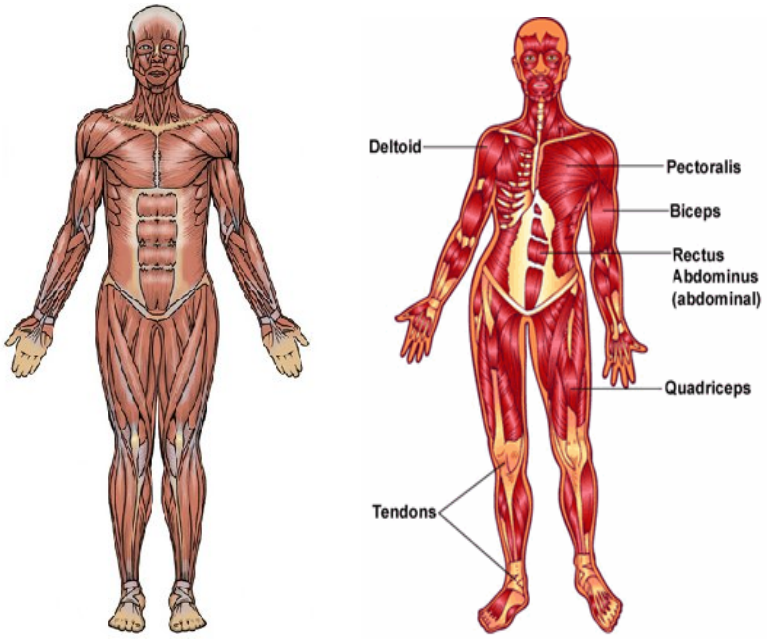
ثانياً: الجهاز العضلي (العضلات)

مقدمة:

الجهاز العضلي الهيكلي وهو يمثل حوالي 55% من وزن الجسم في الشخص البالغ، وللعظام والعضلات وظائف هامة، فالخلايا العضلية تقوم باستعمال الطاقة لتوليد القوة والحركة لاستخدامها بوساطة الفرد في تنظيم بيئته الداخلية Internal environment وإنتاج جميع أنواع حركته في بيئته الخارجية.

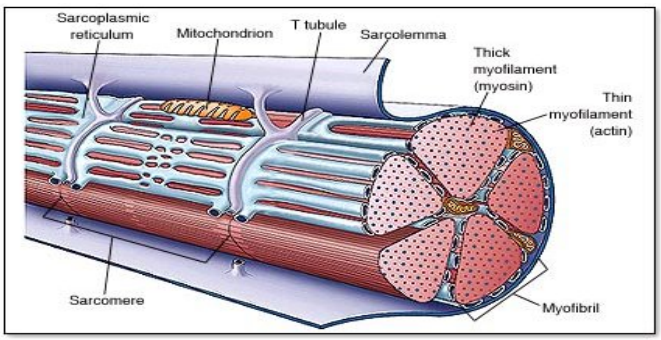


الشكل 40) الجهاز العضلي

كما تشترك العظام والعضلات في عملية التوازن الداخلي (الاستتباب) Homeostasis فالعظام تعمل على المحافظة على الثبات النسبي لمستوى أيون الكالسيوم في الدم واللازم أيضاً لانقباض العضلات. كذلك ففي التعرض للجو البارد تنقبض العضلات نبضياً (رعشة Shivering) مسببة إنتاج طاقة للمحافظة على الثبات النسبي لدرجة حرارة الجسم Body temperature homeostasis بالإضافة إلى ذلك فالانقباض العضلي في الإنسان هو المسؤول عن الكلام وتناول الأشياء والتصنيع وأداء احتياجات الفرد اليومية....إلخ.

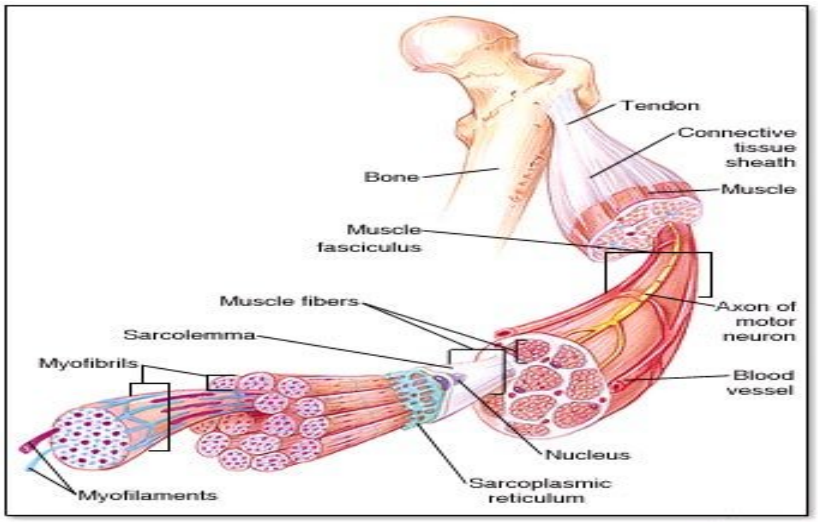
والعضلات مثل سائر أعضاء الجسم المختلفة، تتكون من خلايا إلا أنها خلايا من نوع خاص فهي طويلة ورفيعة، ومن المعتاد تجمع عدد كبير منها لتكوين وحدة العضلة التي تسمى الليف

العضلي. ومن أهم صفات الألياف العضلية قدرتها على الانقباض أو القصر والانبساط. يبلغ عدد العضلات (600) عضلة مخططة في الإنسان تخضع في انقباضها وانبساطها للإرادة الواعية لذا توصف بأنها إرادية. و يتم التحكم بها بوساطة الأعصاب الحركية. تشكل العضلات نحو (40%) من وزن الذكر و(23%) من وزن الأنثى. وهي عبارة عن مجموعة خلايا بروتوبلازمية والألياف المرتبطة مع بعضها على شكل مجاميع عضلية بوساطة النسيج العضلي وتتكون من جزء منتفخ يسمى بطن العضلة، ومن طرفين يتصل كل طرف بوتر ويكون عمل هذه الأوتار ربط العضلات بالهيكل العظمي ويحاط كل نسيج عضلي بغلاف وتتميز الأنسجة العضلية بخاصية التقلص والانبساط ومن خلال هذا العمل يتدفق الدم إلى الخلايا العضلية حاملاً الغذاء فتقوى وتنمو العضلات والأوتار العضلية التي تربط العضلات بالعظام لها خاصية ارتباط الأوردة الدموية التي تصل العضلة مع الأعصاب وذلك لنقل الدم والسيالات العصبية للعضلة ويدعى القرص البيني: تركيب من التقاء الغشاءين العرضيين لخليتين متجاورتين من خلايا العضلات القلبية، ويسهل نقل السيالات العصبية من خلية لأخرى. أما الوتر: نسيج ضام قوي غني ببروتين الكولاجين يربط بين عضلة وأخرى أو بين عظم وعضلة. والليف العضلي: حزمة من خيوط تحتويها الخلية العضلية الواحدة . تحاط جميعها بغشاء بلازمي وأحد، ويتخللها شبكة اندوبلازمية متسقة، تخزن الكالسيوم اللازم لانقباضها. ويقع تحت غشائها البلازمي العديد من الميتوكندريا والنوى، وقليل من السيتوبلازم. وتحتوي على خيوط الأكتين: هي خيوط بروتينية رفيعة من مكونات الليف العضلي. خيوط الميوسين: هي خيوط بروتينية سميكة ومن مكونات الليف العضلي.



