الجزء الثاني
Part 2

الجهد البدني واستجابات التدريب
Exercise and Training Responses

- الاستجابات العضلية .
- الاستجابات الهيكلية .
- الاستجابات التنفسية .
- الاستجابات القلبية والوعائية .
- سمات الاجهاد الفسيولوجي والإعياء .
- التنظيم الحراري .
- مقدمة الميكانيكيات الحيوية.

obeikandl.com

obeikandl.com

الفصل السابع

الاستجابات العضلية
Muscular Responses

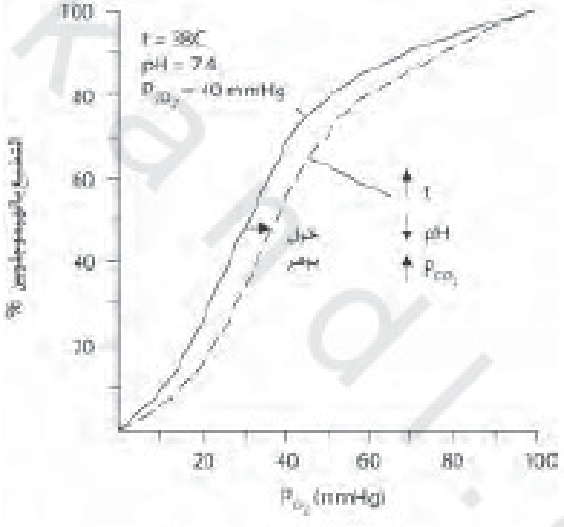
الاستجابة العضلية للجهد البدني
The Muscular Response to Exercise

التغيرات الأيضية التي تشاهد داخل عضلات الحصان أكثر شدة بشكل عام من نظيرتها حتى للنخبة من رياضي البشر . وهذا مثال آخر للمقدرة الرياضية العالية للحصان . للخيول مقدرة عالية لأخذ الأكسجين ، وتمتلك مستويات مرتفعة للغاية من الإنزيمات في العضلة مرتبطة بتوليد الطاقة والأيض ، ولديها المقدرة على إنتاج وتحمل مستويات عالية من لاكتيت العضلة .

أخذ الأكسجين Oxygen Uptake

يزداد امتصاص الأكسجين من حوالي ٥ مل / دقيقة / كجم (STPD) (انظر الفصل الخامس لشرح هذا المصطلح) عند الراحة إلى حوالي ١٦٠ مل/دقيقة/كجم (STPD) أثناء الجهد البدني العنيف في حصان السباق المتوسط من النوع الأصيل المحسن . تفسر الزيادة في استخدام الأكسجين تقريباً كلية الاستعمال المتزايد بواسطة الميتوكوندريا داخل العضلات المتحركة بالرغم أن العضلات غير المتحركة مثل الحجاب الحاجز والعضلات بين الضلوع تزيد أيضاً من استخدامها

للأكسجين . حتى يتم التسليم من العضلة إلى الدم وفي النهاية إلى الميتوكوندريا يجب على الأكسجين أن ينفصل من الهيموجلوبين ؛ يزداد ميل الهيموجلوبين أن يحرر أكسجينه في الحالات المرتبطة بالعمل الشاق للعضلة كحالة زيادة المحتوى العضلي من ثاني أكسيد الكربون والبوتاسيوم ورقم هيدروجيني منخفض ودرجة حرارة عالية. تشاهد هذه الحالات في كل من داخل العضلة والإمداد الدموي الموضعي. يعرف الميل المتزايد للأكسجين المتحرر في هذه الحالات بتحول بوهر Bohr shift (انظر الشكل رقم٧,١) بحسب العالم الذي اكتشف الظاهرة .



الشكل رقم (٧,١) منحنى تفكك الأوكسي هيموجلوبين .

يستبدل الهيموجلوبين بعد ذلك الأكسجين المحرر إما بأيونات الهيدروجين أو أيونات البيكربونات. عن طريق التشبع بأيونات الهيدروجين، يعمل الهيموجلوبين كمنظم ويخفض الكمية التي تزداد بها الحموضة في العضلة والدم. ينتج تحول بوهر أنسجة ذات عمل شاق والتي تزود بأفضلية بالأكسجين ويشبه ميكانيكية اتساع الأوعية الموضعي ويعتبر مثلاً آخر لميكانيكية الملاءمة للإمداد بالأكسجين مع الطلب .

تدفق الدم Blood Flow

لا تصدق إلى حد بعيد الزيادات في تدفق الدم بالعضلة أثناء الجهد البدني. عند الراحة تأخذ العضلات ١٥ ٪ فقط من الضخ القلبي أو حوالي ٤لتر/دقيقة. قد تتطلب العضلات أثناء الجهد البدني حتى ٨٠ ٪ من الضخ القلبي الكلي ، بمعنى آخر ٢٠٠ لتر/دقيقة أي ٤٠ ضعف زيادة عن مستويات الراحة !

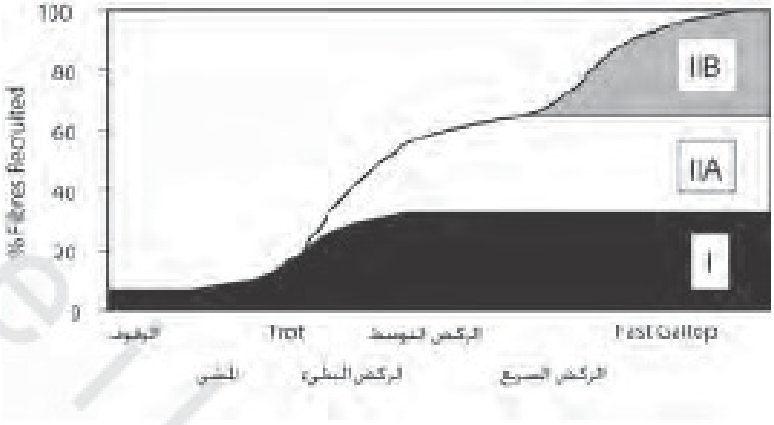
درجة الحرارة Temperature

حينما يزداد نشاط العضلة (قوة وتكرر الانقباضات) تحدث زيادة تصاعدية في درجة حرارة العضلة تصل حتى ٤٦ °م . الزيادة في درجة الحرارة بحوالي ١ °م يزيد فعلياً نشاط الإنزيمات داخل العضلة لذا تحتاج العضلة واقعياً للإحماء "Warm-up" للوظيفة المثلى. مع ذلك ، ربما يرتبط الإحماء الزائد للعضلات بالضعف، الإعياء وتلف النسيج .

