

## تعب العضلة

### MUSCLE FATIGUE

الاستاذ المساعد الدكتور  
وهبي علوان البياتي

عضو الاكاديمية الرياضية العراقية  
www.iraqacad.org

نيسان 2009

#### تعريف التعب العضلي

عدم القابلية على استمرارية المحافظة على انتاج القدرة او القوة خلال تكرار تقلصات العضلة<sup>(1)</sup>.  
ويعرف أيضا للتعب العضلي بأنه انخفاض ومؤقت في قابلية اداء العضلات (4).

#### مفهوم التعب العضلي

يتعرض الرياضي عند الاستمرار في أداء جهد بدني (شدة عالية بوقت قصير، او شدة تحت القصوى بوقت طويل) الى ما يعرف بظاهرة التعب والذي تتضح معالمه في صورة انخفاض في مستوى كفاءة العمل<sup>(2)</sup>.  
وللتعرف على ظاهرة التعب الميكانيكي و الفسيولوجيا الخاصة به، لوحظ وجود اتجاهين لتفسير هذه الظاهرة، البعض يرى ان الاتجاه الاول للتعب يكمن داخل الجهاز العصبي المركزي ويدعى (بالتعب المركزي) ، ينتج هذا التعب من جراء انخفاض كفاءة عمل المراكز العصبية بما يؤدي الى ظهور حالة التعب، اما البعض الاخر فيرى ان الاتجاه الثاني للتعب يكمن داخل العضلة العاملة نفسها اذ تتجمع نواتج الاحتراق خلال العمل البدني.

#### انواع التعب

قسم ابو العلا عبد الفتاح التعب الى اربع انواع (1) :-

- 1- التعب الذهني.
- 2- التعب الحسي.
- 3- التعب الانفعالي.
- 4- التعب البدني.

- أ- التعب الموضعي.
- ب- التعب الجزئي.
- ج- التعب الكلي.

حتى يمكن التخلص من التعب الناتج عن التدريب او المنافسة وتحديد وسيلة الاستشفاء المناسبة يجب التعرف على انواع التعب المختلفة، فالتعب ليس مجرد ظاهرة من نوع واحد لا تتغير مظهره او اسبابه من نشاط رياضي الى اخر، ولكن على العكس من ذلك فان التعب ظاهرة متعددة الواجه و الاسباب، فكما ان أنشطة الانسان تتنوع و الاعمال التي ترتبط بدرجة عالية من التركيز الحسي وغيرها أيضا تختلف أسباب حدوث التعب تبعاً لمتطلبات الأداء البدني و الفسيولوجي والتي تختلف تبعاً لطبيعة النشاط المستخدم ذاته:

#### 1- التعب الذهني

ومثال على ذلك التعب الذي يشعر به العاملون في الاعمال الذهنية او الفكرية وفي المجال الرياضي لاعب الشطرنج، وهنا يكون التعب اساسا في الجهاز العصبي المركزي او المخ بصفة اساسية.

#### 2- التعب الحسي

ويحدث هذا النوع من التعب في حالة الانشطة التي تتطلب درجة عالية من التركيز الحسي، بمعنى درجة عالية من نشاط الحواس بالجسم والمستقبلات الحسية التي يتخذ المخ في ضوء المعلومات الواردة منها القرار المناسب للأداء، ويظهر ذلك بوضوح في رياضة الرماية، حيث تلعب الحواس المختلفة دورا هاما في تحقيق دقة الاداء، فالتصويب يتطلب ان تكون حاسة البصر على اعلى درجة من التركيز وكذلك حاسة السمع لعزل أي مؤثرات تشتت انتباه الرامي، وكذلك أعضاء الحس الموجودة في العضلات والأوتار والمفاصل ودورها في السيطرة على الحركات او الانقباضات المطلوبة بالقدر المطلوب والمدى والتوقيت المطلوب.

#### 3- التعب الانفعالي

ويرتبط هذا النوع بالانشطة التي تصاحبها درجة عالية من الانفعالات والتوترات، وكذلك لعدم وجود عنصر التغيير في اداء النشاط البدني ذاته والاحساس بالملل في بعض الانشطة.

#### 4- التعب البدني

ويحدث هذا النوع من التعب كنتيجة للانقباضات العضلية المطلوبة لاداء الانشطة البدنية المختلفة، وقد قسمه العلماء تبعاً لعدد العضلات المشاركة في العمل الى التعب الموضوعي والتعب الجزئي والتعب الكلي.

**أ- التعب الموضوعي**

وهو التعب الذي يحدث في حالة مشاركة أقل من ثلث حجم عضلات الجسم مثل تعب عضلات الذراعين عند التصويب في كرة السلة، أو عند التصويب في الرماية.

**ب- التعب الجزئي**

وهو التعب الذي يحدث في حالة مشاركة أقل من ثلثي حجم عضلات الجسم مثل تعب عضلات الرجلين في تدريبات السباحة مثلاً، أو في تدريبات الاثقال أو تعب عضلات الطرف العلوي عند التركيز في الرمي أو الاثقال.

**ج- التعب الكلي**

وهو التعب الذي يحدث عند مشاركة أكثر من ثلثي عضلات الجسم في العمل، ويصاحب ذلك العمل القصوى للأجهزة الحيوية كالجهاز الدوري والجهاز التنفسي مثل الجري أو السباحة أو الأداء في الألعاب الفرقية وغيرها.

والسؤال الهام هنا هل يرتبط تحمل مواجهة التعب في أي نوع من الأنواع الثلاثة السابقة مع بعضها؟ والإجابة عن هذا السؤال: لا، إذ لا يوجد ارتباط بين الأنواع الثلاثة: فالمقدرة على مواجهة التعب الموضوعي في جزء من عضلات الجسم لا يعني توافر نفس المقدرة على مواجهة التعب الناتج من العمل في جزء آخر من عضلات الجسم أو جميع عضلات الجسم.

كما يجب ملاحظة أن هناك تقسيمات أخرى لأنواع التعب تبعاً لنوعية الانقباض العضلي، فالتعب الناتج من العمل العضلي الثابت يختلف عن التعب الناتج عن العمل العضلي المتحرك.

**مواقع التعب العضلي**

يقسم التعب في الأساس إلى نوعين: (1) **التعب المركزي**، (2) **التعب المحيطي**.

**1- التعب المركزي:**

يستدل على تعب الجهاز العصبي المركزي (CNS) إذا كان هناك:

أ- انخفاض في وظيفة عدد الوحدات الحركية المستخدمة في النشاط (11).

ب- انخفاض في تكرار إثارة الوحدة الحركية.

التعب المركزي يعني أن التعب ينشأ أصلاً في CNS (الجهاز العصبي المركزي). ولقد أثبت مورتن في تجربته النموذجية بعدم وجود فرق في تطوير الشد عند مقارنة تقلص شدة قصوى إرادية مع تقلص أقصى أحدثه حافز كهربائي، وعند تعب العضلة من التقلص اللاإرادي لا يستطيع الحافز الكهربائي أن يعيد أو يجدد الشد في العضلة، اثبتت هذه التجربة أن CNS هو ليس بالمحدد للداء وان موقع التعب هو "محيطي".

