مركز تعريب العلوم الصحية

الفيزيولوجيا الخلوية

ترجمة
د. نائل عبدالقادر بازركان

مراجعة وتحرير
مركز تعريب العلوم الصحية

سلسلة المناهج الطبية العربية

المقدمة

تتوقف مهارة الطبيب في تشخيص الأمراض وعلاجها على درجة إلمامه بالأمراض وكيفية تأثيرها على الجسم. ولأن الجسم يتكون من العديد من الأجهزة التي تتكون بدورها من أعضاء مختلفة، تلك الأعضاء التي تتكون من أنسجة ذات خلايا نوعية، وجب على الطبيب أن يكون على دراية تامة بكيفية عمل تلك الأنسجة في الظروف الطبيعية ـ وهو ما يعرف بالفيزيولوجيا الخلوية ـ لكي يكون قادراً على تشخيص الأمراض.

يعد هذا العلم هو أساس دراسة العلوم الطبية، فمن خلال هذا العلم يستطيع الطبيب التعرف على كيفية عمل الأعضاء المختلفة، وكيفية أدائها لوظائفها في تناغم رائع. فكل وظائف الجسم التي يقوم بها أعضاء الجسم هي عبارة عن استجابة لمؤثرات خارجية عديدة، فإذا استجاب الجسم لهذه المؤثرات بصورة طبيعية كان الجسم في حالة جيدة، أما إذا كانت الاستجابة غير كافية أو لم تكن هناك استجابة بدأت الأمراض، وأصبح الجسم في حالة مرضية قد يستعصي على الطبيب معالجتها وفقاً لطبيعة تلك المؤثرات الخارجية ودرجة استجابة الجسم لها.

في مثل هذه النوعية من الكتب التي تتناول الموضوعات الطبية الأساسية، قد تبدو المادة جافة وصعبة الفهم، لاسيما أنها ليست بالإكلينيكية (أي ليست فيها ممارسة عملية)، وذلك يستلزم على الكاتب أن تكون له القدرة على تقديم تلك المادة في صورة مبسطة وشيقة تسمح للقارئ أن يستمر في قراءة الكتاب، مع القدرة على الإلمام بتلك المعلومات. فكل الموضوعات الطبية الأساسية مثل علم التشريح، وعلم الأنسجة، وعلم الكيمياء الحيوية كلها علوم غير إكلينيكية ويحتاج الطبيب إلى فهمها جيداً حتى تصبح الصورة الكاملة لديه عن كيفية أداء هذه الأعضاء لوظائفها في صورة جيدة.

لهذا رأينا في تقديم هذا الكتاب إلى الأطباء والدارسين أن يكون ذا عون في استيعابهم لهذا النوع من الموضوعات.سائلين الله التوفيق في جعله لبنة في صرح التعليم الطبي.

والله ولي التوفيق،،

الدكتور/ عبدالرحمن عبدالله العوضي

الأمين العام

مركز تعريب العلوم الصحية

التمهيد

يهدف هذا الكتاب إلى مساعدة الأطباء والطلبة لعبور الجسر بين الكيمياء الحيوية القاعدية والبيولوجيا الجزيئية والخلوية من جهة، وبين فيزيولوجيا الأعضاء والأجهزة من جهة أخرى. ويحاول أن يقدم الاستنتاجات الرياضية الأساسية والمفاهيم الفيزيائية والكيميائية لمساعدة الطلبة في فهم العمليات، ولإيضاح أهمية تلك المبادئ والتحقق من صحة ارتباطها بالطب الإكلينيكي.

كما يتضمن الكتاب أربعة أقسام رئيسية يحتوي كل منها على العديد من الفصول، يبدأ كل فصل بالأهداف المرجوة من دراسته وينتهي بمسائل دراسية تكشف مدى إلمام القارئ بالفصل، حيث تم تصميمها لإدماج المفاهيم من فصلين أو أكثر أو قسمين أو أكثر. يتناول القسم الأول المبادئ الكيميائية الفيزيولوجية الأساسية وتتحدث فصوله عن الاستتباب، والانتشار والنفوذية، ثم الضغط التناضحي وحركة الماء، والنتائج الكهربائية للمدروجات الأيونية، ثم يأتي القسم الثاني ليتحدث عن قنوات الأيونات والأغشية المستثارة، ثم الخواص الكهربائية اللافاعلة للأغشية، وكيفية تولد وانتشار جهد الفعل، وتنوع قناة الأيونات، وبعد ذلك يتناول الكتاب في القسم الثالث موضوع نقل الذوائب، حيث يتحدث عن طاقة الجهد الكهركيميائية وعمليات النقل، ونقل الذائبة اللافاعلة، والنقل الفاعل، ثم يأتي القسم الرابع ليتناول موضوع المحركات الجزيئية والتقلص العضلي، ليشرح آليات التقلص العضلي، وتقارن التقلص والاستثارة في العضلة، وأخيراً ميكانيكية التقلص العضلي.

ويختتم الكتاب بخمسة ملاحق يتناول الأول منها مراجعة للعمليات الرياضية الأساسية، في حين يتحدث الملحق الثاني عن الجذر التربيعي للمتوسط لإحلال الجزيئات المنتشرة، ثم يلخص الملحق الثالث نظرية الدارة الابتدائية، ثم يجيب في الملحق الرابع على المسائل الدراسية التي أعقبت كل فصل من فصوله الأربعة عشر، أما الملحق الخامس والأخير فتوجد فيه اختبارات للمراجعة مع إجاباتها.