الشكل (41) بنية الليف العضلي

تكوين العضلة: تتكون العضلة من عدد كبير من الحزم التي تحتوي على الألياف العضلية الطويلة الرفيعة. وعندما تكون الألياف في وضعها الطبيعي . أي منبسطة . تكون العضلة منبسطة. وعندما تنقبض الألياف العضلية، تنقبض العضلة وبذلك تقل في الطول وتتصل العضلة عادة بعظمتين، فعندما تنبسط العضلة لا يحدث شيء فيهما ولكنها ما إن تنقبض حتى تتحرك العظمتان .



الشكل (42) بنية العضلة

عمل العضلة: إن ثني الساعد عملية مزدوجة، تنقبض فيها العضلة ذات الرأسين وتنبسط العضلة ذات الثلاثة رؤوس في نفس الوقت. وبسط الساعد عملية مزدوجة أيضاً، فتنقبض فيها العضلة ذات الثلاثة رؤوس وتنبسط العضلة ذات الرأسين ذلك هو سر معظم عضلات الجسم فهي تعمل مثنى أو في مجموعات سواء في ذلك عضلات الساقين أو عضلات الأصابع أو العضلات الست التي تحرك مقلة العين فلا توجد عضلة تعمل بمفردها، فمهما كان العمل الذي تؤديه العضلة بسيطاً فهناك عضلة أخرى تعمل عكس ذلك العمل. بل وأكثر من ذلك، فإن أبسط حركة تستدعي نشاط مجموعات بأكملها من العضلات، وقد يكون بعضها بعيداً عن مكان الحركة، ومثال على ذلك عندما تشد الحبل تجد أن عضلات الساق والظهر وأصابع القدم تشد أزر عضلات الذراعين. عندما تنقبض العضلة تقصر في الطول ولكنها تزداد سمكاً في الوسط وذلك يحدث في الألياف العضلية وبذلك تظهر في العضلة بأكملها. ولذلك تتضخم العضلة ذات الرأسين عند ثني الذراع . وفي انقباض العضلة العادي، لا ينقبض إلا عدد معين من الألياف

العضلية، ذلك لأننا لا نحتاج في الأحوال العادية إلا إلى قدر قليل محدود من المجهود. أما في المجهودات الشاقة، فإن عدد الألياف العضلية الذي ينقبض يزداد بالتدريج ونتيجة لذلك يزداد حجم العضلة وتزداد صلابتها عند الانقباض. من هذا نرى أن العضلات تنمو وتزداد قوة بالعمل أو بأداء التمرينات الرياضية. ونحن لا نحتاج إلى عضلات كبيرة نامية فوق العادة، وفي الواقع تنمو بعض العضلات إلى درجة تعوق العضلات الأخرى عن العمل وتبطئ الحركة .

توتر العضلة: ويزداد توتر العضلة في الجو البارد وهذا يؤدي إلى ظهور نتوءات صغيرة في الجلد مما أدى إلى تسمية الجلد بجلد الأوزة. فجسم الإنسان مغطى كله بشعيرات خفيفة جداً لدرجة أننا لا نشعر بها. وتنمو هذه الشعيرات من بصيلات دقيقة تحت الجلد. ويتصل بجدار هذه البصيلات عضلات دقيقة جداً تنقبض عندما يتعرض الجلد للبرد أو الصقيع فيقف شعر الجلد. وهذه طريقة من طرق الجسم للاحتفاظ بالحرارة، وفي الوقت نفسه دفع البصيلات إلى الخارج تحت الجلد لدرجة أنك تستطيع رؤيتها على هيئة نتوءات صغيرة.

فائدة شعيرات الجسم:لشعيرات جلد الإنسان فائدة كبيرة، فبالقرب من كل شعرة نجد نهاية عصبية تسمى بقعة لمس وعندما تزحف حشرة على الجلد فإنها تحدث اضطراباً في الشعيرات محدثة تغييرات في بقع اللمس فتشعر بإحساس ينذرك بوجود الحشرة. لا توجد شعيرات عند أطراف الأنامل ولكنها حساسة جداً لأسباب أخرى. فإننا لو رفعنا راحة اليد وفحصنا جلدها لوجدنا خطوطاً عليها بارزة بينها أخاديد دقيقة تشكل أنماطاً من الأقواس والدوائر. وهذه الخطوط البارزة حساسة جداً نستعملها باستمرار لنتحسس بها طبيعة الأشياء .

أنواع العضلات: يمكن تقسيم العضلات إلى مجموعتين هما:

- عضلات لها مندغمات:ومنبت العضلة هو طرفها القريب من المحور الطولي المنصف للجسم ومندغم العضلة هو طرفها البعيد، وتنبت هذه العضلات على تراكيب هيكلية . ويطلق عليه اسم العضلة الطولية . ومن أمثلة هذا النوع العضلات التي تحرك الأطراف كالأرجل .
- عضلات من دون منابت أو مندغمات:وهي مرتبة حول تراكيب جوفاء، وهذه العضلات بصورة عامة أبطأ في حركتها من الطولية، والغالبية العظمي منها وترية، ولذا تسمى العضلات الوترية. ومن أمثلة هذه العضلات:عضلات جدران القناة الهضمية والأوعية الدموية .

