فسيولوجيا الحركه وتأثير المحفزات على العضلات

اعداد الاستاذه الدكتوره
سميعه خليل محمد
جامعة بغداد - كلية التربية الرياضية للبنات

كانون الاول 2007

الحركه هي الصفه الحيويه في الجسم والتي تنتج عن تقلص عضله او مجموعة عضليه ,اذ تبلغ كتلة العضلات 3/1 كتلة الجسم وتزداد هذه النسبه عند الرياضيين الى5/1 .

تعمل العضلات جميعها بنفس الطريقة مهما كان نوعها , وذلك عن طريق التقلص والإنبساط وعندما تتقلص العضلة يقل طولها بمقدار 5/1 تقريباً من طولها الكلي ,وإن جميع أنواع العضلات سواء كانت مخططة أو ملساء (إرادية أو غير إرادية)لاتتقلص إلا ان تستثار, والمثير رسالة تمرر إلى العضلة عن طريق الأعصاب , وتأتي هذه الإيعازات من المخ في حالة العضلات الإرادية , أما في العضلات غير الإرادية فتتلقى رسالتها من الجهاز العصبي السمبثاوي (الجهاز العصبي الذاتي) في العنق والصدر والبطن .

عندما تنقل الأعصاب إيعازاً ‘الى العضلة تتحول الطاقة الكيميائية (الموجودة أصلاً في الخلية) إلى طاقة ميكانيكية (حركيه)عبر آلية معينة , ففي العضلات المخططه ينطبق قانون عمل العتلات عليها , حيث يمثل التقلص العضلي القوه والجزء المتحرك المقاومه ويعمل المفصل نقطة ارتكاز , وعندما تنبه الأعصاب العضلات تعمل بعض المواد الكيميائية المعينة على تقلص خلايا العضلات , ويحدث التقلص عندما تقصر الالياف العضلبه بتأثير المنبه العصبي , والذي ينتشأ من الخلايا الحركيه لقشرة الدماغ ويسير بآتجاه النجاع المستطيل وينتهي في عضلات الجهه المقابله حيث ان المنبه الناشيء من الخلايا الحركيه لقشرة الدماغ في الجهه اليمنى ينتهي في عضلات الجهه اليسرى للجسم والعكس صحيح , والمنبه ينتقل حتى نهايته بالصفيحه العصبيه والتي بدورها تنقل الايعاز الى الالياف العضليه, ولا تسمح الا للمنبه العصبي الحركي ذو الشده المعلومه والكافيه لتنبيه الليف العضلي ولا تتم استجابة الليف العضلي ولا يتقلص عندما يكون المنبه بشده منخفضه.

عند تقلص العضلة بأكملها وبعد عدة تقلصات (كما في حالة الجهد عالي الشده) يصيب العضلة التعب وهذا يرجع إلى تراكم حامض اللبنيك حيث يتجمع في العضلات ,وعند الراحة يتلاشى هذا الحامض ويذهب قسم منه عبر الأوردة حيث يتم اتلافه في الكبد وبوجود الأوكسجين ,حيث يتم تأمين كمية أوكسجين إضافية لهذه العمليات عن طريق التنفس السريع والعميق الذي يحدث أثناء التمرينات الشديدة .

© جميع الحقوق محفوظة للمؤلفة وللاكاديمية الرياضية العراقية 2007
www.iraqacad.org

مصدر الطاقه المتحوله في العضله هو المواد الغذائيه حيث ان 40% من الطاقه في العضلات تآتي عن طريق التمثيل الغذائي الذي يتم في العضلات وترتفع هذه النسبه الى 90%في حالة الجهد .

مصادر الطاقه للانقباض العضلي

تحصل الخلايا العضليه على طاقتها من جزيء ATP الذي يحوي روابط فوسفاتيه غنيه بالطاقه ومن فوسفات الكرياتينCP, ويوجد هذا المركب في الخلايا العضليه بكميات محدوده , وهو يزود جزيء ADP بمجموعة فوسفات ويعاد تكوين ATP.

وعند نفاذ مخزون فوسفات كرياتين , كما يحدث اثناء النشاط العضلي,فان العضلات تعتمد على التنفس الخلوي كمصدر طاقه للحصول على كميات كبيره من ATP, وتحتاج الخليه العضليه للاوكسجين الذي يحمل في خلايا الدم الحمراء بواسطه الهيموجلوبين, والميوجلوبينmyoglobin الذي يوجد في الخليه العضليه.