ونحن بتقديمنا لهذا الكتاب نأمل بأن يلقى القبول من الأطباء والطلبة الدارسين على حد سواء، وأن يكون معيناً للأطباء في فهم المبادئ الأساسية للفيزيولوجيا الخلوية، فلا يوجد شيء يسعدنا أكثر من امتنان الأطباء والدارسين لمثل هذه الكتب التي يمكنها أن توضح مفاهيم صعبة، كانت قبل قراءة هذا الكتاب غامضة تماماً.

والله ولي التوفيق،،

الدكتور/ يعقوب أحمد الشراح

الأمين العام المساعد

مركز تعريب العلوم الصحية

المؤلفـــــــــون

*** موردیكاي بلوشتاين**

ـ دكتوراه في الطب.

ـ أستاذ بقسم الفيزيولوجيا والطب الباطني.

ـ مدير مركز ماريلاند للقلب وفرط ضغط الدم وأمراض الكلى ـ كلية الطب ـ جامعة ماريلاند ـ بالتيمور ـ ماريلاند.

*** جوزيف كاو**

ـ درجة الفلسفة في الطب.

ـ أستاذ بمركز التكنولوجيا البيولوجية الطبية ـ معهد التكنولوجيا البيولوجية ـ جامعة ماريلاند.

ـ أستاذ بقسم الفيزيولوجيا ـ كلية الطب ـ جامعة ماريلاند ـ بالتيمور ـ ماريلاند.

دونالد ماتيسون

ـ درجة الفلسفة في الطب.

ـ أستاذ مشارك بقسم الفيزيولوجيا ـ كلية الطب ـ جامعة ماريلاند ـ بالتيمور ـ ماريلاند.

ACMLS
ARAB CENTER FOR AUTHORSHIP AND TRANSLATION

المترجم

* **د. نائل عبد القادر بازركان**

- من مواليد حلب ـ سوريا ـ عام 1962.
- حاصل على بكالوريوس الطب البشري ـ جامعة حلب ـ سوريا ـ عام 1985.
- حاصل على درجة الماجستير في الأمراض الباطنية ـ عام 1989.
- يعمل حالياً اختصاصي الأمراض الباطنية ـ سوريا.

ACMLS
ARAB CENTER FOR AUTHORSHIP AND TRANSLATION OF HEALTH SCIENCE

المحتويات

المقدمة : _____ س
التمهيد : _____ ف
المؤلفون : _____ ق
المترجم : _____ ش
الباب الأول : مبادئ كيميائية فيزيولوجية أساسية
الفصل الأول : المقدمة: الاستتباب والفيزيولوجيا الخلوية _____ 1
● الاستتباب يمكن الجسم من البقاء في بيئات متنوعة ___ 1
● الجسم عبارة عن طاقم متناسق من أحياز متباينة وظيفياً وحيزياً _____ 2
○ الأغشية البيولوجية التي تحيط بالخلايا والعضيات دوين الخلوية ثنائية الطبقة الشحمية _____ 3
○ الأغشية الحيوية مكونة بشكل أولي من الشحميات الفسفورية ولكنها قد تحوي أيضاً الكوليستيرول والشحميات السفينجولية _____ 4
○ الأغشية الحيوية ليست بنى متماثلة _____ 5
● عمليات النقل أساسية للوظيفة الفيزيولوجية _____ 6
● تركز الفيزيولوجيا الخلوية على العمليات المتواسطة بالغشاء وعلى وظيفة العضلة _____ 7
● الخلاصة _____ 8
● مفتاح الكلمات والمفاهيم _____ 8
الفصل الثاني : الانتشار والنفوذية _____ 11
● الانتشار هو هجرة الجزيئات إلى أدنى مدروج تركيز _ 11
● يلخص قانون فيك الأول (Fick) للانتشار فهمنا البديهي للانتشار _____ 11
● تُكشف المظاهر الأساسية للانتشار بالفحص الكمي للحركة المجهرية العشوائية للجزيئات _____ 14
○ تسبب الحركات العشوائية التعرج _____ 14
○ إحلال الجذرالتربيعي للمتوسط (المتوسط التربيعي) هو مقياس جيد لتطور الانتشار _____ 17

○ اعتماد الجذر التربيعي للزمن يجعل الانتشار غير فعال لنقل الجزيئات لمسافات طويلة المظهر _____ 17
○ يقيد الانتشار بيولوجيا وفيزيولوجيا الخلية _____ 18
● يمكن استعمال قانون فيك الأول لوصف الانتشار عبر حائل غشائي _____ 19
○ التدفق الصافي عبر غشاء ما، هو نتيجة توازن الاندفاق ضد الدفق _____ 24
○ تحدد النفوذية مدى السرعة التي يمكن نقل الذائبة بها عبر غشاء ما _____ 27
● الخلاصة _____ 31
● مفتاح الكلمات والمفاهيم _____ 32
● مسائل دراسية _____ 33
الفصل الثالث : الضغط التناضحي وحركة الماء _____ 35
● التناضح هو نقل المذيب المدفوع بالفرق في تركيز الذائبة عبر غشاء كتيم للذائبة _____ 35
● يؤدي نقل الماء أثناء التناضح إلى تغير في الحجم _____ 36
● يقود الضغط التناضحي النقل الصافي للماء أثناء التناضح _____ 37
● الضغط التناضحي والضغط الهيدروستاتيكي متكافئان وظيفياً في قدرتهما على دفع حركة الماء عبر غشاء _____ 41
○ يتم تعيين اتجاه جريان السائل عبر الجدار الشعيري بتوازن الضغوط الهيدروستاتيكية والتناضحية، كما تصف معادلة ستارلنج _____ 43
● الذوائب اللانفيذة فقط يمكن أن يكون لها آثار تناضحية دائمة _____ 50
○ تحدث تغيرات عابرة في حجم الخلية استجابة لتغيرات التركيز خارج الخلوي للذوائب النفيذة _____ 50
○ تحدث التغيرات الحجمية في حجم الخلية استجابة للتغيرات في تركيز الذوائب الكتيمة خارج الخلوية _____ 53
○ يحدد مقدار الذائبة الكتيمة في الخلية الحجم الخلوي 60
● الخلاصة _____ 60
● مفتاح الكلمات والمفاهيم _____ 61
● مسائل دراسية _____ 61