استعمال مخازن الوقود Use of Fuel Stores

تجند في بداية وأثناء الجهد البدني منخفض الشدة، ألياف النوع I والنوع IIA، مع تطويع (الاختيار بعناية) ألياف النوع IIB بصفة عامة فقط عند السرعات العليا أو المنخفضة عندما يحدث نضوب لمخازن الجليكوجين للأنواع IIA،I (انظر الشكل رقم ٧,٢) . يحدث بعد الجهد البدني ، امتلاء لمخازن الجليكوجين في الترتيب العكسي للتطويع بمعنى آخر ، إن الألياف التي طُوعت مؤخراً هي التي تُسترد أولاً .

يتضمن الجهد البدني الذي يتراوح من منخفض إلى معتدل الشدة أساساً استعمال الحموض الدهنية الحرة والأيض الهوائي للجليكوجين للتزود بالوقود . مخازن الجسم من الحموض الدهنية الحرة كبيرة ومن غير المحتمل أبداً أن تنضب . يحدث الإعياء أثناء الجهد البدني المطول منخفض إلى معتدل الشدة (أو بعد ٣–٥ فترات متكررة من السباق بأقصى سرعة) بسبب إنضاب مخازن الجليكوجين بدلاً من إنضاب مخازن الدهن .



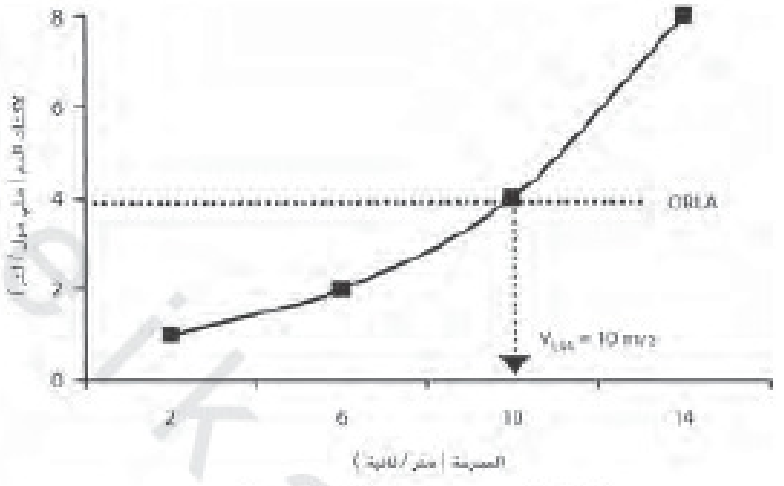
الشكل رقم (٧,٢). العلاقة بين اختيار أو تجنيد نوع الليفة العضلية وسرعة الجري .

في الجهد البدني عالي الشدة حيث تطوع جميع ألياف العضلة ؟ يكون استعمال الجليكوجين وبالتالي الإنضاب أكبر ما يمكن في ألياف النوع IIB وأقل ما يمكن في الياف النوع I . يكون جليكوجين العضلة أثناء أقصى جهد بدني مسئولاً عن الغالبية العظمى من إنتاج أدينوسين ثلاثي الفوسفات . يحدد أمد الجهد البدني التوازن بين الأيض الهوائي واللاهوائي للجليكوجين . في الأحداث التي تستغرق أقل من ٣٠ ثانية فإن معظم الطاقة تُشتق من الأيض اللاهوائي للكريتين المفسفر والجليكوجين من خلال التحلل السكري إلى اللاكتات . يحدث الأيض الهوائي للجليكوجين خلال التحلل السكري كلما ازداد أمد الجهد البدني ؛ ثم تدخل البيروفات Pyruvate الميتوكوندريا لأيضها خلال دورة TCA للإمداد بأكبر كمية من الطاقة لكل جزيء من الجليكوجين . ومما يثير الانتباه ، بينما تستطيع العضلات أخذ الجلوكوز من الدم ليستعمل كمصدر للطاقة أثناء الجهد البدني منخفض إلى معتدل الشدة وأثناء الجهد البدني العنيف يستمر أخذ الجلوكوز مما يمنع دخوله مسار التحلل السكري لو كان تحلل الجليكوجين سريعاً. عليك بتذكر أن ٩٥ ٪ من جلوكوز الجسم المخزن كجليكوجين يتم فعلياً داخل العضلات ، بينما فقط ٥ ٪ في الكبد وعلى الكبد أن تمد جميع الأنسجة والأعضاء الأخرى خلال الدورة الدموية .

لقد وصفنا في الفصل الثاني تحلل الجليكوجين عن طريق فوسفوريلاز الجليكوجين مما ينتج عنه تكون جلوكوز-١- فوسفات ؛ مع أن جلوكوز-١- فوسفات هو المنتج الرئيس لتحلل الجليكوجين Glycogenolysis ، بسبب تركيبه ، وكما ينتج أيضاً من تحلل الجليكوجين كمية قليلة من الجلوكوز الحر .

علم الحركة واللاكتيت Lactate kinetics

أثناء الجهد البدني عند سرعات أكبر من حوالي ٨-١٠ متر/ثانية (٥٠٠-٦٠٠متر/دقيقة) تختار بدقة مسارات الطاقة اللاهوائية ، مما يؤدي إلى إنتاج حمض اللاكتيك داخل العضلة . تختلف السرعة التي يتم بها ذلك بعوامل مثل السلالة ونوع التدريب ومستوى اللياقة ونوع ليفة العضلة والصحة وحالة الأرض ويمكن أن يكون المدى في أي مكان من ٥-١٥متر/ ثانية (٣٠٠-٩٠٠متر/دقيقة) . عندما ينتج حمض اللاكتيك فإنه يتفكك إلى أيونات اللاكتيت وأيونات الهيدروجين . كلما تجمع اللاكتيت داخل العضلة (من تقريباً ٢٤ملل مول/ كجم عضلة جافة عند الراحة حتى يصل إلى قيم عالية مثل ٢٤٠ ملل مول/ كجم عضلة جافة) فإنه ينتشر من المناطق ذات التركيز المرتفع إلى المناطق ذات التركيز المنخفض : وهذا يطلق عليه الانتشار التدريجي نزولاً Diffusion down a concentration gradient . قد ينتشر في البداية اللاكتيت إلى ألياف العضلة المجاورة التي لا تنتج لاكتيت (أو التي بها تركيز أقل من اللاكتيت) أو إلى الدم خلال الشعيرات التي تحيط بكل ليفة عضلة . يعتبر عموماً حدوث بداية تراكم لاكتيت الدم The onset of blood lactate accumulation (OBLA) عند السرعة التي يصل فيها تركيز لاكتيت دم الحصان إلى ٤ملل مول/ لتر (انظر الشكل رقم٧,٣) . تؤدي الزيادات الإضافية في السرعة فوق هذه النقطة إلى زيادات سريعة أكثر في لاكتيت الدم حتى تصل إلى ارتفاع مثل ٢٠-٣٥ ملل مول/ لتر .