أما الحافز الكهربائي الموجه نحو تحفيز العضلة التي أصابها التعبت من التقلص الإرادي أحدث زيادة في تطور الشد، مما أثبت أن الحد الأعلى للقوة الإرادية هو موقع سايكولوجي، على فرض أن عوامل الإثارة هي كل ما يحتاج له لتحقيق

الحد الفسيولوجي، هناك دراستان قام بها اسموسن ومازن(5)، اتفقتا مع هذه النتائج (بان CNS يمكن أن يحدد الأداء) إذ نفذت عينة التجربة تمرين رفع اثقال 30 تكرار في الدقيقة، مما سبب التعب خلال 2-3 دقيقة، تبعها راحة لمدة 2دقيقة ثم الاستمرار في تمرين الرفع، استنتج هاذان الباحثان بأنه عند أداء التمرين وحدث التعب يتحول الشخص إلى تنفيذ أحد الأمرين: أما التحول نحو الجسم وذلك عن طريق تقلص عضلات أخرى غير متعبة في الجسم أو التحول نحو الذهن، وذلك عن طريق إجراء بعض العمليات الحسابية ذهنياً بين فترات الراحة خلال التمرين، ناتج الشغل ارتفع عند اشغال الذهن في فترات الراحة مقارنة مع الاستراحة بدون اشغال الذهن، كذلك وجدوا أن أداء تمرين تقلص عضلي مستمر إلى نقطة التعب والعين مغلقة مقارنة مع أداء التمرين والعين مفتوحة، ووجدوا أن التمرين والعين مفتوحة أفضل وذلك بسبب أن تكرار الإثارة الحسية للجهاز العصبي المركزي تسهل تجنيد الوحدة الحركية لزيادة القوة وتغير حالة التعب.

**2- التعب المحيطي**

بما أن هناك باحثين لهم آراء مع وضد كون الجهاز العصبي المركزي هو موقع التعب، هناك أدلة كثيرة تشير إلى أن التعب سببها محيطي، أما في موقع عصبي، موقع ميكانيكي أو في مواقع توليد الطاقة التي يمكن أن تعرقل تطور الشد.

**أ- عوامل عصبية:**

يحدث التعب نتيجة عوامل عصبية يرافقها فشل في وظيفة العصب عضلي، غلاف الليفة العصبية، الأنايبب المستعرضة (T-tubule)، أو الشبكة الهيولية العضلية (SR)، التي تساهم في خزن وإطلاق  $Ca^{++}$  واستعادته مرة أخرى.

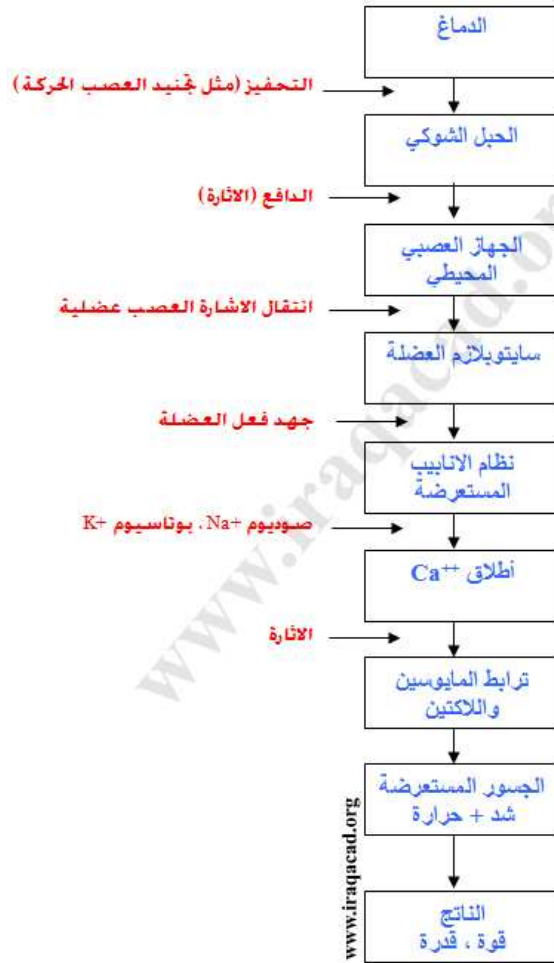
**ب- موقع التحام العصب العضلي:**

يبدو أن إيصال جهد الفعل إلى نقطة التحام العصب الحركي بالعضلة يستمر حتى عند ظهور التعب، هذا اعتمد على أدلة من خلال قياس النشاطات بطريقة الحوافز الكهربائية الموجهة على نقطة اتصال العصب العضلي، واستنتج من خلالها أن موقع اتصال العصب عضلي هو ليس بموقع التعب (6).

**ج- موقع الأنايبب المستعرضة والغشاء الهيولي**

لقد تم اقتراض أن الغشاء الهيولي أحد مواقع التعب نتيجة عدم قدرته المحافظة على تركيز  $Ca^{++}$  و  $k^{+}$  خلال تكرار الحافز، عندما لا تتم المحافظة على ضخ  $Ca^{++} / k^{+}$  بأسلوب متوازن، عندها يتراكم  $k^{+}$  خارج الغشاء ونقصه داخل الخلية، مما ينتج عنه إزالة الاستقطاب من الخلية وخفض حجم جهد الفعل، الخفض التدريجي للاستقطاب يسبب تغير في وظيفة الأنايبب المستعرضة (تعطيل الأنايبب

المستعرضة لجهد الفعل) ونتيجة لهذه العملية يتأثر إطلاق الكالسيوم  $Ca^{++}$  من الشبكة الهولييه مما يسبب ضعف تقلص العضلة (3)، توجد أدلة على ان انخفاض جهد الفعل عن الحد الطبيعي يمتلك القابلية على خفض ناتج القوة المنتجة من العضلة، بالإضافة إلى ان هبوط جهد الفعل مع الاستمرار في تحفيز العضلة هو أسلوب حماية للعضلة من التعب بدرجة أكبر (7) هذا لا يعني ان الأنايبب المستعرضة لا تشارك في عملية التعب، إذ تعمل الأنايبب المستعرضة في ظروف معينة على قطع ضخ الكالسيوم لانقطاع جهد الفعل مما يؤدي الى خفض فعالية جسور المايوسين المستعرضة.



الشكل (1) مواقع التعب (11)

**اهمية التعب العضلي**

تكمّن ظاهرة التعب العضلي في أهمية مقدرتها على تطوير القابلية للفرد الرياضي اذ من الضروري ان يصل الحمل البدني في التدريب الى حدود التعب لكي يحدث تغيرات ايجابية في تكيف اجهزة الجسم، وبعد هذا التكيف العامل الرئيسي في تطور القابلية خصوصاً في الفعاليات التي ترتبط بتنمية التحمل، لذا فان التدريب يجب ان يصل الى حالة التعب وليس الانهالك "الاجهاد" لاحداث التأثير المرغوب فيه على الاعضاء، وإذا لم يصل الى احداث التأثير الفعال فان هذه التغيرات الوقتية تزول بزوال اثر التدريب ولا يحدث أي تطور.