الفصل الرابع : النتائج الكهربائية للمدروجات الأيونية ـــــــــ 63

- الأيونات موجودة بشكل نموذجي بتركيزات مختلفة على الجانبين المتعاكسين من الغشاء الحيوي ـــــــــ 63
- النفوذية الأيونية الانتقائية عبر الأغشية لها نتائج كهربائية: معادلة نرنست ـــــــــ 64
- يتم إرساء جهد الغشاء المستقر أثناء الراحة لخلية حية بتوازن تدفقات الأيونات المتعددة ـــــــــ 72
  - الأغشية الخلوية نفوذة لأيونات متعددة ـــــــــ 72
  - يمكن تقدير جهد الغشاء أثناء الراحة كمياً باستعمال معادلة جولدمان ـ هودجكن ـ كاتز ـــــــــ 78
  - لا حاجة لتضمين الأيون النفيذ في حالة التوازن الكهركيميائي في معادلة ـــــــــ 81
  - يمكن عرض معادلة نرنست كحالة خاصة من معادلة GHK ـــــــــ 83
- يمكن للخلية أن تغير جهد غشائها بالتغيير الانتقائي لنفوذية الغشاء لبعض الأيونات ـــــــــ 83
- أثر دونان هو تهديد تناضحي للخلايا الحية ـــــــــ 84
- الخلاصة ـــــــــ 86
- مفتاح الكلمات والمفاهيم ـــــــــ 92
- مسائل دراسية ـــــــــ 93

الباب الثاني : قنوات الأيونات والأغشية المستثارة

الفصل الخامس : قنوات الأيونات ـــــــــ 95

- قنوات الأيونات هي محددات هامة للسلوك الكهربائي للأغشية ـــــــــ 95
- الأنماط المميزة من قنوات الأيونات تملك خواصاً مشتركة متعددة ـــــــــ 97
  - تزيد قنوات الأيونات من نفوذية الغشاء للأيونات ـــــ 97
  - قنوات الأيونات هي بروتينات غشاء دمج تشكل مسام مبوبة ـــــــــ 98
  - تبدي قنوات الأيونات انتقائية أيونية ـــــــــ 100
- تتشارك قنوات الأيونات بتماثلات بنيوية ويمكن تجميعها في عائلات جينية ـــــــــ 101

○ دُرست بنية القناة بطرق كيميائية حيوية وبيولوجية جزيئية ____ 101
○ التفاصيل البنيوية لقناة البوتاسيوم تم كشفها بواسطة مبحث البلورات بالأشعة السينية ____ 104
● الخلاصة ____ 106
● مفتاح الكلمات والمفاهيم ____ 107
● مسائل دراسية ____ 107
الفصل السادس : الخواص الكهربائية اللافاعلة للأغشية ____ 109
● السير الزمني وانتشار تغيرات جهد الغشاء يمكن التنبؤ بها بالخواص الكهربائية اللافاعلة للغشاء ____ 109
● الدارة المكافئة للغشاء المستثار تملك مقاومة بالتوازي مع المكثف ____ 110
○ المواصلة الغشائية موطدة بواسطة قنوات الأيونات المفتوحة ____ 110
○ تعكس المواسعة قدرة الغشاء على فصل الشحنة ____ 113
● تنتج الخواص الغشائية اللافاعلة علاقات تيار ـ قولطاج خطية ____ 113
● تؤثر مواسعة الغشاء على السير الزمني لتغيرات القولطاج ____ 114
○ يحدث جريان التيارات الأيونية والمواسعية عندما تنفتح القناة ____ 114
○ السير الزمني الأسي لجهد الغشاء يمكن فهمه في ضوء الخواص اللافاعلة للغشاء ____ 117
● مقاومات الغشاء وجبلة المحوار تؤثر على الانتشار اللافاعل للإشعارات الكهربائية دوين العتبة ____ 120
○ يمكن فهم تلاشي جهود دوين العتبة مع المسافة في ضوء الخواص المنفعلة للغشاء ____ 121
○ ثابتة الطول هي قياس للبعد عن موضع التنبيه الذي يمكن كشف تغير جهد الغشاء فيه ____ 125
● الخلاصة ____ 125
● مفتاح الكلمات والمفاهيم ____ 126
● مسائل دراسية ____ 127

