الفصل الثاني

تحليل استهلاك الطاقة أثناء الجهد البدني وفي فترة الراحة

المقدمة

عند تنفيذ أي نشاط عضلي طويل، تتنامى حالة توصف بزمن هبوط الكفاءة يطلق عليها – حالة التعب – وهذه ليست حالة مرضية، إنما هي حالة عادية للجسم تقوم بدور دفاعي، وهي تعطي إشارة حول قرب المتغيرات البايولوجية والوظيفية غير مريحة وتظهر نتيجة العمل ، وهي تعمل بصورة آلية لتخفيف شدة العمل العضلي.

وينخفض في حالة التعب تركيز ATP في الخلايا العصبية، كما يتغير تكوين الأستيل كولين في بعض التشكيلات، وكنتيجة لذلك يتغير نشاط تردد التقلصات القلبية لتكوين إشارات حركية، ونقلها إلى العضلات العاملة ، وتتباطأ سرعة معاملة الإشارات التي ترد من المستقبلات ، ويتنامى في المراكز الحركية الكبح الوقائي الذي يرتبط بتكون محلول حامضي، وفي حالة التعب يستنفذ نشاط الغدد الصماء، الأمر الذي يؤدي إلى هبوط إنتاج الهرمونات وانخفاض نشاط عدد الهرمونات، ويؤثر هذا قبل كل شيء على ATP في الألياف العضلية التي تراقب تحويل الطاقة الكيميائية إلى شغل ميكانيكي، وعدد انخفاض سرعة شطر ATP في ألياف عضلية ستهبط آلياً قدرة العمل المنفذ، وينخفض في حالة التعب نشاط الأنزيمات الأكسدة الهوائية ويخرق تمازج تفاعل أكسدة وإعادة تكوين ATP ومن أجل الحفاظ على المستوى المطلوب لـ ATP يحدث تعزيز داخلي لتحلل السكر، الذي تصاحبه عملية أكسدة الأوساط الداخلية ويتغير تجانس الوسط، ويصاحب تعزيز التعويض الذي يحدث في التشكيلات الزلالية مضاعفة لوجود البول في الدم.

ويحدث في العضلات العاملة عند التعب نفاذ احتياطي مصادر الطاقة (الفسفوكرياتين والنشا الحيواني) وتتجمع نواتج الانحلال (حامض اللبنيك) وتؤثر حالات تغيرات حادة للوسط داخل الخلايا، وهنا يحدث خرق لتنظيم تلك العمليات المتعلقة بتأمين العضلات بالطاقة، وتظهر تغيرات لاختزال أسباب نمو التعب عند أداء عمل عضلي غير معروف تماماً. وينظر إليها في أغلب الأحيان كمجموعة ظواهر يكون سبب هبوط الكفاءة فيها هو خروج واحد من عناصر تلك المجموعة في المشاركة الجادة في العلاقات المتبادلة في أنظمة الأعضاء والوظائف التي تؤمن تنفيذ العمل، أو خرق العلاقات بين الأنظمة، واستناداً إلى ظروف النشاط العضلي والمميزات الذاتية للجسم فإن دور الحلقة القيادية في تطوير التعب يمكن أن تأخذ على عاتقها أي عضو أو وظيفة إذ يصبح عملها في لحظة زمنية معينة غير ملائم للجهد المطلوب، وعليه فإن أول سبب للتعب يصلح أن يكون هو انخفاض مصادر الطاقة للجسم وهبوط نشاط الأنزيمات الأساسية بسبب تضاؤل تأثير نواتج الميتابولي للنسيج.

وتغير وحدة التركيبة الوظيفية الناجم عن عدم اكتفاء التأمين، إن تحديد الحلقة الأساسية في كل حالة محددة يمكن أن يتم في ضوء قياسات دقيقة جداً وتحليل كمي مضبوط لنتائج العمل المنفذ.

