المحاضرة الثاني عشر
العوامل المحددة للتعب

اهداف المحاضرة

التعرف على:
- **العوامل التي تحددة التعب خلال تمرين شدة عالية.**
- **علامات التعب العضلي,**
- **كيف يمكن تاخير التعب.**
- **تاثير الهرمونات على التعب**
- **درجات التعب.**

1- العوامل المحددة للتعب خلال تمرين شدة عالية

تعتمد قابلية الشخص على اداء تمرين شدة عالية على كفائته في توليد وإدامة ناتج قدرة عالي. تحتاج هذه الادامة الى قابلية لاهوائية عالية وقابلية وظيفية لتكوين القوة الضرورية والسرعة لانتاج القوة المطلوبة, وتعتمد قمة السرعة وناتج القدرة على عوامل عدة, اهمها: حجم العضلة, القوة في المقطع العرضي, معدل قمة تطور القوة, والسرعة القصوى لتقصير العضلة (Vmax).وان عدم قابلية المحافظة على ناتج القدرة المرغوبة 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 اللاكين(الجسور المستعرضة), ولقد اثبت ان هذه التطور في القوة له علاقة مباشرة مع انتظام الكالسيوم(++CA), بالاضافة الى امكانية تتبع الهبوط في ناتج القوة في جزء منه كنتيجة لنقص اطلاق الكالسيوم من الشبكة الهيولية (الساركوبلازمSR), تفتح قنوات اطلاق الكالسيوم في الشبكة الهيولية (الساركوبلازم) للسماح بنفاذه واعادة امتصاصه عن طريق مضخات الكالسيوم .من المعروف ان الالياف السريعة تحتوي على كثافة عالية من الشبكة الهيولية ويمكنها اطلاق كمية كبيرة من الكالسيوم مقارنتا مع الالياف البطيئة, هناك علاقة وثيقة بين سرعة التقلص ومعدل الراحة وزيادة عدد مضخاتCa, بالاضافة الى ان مضخاتCaهي المستهلك الاساسي لـATPخلال فترة الراحة والنشاط البدني, وتقدر نسبة استهلاك مضخاتCaبـ 30% منATPخلال التقلص الايزومتري.

ربط دراسة تجريبية حديثة على خلايا عضلة معزولة بين انخفاض++Caفي الشبكة الهيولية (السارتوبلازم) وبين التعب,,واستنتجت ان خفض المعدل العالي لاطلاق++Caلم يكن كنتيجة لضعف توصيل انابيبT(T- tubule), بل عدم المقدرة اما على استثارة الشبكة الهيولية او عدم المقدرة على اطلاق++Ca, بالاضافة الى ان انخفاض ناتج القدرة ترافق مع قلةPHداخل الخلايا نتيجة ضعف حساسية عناصر التقلص الى++Ca, الشكل الاخر هو ملاحظة اطالة زمن الراحة مع زيادة شدة التمرين لها علاقة قريبة مع خفض معدل امتصاص++Ca.