انواع التقلص العضلي

ينقسم التقلص العضلي الى :

اولا – التقلص الثابت الشد ISOTONIC CONCTRATION

فيه يقل طول العضله عندما ترفع ثقلا معينا ثابتا فتنجز شغلا (الشد العضلي يبقى ثابتا اثناء التقلص) .

ثانيا- التقلص ثابت الطول ISOMETRIC CONCTRATION

فيه يبقى طول العضله ثابت ولا يقصر ولا ينجز شغلا لان العضله لاترفع ثقلا بالرغم من زيادة الشد العضلي فيها الى الحد الاقصى اثناء التقلص .

التقلص العضلي البسيط SIMPLE MUSCLE TWICH

اذا حفزت العضله مباشرة او بوساطة العصب الحركي فأنها تتقلص تقلصا بسيطا يتمثل بحركه آليه خاطفه تسمى (التقلص العضلي البسيط) الذي يستغرق فتره زمنيه معينه ومن ثم يعقبه الارتخاء العضلي .

ادوار التقلص العضلي

تمر العضله اثناء التقلص العضلي بثلاثة ادوار هي:

- دور الكمون LATENT PERIOD :

يتمثل بالفتره الزمنيه المستغرقه بين لحظة التحفيز وبدآ التقلص ومدته اعشارالثانيه ويتحدد حسب نوع الكائن الحي ونوع العضله المحفزه ولاتظهر في هذا الدور اي حركه آليه وتبقى الحركه ظاهريا كامنه وكأنها غير متأثره ولكن تحصل فيها تغييرات غير آليه مثلاً (كهربائيه او تهيجيه اوكيمياويه) وفي هذه المرحله يتم نقل القدرة الحركية من العصب الحركي إلى الخلايا العضلية والترابط الكهربائي .

© جميع الحقوق محفوظة للمؤلفة وللاكاديمية الرياضية العراقية 2007
www.iraqacad.org

- دور التقلص العضلي

اي انقباض الألياف العضلية (Myofibren) في هذه المرحله تظهر العضله حركه خاطفه ويقصر طولها ويزداد سمكها وتبقى في هذه الحاله حوالي (0,04) من الثانيه يعقبها مباشرة الدور الاخير حيث تنتهي الحركه.

- دور الأرتخاء العضلي

يرجع طول العضله وسمكها الى حالة قبل التحفيز ويستغرق ذلك حوالي(0,05)من الثانيه .

العوامل التي تؤثر على التقلص البسيط

اولا- نوع العضله

سرعة التقلص تختلف وفق نوع العضله والالياف المكونه لها ووفقا لذلك يمكن تقسيم العضلات الى مايلي:

- **العضلات التي تتميز وظيفتها بالدقه** تمتاز بسرعة التقلص كما في عضلات (العين) .
- **العضلات التي تؤدي حركات عامه غير دقيقه** , التقلص العضلي فيها يكون ابطآ كما في(حركات الذراعين والفخذ)
- **العضلات التي تتميز بتغلب الالياف العضليه الحمراء** يستغرق مدة التقلص فيها اطول وهي ابطآ في سرعتها من **العضلات ذات الالياف البيضاء** التي تكون سريعة التقلص ولكن لايدوم التقلص مدة طويله .ومن الجدير بالذكر ان جميع عضلات الجسم تكون في حالة مط دائم فآذا قطعت العضله الى جزئين كل جزء يتقلص ويقصر .

ان قوة التقلص تتناسب طرديا مع **طول الالياف العضليه** الى حد معين لطول الليف , اي ان الالياف العضليه الاكثر طولا تكون اقوى تقلصا وذلك يتوقف على الطول الاساسي للعضله لا طولها بعد المط لان ذلك يحدث العكس اذا سلطت قوة خارجيه بمط اكثر وتضعف قوة التقلص(المط اكثر من حد معين) بالرغم من زيادة طولها , كما في العضله القلبيه حيث تضعف عندما يزداد اويتوسع القلب بسبب الضغط المسلط عليها من الداخل) في الحالات المرضيه فقط.

ثانيا- الحراره Heat

الحراره تؤثر على التقلص العضلي البسيط وتزيد من قوة التقلص لفتره قصيره . كما تزيد من قوة وسرعة التفاعلات والتغيرات الكيميائيه ,لذلك تزداد كمية المخلفات العضليه التي تمنع انتقال الحوافز من ليفه عضليه الى اخرى فيتجمع حامض اللاكتيك حول العصب المحرك ولا تصل الحوافز الى العضله .