وعادة عند تنفيذ عمل قصير مكثف، فإن السبب الأساسي للتعب يمكن أن يكون نتيجة الإعاقة الوقائية بسبب تغير توازن ADP / ATP ونضوب العضلين في ATP للعضلات العاملة تحت تأثير نواتج التبادل المتراكمة، وعند تنفيذ عمل معتدل نسبي وطويل فإن السبب الأساسي للتعب ستصبح تلك العوامل التي ترتبط بخرق نشاط آليات تأمين الطاقة (مثلا نفاذ احتياطي النشا الحيواني داخل العضلات أو تراكم نواتج الدهون غير المؤكسدة كلياً) وكذلك بانخفاض تهيج العضلات الناجم عن خروج البوتاسيوم الموجود في فضاء ما بين الخلايا.

تحليل استهلاك الطاقة في فترة الراحة التي تعقب عملاً عضلياً:

في فترة الراحة التي تعقب تنفيذ عمل عضلي، تزول التغيرات التي تحدث في العضلات وغيرها من أعضاء الجسم أثناء تأدية العمل تدريجياً ولعل أكثر وضوحاً في التغيرات هي تلك التي يعثر عليها في مجال تبادل الطاقة، وهي تكمن كما وردت الإشارة لذلك سابقاً. هو أنه خلال تنفيذ الأعمال في العضلات ينخفض تركيز مواد تحول الطاقة (فسفوكرياتين، النشا الحيواني) وعند تنفيذ العمل بفترات طويلة ينخفض تركيز الليبيد، وتتضاعف كمية نواتج التمثيل الغذائي داخل الخلايا H_3PO_4 ، ADP حامض اللبنيك والأجسام الكيتونية وغيرها.

إن تراكم نواتج التمثيل الغذائي (العامل) وتقوية النشاط الهرموني تحفز العمليات التأكسدية في الأنسجة أثناء فترة الاستراحة التي تعقب العمل ، مما يساعد في استعادة مواد احتياطي الطاقة داخل العضلات ويؤدي لحدوث التوازن المائي – الكهربائي في الجسم ويؤمن حدوث تكوين الزلال في الأعضاء التي تخضع لتأثير الجهد واعتماداً على الاتجاه العام للتغيرات البايوكيميائية في الجسم والزمن اللازم لاستعادتها إلى الوضع الطبيعي يمكن إفراد نوعين من عمليات الاستعادة : سريعة ومتأخرة.

تنتشر الاستعادة السريعة في ٠,٥ – ١,٥ ثانية من الراحة التي تعقب العمل، وهي تؤدي إلى إزالة نواتج الانحلال اللاهوائي المتراكمة خلال فترة العمل والتعويض عن الدين الأوكسجيني المتكون. أما الاستعادة المتأخرة فتنتشر خلال ساعات عديدة من الراحة التي تعقب العمل. وهي تكمن في تقوية عمليات التبادل المرن وتستكمل خلال هذه الاستعادة عودة احتياطي الجسم من الطاقة إلى الحالة الطبيعية، ويقوى تكوين الزلاليات التركيبية والأنزيمية التي تحطمت خلال العمل.

وكما يبدو من (الجدول رقم ٤) فإن عمليات الاستعادة الناجمة في مرحلة الاستراحة التي تعقب عملاً عضلياً تجري بسرعة مختلفة وتنفذ في فترات مختلفة (ظاهرة الأزمان المختلفة) ولعل احتياطي O_2 وفسفوكرياتين هما أول من يتم استعادتهما في العضلات ويعقبها فيما بعد النشا الحيواني في الكبد واحتياطي النشا الحيواني ويتم في المرحلة الأخيرة استعادة احتياطي الدهون التي تحطمت أثناء عمل التركيب الزلالي.

جدول رقم (٤)

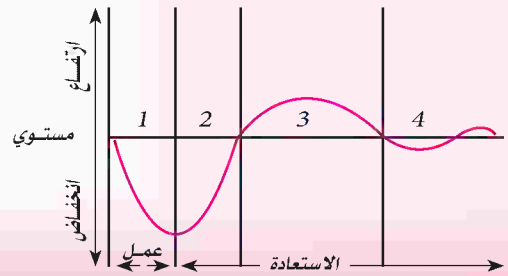
يمثل الزمن اللازم لإتمام استعادة العمليات البايوكيميائية المختلفة خلال الراحة التى تعقب عملا عضلياً شديداً