عاملATP

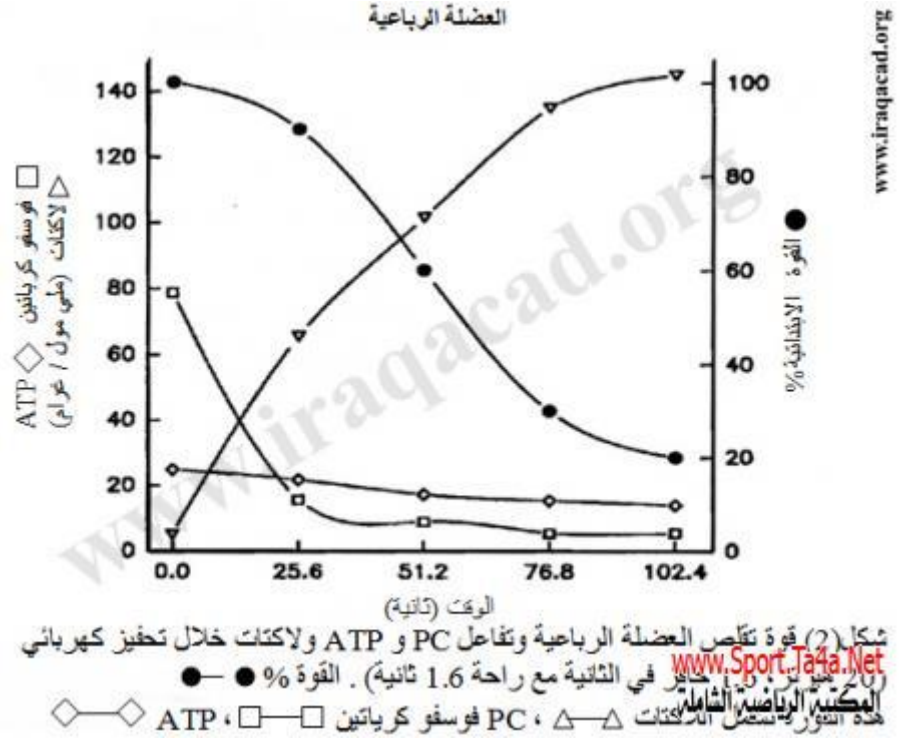
يعتقد ان عدم كفايةATPفي الخلايا هو المسبب للتعب, بالرغم من ان الادلة الجيدة خمنت ان هذا ليس بالمسبب للمشكلة. اذ اظهرت دراسات عدة ان معدلATPلا يهبط الى اقل من 70% عند مستوياته قبل التمرين وخلال اداء تمرين شدة عالية, من ناحية ثانية هناك جدل على ان نسبة 70 الى80% منATPالموجود في الشبكة الهيولية مخصص لبيوت الطاقة وغير مخصص للجسور المستعرضة, بمعنى اخر انATPمقسم الى اجزاء حيث يكونATPكافي داخل الخلية ولكنه في غير المواقع التي

يحتاجها, والراي المضاد لهذه الفرضية ان هناك احتمالية بان العضلة المرتاحة سوف تطور الشدة من جسور مستعرضة مرتعشة نتيجة نقصATP, وهذا لم يظهر لحد الان.

عاملPC

يعملPCكمنظم لتوفير الطاقة عند بداية التمرين, اذ يهبط مستواه بسرعة خلال الثوان القليلة الاولى الى 5-10% من قيمته قبل التمرين وخلال 30 ثانية, من ناحية ثانية يظهر نقصPCبسرعة في تمارين القوة, مما يؤدي الى تحديد انتاج القوة, وان وظيفةPCاعادة تكوينATPوان مستوىATPلا يهبط الى اقل من 70% عن مستواه قبل التمرين, هذه الاحتمالية غير محتملة الحدوث الا اذا قبل الشخص فرضية تواجدATPمقسم الى اجزاء داخل الخلية ولكن في المواقع التي لا يحتاجها.

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 التكميليه للكرياتين من اجمالي الكرياتين العضلي المخزون لدى الاشخاص خلال يومين, من ناحية ثانية ان احتمالية تحسن ناتج الشغل هو نتيجة اعادة تكوينPCخلال فترة الاستشفاء.



شكل (2) قوة تقلص العضلة الرباعية وتفاعل PC و ATP ولاكتات خلال تحفيز كهربائي (10 تحفيز في الثانية مع راحة 1.6 ثانية). القوة % ●—●

