كلية العلوم

القسم : علم الحياة

السنة : الرابعة

المادة : فزيولوجيا الحواس

المحاضرة : التاسعة/نظري/د. زهير

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

4

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

تقلص العضلات الملساء

أ- بنية العضلة الملساء:

- تتكون العضلة الملساء Plain muscle من خلايا مغزلية الشكل قطرها يتراوح بين ٥-٠ ميكرومتر، وطولها ٥٠-٥٠٠ ميكرومتراً. يحاط العضل الملساء بنسيج ضام يسمى غمد العضلة، ويمتد من هذا الغمد للداخل حواجز رقيقة لتكون غمد الحزمة الذي يحتوي على الأوعية الليمفية والشعيرات الدموية والأعصاب. كما تضم العضلة على ألياف مولدة غراء مرنة تكون الخلايا العضلية، وهي تعتبر المركب الأساسي للحيز بين خلوي للعضلة، وقد تتداخل الخلايا العضلية بعضها مع بعض لتكون شبكة مجهدة بالألياف المرنة.

- وعلى المستوى الخلوي تحوي كل خلية نواة واحدة مركزية التوضع، وتحوي سيتوبلازما على خيوط أكتين وخيوط ميوزين مماثلة لتلك الموجودة في خلايا العضلات الهيكلية، إلا أن نسبة خيوط الأكتين أعلى بكثير من نسبة خيوط الميوزين. كما أنها لا ترتكب مع بعضها بأشكال هندسية محددة كما في ألياف العضلة الهيكلية المخططة، وبالتالي لا تكون حزمات عضلية. ولا تحوي ألياف على أنيبيبات T، والشبكة البلازمية الداخلية غير متطورة أو معدومة، وتحتوي على عدد قليل من الميتوكوندريات، كما أنها لا تحوي على التروبونين، وإنما تحوي على بروتين آخر له ألفة كبيرة للكالسيوم يسمى الكالمودولين Calmodulin، وبذلك تكون آلية التحكم بتقلص مختلفة عن الآلية التي وجدناها في عضلات الهيكلية. ويأتي معظم الكالسيوم الضروري لتفاعل الأكتين والميوزين من وسط الخارجي للخلايا، حيث يؤدي تنبيه ألياف العضلة الملساء إلى فتح قنوات الصوديوم والكالسيوم والسماح بالنفوذ إلى داخل الخلايا.

- تحوي ألياف العضلات الملساء أجساماً كثيفة dense bodies موزعة في أرجاء السيتوبلازم أو تكون مرتبطة بالطي الداخلي للغشاء الخلوي، ويمتد من هذه الأجسام خيوط الأكتين، وهي بذلك تقوم بمقام خيوط Z في ألياف العضلة الهيكلية، وتوزع بينها عدد قليل من خيوط الميوزين.

- بالاعتماد على نمط تنظيم الألياف العضلية الملساء في العضلات واستجابتها للمنبهات الوظيفية يمكن تقسيم العضلات الملساء إلى ثلاثة أنماط أساسية هي:

أ- عضلات ملساء غير قابلة للاستثارة تلقائياً:

يطلق هذا المصطلح على العضلات الملساء التي لا تولد كمون فعل، ومثالها عضلات القصبات والشعب الهوائية والشرايين في بعض الأنواع الحيوانية، ومن هذا النمط يبقى كمون الغشاء مستقراً إلى أن ينبه النبيه، وقد يكون التنبيه ناجماً عصبياً أو خلطياً ناجماً عن نشاط بعض الأعضاء الوظيفية أو القادمة من الدم (كالهيستامين والبراديكينين)، ويكون التنبيه عصبياً

ينزع استقطاب الخلايا بعضها تقلص العضلات. كما يمكن لكمونات الفعل أن تنتقل إلى الألياف المجاورة عبر فوصلات الفجوة.