يعد التعب ظاهرة فسيولوجية على درجة عالية من الهمية في حماية الاعضاء من تخطي حدود مقدرتها الوظيفية ويعد الإشارة الحاسمة بعدم الاستمرار في اداء الجهد والوصول الى مرحلة الإنهالك التي تؤدي الى تحطيم فرص الاستشفاء والعودة الى الحالة الطبيعية، اذ يؤدي الانهالك الى انخفاض مستوى الحالة التدريبية للفرد الرياضي وفي حالات ليست قليلة امكن حدوث مشاكل في الجهاز الدوري والعصبي(2).

**العوامل الميكانيكية للتعب**

ان العامل الميكانيكي الرئيس للتعب الذي له علاقة بالتعب هو "دورة الجسور المستعرضة"، الذي يعتمد عملها على :-  
 (1) الانسجام الوظيفي بين اللاكتين و المايوسين.  
 (2) توفر  $Ca^{++}$  لكي يرتبط مع التروبونين ( troponin - بروتين النقل) الذي يعمل على تقوية ترابط اللاكتين مع المايوسين.  
 (3) توفير ATP الذي يحتاج له في تنشيط الجسور المستعرضة لاحداث حركة تلاحم وتحرير الجسر المستعرض من اللاكتين.  
 (4) التركيز العالي  $H^{+}$  (ايون الهايدروجين) نتيجة تجزئه حامض اللاكتيك (الى  $H^{+}$  و لاكتيك)، يساهم في التعب بطرق مختلفة:  
 أ- خفض القوة في الجسور المستعرضة.  
 ب- خفض القوة المتولدة من تركيز معين لـ  $Ca^{++}$ ، اذ يعمل كعازل للترابط بين  $Ca^{++}$  وبروتين النقل- troponin.  
 ج- يعمل على كبح الشبكة الهيولية من اطلاق  $Ca^{++}$ .

**العوامل الكيميائية للتعب**

التعب ببساطة هو نتيجة عدم التوازن بين حاجة العضلة من ATP وقابليتها على تكوين ATP (2). عند بداية التمرين تزداد الحاجة الى ATP وتظهر سلسلة من ردود الافعال لتكوين ATP واعادة توفره مرة ثانية. خلال استهلاك الجسور المستعرضة لـ ATP وتكوين ناتج ADP يبدأ مباشرة بتزويد PC (فوسفات كرياتين) لاعادة تكوين ATP (ATP + C) = PC

$(ADP^{+})$ ، وعندما يبدأ PC بالتناقص يستمر ADP بالتراكم، عندها يظهر رد فعل خميرة العضلة (Myokinase) لتكوين ATP. يؤدي تراكم هذه المنتجات الى التحفيز بتحليل السكر لتكوين ATP اضافي مما ينتج عنه تراكم  $H^{+}$ ، وأثناء زيادة الحاجة لتكوين ATP تظهر ردود أفعال مختلفة في الخلية تعمل على تحديد الشغل داخل الخلية من اجل حمايتها من الضرر، هذه إحدى الآليات لحماية العضلة من التعب، ماهي الإشارات التي ترسل الى العضلة بالتباضيء في استخدام الطاقة وخفض ادائها؟ عندما لا تحافظ الميكانيكية على تكوين ATP واستمرارية استخدامه، يبدأ الفسفور اللاعضوي Pi بالتراكم في الخلية (توقف تحويل Pi و ADP الى ATP)، زيادة Pi يؤدي الى تثبيط القوة القصوى، اذ يعمل Pi بصورة مباشرة على الجسور المستعرضة ويخفض من ارتباطها مع اللاكتين، من المثير ان الخلايا لاينفذ منها ATP، حتى في حالات التعب الشديد جداً، حيث لايفض مستوى ATP عن 70% في الخلايا مقارنة مع مستواه قبل التمرين، ان العوامل المسببة للتعب تؤدي الى خفض كمية استخدام ATP مقارنة مع نسبة استمرار تكوينه لذا يحافظ ATP على تركيز.

**الخصائص الفسيولوجية للتعب**

1- التعب ناتج عن ميكانيكية الاعاقة التي تسببها المراكز العصبية من جراء الانهالك الوظيفي.  
 2- نتيجة التعب العضلي تحدث اعاقه في منطقة الحركة في القشرة المخية في الدماغ.  
 3- نتيجة التعب يختل توازن نظام العمليات العصبية.  
 4- يعمل التعب على تغيير نظام تبادل المواد داخل الخلية العصبية لذا تحدث ردود افعال معقدة داخل الجهاز العصبي المركزي.  
 5- نتيجة التعب يحدث انخفاض في وصول الاوكسجين الى الخلايا مما يؤدي الى انخفاض الإشارة (2).

**الاسباب الخاصة لظهور التعب**

تختلف اسباب ظاهرة التعب تبعاً لاختلاف العمل العضلي وطبيعته وفترة استمراره فالتعب الناتج عن العمل العضلي لفترة قصيرة يختلف من التعب العضلي الناتج من استمرار العمل لفترة طويلة، فالتعب الناتج عن العمل اللاهوائي يختلف في اسبابه ووسائل التخلص منه والفترة الزمنية اللازمة لذلك عن التعب الناتج عن العمل العضلي الهوائي.

وقد قسم العالم كوتس 1986 خصائص التعب تبعاً لطبيعة نظم إنتاج الطاقة اللاهوائية والهوائية إلى الأنواع التالية:

- 1- التعب الناتج عن العمل لفترة 15- 20 ثانية
- 2- التعب الناتج عن العمل لفترة 20- 45 ثانية
- 3- التعب الناتج عن العمل لفترة 45- 90 ثانية
- 4- التعب الناتج عن العمل لفترة 30- 80 دقيقة
- 5- التعب الناتج عن العمل لفترة 80- 120 دقيقة
- 6- التعب الناتج عن العمل لفترة أكثر من ساعتين

#### 1- التعب الناتج عن العمل لفترة 15- 20 ثانية

يستمر زمن الأداء في بعض الفعاليات الرياضية لفترات قصيرة لالتزيد عن 20 ثانية، وتعتمد مثل هذه الفعاليات في إنتاج الطاقة اللازمة لها على العمليات اللاهوائية لإنتاج الطاقة من خلال إعادة بناء (ATP) عن طريق فوسفات الكرياتين (CP) بدون تدخل الأوكسجين، وفي مثل هذه الحالة يكون سبب التعب بالدرجة الأولى يرجع إلى العمليات العصبية بالجهاز العصبي المركزي، حيث تنشط المراكز العصبية الحركية بالحد الأقصى لها لأحداث تيار مستمر من الإشارات العصبية الذي يوجه بصفة خاصة إلى الألياف العضلية السريعة، وهذا يؤدي إلى سرعة حدوث التعب عن طريق الجهاز العصبي المركزي أساساً، هذا بالإضافة أيضاً إلى استهلاك المصادر الفوسفاتية لإنتاج الطاقة، خاصة (PC) المسئول عن إعادة بناء المركب الكيميائي الغني بالطاقة ATP.

