هذا العدد عند كل من الرجل والمرأة بالارتفاع (عن سطح البحر) الذي يعيش عنده الشخص.

تملك كريات الدم الحمر القدرة على تركيز خضاب الدم في سوائلها إلى ٣٤ غ في كل ١٠٠ مل من الكريات ولا يرتفع التركيز أعلى من هذه القيمة أبداً.

عندما يكون الهيماتوكريت (النسبة المئوية للخلايا الدموية في الدم ويبلغ ٤٠ ـ ٤٥ بالمئة في الحالة السوية) وكمية خضاب الدم الخاص بكل كرية سويين يحوي عندها كامل الدم عند الرجل معدلاً من الخضاب يبلغ ١٦ غ في كل ١٠٠ سم^{3} بينما يبلغ معدله عند النساء ١٤ غ / ١٠٠ سم^{3}.

إنتاج كريات الدم الحمر Production of Red blood cells

تنتج كريات الدم الحمر في الأسابيع القليلة الأولى من الحياة الجنينية في الكيس المحي وخلال الثلث المتوسط من الحمل يكون الكبد المكان الرئيسي لإنتاج كريات الدم الحمر وبعد ذلك وخلال القسم الأخير من الحمل وبعد الولادة تنتج كريات الدم الحمر بشكل رئيسي في نقي العظام.

يوجد في نقي العظام خلايا تدعى الخلايا الجذعية المكونة للدم متعددة القدرات تشتق منها جميع الخلايا الجائلة في الدوران الدموي، ويبين الشكل (٢) الانقسام المتتابع للخلايا متعددة القدرات لتشكيل مختلف كريات الدم المحيطية، وبما أن هذه الخلايا تستمر بالتوالد طيلة حياة الشخص فإن قسماً منها يشبه تماماً الخلايا الجذعية متعددة القدرات الأصلية ويبقى في نقي العظام ليحافظ على استمرارية الإمداد بكريات الدم، مع أن أعدادها تتناقص بتقدم العمر. على أية حال، فإن القسم الأكبر من الخلايا الجذعية الوليدة تتمايز لتشكيل خلايا أخرى كما هو مبين في الشكل (٢) ولا يمكن اعتبار الذراري الأولى كأنماط مختلفة لكريات الدم بالرغم من أنها تصبح ملتزمة تماماً بخط معين من الخلايا وتدعى تلك الذراري بالخلايا الجذعية الملتزمة Committed Stem Cells .

عندما تنمو مختلف الخلايا الجذعية الملتزمة في مستنبت، فإنها تنتج مستعمرات من أنماط معينة من خلايا الدم وطبقاً لذلك تدعى الخلية الجذعية الملتزمة التي تنتج الكريات الحمر بالوحدة المشكلة لمستعمرة الكريات الحمر وبالمثل تدعى بقية الوحدات المشكلة لمستعمرات المحببات والوحيدات.

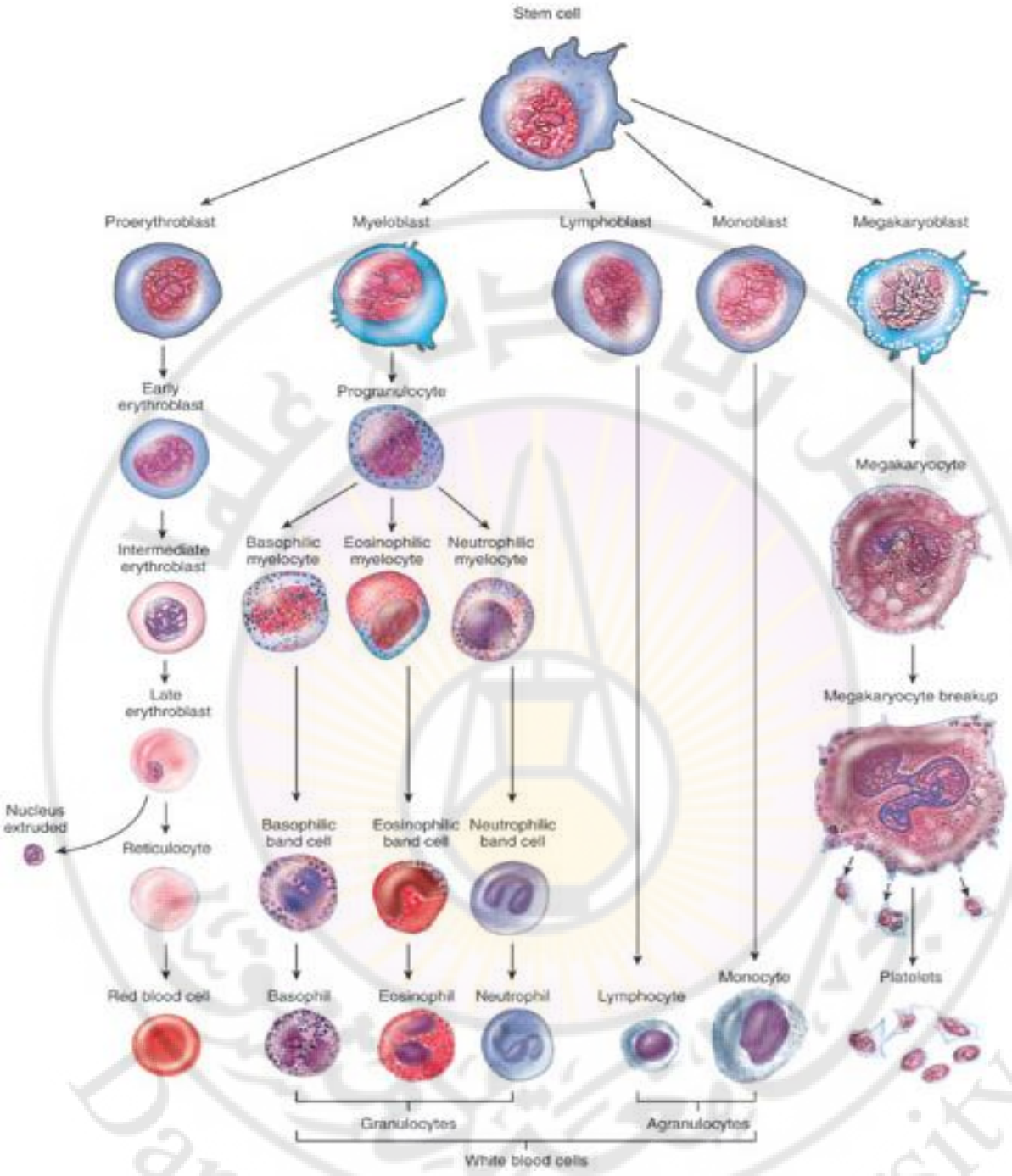
يتم التحكم بنمو وتوالد مختلف الخلايا الجذعية بوساطة بروتينات متعددة تدعى محرضات النمو Growth Inducers .

ـ لقد تم تحديد ووصف أربعة أنواع من محرضات النمو لكل واحد منها خصائص مختلفة، أحد هذه المحرضات هو الإنترلوكين ـ ٣ الذي يعرز فعلياً نمو وتوالد مختلف أنماط الخلايا الجذعية، بينما تحرض باقي محرضات النمو نمو نمط معين واحد من الخلايا الجذعية الملتزمة.

تعزز محرضات النمو نمو الخلايا فقط بينما يحتاج تمايز هذه الخلايا إلى مجموعة أخرى من البروتينات تدعى محرضات التمايز Differentiation Inducers .

يعمل كل منها على إحداث تمايز نمط واحد من الخلايا الجذعية درجة واحدة أو أكثر باتجاه النمط النهائي لخلايا الدم.

يتم التحكم بتشكيل محرضات النمو والتمايز نفسها بوساطة عوامل خارج نقي العظام ففي حالة كريات الدم الحمر، يؤدي التعرض لكميات قليلة من الأكسجين لفترات طويلة من الزمن إلى تحريض النمو والتمايز وبالتالي زيادة كبيرة في أعداد الكريات الحمر، أما في حالة الكريات البيض، فإن الأدواء الخمجية تسبب نمواً وتمايزاً وتشكيلاً سريعاً لأنماط معينة من كريات الدم البيض التي يحتاج إليها الجسم لمقاومة الخمج.



الشكل(٢) تشكيل مختلف خلايا الدم المحيطية من الخلية الجذعية المكونة للدم متعددة القدرات.

البلازمِا
The Plasma

تعريف البلازما وخصائصها:
تعد البلازما القسم السائل من الدم، وهي تحتوي العناصر المصورة(الكريات والصفيحات)بشكل معلق.يقدر حجمها ب٥٥% من حجم الدم الإجمالي،وتبدو إذا فصلت عن الكريات، بلون رائق يميل إلى الصفرة وتعادل لزوجتها ١.٥ بالنسبة للماء المقطر، وهي تتعلق بالبروتينات الموجودة بها، والبلازما الدموية ذات تفاعل أساسي خفيف وتتراوح بين ١.٠٢٥ و١.٠٢٥.

تركيب البلازما:
تتركب البلازما من الماء وعناصر عضوية بروتينية، وعناصر عضوية غير بروتينية وعناصر معدنية.

١. الماء:ويكون نحو ٩٢% من البلازما.
٢. العناصر العضوية البروتينية وتؤلف ٧-٨ غ/١٠٠ مل، وتقسم بروتينات البلازما إلى ثلاث زمر هي
   - الألبومين:ويعادل تركيزه الوسطي في البلازما نحو ٤.٧ غ/١٠٠مل
   - الغلوبولينات:ويعادل تركيزها في البلازما نحو ٢.٣ غ /١٠٠ مل .
   - الفيبرينوجين (مولد الليفين) Fibrinogen ويعادل تركيزه الوسطي في البلازما نحو ٠.٣ غ/١٠٠ مل، ويلعب دوراً مهماً في تخثر (تجلط) الدم.
٣. العناصر العضوية غير البروتينية: وتقسم إلى زمرتين:
   - زمرة تحوي على الآزوت وتضم: البولة الدموية (اليوريا) وحمض البول والكرياتين والكرياتينين و البيليروبين و الأمونياك.
   - زمرة عضوية غير آزوتية وتضم الغلوكوز والكوليستيرول وحمض اللبن والهرمونات والفيتامينات.
٤. عناصر معدنية وهي الصوديوم والكالسيوم والبوتاسيوم والكلور والحديد واليود والفوسفور والمغنزيوم والزنك.

وظائف بروتينات البلازما:
١. المساهمة في إعطاء الدم لزوجة معينة.
٢. المساهمة في تخثر الدم (فيبرينوجين).
٣. تلعب دوراً مناعياً مهماً لاحتوائها على الغاما غلوبولين.
٤. تساهم في إعطاء البلازما ضغطاً جرمياً الذي يلعب دوراً مهماً في تبادل الماء بين الدم والسوائل الخلالية، لذلك فهي تسهم في حفظ حجم الدم.
٥. تساهم في نقل كثير من العناصر كالحديد والنحاس والهرمونات والفيتامينات والغازات.

الضغط التناضحي للبلازما:
قبل الحديث عن الضغط التناضحي للبلازما وعن أهميته الحيوية لا بد من الإشارة إلى بعض الأمور التي تتعلق بطرائق التعبير عن تركيز المحاليل، وعن مفهوم التناضح والضغط التناضحي.

١ ـ طرائق التعبير عن تركيز المحاليل:

أ ـ المولية M (Molarity) :

المحاليل المولية هي المحاليل التي تحوي على جزيء غرامي واحد من المادة في ليتر من المحلول، والجزيء الغرامي هو الوزن الجزيئي معبراً عنه بالغرامات.

وبناء على ما تقدم فإن الوزن الجزيئي لماءات الصوديوم NaoH يساوي ٤٠ والجزيء الغرامي منه يساوي ٤٠ غراماً وتركيز المحلول المولي له هو ٤٠ غ/ليتر، أما المحلول ثنائي المولية لماءات الصوديوم يحوي ٨٠ غ/ليتر.

ب ـ المولالية (Molality) :

المحاليل المولالية هي المحاليل التي تحوي على جزيء غرامي واحد من المادة في ١٠٠٠ غ من المذيب، وما يميز المولالية عن المولية هو أن النسبة بين المذاب Solute والمذيب Solvent ثابتة في الأول، بينما تتغير في الثاني تبعاً للحجم الذي تشغله المادة المذابة إضافة إلى درجة الحرارة، وهذه النسبة هي دائماً ١ : ٥٥.٥ إذا كان المذيب هو الماء لأن ١٠٠٠ غرام من الماء تساوي ٥٥.٥ جزيء.

ج ـ النظامية N (Normality) :

المحاليل النظامية هي المحاليل التي تحتوي على مكافئ غرامي واحد من المادة في ليتر من المذيب، والمكافئ الغرامي هو الوزن المكافئ للمادة معبراً عنه بالغرامات ونحصل على الوزن المكافئ بتقسيم الوزن الجزيئي للمادة على عدد جذورها النشطة (+H للحموض و -OH للأسس).

٢ ـ التناضح Osmosis :

التناضح هو انتشار جزيئات من المذيب عبر غشاء نصف نفوذ (يسمح بمرور جزيئات المذيب ولا يسمح بمرور جزيئات المذاب) إلى منطقة ذات تركيز أعلى بمذاب لا ينفذ عبر الغشاء، وبالتالي يمكن تعريف التناضح على أنه قدرة المحلول على جذب جزيئات المذيب المفصولة عنه بغشاء نصف نفوذ.

٣ ـ الضغط التناضحي:

يمكن الحيلولة دون انتقال جزيئات المذيب إلى منطقة ذات تركيز أعلى بمذاب، وذلك بتطبيق ضغط على المحلول الأكثر تركيزاً، ويعرف الضغط اللازم لمنع هجرة المذيب بالضغط التناضحي للمحلول، وهكذا يعبر الضغط التناضحي عن القوى التي يقوم المحلول من خلالها بجذب مذيبه.

الأهمية الحيوية للضغط التناضحي للبلازما:

يمكن إيضاح الأهمية الحيوية للضغط التناضحي للبلازما بدراسة الكريات الحمر الموضوعة في محاليل ملحية مختلفة التركيز، وبما أن هذه الكريات محاطة بغشاء خلوي يسمح بمرور الماء وبعض الشوارد ولا يسمح بمرور البروتينات وبعض الشوارد الأخرى، فإن وضعها في ماء مقطر سوف يؤدي إلى انتباجها وتمزقها وانحلالها بسبب انتقال الماء من الوسط الخارجي إلى الوسط داخل الخلوي الأكثر تركيزاً ، في حين إذا وضعنا الكريات الحمر في محلول ملحي شديد التركيز نزح الماء من الكريات إلى الوسط الخارجي الأكثر تركيزاً، مما يؤدي إلى انكماش الكريات وضمورها، وتحافظ الكريات الحمر على شكلها وحجمها عند وضعها في محلول إسوي التوتر وهو محلول كلور الصوديوم بتركيز ٠.٨٨% أي ٩ بالألف تقريباً، ويسمى هذا المحلول بالمصل الفيزيولوجي وذلك نستخدم المحاليل إسوية التوتر للحقن والتغذية الوريدية ولا نستخدم الماء المقطر.

وبناء على ما تقدم فإن بقاء الضغط التناضحي للبلازما في حدوده السوية يعد العامل الأساس في عدم انحلال الكريات الحمر.

الكريات البيض Leukocytes

الكريات البيض خلايا كبيرة، غير منتظمة، لماعة، منواة، قليلة العدد يمكن أن نجدها في السوائل الخلالية بعكس الكريات الحمر التي توجد دائما في الجهاز القلبي الوعائي. دعيت بالكريات البيض لخلوها من الهيموغلوبين. لقد أمكن بطرائق تلوينية خاصة تمييز زمرتين كبيرتين من الكريات البيض:

١-المفصفصات أو عديدات النوى أو المحببات.

٢-وحيدات النوى.

وهذه التسمية غير دقيقة، لأن عديدات النوى لا تحتوي سوى نواة واحدة إلا أنها مفصصة وتبدو وكأنها نوى متعددة.

تحتوي الكريات البيض المفصصة على هيولى حبيبية وبحسب ولعها بالألوان نستطيع تمييز ثلاثة أنواع:

- العدلات Neutrophils
- الأسسات Basophils.
- الحمضات Eosinophils.

أما وحيدات النوى فتقسم إلى نوعين:

- اللمفاويات Lymphocytes وهي كريات صغيرة، نواتها شديدة التلون ومحاطة بطبقة هيولية رقيقة.
- وحيدات النوى Monocytes، وهي أكبر حجماً من السابقة. يبلغ عدد الكريات البيض عند البالغ السوي ٦-٨ الاف كرية في مليمتر مكعب واحد، ويتغير هذا العدد تبعاً لعوامل متعددة وظيفية ومرضية منها:

١. العوامل الوظيفية:يتغير عدد الكريات البيض بتغير العمر كما تزداد بعد التمارين الرياضية والجهد الشاق والانفعالات وتزداد بعد تناول الطعام وفي أثناء الحمل.

٢. عوامل مرضية:تزداد الكريات البيض في كثير من الحالات المرضية (معظم الأخماج الجرثومية). وتنقص الكريات البيض في حالات مرضية أخرى (معظم الأخماج الفيروسية).

تكون الصيغة الكريوية، أي نسبة كل نوع من الكريات البيض إلى العدد الإجمالي على النحو التالي:

- العدلات ٤٥-٦٥ % .
- الحمضات ١-٣ % .
- الأسسات ٠-١ %.
- اللمفاويات ٢٠-٣٠ % .
- الوحيدات ٣-١٠ .

ولهذه الصيغة الكريوية أهمية تشخيصية كبيرة،لأن التغير في عدد الكريات البيض في سياق الأمراض المختلفة يمكن أن يكون على حساب نوع محدد دون سواه.

تكوين الكريات البيض:

تنشأ الكريات البيض المفصصة والوحيدات في نقي العظام، أما الخلايا اللمفاوية فإنها تتكون في الأعضاء اللمفية المختلفة، كالغدد اللمفاوية واللوزتين والنسيج اللمفاوي الموجود في السبيل الهضمي، وفي أماكن أخرى من الجسم بالإضافة إلى الطحال والتوتة، كما تتشكل بعض اللمفاويات في نقي العظام .

عمر الكريات البيض:
تختزن الكريات البيض المتشكلة في نقي العظام ذاته إلى حين الحاجة إليها، ثم تنطلق إلى الدوران، وإن السبب الرئيسي لوجود الكريات البيض في الدم هو نقلها من أماكن تكونها إلى مناطق الجسم التي تحتاج إليها، ويقدر عمر المحببات بعد إطلاقها من نقي العظام بنحو ٤-٨ ساعات في الدم و٤-٥ أيام أخرى في النسج، وعند وجود خمج نسيجي حاد وشديد فإن العمر الكلي للمحببات ينقص إلى بضع ساعات فقط، لأنها تتجه بسرعة إلى المناطق المخموجة حيث تتخرب بعد إنجازها لعملها.
ويقدر زمن عبور الوحيدات في الدم بنحو بضع ساعات إلى عدة أيام،ثم تعبر جدر الشعيرات إلى النسج،وفي النسج يكبر حجمها وتصبح بلاعم نسيجية Tissue Macrophages حيث تستطيع العيش بهذا الشكل اشهراً أو حتى سنين ما لم تتلف عند إنجازها لمهمتها البلعمية، وتشكل هذه البلاعم أساس جهاز البلعمة النسيجي الذي يؤمن دفاعاً مستمراً ضد الأخماج،وتدخل اللمفاويات الدم بعد نزوحها من أماكن تكونها ،وبعد بضع ساعات تعبر النسج بوساطة عملية الانسلال وتعود مرة ثانية إلى اللمف،ومن ثم إلى الدم وهكذا دواليك،وبذلك تدور اللمفاويات باستمرار في النسج وتمتد حياتها أشهراً أو حتى سنوات،ويعتمد ذلك على مدى الحاجة إليها.

وظائف الكريات البيض:
١-وظائف العدلات: إن الوظيفة الأساسية للعدلات هي بلعمة العضويات الدقيقة الداخلة إلى الجسم كالجراثيم وهضمها وقتلها ،لذلك يطلق عليها خط الدفاع الأول،ويزداد عددها في حال حدوث الأخماج الجرثومية ،وهي تنجذب كيميائياً إلى منطقة الأذية تحت تأثير ناتج التفاعل بين عوامل بلازمية مع المنتجات الجرثومية والنسيجية،وللعدلات قدرة كبيرة على الانسلال من الأوعية الدموية إلى النسج المختلفة بوساطة الأرجل الكاذبة،حيث تتجمع بأعداد كبيرة في بؤر الالتهاب،وتتحول هناك مع الجراثيم المقتولة وبقايا الأنسجة المتحللة إلى كتلة صديدية تعرف بالقيح.
وتقوم العدلات بعد بلعمة العوامل الممرضة الخامجة بهضمها وإبادتها،ويتم ذلك بوساطة التصاق الجسيمات الحالة والحبيبات الهيولية الأخرى بالحويصل البلعمي حيث تعمل على إطلاق الكثير من الأنزيمات الهاضمة والعوامل المبيدة للجراثيم إلى داخل الحويصل البلعمي،كالإنزيمات الحالة للبروتين وإنزيم الليباز القادر على هضم الأغشية الشحمية الثخينة التي تدخل في بنى بعض الأغشية الجرثومية،كما تفرز أغشية الحويصلات البلعمية مادة كيميائية قاتلة لكثير من الجراثيم عن طريق حل شحميات أغشيتها وهي الليزوزيم.
وتستطيع العدلات قتل معظم الجراثيم حتى في حال عدم قدرة الأنزيمات الحالة على هضمها،ولذلك أهمية خاصة،إذ إن لبعض العوامل الممرضة الخامجة غلالات صائنة أو عوامل أخرى يحميها من تأثير الأنزيمات الهاضمة. ويرجع معظم التأثير القاتل للجراثيم في العدلات إلى وجود كثير من العوامل المؤكسدة القوية والتي تتشكل بوساطة إنزيمات معينة ضمن أغشية الحويصلات البلعمية، أو بوساطة عضيات خاصة تدعى الجسيمات فوق المؤكسدة وتتضمن هذه العوامل المؤكسدة كميات كبيرة من فوق الأكسيد Superoxid O2 والماء الأكسجيني وهي جميعها قاتلة للجراثيم بكميات قليلة كما أن أحد أنزيمات الجسيمات الحالة بالكرية العدلة وهو ميلوبيروكسيداز يحفزالتفاعل بين الماء الأكسجيني وشوارد الكلور، ممايؤدي إلى تشكيل الهيبوكلوريت الذي يعد مبيداً جرثومياً شديد التأثير، ويتحرر من العدلات نتيجة لتحللها مواد فعالة منشطة لترميم الأنسجة.

٢-وظائف الوحيدات

تشبه الوحيدات العدلات من حيث مهاجمتها للجراثيم وقيامها بالانسلال والحركة المتحولية والبلعمة،إضافة إلى قتل العضويات الغريبة وهضمها،وهي تتبع العدلات في المناطق الالتهابية وتكون خط الدفاع الثاني.

تتكون الوحيدات في نقي العظام ثم تعبر إلى الدوران لتمكث به فترات زمنية مختلفة تتراوح بين بضع ساعات وستة أيام ثم تغادر إلى الأنسجة حيث تخضع لتبدلات تحولها إلى بلاعم نسيجية أكثر ضخامة وأشد فاعلية من سلائفها،وتستطيع بعد زمن أن تتخلص من ارتباطها بالنسج والتحول إلى بلاعم متحركة تستجيب للانجذاب الكيميائي والمنبهات الأخرى ذات العلاقة بالالتهاب.

٣-وظائف الحمضات :

تتميز الحمضات باحتواء هيولاها على حبيبات حمراء خشنة، وتحتوي هذه الحبيبات على بروتين قاعدي غني بالارجنين، وخلافاً للعدلات فإن الحمضات تكون أكثر انجذاباً نحو المناطق الالتهابية المزمنة مقارنة مع المناطق الالتهابية الحادة .

- يزداد عدد الحمضات بشدة عند الأشخاص المصابين بأخماج طفيلية.
- تستطيع الحمضات بلعمة المعقد الناتج عن تفاعل الضد مع المستضد وتدميره،وهي بذلك تمنع انتشار أحداث الالتهاب الموضعي.
- للحمضات ميل شديد للتجمع في النسج التي يحدث بها تفاعلات أرجية.
- يعتقد أن الحمضات تزيل سمية بعض المواد المحرضة للالتهاب،والتي تحررها الخلايا البدينة والأسسات.

٤-وظائف الأسسات:

تعد الأسسات أقل الكريات البيض عدداً ،وتحتوي الأسسات على الهيبارين وهي مادة تمنع تخثر الدم بالإضافة إلى الهيستامين والبراديكينين والسيرتونين والإنزيمات الحالة،وتلعب الأسسات والخلايا البدينة دوراً هاماً في بعض التفاعلات الأرجية،وذلك لأن الضد الذي يسبب تلك التفاعلات هو من النمط IgE الذي يتميز بميله الشديد للالتصاق بالأسسات والخلايا البدينة.