© جميع الحقوق محفوظة للمؤلفة وللاكاديمية الرياضية العراقية 2007
www.iraqacad.org

ان انخفاض درجة الحراره يزيد من منحنى التقلص بسبب اطالة جميع ادواره (خاصة الارتخاء العضلى) اما أذا رفعت درجة حراره العضله التأثير يكون معاكس تعمل الحراره على تقصير مدة المنحنى التقلصي (جميع ادوار التقلص العضلي) وذلك يرجع الى ان أرتفاع درجة الحراره الذي يسرع التفاعلات والتغيرات الكيميائيه فى العضله ويقلل من لزوجتها وكثافتها وتنعكس هذه الظاهره عند تبريدها .وأن ارتفاع درجه حرارة العضله الى (45) درجه مئويه سوف يعمل على تخثر معظم بروتيناتها ولا يمكن أعادتها الى الحاله الطبيعيه (ireversible coagulation) فتقصر العضله وتموت ويطلق على هذا التصلب الحرارى (Heat Rigor)

ثالثا-التعب العضلى Muscle fatigue

يحدث التعب العضلي بسبب تكرار تحفيز العضله بمحفزات متواليه سريعه تضعف قوة التقلص فى العضله وتطول مدة ادوارها (وخاصة الارتخاء) وتتقلص العضله مجددا اذا حفزت بمحفز خارجي.

ظاهرة التدرج في التقلص العضلي

اذا تم تحفيز العضله بمحفز معين تظهر تقلصا ذي قوه معينه , واذا زادت قوة التحفيز يزداد التقلص تبعا لذلك اي يزداد التقلص بآزدياد قوة المحفز (تناسب طردي) , ولكن هذا التناسب يتوقف عندما تصل قوة التقلص حدا معينا , حيث تثبت قوة التقلص عند حدها الاقصى بدون زياده مهما ازدادت قوة المحفز(قوة تقلص عظمى) ولا تحدث تقلصا اقوى منه مهما ازدادت قوة المحفز .

الاحماء والتحفيز العضلي warming up

يقصد بالاحماء رفع درجة حرارة العضله بواسطة احداث تقلصات عضليه بسيطه تنتج طاقه حراريه.

يعد احماء العضلات المشاركه في الجهد وقبل البدء بممارسة العمل الرياضي ضروري لاداء الجهد بشكل افضل وحماية العضله , وان زج العضله في النشاط اوالالعاب الرياضيه بدون احمائها يؤدي الى تمزق الالياف العضليه في مناطق اتصالها بالوتر وخاصة في الرياضات العنيفه **والمفاجئه ,** ويحدث عادة تمزق الالياف العضليه في العضلات المعاكسه للعضلات المتناظره التي تقلصت بشده اثناء الجهد (لكونها ترتخي ببطيء وبصوره غير تامه عندما تتقلص العضلات المتناظره) لذلك تسبب عرقلة الحركه والتوافق الحركي , ومن ناحيه اخرى قوة التقلص في العضلات المناظره والزخم الذي تحدثه حركة العضو تسبب شد وضغط معاكس على العضلات المعاكسه وتؤدي الى تمزق اليافها اواوتارها في مناطق اتصالها .

© جميع الحقوق محفوظة للمؤلفة وللاكاديمية الرياضية العراقية 2007
www.iraqacad.org

ان الاحماء يقلل من دور التقلص والارتخاء في منحنى التقلص العضلي البسيط ويزيد من ارتفاع المنحنى بنفس الوقت , حيث ان عند تحفيزالعضله الخامله بسلسلة محفزات فآن التقلصات القليله الاولى تكون عادة صغيره وغير منظمه ودور الارتخاء فيها يكون غيرتام نسبيا , ثم تليها التقلصات الاكبر , اي تكون قوة التقلص اقوى والارتخاء تام , ويرجع ذلك الى الاحماء اثناء التقلصات الاولى التي حصلت في العضله ذاتها والتي تكونت خلالها مخلفات الفعاليات الحيويه في العضله , وكذلك التكوين الحراري الذي رفع درجة حرارة العضله (العوامل الحراريه والمخلفات الحيويه) التي تقوم بتوسيع الاوعيه الدمويه فيزداد التجهيز الدموي لانسجة العضلات بسبب جريان الدم داخل الاوعيه الدمويه المتوسطه , وهذا يحسن الحاله الوظيفيه ويزيد كفاءة العضله بسبب وصول كميه كافيه من الاوكسجين والمواد الغذائيه المحموله بواسطة الدم .

انواع المحفزات

- **المحفز الاقصى maiximum stimulus**

يطلق على المحفزات التي تحدث اقوى تقلص.