هذه المنحنيات تمثل الاكتات △—△ ، PC فوسفو كرياتين □—□ ، ATP ◇—◇

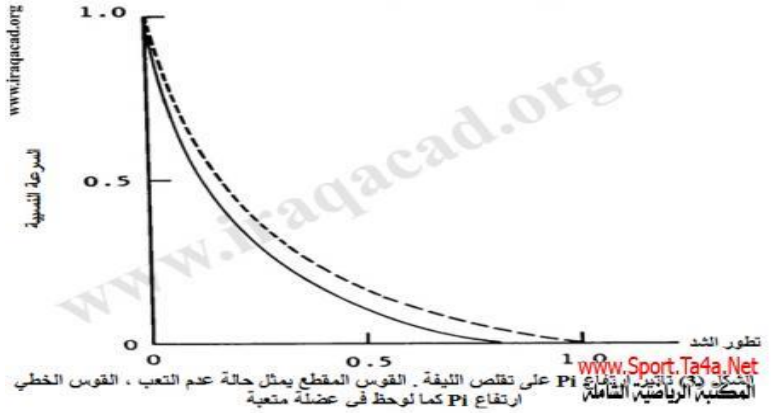
شكل رقم 18 قوة تقلص الغضلة الرباعية

عامل+H

تنتج عملية الجلكزة اللاهوائية(تحليل السكر) حامض اللاكتيك وان معظم هذا الحامض يتجزأ الى ايون+Hولاكتات. وجود+Hفي داخل الخلية يؤدي الى خفض البوتاسيوم (+K), وخفض تكوينPCوعدم انتظامCO2المنتج في بيوت الطاقة. انخفاضPHداخل العضلة يؤثر على عدة مواقع مما يسبب التعب.

a- كبح عملية تحليل السكر بواسطة+H:يترافق مع زيادة الحموضة انخفاض في تحويل انزيم الفوسفور (b) الخامل الى الشكل (a) الفعال, وكبح عمل فوسفو فركتو كاينيز (PFK) (انزيم التفاعل الثالث), بالاضافة الى ان وظيفة+Hالاساسية هي منع الجكلزة والتي تسبب تعب العضلة وهي قابلة للتسائل

بسبب انATPفي العضلة لا ينخفض مستواه خلال التمرين الى درجة ابطاء عمل انزيمATP(ATPase) للمايوسين.
يستخدمATPوPCخلال التمرين اللاهوائي ذو الشدة العالية والفترة القصيرة خلال 7 ثواني من بداية التمرين, عندئذ يستعان بالكلايكوجين عن طريق عملية الجلكزة لانتاج كمية اكبر منCPليعطي طاقة اضافية, ويحفز على انتاجATP, حيث تسمح هذه الكمية الاضافية منATPعلى استمرار تقلص العضلة. ينتج من عملية الجلكزة هذه حامض اللاكتيك (C3H6O3) ويتحول الى حامض البروفيكC3H4O3. ينتج من تجزاة حامض اللاكتيك مادة اللاكتات ,التي هي عبارة عن املاح ناتجة من ارتباط ايوني+Hمع ايون الصوديوم+Naوايون البوتاسيوم+K, الان تحتوي خلايا العضلة على مادة اللاكتات وايون+Hالحر وهي مكونات ناتجة من حامض اللاكتيك, وان زيادة+Hفي الخلايا يسبب انخفاضPHويصبح وسط العضلة اكثر حموضة, هذه الحموضة المرتفعة تسبب انخفاض في قابلية الكالسيوم الترابطية, 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 اعادة تكوين الكلوكوز, واللاكتات الباقية يجب ان تزال من الخلايا ايضا, يعمل الاوكسجين وحامض اللاكتيك سويا على اعادة تكوينATPمن خلال عملية الايض الهوائي.



الشكل (5) تاثير ارتفاع Pi على تقلص الليفة . القوس المقطع يمثل حالة عدم التعب ، القوس الخطي ارتفاع Pi كما لوحظ في عضلة متعبة

شكل رقم 19 تاثير **(Pi) على تقلص الليف العضلي**

b-كبح+Hلدرجة اثارة التقلص**:**ظهر ان انخفاضPHيؤدي الى خفض انجذاب التروبونين (Troponin) نحو++Ca, وهذا يؤثر على الالياف نوعIIاكثر من تاثيره على النوعI, الميكانيكية لهذا غير واضحة, ربما لوجود تنافس بين+Hو++Caللحصول على التروبونين في مواقع الترابط (اللاكين والمايوسين).
c- تاثير+Hعلى دورة الجسر المستعرضة**:**زيادة تراكم+Hيخفض ايضا السرعة (Vmax) وعلى تطور الشد الاقصى لليفة, بالاضافة الى ان هذا يؤثر على الالياف النوعIIاكثر من الياف النوعI, بسبب اختلاف تساوي اشكال المايوسين. تخفض فعالية انزيمATPبسبب انخفاض مستوىPHمما يؤدي الى بطيءاطلاقADP, هذه العملية ككل تحدد من معدل سرعة دورة الجسر المستعرض.