٥-وظائف اللمفاويات:

تلعب اللمفاويات دوراً هاماً في المناعة،وعلى الرغم من أنها تبدو متشابهة تحت المجهر في النسج اللمفية السليمة إلا أنها تقسم إلى نوعين:

الأول مسؤل عن تشكيل اللمفاويات المفعلة التي تؤمن المناعة الخلوية،وتسمى اللمفاويات التائية،والقسم الثاني مسئول عن تشكيل الأضداد التي تؤمن المناعة الخلطية وتسمى اللمفاويات البائية.

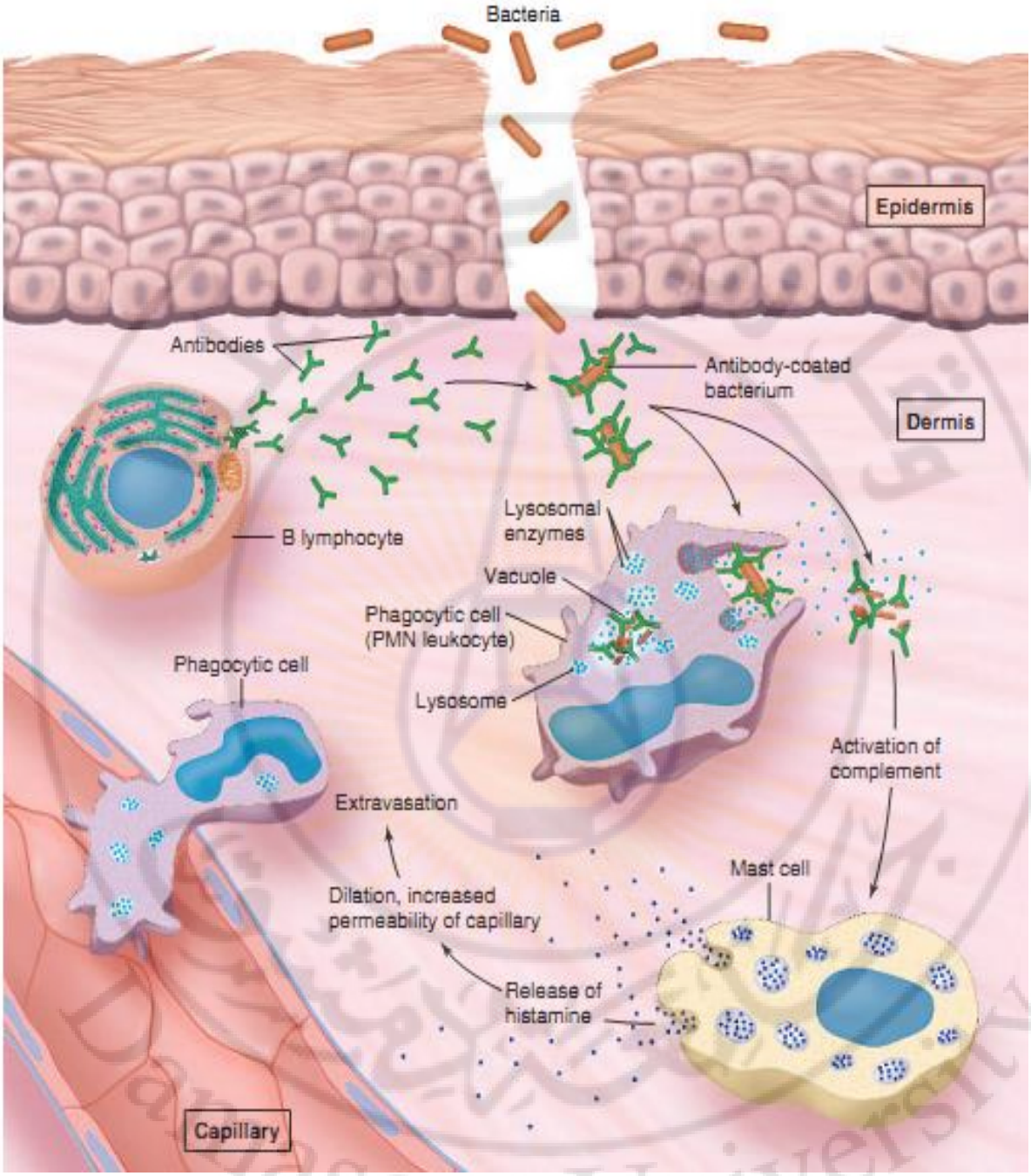
الالتهاب Inflammation :

يعرف الالتهاب بأنه مجموعة التغيرات النسيجية الثانوية الناجمة عن تحرر مواد متعددة من الأنسجة التي تتعرض لأذية ما كالأخماج الجرثومية والرضح والمواد الكيميائية والحرارة... ويتميز الالتهاب بالخصائص التالية:

١. توسع وعائي موضعي يؤدي إلى زيادة في الجريان الدموي الموضعي.
٢. زيادة نفوذية الشعيرات الدموية وتسرب البلازما إلى الأفضية الخلالية.
٣. هجرة أعداد كبيرة من العدلات والوحيدات إلى النسج المصابة.
٤. توذم خلايا النسيج المصاب.

ويؤدي التفاعل الالتهابي النسيجي إلى تحرر مواد متعددة منها الهيستامين والبراديكينين والعديد من منتجات تفاعل جملة المتممة،وجملة تجلط الدم ومواد أخرى كاللمفوكينات التي تطلقها الخلايا التائية المتحسسة،ويفعل كثير من هذه المواد جملة البلاعم بقوة،وتتناسب شدة أحداث الالتهاب مع

درجة الأذية النسيجية،ويتشكل بعد أيام من النسيج المتنخر والكريات البيض المتخربة والجراثيم المقتولة كتلة صديدية تعرف بالقيح الشكل(٣).



الشكل(٣). احداث موضعية للإلتهاب.

Immunity

المناعة Immunity هي مقاومة الجسم للعوامل الممرضة.
أنواع المناعة:
تقسم المناعة إلى نوعين، الأول مناعة متأصلة (فطرية) والثاني، مناعة مكتسبة.

أ ـ المناعة المتاصلة Innate Immunity :

تتميز المناعة المتأصلة أو الفطرية بأنها لا نوعية Nonspecific ، فهي لا تستطيع التمييز بين المستضدات Antigens كما أنها موجودة قبل التعرض لها، وينضوي تحت لوائها جميع الإجراءات العامة والمباشرة التي يقوم بها الجسم ضد الكائنات الحية الممرضة الغازية وهي:

١. بلعمة الجراثيم والكائنات الحية الأخرى الغازية بوساطة كريات الدم البيض وخلايا جملة البلاعم النسيجية.
٢. تدمير الكائنات الحية الممرضة والمبتلعة إلى المعدة بوساطة الإفرازات الحامضة والأنظيمات الهاضمة.
٣. مقاومة العوائق الآلية، كالجلد والأغشية المخاطية لغزو العوامل الممرضة.
٤. مقاومة العوائق الكيميائية الحيوية الموجودة في الدمع والمفرزات العرقية.
٥. العمر والحالة الصحية العامة. وهما أمران هامان في مقاومة العوامل الممرضة والتغلب عليها.
٦. وجود مركبات كيميائية معينة بالدم تلتصق بالكائنات الحية الغريبة الغازية وتدمرها ومن هذه المواد:

- (١) الليزوزيمات Lysozymes وهي عديدات سكاريد حالة للمخاط تهاجم العوامل الممرضة وتعمل على حلها.
- (٢) عديدات الببتيد الأساسية التي تتفاعل مع أنماط معينة من الجراثيم إيجابية الغرام وتعطلها.
- (٣) معقد المتممة وهي جملة من عشرين بروتيناً ويتم تفعيلها بعدة طرق.

تمنح المناعة المتأصلة الجسم مقاومة ضد بعض الأمراض، كجدري الدجاج وطاعون الماشية وسل الكلاب. كما أن الحيوانات الدنيا مقاومة أو منيعة تماماً لكثير من الأمراض البشرية مثل التهاب سنجابية النخاع والنكاف والهيضة البشرية والحصبة .

ب ـ المناعة المكتسبة Acquired Immunity :

تتميز المناعة المكتسبة بأنها نوعية Specific تتوقف على تعرف سابق للمستضدات، وهي غالباً ما تمنح الجسم حماية شديدة ضد العوامل الممرضة الغازية، ولها نمطان أساسيان يعملان بشكل متآزر وهما:

١ ـ المناعة الخلطية Humoral Immunity :

تسمى مناعة الخلايا البائية B Cells Immunity وفي هذا النوع من المناعة يتكون بالجسم أضداد Antibodies تجول بالدوران، وهي عبارة عن جزيئات غلوبين قادرة على مهاجمة العناصر الممرضة الغازية.

٢ ـ المناعة الخلوية Cellular Immunity :

تسمى مناعة الخلايا التائية T Cells Immunity وهي نوع من اللمفاويات المفعلة Activated Lymphocytes والمصممة خصيصاً لمهاجمة وتدمير العوامل الممرضة الغازية.

المستضدات Antigens :

لا تحدث المناعة المكتسبة إلا بعد التعرض الأول للكائنات الغريبة الغازية أو لمحاصيلها السامة، لذلك فمن الواضح أن الجسم يمتلك آلية معينة للتعرف على هذا الغزو الأولي، ويحتوي كل نمط

من الكائنات الحية الغريبة الممرضة الغازية أو ذيفاناتها واحداً أو أكثر من مركبات كيميائية نوعية، هي بشكل عام، إما بروتينات أو عديدات سكاريد ضخمة تحرض بدء المناعة المكتسبة وتسمى المستضدات. ولكي تصبح المادة مستضداً يجب أن تمتلك وزناً جزيئياً عالياً يبلغ ٨٠٠٠ أو أكثر، أما المواد ذات الوزن الجزيئي الأقل فتسمى النواشب Haptens وهي لا تستطيع أن تثير تفاعلاً مناعياً إلا في حالات نادرة، وبهذه الحالة ترتبط بمواد مستضدية كالبروتينات.

الأضداد Antibodies :

الأضداد عبارة عن غلوبولينات تدعى الغلوبولينات المناعية Immunoglobulin وهي تشكل نحو ٢٠% من إجمالي بروتينات البلازما ومن أهمها:

أ ـ الغلوبولين المناعي IgG ويتميز بـ :

١. توزعه المتساوي في جميع سوائل الجسم.
٢. مقداره مرتفع ويؤلف نحو ٧٥% من إجمالي الغلوبولينات المناعية بالبلازما.
٣. يحفز عمل البالعات بشكل جيد، لأن الكريات البيض المحببة والبالعات الكبيرة تمتلك في أغشيتها مراكز مستقبلة للقطعة المبلرة من الضد IgG مما يسهل عملية التصاقه.
٤. له أهمية كبيرة في مهاجمة العوامل الممرضة الغازية، وفي ترصد الذيفانات المتفشية.
٥. هو الغلوبين المناعي الوحيد الذي ينتقل عبر المشيمة إلى الجنين، فيمنّع الوليد تمنيعاً منفعلاً يدوم عدة أشهر.

ب ـ الغلوبين المناعي IgMويتميز بـ :

١. يوجد بالدم فقط.
٢. لا ينتقل عبر المشيمة.
٣. وزنه الجزئي ٩٠ ألفاً وعمره النصفي خمسة أيام.
٤. يهيمن على الجواب المناعي البدئي نظراً لقصر عمره النصفي.
٥. لوحظ أن الراصات المثلية للزمر الدموية AB هي أضداد من نمط IgM.
٦. له قدرة فائقة على رص الكريات الحمر والجراثيم سلبية الغرام وحل الخلايا.

ج ـ الغلوبين المناعي IgAويتميز بـ :

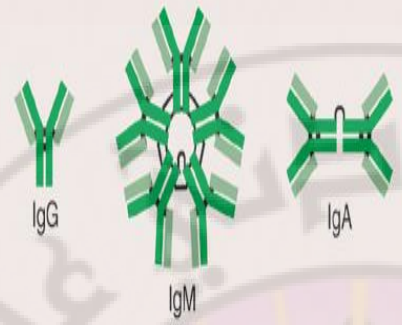
١. يوجد بالمصل وفي مفرزات اللعاب والعرق واللبأ.
٢. يوجد في المفرزات المخاطية لأغشية السبل الهضمية والتنفسية والبولية.
٣. عمره النصفي ستة أيام.

د ـ الغلوبين المناعي IgDويتميز بـ :

١. مقداره بالدم ضئيل جداً.
٢. عمره النصفي ثلاثة أيام.
٣. عاجز عن تفعيل جملة المتممة.

هـ ـ الغلوبين المناعيIgE ويتميز بـ :

١. سريع العطب بالحرارة.
٢. ينجذب نحو الأسسات والخلايا البدينة التي تتوضع حول الأوعية.
٣. يزداد مقداره في الحالات التحسسية كالربو خارجي المنشأ والأرج الدوائي .

Antibody	Total Serum Antibody (%)	Structure	Description
IgG	80–85		Activates complement and functions to increase phagocytosis; can cross the placenta and provide immune protection to the fetus and newborn; responsible for Rh reactions such as hemolytic disease of the newborn
IgM	5–10		Activates complement and acts as an antigen-binding receptor on the surface of B cells; responsible for transfusion reactions in the ABO blood system; often the first antibody produced in response to an antigen
IgA	15		Secreted into saliva, tears, and onto mucous membranes to provide protection on body surfaces; found in colostrum and milk to provide immune protection to the newborn
IgE	0.002		Binds to mast cells and basophis and stimulates the inflammatory response
IgD	0.2		Functions as antigen-binding receptors on B cells

جدول يظهر تصنيف وعمل مختلف الاضداد.

آليات عمل الأضداد:

تعمل الأضداد لحماية الجسم ومقاومة العوامل الممرضة الغازية بطريقتين مختلفتين:

أ. مهاجمة العوامل الممرضة مباشرة وتثبيطها بطرائق متعددة وهي:

١. التراص Agglutination: حيث تلتحم البنيات الكبيرة كالجراثيم وكريات الدم الحمر معاً في لزنة Clump وينجم ذلك عن تفاعل الأضداد مع المستضدات الموجودة على سطحها.

٢. الترسيب Precipitation: حيث تصبح المعقدات الجزئية للمستضدات المنحلة والأضداد كبيرة جداً فتترسب.

٣. الحل Lysis: حيث يمتلك بعض الأضداد القدرة على مهاجمة الأغشية الخلوية للعوامل الممرضة الغازية وحلها.

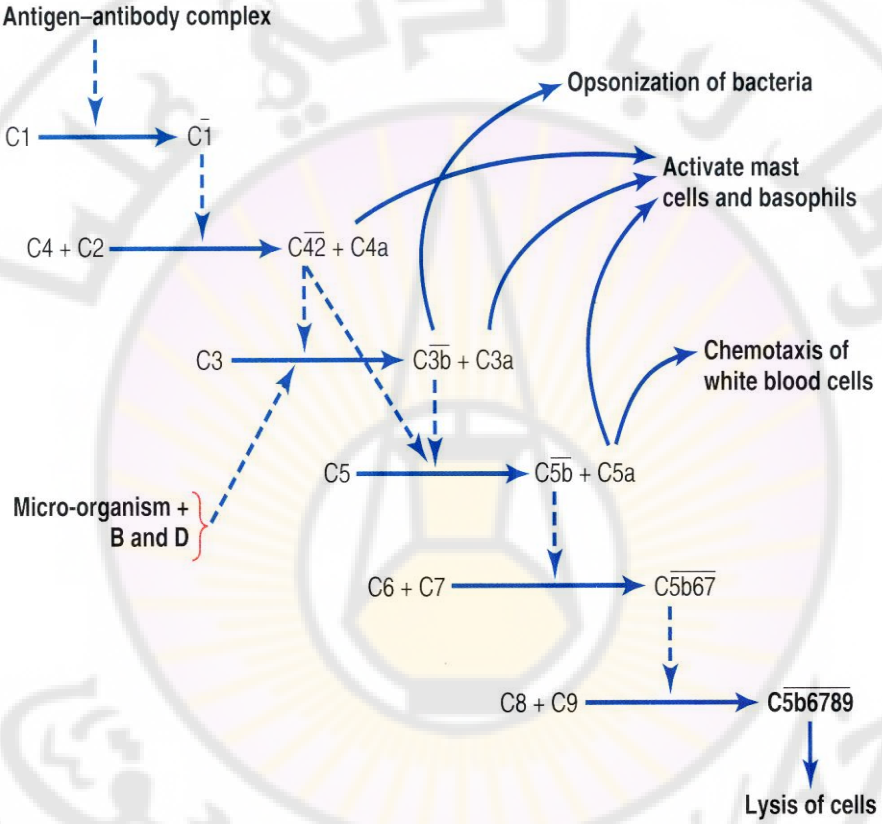
٤. التعديل Neutralization: وبهذه الحالة تغطي الأضداد المواقع السمية للعوامل الممرضة الغازية، وتجدر الإشارة إلى أن الفعل المباشر للأضداد ليس قوياً بشكلٍ كافٍ، إذ إن معظم الحماية من العوامل الممرضة تأتي عن الفعل الضدي لجملة المتممة.

ب. تفعيل المتممة:

يعبر مصطلح المتممة Complement عن جملة متكونة من نحو عشرين بروتيناً مختلفاً معظمها على شكل طلائع إنظيمية، ومن أهمها أحد عشر بروتيناً يرمز لها بـ C1 حتى C9 إضافة إلى B،D وتوجد جميعها بشكل سوي بين بروتينات البلازما، وتتسرب من الشعيرات

إلى الأفضية النسيجية، وتكون الإنظيمات غير فعالة في الحالة الطبيعية، ولكن يمكن تفعيلها بأحد طريقين منفصلين يدعى الأول السبيل المدرسي، في حين يدعى الثاني السبيل البديل.

١. **السبيل المدرسي Classical Pathway لتفعيل الجملة المتممة (شكل ٤):** يتم تفعيل جملة المتممة في السبيل المدرسي بوساطة تفاعل الضد والمستضد الذي يؤدي إلى كشف الموقع التفاعلي النوعي على الجزء الثابت من الضد، وبذلك يصبح الضد مفعلاً حيث يرتبط مباشرة مع جزئية الـ C1 في جملة المتممة مطلقاً شلال التفاعلات المتتالية، والتي ينجم عنها تشكيل الكثير من النواتج النهائية ذات التأثيرات الهامة التي تساعد على منع الأذى الناجم عن الكائنات الحية الممرضة الغازية أو عن ذيفاناتها، ومن أهم تلك التأثيرات:



الشكل (٤).السبيل المدرسي لتفعيل المتممة.

* الطهاية Opsonization والبلعمة Phagocytosis: يفعل الـ C3b، وهو أحد نواتج شلال المتممة، البلعمة بوساطة العدلات والبلاعم بشدة، ويجعلها تبتلع العوامل الممرضة الغازية والتي ارتبطت بها معقدات الضد المستضد، وتدعى هذه العملية الطهاية وهي فعالة جداً تؤدي إلى زيادة عدد الجراثيم المقتولة مئات المرات.
* الحل Lysis: يعد المعقد الحال Lytic Complement أحد أهم نتائج شلال المتممة، وهو يمتلك تأثيراً مباشراً يقود إلى تمزيق الأغشية الخلوية للعوامل الممرضة الغازية.
* التراص Agglutination: تحفز نواتج تفعيل المتممة على التصاق العوامل الممرضة وتراصها.
* تعديل الحمات Neutralization of Virus: تستطيع بعض نواتج تفعيل المتممة مهاجمة بعض الحمات الراشحة وإزالة فوعتها (تعديلها).
* الانجذاب الكيميائي Chemotaxis: تولد الشدفة C3a انجذاباً كيميائياً للعدلات والبلاعم، مما يؤدي إلى هجرة أعداد كبيرة منها إلى منطقة العامل المستضدي.

* تفعيل الأسسات والخلايا البدينة: تفعل الشدف C3a وC4a وC5a الأسسات والخلايا البدينة وتحفزها على تحرير الهيستامين وسواه إلى المكان المصاب.
* التأثيرات الالتهابية Inflammatory Effects: يسهم الكثير من نواتج تفعيل المتممة في الالتهاب الموضعي حيث تسبب تلك المنتجات زيادة التبيغ Hyperemia وزيادة تسرب البروتينات من الشعيرات وتجلط البروتينات في الأفضية النسيجية، مما يمنع تسرب الكائنات الحية الغازية في النسيج.

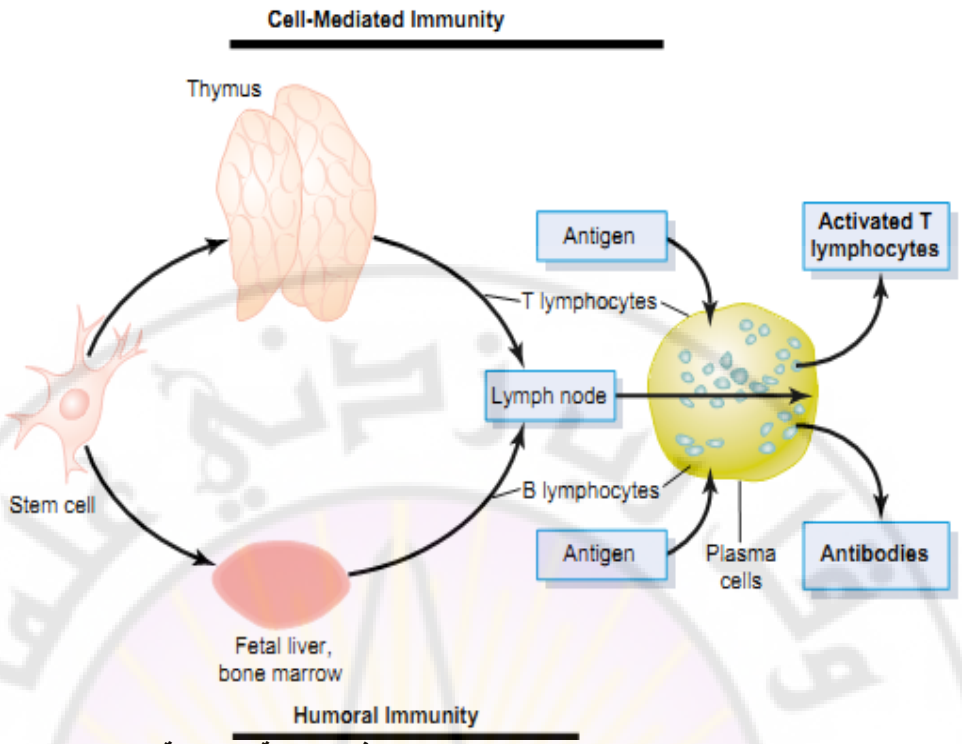
٢. **السبيل البديل Alternate Pathway لتفعيل جملة المتممة:** تتفعل جملة المتممة أحياناً دون تواسط تفاعل الضد والمستضد، ويحدث ذلك استجابة لجزيئات عديدة السكريد في الغشاء الخلوي لبعض الكائنات الحية المجهرية الغازية، حيث تتفاعل مع عوامل المتممة B وD مما يؤدي إلى تشكيل منتج يقوم بتفعيل العامل C3 متجاوزاً ما سبقه من شلال المتممة، وهكذا تتشكل النواتج النهائية ذاتها. وبما أن هذا السبيل لا يحتاج إلى تفاعل الضد والمستضد، فإنه يشكل أحد خطوط الدفاع الأمامية ضد الكائنات الحية المجهرية الغازية، وهو قادر على العمل حتى قبل أن يمنع الشخص ضد تلك الكائنات.

دور اللمفاويات في المناعة المكتسبة:

تلعب اللمفاويات الدور الرئيس في المناعة المكتسبة، فلا تظهر هذه المناعة عند الأشخاص المصابين بنقص لمفاويات وراثي أو عند أولئك الذي أتلفت لمفاوياتهم بوساطة الإشعاع أو المركبات الكيميائية، ويتعرض هؤلاء الأشخاص للموت غالباً بعد الولادة مباشرة أو نتيجة أخماج خاطفة.

تتوضع اللمفاويات بكثافة في العقد اللمفية Lymph Nodes ، كما توجد في أنسجة لمفية أخرى كالطحال Spleen والمناطق تحت المخاطية في السبيل المعدي المعوي وفي نقي العظام.

تقسم اللمفاويات إلى مجموعتين كبيرتين، إحداها مسؤولة عن تشكيل اللمفاويات المفعلة التي تؤمن المناعة بوساطة الخلايا تدعى اللمفاويات التائية، بينما تشكل الثانية الأضداد لتأمين المناعة الخلطية وتعرف باسم اللمفاويات البائية. وينشأ نمطا اللمفاويات من الأصل الجنيني نفسه وهو الخلايا الجذعية المكونة للدم متعددة القدرات والتي تتمايز وتصبح ملتزمة بتشكيل اللمفاويات(الشكل ٥).



الشكل(٥): دور اللمفاويات في المناعة المكتسبة

أ ـ اللمفاويات التائية T Lymphocytes :

تهاجر اللمفاويات المقدر لها أن تشكل لمفاويات مفعلة أولاً إلى التوتة Thymus وتعامل بدئياً هناك ولهذا السبب سميّت اللمفاويات التائية، وهي مسئولة عن المناعة الخلوية، وتحدث معظم المعاملة البدئية للمفاويات التائية قبل الولادة بفترة قصيرة وتستمر عدة أشهر بعدها، لذلك فإن استئصال التوتة قبل الولادة بزمن معين يمنع تشكيل المناعة الخلوية.