الفصل السابع : تولد وانتشار جهد الفعل _____ 129
● جهد الفعل هو عبارة عن إزالة استقطاب سريع وعابر لجهد الفعل في الخلايا المستثارة كهربائياً _____ 129
○ يمكن دراسة خواص جهد الفعل بواسطة مساري مكروية داخل الخلية _____ 130
● تمت دراسة وظيفة قناة الأيون بواسطة ملقاط ڤولطاج _ 132
○ تم قياس التيارات الأيونية عند تيار غشائي ثابت بواسطة ملقاط الڤولطاج _____ 132
○ تيارات الأيونات معتمدة على الڤولطاج والزمن _____
○ تبدي القنوات المبوبة بالڤولطاج توصيلات معتمدة على الڤولطاج _____ 135 139
● قنوات الأيونات المستقلة تملك مستويين للمواصلة _____ 144
● تتعطل قنوات الصوديوم أثناء صيانة إزالة الاستقطاب _ 145
● تم توليد جهد الفعل بواسطة قنوات الصوديوم والبوتاسيوم المبوبة بالڤولطاج _____ 148
○ يمكن استعمال الدارة المكافئة لبقعة من الغشاء لوصف تولد جهد الفعل _____ 148
○ جهد الفعل هو عملية دورية لانفتاح وانغلاق القناة _____ 150
○ يسهم كلٌّ من تعطيل قناة الصوديوم وفتح قنوات البوتاسيوم المبوبة بالڤولطاج بدور الحران _____ 152
○ العوامل الدوائية التي تحصر قنوات الصوديوم أو البوتاسيوم، أو تتداخل مع تعطيل قناة الصوديوم، تغير من شكل جهد الفعل _____ 152
● يحدث انتشار جهد الفعل كنتيجة لتيارات الدارة الموضعية _____ 152
○ في المحاور اللاميالينية ينتشر جهد الفعل كموجة مستمرة من الاستثارة بعيداً عن موضع البدء _____ 154
○ تتأثر سرعة التوصيل بثابتة الزمن τ، ثابتة الطول λ وبارتفاع وحركيات تيار الصوديوم I_{Na} _____ 154 155
○ يزيد تكون الميالين سرعة توصيل جهد الفعل _____ 157
● الخلاصة _____ 160
● مفتاح الكلمات والمفاهيم _____ 162
● مسائل دراسية _____ 162

الفصل الثامن : تنوع قناة الأيونات ـــــــــــــــــــــــــــــــ 165
● الأنماط المتنوعة من قنوات الأيونات تساعد في تنظيم العمليات الخلوية ـــــــــــــــــــــــــــــــ 165
● تسهم قنوات الكالسيوم المبوبة بالڤولطاج بالنشاط الكهربائي وتتواسط دخول الكالسيوم إلى الخلايا ـــــ 167
○ يمكن تسجيل تيارات الكالسيوم بملقاط الڤولطاج ـــــ 170
○ محصرات قناة الكالسيوم هي عوامل علاجية مفيدة ـــ 172
● قنوات البوتاسيوم الانتقائية هي النمط الأكثر تنوعاً بين القنوات ـــــــــــــــــــــــــــــــ 175
○ يسهم تنوع قناة البوتاسيوم العصبونية في تنظيم طرازات تخزيف جهد الفعل ـــــــــــــــــــــــــــــــ 176
○ تسبب قنوات البوتاسيوم المبوبة بالڤولطاج سريعة التعطيل تأخيرات في توليد جهد الفعل ـــــــــــــــــــــــــــــــ 178
○ تنفتح قنوات البوتاسيوم المفعلة بالكالسيوم بواسطة الكالسيوم داخل الخلوي ـــــــــــــــــــــــــــــــ 181
○ قنوات البوتاسيوم الحساسة لثلاثي فسفات الأدينوزين متضمنة في إفراز الأنسولين المحرض بالجلوكوز من خلايا بيتا البنكرياسية ـــــــــــــــــــــــــــــــ 182
● القنوات المبوبة باللجين تبوب بالارتباط بالناهضة ـــــ 185
○ يفتح الأسيتيل كولين القنوات عند الموصل العصبي العضلي ـــــــــــــــــــــــــــــــ 187
● يمكن تنظيم نشاط قناة الأيون بواسطة سبل المرسال الثاني ـــــــــــــــــــــــــــــــ 187
○ يحور تفعيل مستقبلات بيتا الأدرينية قنوات الكالسيوم من النمط L في العضلة القلبية ـــــــــــــــــــــــــــــــ 189
● الخلاصة ـــــــــــــــــــــــــــــــ 190
● مفتاح الكلمات والمفاهيم ـــــــــــــــــــــــــــــــ 191
● مسائل دراسية ـــــــــــــــــــــــــــــــ 192

الباب الثالث : نقل الذوائب

الفصل التاسع : طاقة الجهد الكهركيميائية وعمليات النقل ـــــــــــــــــــــــــــــــ 193
● طاقة الجهد الكهركيميائية تقود كل عمليات النقل ـــــ 193
○ تُكشف العلاقة بين طاقة الجهد والقوة بفحص الجاذبية ـــــــــــــــــــــــــــــــ 193