الوحدات الحركية للعضلة The motor unit :

إن العضلة تنقبض عندما ينبه العصب كهربائياً. وواضح أن العضلة لا تنقبض تلقائياً. ولكنها تنقبض فقط عندما تثار عن طريق إما العصب أو بشكل مباشرة بوساطة تيار كهربائي . ومن البديهي أنه: كلما قل عدد الألياف العضلية في الوحدة الحركية كلما كانت الحركة الناتجة سريعة ودقيقة ولكن ينقصها القوة . وكلما زاد العدد كلما كانت الحركة الناتجة قوية . وتزداد قوة انقباض العضلة كلما زاد عدد الوحدات الحركية التي أثيرت، وتصل قوة انقباض العضلة إلى حدها الأقصى عندما تثار جميع الوحدات الحركية المكونة للعضلة . وإذا كانت الوحدة البنائية للعضلة هي الليف العضلي، فإن الوحدة الوظيفية هي الوحدة الحركية التي تتكون من الخلية العصبية و الألياف العصبية التي تغذيها هذه الخلية والخلية العصبية (العصبون) يكون جسمها في الجهاز العصبي المركزي ويخرج منه محور وسطي طويل يسير مع مئات المحاور العصبية التي تدخل إلى العضلة، وبعد دخولها العضلة يتفرع المحور إلى تفرعات نهائية قد تصل الألفين حتى يصبح لكل ليف عضلي ليف عصبي يغذيه.وينتهي الليف العصبي " بـ الصفيحة الحركية " التي تشبه القطب الكهربائي وهي تقوم بنقل التأثيرات العصبية من الليف العصبي إلى الليف العضلي فيحدث الرجفان العضلي، وجميع الألياف العضلية تستجيب للتأثير العصبي كوحدة واحدة. وعندما ينقبض الليف العضلي فإنه ينقص من طوله بمعدل النصف أو الثلثين، وهذا يؤدي إلى حقيقة أن معدل الحركة يعتمد على طول الألياف العضلية، وأن القوة الناتجة تعتمد على عدد الوحدات الحركية التي استجابت للتأثير العصبي

يصل كل عصب محرك Motor neuron. يغادر النخاع الشوكي عدداً من الألياف العضلية المختلفة، ويعتمد هذا العدد على نمط العضلة وتسمى جميع الألياف العضلية المتصلة بليفة عصب محرك وأحد بالوحدة العضلية Motor unit. وبشكل عام فإن العضلات الصغيرة ذات الحركة السريعة والتي تحتاج لتنظيم دقيق تحتوي في كل وحدة حركية على عدد قليل من الألياف العضلية (2 – 3 في بعض عضلات الحنجرة) وبالمقابل قد تحتوي العضلات الكبيرة التي لا تحتاج إلى تنظيم دقيق جداً مثل عضلة الساق على عدة مئات من الألياف العضلية في كل وحدة حركية. لا تتجمع الألياف العضلية في كل وحدة حركية في العضلة مع بعضها بل تنتشر في العضلة في حزم صغيرة مكونة (3 – 15)ليفة فهي بذلك تأخذ موضعاً بين حزم صغيرة مشابهة من وحدات حركية أخرى. وهذا التداخل يسمح للوحدات الحركية المنفصلة أن تنقبض (تتقلص) داعمة بعضها بعضاً أكثر مما لو كانت كوحدات منفصلة بشكل عام. يؤدى

الانقباض المتتابع إلى الحالة المعروفة وهي إجهاد العضلة. وقد أظهرت الدراسات أن إجهاد العضلة يزداد بشكل متناسب مع نقص غليكوجين العضل ولذلك يكون معظم الإجهاد ناجماً عن عدم قدرة الأحداث الانقباضية للألياف العضلية على مواصلة العمل، بالإضافة إلى ذلك فإن نقل الإشارة العصبية عبر الوصلة العصبية العضلية Neuromuscular junction يمكن أن تنقص الفعالية للعضلة وهذا بالتالي يقلل الانقباض العضلي. هذا بالإضافة إلى عوامل أخرى مثل درجة الحرارة والأس الهيدروجيني، ويؤدى قطع جريان الدم عبر العضلة المنقبضة إلى إجهاد العضلة الكامل في خلال دقيقة بسبب النقص الواضح في تزويد المواد الضرورية ولا سيما الأكسجين.

الاتصال العصبي العضلي:

وهو نوع خاص من المشبك العصبي تنتهي فيه الليفة العصبية المتصلة بالعضلة على شكل فروع صغيرة تنتشر على سطح الليفة العضلية. ينتهي كل فرع صغير في حفرة على سطح الليفة العضلية تسمى ميزان المشبك ويوجد في هذه الحفرة أنزيم خاص يسمى كولين استرين استريز يساعد على تحليل مادة الاستيل كولين التي تلعب دوراً هاماً في نقل النبضة من الليفة العصبية إلى الليفة العضلية وعندما تصل النبضة العصبية إلى الفروع الصغيرة تتحرك مادة الاستيل كولين عند نهايات هذه الفروع وتمر هذه المادة بالانتشار عبر غشاء الليفة العضلية التي بداخلها. وتبدأ في التأثير على الغشاء وإذا تحررت هذه المادة اسيتيل كولين بكمية كافية تؤدي إلى إزالة استقطاب الغشاء فإن تأثيرها يتولد في الليفة العصبية نفسها . وتجري هذه النبضة العصبية في نفس الوقت في جميع الألياف العضلية المكونة للوحدة الحركية. ولذلك تنقبض هذه الألياف جميعها في نفس الوقت وبعد ذلك يبدأ عمل أنزيم كولين استريز الموجود بوفرة في ميزاب المشبك وعمله هو مهاجمة الاستيل كولين وتحليله مسبباً بذلك إعادة استقطاب الغشاء مرة أخرى أي انبساط الألياف العضلية ومن ثم انبساط العضلة .

آلية انقباض العضلة:

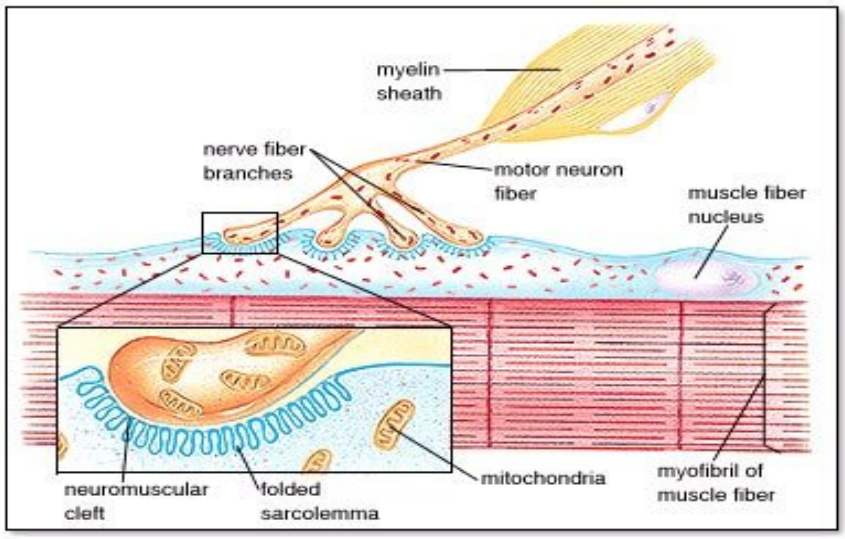
جميع أنواع العضلات تحتوي على خيوط الأكتين الرفيعة وخيوط الميوسين الغليظة ويخرج من القرن البطني للحبل الشوكي ألياف عصبية أو محاور لخلايا عصبية حركية. يتصل المحور الواحد بمجموعة من الألياف العضلية التي يتباين عددها حسب حجم العضلة ونوع الحركة المطلوبة منها. عند تنبيه أحد المحاور أو الخلية العصبية الحركية بمنبه قوي، فإن كل الألياف

العضلية المرتبطة بذلك المحور تتقبض معاً، وبأقصى ما لديها. ونستطيع زيادة قوة انقباض العضلة بزيادة أعداد الألياف العضلية المشاركة في الانقباض إلى أن تشارك ألياف العضلة جميعها بالانقباض. وهنا يصل انقباضها إلى حده الأقصى ويحكم ذلك قانون الكل أو العدم.