ب - عضلات ملساء تلقائية النشاط:

تدخل في تركيب جدار المثانة طبقتين والقناة الصفراوية والمثانة والحالبين والكثير من الأوعية الدموية الدقيقة. وهي تتكون من ألياف ملساء ملاصقة لبعضها. وترتبط مع بعضها ببعض عبر فوصلات دقيقة تعرف باسم فوصلات الفجوة Gap junctions وهي بمثابة مسالك كهربائية ذات مقاومة ضعيفة تسمح للتيارات الشاردية المرافقة لكمونات الفعل بالعبور بحرية، بحيث أن كمون الفعل المتشكل في أحد ألياف العضلة ينتقل عبر هذه الوصلات بسرعة فائقة إلى الألياف المجاورة مما يدفع جميع ألياف الحزمة للتقلص في آن واحد تقريبًا لتأمين القوة الكامنة لعمل العضلات، وتتميز هذه العضلات أيضًا بأن محلها يخضع لإشراف عصبي هرموني، وببعض المركبات الخلطية الجوالة في الدم. كما تتميز بقدرتها على التقلص الذاتي بدون أي منبه خارجي بإيقاعات نظمية تعتمد على آليات تلقائية عضلية المنشأ (تمامًا كما في المنبه العقدي للقلب)، ويعتمد هذا النشاط على الميت التلقائي لكمونات الفعل التي تكونها مناطق معينة ناظمة Pace maker يؤدي بمكنها أن تنزل استقطاب مجموعة من الخلايا ببطء، حتى تصل بها إلى مستوى عتبة التنبه، فتتكون كمونات فعل منتشرة قادرة على إثارة الفاعلية التقلصية للعضلة التي يمكنها أن تستمر تتقلص لفترات زمنية متفاوتة، مما يؤمن القوة العضلية المميزة لهذه العضلات. هذا ويمكن للجهاز العصبي أن يعدل النشاط التلقائي بشكل استثاري أو تثبيطي. ففي الأمعاء، على سبيل المثال، يقوم الأستيل كولين الناقل العصبي للجملة الودية بإزالة استقطاب العضلات الملساء، ونتيجة لذلك يزداد عدد وتردد كمونات الفعل في كل موجة بطيئة وتصبح التقلصات أكثر قوة. وعلى العكس فإن الفعل التثبيطي للنور أدرينالين الذي تطلقه الجملة العصبية الودية Sympathic System في العضلات يؤدي إلى توقف كامل للعضلة أو تثبيطها.

ج - عضلات ملساء متوسطة:

تتكون فيها ألياف العضلة مستقلة بعضها عن بعض، ويحيط بكل ليف طبقة عازلة من البروتينات السكرية والمادة الحاوية للغراء، وبالتالي فإن كل ليف يمكنه أن يتقلص بشكل مستقل عن الألياف الأخرى، وذلك بسبب الإيعازات العصبية التي يحملها إليه الليف العصبي، ونجد هذا النمط من العضلات الملساء في جدار الهدبي للعين وفي قزحية العين والعضلة الناصبة للشعرة وفي معظم الأوعية الدموية والحويصلات المنوية ويخضع عملها لإشراف الجهاز العصبي

الإعاشي فقط ولا تستجيب للهرمونات والمركبات الخلطية الأخرى، كما أنها لا تتقلص ذاتياً بغياب الإيعازات العصبية.

٢- التنظيم العصبي والخلطي لتقلص العضلات الملساء:

يعتمد تقلص العضلات الملساء اللاإرادية على الإيعازات العصبية فقط بشكل مماثل لما يحصل في العضلات الهيكلية. أما تقلص العضلات الملساء الحشوية فيعتمد على الإيعازات العصبية والهرمونية وبعض المركبات الخلطية الأخرى كنقص الأكسجين وزيادة ثاني أكسيد الكربون وانخفاض درجة الحموضة، ويعود السبب في استجابة هذا النمط من العضلات لمنبهات مختلفة إلى وجود أنماط مختلفة من المستقبلات على أغشية الخلوية. فالتنظيم العصبي للعضلات الملساء يتم بإشراف الجملة العصبية الودية Sympathic System والجملة شبه الودية Parasympathic System، حيث تتفرع محور العصبون بعد العقدي وينتشر أعلى الألياف العصبية دون أن يصنع معها ارتباطات بنيوية كتلك الموجودة في الوحدة المحركة الارتهائية للعضلات الهيكلية، وإنما توجد على مسار التفرعات الانتهائية للعصبونات الإعاشية انتفاخات عنبية تحوي حصيلات تمتلئ بالناقل العصبي الأستيل كولين أو النور أدرينالين. وبمجرد وصول الكمونات العصبية إلى نهايات المحورية للعصبونات الإعاشية تدخل شوارد الكالسيوم من الوسط خارج الخلوي إلى داخل الانتفاخات المحورية، وتحرض الحويصلات على التحرك باتجاه الغشاء الخلوي وتندمج معه إلى تحرير الناقل العصبي إلى الوسط الخارج خلوي. ينتقل الناقل العصبي في السائل الخلالي وعبره ينتقل ليصل إلى الألياف العصبية الملساء، ويرتبط بالمستقبلات النوعية الموجودة على سطح هذه الألياف، فإذا كانت الإيعازات العصبية قادمة من الجملة شبه الودية فإن النهايات المحورية تحرر في سوية العضلات الملساء الأستيل كولين الذي يرتبط في المستقبلات النوعية لأغشية خلاياها مسببًا تبدلات في بنيتها الفيزيائية الكيميائية، تفتح على أثرها قنوات الصوديوم والكالسيوم التي تسمح بتدفق شوارد من خارج الخلايا إلى داخلها، ينتج عن ذلك نزع استقطاب أغشيتها وحصول استجابة استثارية في بعض الأعضاء، وعندما يسبب ارتباط الأستيل كولين في المستقبلات فتح قنوات الكلور والبوتاسيوم ينتج عنه فرط استقطاب أغشية خلايا العضلة وحصول استجابة تثبيطية في أعضاء أخرى. والنور أدرينالين في العضلات الملساء يفعل معاكس للأستيل كولين، فعندما يثير الأستيل كولين العضلة الملساء فإن النور أدرينالين يثبطها والعكس صحيح.

ـــ مما يتعلق بالهرمونات فإن معظم الهرمونات الجوالة في الدم تؤثر في تقلص العضلات الملساء بدرجات متفاوتة ويتعلق الأمر بنوع المستقبلات الهرمونية الموجودة في الخلايا العضلية فإذا كانت استثارية أم تثبيطية وعددها. ومن أهم الهرمونات الجوالة في الدم التي تؤثر على

تقلص العضلات الملساء: تذكر الأدرينالين والفازوبريسين والأوكسيتوسين والأنجيوتنسين والسيروتونين والهستامين وغيرها. أما عن آلية تأثير الهرمونات من العضلات الملساء فيتم بإحدى الطرق التالية:

أ- يمكن أن يؤدي ارتباط الهرمون بمستقبلات الليف العضلي الأملس إلى فتح قنوات الصوديوم والكالسيوم إلى داخل الخلية مما يولد تيار استقطاب في الغشاء وتكوين كمونات فعل تمامًا كما يحصل في العضلات بفعل الإيعازات العصبية وأحيانًا يمكن أن يحدث التقلص دون كمونات فعل مثلما يفعل الكالسيوم الذي يدخل إلى الخلية محرضًا على التقلص.

ب- وقد يؤدي ارتباط الهرمون بمستقبلات الليف العضلي الأملس إلى إغلاق قنوات البوتاسيوم والكالسيوم ويمنع دخولها إلى الخلية أو إلى فتح قنوات البوتاسيوم مما يدفع البوتاسيوم إلى خارج الخلية مما يؤدي إلى كلتا الحالتين يزداد استقطاب غشاء الخلية ويتم تثبيطه.