- **المحفز فوق الاقصى supra maximum stimulus**

يطلق على المحفزات الاقوى من الاقصى

- **المحفزات دون الاقصىsub maximum stimulus**

هي المحفزات التي تحدث تقلصات ظاهره في العضله وتزداد قوتها بزيادة قوة الحافزوتعطي شكل مدرج على منحنى التقلص .

- **المحفزات الادنى minimum stimulus**

يطلق على المحفزات الضعيفه جدا , والتي لاتحدث تقلص مرئي في العضله , الا انه يمكن زيادته تدريجيا الى حد معين يكون فيه قادر على احداث اضعف تقلص في العضله وتعرف على انها اضعف محفز يتمكن من احداث تقلص في العضله .

- **المحفز دون الادنى subminimum stimulus**

هي المحفزات الاقل من الادنى والتي تكون غير قادره على احداث التقلص العضلي المرئي في العضله ولكن تستطيع احداث تغييرات غير ظاهره في العضله (مثل التهيج الموضعي)

العوامل التي تعتمد عليها قوة التقلص العضلي

- تحفيز عدد كبير من الوحدات الحركيه الفعاله
- زيادة التكرار في انسياب الشحنات الكهربائيه الى الوحدات الحركيه.

© جميع الحقوق محفوظة للمؤلفة وللاكاديمية الرياضية العراقية 2007
www.iraqacad.org

التغييرات التي تحصل في العضله اثناء تحفيزها

اذا حفزت العضله بمحفز معين بشكل مباشرفي العضله ذاتها اوغيرمباشر بواسطة تحفيز اليافها ففي جميع الحالات تحدث في العضله **عدة تغييرات اهمها :.**

اولا- التغييرات المورفولوجيه MORPHOLOGICAL CHANGES
ثانيا- التغييرات الكهربائيهELECTRICAL CHANGES

ثالثا- التغييرات التهيجيهEXCITABILITY CHAGES
رابعا- التغييرات الميكانيكيهMECHANICAL CHANGES
خامسا –التغييرات الكيمياويهCHEMICAL CHANGES
سادسا- التغييرات الحراريهTHERMAL CHANGES

اولا-التغييرات المورفولوجيه

تشمل التغييرات الشكليه التي تطرآعلى العضله عند حدوث التقلص العضلي , أي كيفية حصول الأنقباضات العضلية والأسترخاء ودور الألياف العضلية خلال هذه العمليات .

إن انقباض وأنبساط العضلة يحدث بسبب أنقباض وأنبساط الألياف العضلية المايوفيرين (myofibren) والتي تتكون من الخيوط البروتينية لويفات المايوسين السميكة والتي تمتاز بخاصية المطاطيه العاليه ولويفات الأكتين الرفيعة ,حيث تترتب هذه اللويفات على شكل حزم بحيث تدخل خيوط الأكتين بين خيطين سميكين من المايوسين عمقاً ولحد ⅓ طول المايوسين من كل جهة وتسمى منطقة المايوسين الخالية من الأكتين بمنطقة (H) أما المنطقة في الثلث الوسطي والمنطقة الكلية المتداخلة للمايوسين والأكتين تسمى (A) .

ويثبت أحد طرفي خيوط الأكتين على خيوط (Z) وطرفها الأخر يدخل بين خيطين من المايوسين , تملك خيوط الأكتين خاصية مطاطية عالية إذ تتحرك بعد أستثارتها داخل منطقة (H) أي تقتحم لويفات المايوسين بالأنزلاق إلى داخل لويفات المايوسين وتتحد معه بشكل وقتي مكونه مايسمى (بالاكتومايوسين)وان انزلاقه االى الداخل سيؤدي الى قصر طول وحدة العضلة ويصل إلى 65% من الطول الأصلي للعضلة ,

إن هذا الأنقباض يتطلب طاقة كما إن رجوع العضلة إلى وضعها الأصلي أي انبساطها يحتاج إلى طاقة أيضاً .

ثانيا-التغييرات الكهربائيه

تتمثل في انعكاس او زوال الاستقطاب اي انعكاس فرق الجهد الكهربائي لجدار الخليه العضليه الذي يعادل 110 مللي فولت (ويشمل 80 مللي فولت فرق الجهد