وتتم آلية الانقباض كما يلي:

1- عند تنبيه أحد المحاور العصبية بمنبه ما:

- يتحرر الناقل الأستيل كولين من النهايات العصبية.
- يرتبط بمستقبلاته على الغشاء البلازمي لليف العضلي.
- تزداد نفوذية الغشاء للأيونات.
- تنتج حالة إزالة الاستقطاب في غشاء الليف العضلي بنفس الطريقة التي تمت عند تنبيه العصبون.



الشكل (43) الوحدة المحركة

- إن إزالة الاستقطاب وإعادة الاستقطاب يشكلان جهدَ فعلٍ ينتشر على طول الليف العضلي وعبر انغمادات غشائية تدعى الأنيبيبات المستعرضة تمتد بين الليفات العضلية وتصل إلى مقربة من مخازن الكالسيوم في الشبكة السيتوبلازمية الداخلية مما يؤدي إلى تحرر الكالسيوم منتشراً بين الخيوط العضلية البروتينية مؤدياً إلى انقباضها.

فرضية الخيوط المنزلقة:

وضع العالمان البريطانيان (هكسلي وهانسون) فرضية الخيوط المنزلقة اعتمادا على دراساتهما بالمجهر الإلكتروني للعضلات المخططة في أثناء الانقباض والراحة وقد وجدا أن:

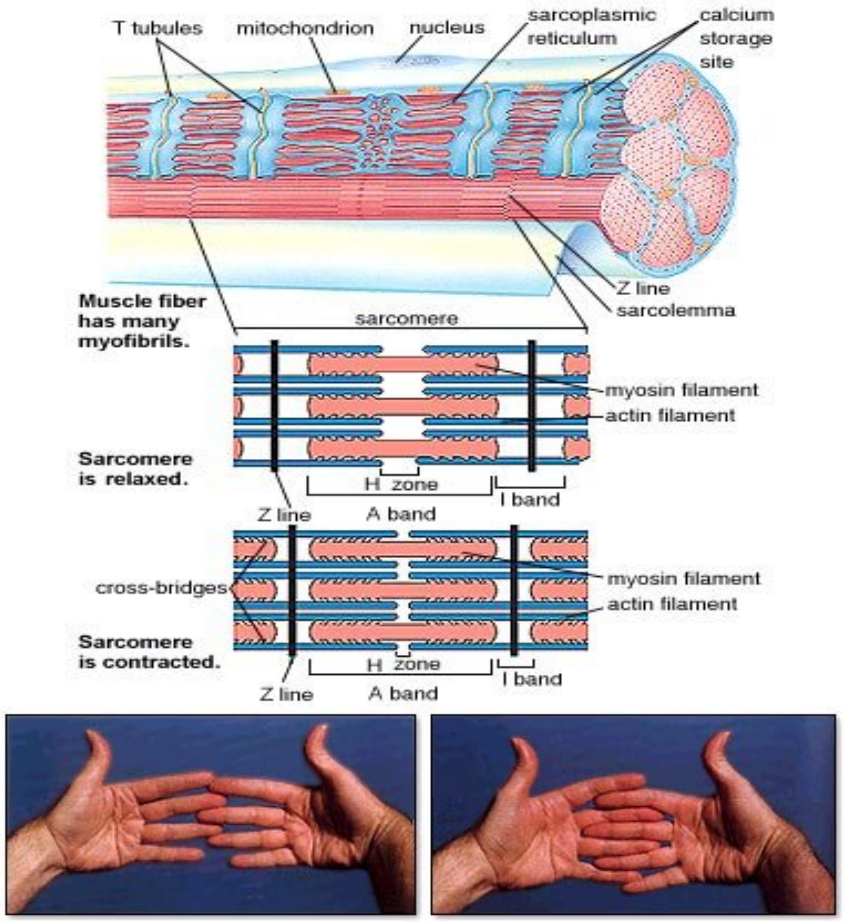
1- طول خيوط الميوسين السميكة يبقى ثابتا أثناء الانقباض والراحة بينما يقصر طول القطعة العضلية ويقترب خطا (Z) من بعضهما عند الانقباض ويزداد طول القطعة العضلية ويبتعد الخطان عن بعضهما في حالة الانبساط.

2- أدت هذه الملاحظة إلى الاستنتاج بأن خيوط الأكتين الرفيعة تنزلق على خيوط الميوسين الغليظة، مقربة خطي (Z) من بعضهما مسببة قصر القطعة العضلية وبالتالي قصر العضلة بأكملها. ولكن لماذا تنزلق الخيوط الرفيعة والسميكة على بعضها في أثناء الانقباض فقط ولا يحدث ذلك في أثناء الانبساط ؟

السبب في ذلك يعود إلى أيونات الكالسيوم:فعند صدور أمر بالحركة يؤدي إلى حدوث جهد فعل، وهذا يؤدي إلى تحرير أيونات الكالسيوم التي تسبب ارتباطا مباشراً بين الجسور العرضية للميوسين وخيوط الأكتين. ونظراً لقدرة الجسور العرضية على الانثناء نحو وسط القطعة العضلية (منطقة H) فإن هذه الجسور تسبب سحب خيوط الأكتين معها نحو وسط القطعة العضلية ويحدث بذلك الانزلاق. تحتاج العضلة إلى الطاقة في كل من الخطوات التالية 1- تكرار انثناء الجسور العرضية لأحداث انزلاق معقول وتكراره يتطلب فصل الارتباط بين الجسر العرضي والأكتين، ثم إعادة ارتباطه بموقع جديد على خيط الأكتين يكون أقرب إلى خط Z. تحتاج عمليتا الفصل وإعادة الارتباط إلى استهلاك جزيء وأحد من ATP.

2- إعادة ضخ أيونات الكالسيوم نحو مخازن في الشبكة الستوبلازمية الداخلية عند زوال المنبه وقبل حدوث الانبساط تحتاج إلى طاقة ATP (ويعد هذا نوعا من النقل النشط).