الشكل رقم (٧,٣). بداية تراكم لاكتيت الدم (OBLA) .

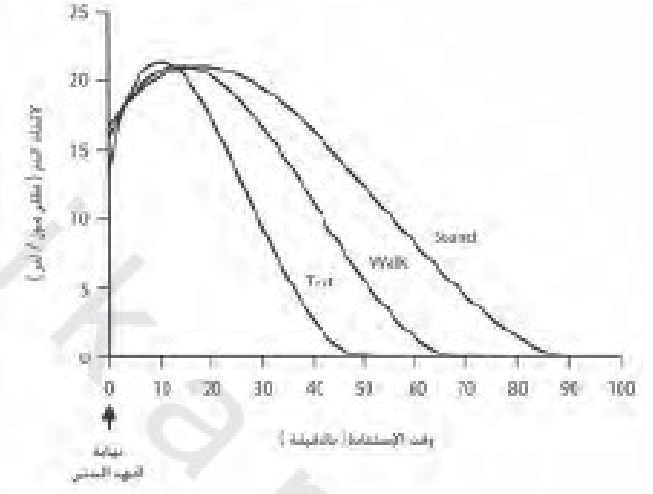
يطلق غالباً على OBLA الآن التي ترد بكثرة بـ V_{LAn} . وهي السرعة التي يصل عندها لاكتيت الدم إلى ٤ ملليمول/ لتر . يستخدم مصطلح آخر على نحو واسع للرجوع إلى الشدة التي يبدأ لاكتيت الدم عندها في الزيادة بسرعة أكبر وهو " العتبة اللاهوائية " "Anaerobic threshold" . بينما يكون استعمال هذا المصطلح في المحافل العلمية مفهوماً ، يمكن أن يكون (مشوشاً) ؛ لأنه يقترح في الواقع وجود تغير مفاجئ لاستعمال المسارات اللاهوائية . وهذه ليست الحالة تحديداً . كما شرح في الفصل الثاني ، فإنه مع زيادة السرعة من البداية البطيئة (بمعنى استبعاد القضية الأكثر تعقيداً للتعجيل السريع) ، فإنه يستدعى توليد الطاقة لا هوائياً تدريجياً أكثر فأكثر مع إنتاج اللاكتيت عندما تجند الياف العضلة أكثر فأكثر خصوصاً ألياف النوع IIB .

يمكن تحديد V_{LAn} أو OBLA إما على طاحون الدوس Treadmill أو الحقل (انظر الفصل الثامن عشر) . مع أن إنتاج اللاكتيت في العضلات يتوقف بمجرد

انخفاض شدة الجهد البدني، مثل الجري بعد السباق ، فغالباً لا تشاهد زيادة قصوى في لاكتيت الدم بعد جهد بدني قصير الأمد (مثل٣–٥ دقائق) معتدل إلى كثيف إلا بعد ٥–١٠ دقائق أو ما شابه بعد انتهاء الجهد البدني . يعزى ذلك؛ لوجود تدرج عند نهاية الجهد البدني في اللاكتيت بين العضلة والدم ، مع أن تركيز اللاكتيت في العضلات ما زال اكبر منه في الدم . إذا كان الجهد البدني ذي كثافة كافية ليزيد تركيز لاكتيت الدم فوق ١٠–١٢ ملي مول/ لتر ، سيؤدي ذلك بشكل عام إلى أقصى زيادة في مستوى لاكتيت الدم بعد نهاية الجهد البدني : كلما كان التركيز مرتفعاً كلما تأخر بشكل عام أقصى زيادة في التركيز (حتى حوالي ١٠ دقائق) . أقل من ١٠ ملي مول / لتر. سيبدأ عموماً تركيز لاكتات الدم في الانخفاض بمجرد انتهاء الجهد البدني . لذلك يظهر أهمية الوقت بعد الجهد البدني الذي تؤخذ عنده العينة لفحص اللاكتيت .

يعتمد معدل إزالة اللاكتيت من الدم على مستوى النشاط الذي يُباشر أثناء فترة العودة إلى الوضع السوي بعد نوبة الجهد البدني (انظر الشكل رقم ٧,٤) . فمثلاً، يزال ٤٠ ٪ من لاكتيت الدم أسرع عند الخبب (جري بين المشي والعدو) بالمقارنة مع المشي و٦٠ ٪ أسرع عند المشي بالمقارنة مع الوقوف . يدل ذلك على أنه عند الخبب يزال اللاكتيت من الدم بمقدار مرتين أسرع عما هو في حالة الوقوف. الخيول التي بذلت جهداً بدنياً عالي الكثافة ، على سبيل المثال بعد طور من سباق للخيل عبر الحقول Steeplechase في حدث لمدة ٣ أيام لاختبار السرعة والتحمل، يجب تهدئته بشكل تدريجي من الجري السريع Gallop إلى العدو البطيء أو المتوسط السرعة Canter إلى الخبب Trot وفي النهاية إلى المشي . يؤدي هذا الشكل من " الإحماء التنازلي "Warm-down " إلى جعل معدل إزالة اللاكتيت من العضلة والدم في أقصى حدوده . يرتبط إنتاج حمض اللبنيك بالزيادات في نشاط العضلة المختلف في البداية والقسوة بين الألياف .

ينخفض الرقم الهيدروجيني للعضلة في ألياف النوع IIB أولاً حيث لديها أعلى مقدرة على التحلل السكري (لديها اقل قدرة هوائية) وتنتج اللاكتيت بأسرع معدل .



الشكل رقم (٧,٤). يعتمد معدل إزالة اللاكتيت من الدم على مستوى النشاط الذي يباشر أثناء فترة الإستعادة .

يوصف غالباً حمض اللبنيك المنتج والمتراكم في العضلة أثناء الجهد البدني " كفضلات " أو " منتج ثانوي للأيض " وهو أمر يجب تجنبه أثناء الجهد البدني . وهذا مضلل بدرجة شديدة . إذا لم تستطع العضلة أن تنتج أي حمض لبنيك ، وتحديد الجهد البدني بشدة منخفضة ومعتدلة فقط سيكون إنتاج حمض اللبنيك ضروري للتعجيل والسرعة والمجهودات سريعة الانفعال. يوجد عيب وراثي في الإنسان يدعى متلازمة ماك أردل Mc Ardles syndrome بسبب غياب إنزيم فوسفوريلاز الجليكوجين وبالتالي فلا ينتج حمض اللبنيك أثناء الجهد البدني . الناس المتأثرون بهذه الطريقة غير قادرين على التعجيل بسرعة أو العدو بأقصى سرعة .