© جميع الحقوق محفوظة للمؤلفة وللاكاديمية الرياضية العراقية 2007
www.iraqacad.org

في الراحه مضافا له 30مللي فولت عند الاستثاره العصبيه) ويسمى ذلك فرق جهد الحركه .ويظهر الكالسيوم من شبكة الساركوبلازم .
تتميز الخلايا الحيه بالقدره على التجاوب مع المؤثرات ,وعند التحليل الكيميائي للاملاح الموجوده في السوائل خارج وداخل الخليه , وجد ان العنصرين الاساسيين في الخليه هما الصوديوم والبوتاسيوم اللذان لهما اهميه كبيره في المحافظه على حجم الخليه ونشاطها وحساسيتها.ويشكل الصوديوم نسبة 15:3من كميته في سوائل خارج الخليه بينما يشكل البوتاسيوم 50:2 من كميته خارج الخليه , لذلك فآن الصوديوم ونظرا لوجوده خارج الخليه بكميه اكبر يحاول النفاذ من خلال غشاء الخليه ليتساوى مع نسبته داخل الخليه وكذلك البوتاسيوم يحاول الخروج من داخل الخليه ليتساوى مع نسبته خارج الخليه , ولكن غشاء الخليه يسمح لبعض العناصر بالعبور ويمنع الاخرى , ونظرا لكون جزيئات الصوديوم كبيرة الحجم اضافة الى قابليتها للاتحاد مع الماء لاتستطيع المرور من خلال فتحات الغشاء فتتجمع خارجه , اما البوتاسيوم فيوجد داخل الخليه في حالة اتحاد مع الحوامض العضويه يحاول الخروج من الخليه لكنه ايضا لايستطيع ويبقى عند فتحات الغشاء من الداخل حيث يمثل الشحنه السالبه من الاملاح ويبطن السطح الداخلي بينما يتجمع الصوديوم الموجب الشحنه على السطح الخارجي من الغشاء مما يحدث فرق جهد بين سطحي الغشاء , هذا مما يولد سير تيار كهربائي من الخارج الى الداخل حيث يصبح السطح الخارجي ذو جهد كهربائي اعلى من السطح الداخلي .
فرق الجهد هذا هو السبب في خاصية الحساسيه التي تتصف بها جميع الخلايا والانسجه الحيه .ويقل فرق الجهد ويتلاشى بعد التحفيز وكذلك ينعدم بعد موت الخليه, وبسبب فرق الجهد على غشاء الخليه يسمى غشاء الخليه بالغشاء المستقطب لوجود قطبين لاحدها جهدا اكبر من الاخر.
في حالة الراحه التامه تكون العضلات في حالة استقطاب متعادل الذي يتمثل بتعادل الشحنات الكهربائيه على السطحين الداخلي والخارجي للغشاء المحيط بالالياف العضليه, وتحافظ الفعاليات الحيويه على ابقاء هذا التعادل الذي يطلق عليه (**Polarisation**) اي (**الاستقطاب**) , وفي حالة تحفيزاللياف العضليه يحدث الحافز تغييرا موضعي اي اضطرابا في حالة التعادل هذه (الاستقطاب)في غشاء الخليه يطلق عليه (**De- polarisation**)(**فقدان الاستقطاب**) الذي يبقى موضعيا دون الانتقال الى الاجزاء الاخرى من الالياف العضليه , الا اذا كان بمقدار كبير بحيث يكون كافيا لاحداث موجة سريان على طول غشاء الليفه العضليه وعندما ينتقل الاضطراب بشكل موجه تمثله حالة استقطاب معكوس بحيث تكون الوصله التي يصلها الاضطراب سالبه الاستقطاب (Electronnegative) بالنسبه للاخرى المجاوره لها والتي لم يصلها الاستقطاب او التي استرجعت استقطابها الاساسي بعد عبور الاضطراب ويطلق على حالة **الاسترجاع الاستقطابي ب (Re- Polarisation) .**

© جميع الحقوق محفوظة للمؤلفة وللاكاديمية الرياضية العراقية 2007
www.iraqacad.org

تسير موجة الاستقطاب على سطح الغشاء محدثه جهد استقطابي (Spike-Potential) يمثل سير وانتقال موجة التهيج على سطح غشاء الليفه العضليه وبعده مباشرة يحدث تغييرآلي (ميكانيكي)في العضله قابل بعدئذ للتحول الى شغل .
تنتقل موجة الاستقطاب على سطح الغشاء بسرعه تختلف تبعا لنوع العضله ونوع الكائن الحي , فعند الانسان تقدر بحوالي (3-7) مترات في الثانيه بعدها يتم العمل الآلي (**التقلص العضلي**)الذي يحدث بعد فتره قصيره جدا وينتقل العمل الآلي على الالياف العضليه بنفس سرعة سريان موجة الاستقطاب ولكنه يستمر لفتره اطول .