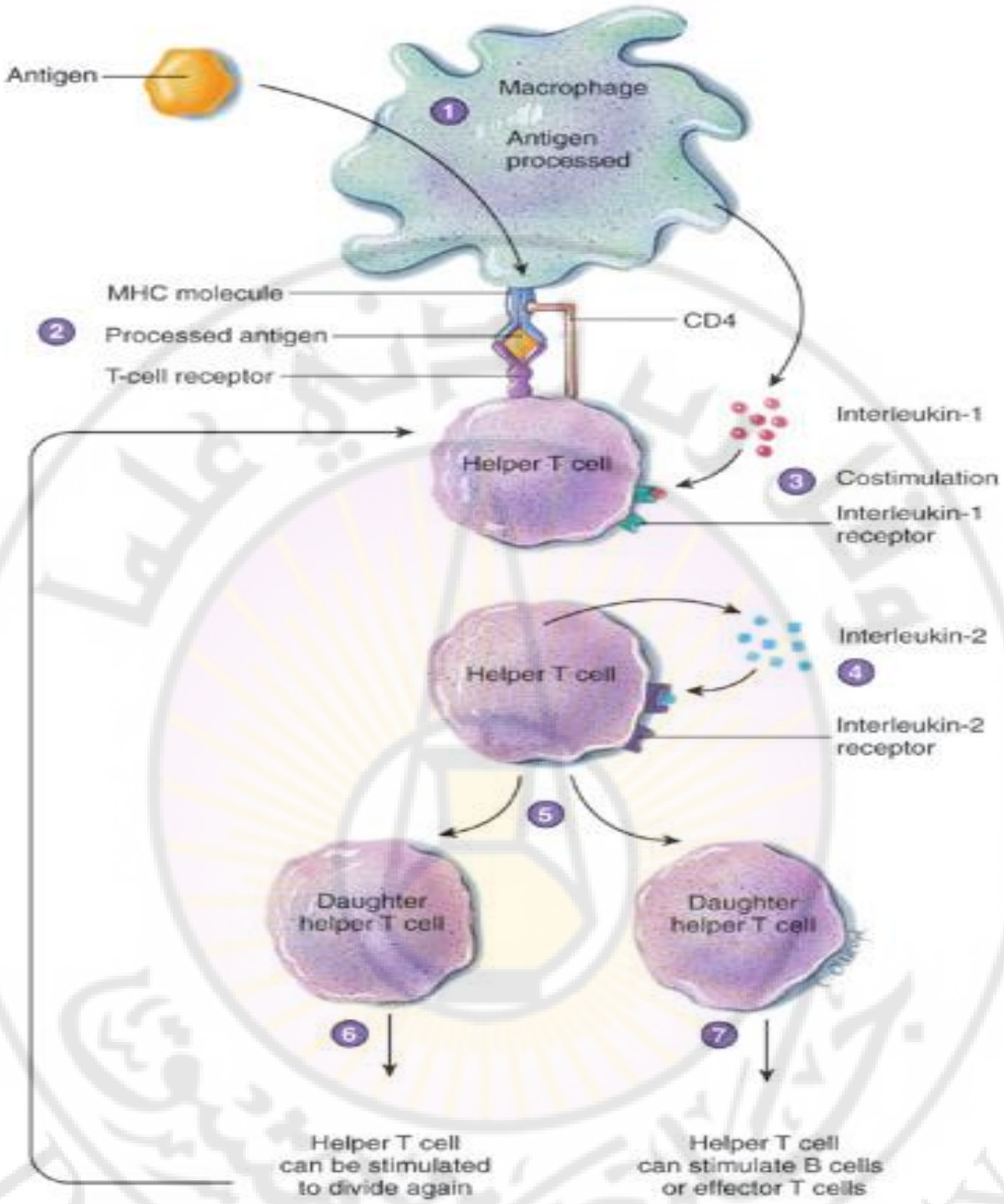
لا بد من الإشارة إلى أن المناعة بتواسط الخلايا هي المسئولة عن رفض الأعضاء المغترسة كالكلى والقلوب.

أنماط الخلايا التائية ووظائفها:

١ ـ الخلايا التائية المساعدة Helper T Cells :

تعد الخلايا التائية المساعدة أكثر اللمفاويات التائية وفرة إذ تشكل عادة ثلاثة أرباع إجمالي الخلايا التائية، وتقوم هذه الخلايا بدور مهم في تنظيم وظائف جهاز المناعة، ويتم ذلك بوساطة تشكيل سلسلة من البروتينات الوسيطة تدعى اللمفوكينات Lymphokines ، وتؤثر على الخلايا الأخرى في جهاز المناعة، وعلى خلايا نقي العظام، وفي غياب اللمفوكينات من الخلايا التائية المساعدة يصبح جهاز المناعة مشلولاً، وهذا ما يحدث عند تثبيط الخلايا التائية المساعدة أو تدميرها بوساطة حمى متلازمة عوز المناعة المكتسب Acquired Immunodeficiency Syndrome

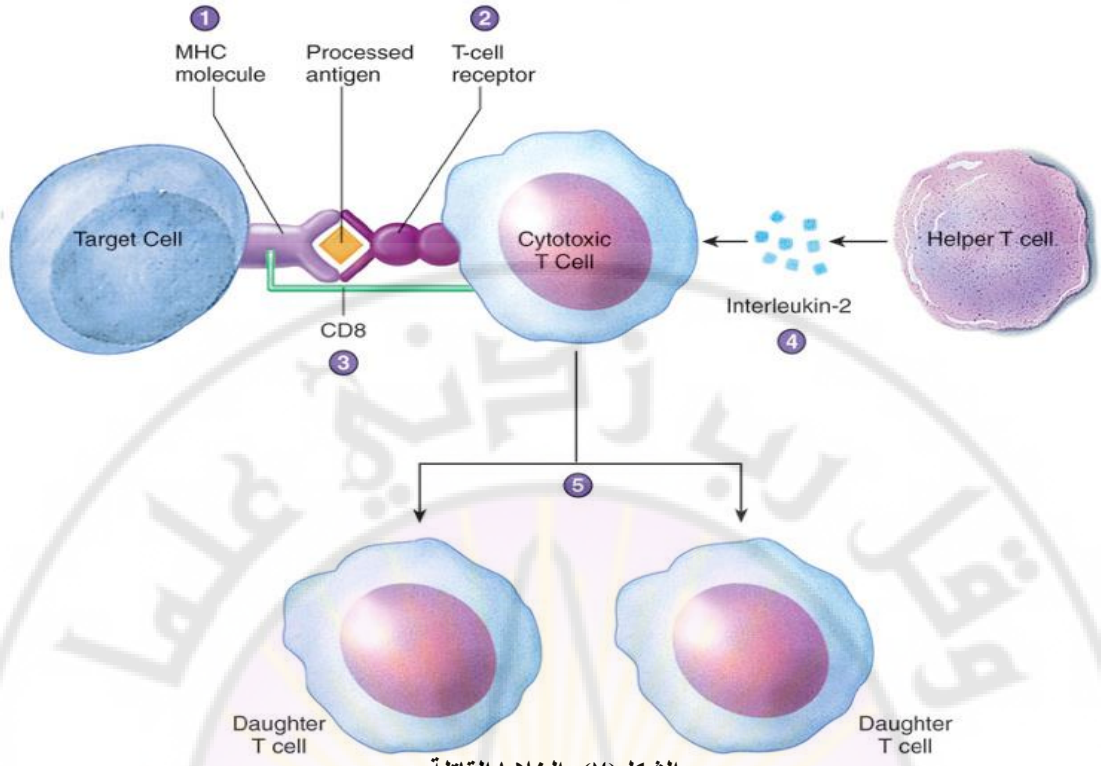
يملك لمفوكين الانترولكين ـ ٢ بشكل خاص، تأثيراً منبهاً قوياً لإحداث نمو وتكاثر في كل من الخلايا التائية السامة للخلايا والخلايا التائية الكابتة، كما تشارك معظم اللمفوكينات في استجابة الخلايا البائية. إذ إن لبعضها تأثير مهم في نمو هذه الخلايا، وتمتلك بعض اللمفوكينات وبخاصة الانترلوكين ـ ٢ تأثيراً تلقيمياً راجعاً إيجابياً لتنبيه تفعيل الخلايا التائية نفسها، وبذلك يعمل كمضخم لتعزيز استجابة أكبر للخلايا المساعدة الشكل(٦).



الشكل(٦).الخلايا T المساعدة.

٢ ـ الخلايا التائية السامة للخلايا Cytotoxic T Cells :

تتصف هذه الخلايا بقدرتها على مهاجمة الخلايا مباشرة، وتعمل على قتل الكائنات الحية المجهرية الغازية الممرضة، ولذلك تدعى الخلايا القاتلة Killer Cells . ترتبط هذه الخلايا بالكائنات الحية المجهرية الممرضة الغازية ثم تفرز بروتينات ثاقبة تدعى Perforins تقوم بفتح ثقوب كبيرة في أغشية الخلايا المهاجمة ثم تحرر مواداً سامة قاتلة، وتستطيع هذه الخلايا التائية السامة للخلايا الانفصال عن ضحيتها بعد تدميرها والانتقال إلى ضحية أخرى بحيث تستطيع التواجد في النسج عدة أشهر، كما تلعب دوراً هاماً في مهاجمة الخلايا السرطانية وخلايا الأعضاء المغترسة والأنماط الأخرى من الخلايا الغريبة عن الجسم الشكل(٧).



الشكل(٧). الخلايا القاتلة.

٣ ـ الخلايا التائية الكابتة Suppressor T Cells :

تتميز هذه الخلايا بأنها قادرة على كبت وظائف الخلايا التائية المساعدة والسامة للخلايا، ويعتقد أن ذلك يساعد على تنظيم فعالية الخلايا الأخرى، مما يؤدي إلى منعها من إحداث تفاعلات مناعية شديدة قد تكون ضارة في الجسم(الشكل٧).

ب ـ اللمفاويات البائية B Lymphocytes :

تعامل هذه المجموعة الخلوية والمقدر لها أن تشكل الأضداد، بدئياً في الكبد في أواسط الحياة الجنينية وفي نقي العظام في نهاية الحياة الجنينية وبعد الولادة، وتبقى نسائل من اللمفاويات البائية هاجعة في النسج اللمفاوية إلى أن تتعرض لمستضد نوعي حيث يتضخم معظمها، ويأخذ مظهر أرومات اللمفاويات ثم يتمايز بعضها فيما بعد بشكل أرومات المصوريات، وهي سلائف الخلايا المصورية التي تعطي الخلايا المصورية المنتجة للأضداد، وتفرز هذه الأضداد في اللمف ثم تحمل إلى الدم الجائل ولا تشكل بعض الأرومات اللمفاوية، المتشكلة من تفا عل التلقيح ضد الكزاز وسواه، وبالإضافة لذلك يمكن تلقيح الشخص بوساطة إخماجه بكائنات حية موهنة (مضعفة)، كما في الوقاية من التهاب سنجابية النخاع والحمى الصفراء والحصبة والجدري ...

المناعة المنفعلة Passive Immunity :

يمكن إكساب الجسم مناعة مؤقتة دون حقن أي مستضد، ويتم ذلك بحقن الأضداد أو الخلايا التائية المفعلة أو كليهما بعد أخذهما من إنسان ما أو بعض الحيوانات التي منعت بفعالية ضد المستضد وهذا ما يسمى بالمناعة المنفعلة.

الصفيحات الدموية Platelets

تعد الصفيحات الدموية أصغر عناصر الدم المصورة، وتبدو على شكل كتل خلوية دائرية أو بيضوية غير منواة، تتراوح أقطارها بين ٢ - ٤ ميكرو مترات، تتكون في نقي العظام من خلايا كبيرة تدعى Megakaryocytes التي تتجزأ إلى صفيحات دموية، ويتم ذلك في النقي أو فور دخولها الدم.
يبلغ عدد الصفيحات السوي ١٥٠ - ٣٥٠ ألفاً في كل ميكرو ليتر (ملم مكعب)، وتكون الصفيحات في النهار أكثر عدداً من الليل، كما تزداد بعد الجهد، ومدة وجودها في الدم المحيطي تتراوح بين ٦ - ١٢ يوماً حيث تزال من الدوران بوساطة جملة البلاعم النسيجية.

الخصائص الفيزيائية والكيميائية للصفيحات الدموية:

أ. تحتوي هيولى الصفيحات الدموية الكثير من العوامل الفعالة هي:
١. جزيئات بروتينية قلوصية هي الآكتين Actin والميوزين Myosin، وتعمل على تقلص الصفيحات.
٢. بقايا الهيولى الشبكية الباطنة وجهاز كولجي حيث يجري تصنيع إنظيمات مختلفة وخزن مقادير كبيرة من شوارد الكالسيوم.
٣. متقدرات ومجموعات إنظيمية قادرة على تشكيل الأدينوزين ثلاثي الفسفات (الآتب ATP).
٤. جمل إنظيمية مركبة للبروستاغلاندينات (ترمبوكسان A2)، وهي هرمونات موضعية تحدث أنماطاً مختلفة من التفاعلات على مستوى الأوعية والنسج الموضعية الأخرى.
٥. العامل المثبت للفيبرين Fibrin Stabilizing F وهو بروتين له أثر مهمّ في تخثر الدم.
٦. عامل يحرض على نمو الخلايا البطانية الوعائية، والخلايا العضلية الملس في جدر الأوعية مما يساعد على ترميم الأذية الوعائية.

ب. يحتوي غشاء الصفيحة الدموية على غلالة Cout من البروتينات السكرية، وظيفتها منع التصاقها على البطانة الوعائية السليمة، كما يحوي شحميات فوسفورية تتضمن العامل الصفيحي الثالث، والعامل الصفيحي الرابع الذي يطلق عليه اسم عامل التعادل الهيبارياني.

وظائف الصفيحات:

أ. للصفيحات الدموية أثرٌ مهمٌّ في الإرقاء Hemostasis الذي يمنع النزف، ويحول دون ضياع الدم بوساطة:
١. تشكيل سدادة صفيحية سنتحدث عنها لاحقاً.
٢. إطلاق مواد مقبضة للأوعية مثل الترمبوكسان A2 (Thromboxane A2) وهو بروستاغلاندين يتشكل من حمض الأراشيدونيك، ويتصف بخواصه القوية المقبضة للأوعية، كما يساعد على التكدس الصفيحي.
٣. تحرير فوسفوليبيد صفيحي يدعى العامل الصفيحي الثالث Platelet Factor ولها أثر مهمّ في عملية التخثر.
٤. تحرير العامل الصفيحي الرابع Platelet Factor 4 أو ما يسمى بعامل التعادل الهيبارياني.
٥. تحرير مواد ضرورية لانكماش العلقة بعد تكونها.
٦. يؤدي وجود البروتينات العضلية القلوصة وشوارد الكالسيوم في هيولى الصفيحات إلى حدوث تقلص داخلي ضمن تلك الصفيحات مما يسهل انطلاق النواتج المتحررة من الصفيحة وانكماش الجلطة الدموية.

ب. تحرر الصفيحات الدموية عاملاً يحرض على نمو الخلايا البطانية والعضلية الملس لجدار الوعاء المتأذي، مما يساعد على ترميم الأذية الوعائية.

ج. يمكن أن تلتصق الصفيحات الدموية ببعض الذيفانات الداخلية للجراثيم، وتنجذب معها إلى جملة البلاعم النسيجية حيث يتم التخلص منها.

الأرقاء و تخثر الدم
Hemostasis and Blood Coagulation

الأرقاء هو مجموعة الآليات التي يقوم بها الجسم للوقاية من ضياع الدم، فعندما تتمزق الأوعية الدموية يحدث الأرقاء بوساطة تضافر آليات مختلفة تتضمن ثلاث مجموعات متعاونة هي جدار الوعاء الدموي و الصفيحات الدموية و بروتينات التخثر في البلازما، ينجم عن هذا التآثر الإرقاء السوي، و لكن إذا بولغ فيه ينجم الخثار.

مراحل الأرقاء

١. التضيق الوعائي.
٢. تشكيل السدادة الصفيحية.
٣. تشكيل الخثرة الدموية كنتيجة لتخثر الدم.
٤. وأخيراً نمو نسيج ليفي في الخثرة الدموية لإغلاق الفتحة في الوعاء بشكل دائم .

التضيق الوعائي Vascular Constriction

حالاً بعد تمزق الوعاء الدموي أو أذيته يحدث تقلص جدران هذا الوعاء و بالتالي إلى نقص جريان الدم فيه و ينجم هذا التقلص عن:

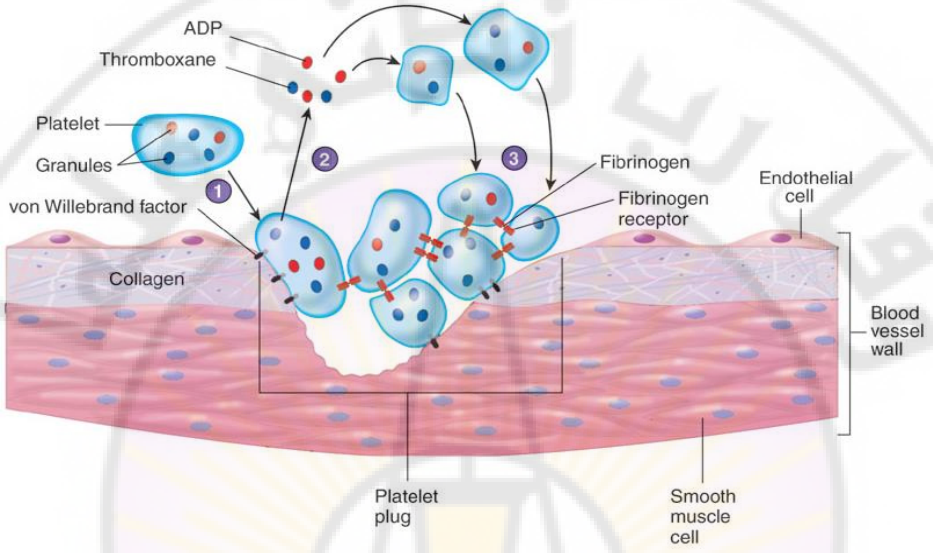
١. المنعكسات العصبية و يسببها الألم و التنبيهات الحسية الأخرى الصادرة عن الوعاء المتأذي أو النسج القريبة منه فهي التي تحرض إطلاق هذه المنعكسات.
٢. التشنج الموضعي عضلي المنشأ. ينجم أغلب التضيق الوعائي من التقلص الموضعي عضلي المنشأ.
٣. العوامل الخلطية الموضعية. و تنشأ هذه العوامل من النسج المرضوضة أو من الصفيحات الدموية.

عندما يكون الوعاء الدموي المتأذي صغيرا تكون الصفيحات مسؤولة عن معظم التضيق الوعائي بإطلاقها مواد مضيقة للأوعية يعتبر الترومبوكسان A2 من أهمها .

تكون درجة التشنج أكبر كلما كانت درجة الرض أشد و يستمر هذا التشنج الوعائي عدة دقائق أو حتى عدة ساعات بحيث يسنح لعمليات تشكيل السدادة الصفيحية و تخثر الدم بالحدوث خلال هذا الوقت.

تشكيل السدادة الصفيحية Formation of the platelet plug

تقوم الصفيحات بإنجاز هذه الأعمال من خلال المراحل التالية:



الشكل (٨)تشكيل السدادة الصفيحية.

١. التصاق الصفيحات Platelat adhesion

عندما يتأذى الوعاء الدموي تنجذب الصفيحات إلى الكولاجين من خلال مستقبلات موجودة على الغشاء الخلوي للصفيحات، و تلتصق الصفيحات على مكان الأذية في جدار الوعاء الدموي.
يُساعد على الالتصاق بواسطة عاملين أساسيين:

- غلالة البروتينات السكرية الموجودة في الغشاء الخلوي للصفيحات التي تمنع التصاق الصفيحات على البطانة الوعائية السوية، وبالمقابل، يُسمح لها بالالتصاق على المناطق المتأذية من الجدار الوعائي.
- عامل فون وليبراند، الذي هو جزء من العامل الثامن لتخثر الدم و المنتج من قبل كل من الصفيحات و جدر الأوعية الدموية.

٢. تفعيل الصفيحات Platelat activation

تتفعل الصفيحات و يتم تحرير محتويات حبيباتها و التي تشمل(ADP،ATP ، السيروتونين، شوارد الكالسيوم، عامل النمو الصفيحي و بعض عوامل التخثر).
يعتمد انطلاق هذه المحتويات على التماس مع الكولاجين وعلى مساعدة الثرومبين، حيث يؤدي كلا هذين العاملين إلى تشكيل الثرومبوكسان A2 من حمض الأراشيدونيك الموجود في الشحميات الفوسفورية الموجودة في غشاء الصفيحات. يؤدي الثرومبوكسان A2 إلى حدوث

تقبض وعائي كما يساعد على تجمع الصفيحات. يعمل البروستاسيكلين المنتج من قبل الخلايا البطانية للأوعية بشكل معاكس تماماً للترومبوكسان A2، حيث يوسع الأوعية الدموية ويثبط تجمع الصفيحات، وكما هو معروف فإن كلاً من الترومبوكسان A2 والبروستاسيكلين يتم أنتاجهما من طليعة واحدة هي حمض الأراشيدونيك بوساطة أنزيم السيكلواكسيجيناز. يوجد في الحالات السوية توازن بإنتاج كلاً من العاملين المذكورين سابقاً، يؤدي إعطاء الأسبرين بجرعات صغيرة إلى إزاحة التوازن لصالح البروستاسيكلين وبالتالي إبطاء تخثر الدم والية ذلك أن الأسبرين يثبط أنزيم السيكلواكسيجيناز وبالتالي يثبط اصطناع كل من البروستاسيكلين والترومبوكسان A2، وتستطيع الخلايا البطانية تصنيع أنزيم السيكلواكسيجيناز خلال ساعات، بينما لا تستطيع الصفيحات الموجودة حالياً على تصنيع هذا الأنزيم ويحتاج الأمر لعدة أيام لحين دخول صفيحات جديدة إلى الدوران.

٣. تجمع الصفيحات Platelat aggregation

يبدأ تجمع الصفيحات و التصاقها مع بعضها لإغلاق الفتحة في الوعاء، و يتعزز ذلك بوساطة الثرومبوكسان A2 و الـADP، ثم تنتفخ هذه الصفيحات وتصبح دبقة ومن ثم تلتصق بالكولاجين في النسج وبعامل فون ويلليبراند الذي يتسرب إلى النسج المتأذية من البلازما و تتقلص بروتيناتها القلوصة و تحرر محتوياتها و تلتصق مع الصفيحات التي سبقتها بالتجمع. في البداية تكون سدادة الصفيحات رخوة ولكنها تنجح في سد الثقب خاصةً إذا كان صغيرا.

٤. تفعيل الصفيحات لعملية التخثر.

بعد أن تتجمع الصفيحات و تحرر محتوياتها و منها العامل الصفيحي الثالث الذي يشجع و يطلق عملية التخثر.

أهمية الطريقة التي تقوم بوساطتها الصفيحات بإغلاق الثقوب الوعائية.

تستطيع الصفيحات بنفسها إيقاف ضياع الدم بشكل كامل إذا كان الشق في الوعاء صغيرا، أما إذا كان الثقب كبيرا فتبرز الحاجة إلى تشكيل الجلطة الدموية بالإضافة إلى تشكيل السدادة الصفيحية لإيقاف النزف.

و تظهر أهمية تشكيل السدادة الصفيحية في إغلاقها للعدد الكبير من التمزقات الوعائية الصغيرة التي تحدث يوميا مئات المرات، حيث تغلق الثقوب الصغيرة الموجودة في خلايا البطانة الوعائية بوساطة الصفيحات، التي تندمج فعليا من خلال البطانة و تشكل غشاء خلويا بطانيا إضافيا مما يوضح سبب تشكل مئات المناطق النزفية تحت الجلد و ضمن النسج الحشوية عند الشخص الذي يعاني من نقص شديد في عدد الصفيحات الدموية بينما لا يحدث هذا عند الشخص السوي.

التخثر الدموي

يعد تشكيل الجلطة الدموية الآلية الثالثة في الإرقاء، حيث تبدأ الجلطة الدموية في التشكل في غضون ١٥ – ٢٠ ثانية إذا كانت الأذية في الجدار الوعائي شديدة و في غضون ١ – ٢ دقيقة إذا كانت الأذية خفيفة.

تبدء المواد المفعلة لعملية التخثر (جدر الأوعية المتأذية والصفيحات وبروتينات الدم) تخثر الدم. و في غضون ٣ – ٦ دقائق من تمزق الوعاء الدموي (إذا لم تكن الفتحة في جدار الوعاء الدموي كبيرة جدا) تمتلئ الفتحة بكاملها أو النهاية المصابة من الوعاء بالجلطة الدموية، و بعد

٢٠ دقيقة إلى ساعة تنكمش هذه الجلطة مما يؤدي إلى إغلاق أكبر للوعاء، و تلعب الصفيحات دورا مهما في هذا الانكماش.