بعد الجهد البدني العنيف حتى نقطة الإعياء ، قد نعاني نحن أو حصاننا ألم أو وجع حاد بالعضلات أثناء أو مباشرة بعد الجهد البدني . يرتبط في هذه الحالة الألم بكل من إنتاج حمض اللبنيك وتأثيرات أيونات الهيدروجين (بدلاً من اللاكتيت) وورم مائي (أوديما) النسيج (امتصاص سائل متزايد إلى المسافات البينية بين خلايا العضلة) . يختفي الإحساس طبيعياً بعد فترة قصيرة من الجهد البدني وربما يُساعد عن طريق الجهد البدني اللائق ذي التسخين (الإحماء) التنازلي . يحافظ الإحماء التنازلي على ارتفاع تدفق الدم بالعضلة ويساعد في إزالة أيونات الهيدروجين ويحل مشكلة الورم المائي . يكون هذا مهماً على وجه الخصوص عندما تُباشر النوبة الثانية من الجهد البدني على سبيل المثال أثناء طور السرعة والتحمل لحدث مدته ثلاثة أيام أو في منافسات عرض القفز حيث يتم قفز عديد من الدورات ، أو في مباراة البولو Polo (لعبة رياضية شبيهة بالهوكي تمارس على متون الخيول) حيث تركب الخيول لفترة من اللعب ، تستريح ثم تركب مرة ثانية .

يحدث وجع وتيبس العضلة غالباً بعد نوبة الجهد البدني (عادة خلال ٢٤–٤٨ ساعة) يطلق عليه في طب رياضة الإنسان بداية ألم العضلة المؤجل . يتم ذلك بسبب الضرر التركيبي لألياف العضلة مع إفراز محتويات داخل الخلية متضمنة كينيز الكرياتين Creatine Kinase (CK) وأسبارتات ترانس أمينيز transaminase Aspartate (AST) وحدوث التهاب لاحقاً . اتضح أن ذلك لا علاقة له مع حمض اللبنيك . في الحقيقة ، في دراسة على الإنسان كانت مستويات لاكتيت الدم أعلى عند نهاية التمرين الجسماني في الرياضيين الذين لم يعانون ألم العضلة المؤجل (Schwane *et al.* 1983). وهنا يشبه الحصان الإنسان ، سيناريو (مخطط) مشابه حيث الحصان يخير عند نهاية الجهد البدني ومتيبس (متقبض) اليوم التالي فمن المحتمل أكثر أن يفسر أنه لياقة غير كافية أو إجهاد زائد (حتى في الحيوان السليم بالكامل) . هذين الشكلان من " التيبس" والمرتبطين مع الجهد البدني يمكن تمييزهما عن التحلل العضلي نتيجة الإجهاد

الجسماني المطول الكثيف . تذكر أن حالة تحلل العضلة المرتبط بإخراج الميوجلوبين من البول Tyirg-up التقليدية يمكن أن تحدث خلال دقائق من بداية الجهد البدني وفي بعض الحالات حتى عند خروج الحصان ماشياً من الإسطبل .

تنظيم الرقم الهيدروجيني للعضلة Muscle Buffering

ترجع القدرة المنظمة (Buffering capacity) للرقم الهيدروجيني للعضلة إلى مقدرتها على تنظيف وإزالة أيونات الهيدروجين من الخلايا المكونة لها ، من خلال تجنب التغير في الرقم الهيدروجيني للعضلة أو جعله أقل ما يمكن . تؤجل المقدرة التنظيمية العالية الإعياء الذي يحدث نتيجة تراكم أيون الهيدروجين داخل الخلايا . يمكن حساب المقدرة التنظيمية للعضلة بعدد من الطرق المختلفة ، بما فيها طريقة انحدار النقص في الرقم الهيدروجيني للعضلة كلما ازداد اللاكتيت من المستويات التي يمكن قياسها في عينة خزعة العضلة المأخوذة أثناء الجهد البدني أو عن طريق معايرة الحمض ، مثل حمض الهيدروكلوريك من المستخلص المتجانس للخزع العضلية . تعتبر الظروف الدقيقة التي تتم بها القياسات في غاية الأهمية ، وسواءً كانت العضلة طازجة أم جافة فيمكن أن تؤدي إلى فرق معنوي في النتائج . من ناحية ثانية ، إذا قورنت عضلة الحصان والإنسان تحت نفس الظروف ، فمن الواضح أن القدرة المنظمة لعضلة الحصان أكبر بحوالي ٦٠ ٪ من تلك للإنسان .

فقد البوتاسيوم Potassium Loss

يمكن أن تؤدي الكثافات والمدد المختلفة للجهد البدني إلى تغيرات في تركيزات الكهارل بالبلازما ، وبالذات للصوديوم ، البوتاسيوم والكلوريد . يزداد مع الجهد البدني المكثف بوتاسيوم البلازما من حوالي ٤ ملي مول/ لتر لتصل إلى ١٠ ملي مول/ لتر وأعلى . يوجد أثناء الجهد البدني تدفق كبير لأيونات البوتاسيوم من العضلة (حيث توجد بتركيز عالٍ جداً بالمقارنة مع البلازما) . يضاف إلى ذلك ، مضخة الصوديوم والبوتاسيوم Sodium–Potassium pump في أغلفة العضلة ، والتي تعطل الضخ الطبيعي للبوتاسيوم إلى داخل الخلايا ، التي تتأثر سلبياً عندما ترتفع تركيزات

أيون الهيدروجين ، مما يؤدي إلى فقد صافي للبوتاسيوم من خلايا العضلة وزيادة في بوتاسيوم البلازما . ما يثير الانتباه أن تركيزات البوتاسيوم في البلازما التي تحدث أثناء الجهد البدني العنيف في الحصان تنتج اضطرابات مفاجئة (دراماتيكية) كحدوث خلل النظم Dysrhythmia ، التي قد يمكن إحداثها عند الراحة من خلال إدخال محلول البوتاسيوم ، يمكن أن تسبب مثل هذه التركيزات العالية من البوتاسيوم في الدم عند الراحة توقف القلب ، لكن ليس لها تأثيرات مرضية أثناء الجهد البدني عندما يفرز الأدرينالين بعد إكمال الجهد البدني ، تعود تركيزات بوتاسيوم البلازما إلى تلك قبل الجهد البدني بعد بضع دقائق . إذا أخذت عينات الدم ١–٢ ساعة بعد نهاية الجهد البدني فقد يكون تركيز بوتاسيوم الدم أقل من نظيره أثناء الجهد البدني . وهذه استجابة طبيعية وتعود إلى أن العضلة تأخذ بوتاسيوم أكثر بدرجة قليلة عما كان قد فقد فعلياً أثناء الجهد البدني . ومع ذلك وفي غضون أكثر من بضع ساعات فإن النظام يوازن نفسه ويعود تركيز البلازما عادة إلى وضعه الطبيعي . قد يكون هناك استثناء واحد يحدث أثناء الجهد البدني المطول مثل التحمل حيث يُفقد من خلال العرق نسبة معتبرة من مخزن بوتاسيوم الجسم. ترتبط إلى حد كبير الزيادات في بوتاسيوم البلازما مع تركيزات اللاكتيت .