ثالثا- التغييرات التهيجيه

ان جميع الانسجه الحيه لها القابليه على التهيج ولكن بدرجات مختلفه , بعضها له قابليه عاليه جدا للتهيج والاخرتقل قابليته , ان الانسجه ذات التهيج العالي تستجيب للحوافز اسرع واكثر من الانسجه الاخرى ذات التهيج الاقل.
عند وصول حافز الى نسيج عضلي ذو قابليه تحسسيه اعتياديه سوف يستجيب للمحفز ويحدث فعلا تقلصيا ولكنه بنفس الوقت يحدث تغييرفي قابلية التهيج لذلك النسيج ويتمثل ذلك بحصول دور عصيان الانسجه (بسبب هبوط التهيج) يسمى بدورة **العصيان (Refractory period)**وكلما ازدادت قابلية التهيج كلما زادت سرعة الاستجابه للتحفيز والعكس صحيح عندما تقل قابلية تهيج النسيج الى حد الانعدام يصبح النسيج غير قادر على الاستجابه , اي ان جميع المحفزات التي تصل سوف تفشل في احداث تأثير او استجابة ذلك النسيج مهما كانت قوة المحفز .
اما اذا انخفضت قابلية التهيج ولم تصل الى الانعدام فآن المحفزات الضعيفه تصبح غير قادره على احداث استجابه في النسيج بينما المحفزات القويه تستطيع احداث استجابه وعلى هذا الاساس فآن دورة العصيان للنسيج تكون اما نسبيه او مطلقه .

- دورة العصيان المطلقةABSOLUTE REFRACTORY
هو الدور الذي يكون فيه النسيج الحي عديم الاستجابه للمحفزات مهما كانت قوتها بسبب هبوط تهيج النسيج الى حد الصفر .
- دورة العصيان النسبي RELATIVE PERIOD
فيه تقل قابلية النسيج التهيجيه الى حد اقل من الاعتيادي ولكن لاتنعدم لذلك يستجيب للمحفزات القويه ولكنه يفشل في الاستجابه للمحفزات الضعيفه .
في الخلاصه يمكن القول, ان المحفزات مهما تكون قوتها تفشل ولا تؤثر في دورة الانعكاس المطلق بينما تفشل المحفزات الضعيفه فقط في دو.رة الانعكاس النسبي وتبقى المحفزات الاكثر قوة على النسيج دون ان تنعكس .

© جميع الحقوق محفوظة للمؤلفة وللاكاديمية الرياضية العراقية 2007
www.iraqacad.org

رابعا-التغييرات الميكانيكيه

تتمثل في النظريه الانزلاقيه وعمليه تداخل الاكتين والميوسين وبالتالي حدوث التقلص العضلي. , ويقصد به ايضا كيفية تحول الطاقة الكيميائية إلى الطاقة ميكانيكية (حركية) لانتاج شغل .تتقلص العضلهآ اليا بعد حدوث الجهد الاستقطابي ويزداد سمكها ويبقى حجمها ثابتا ويمكن ان تنجز شغلا عندما تستخدم مقاومه معينه .

الشغل المنجز = الثقل (المقاومه) × المسافه

إن مصدر الطاقة الميكانيكية يكمن في الطاقة الكيمياوية المخزونة في جزيئة الـ ATP فعند تحللها تحرر الطاقة الميكانيكية (الحركية) أما عند توقف الإثارة (النبضة العصبية) يعود الـ ATP إلى حالته غير النشيطة وينفصل عن الـ SH مما يؤدي إلى توقف تحلله حينها يفقد المايوسين مطاطيته وينفصل الاكتين عنه مما يسبب الأسترخاء العضلي .

ان الاكتين ليست له قابلية على إحداث انشطارثلاثي فوسفات الادينوزين كما في المايوسين والاكتومايوسين , وتستطيع العضلة أن تتمدد بحدود 65 – 150% من طولها الأصلي في حالة الأسترخاء والراحة

خامسا- التغييرات الكيمياويه

يقصد بها مصدر الطاقة اللازمة لحركة العضلة ونوعها وعمليات الايض ومسؤولية بناء الطاقة الميكانيكية , تبدآ عند افراز مادة الاستيل كولين من النهايه العصبيه عند وصول الاشاره العصبيه.