تراكم الفسفور اللاعضوي (Pi)

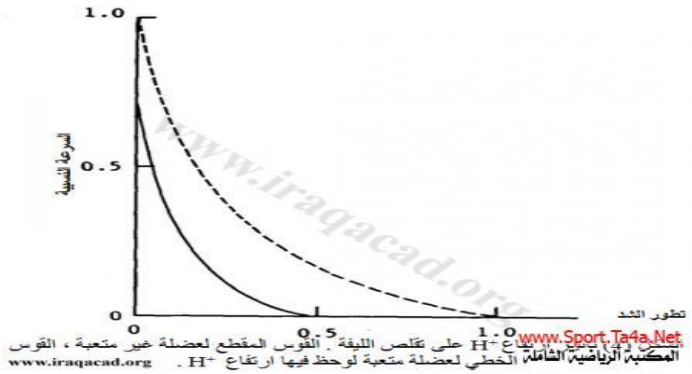
استنتج كوكي وجماعته (1988) (.Cooke et al) ان زيادةPiداخل النسيج العضلي يزيد من حالة ضعف الترابط بين الجسور المستعرضة مما يؤدي الى خفض تطور الشد. يسبب تحريرPiمن رؤس المايوسين الانتقال من حالة الضعف الى حالة القوة, ارتفاعPiداخل النسيج العضلي يكبح من تحريرPiوتركه لرؤس المايوسين مما ينتج عنه حالة ضعف لفترة طويلة من الوقت.

ملخص:الميكانيكيات الخلوية للتعب العضلي من الظواهر المعقدة وتشمل الفشل في اكثر من موقع واحد على طول سلسلة عمليات الاثارة والتقلص. ينخفض ناتج القوة وكذلك سرعة التقصير مما يؤدي الى تغيرات في الخصائص الحركية للجسور المستعرضة, خمن ايدمان (1992) (Edman) (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)**بطىء سرعة دورة الجسور خلال دورة التقلص. والعوامل المؤثرة على هذه العملية تشمل: فشل انابيبTعلى اثارة الساركوبلازمSR, وزيادة+Hداخل الخلايا, وزيادةPiكذلك نقص كميةATPفي جزء معين.

- **اسباب التعب العضلي من تمرين شدة تحت القصوى بوقت طوي** :-

1-نقص كلوكوز الدم.
2-نقص الكلاكوجين 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 (4و 5) على الجهاز القلبي, يخفض عن طريق تناول سوائل باردة خلال التمرين].

العوامل المحددة للتعب خلال تمرين المطاولة على هذا السؤال لازال يحتاج الجواب الى المزيد من الدراسة والبحث، تحتاج العضلة الى الكاربوهيدرات لاستمرار وظيفة الايض ووظيفة العضلة, هذه المادة جوهرية لاستمرارية عمل دورة كيربس اذ انها تستنزف تدريجيا مما يوضح المقوله التالية :"تحرق الدهون على شعلة الكاربوهيدرات"، عموما تم قبول استنزاف كلايكوجين العضلة كسبب رئيسي
للتعب, بالرغم من ان هذا يستغرق ساعتين او اكثر عند التمرين بمعدل 70% من اقصىVo2او اكثر, بامكان التمرين ان يستمر في شدة اقل بتوفير كمية كافية من كلوكوز الدم,



شكل 20 تاثير ارتفاع الهيدروجين الموجب على تقلص العضلة

يظهر التعب ايضا اذا انخفض مستوى كلوكوز الدم, بافتراض ان سببه التعب المركزي, بالرغم ان هذا لايؤثر على معدل استهلاك كلايكوجين العضلة, اذ يمكن اطالة فترة التمرين عن طريق تناول الكاربوهيدرات خلال التمرين حيث يوفر بامتصاصها تاخير ظهور التعب.