التعضي الليفي أو الأنحلال للخثرة

تتبع إحدى طريقين

- تُغزى بمصورات الليف التي تشكل فيما بعد نسيج متصل خلال الخثرة
- تنحل

الطريق الطبيعي للخثرة في الفتحة الضيقة أن تغزى بمصورات الليف ويبدأ ذلك خلال عدة ساعات بعد تشكل الخثرة (التي تعزز عامل النمو المفرز من الصفيحات) . يتابع العمل حتى انتهاء التعضي إلى نسيج ليفي خلال ١-٢ اسبوع. عندما تتسرب كمية كبيرة من الدم إلى النسج وتتخثر تتفعل عوامل في الخثرة نفسها كإفراز انزيمات لتحل الخثرة.

آلية التخثر الدموي.

النظرية الأساسية : وجد أكثر من ٥٠ مادة هامة تؤثر على التخثر الدموي متوزعة بين الدم و النسج، يعزز بعض هذه المواد التخثر و تدعى طلائع التخثر (Proacoagulants) و يثبط بعضها الآخر التخثر و تدعى مضادات التخثر (Anticoagulants) و يتوقف تخثر الدم أو عدم تخثره على التوازن بين هاتين المجموعتين، ففي الحالة السوية تسيطر المجموعة المضادة للتخثر، و بالتالي لا يتخثر الدم و لكن عندما يتمزق أي وعاء تتفعل طلائع التخثر في المنطقة المتأذية و تتغلب على مضادات التخثر و بالتالي تبدأ الجلطة بالتشكل.

الآلية العامة للتخثر: يتفق كل العاملين في أبحاث تخثر الدم على أن التجلط يتم وفق ثلاث خطوات أساسية هي:

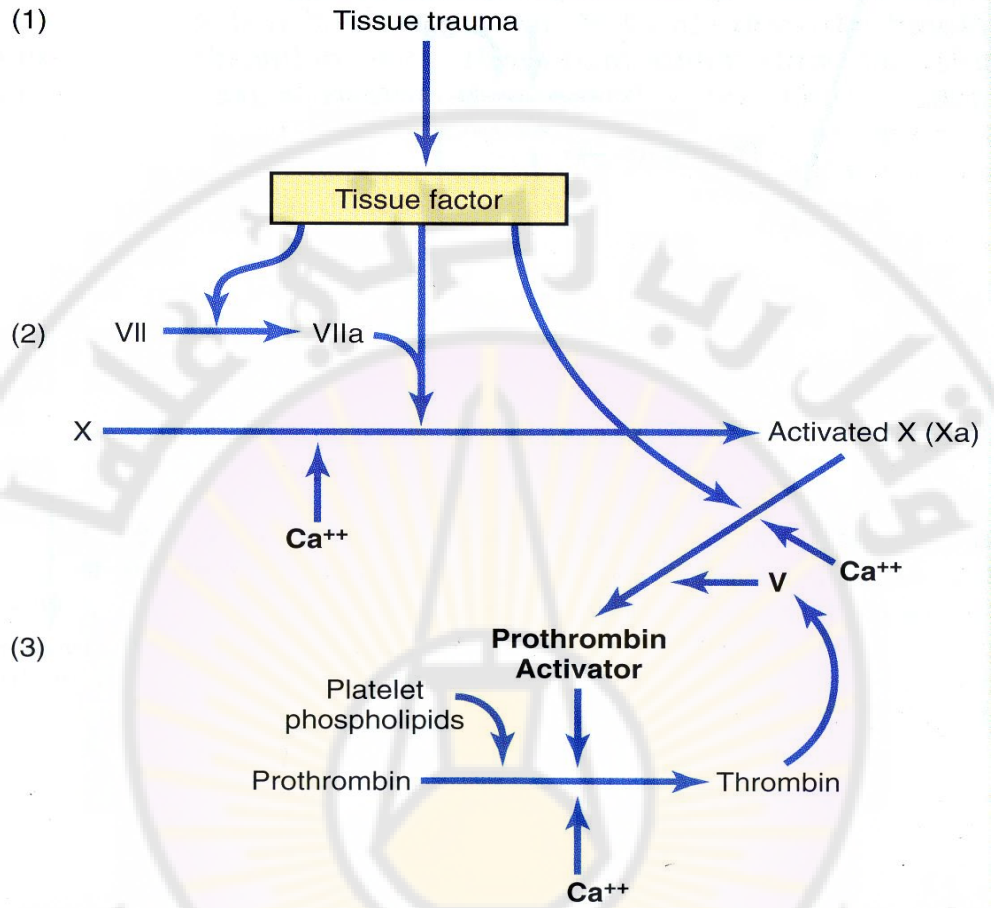
- تشكيل منشط طليعة الثرومبين. و هو معقد من عدة عوامل يتشكل استجابة لتمزق الوعاء أو نتيجة أذية تصيب الدم نفسه و يتدخل في تشكيل هذا المعقد أكثر من ١٢ عامل موجود في الدم و يتم تشكيل هذا المنشط وفق سبيلين الداخلي و الخارجي. وهو العامل المحدد لتخثر الدم لأن ما يليه سريع جداً و يحدث خلال ١٠ إلى ١٥ ثانية.
- يحفز منشط طليعة الثرومبين تحول طليعة الثرومبين إلى ثرومبين تلعب الصفيحات دوراً في تحول البرترومبين إلى ترومبين (يوجد على الصفيحات مستقبلا للبروترومبين) .
- يعمل الثرومبين كأنظيم حيث يحول مولد الليفين إلى خيوط الليفين التي تصطاد الصفيحات الدموية و خلايا الدم لتشكيل الجلطة.

تشكيل المعقد الإنظيمي المنشط لطليعة الترومبين:

يتم تشكيل منشط طليعة الترومبين بطريقتين أساسيتين على الرغم من التداخل النسبي الدائم بينهما هما: السبيل الخارجي والسبيل الداخلي.

السبيل الخارجي لتشكيل منشط طليعة الترومبين: تؤدي الأذية النسيجية إلى تحرر العامل III أي الترومبلاستين النسيجي الذي يؤثر بالعامل VII بوجود شوارد الكالسيوم، فيحوله إلى شكل فعال VIIa يفعل العامل العاشر x الذي يؤثر في العامل الخامس v بوجود شوارد الكالسيوم

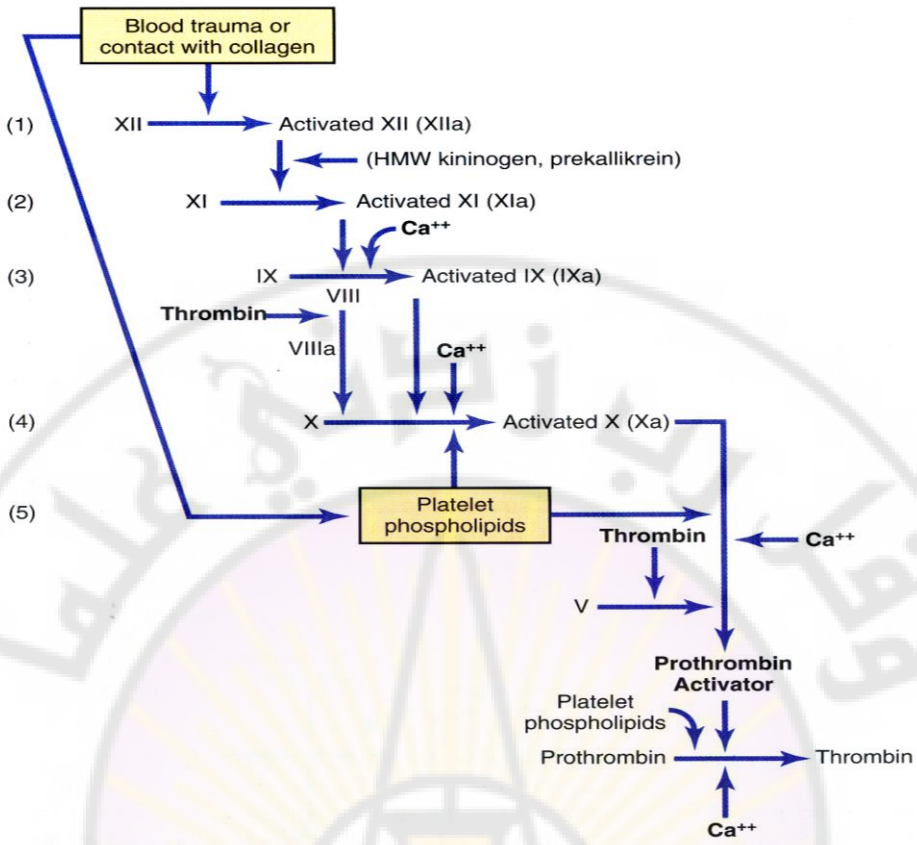
فيحوله إلى عامل فعال، ويسمى العامل العاشر الفعال مع الخامس وشوارد الكالسيوم والفوسفوليبيد الصفيحي بالمعقد المنشط لطليعة الترومبين Prothrombin Activator كما هو موضح في الشكل الآتي:



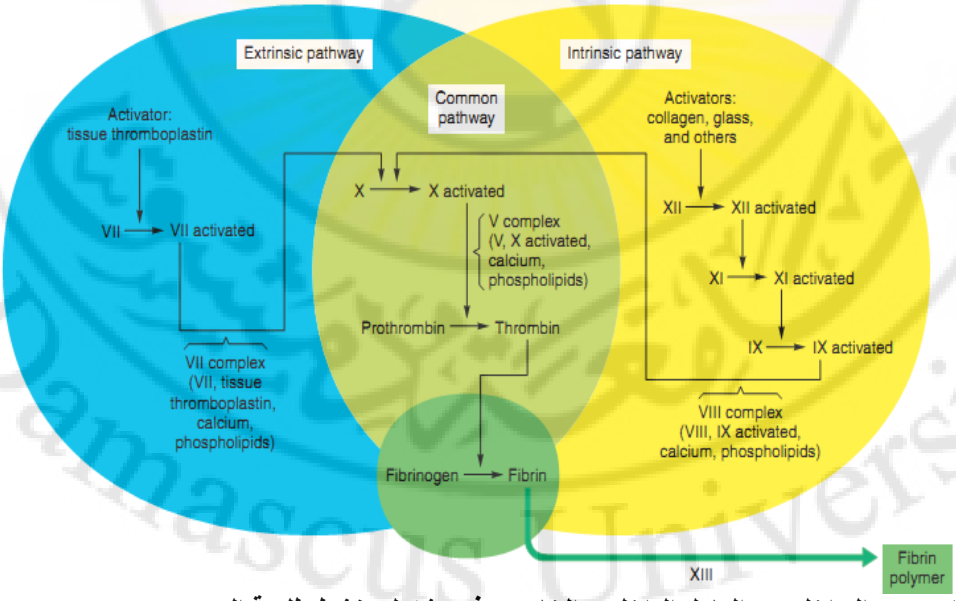
الشكل (٩) السبيل الخارجي لتشكيل منشط طليعة الترومبين

السبيل الداخلي لتشكيل منشط طليعة الترومبين: يبين الشكل الآتي المراحل المختلفة لتشكيل منشط طليعة الترومبين بوساطة السبيل الداخلي.

١. تسبب الأذية الوعائية Blood Trauma أو التماس مع الكولاجين تفعيل العامل الثاني عشر XII (XIIa) كما يحرض الصفيحات الدموية على إفراز الفوسفوليبيد.
٢. يسبب العالم XIIa تفعيل العامل XI (XIa)، ويتطلب ذلك وجود الكينينوجين عالي الوزن الجزيئي، كما يتسرع التفعيل بوساطة البري كاليكرين.
٣. يسبب العامل XIa تفعيل العامل IX (IXa) ويتطلب ذلك وجود الكالسيوم.
٤. يسبب العامل IXa تفعيل العامل X (Xa) ويتطلب ذلك وجود الكالسيوم والعامل VIIa والفوسفوليبيد الصفيحي.
٥. يتشكل المقعد الإنظيمي المنشط للبروتروبين من العامل Xa والعامل V والفوسفوليبيد الصفيحي وبوجود شوارد الكالسيوم.
٦. يحول منشط البروترومبين Prothrombin Activator البروترومبين إلى ترومبين Thrombin ويتطلب ذلك الفوسفوليبيد الصفيحي وشوارد الكالسيوم.



الشكل (١٠) السبيل الداخلي لتشكيل منشط طليعة التروميين



الشكل(١١) .يبين التداخل بين العامل الداخلي والخارجي في تشكيل منشط طليعة التروميين.

الوقاية من تجلط الدم في الجهاز الوعائي السوي

١- عوامل السطح البطاني:

- ملوسة البطانة و هي تمنع تنشيط السبيل الداخلي لتشكيل منشط طليعة التروميين.
- طبقة الكنان السكري Layer of glycocalyx و هي مكونة من عديد سكريد مخاطي ملتصق بالسطح الداخلي للبطانة ينفر عوامل التجلط و الصفيحات.

- الترومبوموديولين و هو بروتين مرتبط بالغشاء البطاني يعمل على ربط الثرومبين، يؤدي هذا الارتباط إلى إزالة فعالية الثرومبين و بالإضافة إلى ذلك يفعل المعقد الناجم عن هذا الارتباط البروتين C.

٢- العوامل التي تعاكس عمل الثرومبين.

تعد مضادات التخثر التي تزيل الثرومبين من الدم من أكثر مضادات التخثر أهمية أما الأكثر قوة بين تلك المضادات فهي اثنان:

- خيوط الليفين التي تتشكل خلال عملية التجلط.
- مضاد الترومبين III أو ما يدعى تميم الهيبارين المضاد للترومبين. فأثناء تشكل الجلطة يرتبط حوالي ٨٥ – ٩٠ % من الترومبين (المتشكل من طليعة الترومبين) مع خيوط الليفين و بالتالي تزول فعاليته و يمنع ذلك بوضوح انتشار الترومبين بالدم. أما الترومبين الذي لم يرتبط فسرعان ما يتحد مع مضاد الثرومبين III.

٣- الهيبارين.

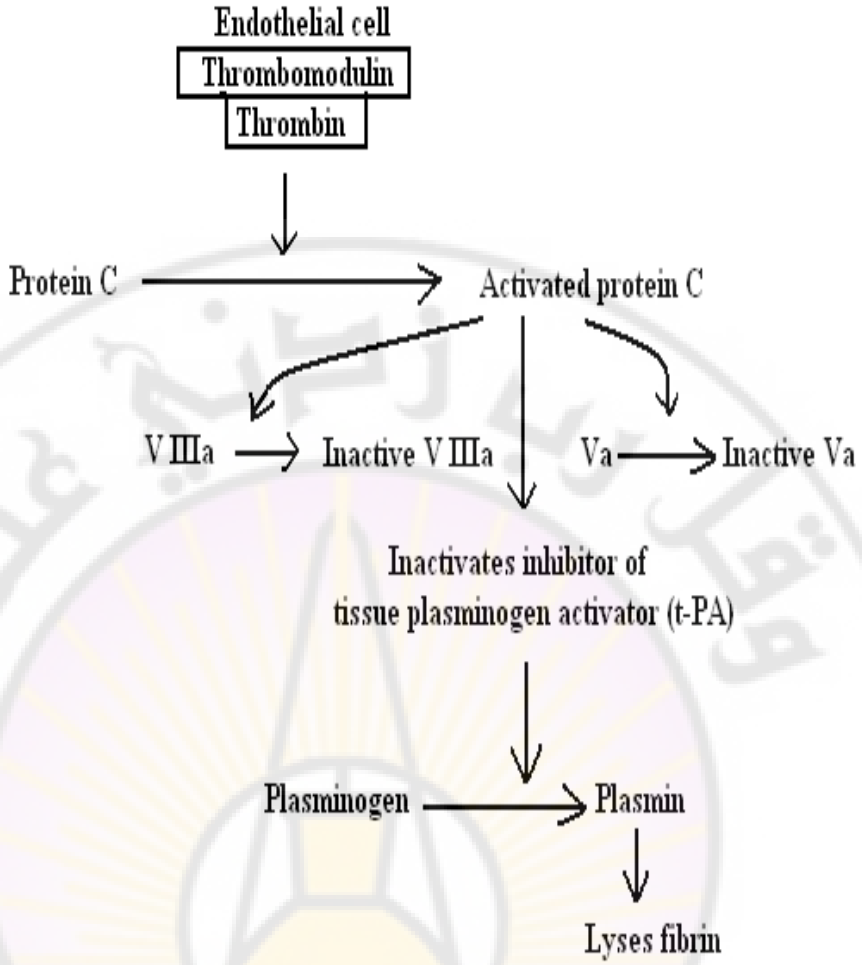
مضاد تخثر قوي ولكن تركيزه المنخفض في الحالة السوية يؤدي إلى عدم ظهور تأثيراته ذات الأهمية إلا في بعض الحالات الفيزيولوجية المحدودة، ومن جهة أخرى يستعمل الهيبارين بكثرة في الممارسة الطبية لمنع التجلط داخل الأوعية.

و جزيء الهيبارين عديد سكريد ذو شحنة سلبية شديدة و هو بذاته ذو خاصية مضادة للتخثر ضعيفة جدا أو معدومة و لكنه يلعب دورا مضادا للتخثر بارتباطه مع مضاد الترومبين III حيث يزيد من قدرة الأخير على إزالة الثرومبين نحو مائة ضعف إلى ألف ضعف و لذلك يؤدي وجوده بوفرة في الدم إلى إزالة الترومبين بشكل فوري غالبا.

و يزيل معقد الهيبارين مضاد الثرومبين III عدة عوامل تخثر مفعلة أخرى بالإضافة إلى الترومبين مما يؤدي إلى تعزيز تأثيره المضاد للتخثر و من هذه العوامل XII، IX،X.

٤-البلزمين.

يعمل هذا الأنزيم على حل ألياف الفيبرين وينتج عن ذلك منتجات تحطم الفيبرينوجين التي تثبط الترومبين. يتواجد هذا الأنزيم في الدم بالحالات السوية بحالة غير فعالة على شكل طليعة أنزيم(البلازمينوجين)، تتفعل هذه الطليعة بوساطة الترومبين ومنشط البلازمينوجين النسيجي حسب المراحل التالية:



الشكل (١٢) الجملة الحالة للفيبرين وتنظيمها بوساطة البروتين C.

اختبارات تخثر الدم.

١-زمن النزف :هو الزمن اللازم لتوقف نزف الدم بعد حدوث جرح بدون الاعتماد على تجلط الدم، ويعتمد ذلك على حالة جدر الأوعية الدموية والصفيحات. يتراوح الزمن الطبيعي بين ١-٤ دقائق.

٢-زمن التجلط. هو الزمن اللازم لحدوث تجلط الدم خارج الجسم بالاعتماد على السبيلين الداخلي والخارجي، وتوجد أكثر من طريقة لقياس هذا الزمن منها طريقة الصفائح وطريقة الأنابيب، يترواح الزمن السوي لتجلط الدم بين ٧-١٠ دقائق حسب الطريقة المستخدمة.

الفصل السابع
الغدد الصم

مقدمة

يتم تنظيم مختلف وظائف الجسم بوساطة جهازي تحكم رئيسين :

١. الجهاز العصبي
٢. الجهاز الهرموني أو جهاز الغدد الصم Endocrine system .

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

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

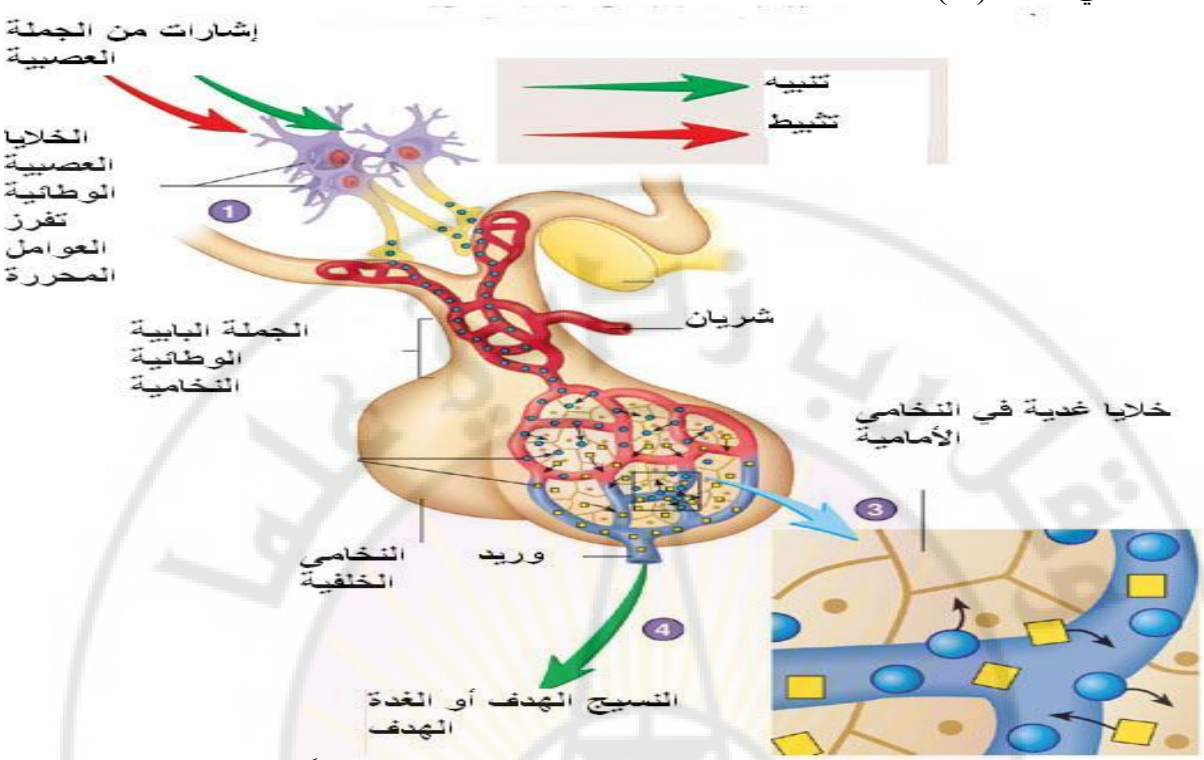
لمحة عن الغدد الصم الهامة و هرموناتها :

١-هرمونات الوطاء Hypothalamic hormones

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

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

٢. عبر المحاور الاسطوانية التي تصل مباشرة إلى الفص الخلفي للغدة النخامية كما يظهر في الشكل (١).



الشكل(١). المحور الوطائي النخامي وتظهر فيه المراحل المختلفة لإفراز الهرمونات بدءاً من كوامن العمل التي تخرج من الجملة العصبية وصولاً إلى الهرمونات التي تصل الأعضاء الهدف.

الهرمونات أو الحاثات التي تفرز من الوطاء

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

١. الهرمون المطلق للحاثة الدرقية Thyrotropin-releasing hormone (TRH)
٢. الهرمون المطلق للحاثة القشرية Corticotropin-releasing hormone (CRH)
٣. العامل المحرر لهرمون النمو Growth hormone-releasing factor (GRF)
٤. السوماتوستاتين (العامل المثبط لهرمون النمو) Growth-inhibiting H. (GIH)
٥. الهرمون المحرر لحاثة الأقناد Gonadotropin-releasing hormone (GnRH)
٦. العامل المثبط للبرولاكتين Prolactin-inhibiting factor (PIF)
٧. **لعامل المحرر للبرولاكتين Prolactin-releasing hormone (PRH)**

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

الغدة النخامية وعلاقتها بالوطاء

إن الغدة النخامية عبارة عن غدة صغيرة وزنها ٠.٥-١غ وتقع ضمن السرج التركي عند قاعدة الدماغ، وترتبط مع الوطاء بوساطة السويقة النخامية،ويمكن تقسيم الغدة النخامية فيزيولوجياً إلى قسمين منفصلين:النخامى الأمامية التي تُعرف بالنخامى الغدية والنخامى الخلفية والتي تُدعى كذلك بالنخامى العصبية.

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

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

الوظائف الفيزيولوجية لهرمون النمو

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

أ-تأثير هرمون النمو على النمو.

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

ب-التأثيرات الاستقلابية لهرمون النمو.

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

يمارس هرمون النمو معظم تأثيراته بوساطة مواد وسيطة تدعى السوماتوميدينات. عندما يُضاف هرمون النمو مباشرةً إلى خلايا غضروفية مزروعة خارج الجسم،فإن هذه الخلايا تفشل في التكاثر أو النمو، بينما يسبب زرق هرمون النمو إلى حيوان سليم إلى تكاثر ونمو الخلايا نفسها. وباختصار فقد وجد أن هرمون النمو يحرض الكبد على تشكيل (وربما نسج أخرى إنما بشكل أقل)بروتينات متعددة صغيرة تدعى السوماتوميدينات وهي بدورها تملك تأثيراً قوياً جداً في زيادة جميع مظاهر النمو العضلي.