العمليـــة	زمـن الاستعـادة
استعادة احتياطي O_2 في الجسم	من ١٠ إلى ١٥ ث
استعادة الاحتياطي اللاأسيدي اللاهوائي في العضلات	من ٢ لغايـة ٥ دقيقة
تعويض الدين الأوكسجيني	من ٣ لغايـة ٥ دقيقة
إزالة حامض اللبنيك	من ٠,٥ لغايـة ١,٥ ساعة
تعويض الدين الأوكسجيني الأسيدي	من ٠,٥ لغايـة ١,٥ ساعة
إعادة تكوين احتياطي النشا الحيواني داخل العضلات	من ١٢ لغايـة ٤٨ ساعة
استعادة احتياطي النشا الحيواني في الكبد	من ١٢ لغايـة ٤٨ ساعة
تعزيز تكوين الزلال التركيبي والأنزيمي	من ١٢ لغايـة ٧٢ ساعة

تعتمد شدة جريان عمليات الاستعادة وزمن اكتمال احتياطي الجسم من الطاقة على شدة استهلاكها خلال فترة تنفيذ التمارين. يؤدي تكثيف عمليات الاستعادة إلى أنه وفي لحظة معينة من الاستراحة التي تعقب أداء العمل يتجاوز احتياطي مواد الطاقة المستوى الذي سبق بداية العمل ، وقد أطلق على هذه الظاهرة بـ « فوق التعويض » أو « فوق الاستعادة » كما في (الشكل رقم ١٤) ، وهذه الظاهرة هي عرضية إذ بعد طور التجاوز الكبير للمستوى الأول تتم عملية استعادة تركيز مواد الطاقة إلى الوضع الطبيعي.

(الشكل رقم ١٤) ظاهرة فوق التعويض خلال استعادة مصادر الطاقة أثناء مرحلة الاستراحة بعد العمل:

١- طور النضوب ٢- الاستعادة ٣- الاستعادة الفائقة ٤- الحالة الثابتة

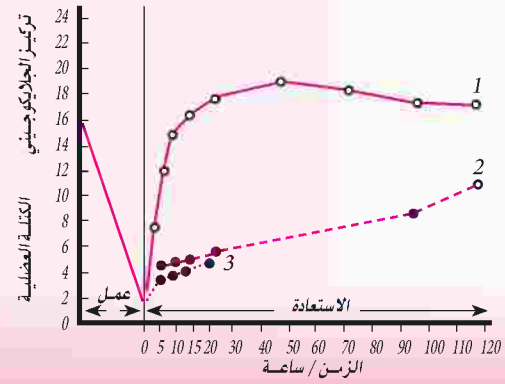


وكلما كانت صرفيات الطاقة أكبر أثناء العمل، كلما جرت عملية إعادة تكوين الطاقة بصورة أسرع، وهذا يعني سيحصل تجاوز لقيمة المستوى الأول في طول فوق التعويض. ولكن هنا لا بد من الإشارة إلى أن استخدام هذه القاعدة يمكن أن يتم في حدود معينة فقط. وعند أداء عمل مرهق جداً ويرتبط بصرف كمية كبيرة من الطاقة وتراكم كميات من نواتج الانحلال، فإن سرعة عملية الاستعادة يمكن أن تنخفض في حين يمكن بلوغ طور التعويض في فترة متأخرة جداً. كما أن وضوحها يكون بدرجة أقل.

يعتمد طول فترة فوق التعويض على الاستمرارية الإجمالية لتنفيذ العمل وعمق المتغيرات البايوكيميائية التي تحدث في الجسم. وبعد أداء عمل قوي قصير فإن هذا الطور يحل سريعاً ويتم بصورة سريعة أيضاً، فعلى سبيل المثال عند استعادة احتياطي النشا الحيواني داخل الخلايا يلاحظ أن هذا الطور سيكون موجوداً بعد مضي ٣ – ٤ ساعات من الراحة ويستكمل بعد مضي ١٢ ساعة بعد انتهاء العمل، وبعد تنفيذ عمل طويل بقدرة معتدلة فإن فوق تعويض النشا الحيواني سيحل بعد مضي ١٢ ساعة، ويلاحظ خلال فترة ٤٨ – ٧٢ ساعة بعد انتهاء العمل، إن سبب فوق التعويض يرتبط بمضاعفة تركيز الهرمونات في فترة الراحة التي تعقب تنفيذ العمل وتكوين الزلال والأنزيمات التي تراقب عملية استعادة مواد الطاقة، لإعادة تكوين