#### 2- التعب الناتج عن العمل لفترة 20- 45 ثانية

يؤدي العمل العضلي الأقصى لفترة 20- 45 ثانية إلى استهلاك قدر كبير من المركبات الفوسفاتية بالليفة العضلية، بالإضافة إلى تكسير الكلايوجين وإنتاج الطاقة اللاهوائية (بدون الأوكسجين)، وفي هذه الحالة يتجمع حامض اللاكتيك في العضلة ويزداد تركيزه ويسبب الشعور بالألم ثم ينتشر في الدم وبالتالي يؤثر على نشاط الجهاز العصبي ويسبب التعب.

#### 3- التعب الناتج عن العمل لفترة 45- 90 ثانية

ويعد السبب الرئيسي للتعب، السبب في هذه الحالة تراكم حامض اللاكتيك في العضلات وفي الدم و تأثيره السلبي على حالة الجهاز العصبي.

#### 4- التعب الناتج عن العمل لفترة 30- 80 دقيقة

عادة ما يكون العمل العضلي في هذه المجموعة من الفعاليات الرياضية مرتبطاً باستهلاك الأوكسجين والاعتماد على الكلايوجين المخزون بالعضلات كمصدر لإعادة بناء ATP و إنتاج الطاقة وكذلك على سكر الكلوكون بالدم، ولذلك فإن اسباب

التعب في هذه الحالة ترتبط باستهلاك مخزون الكلايوجين الموجود بالعضلات وبالكد.

#### 5- التعب الناتج عن العمل لفترة 80- 120 دقيقة

أسباب التعب في هذه المجموعة من الفعاليات الرياضية تشبه ما سبقها في المجموعة السابقة من حيث نقص مخزون الكلايوجين وغيرها، وبالإضافة لذلك يحدث التعب نتيجة اختلال وسائل تنظيم درجة حرارة الجسم لطول الفترة الزمنية والاستمرار في العمل وزيادة حجم الطاقة الناتجة وما يصاحب ذلك من زيادة في درجة حرارة الجسم ونشاط عمليات التخلص من الحرارة الزائدة للاحتفاظ بثبات درجة الحرارة وذلك من خلال وسائل التخلص من الحرارة وفي مقدمتها تبخر التعرق وما يصاحبه من برودة لازالة الحرارة الزائدة من الجسم.

#### 6- التعب الناتج عن العمل لفترة أكثر من ساعتين

هذا النوع من التعب بالإضافة إلى عمليات استهلاك الجليكوجين وزيادة الحرارة فإن طول فترة العمل تؤدي إلى زيادة استهلاك الدهون وما يصاحب ذلك من مخلفات التمثيل الغذائي والتي تسبب أيضاً الشعور بالتعب.

#### درجات التعب

قسم فولكون 1973 التعب العضلي إلى عدة درجات تختلف في صعوبتها بداية من التعب البسيط حتى يصل الرياضي إلى الحالات المرضية كما يلي :

##### 1- التعب البسيط Fatigue

##### 2- التعب الحاد Acute Fatigue

##### 3- الاجهاد Exhaustion

##### 4- التدريب الزائد Overtraining

##### 1- التعب البسيط Fatigue

حالة الرياضي بعد أداءه حمل تدريبي منخفض الشدة، ويكون في شكل شعور بسيط بالتعب مع عدم انخفاض الكفاءة البدنية.

##### 2- التعب الحاد Acute Fatigue

حالة الرياضي التي تظهر بعد أداء الحمل الأقصى ولمرة واحدة، وفي هذه الحالة يلحظ ضعف الأداء وانخفاض حاد في الكفاءة البدنية والقوة العضلية، وتظهر هذه الحالة غالباً لدى الرياضيين غير المدربين على درجة عالية، ومن أهم المظاهر العامة لهذه الحالة شحوب الوجه وزيادة معدل ضربات القلب وارتفاع الضغط الانقباضي (السيستولي) بمقدار 40- 60 مم زئبق مع انخفاض حاد للضغط الانبساطي (الدياستولي) ويطلق عليها (( ظاهرة القمة بلا نهاية)) ويلاحظ على

مخطط القلب الكهربائي اختلال عمليات التمثيل الغذائي لعضلة القلب وزيادة عدد الكريات البيضاء في الدم، وفي بعض الاحيان وجود زلال في البول.

### 3- الإجهاد Exhaustion

تظهر هذه الحالة بشكل حاد بعد تنفيذ الحمل التدريبي او حمل المنافسة الاقصى لمرة واحدة، وذلك عندما يتدرب الرياضي في وقت المرض حينما تكون الحالة الوظيفية منخفضة، وقد يرجع ذلك ايضا الى مراكز العدوى المزمنة مثل التهاب اللوزتين او تسوس الأسنان وغيرها، وغالبا ما تظهر هذه الحالة لدى بعض الرياضيين الذين يتميزون بزيادة حماسهم لأداء أعمال تدريبية عدة وشديدة دون التخلص من التعب الناتج من الأحمال السابقة، ويلاحظ على الرياضي ضعف عام ودوار الراس وشعور بالغثيان في بعض الاحيان، واختلال التوافق الحركي، واختلال في ضغط الدم الشرياني واضطراب في إيقاع ضربات القلب و أعراض أمراض الكلية وعدم توافق وظائف الجهاز الدوري مع الحمل، وتستمر هذه الحالة من التعب من عدة ايام الى عدة اسابيع، ويتطلب التخلص من هذه الحالة من التعب من عدة ايام الى عدة اسابيع، ويتطلب التخلص من هذه الحالة عملا تعاونيا بين المدرب والطبيب.

### 4- التدريب الزائد Overtraining

وهي الحالة التي تظهر على الرياضي نتيجة عدم التخطيط السليم للتناسب ما بين الراحة والعمل، وإساءة استخدام توقيت أداء الحمل التدريبي، او الاعتماد على استخدام طريقة واحدة من طرق او وسائل التدريب او عدم الالتزام بالتدرج في زيادة حمل التدريب، او عدم اعطاء الراحة الكافية او كثرة المشاركات في المنافسات وخاصة في حالة وجود البؤر الصديبية او بعض الامراض.

### اسباب التعب العضلي من تمرين شدة عالية بوقت قصير (14) :-

- 1- نقص فوسفات الكرياتين (PC).
- 2- نقص ثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP).
- 3- تراكم اللاكتات (من جراء تفكيك حامض اللاكتيك).
- 4- تراكم الفسفور العضوي (Pi) (يخفف من قوة ترابط الجسور المستعرضة).
- 5- انخفاض النشاط العصبي العضلي.