٢-موجهة قشر الكظر Adrenocorticotropic hormone (ACTH) تتحكم بإفراز بعض هرمونات قشر الكظر التي تؤثر بدورها في استقلاب الغلوكوز والبروتين والدسم.

٣-الهرمون الحاث للدرق Thyroid-stimulating hormone (TSH) يحث الغدة الدرقية على إفراز هرموناتها (التيروكسين و ثالث يود التيرونين).

٤-الهرمون الحاث للجريبات

Follicle-stimulating hormone (FSH).

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

٥-الهرمون الملوتن Luteinizing hormone (LH):

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

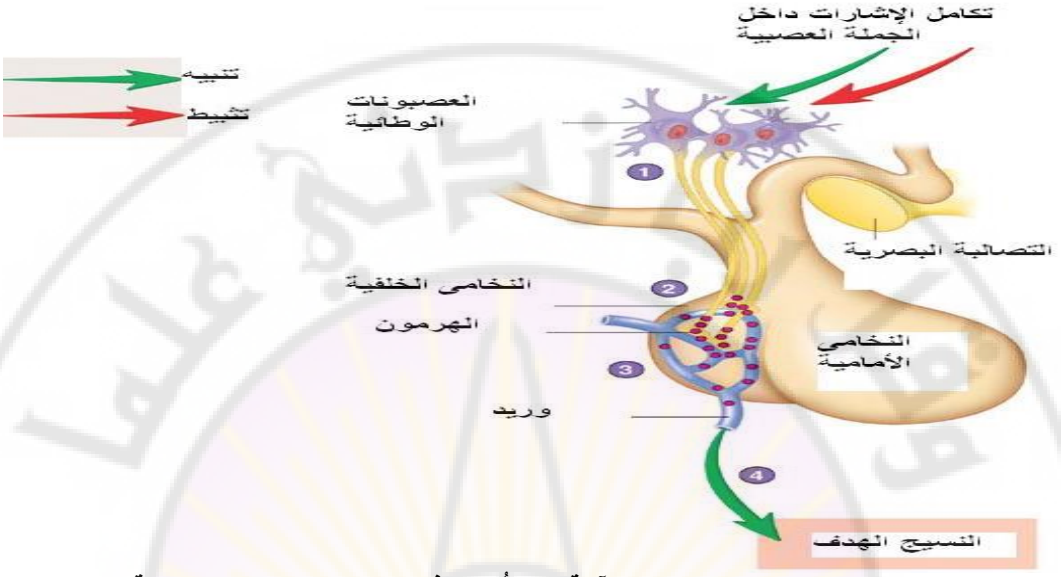
٦-البرولاكتين Prolactin : ينبه نمو الثديين و تكوين الحليب.

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

هرمونات النخامى الخلفية

تتألف الغدة النخامية الخلفية، و تدعى النخامى العصبية أيضاً، من خلايا نخامية تشبه الخلايا الدبقية. لاتفرز هذه الخلايا هرمونات إنما تعمل ببساطة كبنى داعمة للأعداد الضخمة من نهايات الألياف العصبية لسبل الأعصاب التي تنشأ في النوى فوق البصرية وجنيب البطنية للوطاء كما هو موضح في الشكل (٢) . تمر هذه السبل إلى النخامى العصبية عبر السويقة النخامية .إن نهايات العصب عبارة عن عقد بصلية تحوي عدداً من الحبيبات الإفرازية .تتوضع هذه النهايات على سطوح الشعيرات الدموية ،وتقوم بإفراز هرموني النخامى الخلفية إليها وهما:

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



الشكل (٢). يوضح الشكل الآلية التي تُفرز وفقها هرمونات النخامى الخلفية

إذا قُطعت السويقة النخامية فوق الغدة النخامية وأُبقي الوطاء بكامله سليماً يتواصل إفراز هرمونات النخامى الخلفية، بعد نقص عابر لعدة أيام، بشكل سوي تقريباً؛ تفرز بعد ذلك من النهايات المقطوعة للألياف ضمن الوطاء ولا تفرز من نهايات الألياف العصبية في النخامى الخلفية. يعود السبب في ذلك ، لأن الهرمونات تصنع بدايةً في أجسام الخلايا العصبية الموجودة في النواتين فوق البصرية وجنيب البطنية، ثم تنقل بعد ذلك بمرافقة بروتينات حاملة تدعى النوروفيزينات Neurophysins نحو الأسفل إلى النهايات العصبية في الغدة النخامية الخلفية وتحتاج عدة أيام كي تصل الغدة.
يتم تشكيل هرمون الـADH بشكل رئيس في النواة فوق البصرية بينما يتم تشكيل الأوستوسين بشكل رئيس في النواة جنيب البطنية، لكن كلاً من هاتين النواتين تستطيع اصطناع نحو سدس كمية الهرمون الثاني المصنع في النواة الأخرى.
يفرز الهرمون فوراً من الحبيبات الإفرازية في النهايات العصبية بالية الالتقاط ويحدث ذلك بعد وصول الدفعات العصبية، الناشئة من أجسام الخلايا في النواتين فوق البصرية وجنيب البطنية، عبر الألياف العصبية المنتهية في الغدة النخامية الخلفية. تمتص بعد ذلك إلى الشعيرات المجاورة ويفرز كل من النوروفيزين والهرمون معاً، ولكن كون الارتباط بينها ضعيفاً فإن الهرمون ينفصل فوراً عن النوروفيزين . لا يعرف للنوروفيزين أي وظيفة بعد تركه النهايات العصبية.

يتم تنظيم إفراز الـADH بوساطة
١- الضغط التناضحي الكلي لسوائل الجسم ويحدث ذلك بآلية التلقيم الراجع كمايلي:
عندما تصبح سوائل الجسم كثيفة بشكل كبير(ازدياد الضغط التناضحي) تستثار النوى فوق البصرية، بتوسط المستقبلات التناضحية في الوطاء، وتمرر الدفعات العصبية إلى النخامى الخلفية ويُفرز الـADH وينتقل الهرمون بوساطة الدم إلى الكلى حيث يزيد نفوذية القنوات الجامعة للماء ، ونتيجة لذلك يعاد امتصاص معظم الماء من السائل النبيبي في حين يستمر فقد

الكهارل إلى البول وهذا يمدد السائل خارج الخلايا مما يعيده إلى تركيبه التناضحي السوي المعتدل.
٢-نقص حجم الدم . إن نقص حجم الدم هو احد التنبيهات المسببة لإفراز الـADH ، ويحدث ذلك بشكل شديد عندما ينقص حجم الدم بمقدار ١٥-٢٠% حيث يرتفع معدل الإفراز أحياناً إلى ٢٠-٥٠ ضعف المقدار السوي والآلية هي :
تملك الأذينات خاصة الأذين الأيمن مستقبلات للتمدد Stretch receptors تُستثار بالامتلاء الزائد وعند استثارتها ترسل إشارات إلى الدماغ ليثبط إفراز الـADH.
بالمقابل، عندما لا تستثار (بسبب نقص الامتلاء) يحدث العكس حيث يزداد إفراز الـADH بشكل كبير.
٣-نقص تمدد مستقبلات الضغط في المناطق السباتية والأبهرية والرئوية يشارك في زيادة إفراز الـADH.

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

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

تأثير الأوسيتوسين على قذف الحليب من الأثداء
يلعب الأوسيتوسين دوراً هاماً بشكل خاص في عملية الإرضاع وهو دور مؤكد للأوسيتوسين أكثر بكثير من دوره المحتمل في ولادة الطفل. يؤدي الأوسيتوسين في أثناء الإرضاع إلى تحرك الحليب من الأسناخ إلى القنوات مما يمكن الطفل من الحصول عليه بوساطة المص وتعمل هذه الآلية كمايلي:
تسبب تنبيهات المص على حلمة الثدي إشارات تُنقل عبر الأعصاب الحسية إلى الدماغ وتصل هذه التنبيهات أخيراً إلى عصبونات الأوسيتوسين في النوى جنيب البطنية وفوق البصرية في الوطاء لتسبب إطلاق الأوسيتوسين، ويُحمل الأوسيتوسين بعد ذلك بوساطة الدم إلى الثديين حيث يسبب تقلص الخلايا العضلية الظهارية التي تتوضع خارج اسناخ غدة الثدي، وبعد أقل من دقيقة من بدء المص يبدأ الحليب بالتدفق. تدعى هذه الآلية جريان الحليب أو قذف الحليب.

قشر الكظر
مقدمة : تقع غدتا الكظر (تزن كل واحدة منها حوالي ٤ غ) عند القطبين العلويين للكليتين، و تتألف كل منهما من قسمين مختلفين هما لب الكظر Adrenal Medulla و قشر الكظر Adrenal Cortex . يرتبط لب الكظر وظيفياً مع الجهاز العصبي الودي فهو يفرز هرموني الأدرينالين و النورادرينالين استجابة للتنبيه الودي، و يسبب هذان الهرمونان التأثيرات نفسها التي يسببها التنبيه الودي المباشر في جميع أنحاء الجسم .
يفرز من قشر الكظر نوعين هامين من الهرمونات :
القشرانيات المعدنية Mineralocorticoids (تفرز من المنطقة الكبية و هي الطبقة الخارجية المؤلفة من طبقة رقيقة من الخلايا).
وظائف القشرانيات المعدنية

يسبب الفقد الكلي لمفرزات قشر الكظر الموت عادةً خلال ٣ أيام إلى أسبوعين ما لم يتناول الشخص معالجة مفرطة الملح أو معالجة بالقشرانيات المعدنية.يؤدي فقد هذه الهرمونات إلى ارتفاع تركيز البوتاسيوم في السائل خارج الخلايا بشكل ملحوظ، وينقص تركيز كل من الصوديوم والكلوريد،كما ينقص الحجم الكلي للسائل خارج الخلايا وحجم الدم بشكل كبير،ويحدث لدى الشخص نقص في النتاج القلبي فوراً الأمر الذي يفضي إلى حالة تشبه الصدمة يليها الموت.ويمكن منع هذه النتيجة بإعطاء الالدوستيرون أو قشراني معدني أخر،ولهذا السبب يُقال إن القشرانيات المعدنية هي الجزء من هرمونات قشر الكظر الضروري للحفاظ على الحياة.
يعتبر الالدوستيرون أهم هرمون قشراني معدني ويمارس نحو ٩٠% من الفعالية القشرانية المعدنية لمفرزات قشر الكظر.
إن اهم تأثيرات الالدوستيرون هي إعادة امتصاص الصوديوم والكلور بشكل فاعل ويتبعهما عود امتصاص الماء بشكل منفعل مقابل إفراز كل من شوارد البوتاسيوم وشوارد الهيدروجين، ويمارس هذا الفعل بصورة رئيسية في الكلية.

القشرانيات السكرية Glucocorticoids
تفرز من كل من المنطقة الحزمية و هي الطبقة المتوسطة و المنطقة الشبكية و هي الطبقة العميقة مع إمكانية أن يكون إفراز هذه الهرمونات من المنطقة الحزمية أكثر من الشبكية.
رغم أن القشرانيات المعدنية تستطيع أن تنقذ حياة الحيوان الذي يستأصل الكظر لديه بشكل مفاجئ،إلا أن ذلك الحيوان لا يعود إلى حالته السوية إطلاقاً،بل تكون أجهزته الاستقلابية اللازمة لاستهلاك البروتينات والدسم والسكريات مختلة بشكل كبير.وأكثر من ذلك لا يمكن للحيوان أن يقاوم الأنماط المختلفة من الكرب الفيزيائي أو حتى النفسي،ويمكن لأمراض صغيرة مثل أخماج السبيل التنفسي أن تؤدي إلى الموت لذلك فالقشرانيات السكرية لها وظائف هامة من أجل استمرار حياة الحيوان مدة طويلة بقدر أهمية وظائف القشرانيات المعدنية.
و يفرز إضافة إلى ذلك كميات ضئيلة من الهرمونات الجنسية و بشكل خاص **الهرمونات الأندروجينية** Androgenic Hormones (تفرز من المنطقتين الحزمية و الشبكية) .

الغدة الدرقية
تفرز الغدة الدرقية هرمونين هامين هما التيروكسين و ثالث يود التيرونين لهما تأثير قوي في زيادة المعدل الاستقلابي في الجسم،كما تفرز الكالسيتونين وهو هرمون ضروري لاستقلاب الكالسيوم.يسبب العوز التام للمفرزات الدرقية عادةً انخفاض معدل الاستقلاب الأساسي نحو ٤٠% تحت المعدل السوي،فيما يمكن لفرط الإفراز الدرقي أن يسبب ازدياداً في المعدل الاستقلابي الأساسي يصل حتى ٦٠-١٠٠ فوق السوي.

تركيب وإفراز الهرمونات الدرقية .
يمثل التيروكسين(T4) نحو ٩٣% من المفرزات الهرمونية للغدة الدرقية بينما يمثل ثالث يود التيرونين T3 الـ٧٠% الباقية،وفي الواقع فإن معظم الـ T4 يُقلب في النسج إلى T3 ، ولذلك فإن كل من هذين الهرمونين يُعتبر هاماً من وجهة نظر وظيفية،حيث إن وظائف كل منهما من الناحية النوعية واحدة ولكنهما يختلفان في سرعة وشدة الفعل،إذ تبلغ فعالية الـ T3 نحو أربعة أضعاف فعالية الـT4 ،لكنه يوجد في الدم بكميات صغيرة جداً كما أن فترة بقائه أقصر من فترة بقاء الـT4.

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

إن المكون الرئيسي للغرواني هو بروتين سكري كبير يدعى البغلوبولين الدرقي الذي يحوي الهرمونات الدرقية ضمن جزيئه .يحتاج تشكيل الكميات السوية من التيروكسين سنوياً نحو ٥٠ ميلي غرام من اليود المتناول عن طريق الفم على شكل يوديدات،أي نحو ١ مع في الأسبوع ولمنع عوز اليود يجب يودنة ملح الطعام العادي بجزء من يوديد الصوديوم.

الوظائف الفيزيولوجية للهرمونات الدرقية

١. تؤدي الهرمونات الدرقية إلى زيادة انتساخ أعداد كبيرة من الجينات الذي يؤدي إلى زيادة في عدد كبير من الأنزيمات البروتينية وبروتينات النقل وبالتالي إلى زيادة معممة في الفعالية الوظيفية في جميع أنحاء الجسم.
٢. تزيد الهرمونات الدرقية الفعالية الاستقلابية في جميع نسج الجسم تقريباً،ويمكن لمعدل الاستقلاب الأساسي أن يزداد بنسبة ٦٠-١٠٠% فوق المعدل السوي عندما تُفرز كميات كبيرة من هذه الهرمونات.
٣. تؤدي الهرمونات الدرقية إلى زيادة في عدد وحجم المتقدرات.
٤. تزيد النقل الفاعل للشوارد عبر أغشية الخلايا.

جزر لانغرهانس في المعثكلة

تفرز :

- الأنسولين
- الغلوكاكون
- السوماتوستاتين
- عديد الببتيد المعثكلي.

تنظيم غلوكوز الدم

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

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

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

أهمية تنظيم غلوكوز الدم

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

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

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

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

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

الغدد جارات الدرق

استتباب الكالسيوم Calcium Homestasis :

تعتبر شاردة الكالسيوم ذات أهمية حيوية بالغة لكل أجهزة الجسم فهي تتدخل في :

١. العديد من التفاعلات الإنزيمية
٢. ضرورية لتقلص العضلات بنوعيها (الهيكلية و الملس) ، كما أنها ضرورية لتقلص و نظم عضلة القلب.
٣. تنظيم نفوذية الغشاء الخلوي.
٤. تشكيل العظام و الأسنان و إنتاج الحليب.
٥. ضرورية في أثناء عملية تخثر الدم.
٦. ضرورية جداً في عملية النقل المشبكي العصبي Synaptic Transmission .

يبلغ التركيز الوسطي للكالسيوم في المصورة ٨.٦-١٠.٦ ملغ / ١٠٠ مل .

يوجد الكالسيوم في المصورة بأشكال ثلاثة هي :

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

٢- ١٠% من الكالسيوم موجود بشكل غير متشرد و يكون مرتبطاً مع مواد أخرى في المصورة و السوائل الخلالية (السترات و الفوسفات) وهو قابل للانتشار عبر أغشية الشعيرات لكنه غير فعال بهذا الشكل.

٣- ٤٠% مرتبط بالبروتينات (خاصة الألبومبن) ، و هو بهذا الشكل غير فعال و غير قابل للانتشار عبر أغشية الشعيرات.

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

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

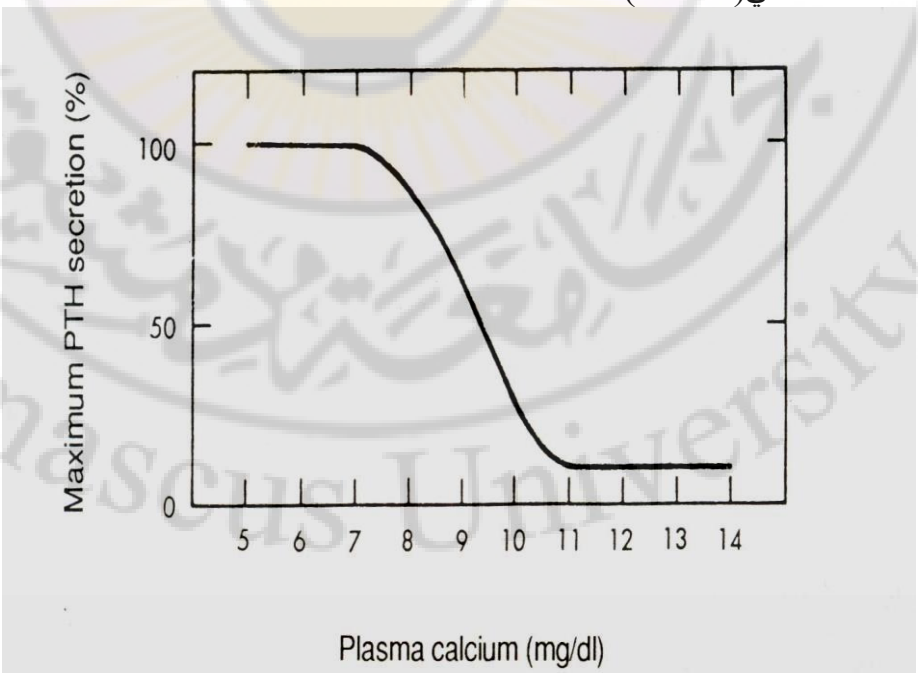
١. هرمون جارات الدرق Parathyroid Hormrne (PTH)
٢. الكالسيتونين.
٣. الفيتامين D (الشكل الفعال ١-٢٥ دي هيدروكسي كولي كالسيفرول)

هرمون جارات الدرق PTH

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

- **مستوى كالسيوم المصورة :**

هو أهم عامل ينظم إفراز PTH ، و يوجد بين PTH و الكالسيوم تنظيم راجع بحيث إن ارتفاع الكالسيوم ينقص إفراز PTH و انخفاض الكالسيوم يؤدي إلى زيادة إفراز PTH كما يظهر في المخطط التالي(الشكل ٣) .



الشكل(٣) مخطط يوضح العلاقة بين مستوى تركيز الكالسيوم في الدم ومستوى هرمون جارات الدرق.

يصل المستوى الأعظمي لإفراز PTH عندما ينخفض تركيز الكالسيوم إلى مستوى ٧ ملغ / ١٠٠ مل و بعدها لا يبدي أي ارتفاع .
كما أن مستوى إفراز PTH لا يكون معدوماً أبداً حتى عندما يرتفع تركيز الكالسيوم بل يحافظ على مستوى معين كما يظهر في المخطط .

- **مستوى المغنزيوم في المصورة**

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

- **تركيز الفوسفات في المصل**

يؤدي ارتفاع تركيز الفوسفات في المصل إلى زيادة إفراز PTH و ذلك لأن ارتفاع مستوى الفوسفات يؤدي إلى نقص الكلس .

- **الادرينالين**

يؤدي الادرينالين من خلال مستقبلات β إلى زيادة إفراز PTH ، و يبدو أن الآلية من خلال زيادة cAMP .

عمل هرمون جارات الدرق

على مستوى العظام :

يزيد مستوى كالسيوم المصل عن طريق زيادة عدد و فعالية الخلايا الكاسرة للعظم.

على مستوى الكلية :

١. يزيد PTH عود امتصاص الكالسيوم من الأنبوب البعيد.
٢. يزيد إفراغ الكلية للفوسفات بآلية نقص عود الامتصاص في الأنبوب القريب
٣. يعزز تشكيل ١-٢٥ دي هيدروكسي كولي كالسيفرول .

على مستوى الأمعاء

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

مركبات الفيتامين (د)

يملك الفيتامين د تأثيراً فعالاً في زيادة امتصاص الكالسيوم من السبيل المعوي ، كما يملك تأثيرات هامة على ترسب الكالسيوم في العظم و ارتشافه منه ، لكن الفيتامين د نفسه ليس هو المادة الفعالة التي تسبب هذه التأثيرات فعلياً إنما يجب أن يحول أولاً عبر سلسلة من التفاعلات في الكبد و الكلية إلى منتج نهائي هو ١-٢٥ دي هيدروكسي كولي كالسيفرول .

تأثيرات ١-٢٥ دي هيدروكسي كولي كالسيفرول

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

هناك سببان لذلك :

١. تؤثر شوارد الكالسيوم في منع تحويل ٢٥ دي هيدروكسي كولي كالسيفرول إلى ١-٢٥ دي هيدروكسي كولي كالسيفرول .

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

- يحرض ١-٢٥ دي هيدروكسي كولي كالسيفرول الامتصاص المعوي للكالسيوم عن طريق زيادة تشكيل البروتين الرابط للكالسيوم في الخلايا الظهارية المعوية ، و يبدو أن معدل امتصاص الكالسيوم يتناسب مباشرة مع كمية البروتين الرابط له .

- ما يعرف عن تأثير المركب الفعال للفيتامين د على امتصاص الفوسفات أقل مما هو معروف عن تأثيره على امتصاص الكالسيوم لأن الفوسفات تمتص بشكل سهل نسبياً في أي مكان.

الكالسيتونين

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

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

تأثيرات الكالسيتونين

يؤدي الكالسيتونين إلى خفض مستويات الكالسيوم و الفوسفات في البلازما ، و ينتج تأثيره الخافض للكالسيوم عن تثبيط ارتشاف العظم و ذلك بتأثير مباشر .

إن الدور الفيزيولوجي الدقيق للكالسيتونين غير معروف بشكل دقيق ، و حتى الآن لم يتم عزل متلازمة يحدث فيها عوز للكالسيتونين .

يمكن أن نشاهد حالات يفرز فيها الكالسيتونين أكثر من الطبيعي هي :

١. مرحلة النمو عند اليافعين للمساهمة في تطور الهيكل العظمي.
٢. بعد الوجبات الطعامية حيث يلعب دوراً في الحماية من حدوث فرط كلس الدم بعد الوجبات.
٣. في أثناء الحمل حيث يلعب دوراً في حماية عظام الأم من فرط خسارة الكلس

إن الكالسيتونين مفيد في علاج داء باجيت و هي حالة يؤدي ارتفاع فعالية كاسرات العظم فيها إلى بدء حدوث تشكيل معاوض لعظم جديد غير متعضٍ .

كما توجد عدة هرمونات تفرز من خلايا متفرقة موجودة في الجهاز الهضمي، و تفرز من الكلية هرمونات مثل الرينين و الاريتروبيوتين، كما يفرز هرمون من القلب و بالتحديد من الأذينة و يدعى العامل الأذيني المدر للصوديوم ANP.

كيمياء الهرمونات

تقسم الهرمونات من الناحية الكيميائية إلى ثلاثة أنماط رئيسية:

١. **الهرمونات الستيروئيدية:**

تملك جميعها بنى كيميائية تشبه بنية الكولسترول، و يشتق معظمها من الكولسترول نفسه (الكورتيزول، الالدوستيرون، الاستروجين، البروجسترون، التستوسترون).

٢. **مشتقات الحمض الأميني (التيروزين):**

يشتق من هذا الحمض نمطان من الهرمونات:

- T_3 و T_4 : و هي هرمونات ميودنة مضاف إليها اليود لمشتقات التيروزين.

- هرمونات لب الكظر: الادرينالين و النورادرينالين .

٣. **البروتينات أو الببتيدات**

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

التحكم بمعدل إفراز الهرمون – دور التلقيم الراجع السلبي

يتم التحكم بمعدل إفراز جميع الهرمونات، التي درست بشكل دقيق جداً، بوساطة أجهزة التحكم الداخلية، و يمارس هذا التحكم في معظم الحالات بوساطة آلية التلقيم الراجع السلبي كما يلي:

١. تفرز الغدة الصماء كمية من هرموناتها وعادة تملك ميلاً لإفراز كمية كبيرة من الهرمون.
٢. يمارس الهرمون تأثيره على العضو الهدف بشكل متزايد مما يؤدي إلى إنجاز هذا العضو لوظيفته.
٣. عندما تحدث زيادة كبيرة في هذه الوظيفة يقوم عامل ما متعلق بهذه الوظيفة بتلقيم راجع على الغدة الصماء و يسبب تأثيراً سلبياً على الغدة لإنقاص المعدل الإفرازي.