مواد الطاقة التي تحطمت أثناء العمل ينبغي أن تكون الطاقة ليست فقط ممكنة الاستخدام بشكل ATP وإنما بشكل مواد أخرى، تعتبر مواداً أولية في عملية الاستعادة ، ومن أجل إعادة تكوين النشا الحيواني في العضلات لابد من الحفاظ على مواد احتياطية داخلية ومنها حامض اللبنيك والسكر الذي يتكون من مواد طبيعية لا عضوية، ولكن من أجل إظهار فوق تعويض النشا الحيواني، فإن هذه المصادر غير كافية لذلك، ولا بد من ورود كميات إضافية من الأغذية الكربوهيدراتية (الشكل رقم ١٥).

الشكل (١٥) تأثير تناول الكربوهيدرات مع الطعام في استعادة احتياطي النشا الحيواني في العضلات خلال فترة الراحة التي تعقب العمل :
١- وجبة غنية بالكربوهيدرات ٢- وجبة دهنية زلالية ٣- بدون طعام



تتعزز في مرحلة الاستعادة بصورة شديدة تكوين الزلال وخاصة بعد تنفيذ عمل كبير، ويصاحب ذلك تخلخلٍ عميق ولكن تنشيط تكوين الزلال يتنامى بصورة بطيئة جداً وتستمر فترة غير طويلة، فمثلاً اذا كان احتياطي النشا الحيواني يستعاد بعد انتهاء العمل بفترة ٦ – ٨ ساعات ، فإن عمليات التبادل (anabolitic) تعود إلى الوضع الطبيعي بعد تنفيذ العمل نفسه خلال ٤٢ – ٤٨ ساعة ، إذا صاحب العمل إفراز عرق كثير فعندئذ سيستكمل احتياطي الماء والمياه المعدنية في مرحلة الاستعادة وتشكل المواد الغذائية المصدر الرئيس للمواد المعدنية.

التغيرات التي تحدث في تحليل الطاقة أثناء الراحة:

إن التغيرات التي تحدث في تحليل استهلاك الطاقة ، والتي تحصل في العضلة أو الأعضاء الأخرى ستتوقف عند فترة الاستراحة. حيث إن هذه الفترة تتميز بسيطرة عمليات الأكسدة وعمليات الفسفرة المصحوبة بالأكسدة. كما إن الحاجة للأوكسجين في بداية فترة الاستراحة بعد قيام العضلات بجهد عنيف ستزداد بشكل واضح.

أما السبب الرئيس لزيادة العمليات الكيميائية المصحوبة بالأكسدة في هذه الفترة فيمكن تلخيصها بما يلي:

إن كمية ثلاثي فوسفات الأدينوزين ستنخفض في خلايا العضلة وبعض الأنسجة والأعضاء الأخرى بعد التمارين العنيفة، وذلك بسبب تحلله إلى ثنائي فوسفات الأدينوزين وفوسفات وطاقة.

وعلى هذا فستزداد نسبة ثنائي وأحادي فوسفات الأدينوزين، وكذلك كمية الكرياتين غير متحول إلى فوسفات الكرياتين بنسبة ملحوظة.