### العوامل المحددة للتعب خلال تمرين شدة عالية

تعتمد قابلية الشخص على أداء تمرين شدة عالية على كفاءته في توليد وإدامة ناتج قدرة عالي. تحتاج هذه الإدامة الى قابلية لاهوائية عالية وقابلية وظيفية لتكوين القوة الضرورية والسرعة لإنتاج القوة المطلوبة، وتعتمد قمة السرعة وناتج القدرة على عوامل عدة، أهمها: حجم العضلة، القوة في المقطع العرضي، معدل تطور قمة القوة، والسرعة القصوى لتقصير العضلة (V max). وان عدم قابلية المحافظة على

ناتج القدرة المرغوب بها يعني ظهور التعب، وتصنف الميكانيكيات التي تحاول تفسير التعب على انها نتيجة تراكم مخلفات الاحتراق او نقص مصادر الطاقة(13).

### 1- عامل الكالسيوم

تحدد قيمة تطور القوة بمقدار الترابط بين المايوسين و اللاكتين(الجسور المستعرضة)، ولقد اثبت ان هذه التطور في القوة له علاقة مباشرة مع تنظيم اطلاق الكالسيوم (Ca<sup>++</sup>). بالإضافة الى إمكانية تتبع الهبوط في ناتج القوة في جزء منه كنتيجة لنقص اطلاق الكالسيوم من الشبكة الهيولية (SR)، اذ تفتح قنوات اطلاق الكالسيوم في الشبكة الهيولية للسماح بنفاذه وإعادة امتصاصه عن طريق مضخات الكالسيوم. ومن المعروف ان الألياف السريعة تحتوي على كثافة عالية من الشبكة الهيولية ويمكنها اطلاق كمية كبيرة من الكالسيوم مقارنة مع الألياف البطيئة، هناك علاقة وثيقة بين سرعة النقل ومعدل الراحة وزيادة عدد مضخات Ca<sup>++</sup>، بالإضافة الى ان مضخات Ca<sup>++</sup> هي المستهلك الأساسي لـ ATP خلال فترة الراحة والنشاط البدني، وتقدر نسبة استهلاك مضخات Ca<sup>++</sup> بـ 30% من ATP خلال النقل الأيزومتري.

في دراسة تجريبية حديثة على خلايا عضلة معزولة ربطت بين انخفاض Ca<sup>++</sup> في الشبكة الهيولية وبين التعب، واستنتجت ان خفض المعدل العالي لاطلاق Ca<sup>++</sup> لم يكن كنتيجة لضعف توصيل انابيب T (T-tubule)، بل عدم المقدرة اما على استثارة الشبكة الهيولية او عدم المقدرة على اطلاق Ca<sup>++</sup>، بالإضافة الى ان انخفاض ناتج القدرة ترافق مع قلة PH داخل الخلايا نتيجة ضعف حساسية عناصر التقلص الى Ca<sup>++</sup>، والشكل الآخر هو ملاحظة اطالة زمن الراحة مع زيادة شدة التمرين والتي لها علاقة قريبة مع خفض معدل امتصاص Ca<sup>++</sup>.

### عامل ATP

يعتقد ان عدم كفاية ATP في الخلايا هو المسبب للتعب، بالرغم من ان الادلة الجيدة خمنت ان هذا ليس بالمسبب للمشكلة. اذ اظهرت دراسات عدة ان معدل ATP لا يهبط الى اقل من 70% عن مستوياته قبل التمرين وخلال اداء تمرين شدة عالية، من ناحية ثانية هناك جدل على ان نسبة 70 الى 80% من ATP الموجود في الشبكة الهيولية مخصصه لبيوت الطاقة وغير مخصصه للجسور المستعرضة. بمعنى اخر ان ATP مقسم الى اجزاء حيث يكون ATP كافي داخل الخلية ولكن في غير المواقع التي يحتاج لها، والرأي المضاد لهذه الفرضية ان هناك احتمالية بان العضلة المرشحة سوف تطور الشدة من جسور مستعرضة مضطربة نتيجة نقص ATP، وهذا لم يظهر لحد الان.

تنتج عملية تحليل السكر اللاهوائية (تحليل السكر) حامض اللاكتيك وان معظم هذا الحامض يتجزأ الى ايون  $H^+$  ولاكتات. ويؤدي وجود  $H^+$  داخل الخلية الى خفض البوتاسيوم ( $K^+$ )، وخفض تكوين PC وعدم انتظام  $CO_2$  المنتج في بيوت الطاقة. ويؤثر انخفاض PH داخل العضلة على عدة مواقع مما يسبب التعب.

**g-** كبح عملية تحليل السكر بواسطة  $H^+$ : يترافق مع زيادة الحموضة انخفاض في تحويل انزيم الفوسفور (b) الخامل الى الشكل (a) الفعال. وكبح عمل فوسفو فركتوكيناز (PFK) (انزيم التفاعل الثالث). بالاضافة الى ان وظيفة  $H^+$  الأساسية هي منع تحليل السكر والتي تسبب تعب العضلة. وهذا قابل للتساؤل بسبب ان ATP في العضلة لا ينخفض مستواه خلال التمرين الى درجة ابطاء عمل انزيم ATPase) للمايوسين.

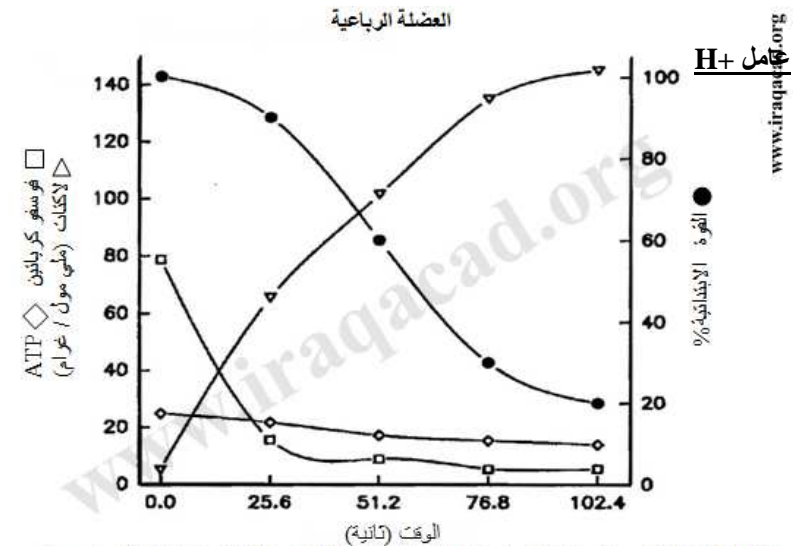
يستعمل ATP و PC خلال التمرين اللاهوائي مرتفع الشدة والفترة القصيرة وخلال 7 ثواني من بداية التمرين، بعد ذلك يستعان بالكلايوجين عن طريق عملية تحليل السكر لإنتاج كمية إضافية من CP ليعطي طاقة إضافية، ويحفظ على إنتاج ATP، حيث تسمح هذه الكمية الإضافية من ATP على استمرار تقلص العضلة، وينتج من عملية تحليل السكر هذه حامض اللاكتيك ( $C_3H_6O_3$ ) ويتحول الى حامض البروفيك  $C_3H_4O_3$ . وينتج من تجزئة حامض اللاكتيك مادة اللاكتات، التي هي عبارة عن املاح ناتجة من ارتباط ايوني  $H^+$  مع ايون الصوديوم  $Na^+$  وايون البوتاسيوم  $K^+$ ، في تلك اللحظة تحتوي خلايا العضلة على مادة اللاكتات وايون  $H^+$  الحر وهي مكونات ناتجة من حامض اللاكتيك، وان زيادة  $H^+$  في الخلايا يسبب انخفاض PH وتصبح بيئة العضلة أكثر حموضة، هذه الحموضة المرتفعة تسبب انخفاض في القابلية الترابطية للكالسيوم، وهذا يعمل على الحد من تقلص العضلة، وهذا احد اسباب تعب العضلة.