يظهر التأمل الدقيق لآلية التلقيم الراجع السلبي أن العامل الهام الذي يتم التحكم به عادة ليس معدل إفراز الهرمون إنما درجة فعالية العضو الهدف و لذلك لا يصبح التلقيم الراجع على الغدة قوياً بشكل يبطئ إفراز مزيد من الهرمون إلا عندما ترتفع فعالية العضو الهدف إلى مستوى ملائم. إذا كانت استجابة العضو الهدف للهرمون خفيفة فإن الغدة الصماء ستفرز بشكل دائم مزيداً و مزيداً من هرموناتها حتى يصل العضو الهدف أخيراً إلى المستوى الملائم من الفعالية لكن على حساب زيادة إفراز الهرمون المتحكم به.

آليات فعل الهرمون

مستقبلات الهرمون و تفعيلها:

لا تعمل هرمونات الغدد الصم بشكل مباشر على الآلية داخل الخلايا للتحكم لكنها ترتبط دائماً تقريباً مع مستقبلات الهرمون الموجودة على سطوح الخلايا أو داخل الخلايا.

يؤدي هذا الارتباط إلى تفعيل شلال التفاعلات بحيث تصبح كل مرحلة من التفاعل في الشلال أقوى من المرحلة السابقة، و لذلك ينشأ عن الفعل الهرموني المبدئي الصغير تأثير نهائي قوي جداً. إن جميع المستقبلات الهرمونية بروتينات كبيرة جداً تحوي كل خلية نحو ٢٠٠٠ إلى ١٠٠٠٠٠ مستقبل، و يكون المستقبل عادة نوعياً بدرجة عالية جداً لهرمون واحد و هذا يحدد نمط الهرمون الذي يؤثر على نسيج معين. و من الواضح أن النسج الهدفية التي تتأثر بالهرمون هي النسج التي تحوي مستقبلاته النوعية.

تتوضع عادة المستقبلات في الأماكن التالية:

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

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

الآليات التي يعمل بها الهرمون

١) **تغيير نفوذية الغشاء:**

عندما يرتبط الهرمون مع المستقبل يسبب دائماً تغيراً شكلياً في بنية بروتين المستقبل مما يؤدي إلى فتح أو إغلاق واحدة أو أكثر من قنوات الشوارد، و بعد ذلك تؤدي حركة الشوارد عبر القنوات إلى إحداث التأثيرات التالية على الخلايا .

مثال ذلك : الأدرينالين و النورادرينالين على خلايا العضلات الملس.

٢) **تفعيل الإنزيمات داخل الخلايا**

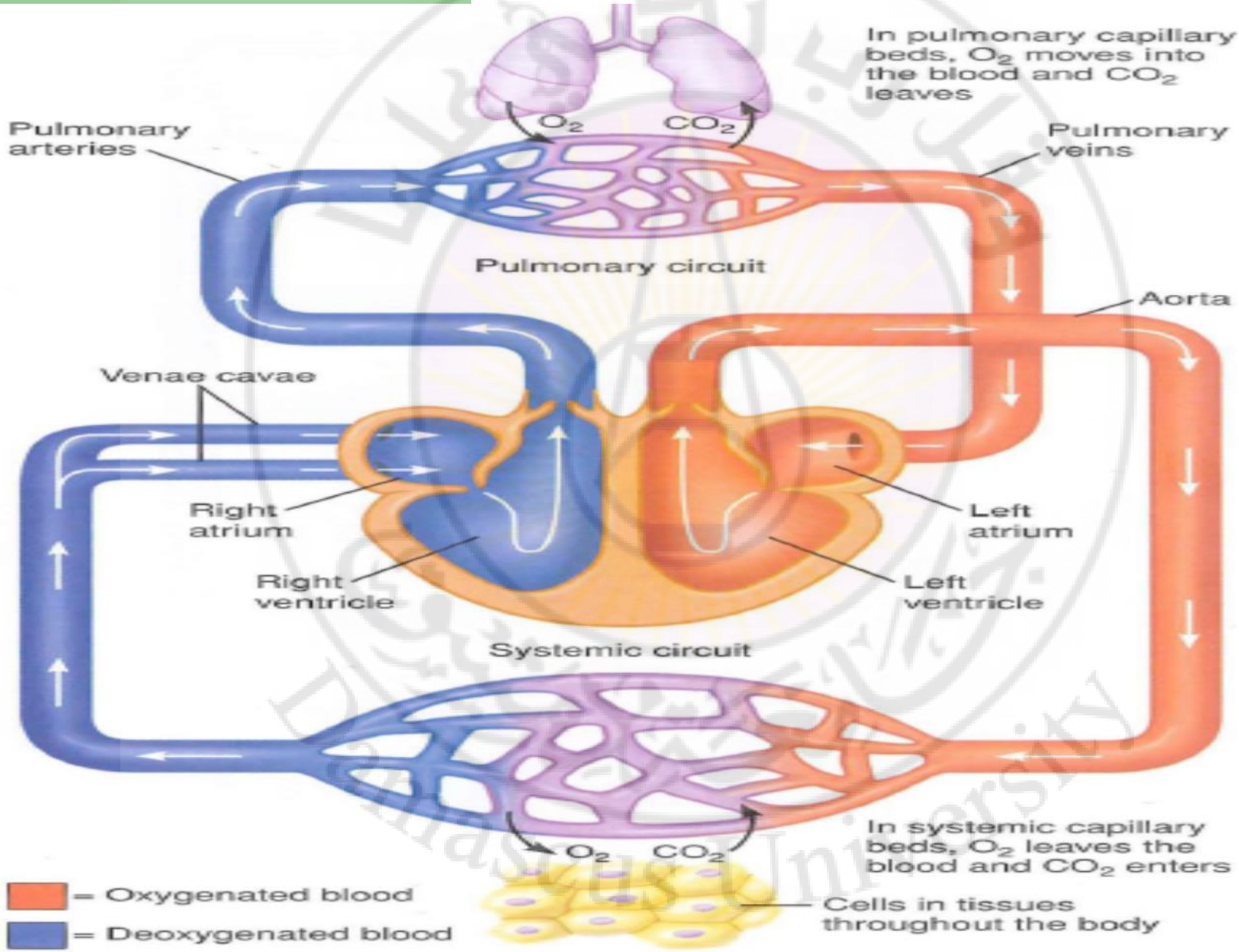
مثال ذلك الأنسولين .

٣) **تفعيل الجينات بالارتباط مع المستقبلات داخل الخلايا**

يرتبط الكثير من الهرمونات خاصة الستيروئيدية و الدرقية مع المستقبلات البروتينية داخل الخلية، ثم يرتبط المعقد المفعل (هرمون مستقبل) مع أشرطة الـ DNA في نواة الخلية أو بفعل أماكن نوعية عليها الأمر الذي يؤدي لبدء انتساخ جينات نوعية لتشكيل الـ RNA الرسول ، و لذلك يظهر في الخلية بعد عدة دقائق أو ساعات أو حتى أيام من دخول الهرمون إلى الخلية بروتينات حديثة التشكل، و تصبح المتحكم بالوظائف الخلوية الجديدة.

وقل رب زدني علما
Damascus University

- كلية العلوم الصحية
- تقويم اللغة والكلام
- علم وظائف الاعضاء
- الجهاز القلبي الوعائي
- الدكتور عبدالوهاب شهلا


In pulmonary capillary beds, O_2 moves into the blood and CO_2 leaves
O_2
CO_2
Pulmonary arteries
Pulmonary veins
Pulmonary circuit
Aorta
Venae cavae
Right atrium
Left atrium
Right ventricle
Left ventricle
Systemic circuit
O_2
CO_2
In systemic capillary beds, O_2 leaves the blood and CO_2 enters
Cells in tissues throughout the body
= Oxygenated blood
= Deoxygenated blood

الجهاز القلبي الوعائي
Cardio Vascular System

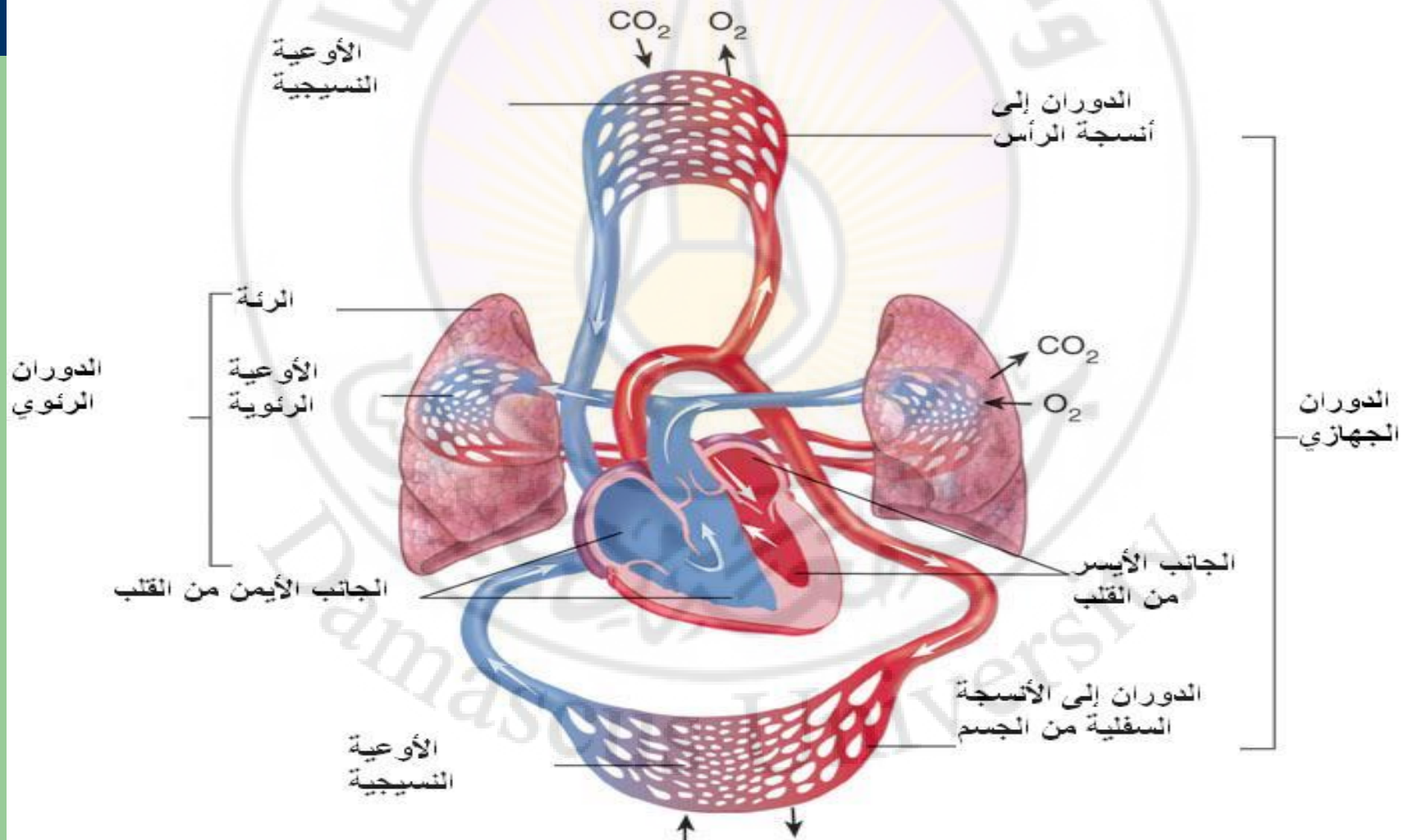
- **1 ـ القلب (مضخة مركزية)**
- **2 ـ جملة مغلقة من الأوعية الدموية وهي:**

الشرايين: Arteries

الشرينات Arterioles : Resistance Vessels

الشعريات Capillaries: Exchange vessels .

الوريدات والأوردة Venules and Veins :


CO_2
O_2
الأوعية النسيجية
الدوران إلى أنسجة الرأس
الرئة
الدوران الرئوي
الأوعية الرئوية
CO_2
O_2
الدوران الجهازي
الجانب الأيسر من القلب
الجانب الأيمن من القلب
الدوران إلى الأنسجة السفلية من الجسم
الأوعية النسيجية

التشريح الفيزيولوجي للقلب
Physiologic Anatomy of the heart

- عضو عضلي خلف عظم القص
- يزن حوالي 300غ عند الشخص البالغ.
- يأخذ شكل مخروط مقلوب قاعدته في الأعلى وقمته في الأسفل
- يعتبر القلب مؤلفاً من مضختين منفصلتين
- ينفصل الأذينان عن البطينين بوساطة حلقة ليفية

Damascus University

- وظيفة الأذينة

  مدخر للدم

  مدخل للبطينين

  مضخة ثانوية
- يقوم البطينان بتأمين قوة الضخ الرئيسة
- يتميز القلب بقدرته على توليد الدفعات النظمية Rhythmical Impulses

يؤمن عمل القلب التلقائي الوظائف الحيوية الآتية

- 1- إمداد الأنسجة المختلفة بالأكسجين والغذيات Nutrients
- 2- تأمين الارتباط الخلطي لأجهزة الجسم.
- 3- حمل المستقلبات الناتجة عن الفاعليات الوظيفية النسيجية إلى أجهزة الإطراح المتعددة لكي يتم التخلص منها.
- يحقق القلب الارتباط التشريحي بين الدورانين
- يسهم، بشكل رئيس، في خلق ضغط دموي داخل الجهاز الوعائي

التشريح الوظيفي للقلب

- عضلة قلبية مجوفة تعمل كمضخة مزدوجة.
- جهاز عقدي ناقل (الجهاز المتخصص بالإثارة والتوصيل)

يعمل على توليد الدفعات النظمية التي تسبب تقلصات القلب الدورية والمنتظمة.

- جهاز صمامي

يجعل الدم يسير باتجاه واحد

Damascus University

الخصائص الوظيفية للعضلة القلبية.

- 1-الاستثارية **Excitibility**

- تتحرض بوساطة عدد من المنبهات

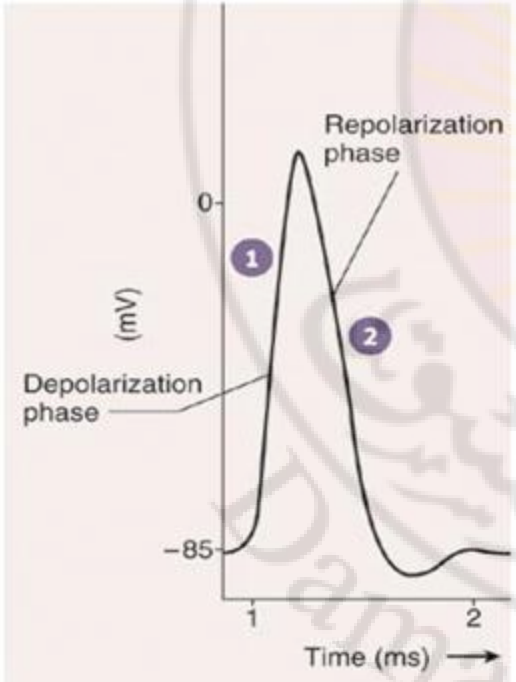
المنبهات الطبيعية.

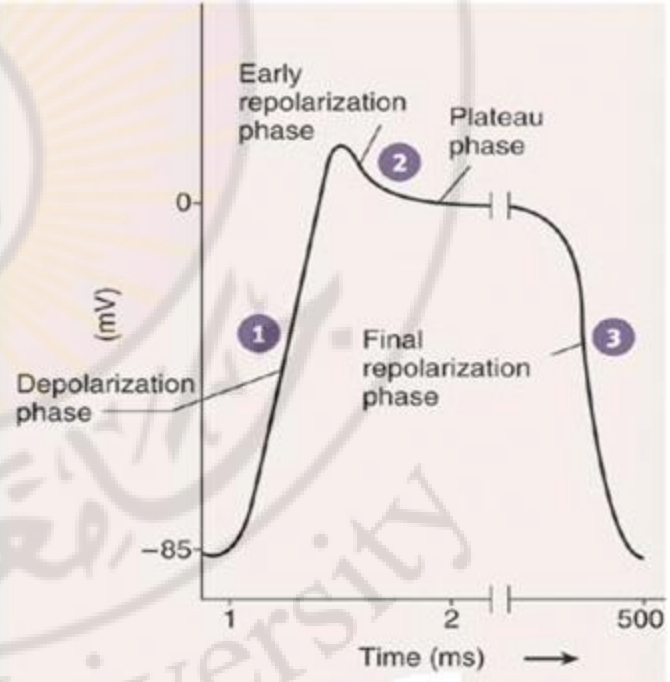
الخارجية (الكهربائية والآلية والحرارية والكيميائية

- 2-القلوصية **Contractility**

قدرة العضلة القلبية على تحويل الطاقة الكيميائية إلى عمل آلي (ميكانيكي)

كامن الفعل في العضلة القلبية

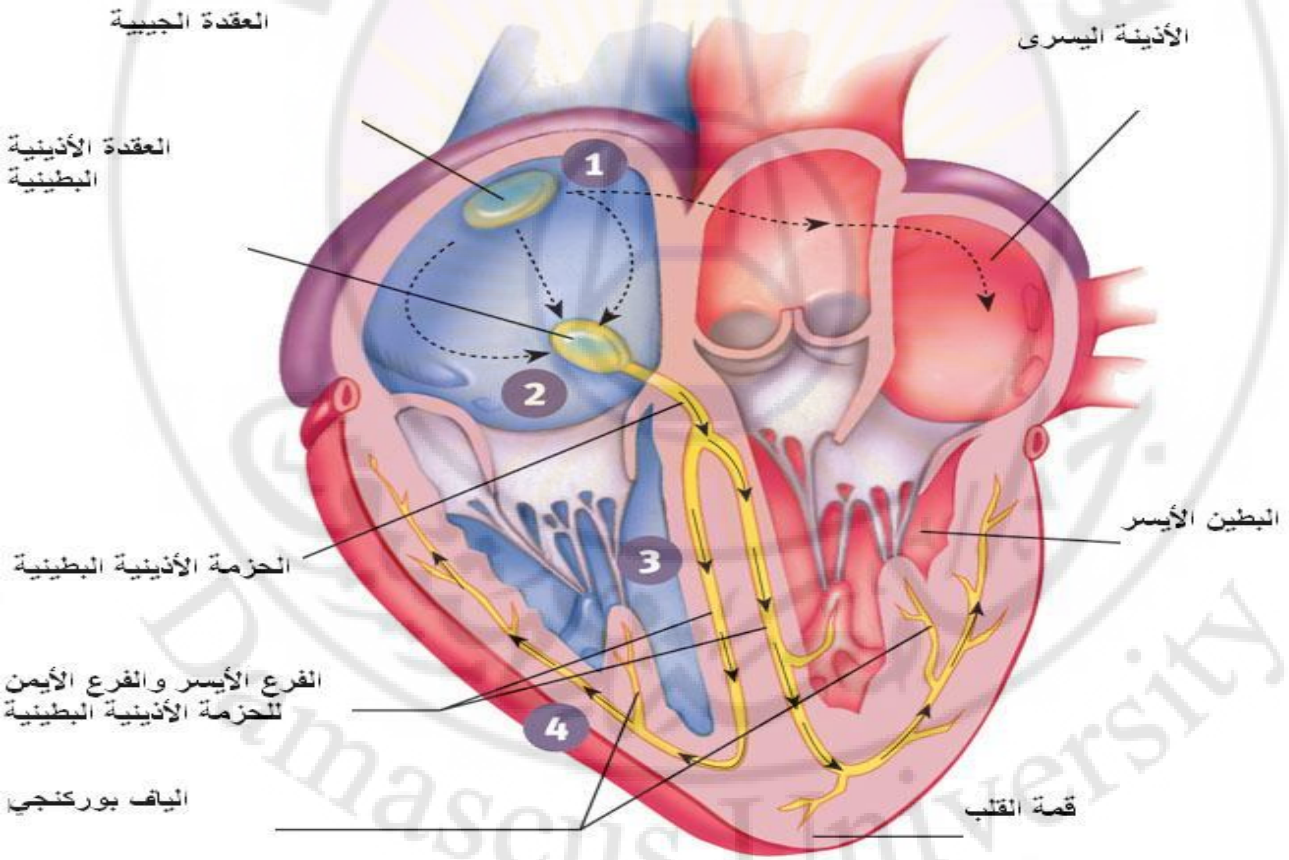




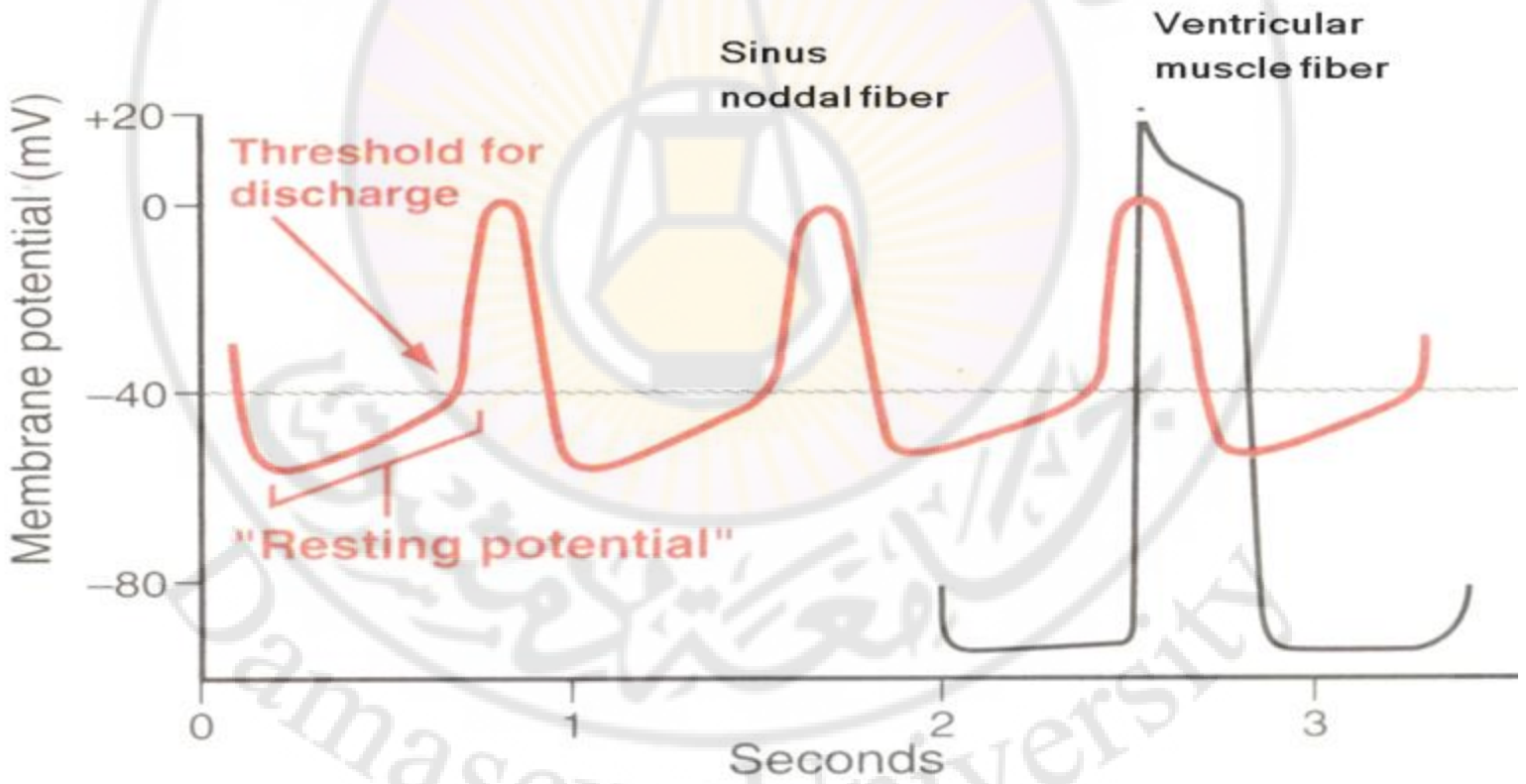
الإثارة النظمية للقلب

- يحوي القلب جهازاً متخصصاً لـ :
- توليد الدفعات النظمية التي تسبب التقلص النظمي لعضلة القلب.
- توصيل هذه الدفعات بسرعة عبر القلب.
- عندما يعمل هذا الجهاز بشكل سوي فإن الأذينات تسبق بتقلصها التقلص البطيني بمقدار 1/6 من الثانية
- زيادة ملء البطينات قبل أن تضخ الدم عبر الرئتين والدوران المحيطي
- أهمية خاصة لهذا الجهاز المتخصص تكمن في أنه يسمح لكافة أجزاء البطينات أن تتقلص معاً في وقت واحد تقريباً

جهاز القلب المتخصص في النقل والإثارة



النظمية الكهربائية التلقائية لألياف العقدة الجيبية
كامن الفعل في ألياف العقدة الجيبية



تحوي العضلة القلبية ثلاثة أنماط من قنوات الغشاء الشاردية

- 1-قنوات الصوديوم السريعة(الشوكة الكمونية)
- 2-قنوات البوتاسيوم(عود الاستقطاب)
- 3-قنوات الكالسيوم-الصوديوم البطيئة(الهضبة)
- في الليف العقدي الجيبي تصبح (1) عاطلة
- كامن الفعل يحدث بشكل أبطأ.