ج- وفي حالات أخرى لا يؤدي ارتباط الهرمون بمستقبله إلى حدوث تبدلات في نفاذية الغشاء الخلوي ولا يؤثر في كمون الغشاء بل يسبب هذا الارتباط تبدلات داخل الليف العضلي تؤدي إلى خروج شوارد الكالسيوم من الشبكة البلازمية العضلية لوضع آلة التقلص موضع العمل.

د- أما إيقاف التقلص فيتم بارتباط الهرمون بمستقبل آخر ليفعل إنزيم الأدينيل سيكلاز الموجود في غشاء الخلية ويحرضه على جلهرة ATP وإنتاج الأدينوزين أحادي الفوسفات الحلقي AMPc وهذا بدوره يعمل منفردًا أو بعض الإنزيمات كينات التي تساهم في ضخ شوارد الكالسيوم إلى خارج الخلية أو إلى داخل الشبكة البلازمية الداخلية مما يثبط التقلص.

- هذا وتعمل بعض المركبات الخاطية كعوز النبع للأوكسجين أو زيادة غاز ثاني أكسيد الكربون أو انخفاض درجة الحرارة أو زيادة شوارد الهيدروجين أو البوتاسيوم أو نقص الكالسيوم أو نقص شوارد الكالسيوم تأثيرًا على تقلص العضلات الملساء. إذ أن جميع المركبات المذكورة أعلاه تسبب ارتخاء العضلات الملساء وتؤدي إلى حدوث توسع وعائي موضعي ولكنه الآلية التي تؤثر بها هذه العوامل في التحكم بتقلص العضلات ما زال مجهولًا ويحتاج إلى المزيد من الأبحاث.

٣- آلية تقلص العضلات الملساء:

يؤدي تفعيل ألياف العضلة الملساء عصبيًا أم خلطيًا إلى زيادة شوارد الكالسيوم داخل الخلايا، يتحد الكالسيوم عندها مع بروتين الكالمودولين ويشكل معقد الكالسيوم - كالمودولين الذي يعمل على تنشيط أحد البروتينات هو إنزيم كيناز الميوزين وهذا بدوره يفسف الرؤوس الميوزينية مما يسمح للارتباط بالمواقع الفعالة للخيوط الأكتينية الأكتين مما يؤدي إلى حدوث دورة عمل الارتباط الميوزين الأكتين ينتج عنه سحب الخيوط الأكتينية وعندما يقل تركيز الكالسيوم إلى مستوى محدد يتدخل إنزيم آخر هو فوسفور الميوزين الذي يعمل فصم زمرة فوسفات

عند ارتباط الميوزينين مع موقع الارتباط الأكتيني الميوزين يوقف التقلص العضلي. إذا تقلص العضلات الملساء يكون بطيئاً وقد يستمر لعدة ثوان ومع تكرار التنبيه تزداد القوة التي تولدها العضلات الملساء ويمكنها أن تحافظ على توترها عند مستويات مرتفعة لفترة طويلة.

ج - مقارنة بين تقلص العضلات الملساء والعضلات الهيكلية:

على الرغم من أن الخطوط العامة لتقلص العضلات متشابهة في العضلات الملساء والعضلات الهيكلية إلا أنه يمكن ملاحظة الاختلافات التالية:

أ - إن سرعة دوران الجسور الميوزينية الأكتينية أثناء تقلص العضلات الملساء في الدورة الواحدة (ارتباط وفك ارتباط) أبطأ مما هو عليه في العضلات الهيكلية وهي بحدود ١٠ مرات من الثانية مقابل ٠,٠١ مرة/ثانية في العضلات الهيكلية. ويعود السبب في بطء دوران الرؤوس الميوزينية إلى أن فاعلية الرؤوس الميوزينية الملساء لفاعلية ATPase أقل بكثير في العضلات الملساء مما هو عليه في العضلات الهيكلية وبالتالي فإنه جزيئة ATP الذي يزود الرؤوس الميوزينية بالطاقة تكون أبطأ وتنقص سرعة دوران الرؤوس الميوزينية.