3- تحتوي العضلة عادة على كمية قليلة من جزيئات ATP وهي المصدر المباشر لانقباض العضلة وهذه الكمية لا تكفي إلا لبضعة انقباضات. ويؤدي نقص كمية ATP إلى أن تبقى الجسور العرضية مرتبطة بمكان وأحد من الأكتين مما يؤدي إلى استمرار انقباض العضلة وهذا ما يعرف بالتشنج العضلي.



الشكل (44) فرضية الخيوط المنزلقة

4- هناك مصادر أخرى للطاقة منها:

أ- فوسفات كرياتين (Creatine Phosphate CP) وهو مصدر سريع لتزويد العضلة بالطاقة، يكفي لمدة ثوانٍ فقط .

ب- غليكوجين: يتحطم غليكوجين بوساطة أنزيمات متعددة ويعطي سكر الجلوكوز الذي يتأكسد ويتحلل ليعطي 38 ATP في عملية الفسفرة التأكسدية تزود العضلة بالطاقة في غضون (5 - 10)دقائق من التمرين. وتلجأ العضلة إلى عملية التخمر عندما تكون الانقباضات متتالية وسريعة وكمية الأكسجين غير كافية لإتمام عملية الفسفرة التأكسدية. نتيجة ذلك يتراكم حمض اللاكتيك (حمض اللبن) في العضلة مسبباً حالة تعرف بـ (إعياء العضلة) لأن الحموضة الزائدة الناتجة من تراكم حمض اللبن تؤدي إلى إنقاص القوة التي تولدها انثناءات

الجسور العرضية. وباستراحة بسيطة يمكن أن تنقبض العضلة إذا ما نبهت إذ يستهلك حمض اللبن لبناء غليكوجين وفوسفات كرياتين من جديد.

التغيرات التي تصاحب الانقباض العضلي:

يصحب انقباض العضلات الإرادية ثلاثة أنواع من التغيرات هي:

- تغيرات كيميائية .
- تغيرات حرارية .
- تغيرات ميكانيكية .

أولاً . التغيرات الكيميائية للانقباض العضلي: تتكون العضلة كيميائياً من:(20%)بروتين خاص يسمى بروتين العضلة أو كتين وميوسين .87% ماء . 2% مواد مختزنة للطاقة هي فوسفات الأدينوسين . الكرياتين . النشا الحيواني . وتتغير المواد المختزنة للطاقة باستمرار تبعاً لنشاط العضلة وذلك نتيجة لتأثير مجموعة الأنزيمات المختلفة الموجود فيها .

ثانياً . التغيرات الحرارية للانقباض العضلي: يصحب انقباض العضلة انطلاق مقدار من الحرارة تمكن العلماء من قياسها بدقة باستخدام ترمومترات كهربائية وسبب هذه التغيرات الحرارية هي التفاعلات التي تحدث في العضلة وتنطلق الحرارة في أثناء انقباض العضلة، أما في أثناء انبساطها تنطلق أيضاً حرارة تعادل تقريباً حرارة الانقباض

ثالثاً . التغيرات الميكانيكية للانقباض الحركي: عند انبساط العضلة وانقباضها تحدث تغيرات ميكانيكية وهي تحرك الجزء المتصل بالعضلة طولاً أو أن ينقص هذا الجزء مثل حركة اليد أو الرجل أو المثانة .... الخ ويمكن تقسيم الحركة الميكانيكية إلى ثلاثة أقسام أو ثلاثة فترات وهي:

- فترة الكمون: وهي فترة قصيرة تنقضي بين بداية التنبيه العصبي وبداية انقباض العضلة .
- فترة الانقباض: وهي تأتي مباشرة بعد فترة الكمون وفيها تنقبض العضلة وتقصر مسببة الحركة .
- فترة الانبساط: وفيها تنبسط الألياف العضلية ويزداد طولها وتعود العضلة إلى طولها الأصلي. وهذه الفترة أطول من فترة الانقباض .

أنواع العضلات:

تقسم العضلات تبعاً لخواصها الانقباضية وتركيبها إلى ثلاثة أنواع هي:

- العضلات الهيكلية.

- العضلات الملساء.
- العضلات القلبية.

العضلات الهيكلية The skeletal muscles:

سميت بالعضلات الهيكلية لأنها تتصل بالهيكل العظمي وتسمى أيضاً بالعضلات المخططة Striated muscles لأنها تظهر تحت الميكروسكوب الضوئي مخططة كنتيجة لوجود حزم من خيوط الأكتين Actin والميوسين Myosin. ولأن انقباضها يخضع لتحكم الجهاز العصبي الإرادي عن طريق الأعصاب المحركة Motor neurons التي تتصل بالعضلات الهيكلية لذا فهي تسمى أيضاً بالعضلات الإرادية Voluntary muscles. والعضلات الهيكلية تعبر المفاصل ولذلك فعند انقباضها تحدث الحركة وعلى وجه العموم فإن العضلات تعمل على مجاميع لأحداث حركات الجسم المختلفة (أي إن العضلات لا تعمل منفردة). وفي الغالب ترتب مجاميع العضلات إذ تعمل مجموعة منها حركة معينة وتعمل مجموعة أخرى على الجانب الآخر من المفصل حركة عكسية.

تركيب العضلة الهيكلية Structure of a skeletal muscle

ألياف العضلات Fibers Muscle:

تتكون العضلة الهيكلية من عدة ألياف يتراوح قطرها من 10 إلى 80 ميكروميتر، تمتد هذه الألياف في معظم العضلات بكامل طول العضلة ويصل كل ليفة عضلية نهاية عصب تقع وسط الليفة، يغلف العضلة غمد الليفة العضلية Sarcolemma وهو يتألف من غلاف خلوي للييفات العضلية يسمى غلاف البلازما Plasma Lemma وغلالة خارجية مؤلفة من مادة عديدة السكر تحتوي على غراء Collagen وتندمج هذه في غمد الألياف العضلية عند نهايته بليف الوتر، وتتجمع ألياف الوتر Tendon بدورها في حزم وتشكل أوتار العضلة التي ترتبط مع العظام، وتتكون الليفة العضلية الواحدة من مدمج خلوي ينتج من اتحاد عدد من الخلايا وتبقى أنويتها ناحية الغلاف الخلوي.

الآلية العامة لانقباض العضلات:General mechanism of muscle contraction

يمكن وصف الانقباض العضلي وفق المراحل التالية:

1- يمر الحث الجهدي Action potential على طول العصب الواصل إلى العضلة إلى نهايته التي تمتد إلى الألياف العضلية.

2- يفرز العصب عند كل نهاية عصبية كمية ضئيلة من مادة ناقلة عصبية تسمى استيل كولين Acetyl choline .