○ يسبب المدروج في طاقة الجهد الكيميائية قوة كيميائية تقود حركة الجزيئات ____ 194
○ يمكن لأيون أن يملك كلا طاقتي الجهد الكهربائية والكيميائية ____ 195
○ معادلة نرنست هي مظهر بسيط لطاقة الجهد الكهركيميائية ____ 199
○ كيف نستعمل طاقة الجهد الكهركيميائية لتحليل عمليات النقل ____ 201
● الخلاصة ____ 207
● مفتاح الكلمات والمفاهيم ____ 207
● مسائل دراسية ____ 208
الفصل العاشر : نقل الذائبة اللافاعلة ____ 209
● الانتشار عبر الأغشية البيولوجية محدد بنفوذية الشحم 209
● بروتينات القناة، الحاملة، والمضخة تتواسط النقل عبر الأغشية البيولوجية ____ 210
○ النقل عبر القنوات سريع نسبياً ____ 211
○ تعتمد النفوذية عبر القنوات على كثافة القنوات في الغشاء ____ 213
○ معدل النقل عبر القنوات المفتوحة يعتمد على القوة الدافعة (القائدة) الصافية ____ 213
○ يتم التحكم بنقل المواد عبر بعض القنوات بتبوب فتح وإغلاق القنوات ____ 214
● الحوامل عبارة عن بروتينات دمج تنفتح إلى طرف واحد من الغشاء فقط في وقت ما ____ 214
○ تسهل الحوامل النقل عبر الأغشية ____ 214
○ يبدي النقل بالحوامل خواصاً حركية مماثلة لتلك الخاصة بتحفيز الإنزيمات ____ 218
● تقارن نقل ذائبة ما مع النقل نزولاً لذائبة أخرى، يمكّن الحوامل من تحريك الذائبة بالنقل المشترك أو بالنقل المعاكس صعوداً معاكساً للمدروج الكهركيميائي ____ 221
○ تبادل الصوديوم والبروتون مثال على النقل المعاكس المقترن بالصوديوم ____ 221

● ينقل الصوديوم بشكل مشترك مع العديد من الذوائب مثل الجلوكوز والأحماض الأمينية ____ 224
○ كيف يؤثر المدروج الكهركيميائي لذائبة ما على مدروج الذائبة المنقولة بشكل مشترك؟ ____ 226
○ يمكن زيادة كفاءة قبط الجلوكوز بتغيير معدل تقارن الصوديوم والجلوكوز ____ 229
● النقل الصافي لبعض الذوائب عبر الظهائر يتأثر بتقارن عمليتي نقل في سلسلة ____ 230
○ تم تمييز ضروب من العيوب الموروثة لنقل الجلوكوز ____ 232
● يتم تبادل الصوديوم مقابل الذوائب مثل الكالسيوم والبروتونات بآليات النقل المعاكس ____ 235
○ تبادل الصوديوم والكالسيوم مثال على النقل المتعاكس المتقارن ____ 235
○ يتأثر تبادل الصوديوم والكالسيوم بتغيرات جهد الغشاء ____ 236
○ يتم تنظيم تبادل الصوديوم والكالسيوم بآليات مختلفة متعددة ____ 237
○ تلعب أيونات الكالسيوم داخل الخلايا أدواراً فيزيولوجية متعددة هامة ____ 237
● من الممكن التقارن الوظيفي لجمل نقل متعددة ____ 239
○ النقل الفاعل الثالثي ____ 240
● الخلاصة ____ 242
● مفتاح الكلمات والمفاهيم ____ 243
● مسائل دراسية ____ 244

الفصل الحادي عشر : النقل الفاعل ____ 247
● يحول النقل الأولي الفاعل الطاقة الكيميائية من ثلاثي فسفات الأدينوزين إلى طاقة جهد كهركيميائية مخزونة في مدروجات الذائبة ____ 247
○ هناك ثلاثة صفوف عريضة من الأتباز متضمنة في نقل الأيون الفاعل ____ 248
● تصون مضخة صوديوم الغشاء البلازمي (Na,K-ATPase) تركيزات الصوديوم المنخفضة والبوتاسيوم المرتفعة في العصارة الخلوية ____ 249

○ تصون كل الخلايا الحيوانية تقريباً بشكل سوي تركيز البوتاسيوم داخل الخلوي المرتفع وتركيز الصوديوم داخل الخلوي المنخفض ـــــــــــ 249

○ تحلمه مضخة الصوديوم ثلاثي فسفات الأدينوزين (ATP) بينما تنقل الصوديوم خارج الخلية والبوتاسيوم داخلها ـــــــــــ 250

○ مضخة الصوديوم مشكّلة للكهرباء ـــــــــــ 252

○ مضخة الصوديوم هي المستقبلة للستيرويدات المقوية للقلب مثل الوابائين والديجوكسين ـــــــــــ 253

● إصدار إشعارات الكالسيوم داخل الخلية شامل وهو مقيد بشكل وثيق مع استتباب الكالسيوم ـــــــــــ 256

● يتم تواسط خزن الكالسيوم في الشبكة الهيولية العضلية / الباطنية بأتباز ـ الكالسيوم ـــــــــــ 260

○ تملك مضخات (أتباز) كالسيوم الشبكة الهيولية العضلية أو الباطنية ثلاثة أشكال متماثلة ـــــــــــ 263

● يملك الغشاء البلازمي لأغلب الخلايا مضخة كالسيوم مشتقة من ثلاثي فسفات الأدينوزين أيضاً ـــــــــــ 264

○ تختلف الأدوار النسبية لناقلات الصوديوم والكالسيوم المتعددة في الأنماط الخلوية المختلفة ـــــــــــ 265

○ تعلل الوظائف المختلفة التوزع المختلف لمبادل الصوديوم والكالسيوم وأتباز الكالسيوم P في نفس الغشاء البلازمي ـــــــــــ 266

● قد تكون جمل النقل مقترنة وظيفياً على التوازي أو التسلسل ـــــــــــ 266

● هناك انزيمات أتباز نقل في الغشاء البلازمي أخرى متعددة، تلعب أدواراً فيزيولوجية هامة أيضاً ـــــــــــ 268