تقوم بعض اللاكتات بالتسرب خارج الخلايا الى مجرى الدم حيث ترسل الى الكبد لكي تستخدم في إعادة تكوين الكلوكوز. ويجب ان تزال اللاكتات الباقية من الخلايا أيضاً، يعمل الاوكسجين وحامض اللاكتيك سوياً على إعادة تكوين ATP من خلال عملية الايض الهوائي.

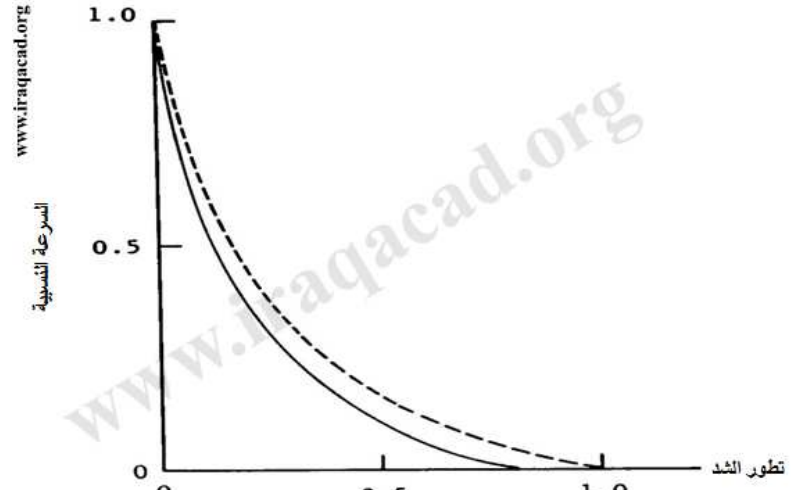
## عامل PC

يعمل PC كمنظم لتوفير الطاقة عند بداية التمرين، اذ يهبط مستواه بسرعة خلال الثوان القليلة الاولى الى 5-10% عن قيمته قبل التمرين وخلال 30 ثانية، من ناحية ثانية يظهر نقص PC بسرعة في تمارين القوة، مما يؤدي الى تحديد انتاج القوة، وان وظيفة PC اعادة تكوين ATP وان مستوى ATP لا يهبط الى اقل من 70% عن مستواه بعد التمرين، هذه الفرضية غير محتملة الحدوث الا اذا قبل الشخص فرضية تواجد ATP مقسم الى اجزاء داخل الخلية ولكن في المواقع التي لا يحتاج لها.

اظهرت عدة دراسات حديثة ان تناول جرعات تكميلية عالية من الكرياتين يعزز من ناتج الشغل خلال تكرار وحدات التمرين، بينما الكرياتين التكميلي لايزيد من ناتج قمة القدرة، بل يعمل على التقليل من هبوط ناتج القدرة بسبب التعب خلال الفترة الزمنية لتكرار وحدات التمرين، سوف تزيد هذه الجرعات الملائمة التكميلية للكرياتين من اجمالي الكرياتين العضلي المخزون لدى الاشخاص خلال يومين. من ناحية ثانية ان احتمالية تحسن ناتج الشغل هو نتيجة اعادة تكوين PC خلال فترة الاستشفاء.



شكل (2) قوة تقلص العضلة الرباعية وتفاعل PC و ATP ولاكتات خلال تحفيز كهربائي (20 هيرتز، 1,6 حافز في الثانية مع راحة 1,6 ثانية). القوة % ●—● ATP، □—□ PC، △—△ تشمل اللاكتات هذه الدورة



الشكل (3) تأثير ارتفاع Pi على تقلص الليفة. القوس المقطع يمثل حالة عدم التعب، القوس الخطي ارتفاع Pi كما لوحظ في عضلة متعبة

**b- كبح  $H^+$  لدرجة اثاره التقلص:** ظهر ان انخفاض PH يؤدي الى خفض انجذاب التروبونين (Troponin) نحو  $Ca^{++}$ , وهذا يؤثر على الالياف نوع II اكثر من

**b- كبح  $H^+$  لمستوى اثاره التقلص:** ظهر ان انخفاض PH يؤدي الى خفض انجذاب  $Ca^{++}$  نحو التروبونين (Troponin), وهذا يؤثر أكثر على الألياف نوع II من تأثيره على النوع I, الميكانيكية لهذا غير واضحة, ربما لوجود تنافس بين  $H^+$  و  $Ca^{++}$  للحصول على التروبونين في مواقع الترابط (اللاكين والمايوسين).

**c- تأثير  $H^+$  على دورة الجسر المستعرضة:** تخفض زيادة تراكم  $H^+$  أيضا من سرعة التقلص ( $V_{max}$ ) وعلى تطور الشد الأقصى لليفة, بالإضافة الى ان هذا يؤثر على الالياف النوع II اكثر من الياف النوع I, بسبب اختلاف تساوي اشكال المايوسين. وتخفض فعالية انزيم ATP بسبب انخفاض مستوى PH مما يؤدي الى بطيء اطلاق ADP, هذه العملية ككل تحدد من معدل سرعة دورة الجسر المستعرض.

### تراكم الفسفور اللاعضوي (Pi)

استنتج كوكي وجماعته (Cooke et al. ) (1988) (13) ان زيادة Pi داخل النسيج العضلي يزيد من حالة ضعف الترابط بين الجسور المستعرضة مما يؤدي الى خفض تطور الشد. ويسبب تحرير Pi من رؤس المايوسين الانتقال من حالة الضعف الى حالة القوة, وان ارتفاع Pi داخل النسيج العضلي يكبح تحرير Pi وتركه لرؤس المايوسين مما ينتج عنه حالة ضعف لفترة طويلة من الوقت.