ب - قوة التقلص في العضلات الملساء أكبر مما هو عليه في العضلات الهيكلية وينتج ذلك عن طول فترة ارتباط الجسور الميوزينية الأكتينية وهي بحدود ٤-٦ كغ/سم٢ في العضلات الملساء مقابل ٤ كغ/سم٢ في الهيكلية.

ج - إن الطاقة المستهلكة لإنجاز التقلص في العضلات الملساء أقل بكثير من الطاقة اللازمة لتقلص العضلات الهيكلية وينتج ذلك عن بطء دوران الجسور الميوزينية الأكتينية وهذا الاقتصاد في الطاقة ضروري للحفاظ على القوة العضلية المديدة للعضلات الملساء التي تدخل في تركيب جدران الأحشاء والأوعية الدموية كما أن المجال يمكن من إغلاق فوهة لعدة ساعات بفعل تقلص عضلة إغلاق وهي عضلات ملساء ولا يحتاج تقلص المدير للحافظ على إغلاق الفوهة إلا إلى مقدار ضئيل من الطاقة الكيميائية.

د - يبدأ العمل الآلي للعضلات الملساء بعد ٠,٠٥ ملي ثانية من بدء التنبيه / الزمن الكامن / ويصل إلى ذروة تقلص خلال نصف ثانية ثم تنقص قوة التقلص خلال ١-٢ ثانية وزمن التقلص بحدود ١-٣ ثانية أما الزمن الكامن في العضلات الهيكلية فهو بحدود ٠,٠١ ملي ثانية وزمن التقلص بحدود ١٠,٠-١٥ ملي ثانية وهو أقل بكثير مما هو عليه في العضلات الملساء ويفسر ذلك ببطء ارتباط الجسور الميوزينية الأكتينية وانفكاكها.

هـ - إن مدى تقاصر العضلات الملساء أثناء التقلص يكون أكبر مما هو عليه في العضلات الهيكلية مع احتفاظها بقوة التقلص كاملة وهذا السمح للعضلات الملساء بأداء وظائفها الهامة في الأحشاء والتي تحتوي على تجاويف يمكنها المحتوى من التغير لمسافات أحجام كبيرة.

+ القوية العضلية:

يمكن لبعض عضلات الجسم أن تحافظ على تقلصها لمدة طويلة من الزمن دون بذل جهد ودون أن تتعب، وتسمى هذه الخاصية بالقوية Tonus العضلية.
وهي قوة التقلص الدائمة التي تخضع كل عضلة من حالة راحتها الظاهرية لتحافظ على وضعية الجسم أثناء اليقظة بفعل التقلص القوي لكثير من عضلات الجسم نذكر منها: بقاء الرأس مرفوعاً بفضل قوة تقلص عضلات الرقبة والعضلات الموجودة عند قاعدة الرأس والتصاق الفخذ السفلي بالفخذ العلوي. وتحافظ هذه العضلات على قوتها بفضل إيعازات عصبية ضعيفة التواتر تؤمن تقلصاً مديداً لهذه العضلات مع أقل مصروف ممكن من الطاقة ودون أن تحرض على الحركة أو الانتقال، كما أن تأثرها بالتعب يكون قليلاً. وتسترخي هذه العضلات عند النوم فينكبو الرأس نحو الأسفل، وقد يتدلى الفخذ السفلي نحو الأسفل نتيجة زوال الإيعازات العصبية المسببة للتقلص القوي. هذا ويمكن للعضلات الباسطة أن تدخل في تقلص توتري (قوي) عند وقوع الشخص على الظهر أو البطن.

مكتبة A to Z