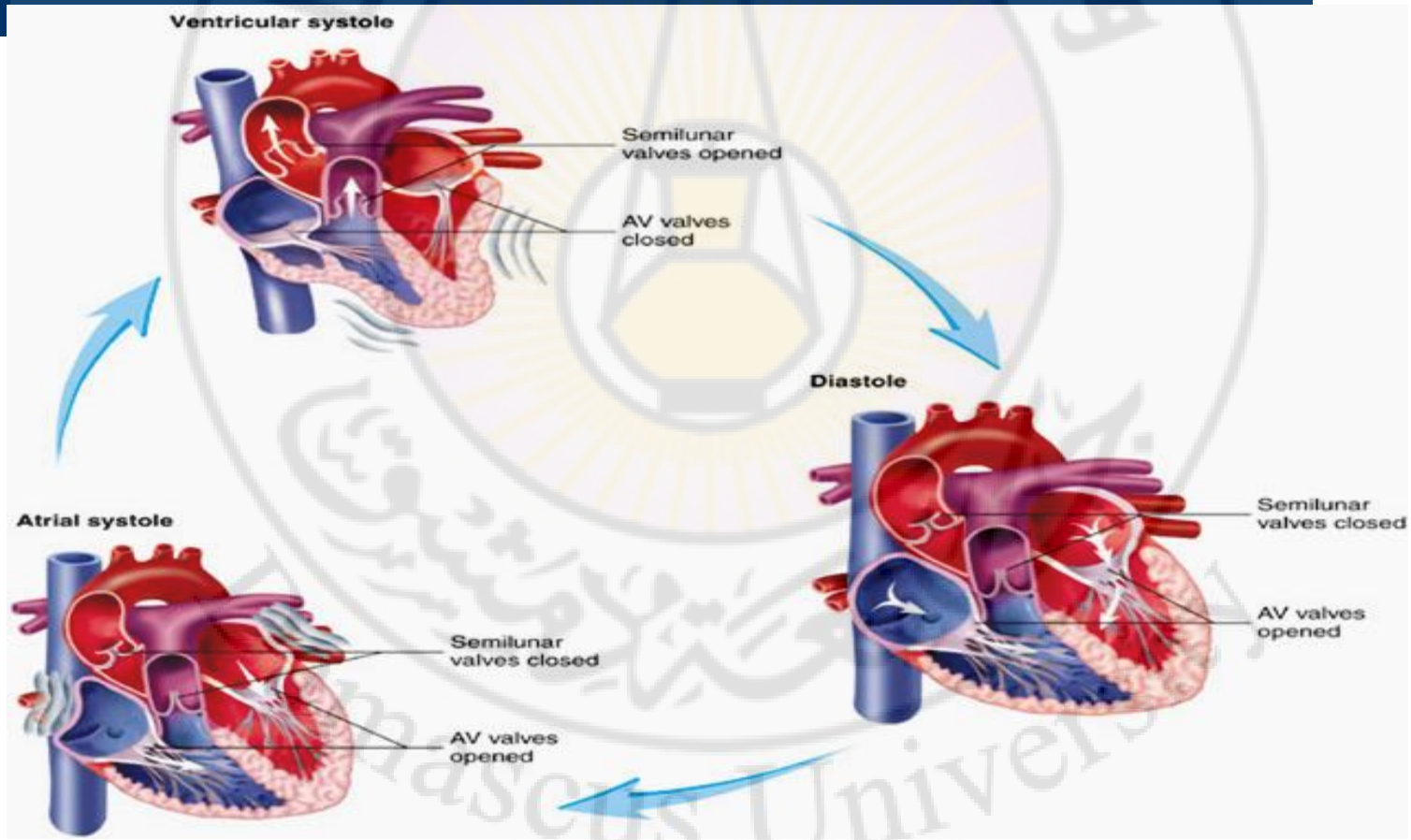
Damascus University

الإثارة الذاتية للألياف العقدية الجيبية

- التسريب المتأصل لشوارد الصوديوم يسبب إثارتها الذاتية .
- **لماذا لا يؤدي هذا التسريب لشوارد الصوديوم إلى بقاء الألياف العقدية الجيبية مزالة الاستقطاب طوال الوقت ؟**
- 1-تتعطل قنوات الكالسيوم – الصوديوم و تنغلق لفترة تقارب 100 – 150 ميلي ثانية بعد الانفتاح.
- 2-انفتاح عدد كبير من قنوات البوتاسيوم في الوقت نفسه تقريباً أو بعد انفتاح قنوات الكالسيوم – الصوديوم بزمن صغير جداً
- 3- تبقى قنوات البوتاسيوم مفتوحة بضعة أعشار أخرى من الثانية مسببة فرط الاستقطاب Hyperpolarization

- المسالك بين العقد و انتقال الدفعات القلبية عبر الأذينتين
- العقدة الأذينية البطينية و تأخير توصيل الدفعات
- الانتقال في جهاز بوركنجي

الدورة القلبية



The heart Sound أصوات القلب

- 1 - الصوت القلبي الأول The first heart sound
- 2 - الصوت القلبي الثاني The second heart sound
- 3 - الصوت القلبي الثالث The third heart sound
- 4 - الصوت القلبي الرابع The fourth heart sound

Damascus University

الإيقاع السوي لأصوات القلب:

- إصغاء القلب يجب أن نتبع عدة مبادئ رئيسة:
- **1 - إجراء الإصغاء في غرفة هادئة لتجنب تداخلات الأصوات خارجية المنشأ.**
- 2 - تركيز الانتباه إلى ميزات كل صوت على حدة.
- 3 - ضرورة تأكيد على علاقة الحدث الإصغائي مع النبض الشرياني السباتي والنبض الوريدي الوداجي وصدمة القمة.

Damascus University

Cardiac Output نتاج القلب

- **Cardiac output : النتاج القلبي**
- Cardiac Output =SV X HR
- CO=(EDV –ESV) X HR
- **النتاج القلبي = حجم الضربة × عدد ضربات القلب في الدقيقة.**

Damascus University

- **حجم نهاية الانبساط End Diastolic Volume :**
- **حجم نهاية الانقباض End Systolic Volume:**
- **حجم الضربة Stroke Volume:** كمية الدم التي يضخها البطين في ضربة واحدة:
- SV = EDV-ESV
- **العود الوريدي Venous Return:**
- **القيم السوية للنتاج القلبي Normal values of CO**

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الغدد الصم

- تنظيم وظائف الجسم
- 1-الجهاز العصبي
- 2-الجهاز الهرموني أو جهاز الغدد الصم Endocrine system .
- الوظائف الاستقلابية في الجسم

- معدلات التفاعلات الكيميائية في الخلايا
- نقل المواد عبر أغشية الخلايا
- المظاهر الأخرى للاستقلاب الخلوي(النمو و الإفراز).

- توجد علاقات متبادلة بين الجهازين الهرموني و العصبي

لمحة عن الغدد الصم الهامة و هرموناتها

- 1-هرمونات الوطاء Hypothalamic hormones
- يتم تركيب عدة هرمونات في أجسام الخلايا العصبية ترسل إلى الغدة النخامية بوساطة مسلكين:
- 1-عبر المحاور الاسطوانية التي تنتهي في منطقة البارزة الناصفة حيث تتحرر من نهاياتها إلى الدم الذي يغذي النخامى الغدية (الفص الأمامي للغدة النخامية).
- 2-عبر المحاور الاسطوانية التي تصل مباشرة إلى الفص الخلفي للغدة النخامية .

الهرمونات أو الحاثات التي تفرز من الوطاء

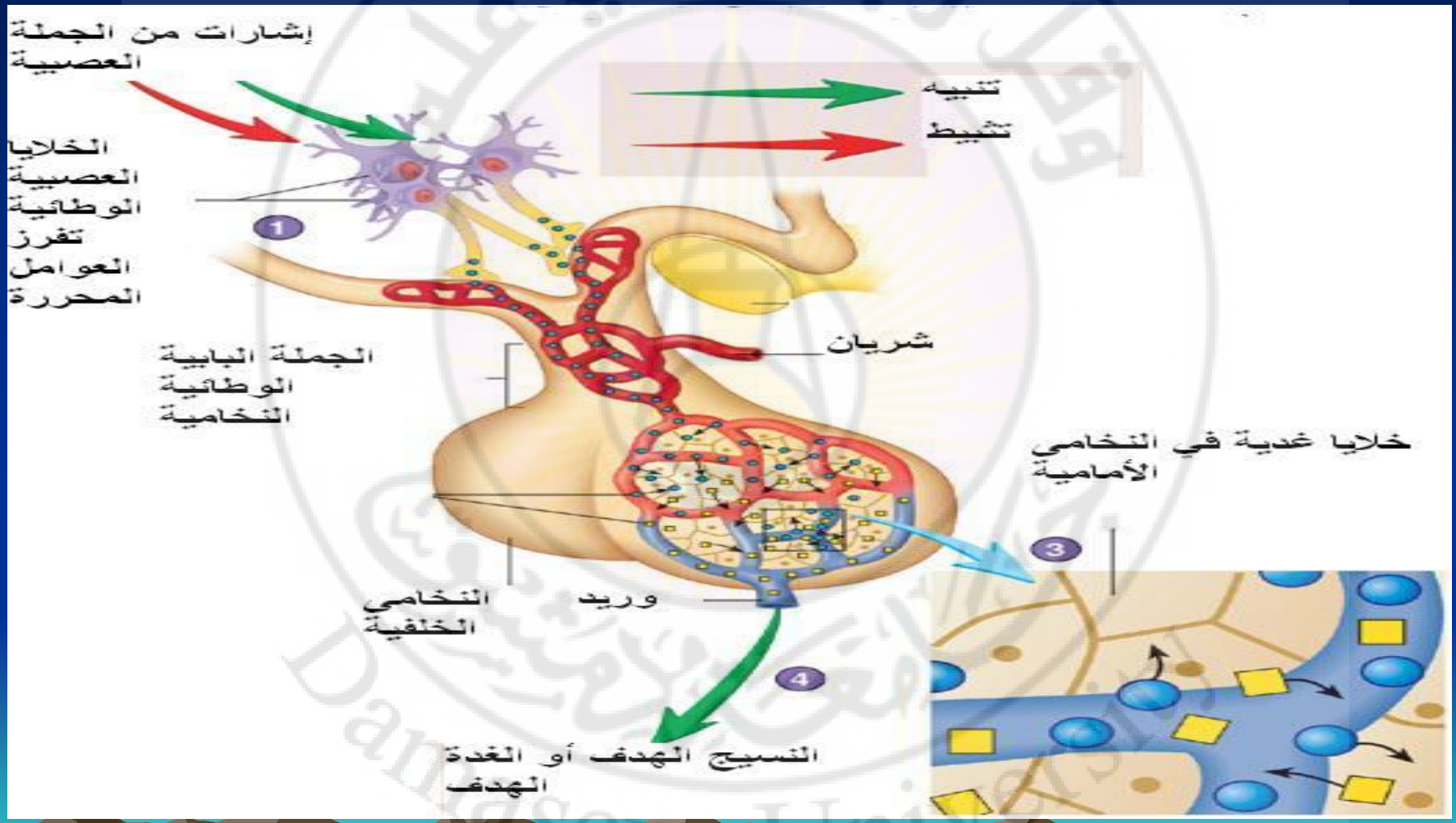
- يفرز الوطاء عدداً من الهرمونات أو الحاثات التي تنبه أو تثبط إفراز النخامى هي :
- 1-الهرمون المطلق للحاثة الدرقية
- 2-الهرمون المطلق للحاثة القشرية
- 3-العامل المحرر لهرمون النمو
- 4-السوماتوستاتين (العامل المثبط لهرمون النمو)
- 5-الهرمون المحرر لحاثة الأقناد
- 6-العامل المثبط للبرولاكتين
- 7-العامل المحرر للبرولاكتين

العوامل المنظمة لإفراز الوطاء

- تنظيم عصبي (النواقل العصبية ،السيروتونين الكاتيكولامينات)
- جملة التلقيم الراجع الدموية

نواتج إفرازية من منشأ نخامي

من الخلايا الصماوية الهدف.


إشارات من الجملة العصبية
تثبيط
تنبيه
الخلايا العصبية الوطائية تفرز العوامل المحررة
1
شريان
الجملة البابية الوطائية النخامية
خلايا غدية في النخامي الأمامية
3
وريد
النخامي الخلفية
4
النسيج الهدف أو الغدة الهدف

الغدة النخامية وعلاقتها بالوطاء

- غدة صغيرة وزنها 0.5-1غ
- تقع ضمن السرج التركي عند قاعدة الدماغ
- تقسم الغدة النخامية فيزيولوجياً إلى قسمين منفصلين:
- النخامى الأمامية التي تُعرف بالنخامى الغدية
- والنخامى الخلفية والتي تُدعى كذلك بالنخامى العصبية.

هرمونات النخامى الأمامية

- 1-هرمون النمو Growth hormone :
- 2-موجهة قشر الكظر (ACTH)
- 3-الهرمون الحاث للدرق (TSH)
- 4-الهرمون الحاث للجريبات (FSH).
- 5-الهرمون الملوتن (LH):
- 6-البرولاكتين Prolactin :
- 7-الهرمون الحاث للخلية الملانية Melanocyte-stimulating H.

الوظائف الفيزيولوجية لهرمون النمو

- 1-تأثير هرمون النمو على النمو.

- يحرض زيادة في عدد الخلايا(يحرض الانقسام الفتيلي)

-يزيد في حجم الخلايا

- يحرض التمايز النوعي لأنماط معينة من الخلايا (خلايا النمو العظمي والخلايا العضلية الباكرة.

- 2-التأثيرات الاستقلابية لهرمون النمو.

- زيادة اصطناع البروتين في جميع خلايا الجسم .
- زيادة تحريك الحموض الدسمة من النسج الشحمية
- زيادة استعمال الحموض الدسمة للحصول على القدرة.
- إنقاص استعمال الغلوكوز في جميع أنحاء الجسم.

- يمارس هرمون النمو تأثيراته بوساطة مواد وسيطة (السوماتوميدينات).
- تجربة إضافة هرمون النمو إلى خلايا غضروفية
- يحرض الكبد على تشكيل السوماتوميدينات
- تملك تأثيراً قوياً جداً في زيادة جميع مظاهر النمو العضلي.

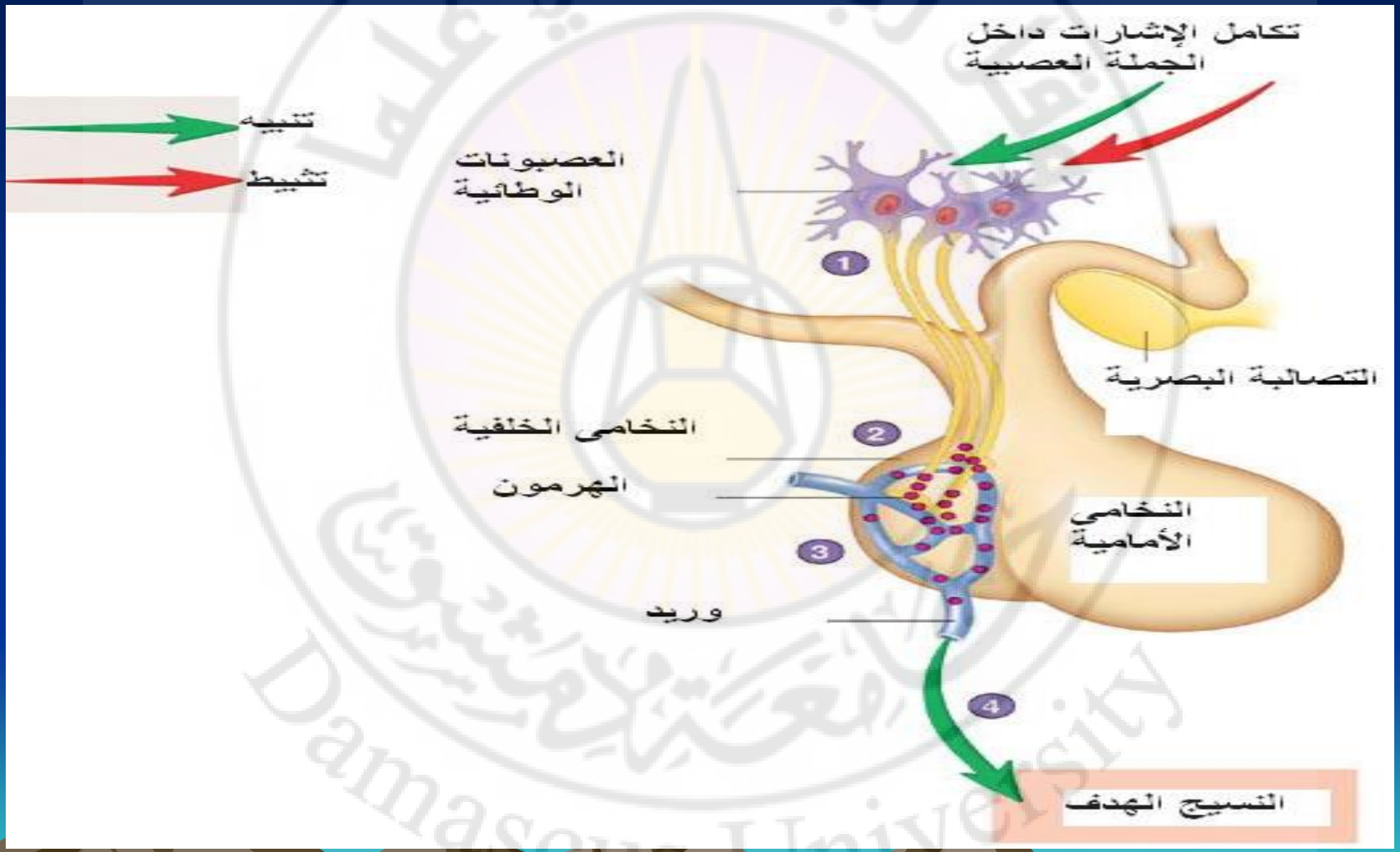
هرمونات النخامى الخلفية

- الهرمون مضاد الإبالة (ADH) الفازوبريسين

يتحكم بمعدل إطراح الماء إلى البول(ضبط تركيز الماء في سوائل الجسم.

- الأوسيتوسين

يساعد في خروج الحليب من غدد الثدي إلى الحلمتين
يلعب دوراً في ولادة الجنين عند نهاية الحمل.


تكامل الإشارات داخل الجملة العصبية
تنبيه
تثبيط
العصبونات الوطائية
1
التصالبة البصرية
النخامى الخلفية
2
الهرمون
النخامى الأمامية
3
وريد
4
النسيج الهدف

- يتم تشكيل هرمون الـADH بشكل رئيس في النواة فوق البصرية
- تشكيل الأوستوسين بشكل رئيس في النواة جنيب البطنية
- **يتم تنظيم إفراز الـADH بوساطة**
- 1-الضغط التناضحي الكلي لسوائل الجسم بآلية التلقيم الراجع
- 2-نقص حجم الدم .
- 3-نقص تمدد مستقبلات الضغط Baroreceptors في المناطق السباتية والأبهرية والرئوية يشارك في زيادة إفراز الـADH.

هرمون الأوسيتوسين

- مسؤول جزئياً عن إحداث الولادة.
- يكون زمن المخاض طويلاً عند الحيوانات التي تكون النخامى مستأصلة لديها
- تزداد كمية الأوسيتوسين في المصورة خلال المخاض وخاصةً خلال المرحلة الأخيرة.
- يحرض تنبيه عنق الرحم عند الحيوان الحامل إشارات عصبية تمر إلى النخامى وتسبب زيادة إفراز الأوسيتوسين.

- **تأثير الأوسيتوسين على قذف الحليب من الأثداء**
- عملية الإرضاع
- تنبيهات المص على حلمة الثدي
- إشارات تُنقل عبر الأعصاب الحسية إلى الدماغ
- تصل التنبيهات إلى عصبونات الأوسيتوسين
- يُحمل الأوسيتوسين بوساطة الدم إلى الثديين
- يسبب تقلص الخلايا العضلية الظهارية

الغدد جارات الدرق
استتباب الكالسيوم

- ذات أهمية حيوية بالغة لكل أجهزة الجسم
- العديد من التفاعلات الإنزيمية
- ضرورية لتقلص العضلات بنوعيها
- ضرورية لتقلص و نظم عضلة القلب.
- تنظيم نفوذية الغشاء الخلوي.
- تشكيل العظام و الأسنان و إنتاج الحليب.
- ضرورية في أثناء عملية تخثر الدم.
- ضرورية جداً في عملية النقل المشبكي العصبي

- التركيز الوسطي للكالسيوم في المصورة 10.6-8.6 ملغ / 100 مل
- يوجد الكالسيوم في المصورة بأشكال ثلاثة هي :
- 50% بشكل مشرد و قابل للانتشار عبر أغشية الشعيرات الدموية (لشكل الفعال
- 10% غير متشرد مرتبط مع مواد أخرى في المصورة و السوائل الخلالية
- 40% مرتبط بالبروتينات (خاصة الألبومين)
- يمثل كالسيوم المصورة 1% فقط و99% موجود في العظام

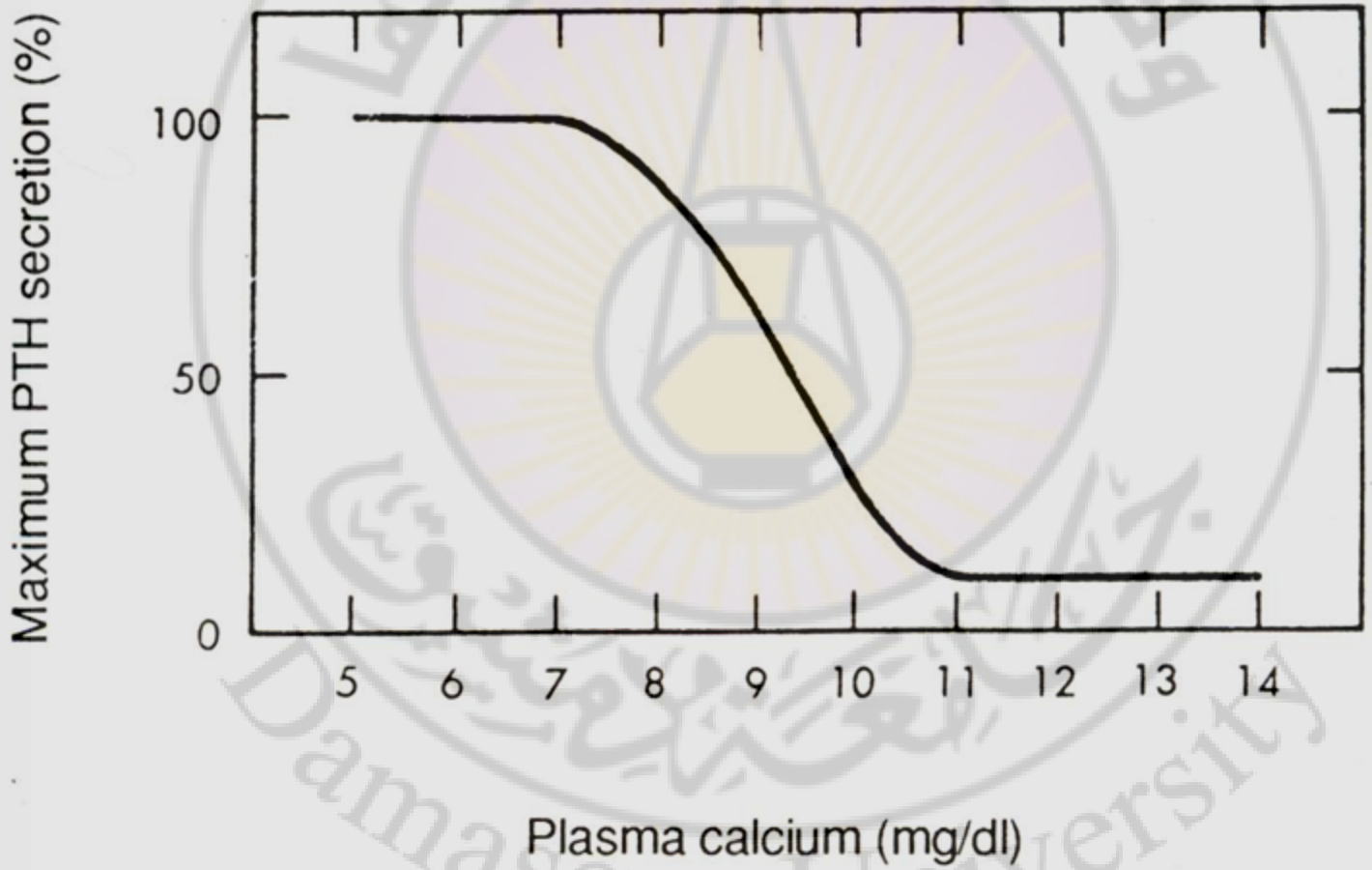
ضبط تركيز الكالسيوم في المصورة

- هرمون جارات الدرق Parathyroid Hormrne (PTH)
- الكالسيتونين.
- الفيتامين D (الشكل الفعال 1-25 دي هيدروكسي كولي كالسيفرول)

Damascus University

هرمون جارات الدرق PTH

- مستوى كالسيوم المصورة :
- أهم عامل ينظم إفراز PTH
- و يوجد بين PTH و الكالسيوم تنظيم راجع


Maximum PTH secretion (%)
100
50
0
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
Plasma calcium (mg/dl)

- مستوى المغنزيوم في المصورة (علاقة عكسية)
- تركيز الفوسفات في المصل .
- الادرينالين.
-

عمل هرمون جارات الدرق

- على مستوى العظام
- على مستوى الكلية :
  - يزيد PTH عود امتصاص الكالسيوم من الأنبوب البعيد.
  - يزيد إفراغ الكلية للفوسفات بآلية نقص عود الامتصاص في الأنبوب القريب.
  - يعزز تشكيل 1-25 دي هيدروكسي كولي كالسيفرول .
- على مستوى الأمعاء.