○ أتباز الهيدروجين والبوتاسيوم يتوسط إفراز الحمض المعدي ـــــــــــ 268

○ يلعب إنزيمي الأتباز الناقل للنحاس أدواراً فيزيولوجية أساسية ـــــــــــ 272

○ ناقلات العليبة الرابطة لثلاثي فسفات الأدينوزين هي طائفة من إنزيمات أتباز من النمط P- ـــــــــــ 273

● يعتمد النقل الصافي عبر الخلايا الظهارية على تقارن جمل نقل الأغشية القمية والقاعدية الجانبية ـــــ 277
○ الظهائر عبارة عن صحائف مستمرة من الخلايا ـــــ 277
○ تبدي الظهائر تنوعاً وظيفياً عظيماً ـــــ 280
○ ما هي مصادر الصوديوم للنقل المشترك للذائبة والصوديوم في الغشاء القمي؟ ـــــ 281
○ يحدث امتصاص الكلور بآليات مختلفة متعددة ـــــ 283
○ يمكن للمواد أن تفرز أيضاً من قبل الظهائر ـــــ 285
○ جريان الماء الصافي مقترن بجريان الذائبة الصافي عبر الظهائر ـــــ 289
● الخلاصة ـــــ 291
● مفتاح الكلمات والمفاهيم ـــــ 293
● مسائل دراسية ـــــ 294

الباب الرابع : المحركات الجزيئية والتقلص العضلي

الفصل الثاني عشر : المحركات الجزيئية وآليات التقلص العضلي ـــــ 295
● تنتج المحركات الجزيئية تحركاً بتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة حركية ـــــ 295
○ الأنماط الثلاثة للمحركات الجزيئية هي الميوزين، الكاينيزين والداينين ـــــ 296
● الألياف العضلية الهيكلية المفردة مؤلفة من ليفات عضلية متعددة ـــــ 297
● القسيم العضلي هو الوحدة الأساسية للتقلص في العضلة الهيكلية ـــــ 298
○ يتكون القسيم العضلي من خيوط متشابكة رقيقة وثخينة ـــــ 298
○ الخيوط الثخينة مكونة في الغالب من الميوزين ـــــ 303
○ الخيوط الرقيقة في العضلات الهيكلية مكونة من بروتينات أربعة رئيسية: أكتين، تروبوميوزين، تروبونين، ونيبولين ـــــ 303
● تبعاً لآلية الخيط المنزلق، ينجم التقلص العضلي عن خيوط رقيقة وثخينة تنزلق أمام بعضها البعض ـــــ 304
● تقوي دورة الجسر التصالبي التقلص العضلي ـــــ 306

● في العضلات الهيكلية والقلبية، يفعل الكالسيوم التقلص بالارتباط إلى البروتين المنظم: التروبونين C _ 312
● بنية ووظيفة العضلة القلبية والعضلة الملساء مختلفة بوضوح عن تلك الخاصة بالعضلات الهيكلية _____ 314
○ العضلة القلبية تكون مخططة _____ 314
○ تحتاج خلايا العضلة القلبية إمداداً مستمراً من الطاقة _____ 314
○ للعمل كمضخة، يجب أن تتقلص الخلايا العضلية التي تشكل كل حجيرة من القلب بشكل متزامن _____ 314
○ لا تبدي العضلات الملساء التخطط الملاحظ في الأنماط العضلية الأخرى _____ 315
○ في العضلة الملساء، يسبب ازدياد تركيز الكالسيوم العصاري الخلوي تفعيل التقلص بتعزيز فسفرة السلسلة الخفيفة المنظمة للميوزين _____ 317
● الخلاصة _____ 322
● مفتاح الكلمات والمفاهيم _____ 323
● مسائل دراسية _____ 324
الفصل الثالث عشر : تقارن الاستثارة والتقلص في العضلة _____ 325
● يبتدأ تقلص العضلة الهيكلية بإزالة استقطاب الغشاء السطحي _____ 326
○ في العضلات الهيكلية، إزالة الاستقطاب تبتدئ التقلص _____ 326
○ تملك العضلات الهيكلية نفوذية مرتفعة للكلور أثناء الراحة _____ 326
○ النفضات هي تقلصات قصيرة الأمد تنجم عن جهد فعل مفرد _____ 329
○ كيف تزيد إزالة الاستقطاب من تركيز الكالسيوم داخل الخلية في العضلات الهيكلية؟ _____ 330
● التآثر الميكانيكي المباشر بين بروتينات غمد الليف العضلي وغشاء الشبكة الهيولية العضلية قد يتوسط تقارن الاستثارة والتقلص في العضلة الهيكلية _____ 330
○ هناك ضرورة لإزالة استقطاب غشاء النبيب T في العضلة الهيكلية من أجل تقارن الاستثارة والتقلص _ 330

- ليست هناك حاجة للكالسيوم خارج الخلوي في العضلات الهيكلية لتفعيل التقلص ـــــــــــ 331
- في العضلة الهيكلية، تخزن الشبكة الهيولية العضلية كل الكالسيوم اللازم للتقلص ـــــــــــ 333
- الثالوث هو البنية التي تتواسط تقارن الاستثارة والتقلص في العضلة الهيكلية ـــــــــــ 335
- يعتقد بأن تقارن الاستثارة والتقلص ميكانيكي في العضلة الهيكلية ـــــــــــ 337
- ترتخي العضلة الهيكلية عندما يعود الكالسيوم إلى الشبكة الهيولية العضلية بواسطة مضخة كالسيوم الشبكة الهيولية العضلية ـــــــــــ 339