وكما هو معلوم ، فالنقص الكبير في كمية ثلاثي فوسفات الأدينوزين يتطلب وجود كمية كبيرة من الأوكسجين لغرض تعويضه، وهذا الأوكسجين يمكن الحصول عليه عن طريق أجهزة التنفس، ويستخدم لغرض العمليات أو التفاعلات التي تؤدي إلى تعويض النقص في كمية ثلاثي فوسفات الأدينوزين، وعلى ذلك ففي الفترة التي تعقب أداء الشغل العنيف مباشرة يكون الدم حاوياً على مواد غير تامة الاحتراق مثل حامض اللبنيك (اللاكتيك) والليبيدات والأجسام الكيتونية. كل هذه المواد تكون مهيئة للاحتراق عند مأخذ الأوكسجين في فترة الاستراحة التي تعقب الشغل العنيف. هذا الاحتراق تتولد عنه طاقة يخدم جزء منها عملية الفسفرة وتكوين مركبات فوسفاتية غنية بالطاقة تكون مستعدة لإعادة بناء ثلاثي فوسفات الأدينوزين، وتزداد سرعة هذه العمليات في فترة الاستراحة حتي تسيطر العمليات البايوكيميائية التي كانت سائدة قبل إجراء الشغل العنيف.

وبصورة عامة يمكن القول إن سرعة الرجوع إلى هذه العلاقات التي كانت سائدة قبل الشروع بالشغل يكون أسرع بعد انتهاء التمارين العنيفة التي تستمر لوقت قصير، من التمارين المتوسطة الشدة والتي تستمر لمدة طويلة.

ففي التمارين التي تستمر لمدة طويلة جداً، مثل التزحلق على الجليد لمسافات طويلة أكثر من ٥٠ كم أو الماراثون أو سباق الدراجات لمسافات طويلة، سوف يحتاج الجسم إلى فترة راحة طويلة لكي تعود الحالة البايوكيميائية للأعضاء إلى ما كانت عليه قبل التمرين، كما تزداد الحاجة إلى الأوكسجين عن الحد الاعتيادي لمدة يومين بعد انتهاء التمرين.

أما الفترة الزمنية اللازمة لعودة نفس الكمية من المواد والمركبات المختلفة إلى ما كانت عليه قبل التمرين فتختلف : ففي العضلات مثلاً تجري أولاً إعادة بناء فوسفات الكرياتين ثم الكلايكوجين وأخيراً، البروتين. أما استعادة المستوى الطبيعي لثلاثي فوسفات الأدينوزين في العضلة فسيكون في نهاية كل العمليات السابقة لأنه يشارك دائماً في إعادة بناء المواد السابقة، ولذلك فهناك حاجة مستمرة لإعادة بناء ثلاثي فوسفات الأدينوزين في طور الراحة.

إن إعادة بناء المواد السابقة في فترة الاستراحة بعد أداء عمل عنيف لمدة ١٥ دقيقة في عضلات الحيوانات تكون كما يلي:

٣٠ – ٤٠ دقيقة تلزم لاستعادة نفس الكمية من فوسفات الكرياتين التي كانت موجودة قبل أداء الشغل. وساعة واحدة لإعادة بناء الاكلايكوجين وست ساعات لاسترجاع البروتين. وكل عمليات إعادة البناء هذه تتم بمشاركة ثلاثي فوسفات الأدينوزين، ولهذا فاستعادة الكمية الطبيعية له في العضلة ستكون متأخرة.

إن العمليات البايوكيميائية لا تجري بوقت واحد في الأعضاء المختلفة، ففي القلب مثلاً (عضلة القلب) يجري بناء الاكلايكوجين ويستعيد نسبته الطبيعية بعد استعادة المخ ، أي تجري عملية استعادة كمية الكلايكوجين الطبيعية في المخ قبل عضلة القلب وبعد ذلك في العضلات وأخيراً في الكبد.

إن إعادة بناء الكلايكوجين في المخ والعضلات والقلب يمكن أن يتم على حساب الاحتياطي من الكاربوهيدرات الموجودة في الأعضاء. أو من الكلوكوز الموجود في الدم حيث سوف يستخدم لإعادة بناء كلايكوجين المخ والقلب والعضلات. وكذلك جزئياً من حامض اللبنيك (اللاكتيك) المتكون أثناء أداء الشغل أو من الكاربوهيدرات المعاد توزيعها على الأعضاء، وفي الحالة الأخيرة سيجري تحلل للكلايكوجين المتجمع في الكبد حتى في طور الاستراحة، والكلوكوز المتجمع في الدم سيستخدم في إعادة بناء كلايكوجين المخ والقلب والعضلات.

أما الرجوع إلى المستوى الطبيعي من الاكلايكوجين في الكبد فيتم بصورة رئيسة عن طريق تناول المواد الغذائية وخاصة الكاربوهيدرات.