الاستجابة العضلية للتدريب

The Muscular Response to Training

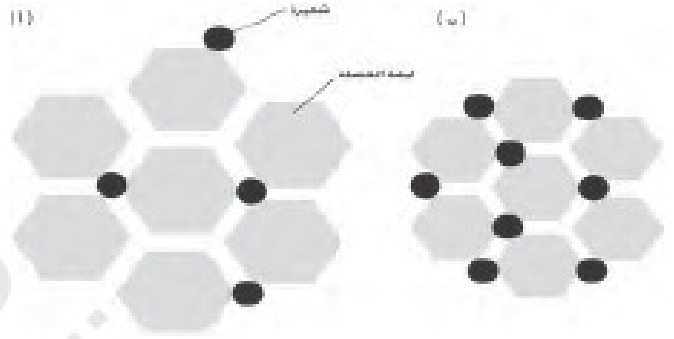
تعتمد التكيفات التي تحدث داخل الألياف العضلية الفردية كنتيجة للتدريب على عمر الحصان ومستواه السابق ونوع التدريب وتركيبه الوراثي وكثافة ونوع العمل الذي يقع على عاتقه فعلاً . لا تجعل جميع التدريبات في العالم الإنسان الرياضي الهزيل طبيعياً إلى بطل العالم Mr.Universe ؛ وسيحدد التركيب الوراثي للفرد مقدرته على الاستجابة لأي برنامج تدريبي معين . يجب أن تحفظ هذه النقطة في الذاكرة عند دراسة الأدبيات العلمية على موضوع تكيفات العضلات الهيكلية للجهد البدني .

يستطيع أن يسبب نفس برنامج التدريب استجابات تدريبية مختلفة اعتماداً على سلالة أو نوع الحصان و قابليته للتحمل أو قوة الرياضة . كثير من التغيرات توصف بشكل أوضح عندما يدرب الحصان لأول مرة . قد يحتاج الحصان البالغ أن يُعرض إلى عبء تدريبي أكبر للتكيفات كي يواصل . ومع بعض استثناءات ، تزيد معظم برامج التدريب المستعملة للخيول المقدرة الهوائية .

وفيما يلي أفضل عشرة طرق والتي يمكن بها تحسين وظيفة العضلة استجابة للتدريب .

زيادة الإمداد الشعيرى Increased Capillarisation

يُحدث التدريب زيادة في الإمداد الشعيري إلى ألياف العضلة . يرجع هذا ربما إلى زيادة في عدد الشعيرات أو تحسين نسبي راجع إلى النقص في حجم الألياف مع التدريب بدون تغير في الأعداد الفعلية للشعيرات (انظر الشكل رقم ٧.٥) . تحسن تهيئة الإمداد الشعيري تسليم الأكسجين إلى العضلة ومن ثم توفر الأكسجين بالعضلات للفسفرة التأكسدية . من المناسب أكثر أن نتحدث عن كثافة الشعيرات بدلاً من عدد الشعيرات، وهو الإمداد بالشعيرات لكل وحدة حجم من ليفة العضلة ، بمعنى آخر كثافة الشعيرات هو المهم . أوضحت دراسات التدريب في الإنسان بشكل عام تحسن الإمداد بالشعيرات إلى العضلة عن طريق التدريب الهوائي لكنه ينقص بالتدريب عال المقاومة . برامج التدريب في الخيول هي هوائية أساساً . وهذا متناغم مع النقص في حجم الليفة الذي وجد في دراسات كثيرة . مع ذلك ، قد تم الاستنتاج أن إمداد العضلة بالشعيرات في الخيول إما أنه لا يتغير ولا يزيد، وفي الدراسات التي لوحظ فيها الزيادة فإنه من الصعب أن نفصل تأثير التقدم في العمر الذي يبدو ممكناً.



الشكل رقم (٧,٥). يحدث التحسين في كثافة الشعيرة الدموية بعد التدريب. (أ) قبل التدريب ، (ب) بعد التدريب .

وقت العبور المتزايد Increased Transit Time

كلما زادت كثافة الشعيرات ، زادت معها شبكة الشعيرات التي يجتاز من خلالها الدم إلى العضلة . يعني هذا أن تدفق الدم خلال العضلة يكون أبطأ ووقت العبور أطول معطياً وقتاً أكثر ليتمكن حدوث الاتزان بين الدم الأكسجيني والعضلة العاملة . يمكن كنتيجة للفرصة الأكبر لحدوث التبادل الغازي Gas exchange لأكسجين أكثر أن يحرر عند العضلة وينُظم لاكتات أكثر بواسطة البيموجلوبين .

الفرق الشرياني — الوريدي المتزايد Increased Arterial –venous Difference

تؤدي الكثافة المتزايدة للشعيرات ووقت العبور المتزايد إلى تحرير أكسجين أكثر إلى العضلة واستخلاص أكبر للأكسجين من مجرى الدم . بالإضافة إلى أن الدم الوريدي العائد إلى الرئتين له محتوى أكسجين أقل ، مما يؤدي إلى تحسن التدريج لانتشار الأكسجين من الحويصلات عبر حاجز الدم الغازي The blood-gas barrier إلى الشعيرات الرئوية . لذلك فإن زيادة امتصاص الأكسجين عند العضلة يكون لديها تأثيرات ضربية Knock-on effects لانتشار الأكسجين عبر أغلفة الشعيرات الحويصلية داخل الرئة .