3- يؤثر الأستيل كولين على منطقة موضعية توجد بها مستقبلات للأسيتيل كولين من غشاء الألياف العضلية فيفتح عدة قنيات بروتينية تسمح بمرور الصوديوم والبوتاسيوم عبر غلاف الألياف العضلية.

4- يسمح انفتاح قنوات الصوديوم والبوتاسيوم بكميات كبيرة من أيونات الصوديوم في الدخول إلى داخل الألياف العضلية عند نقطة النهاية العصبية وخروج كمية أقل من البوتاسيوم وهذا يؤدى إلى تكوين حث جهدي في الألياف العضلية.

5- يمر الحث الجهدي على طول الألياف العضلية بالطريقة نفسها التي يسير بها الغلاف العصبي.

6- يزيل الحث الجهدي استقطاب غلاف الألياف العضلية ويتجه عبر الأنبيبات المستعرضة عميقاً داخل الألياف العضلية، وهناك يسبب تحرير كميات كبيرة من أيونات الكالسيوم من الشبكة الإندوبلازمية للخلايا العضلية (إذ تكون مختزنة بداخلها) إلى داخل الليفات العضلية .

7- تحدث أيونات الكالسيوم ومركب الطاقة أدينوسين ثلاثي الفوسفات حركة لخيوط الأكتين بين خيوط الميوسين مسببة انزلاق ألياف الأكتين للداخل ما بين ألياف الميوسين وهذا الانزلاق يؤدى إلى قصر العضلة وبالتالي انقباض العضلة Muscle contraction.

8- يتم ضخ أيونات الكالسيوم بعد جزء من الثانية عائدة إلى داخل الشبكة الاندوبلازمية العضلية إذ تبقى مختزنة هناك فتنبسط العضلة حتى يأتي حث جهدي عضلي جديد.

الآلية الجزيئية لانقباض العضلة Molecular mechanism of muscle contraction

في وضع الراحة تظهر نهايات خيوط الأكتين بالتداخل بشكل بسيط فيما بينها، وهي في الوقت نفسه تتداخل مع خيوط الميوسين جزئياً، أما في حالة الانقباض تنجذب خيوط الأكتين إلى الداخل فيما بين خيوط الميوسين وبذلك تتداخل فيما بينها لمسافة أكبر، كذلك يسحب القرصان إلى الداخل نحو خيوط الميوسين بوساطة خيوط الأكتين ومن ذلك يمكن استنتاج أن انقباض العضلة يحدث بآلية الخيط المنزلق Sliding filament.

يحدث هذا الانزلاق بوساطة قوى كيميائية متولدة من تداخل الجسور العرضية من خيوط الميوسين مع خيوط الأكتين، وتكون هذه القوى مثبطة أثناء حالة انبساط ولكن عندما يسير الحث الجهدي على طول غشاء الليفة العضلية فإنه يسبب إطلاق كميات كبيرة من أيونات الكالسيوم إلى سيتوبلازم العضلة المحيط بالليفات العضلية، وتشتق الطاقة اللازمة للانقباض العضلي من الروابط عالية الطاقة أدينوسين ثلاثي الفوسفات ATP الذي يتفكك إلى أدينوسين ثنائي الفوسفات ADP ويحرر الطاقة اللازمة ويتم تحرير هذه الطاقة عند رؤوس الجسور العرضية بفعل قدرة ألياف الميوسين على القيام بدور أنزيم أدينوسين ثلاثي الفوسفاتيز ATPase.

الانقباض العضلي البسيط muscle twitch Simple:

يطلق هذا المصطلح على استجابة العضلة لمنبه وأحد، ويمكن تحليل هذه الاستجابة إلى ثلاث فترات:

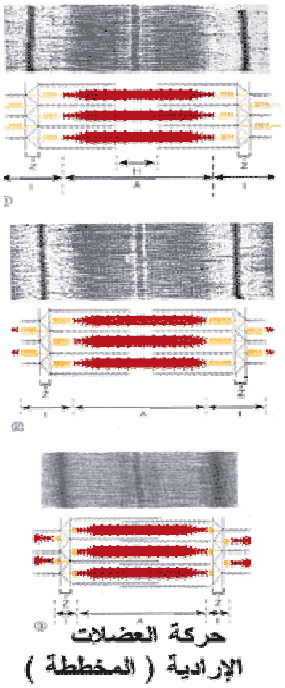
فترة الكمون Latent period:وهي فترة زمنية قصيرة بين بداية التنبيه العصبي وبداية انقباض العضلة ويتم خلال هذه الفترة عدة تغيرات هامة في العضلة مثل تكوين الطاقة اللازمة للانقباض.

فترة الانقباض (التقلص) period Contraction : تأتي هذه المرحلة مباشرة بعد فترة الكمون وفيها تنقبض العضلة.

فترة الانبساط Relaxation period :وفيها ترتخي الألياف العضلية ويزيد طولها وتعود العضلة إلى طولها الأصلي، وتستغرق هذه الفترة مدة زمنية أطول قليلاً من فترة الانقباض.

تختلف هذه الفترات مجتمعة من حيوان لآخر ومن عضلة إلى أخرى حسب موقعها في الجسم مثلاً العضلة العينية Ocular يدوم انقباضها أقل من (1/ 40) من الثانية، وعضلة الساق Gastrocnemius muscle يدوم انقباضها (15/1) من الثانية والعضلة النعلية Soleus muscle التي يدوم تقلصها (5/1)من الثانية. والأمر المهم أن فترات الانقباض هذه ملائمة لوظيفة كل من هذه العضلات الخاصة، فالحركات العينية يجب أن تكون شديدة السرعة لتحاول تثبيت العيون على أجسام معينة. وعضلة الساق يجب أن تنقبض بشكل معتدل السرعة لتعطي السرعة الكافية لحركة الطرف للجري والقفز. وكذلك فإن العضلة النعلية معنية بالانقباض البطيء بشكل أساسي من أجل الدعم المتواصل للجسم عكس الجاذبية.

كما تتغير هذه الفترة كثيراً بتغير درجة الحرارة لأن التفاعلات الكيميائية التي تحدث في العضلة عند انقباضها تفاعلات أنزيمية والمعروف أن نشاط الأنزيمات يتأثر بالحرارة، ولهذا نجد أنه كلما ارتفعت درجة الحرارة كلما قصرت هذه الفترة وزادت قوة الانقباض والعكس صحيح عند انخفاض درجة الحرارة.



الشكل (45) حركة العضلات

فترة الامتناع Refractory period :

هي فترة زمنية تأتي بعد الإثارة العصبية مباشرة لا تستجيب فيها العضلة لأي مؤثر مهما كانت قوته وتسمى فترة الامتناع المطلق Absolute refraction period. ويوجد هناك فترة زمنية أخرى تسمى فترة الامتناع النسبي Relative refraction period وفيها لا تستجيب العضلة إلا لمؤثر أقوى من المؤثر الأدنى.