**ملخص:** الميكانيكيات الخلوية للتعب العضلي من الظواهر المعقدة وتشمل الفشل في أكثر من موقع واحد على طول سلسلة عمليات الاثارة والتقلص. ينخفض ناتج القوة وكذلك سرعة التقصير مما يؤدي الى تغيرات في الخصائص الحركية للجسور المستعرضة, ضمن ايدمان (Edman) (1992) (13) ظهور التغيرات التالية في وظيفة الجسر المستعرض خلال تعب العضلة يؤدي الى: (1) انخفاض قليل في عدد الجسور المستعرضة المترابطة, (2) انخفاض ناتج القدرة للجسر المستعرض المفرد, (3) بطيء سرعة دورة الجسور خلال دورة التقلص. والعوامل المؤثرة على هذه العملية تشمل: فشل انابيب T على اثاره الساركوبلازم SR, وزيادة  $H^+$  داخل الخلايا, وزيادة Pi, كذلك نقص كمية ATP في جزء معين من الخلية.

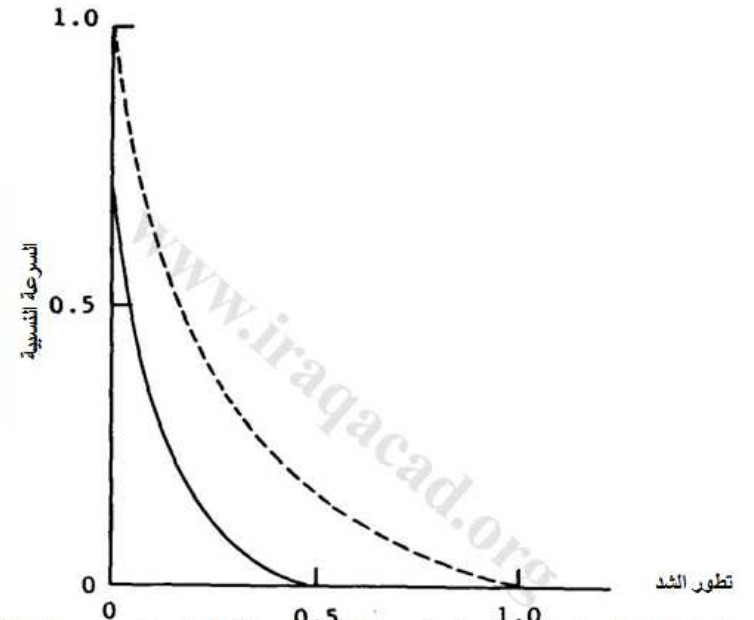
• اسباب التعب العضلي من تمرين شدة تحت القصوى ووقت طويل (14) :-

- 1- نقص كلوكوز الدم.
- 2- نقص الكلاوجين في العضلة (بعد 2 ساعة او اكثر).
- 3- نقص ثلاثي الكلسرين (تناول دهون قبل التمرين يطيل فترة المطاولة).
- 4- نقص الماء.
- 5- ارتفاع درجة الحرارة. [ بسبب تاثيرهما (4 و 5) على الجهاز القلبي, يخفض عن طريق تناول سوائل باردة خلال التمرين ].

### العوامل المحددة للتعب خلال تمرين المطاولة

الجواب على هذا السؤال لازال يحتاج الى المزيد من الدراسة والبحث. تحتاج العضلة الى الكاربوهيدرات لاستمرار وظيفة الايض ووظيفة العضلة, هذه المادة اساسية لاستمرارية عمل دورة كيريس اذ انها تستنزف تدريجيا مما يوضح المقوله التالية: "تتحرق الدهون على شعلة الكاربوهيدرات".

عموما تم قبول استنزاف كلايوجين العضلة كسبب رئيسي للتعب, على الرغم من ان هذا يستغرق ساعتين او اكثر خلال التمرين بمعدل 70% من اقصى  $VO_2$  او اعلى, بإمكان التمرين ان يستمر في شدة اقل بتوفير كمية كافية من كلوكوز الدم.



الشكل (4) تأثير ارتفاع  $H^+$  على تقلص الليفة. الفوس المقطع لعضلة غير متعبة، الفوس الخطي لعضلة متعبة لوحظ فيها ارتفاع  $H^+$ . [www.iraqacad.org](http://www.iraqacad.org)

يظهر التعب ايضا اذا انخفض مستوى كلوكوز الدم. بافتراض ان سببه التعب المركزي، بالرغم ان هذا لا يؤثر على معدل استهلاك كلايوجين العضلة، اذ يمكن اطالة فترة التمرين عن طريق تناول الكربوهيدرات خلال التمرين حيث يوفر بامتصاصها تاخير ظهور التعب.

الفرضية المهمة الأخرى هي ان التعب له علاقة ايضا باستنزاف مخزون ثلاثي الكسرين في العضلة، لا يفهم هذا بصورة واضحة بسبب صعوبة القياس الدقيق لهذه المادة التي تعد احد مصادر الطاقة، على الرغم من ان احد الدراسات لاحظت زيادة اوقات المطاولة مباشرة بعد تناول غذاء يحتوي على دهون عالية مما زاد من مخزون ثلاثي الكسرين في النسيج العضلي قبل التمرين.

بما ان لاتوجد مساهمة من الابيض العضوي وارتفاع درجة حرارة في مركز الجسم ونقص الماء على التعب وذلك بسبب تأثيرها على الجهاز الدوري. ويمكن خفض هذا عن طريق تنظيم تناول سوائل باردة خلال التمرين.

### علامات التعب العضلي

- 1- زيادة عدد الاخطاء نتيجة اختلال التوازن.
- 2- عدم القدرة على اتقان المهارات الجديدة.
- 3- اختلال الية المهارات التي سبق إتقانها والتي أصبحت تؤدي تلقائيا بدون تفكير.

### كيف يمكن تاخير التعب

هذا هو السؤال الذي يساله الكثير من الرياضيين، ونظريا يمكن ذلك اذا استطاع الرياضي خفض كمية حامض اللاكتيك المتراكمة والتي نتجت من تقلص العضلات، عندئذ يمكنك تاخير ظهور التعب. ويوجد اسلوب واحد لخفض تراكم حامض اللاكتيك ويتم عن طريق تنظيمه مع عنصر قاعدي.

العنصر المنظم و الأكثر فاعلية في دم الانسان هو البيكربونات، هناك ايضا منظمات حيوية اخرى مثل البروتينات والحوامض العضوية، لكنها تتواجد بتركيز منخفضة جدا لذا لا تؤثر كثيرا، وعند هبوط PH في الدم تنتج زيادة ايون  $H^+$  يميل توازن البيكربونات نحو حامض الكاربونيك بما يعني الاتجاه نحو الحموضة، بمرور الوقت يفقد حامض البكربونات الماء ليصبح  $CO_2$ ، الذي يطرح عن طريق الرئة بواسطة الزفير.