القدرة التأكسدية المتزايدة Increased Oxidative Capacity

في المراحل المبكرة من التدريب فإن الحصان غير المدرب سابقاً، مثل حصان السباق عند عمر سنتان، فقد تؤدي الثلاثة إلى الأربعة شهور الأولى من التدريب إلى صنع بعض الألياف كنوع II A والتي كانت تصبغ قبل التدريب كنوع II B . وقد ثبت ذلك عن طريق النظر إلى الخزع العضلية للخيول قبل وبعد التدريب. لم تتحول فعلياً ألياف النوع II B إلى ألياف النوع II A ولكن تصبغ وتعمل وظيفياً أكثر مثل ألياف النوع II A. أي أنها تصبح أكثر اعتماداً على الأيض الهوائي للدهن والجليكوجين بدلاً من الأيض اللاهوائي للجليكوجين إلى لاكتات . لا يعتقد أن يتغير العدد المطلق للألياف العضلية (يطلق على الزيادة في عدد الألياف فرط النمو النسيجي Hyperplasia) لكن يبدو أن خواص الألياف الموجودة تستجيب للتدريب. لا تختفي كلياً ألياف النوع II B ولكن ربما تنخفض أعدادها.

يؤدي النقص في ألياف النوع II B والزيادة في ألياف النوع II A إلى زيادة القدرة العامة للعضلة لاستعمال الأكسجين لكي يتحلل الوقود هوائياً . وهذا له فوائد للخيول المتنافسة في جميع الأنظمة الهوائية تقريباً ؛ لأنه يساعد بالأساس في تأجيل بداية إنتاج اللاكتات حيث إن العدد المتزايد من الألياف له قدرة أكبر لاستعمال المسارات الهوائية . يعود وصول القدرة الهوائية إلى أقصاها بسبب فقدان الحصان لكمية قليلة منها عند أعلى قمتها ، بمعنى ، لديه أقصى سرعة أقل بدرجة طفيفة لمسافة قصيرة .

حينما يبلغ الحصان حوالي ٤ سنوات من العمر، تبدو نسبة ألياف النوع I داخل العضلة ككل أنها قد ازدادت بحوالي ٥ ٪ ، وفي نفس الوقت تزداد أيضاً نسبة ألياف النوع II A أساساً على حساب نقص مماثل في نسبة ألياف النوع II B . وما زال سبب ذلك غير واضح إما أن يكون ببساطة تأثير التقدم في العمر أم تأثير التدريب أو كليهما معاً . يساهم هذا في التحسين الطبيعي للقوة (الاحتمال) من الشباب إلى النضج . فمثلاً ، على مستوى الأوليمبياد ، يمكن للنخبة من الرياضيين المتنافسة في

البداية ٢٠٠ و٤٠٠ متر ، وبعد ٨ سنوات في٤٠٠ و٨٠٠ أو حتى ١٦٠٠ متر ، ومن ثم الاستمرار على مستوى الأوليمبياد . ليس من الواضح بعد ما هو القدر من هذا التغير يعود إلى التدريب الذي تتلقاه الخيول البالغة أو الرياضيين ، أو جزء منه إلى التقدم في العمر .

تزداد كتلة العضلة عموماً مع التدريب ، لكن ربما يكون صعباً ملاحظة هذه الزيادات في كتلة العضلة في الخيول الصغيرة بسبب النمو. من المحتمل أن الغالبية العظمى من الألياف تنقص في القطر لسبب أن الألياف تصبح هوائية أكثر وهذا يرتبط بإمداد شعري أفضل. إضافة إلى أن كل ليفة في اتصال طبيعي بشعيرات أكثر ، فإن النقص في قطر الليفة يعني أيضا خفض مسافة انتشار الأكسجين من الشعيرة إلى الميتوكوندريا . ومع ذلك يظهر أن برنامج التدريب يسبب غالباً زيادات في كتلة العضلة . وسواءً كان هذا راجعاً إلى فرط النمو (زيادة في حجم الألياف الفردية للعضلة) وتوتر العضلة الزائد أو إلى الزيادة في الأعداد الفعلية للألياف (فرط النمو النسيجي)، فإن ذلك يحتاج إلى إثباته في الخيول . يعمل بشدة كلا التأثيرين على زيادة القوة الناتجة للعضلة الفردية ؛ لأنه تتناسب القوة الناتجة مع مساحة المقطع العرضي للعضلة . يبدو فرط النمو غير محتمل الحدوث كما أظهرته معظم دراسات الخزعة النسيجية في الخيول ، بينما ظهر بوضوح فرط النمو النسيجي نادر فقط في القطط الذي يظهر بعد تدريب مقاومة ثقيلة للغاية وعند رافعي الأثقال من البشر . وحيثما لا يظهر تدريب المقاومة في أي برنامج تدريب تقليدي ، فإن تفسير فرط النمو النسيجي يبدو غير محتمل للزيادات في كتلة العضلة في الخيول .

النشاط المتزايد للإنزيمات الهوائية Increased Activity of Aerobic Enzymes

يتحسن مع التدريب نشاط الإنزيمات الهوائية مثل سنثاز السترات (CS) Citrate Synthase ونازع هيدروجين ٣-هيدروكسي أسيل 3-hydroxyacylCoA

dehydrogenase CoA (HAD) . إنزيم سنتاز السترات يكون مسئولاً عن إنتاج السترات عند بداية دورة TCA ويتدخل إنزيم HAD في أكسدة من نوع بيتا Beta-oxidation للحموض الدهنية قبل دخولها إلى دورة TCA . يوجد كلا الإنزيمين داخل الميتوكوندريا . يستعمل نشاط الإنزيمات في الدراسات البحثية داخل هذه المسارات كدليل على كثافة الميتوكوندريا ومراقبة التغيرات في القدرة الهوائية . ويمكن أن تؤدي الشهور القليلة الأولى من التدريب إلى مضاعفة هذه الإنزيمات بالمقارنة مع المستويات قبل التدريب. وكما يمكن أن يحافظ على التغيرات في إنزيمات العضلة الهيكلية مثل سنتاز السترات وHAD لمدة حتى ١٦ أسبوعاً بعد التوقف عن التدريب ، ما يشير إلى الاقتراح بأن الحصان سيحافظ على تحسنه في القدرة الهوائية مثل التقدير بالتغيرات في حجم الأكسجين الأعظمي $\dot{V}o_{2max}$ حتى بعد فترة الراحة . وعلى النقيض عند الرياضيين من البشر الذين يفقدون اللياقة Fitness بسرعة كبيرة بعد التوقف عن التدريب. لذا فإن غياب حصان عدد ١ أو ٢ أسبوع من التدريب بسبب إصابة صغيرة كدمة باطن القدم Bruised sole فهي أقل من تلك للإنسان الرياضي .