التغيرات التي تحدث في استهلاك الطاقة عند التعب:

تتميز حالة التعب بعدم مقدرة الأعضاء على الاستمرار في إنجاز شغل، بسبب قيامها بعمل عنيف أو عمل ذي مطاولة كبيرة يزيد على مقدرتها وتحملها.

وتكون هذه الحالة عادة مصحوبة بتعب عضلي موضعي أو تعب شامل. كما أن أسباب هذا التعب الموضعي أو الشامل لا تكمن في العضلات وإنما في الجهاز العصبي المركزي.

واحد من الأسباب الرئيسة للتعب هو الاختلال الحاصل في حالة توازن ثلاثي فوسفات الأدينوزين (أو بصورة عامة المركبات الفوسفاتية الغنية بالطاقة). حيث يصبح مقدار ما يستهلك من ثلاثي فوسفات الادينوزين (يتحلل) أكبر من الجزء الذي يعاد بناؤه منه.

كما إن نسبة ثلاثي فوسفات الأدينوزين إلى ثنائي فوسفات الادينوزين في الخلايا العصبية ستتناقص.

إن سبب هذا التناقص هو نقصان في إعادة بناء ثلاثي فوسفات الادينوزين وزيادته في مقدار تحلله (زيادة في كمية ثنائي فوسفات الادينوزين).

كما يحصل أيضاً هبوط في النشاط الوظيفي للخلايا العصبية في العضلة مسبباً تعباً موضعياً في اليد أو الظهر أو الساق أو أي تعب موضعي آخر.

أما إذا حصل هذا الهبوط في النشاط الوظيفي لجزء كبير من الغشاء السحائي للمخ فستحدث حالة تعب شامل وعام.

إن التعب (وخاصة ذلك الناجم عن جهد عنيف وسريع) يكون عادة مصحوبة بهبوط في كمية ثلاثي فوسفات الادينوزين في الأعصاب الحركية، الأمر الذي يؤدي إلى عدم انتظام وصول النبضات العصبية إلى العضلة. حيث سبق وأن بَيّنا أن هذه النبضات العصبية ضرورية لعملية تقلص وتمدد العضلة. حيث إنها مسؤولة عن تنشيط ثلاثي فوسفات الادينوزين المحيط بمايوسين العضلة. وعدم انتظام هذه النبضات يؤدي إلى ضعف في قوة ومدى التقلصات العضلية.

أما في داخل العضلة فيحصل بسبب التعب والتعب الشديد، ضعف لعدد كبير من الأنزيمات، وخاصة أنزيمات الـ ATP (الأنزيمات الخاصة بثلاثي فوسفات الادينوزين) في المايوسين، حيث تتناقص كميتها بشكل كبير جداً بسبب التوتر الشديد والجهد العنيف. وهذا النقص سيؤدي بدوره إلى ضعف في إمكانية تجهيز الطاقة الكيميائية وتحويلها إلى الطاقة الميكانيكية الضرورية لعمليات التقلص العضلي.

كما أن حالة التعب تقود إلى ضعف في نشاط أنزيمات الأكسدة وبصورة خاصة، الأنزيمات التي تساهم في عمليات الأكسدة المصحوبة بالفسفرة، وعلى هذا فستظهر حالة تقوية ثانوية لعملية التحلل الكلايكولي اللاهوائي.

إن حالة التعب التي تحصل حتى لو كانت كمية حامض اللبنيك (اللاكتيك) قليلة في الدم والعضلة. ففي الحقيقة فإن زيادة كمية حامض اللبنيك وكذلك النقص في مخزون النشا في العضلة، لا يلعب دورًا كبيرًا في الوصول إلى حالة الإعياء. فزيادة حامض اللبنيك هو ناتج وليس سبباً. فزيادته في العضلة والدم في كثير من حالات التعب ربما يكون سببه زيادة التحلل الكلايكولي.