يشكل المايوسين الجزء الرئيسي في الألياف العضلية ويعمل أيضاً عمل الأنزيمات حيث يساعد في تحلل ثلاثي فوسفات الادينوزين ال ATP الماده الفعاله في التفاعلات الكيمياويه إلى ADP وفوسفات كذلك فإن جزء من الطاقة الناتج من عمليات الايض (غير الحرارية) يخزن في جزيئة الATP عند بنائه من أتحاد ال ADP (ثنائي فوسفات الأدينوزين) و CP (فوسفات الكرياتين) .

$$ATP \xrightarrow{\text{انزيم المايوسين}} ADP + pi + \text{طاقة}$$

$$ADP + cp \longrightarrow ATP + C$$

كرياتين

ان الجزء المخزون من الطاقة الكيمياوية سيتحرر عند أنطلاق جزيئة الـ ATP وبمساعدة المايوسين الذي يعمل كأنزيم ويساعد على تحلل ثلاثي فوسفات الادينوزين الى ثنائي فوسفات الادينوزين وفوسفات ، حيث تتحرك الطاقة المتحررة إلى طاقة حركية تخدم عمليات التقلص والإنبساط العضلي, وقد أتضح أن المايوسين

© جميع الحقوق محفوظة للمؤلفة وللاكاديمية الرياضية العراقية 2007
www.iraqacad.org

أيضاً يتخذ صفة المطاطية تحت تأثير إنقسام الـ ATP .وعند التقلص العضلي يظهر حامض الفوسفور من مادة ال ATP ويكون ايضا مادة ال ADP حيث يتحد الفوسفورالمتحرر مع مادة الكلوكوز المتحرره من الكلاكوجين المخزون في العضله مكونا الكلوكوز متعدد الفوسفور , ويتحرر حامض الفوسفور ايضا من مادة فوسفات الكرياتين الموجوده في الليف العضلي حيث يدخل في تركيب مادتي الATP وADP .

يمر الكلوكوز متعدد الفوسفور بعدة تفاعلات ينتج عنها تحرير وانتاج حامض اللبنيك الذي يعمل الجزء الاكبرمنه 5/4 على اعادة الكلاكوجين , اما الباقي فيتآكسد مكونا ثاني اوكسيد الكربون والماء, والطاقه المتحرره من حامض اللبنيك يستفاد منها لتحويل الجزء الاكبر5/4 منه الى الكلاكوجين , .

تستهلك العضله الكلاكوجين المخزون فيها اثناء التقلص ثم يعاد انتاج الكلاكوجين عن طريق التفاعلات الكيمياويه لخزن الطاقه , لهذا يعوض النقص الحاصل من الغذاء عن طريق الدم .

تحدث هذه التفاعلات لااوكسجينيا ولكن التفاعلات في المراحل الاخيره تحتاج الى الاوكسجين حتى يتآكسد حامض اللبنيك ويستعاد الكلاكوجين.

مما سبق نستنتج ان مصدر الطاقه الاساس عند تقلص العضله هو تحلل و انفلاق مادة الATP الى حامض الفوسفور وال ADP وكذلك فوسفات الكرياتين CP التي تحرر حامض الفوسفورمكونه ال ATP , وان الكلوكوز متعدد الفوسفات يتجزآ الى حامض اللبنيك ويتحرر حامض الفسفور ومن هذا يتكون فوسفات الكرياتين , كذلك حامض اللبنيك يعد مصدرا لاعادة تكوين الكلاكوجين .

سادسا- التغييرات الحراريه

تنتج الحراره عن فعالية الكالسيوم في ايقاف نشاط التربتونين وبالتالي تحرر انزيم ثلاثي فوسفات الادينوزين وانشطار ثلاثي فوسفات الادينوزين الى ثنائي فوسفات الادينوزين وفوسفات وطاقه .

تظهر الحراره اولا عند تقلص العضله وانبساطها ولاتعتمد على وجود الاوكسجين بل ترافق تحلل الATP و CP وعندما تتقلص العضله في غياب الاوكسجين , وتظهر بعض الحراره المتآخره اللاهوائيه بمرافقة حامض اللبنيك الناتج عن تحلل الكلاكوجين لااوكسجينيا .

عند وجود الاوكسجين وبعد انبساط العضله تظهر الحراره المتآخره الهوائيه , التي تتولد لفتره طويله ولعدة دقائق , حيث ترافق ازالة حامض اللبنيك من العضله عند اكسدته الى ثنائي اوكسيد الكربون وماء بصوره مباشره اوغير مباشره .

ان معظم الحراره التي تتولد في العضله تظهر بعد ان تنهي العضله عملها لذا فآن الحراره ليست مصدرا لحركة العضله , كما يدل ذلك ان العضله بذلت طاقه كبيره بعد الانتهاء من تقلصها لاعادة بناء الطاقه لمواصلة حركتها .