● إطلاق الكالسيوم المحرض بالكالسيوم مركزي لتقارن الاستثارة والتقلص في العضلة الهيكلية ـــــــــــ 342

- يحدث التواصل في العضلة القلبية بين الشبكة الهيولية العضلية وغشاء غمد الليف العضلي عند أزواج وتقارن محيطي ـــــــــــ 342
- في العضلة القلبية، يحتاج تقارن الاستثارة والتقلص إلى الكالسيوم خارج الخلوي ودخول الكالسيوم عبر قنوات الكالسيوم من النمط L ـــــــــــ 343
- الكالسيوم الذي يدخل الخلية أثناء جهد الفعل القلبي يجب إزالته لصيانة حالة الثبات ـــــــــــ 345
- يمكن تنظيم التقلص القلبي بتغير تركيز الكالسيوم داخل الخلية ـــــــــــ 345

● يختلف تفعيل العضلة الملساء بطرق أساسية عن تقارن الاستثارة والتقلص في العضلات الهيكلية والقلبية ـــ 345

- العضلات الملساء متحولة بشكل كبير ـــــــــــ 345
- تختلف كثافة التعصيب بشكل كبير بين الأنماط المختلفة من العضلات الملساء ـــــــــــ 349
- بعض العضلات الملساء يتم تفعيلها بشكل سوي بإزالة الاستقطاب ـــــــــــ 352
- بعض العضلات الملساء يتم تفعيلها بشكل سوي بعوامل تحرض القليل من زوال الاستقطاب أو عدمه ـ 352

○ يفعل ثلاثي فسفات 1، 4، 5 اينوزيتول إطلاق الكالسيوم من الشبكة الهيولية العضلية للعضلة الملساء ـــــــــــــــــــــــــــــــ 357

○ تتم صيانة توازن الكالسيوم على المدى الطويل بآليات انتزاع الكالسيوم التي تعيض عن دخول الكالسيوم أثناء تفعيل العضلة الملساء ـــــــــــــــــــــــــــــــ 359

● الخلاصة ـــــــــــــــــــــــــــــــ 360

● مفتاح الكلمات والمفاهيم ـــــــــــــــــــــــــــــــ 362

● مسائل دراسية ـــــــــــــــــــــــــــــــ 363

الفصل الرابع عشر : ميكانيكية التقلص العضلي ـــــــــــــــــــــــــــــــ 365

● القوة الكلية المتولدة عن العضلة الهيكلية يمكن أن تختلف بآليات متعددة ـــــــــــــــــــــــــــــــ 365

○ يمكن زيادة قوة العضلة الكاملة بإجلاب الوحدات الحركية ـــــــــــــــــــــــــــــــ 365

○ ينتج جهد فعل مفرد تقلصاً نفضياً ـــــــــــــــــــــــــــــــ 366

○ ينتج التنبيه المتكرر تقلصات مندمجة ـــــــــــــــــــــــــــــــ 369

● تتميز ميكانيكيات العضلة الهيكلية بعلاقتين أساسيتين 371

○ يمكن فهم العلاقة بين طول العضلة الأولي والقوة بمصطلحات آلية الخيط المنزلق ـــــــــــــــــــــــــــــــ 373

○ تتناقص سرعة التقصير مع ازدياد القوة في التقلصات متساوية التوتر ـــــــــــــــــــــــــــــــ 375

● هناك ثلاثة أنماط رئيسية للوحدات المحركة العضلية الهيكلية الطورية ـــــــــــــــــــــــــــــــ 376

● يتم تنظيم القوة المتولدة عن العضلة القلبية بآليات متنوعة تسيطر على تركيز الكالسيوم داخل الخلية ـــــــــــــــــــــــــــــــ 379

○ تولد العضلة القلبية تقلصات طويلة الأمد ـــــــــــــــــــــــــــــــ 379

○ القوة الكلية المتطورة عن العضلة القلبية متعلقة بمستوى تركيز الكالسيوم داخل الخلية المتحقق أثناء التفعيل ـــــــــــــــــــــــــــــــ 382

● الخواص الميكانيكية للعضلة القلبية والهيكلية متشابهة، لكن هناك فروق كمية معتدة ـــــــــــــــــــــــــــــــ 384

○ تملك العضلة القلبية والعضلة الهيكلية المعزولة علاقات طول ـ توتر متشابهة ـــــــــــــــــــــــــــــــ 384