الفرضية المهمة الاخرى هي ان التعب له علاقة ايضا باستنزاف مخزون ثلاثي اللكسرين في العضلة, لايفهم 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 اللكسرين في النسيج العضلي قبل التمرين.

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

2- **علامات التعب العضلي**

1-زيادة عدد الاخطاء نتيجة اختلال التوازن.

2-عدم القدرة على اتقان المهارات الجديدة.

3-اختلال الية المهارات التي سبق اتقانها والتي اصبحت تؤدي تلقائيا بدون تفكير.

3- **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، يوجد اسلوب واحد لخفض تراكم حامض اللاكتيك ويتم عن طريق تنظيمه مع عنصر قاعدي.

العنصر المنظم و الاكثر فاعلية في دم الانسان هو البيكربونات, هناك ايضا منظمات حيوية اخرى مثل البروتينات والحوامض العضوية, لكنها تتواجد بتراكيز منخفضة جدا لذا لاتوثر كثيرا, عند هبوطPHفي الدم تنتجه زيادة ايون+Hيميل توازن البيكربونات نحو حامض الكاربونيك بما يعني الاتجاه نحو الحموضة, بمرور الوقت يفقد حامض البكربونات الماء ليصبحCO2, الذي يطرح عن طريق الرئة بواسطة الزفير.

وعند ارتفاع مستوياتPHفي الدم تشكل كميات اضافية من البيكربونات وينقل المزيد منCO2من الرئة الى الدم لكي يستخدم في تحويل البيكربونات الى حامض البيكربونيك, هذه الحموضة تعمل على اضطراب المنظم الحيوي في الدم مما ينتج عنه انخفاض في مستوىPHالى 7,1 وهو اقل من المستوى الطبيعي 4, 7 . 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 لانها لا تستطيع دخول الخلية بسبب ارتفاع تركز حامض بيكربونات الصوديوم داخلها, يتعمد بعض العدائين من 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 لبحوثNaughtonوجماعته 1997(12) وجدوا ان تناول بيكربونات الصوديوم قبل الفعاليات التنافسية (من 60- 90 دقيقة قبل المبارة وبمقدار 0.3 غرام لكل 1 كغم من وزن الجسم) وخصوصا التي تستمر من 1- 7 دقيقة تحسن من ادائهم بمقدار 1- 2 %, وهذا يعني الكثير في مستويات النخبة.

4- **تاثير الهرمونات على التعب**

يوفر جهاز الغدد الصماء الوظائف الاساسية للجسم الطبيعي, تشمل ادامة مستويات ملائمة من سكر الدم للصحة الجيدة وأداء التمرين, المساهم الرئيسي في ظهور التعب هو انخفاض سكر الدم خلال التمرين, 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 الانسولين, تمتلك هذه الهرمونات الاربعة الدور الرئيسي في ادامة تركيز ثابت لسكر الدم وتعرف بالهرمونات المنظمة للسكر.