  يعزز امتصاص الكالسيوم من الأمعاء (لـ 1-25 دي هيدروكسي كولي كالسيفرول)
- المحصلة النهائية

  يزداد تركيز كالسيوم المصورة و ينقص تركيز الفوسفات.

تأثيرات 1-25 دي هيدروكسي كولي كالسيفرول

- يتأثر تركيزه بشكل عكسي بتركيز الكالسيوم في المصورة .
- **العلاقة بين تركيز الكالسيوم وتركيز 1-25 دي هيدروكسي كولي كالسيفرول**
- يحرض 1-25 الامتصاص المعوي للكالسيوم

زيادة تشكيل البروتين الرابط للكالسيوم

تأثير المركب الفعال للفيتامين د على امتصاص الفوسفات

الكالسيتونين

- مكان الإفراز
- تنبيه إفراز الكالسيتونين
- زيادة مستوى الكالسيوم
- مقلدات بيتا
- الدوبامين
- الاستروجين .

- يتعزز إفراز الكالسيتونين بعد وجبة الطعام الكبيرة
- يفرز بعد الطعام

الغاسترين

CCK

السكرتين)

يعتبر الغاسترين المحرض الأقوى .

تأثيرات الكالسيتونين

- خفض مستويات الكالسيوم و الفوسفات في البلازما
- **إن الدور الفيزيولوجي الدقيق للكالسيتونين غير معروف بشكل دقيق**

زيادة الكالسيتونين

- 1-مرحلة النمو عند اليافعين(للمساهمة في تطور الهيكل العظمي)
- 2-بعد الوجبات الطعامية
- 3- أثناء الحمل

- الكالسيتونين مفيد في علاج داء باجيت
- ارتفاع فعالية كاسرات العظم
- بدء حدوث تشكيل معاوض لعظم جديد غير متعضٍ .

الغدة الدرقية

- التيروكسين(T4)و ثالث يود التيرونين(T3)

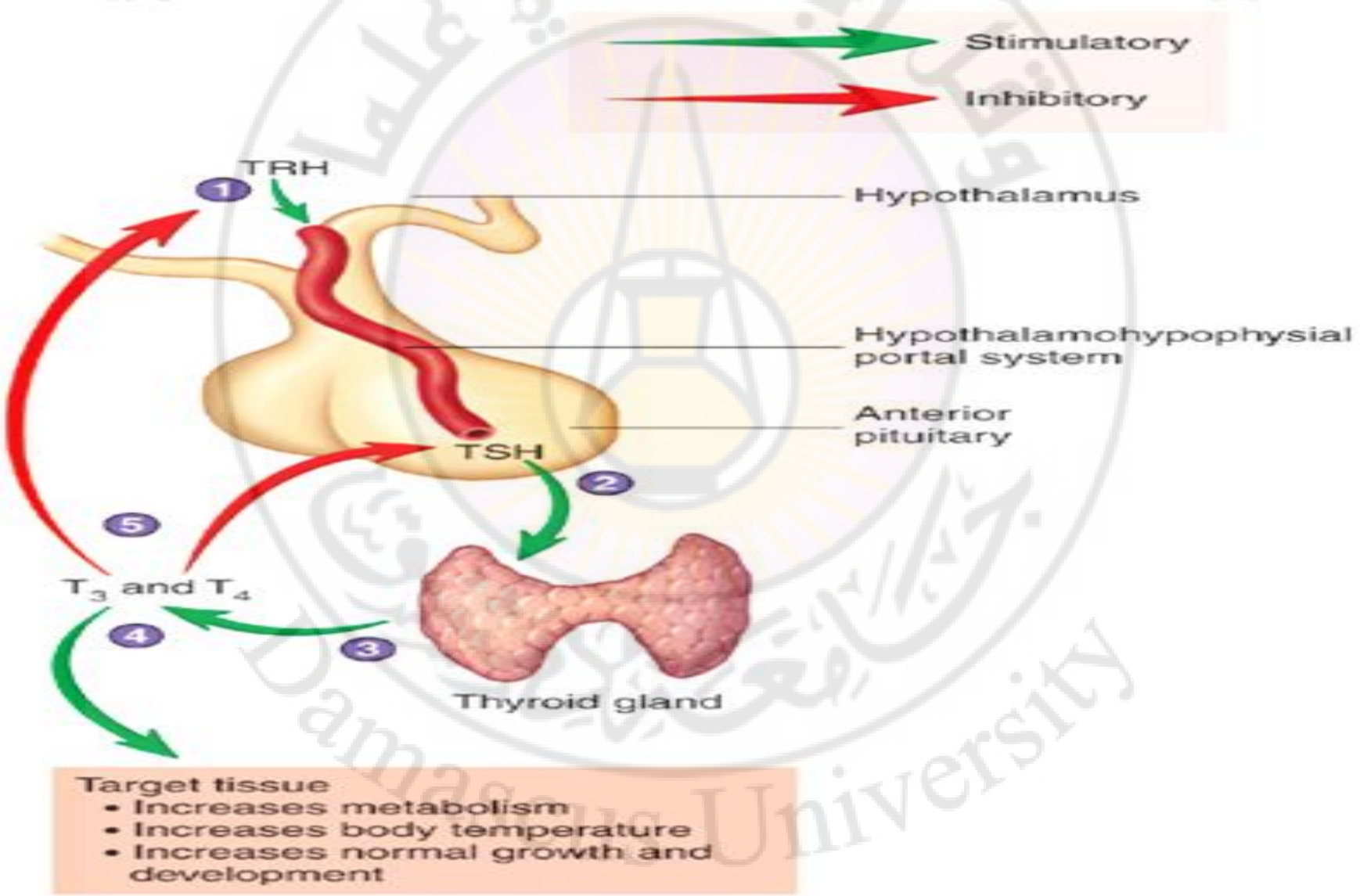
زيادة المعدل الاستقلابي في الجسم.

- الكالسيتونين

استقلاب الكالسيوم.

- انخفاض معدل الاستقلاب الأساسي نحو 40% تحت المعدل السوي
- ازدياد في المعدل الاستقلابي الأساسي يصل حتى 60-100 فوق السوي.

تنظيم إفراز الهرمون الدرقي



تركيب وإفراز الهرمونات الدرقية .

- يمثل التيروكسين(T4) نحو 90%
- يمثل ثالث يود التيرونين T3 الـ10%
- معظم الـ T4 يُقلب في النسج إلى T3
- يعتبر كل من هذين الهرمونين هاماً من وجهة نظر وظيفية
- وظائف كل منهما من الناحية النوعية واحدة
- يختلفان في سرعة وشدة الفعل
- تبلغ فعالية الـ T3 نحو أربعة أضعاف فعالية الـT4
- **يوجد في الدم بكميات صغيرة جداً كما أن فترة بقائه أقصر من فترة بقاء الـT4.**

الوظائف الفيزيولوجية للهرمونات الدرقية

- زيادة انتساخ أعداد كبيرة من الجينات
- **زيادة في عدد كبير من الأنزيمات البروتينية وبروتينات النقل**
- زيادة معممة في الفعالية الوظيفية في جميع أنحاء الجسم.

- تزيد الفعالية الاستقلابية في جميع نسج الجسم تقريباً
- زيادة BMR بنسبة 60-100% فوق المعدل السوي
- يتسارع معدل استهلاك الغذاء من أجل الطاقة بشكل كبير
- يزداد معدل اصطناع البروتين
- يزداد معدل تقويض البروتين
- يتسارع معدل نمو الأشخاص صغار السن بشكل كبير
- تثار العمليات العقلية
- تزداد فعالية معظم الغدد الصماء .

- زيادة في عدد وحجم المتقدرات.
- تزيد النقل الفاعل للشوارد عبر أغشية الخلايا.
- تأثيرات الهرمون الدرقي على النمو.

  الحض على نمو وتطور الدماغ خلال الحياة الجنينية والسنوات القليلة الأولى بعد الولادة.

تأثيرات الهرمون الدرقي على اليات خاصة في الجسم.

- ينبه جميع مظاهر استقلاب السكريات

القبط السريع للغلوكوز من قبل الخلايا

تعزيز تحلل السكر

استحداث السكر

زيادة معدل الامتصاص من السبيل المعدي المعوي

- (تنج هذه التأثيرات عن الزيادة الكلية بالإنظيمات).

- تتعزز جميع مظاهر استقلاب الدسم بشكل أساسي
- **يحدث عوز نسبي للفيتامين**
- **زيادة معدل الاستقلاب الاساسي حتى 60-100% فوق القيمة السوية أحيانا.**
- نقص وزن الجسم (الزيادة الكبيرة في إنتاج الهرمون الدرقي)

القشرانيات السكرية (الكورتيزول)

- 1- السكريات.
- تنبيه استحداث السكر(يزداد بمعدل 6-10 أضعاف)

- تزداد في الكبد جميع الأنزيمات اللازمة لقلب الحموض الأمينية إلى غلكوز

- تحريك الحموض الأمينية من النسج خارج الكبد خاصة العضلات

- نقص استعمال الغلوكوزفي المحيط من قبل الخلايا.
- ارتفاع تركيز غلوكوز الدم والداء السكري الكظري

Damascus University

تأثيرات الكورتيزول على استقلاب البروتينات.

- إنقاص مستودعات البروتين (نقص اصطناع وزيادة تقويض البروتين).
- زيادة بروتين الكبد والمصورة.
- زيادة الحموض الأمينية في الدم.

3- تأثيرات الكورتيزول على استقلاب الدسم.

- زيادة تحريك الحموض الدسمة من النسيج الشحمي
- تأثيرات الكورتيزول مولدة الكيتون.
- البدانة المسببة بالكورتيزول.

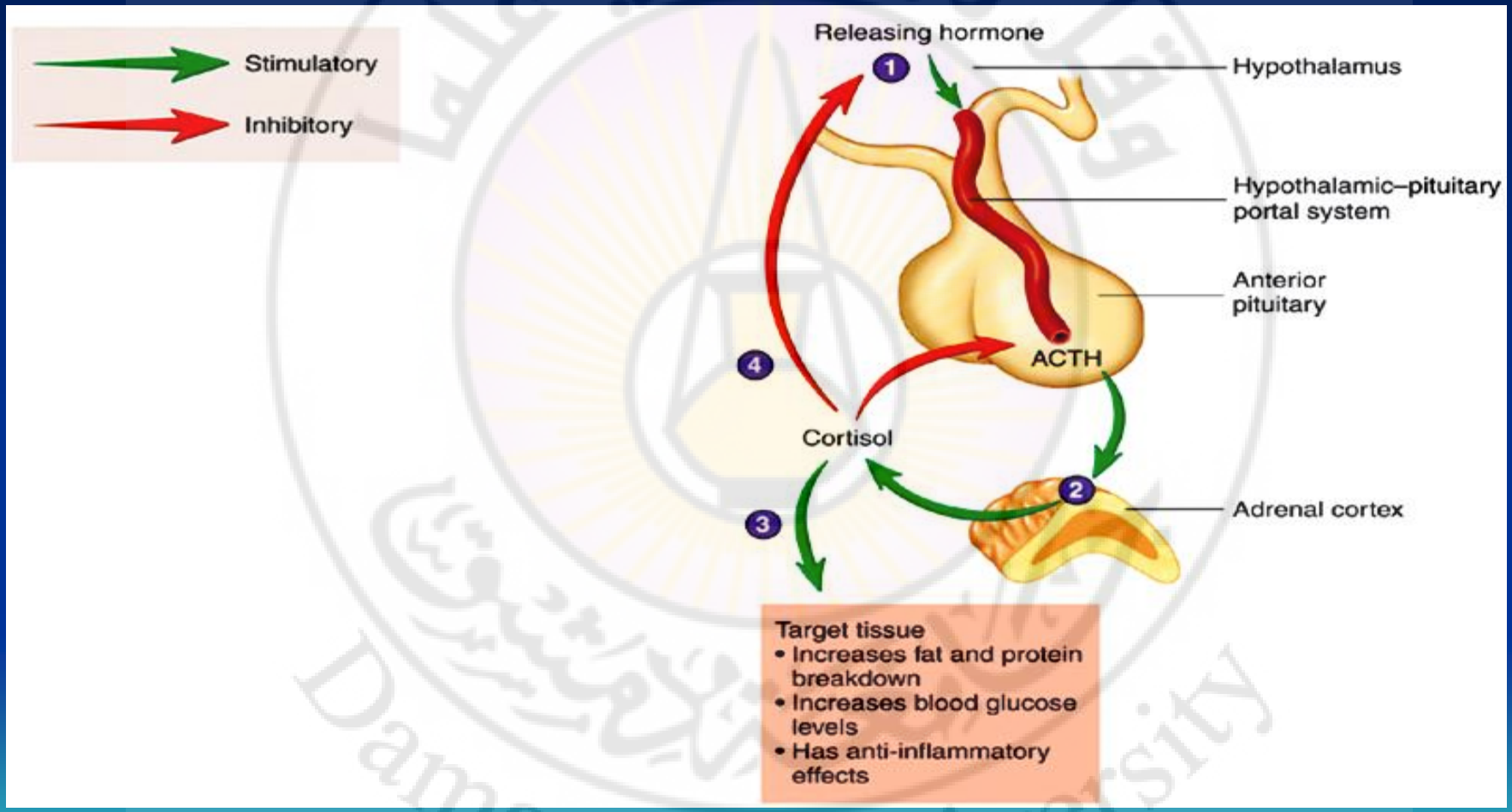
- 4- تأثيرات الكورتيزول المضادة للكرب (الشدة).

5- تأثيرات الكورتيزول مضادة الالتهاب:

- ينقص بشكل كبير إطلاق معظم الأنزيمات حالة البروتين
- ينقص نفوذية الشعيرات الدموية.
- ينقص هجرة كريات الدم البيض إلى المنطقة الملتهبة
- ينقص بلعمة الخلايا المتأذية
- يثبط الجهاز المناعي
- يخفض الحمى (ينقص إطلاق الإنترلوكين I من كريات الدم البيض.

- 6-التأثير على الأرجية
- 7- التأثير على كريات الدم والمناعة.

  - ينقص الحمضات واللمفاويات
  - يزيد إنتاج كريات الدم الحمر.


Stimulatory
Inhibitory
Releasing hormone
1
Hypothalamus
Hypothalamic–pituitary portal system
Anterior pituitary
ACTH
4
Cortisol
2
Adrenal cortex
3
Target tissue
• Increases fat and protein breakdown
• Increases blood glucose levels
• Has anti-inflammatory effects

وظائف القشرانيات المعدنية

- تحدث التغيرات التالية في حالة فقد قشر الكظر.
- 1- يرتفع تركيز البوتاسيوم بشكل ملحوظ.
- 2- ينقص تركيز كل من الصوديوم والكلور.
- 3- ينقص الحجم الكلي للسائل خارج الخلايا وحجم الدم بشكل كبير

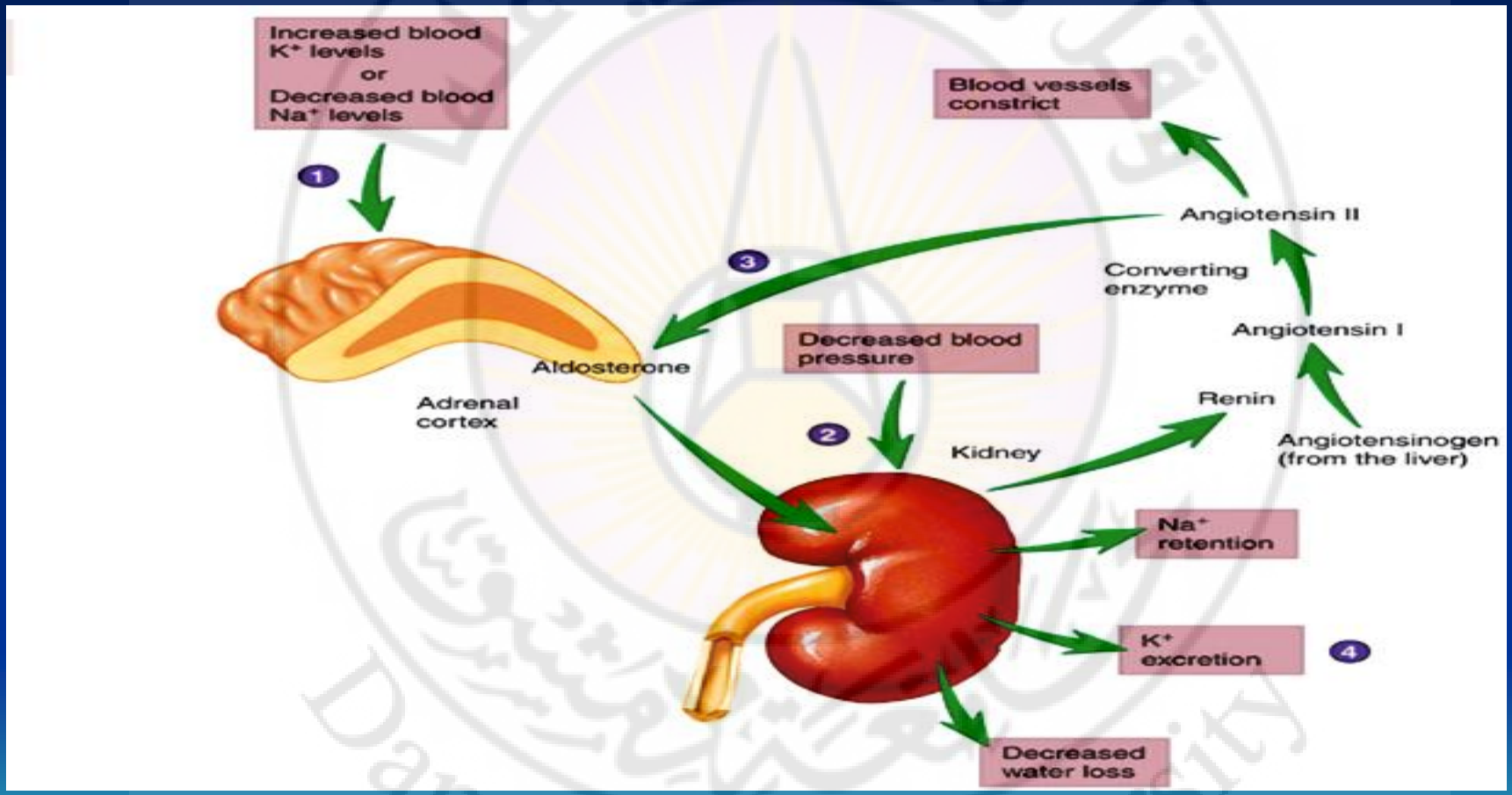
القشرانيات المعدنية(الألدوستيرون).

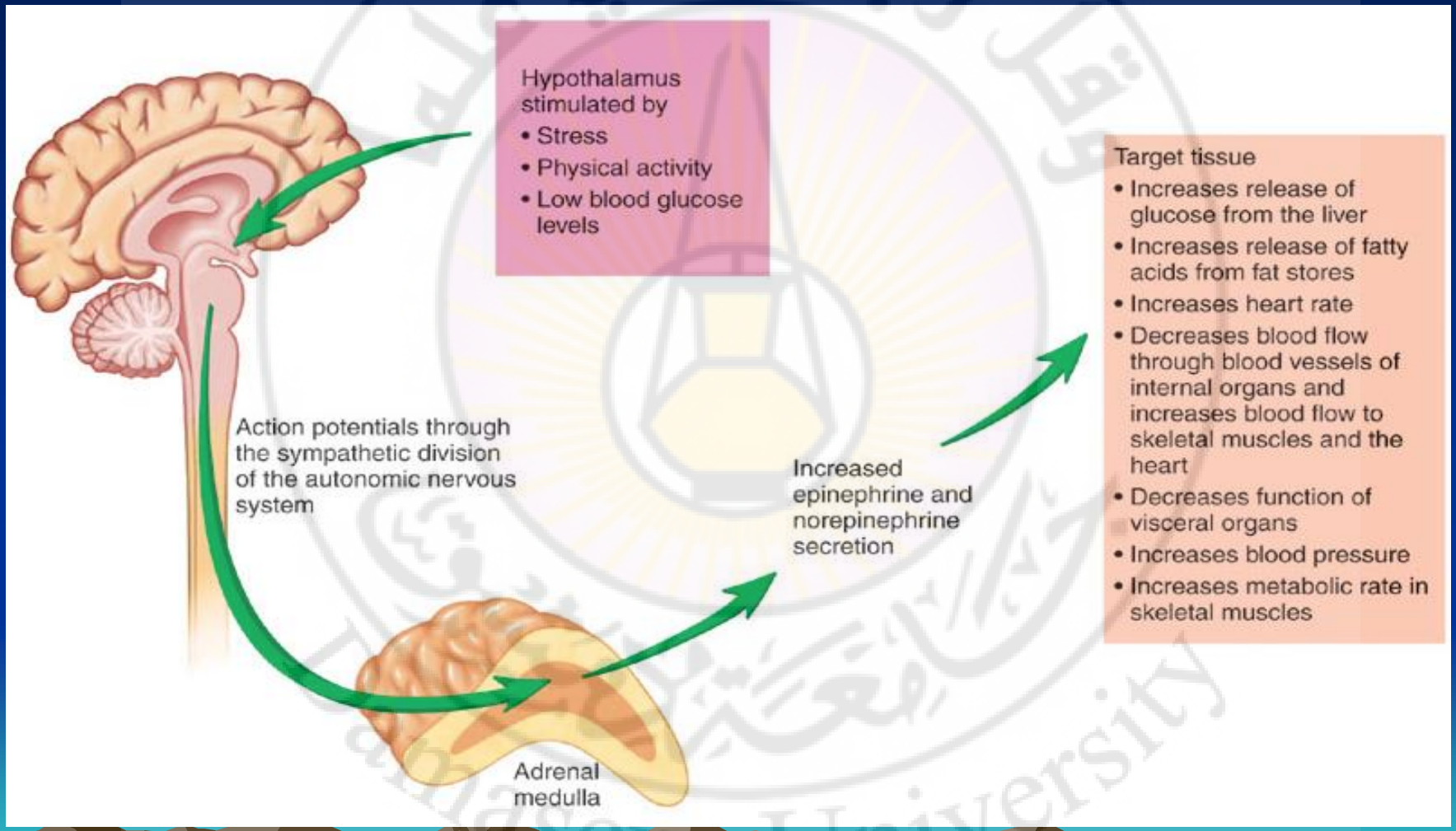
- زيادة النقل التبادلي للصوديوم والبوتاسيوم.
- زيادة حجم السائل خارج الخلايا (الضغط الشرياني)
- نقص البوتاسمية والضعف العضلي
- فرط البوتاسمية والسمية القلبية.
- نقص تركيز شوارد الهيدروجين ودرجة معتدلة من القلاء
- على الغدد العرقية والغدد اللعابية والامتصاص المعوي

تنظيم إفراز الألدوستيرون

- تركيز شاردة البوتاسيوم في السائل خارج الخلايا.
- جهاز الرينين-انجيوتنسين.
- تركيز شاردة الصوديوم في السائل خارج الخلايا.
- هرمون الـ ACTH

Damascus University


Increased blood K+ levels
or
Decreased blood Na+ levels
1
Blood vessels constrict
Angiotensin II
3
Converting enzyme
Angiotensin I
Decreased blood pressure
Aldosterone
Adrenal cortex
Renin
2
Kidney
Angiotensinogen (from the liver)
Na+ retention
K+ excretion
4
Decreased water loss


Hypothalamus stimulated by
• Stress
• Physical activity
• Low blood glucose levels
Action potentials through the sympathetic division of the autonomic nervous system
Adrenal medulla
Increased epinephrine and norepinephrine secretion
Target tissue
• Increases release of glucose from the liver
• Increases release of fatty acids from fat stores
• Increases heart rate
• Decreases blood flow through blood vessels of internal organs and increases blood flow to skeletal muscles and the heart
• Decreases function of visceral organs
• Increases blood pressure
• Increases metabolic rate in skeletal muscles