الانقباض العضلي متماثل التوتر ومتماثل الطول Isotonic and Isometric contraction:

يوجد نوعان من الانقباض العضلي: انقباض متماثل التوتر Isotonic والآخر متماثل الطول Isometric. في الانقباض متماثل التوتر تقصر العضلة في الطول وتؤدي عملاً ميكانيكياً مثل تحريك شيء معينٍ أو رفعه – مثل عضلات الساعد والفخذ والساق، وفي أثناء هذا الانقباض يستخدم جزءاً من الطاقة المحررة وليست كلها لأداء العمل والقليل يخرج على هيئة حرارة. وفي النوع الثاني – الانقباض متماثل الطول – لا تقصر العضلة في الطول عند الانقباض وهي لا تؤدي عملاً ميكانيكياً، وفي هذا النوع تفقد طاقة الانقباض كلها على شكل

حرارة، ومن أمثلة هذا النوع العضلات التي تحافظ على بقاء الجسم في وضع قائم مثل عضلات الظهر.

العضلات الإرادية والعضلات غير الإرادية: يمكن تقسيم العضلات إلى ثلاثة أنواع.

أولاً: العضلات الإرادية: وقد سميت هكذا لأنها تخضع في حركاتها لإرادة الإنسان، كما أنها تدعى العضلات المخططة لأنها تبدو تحت المجهر على شكل خطوط ليفية، ويطلق عليها بعض العلماء اسم العضلات الهيكلية نظراً لالتحامها بصفة أساسية على الهيكل العظمي للجسم.

ثانياً: العضلات اللاارادية: أي التي تتحرك بعيداً عن إرادة الإنسان، ويطلق عليها اسم العضلات الملساء لأنها لا تبدي أية خطوط ليفية تحت المجهر. وتوجد في الأعضاء التجويفية التي تتقلص آلياً مثل المعدة، الأمعاء، الأوعية الدموية، رحم المرأة، و الجهاز البولي.

ثالثاً: عضلة القلب: وهي ذات خصائص وسطية بين النوعين الأوليين، إذ هي لا إرادية ولكنها مخططة.

بنية العضلات وتنظيمها:

أولاً: العضلات الهيكلية يغطي العظام مئات العضلات اللحمية، تتألف كل عضلة من حزم خلوية تعرف الواحدة منها باسم "الليف العضلي" الذي يتكون من: مادة حية وغشاء خلوي يحيط بالسيتوبلازم يتصل هذا الغشاء من طرفيه الدائريين بنسيج ليفي وكل مجموعة ألياف عضلية يحيط بها غشاء يفصلها عن غيرها من المجموعات العضلية ويحيط بالعضلة غشاء آخر يعمل هذا الغشاء على تقليل الاحتكاك العضلي أثناء الحركة إن مجموعة عضلات تتوضع مع بعضها البعض في حيز وأحد وتنفصل عن مجموعة عضلات أخرى بوساطة حاجز عضلي وكل حاجز يلتصق بالعظم وباللفافة العميقة المحيطة بالعضلات.

ثانياً: العضلات الملساء إن الألياف العضلية الملساء أقصر وأدق من الألياف المخططة، ولا تلتحم على العظم، وإنما توجد في جدران الأعضاء التجويفية كالجهاز الهضمي والبولي والأوعية الدموية، وهي تتوضع في طبقتين:

- طبقة داخلية دائرية الشكل تعمل على تضييق التجويف.
- طبقة خارجية طولية الشكل تعمل على تقصير التجويف وبالتالي اتساعه.

ثالثاً: عضلة القلب وهي تختلف عن السابقتين بكون ألياقها تسير معاً لتشكل شبكة من التفرعات المتتابعة، ولهذا يمكنها التقلص بصفة جماعية، كما تختلف عضلة القلب عن السابقتين

بكون أليافها مخططة ولكنها لاإرادية. إن الانقباض في العضلات الملساء بطيء ومنتظم، بينما هو في العضلات المخططة سريع ومتقطع، أما عضلة القلب فتنبض بانتظام بمعدل 70 – 80 مرة في الدقيقة .

ارتباط العضلات الهيكلية

إن كل العضلات الهيكلية ملتحمة بالعظام، إلا أن هذا الارتباط لا يتم بوساطة الألياف اللحمية نفسها، وإنما يتم بوساطة نهايات خيوط متينة ليفية تتحد مع بعضها لتؤلف الوتر أو الصفاق وقد اصطلح على تسمية الارتباط القريب (الجذري) في الأطراف باسم "المصدر" والارتباط البعيد (الطرفي) باسم "المرتكز"، كما أن البعض يطلق على الارتباط القريب باسم "النهاية الثابتة" وعلى الارتباط البعيد اسم "النهاية المتحركة" .

وظائف العضلات الهيكلية :

تقوم العضلات الهيكلية بوظائف حركية ترتبط أساساً بالمفاصل، وقد أطلق على العضلات أسماء تتناسب وخصائصها المتنوعة، فمنها ما سمي حسب شكله دائرية: كعضلة الجفن حلقية: كعضلة الشرج مسطحة:كعضلة الصدغ ستار عريض:كالحجاب الحاجز مغزلية: كعضلة العضلات الإرادية. ومنها ما سمي حسب حجمه أو موقع أو وظيفته.

التوافق الحركي:

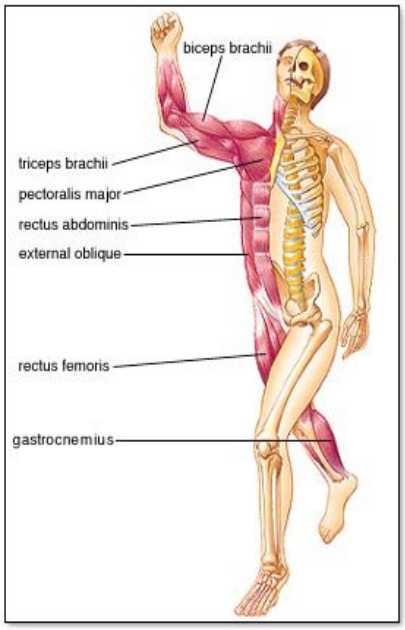
الأداء الحركي عملية معقدة ومركبة، إذ تحتوي على عدة أجزاء، وهي نوع من تعامل الفرد مع البيئة، وهو وحدة متكاملة من النشاط تؤدى على أساس قرار اتخذ بطريقة إرادية لغرض تحقيق هدف محدد مسبقاً إن أي أداء حركي مهما كان صغيراً لا بد وأن يحدث ضمن سلسلة من العمليات الحركية والعقلية والحسية.. الخ وهذه العمليات في الصفات الخارجية للمسار الحركي لا يمكن ملاحظة إلا جزء بسيط منها، وأحسن مثال على ذلك الأداء الحركي في القفز العالي والجمباز.. إلخ، فمن من دون هذه العلاقات التنظيمية لا يمكن أداء الواجبات الحركية المطلوبة في تحسين وتحقيق المستوى الرياضي. وإذا ما أردنا ملاحظة الحقائق أعلاه في الأداء الحركي على أنفسنا أو مشاهدة الغير وحاولنا التأمل فيه وفي كيفية تكوين الحركة من كل جوانبها وارتباط أجزائها مع بعضها مما سيقودنا حتماً إلى كيفية التعامل مع بناء وتنظيم الحركة، وإذا كنا نعلم معنى التوافق الحركي وقوانينه بعض الشيء فإن هذا سيقودنا إلى كيفية إمكانية الوقوف على أشكال وقوانين التوافق الحركي في المسار الحركي