ان التغيرات الهرمونية الكبيرة التي تظهر في المراحل المتاخرة من التمرين عند تطور التعب سببها نقص الكلايكوجين في الكبد والعضلة, التي تنتج من عدم قابلية على المحافظة على تركيز سكر دم ملائم ومن عوامل سايكولوجية لها علاقة بزيادة الجهد المطلوب لادامة القوة مع الضعف في المزاج.
يزداد تركيز هرمون الادرينالين, الكورتزول, الغوكاغون وهرمون النمو نتيجة عدم توفر المصدر الكاربوهدراتي (الكلايكوجين و الكلوكوز) وظهور نقص السوائل والتي تعد من العوامل المحددة المهمة لتمرين المطاولة وان تناول كمية ملائمة من الكاربوهيدرات (350-240 ملتر من المشروب الرياضي) وخلال فترات ملائمة (20-15 دقيقة) سوف يساعد على تاخير ظهور التعب.
من المحتمل ان يكون التعب في موقع الدماغ, تناول الكاربوهيدرات يعزيز وظيفة الدماغ ويحسن احساس الشخص خلال التمرين, ويتوقف معظم الناس من التمرين او الاداء الضعف بسبب الجهود المطلوب للاستمرار في التركيز على الادراك الجيد, هذه الزيادة في حجم الادراك للجهد خلال تمرين المطاولة دائما وابد تقترب من عدم قابلية العضلة على انتاج قدرة او قوة ملائمة, لهذا السبب فان فوائد تناول الكاربوهيدرات في تاخير التعب تشمل ايضا خفض الشعور بالجهد, تحسين الدافع, المزاج الجيد, وخفض اعاقة الاستثارة الحركية المركزية في المناطق العليا من الدماغ
اظهرت الدراسات الحديثة ان انخفاض الاحساس بالجهد لدى الشخص الذي يتناول الكاربوهيدرات كانت مترابطة مع معدلات الاكسدة العالية للكاربوهيدرات, وارتفاع سكر الدم, وارتفاع تركيز الانسولين, وانخفاض الكورتزول وهرمون النمو, كذلك رافقة انخفاض في بلازما الدهون الحرة.
عندما ينخفض تركيز بلازما الدهون الحرة يقل تركيز التربتوفان الحرFreeTryptophan, هذا يعني انخفاض نسبة التربتوفان الماخوذة من الدم وتحويلها الى سيرتونين (Serotonin) في الدماغ, يعتقد بان السيرتونين هو المشجع على التعب المركزي.

5- درجات التعب

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

1- التعب البسيطFatigue

2- التعب الحادAcute Fatigue

3- الاجهادExhaustion

4- التدريب الزائدOvertraining

1- التعب البسيطFatigue

حالة الرياضي بعد اداء الحمل التدريبي منخفض الشدة, ويكون في شكل شعور بسيط بالتعب مع عدم انخفاض الكفاءة البدنية.

2- التعب الحادAcute Fatigue

حالة الرياضي التي تظهر بعد اداء الحمل الاقصى ولمرة واحدة, وفي هذه الحالة يلاحظ ضعف الاداء وانخفاض حاد في الكفاءة البدنية والقوة العضلية, وتظهر هذه الحالة غالبا لدى الرياضيين غير المدربين على درجة عالية, ومن اهم المظاهر العامة لهذه الحالة شحوب الوجه وزيادة معدل ضربات القلب وارتفاع الضغط السيستولي (الانقباضي) بمقدار 40- 60 مم زئبق مع انخفاض حاد للضغط الدياستولي (الانبساطي) وهي مايطلق عليها ((ظاهرة القمة بلا نهاية) ويلاحظ على رسم القلب الكهربائي اختلال عمليات التمثيل الغذائي لعضلة القلب وزيادة عدد الكريات البيضاء في الدم, وفي بعض الاحيان وجود زلال في البول.

3- الاجهادExhaustion

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 اللوز او تسوس الاسنان وغيرها, وغالبا ما تظهر هذه الحالة لدى بعض الرياضيين الذين يتميزون بزيادة حماسهم لاداء احمال تدريبية كثيرة وكبيرة دون التخلص من التعب الناتج عن هذه الاحمال اولا باول, ويلاحظ على الرياضي ضعف عام ودوار الراس وشعور بالغثيان في بعض الاحيان, واختلال التوافق الحركي, واختلال في ضغط الدم الشرياني واختلال في ايقاع ضربات القلب و اعراض امراض الكلى وعدم توافق وظائف الجهاز الدوري للحمل, 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 الزائدOvertraining

وهي الحالة التي تظهر على الرياضي نتيجة عدم التخطيط السليم للتناسب مابين الراحة والعمل, و إساءة استخدام توقيت اداء 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 المشاركة في المنافسات وخاصة في حالة وجود البؤر الصديدية او بعض الامراض.

اسباب التعب العضلي من تمرين شدة عالية بوقت قصير :-

1-نقص فوسفات الكرياتين (PC).

2-نقص ثلاثي فوسفات الادنوسين (ATP).

3-تراكم اللاكتات (من جراء تفكيك حامض اللاكتيك).

4-تراكم الفسفور العضوي (Pi) (يخفض من قوة ترابط الجسور المستعرضة).

5-انخفاض النشاط العصبي العضلي.