○ قوة تقلص القلب السليم تختلف كتابع لحجمه الأولي (نهاية الانبساط) ـــــــــــــــــــــــــــــــ 385
○ سرعة تقصير العضلة القلبية أبطأ من العضلة الهيكلية ـــــــــــــــــــــــــــــــ 385
● تختلف الخواص الحركية لتقلص العضلة الملساء بشكل ملحوظ عنها في العضلة الهيكلية والقلبية ـــــــــــــــــــــــــــــــ 386
○ يمكن استعمال ثلاث علاقات رئيسية لتعريف الخواص الحركية لوظيفة العضلة الملساء ـــــــــــــــــــــــــــــــ 386
○ علاقة الطول ـ التوتر في العضلات الملساء متسقة مع آلية الخيط المنزلق للتقلص ـــــــــــــــــــــــــــــــ 387
○ سرعة التقصير أقل بكثير في العضلة الملساء من العضلة الهيكلية ـــــــــــــــــــــــــــــــ 388
● يمكن تمييز بعض خواص الأنماط النوعية للعضلات الملساء بدراسة محركات الميوزين المستقلة ـــــــــــــــــــــــــــــــ 390
○ فسر تحليل تأثر جزيئي الأكتين والميوزين المفرد السؤال كيف تولد العضلات الملساء والهيكلية نفس المقدار من الإجهاد رغم سرعات التقصير المختلفة جداً 390
○ تعتمد الخواص الحركية لدورة الجسر التصالبي بشكل كبير على الأشكال المتماثلة للميوزين المعبرة في الخلايا ـــــــــــــــــــــــــــــــ 391
○ تعين فسفرة السلسلة الخفيفة للميوزين سرعة تقصير العضلة الملساء ومقدار الإجهاد المتولد ـــــــــــــــــــــــــــــــ 392
● العلاقة بين تركيز الكالسيوم داخل الخلية، فسفرة السلسلة الخفيفة للميوزين، والقوة في العضلات الملساء معقدة ـــــــــــــــــــــــــــــــ 393
○ يمكن للعضلات الملساء المتوترة أن تصون التوتر باستهلاك القليل من ثلاثي فسفات الأدينوزين ـــــــــــــــــــــــــــــــ 397
○ استباقياً: العضلات الملساء متنوعة وظيفياً ـــــــــــــــــــــــــــــــ 397
● الخلاصة ـــــــــــــــــــــــــــــــ 400
● مفتاح الكلمات والمفاهيم ـــــــــــــــــــــــــــــــ 403
● مسائل دراسية ـــــــــــــــــــــــــــــــ 403

الخاتمة : ـــــــــــــــــــــــــــــــ 405

الملاحق

الملحق (أ) : تذكير بالرياضيات ـــــــــــــــــــــــــــــــ 409

- الأسس ـــــــــــــــــــــــــــــــ 409
  - تعريف العملية الأسية ـــــــــــــــــــــــــــــــ 409
  - ضرب الأسس ـــــــــــــــــــــــــــــــ 410
  - معنى الرقم صفر كأساس ـــــــــــــــــــــــــــــــ 410
  - الأرقام السالبة كأسس ـــــــــــــــــــــــــــــــ 410
  - التقسيم الأسي ـــــــــــــــــــــــــــــــ 411
  - أسس الأسس ـــــــــــــــــــــــــــــــ 411
  - الكسور كأسس ـــــــــــــــــــــــــــــــ 411
- اللوجاريتم ـــــــــــــــــــــــــــــــ 412
  - تعريف اللوجاريتم ـــــــــــــــــــــــــــــــ 412
  - لوجاريتم حاصل الضرب ـــــــــــــــــــــــــــــــ 413
  - لوجاريتم الأس ـــــــــــــــــــــــــــــــ 414
  - تغيير أسس اللوجاريتم ـــــــــــــــــــــــــــــــ 414
- حل المعادلات التربيعية ـــــــــــــــــــــــــــــــ 415
- التفاضل والمشتقات ـــــــــــــــــــــــــــــــ 416
  - منحدر المخطط والمشتق ـــــــــــــــــــــــــــــــ 416
  - مشتق رقم ثابت ـــــــــــــــــــــــــــــــ 419
  - تفاضل المجموع أو فرق التوابع ـــــــــــــــــــــــــــــــ 419
  - مثال يوضح حساب المشتق ـــــــــــــــــــــــــــــــ 419
  - ما الذي يجعل التابع الأسي الطبيعي طبيعياً؟ ـــــــــــــــــــــــــــــــ 420
  - تفاضل التوابع المركبة: قاعدة السلسلة ـــــــــــــــــــــــــــــــ 421
  - مشتق التابع اللوجاريتمي الطبيعي ـــــــــــــــــــــــــــــــ 422
- التكامل: عكس المشتق والتكامل المحدد ـــــــــــــــــــــــــــــــ 424
  - التكامل المطلق (يعرف أيضاً باللامشتق) ـــــــــــــــــــــــــــــــ 424
  - التكامل المحدد ـــــــــــــــــــــــــــــــ 426
- المعادلات التفاضلية ـــــــــــــــــــــــــــــــ 426
  - المعادلات من الرتبة الأولى ذات المتفاوتات المنفصلة ـــــــــــــــــــــــــــــــ 426
  - التلاشي الأسي ـــــــــــــــــــــــــــــــ 428
  - المعادلات التفاضلية الخطية من الرتبة الأولى ـــــــــــــــــــــــــــــــ 429

الملحق (ب) : الجذر التربيعي للمتوسط لإحلال الجزيئات المنتشرة ـــــــــــــــــــــــــــــــ 433

الملحق (ج) : ملخص نظرية الدارة الابتدائية _____ **439**

- مثلث الأغشية الخلوية بنموذج الدارات الكهربائية _____ **439**
- تعريف المتثابتات الكهربائية _____ **439**
  - الجهد الكهربائي وفرق الجهد _____ **439**
  - التيار _____ **440**
  - المقاومة والمواصلة _____ **441**
  - المواسعة _____ **441**
- يجري التيار في دارات بسيطة _____ **443**
  - بطارية ومقاوم بالتوازي _____ **446**
  - مقاوم ومكثف على التوازي _____ **447**

الملحق (د) : إجابات مسائل دراسية _____ **453**

الملحق (هـ) : امتحان المراجعة _____ **475**

- أجوبة امتحان المراجعة _____ **497**

المراجع : _____ **498**

ACMLS
ARAB CENTER FOR AUTHORSHIP AND TRANSLATION OF HEALTH SCIENCE