بناء وتجديد بروتين أنسجة الأعضاء المختلفة:

إن ثلاثي فوسفات الادينوزين هو ليس فقط مصدراً للطاقة الضرورية للعمليات الفسلجية المختلفة (كتقلص وتمدد العضلات، أو نقل وإيصال الإثارات والنبضات العصبية) وإنما يساهم أيضاً بعمليات بناء وتجديد بروتين الأنسجة وكذلك بعمليات بيولوجية أخرى.

وبين هذين الوجهين لهذه النشاطات الحيوية (تمويل الطاقة للأفعال الفسلجية وتمويل الطاقة لعمليات الأيض والبناء والتجديد) يوجد هنالك تنافس مستمر، فتقوية أي عملية يؤدي إلى زيادة في تحلل فوسفات الأدينوزين.

ومن المعروف أن هناك تحديداً مستمراً للبروتين في العضلات، وفي أنسجة الأعضاء المختلفة بسبب نمو هذه الأعضاء أو بسبب الهدم الذي يحصل للبروتين عند ممارسة النشاطات المختلفة. كما أن هناك توازناً بين عمليات هدم البروتين وإعادة بنائه بحيث يبقى مستواه ثابت في الأنسجة المختلفة.

نشاط العضلة وعملية تجديد البروتين:

يكون نشاط العضلة عادة مصحوباً بنقصان نسبي في كمية ثلاثي فوسفات الأدينوزين. وعلى هذا فعند النشاط العضلي سيحصل تباطؤ في عملية تجديد البروتين وبالتالي اختلال في التوازن بين عملية هدم البروتين وإعادة بنائه.

إن هذا الاختلال يكون واضحاً عند إجراء التمارين العنيفة الشديدة والتمارين المتوسطة العنف والشدة. ففي هذه التمارين (مثل ركض ١٠٠م) يطغي الطريق اللاهوائي في إعادة بناء ثلاثي فوسفات الأدينوزين وهو طريق فقير كما هو معروف. لذا فالصورة السابقة التي ذكرناها سوف لا تكون في صالح بناء البروتين.

أما أداء التمارين المعتدلة فتسود آنذاك عملية الأكسدة المصحوبة بالفسفرة وبالتالي فإعادة بناء ثلاثي فوسفات الأدينوزين سيكون أكبر مما في حالة التمارين السابقة.

ومن هذا نستطيع أن نستنتج أن كمية البروتين ستنخفض في العضلة عند إجراء التمارين العنيفة أكثر مما تنخفض عند إجراء التمارين المعتدلة.

كذلك فإن ممارسة الرياضة العنيفة أو بتعبير أدق عند إجراء التمارين العنيفة سيزداد هدم البروتين. كما إن قسماً من نواتج الهدم هذه سوف تذهب إلى الدم.

إن من أهم الصفات الملازمة للتمارين العنيفة هو زيادة نسبة الأمونيا في العضلة ويستطيع الجسم التخلص من الأمونيا عن طريقين:

- باتحاد الأمونيا مع حامض الكلوتاميك وتحويله إلى كلوتامين.
- تكوين اليوريا والتي تفرز مع الإدرار.

ولكن هذين الطريقين يتطلبان مساهمة ثلاثي فوسفات الأدينوزين أيضاً. وبسبب نقصان هذا المركب الأخير أساساً أثناء أداء التمارين العنيفة، فستكون عمليات التخلص من الأمونيا ضعيفة وبطيئة.

أما إذا كان الجهد معتدلاً حيث تتم إعادة بناء ثلاثي فوسفات الأدينوزين على حساب عمليات الأكسدة المصحوبة بالفسفرة ، فستكون عمليات التخلص من الأمونيا قوية وسريعة نسبياً. لذا .. نلاحظ تناقص في كمية الأمونيا في الدم والأنسجة وزيادة في كمية الكلوتامين واليوريا أثناء أداء مثل هذه التمرينات.

إن نقص ثلاثي فوسفات الأدينوزين عند إجراء التمارين العنيفة والشبه عنيفة سيؤدي إلى ضعف عمليات بايولوجية متعددة، وخاصة عمليات بناء الأستيل كولين في الأعصاب الحركية Acetyl cholin. هذا النقص سيؤثر بصورة سلبية في عملية نقل النبضات والإثارة العصبية إلى العضلة.