وعند ارتفاع مستويات PH في الدم تشكل كميات اضافية من البيكربونات وينقل المزيد من  $CO_2$  من الرئة الى الدم ليستخدم في تحويل البيكربونات الى حامض البيكربونيك، وتعمل هذه الحموضة على اضطراب المنظم الحيوي في الدم مما ينتج عنه انخفاض في مستوى PH الى 7,1 وهو اقل من المستوى الطبيعي 7,4. ان المضاد الطبيعي لارتفاع الحموضة هو اعطاء حقنة من بيكربونات الصوديوم، هذه الحقيقة توصلنا الى فكرة ان تناول بيكربونات الصوديوم يؤدي الى تاخير تراكم حامض اللاكتيك الذي يسبب التعب للعضلة، اذ تعمل بيكربونات الصوديوم في مجرى الدم فقط لعدم قدرتها دخول الخلية بسبب ارتفاع تركيز حامض بيكربونات الصوديوم داخلها، لذا يلجأ بعض العدائين الى القيام بالتنفس بافراط قبل بدء السباق على امل ان هذا يساعد على خفض مستوى الحموضة في الدم واعطاء فرصة لعمل البيكربونات الطبيعية في الجسم.

طبقا لبحوث Naughton وجماعته 1997 (12) وجدوا ان تناول بيكربونات الصوديوم قبل الفعاليات التنافسية (من 60- 90 دقيقة قبل المباراة وبمقدار 0,3 غرام لكل 1 كغم من وزن الجسم) وخصوصا للفعاليات التي تستمر من 1- 7 دقيقة تحسن من ادائهم بمقدار 1- 2 %، وهذا يعني الكثير في مستويات النخبة.

### تأثير الهرمونات على التعب

يوفر جهاز الغدد الصماء الوظائف الأساسية للجسم الطبيعي، تشمل ادامة مستويات ملائمة من سكر الدم للصحة الجيدة وأداء التمرين، والمساهم الرئيسي في ظهور التعب هو انخفاض سكر الدم خلال التمرين، لذا يحاول جهاز الغدد الصماء ادامة مستويات ملائمة من سكر الدم خلال التمرين عن طريق استخدام مصادر

اخرى للطاقة وتحفيز انتاج السكر من الحوامض الامينية ومصادر اخرى غير كاربوهدراتية.

يزيد التمرين لفترة طويلة تركيز عدة هرمونات مثل الادرينالين، الكورتزول، غوكاغون وهرمون النمو ويخفض من تركيز الأنسولين. وتمتلك هذه الهرمونات الأربعة الدور الرئيسي في ادامة تركيز ثابت لسكر الدم وتعرف بالهرمونات المنظمة للسكر.

ان التغيرات الهرمونية الكبيرة التي تظهر في المراحل المتأخرة من التمرين أثناء تطور التعب سببها نقص الكلايوجين في الكبد والعضلة، التي تحدث من عدم القابلية على ادامة تركيز سكر دم ملائم، ومن العوامل السيكولوجية التي لها علاقة بزيادة الجهد المطلوب لإدامة القوة هو انخفاض المزاج.

يزداد تركيز هرمون الادرينالين، الكورتزول، الغوكاغون وهرمون النمو نتيجة عدم توفر المصدر الكاربوهدراتي ( الكلايوجين و الكلوكون) وظهور نقص السوائل التي تعد من العوامل المهمة المحددة لتمرين المطاولة، وان تناول كمية ملائمة من الكاربوهيدرات ( 240-350 ملتر من المشروب الرياضي) وخلال فترات ملائمة ( 15-20 دقيقة) سوف يساعد على تاخير ظهور التعب.

من المحتمل ان يكون التعب في موقع الدماغ، لذا فان تناول الكاربوهيدرات تعزيز وظيفة الدماغ وتحسن احساس الشخص خلال التمرين، ويتوقف معظم الناس من التمرين او الأداء الضعيف بسبب الجهد المطلوب من الرياضي للاستمرار في التركيز على الإدراك الجيد، وهذه الزيادة في حجم الادراك للجهد خلال تمرين المطاولة تقترب دائما وأبدا من عدم قابلية العضلة على انتاج قدرة او قوة ملائمة، لهذا السبب فان فوائد تناول الكاربوهيدرات في تاخير التعب تشمل ايضا خفض الشعور بالجهد وتحسين الدافعية، والمزاج الجيد، وخفض أعاقه الاستثارة الحركية المركزية في المناطق العليا للدماغ

اظهرت الدراسات الحديثة ان انخفاض الاحساس بالجهد لدى الشخص الذي يتناول الكاربوهيدرات كانت مترابطة مع معدلات الاكسدة العالية للكاربوهدرات، وارتفاع سكر الدم، وارتفاع تركيز الأنسولين، وانخفاض الكورتزول وهرمون النمو، كذلك رافعة انخفاض في بلازما الدهون الحرة.

عندما ينخفض تركيز بلازما الدهون الحرة يقل تركيز التربتوفان الحر Free Tryptophan، هذا يعني انخفاض نسبة التربتوفان الماخوذة من الدم وتحويلها الى سيرتونين (Serotonin) في الدماغ، لذا اعتقد بان السيرتونين هو المشجع على التعب المركزي.

تناول الكاربوهيدرات يخفض ايضا من مستويات الغوكاغون والكولسترول في الدم خلال التمرين ويزيد من الأنسولين، ويتوقع من هذه التغيرات ان تخفض من مستويات الامونيا في الدم والدماغ، والامونيا هي مادة سامة للدماغ وايضا احتمالية أضعافها للايض في العضلة (9).

### المصادر

- 1- ابو العلا عبد الفتاح (1999) : الاستشفاء في المجال الرياضي، دار الفكر العربي، القاهرة
- 2- علي البيك، وآخرون (1994): راحة الرياضي، منشأة المعارف بالاسكندرية.
- 3-Allen, D.,H. Westerblad .J. Lannergre (1992): Role of Excitation – Contraction coupling Muscle Fatigues. Sports Medicine. 13,116-126.
- 4- asmnssem. E. (1979): Muscle Fatigue, Medicine and Science in Sports. 11, 313-312.
- 5- Asmussen, E.& B. Mazin.(1978);Recuperation after Muscular Fatigue. Europan J. of Applied Physical. 38:1-7.
- 6-Bigland – Ritchie, b. (1981): EMG and Fatigue of Human Voluntary and Stimulated Contractions: Physiology Mechanisms. 130-150. London.
- 7- Fitts, R. (1994): Cellular Mechanisms of Muscle Fatigue. Physiology Reviews. 14, 49-94.
- 8- Fuchs, F., V. Reddy & F.N. Briggs (1970): the Interaction of Action with the Calcium- Binding Site of Troponin. Biochemist.
- 9-J.Mark and A. S. Brown(2001):Carbohydrates, Hormones and Endurance Performance, Sport Science Exchange. Volume 14,Number 1,80.
- 10- Sahlin,k.(1992): Metabolic Factors in Fatigue. Sport Medicine.13,99-107
- 11- Scatt. k.p. and Edward. T.h. (2001); Exencise Physiology, 4ed. Mc Grow hill.
- 12-www.BodyBuilding.Com/AssA?AllAboutfatigue.
- 13- www.rohan.sdsu.edu/course/ens304/Public.htmSection/Fatigue.htm
- 14-www.Unm.edu/~kravitz/article%20folder/sportconditioning.Html.