معنى التوافق الحركي أو التآزر :

أي التوافق بين أجزاء الحركة التي يتكون منها الأداء إذا كانت حركة وحيدة أو بينها وبين حركات أخرى إذا كانت حركات متكررة أو سلسلة حركية ومثال على ذلك طرق السباحة ولا سيما عند التوافق بين حركات الذراعين والرجلين أو في السلسلة الحركية في لعب الكره إذ التوافق الحركي بين عمل العين وعمل اليدين فالشخص الذي لديه توافق حركي إذا ما قذفت له الكرة فانه يلتقطها بسهوله وأما من ليس لديه توافق حركي فإنه يقفل يده قبل وصول الكره له أو بعد وصولها وسقوطها على الأرض وينظر للتوافق على أنه تنظيم عمل العضلات أو هو قدرة الفرد على أداء عدد من الحركات المركبة في وقت واحد. ويرتبط التوافق الحركي بإمكانية الجهاز الحركي والجهاز العصبي المركزي الذي يتم فيه عملية فهم واستيعاب وتحليل وإدراك الحركة أو البرنامج الحركي فالجهاز العصبي هو المركز الأساسي للتوافق لأنه ينظم الجهد من خلال تنظيم عمل القوة المسلطة من قبل العضلات لكي تتطابق مع المهارة المراد أداؤها كما يرتبط التوافق الحركي بعمل الأجهزة الداخلية ومدى قدرتها على تنظيم وتنسيق الجهد المبذول طبقاً للهدف ولذلك فإن تعلم الحركات يكون بدرجات مختلفة، وإن عمليات التوافق الحركي ليست متساوية بين الأفراد نتيجة اختلاف القدرات والصفات البدنية والحركية بين الأفراد وللتوافق الحركي أنواع مختلفة منها التوافق العام والخاص فالتوافق العام يلاحظ عند أداء بعض المهارات الحركية الأساسية مثل المشي والركض والوثب والدفع والتسلق،التوافق الخاص فهو النوع الذي يتماشى مع نوع وطبيعة الفعالية أو النشاط الحركي ففي جميع الفعاليات الرياضية مثل كرة القدم، كرة الطائرة، السلة، الساحة والميدان.. الخ يستوجب من الرياضي أداء توافق خاص طبقاً لنوع المهارة التوافق العضلي والعصبي التوافق بين أعضاء الجسم:هذا التوافق يحدد طبقاً لعمل الجسم خلال أداء المهارات فهناك حركات أو مهارات تتطلب مشاركة وتوافق جميع أعضاء الجسم ككل بينما هناك حركات تتطلب مشاركة القدمين أو الذراعين فقط.

العوامل التي تؤثر على التوافق الحركي

-قدرة الفرد للسيطرة على عمل الجهاز الحركي للجسم:هناك العديد من المفاصل المتعددة التي تتحرك بجميع الاتجاهات، والسيطرة الحركية على عمل هذه المفاصل كما في رمي الرمح والثقل والقرص وحركات الجمباز يؤدي إلى نجاح التوافق الحركي.



الشكل (46)
الجهاز الحركي
العظمي والعضلي

–قصر ذراع القوة لعضلات الجسم: إن قصر ذراع القوه يؤدي إلى خدمة سرعة الحركة قاعدة الارتكاز لها دور في نجاح التوافق الحركي عند الأداء، فهناك أوضاع يمر بها الجسم أثناء الحركة تؤثر سلبياً على مركز ثقل الجسم مما يؤدي إلى إخفاق الحركة إذا لم نستطع تصليح الوضع .

–العوامل الخارجية مثل: الجاذبية الأرضية والتصور الذاتي وقوى الاحتكاك ومقاومة الهواء والماء، وجميعها تؤثر في الأداء الحركي للسيطرة على عمل الأربطة والعضلات إن مطاطية الأربطة والعضلات تزيد تعقيد التوافق في الأداء الحركي بعض الأحيان لأنها تسمح للأطراف بأن تتحرك إلى حدود أبعد من المسموح بها ضمن نطاق مجال الحركة وتتحدد بداية ونهاية الإدراك الحركي بأربعة خطوات متداخلة مع بعضها هي التجميع الحسي يحدد الفرد الموقف الحركي بشكل عام مع مكوناته وأدواته بصرياً النشاط الحركي:في هذه المرحلة يصدر الأمر الحركي من القشرة المخية للإيعاز بحركة جزء من الجهاز الحركي، إذ تتحرك اليدان لالتقاط ورفع الكرة على سبيل المثال ويشترك في هذه الخطوة النخاع الشوكي. معلومات حسية ومقارنات في هذه الخطوة تشترك معلومات حسية مع عضلات الأطراف ومن مراكز حركية أخرى، وترسل هذه المعلومات إلى الجهاز العصبي المركزي في نفس الوقت الذي يتم فيه الأداء الحركي إذ يتمكن الفرد من تصحيح وتعديل أدائه الحركي أو مواصلة التنفيذ وخلاصة لذلك فإن أي أداء

حركي يتكون من استقبال وتصنيع المعلومات مقارنة المعلومات الحالية بالمعلومات المخزونة في الذاكرة الأداء الحركي التعديل في الأداء الذي يتم بناء على معلومات التغذية المرتدة وكذلك فإن التعامل الحركي يرتكز على ثلاثة عناصر رئيسة هي أعضاء حسية: تستقبل المعلومات الضرورية للأداء سواء أكانت نابعة من البيئة (خارج) أم من (الداخل) ثم تنقل هذه المعلومات إلى الدماغ جهاز يتولى تنظيمها وتصنيعها والاستفادة بالصالح منها في أداء التعامل واتخاذ القرار ثم يرسلها إلى جهاز تنفيذي يقوم بتنفيذ القرارات التي يتم اتخاذها.