© جميع الحقوق محفوظة للمؤلفة وللاكاديمية الرياضية العراقية 2007
www.iraqacad.org

تأثير المحفزات المتعاقبه على العضله وتقلصها

اولا- تأثير محفزين متعاقبين Effect of two successive stimuli

أذا حفزت العضله بحافزين متعاقبين (لهما قوه محفزه عظمى) فأن الاول سيحفز جميع الوحدات الحركيه فى العضله اما الثانى فسيختلف تأثيره تبعا للحظة حصوله بعد الاول .أى ان تأثير المحفزين المتعاقبين يعتمد على طول الفتره الزمنيه الواقعه بين حدوثهما,

- **أذا وقع الثانى اثناء دورة العصيان المطلق** المتسبب عن المحفز الاول فسيتقدم تأثير المحفز الثانى بشكل مطلق ولا يظهر ويبقى فقط تأثير المحفز الاول بشكل تقلص عضلى بسيط.
- **أذا وقع المحفز الثانى أثناء دور التقلص العضلى** الحاصل بسبب الحافز الاول فأن تأثير الثانى سيظهر على شكل تقلص عضلى أقوى وأطول من الاول لوحده ومهما زادت قوة التقلص بفعل المحفزين الا انه لا يصل الى الضعف.
- **أذا وقع المحفز الثانى أثناء دور ألارتخاء العضلى** الحاصل بسبب المحفز الاول فأن الثانى سيحدث تأثيره ايضا فى هذه الحاله.أذ يحصل منحنى تقلص ثانى يضاف الى المنحنى الاول الحاصل بسبب التحفيز الاول ,أى سيحصل تقلص عضلى(ذو قمتين) بسبب عدم أكتمال الارتخاء العضلي فى منحنى التقلص الاول الحاصل بسبب المحفز الاول.

أما أذا وقع المحفز الثانى بعد أنتهاء الارتخاءالعضلى الحاصل بسبب الحافز الاول فأن المحفز الثانى سيحدث تقلصا عضلى منفصل تماماعن سابقه, أى أن كلا المحفزين المتتابعين سيحدث تقلص عضليا كاملا .

ثانيا- تأثير المحفزات المتكرره Effect of Repeated Stimuli

أذا حفزت العضلات الهيكليه بمحفزات متعاقبه وبصوره منظمه وفترات متساويه فأن التأثيرات التي ستحصل على نفس التقلص العضلى ستختلف بالنسبه للفتره الزمنيه بين المحفزات المتعاقبه وكلما تغيرت الفتره كلما تغير التأثير.

يظهر التأثير أما بشكل :

- **سلسله تقلصات متجمعه بشكل متموج**
- **تقلصات كاملة التجمع**

وفى حالات اخرى يفقد التأثير نهائيا لبعض المحفزات فى السلسله المتعاقبه ويبقى القليل منها فقط مؤثر, أذ تظهر تقلصات منفرده ومتباعده (. تعتمد على فترة وقوع المحفز اللاحق بالنسبه للذى سبقه) .

كما فى الحالات الاتيه

- **أذا وقعت المحفزات اللاحقه أثناء دور الكمون** الذى أحدثه تأثيرالمحفز السابق(أنعدم تأثير المحفز اللاحق)
- **أذا وقعت المحفزات اللاحقه أثناء دور التقلص** الذى أحدثه المحفز السابق, ظهر تأثير المحفزات اللاحقه(أذا كانت بقوه ضعيفه نسبيا) تحدث تقلصات تندمج مع

© جميع الحقوق محفوظة للمؤلفة وللاكاديمية الرياضية العراقية 2007
www.iraqacad.org

الاول السابق أى ستكون حصيلة التقلصات المتجمعه تقلصا مستمرا واحد أقوى من المنفرد لكل منهما ويظهر التقلص المتجمع بشكل متجمع ومستمر (تقلص تام التجمع)Complet Tetanus

- **أذا وقعت المحفزات اللاحقه أثناء دور الارتخاء** العضلى الذى احدثه المحفز السابق تاثير المحفزات اللاحقه تظهر احداث تقلصات متواليه يبدآ كل منها أثناء دورالارتخاء العضلى الذى يحدثه المحفز الذى يسبقه للمحفزات المتعاقبه وفى هذه الحاله لا ترجع العضله الى الارتخاء التام لانها ستعود وتتقلص مره اخرى بسبب المحفز اللاحق (وهكذا تجمع متموج)Clonus
- **أذا وقعت المحفزات اللاحقه بعد انتهاء الارتخاء العضلى** للتقلص الحاصل بسبب المحفزات السابقه يظهر التأثير بشكل تقلصات عضليه منفرده متباعده غير متجمعه.

© جميع الحقوق محفوظة للمؤلفة وللاكاديمية الرياضية العراقية 2007
www.iraqacad.org