القدرة المتزايدة لاستعمال الدهن كوقود Increased capacity to use Fat as a fuel

يعمل التدريب على زيادة تحريك الحموض الدهنية الحرة من النسيج الدهني. من المحتمل بشكل كبير أن الخيول والرياضيين المدربين يستخدمون الدهن كمصدر وقود هوائي بدلاً من الكربوهيدرات . لذلك تأثير ضئيل على الجليكوجين الاحتياطي وبالتالي يؤجل بداية الإعياء الراجع إلى نضوب الجليكوجين . ومع ذلك يمكن أن يستعمل الدهن فقط كمصدر رئيس للوقود عندما تكون شدة الجهد البدني منخفضة إلى متوسطة. يليه الركض السريع والعدو بأقصى سرعة للتحلل السريع للجليكوجين. وتستطيع بعض النواتج الوسطية في عملية التحلل السكري الوسطية أن تمنع أيض الحموض الدهنية الحرة . من المحتمل أن يحدث هذا عند معدل ضربات قلب حوالي ١٦٠ ضربة/دقيقة .

محتوى العضلة المتزايد من الميوجلوبين Increased Myoglobin Content of Muscle

مع التدريب ، توجد زيادة في كمية الميوجلوبين الموجود داخل العضلة ، ويشاهد ذلك بشكل أساسي في الألياف العضلية من النوع I . الميوجلوبين هي صبغة مشابهة للهيموجلوبين ، ولكنها تفرغ أكسجينها عند ضغوط جزئية منخفضة للغاية للأكسجين (حوالي ٠,١٣–٠,٢٧ KPa) (١–٢ مم . زئبق) ، كتلك الموجودة في الألياف العضلية العاملة بشدة. حتى في الحصان الذي يعمل بأقصى جهده ، ينخفض فقط ضغط الأكسجين في الدم الشرياني من حوالي ١٣,٣ KPa (١٠٠مم . زئبق) عند الراحة إلى حوالي ٩,٣KPa (٧٠مم . زئبق) . بينما يجب توفر الهيموجلوبين داخل خلايا الدم الحمراء فقط ، فإنه يجب أن يتوفر الميوجلوبين داخل الخلايا العضلية فقط دون مجرى الدم . يؤدي زيادة محتوى العضلة من الميوجلوبين إلى زيادة القدرة التخزينية للأكسجين . يساعد ذلك في تعديل التذبذبات في الإمداد والطلب على الأكسجين وقتياً ومكانياً داخل الألياف العضلية وعلى وجه الخصوص عند بداية الجهد البدني ومع حركة الأكسجين داخل الخلية . الخيول التي عانت من نوبة قاسية من حالة Tying up (المهيأة سريعاً للتحلل العضلي نتيجة الإجهاد الجسماني المطول الكثيف) يكون بولها داكن بشدة. تعرف هذه الحالة بظهور الميوجلوبين في البول بالتبول الميوجلوبيني Myoglobinuria ويسببها التلف الشديد للألياف العضلية والتي ينتج عنها تسرب الميوجلوبين إلى البلازما ومن ثم تقوم الكليتان بطرحه في البول .

محتوى الجليكوجين المتزايد Increased Glycogen Content

يؤدي التدريب إلى قدرة تخزينية أكبر للجليكوجين في العضلات ، ما يزيد من مخزون الوقود المتاح لإنتاج الطاقة هوائياً ولا هوائياً . بواسطة المقدرة على خزن جليكوجين أكثر ، ينخفض أو يؤجل نضوب الجليكوجين (سبب كامن للإعياء في

الخيول التي تعمل هوائياً ولا هوائياً) . محتوى الجليكوجين في عضلة الحصان تقريباً هو ٣٠٠–٥٠٠ ملي مول/ كجم عضلة جافة بعد التدريب . من المحتمل أن تكون الزيادة أكبر ما يمكن في الخيول ذات العدد الوفير من ألياف النوع II B الكبيرة كما في الخيول ذات خصائص العدو السريع . تكون المقدرة التخزينية العادية للحصان مشابهة لتلك في الإنسان . ومع ذلك ، فعن طريق الجهد البدني والتداول الغذائي ، يستطيع رياضيو البشر زيادة محتوى الجليكوجين في عضلاتهم إلى حوالي ١٠٠٠ ملي مول/ كجم عضلة جافة . عندما يستعمل مصطلح نضوب الجليكوجين وعلاقته بالجهد البدني ، يدل هذا ضمنياً على الإنضاب الكلي في إحداث التحمل أو إنضاب جزئي فقط مثل ٥٠ ٪ انخفاض بعد الجهد البدني عالي السرعة .

الزيادات في الإنزيمات اللاهوائية للعضلة Increases in Anaerobic Muscle Enzymes

بعد التدريب الخاص عالي الكثافة ، أظهرت بعض الدراسات وجود زيادات في الإنزيمات ذات العلاقة بالقدرة على التحلل السكري مثل فوسفوفركتوكيناز Phospho fructo kinase (PFK) ، نازع هيدروجين اللاكتات Lactate dehydrogenase (LDH) وفوسفوريلاز الجليكوجين Glycogen phpsphorylase (PHOS) أوضحت دراسات أخرى عدم وجود فرق أو نقص في نشاط مثل هذه الإنزيمات ، خاصة مع التدريب الهوائي منخفض الشدة . ما يثير الانتباه ، ما أوضحته دراسة بواسطة Sinha *et al.* (1991) على الخيول الأصلية المحسنة المدربة مسبقاً حيث أظهرت أنه بعد ٦ أسابيع من التدريب عند $40\%\dot{V}o_{2max}$ فقد نقص نشاط نازع هيدروجين اللاكتات بالعضلة ، من ناحية أخرى ، في مجموعة ثانية بذلت جهداً جسمانياً لنفس الوقت عند $80\%\dot{V}o_{2max}$ وظل هذا الإنزيم عند مستواه أو ارتفع عنه ، وكان هذا مصاحباً بزيادة القدرة التنظيمية لأيون الهيدروجين في العضلة . وهكذا عملت زيادة المقدرة على توليد حمض اللاكتيك مصاحبة بأقلمة لتنظيم حمض اللاكتيك . لم يكن هناك تغير أو فرق بين المجاميع في واسمات العضلة Muscle

markers للمقدرة الهوائية ، وأنشطة كل من CS ،HAD . لذا فإن الدلالة الواضحة لذلك أنه يمكن تدريب مسارات الطاقة الهوائية بواسطة استعمال شدة متوسطة أو منخفضة ، لكن للمسارات اللاهوائية فالشدة الأعلى تنبه التدريب .

تحسين المهارة الحركية Improved Motor Skill

عندما يتم تعلم أي مهارة جديدة، فإنه يلزم معها درجة من الجهد المحسن بمجرد تعلمها فإنها تقريباً كما لو كانت التعليمات (الإرشادات) لأداء تلك الحركة " مسجلة في ذاكرة " المخ ويؤديها الحيوان دونما بذل جهد . تأتي الزيادة في الكفاءة مع الزيادة في المهارة . يستطيع الحصان المدرب على القفز الرياضي أن ينسق بين عضلاته بطريقة ينفق لها طاقة أقل عن الحصان غير الماهر وبالتالي يكون أقل احتمالية لعمل حركات عضلية غير منسقة والتي ينتج عنها وقوع ضرر عضلي هيكلي (الشكل رقم ٧,٦) . تكون الخيول التي تصبح متعبة أكثر احتمالية إلى حد بعيد للتعثر أو الارتطام على نفسها. بطرق عديدة فإن التدريب لأجل تحسين المهارة الحركية يشبه التدريب لأجل اللياقة . من المهم أن يطبق المنبه الصحيح عند التكرر الصحيح. إنه ليس من المفيد خصيصاً محاولة تدريب حصان على القفز عن طريق جلسة قفز واحدة عند الترويض مرة واحدة أسبوعياً لمدة ٤ أسابيع. ومن الأفضل بكثير أن يكون هنالك قفز خفيف أثناء جلسة الترويض Schooling session في الصباح وبعد الظهر على يومين متتاليين ، بمعنى آخر جلسات أقصر، ولكن بوقت أقل بينها. توجد أمثلة عديدة كيف تتعلم الخيول أفضل بهذه الطريقة . من أجل تأقلم الخيول لطاحون الدوس يمكن أن يرتبط بالمهارة . يمكن للحصان أن يكون جيداً وملائماً جداً وذا قدرة فائقة على المشي والهرولة والركض (العدو البطيء أو متوسط السرعة) Canter والعدو

بأقصى سرعة مع فارس على الخيل على الحشائش Grass وجميع سطوح الطقس. بينما عند استخدام طاحون الدوس فعلى الحصان تعلم مهارة حركية جديدة ، وهي الجري على حزام متحرك . نحن نعرف أن الخيول تتعلم أسرع وأفضل إذا قمنا بتدريبهم بأربع أو خمس دورات تأقلم قصيرة على طاحون الدوس خلال فترة ٢-٣ أيام عما لو كان جلسة واحدة يومياً أو يوماً بعد يوم لمدة ٧-١٠ أيام . وإذا ما كانت سترى طاحون الدوس مرة أسبوعياً لمدة ٤ أسابيع فهناك برهان قوي على أنها لن تتأقلم معها على الإطلاق . ولا ينطبق هذا فقط على الخيول وحدها بل على فرسانها أيضاً .

الشكل رقم (٧,٦). قد تؤدي حركات العضلة غير المستقرة إلى السقوط .

كم يأخذ كل ذلك ؟

How Long does it All Take?

تم التدريب في إحدى الدراسات (Lovell & Rose 1991) ولمدة ١٢ أسبوع باستعمال خيول أصيلة محسنة مدربة مسبقاً ، و٣ أسابيع من الكثافة المنخفضة ، وتدريب طويل المسافة (الخبب أو الهرولة Trotting) فلم يظهر تأثير على أنشطة

الإنزيمات المعلمة للقدرة الهوائية (CS، HAD) أو اللاهوائية (LDH) . ومع ذلك ، الطور الثاني والذي تضمّن عمل متواصل منخفض الشدة طويل المسافة وشهد فترات تدريبية معتدلة الشدة ، أدى إلى زيادة كل من CS، HAD وإلى حد أقل LDH ، ولكن بدون تغيرات في نسب أنواع الألياف . الزيادات الإضافية في كثافة التدريبن من ٦ – ١٢ أسبوع حتى ثلاث مرات عدو بأقصى سرعة عند أقصى معدل لضربات القلب ، وثلاث مرات أسبوعياً ، أدت إلى زيادة معتبرة في الأعداد النسبية لألياف النوع II A واتجاه للنقص في ألياف الأنواع II B ،I . بينما لم يتغير كل من CS وHAD . بعد فترة ٦ – ١٢ أسبوع ، حيث ازداد LDH من ٦–٩ و٩–١٢ أسبوع . أوضحت بعض البرامج التدريبية تغيرات في الاستجابة للتدريب خلال زمن قصير١٠–١٤ يوماً . تضمنت التغيرات نقص في الجليكوجين وإنتاج اللاكتات وزيادات في نسبة ألياف النوع II A وفي القدرة التنظيمية لأيون الهيدروجين .

تكمن الصعوبة في تفسير النتائج لعديد من دراسات التدريب في احتمال تأثر كل من نوع التغير، ومقداره والوقت المستغرق بعوامل مثل العمر وتاريخ التدريب السابق وطول الإنقطاع إذا كان يدرب سابقاً والتركيب الابتدائي لليفة العضلية الفردية والسلالة وبرنامج التدريب الدقيق . يجب أن تؤخذ جميع هذه العوامل في الاعتبار عندما تتم مراجعة السرد الأدبي العلمي ذي العلاقة بدراسات التدريب .

كم يستغرق كل ذلك ؟

How Long dose it All Last ?

الانقطاع عن التدريب Detraining هي الفترة التي تلي توقف كامل عن البرنامج التدريبي أو الفترة التي تشهد نقص واضح في شدة التدريب . تعلمنا من دراسات منع التدريب التي أجريت على الخيول ، أن عكس التدريب يؤدي إلى

تأقلمات في العضلة ؛ لأن الخمول النسبي يكون أبطأ إلى حد بعيد في الحصان عن الأنواع الرياضية الأخرى للإنسان فإنه يحافظ على استجابات العضلات للجهد البدني لعدة أسابيع على الأقل بعد التوقف الكامل عن التدريب . ربما تستغرق التغيرات في أنشطة الإنزيم ومحتوى الجليكوجين حتى ٣ أشهر لكي تبدل وضعها إذا لم يباشر مطلقاً الجهد البدني . وفي دراسة سارت فيها الخيول لمدة ٢٠ دقيقة يومياً و٧ أيام أسبوعياً وتم اختبار الجهد البدني كل رابع أسبوع لتحديد وقت السير وطبيعة تأثيرات الانقطاع عن التدريب ، فكان التغير المعتبر الوحيد بعد ١٦ أسبوعاً من الانقطاع عن التدريب هو مضاعفة تركيزات اللاكتات أثناء الجهد البدني، دون تغيير في القدرة على أداء الجهد البدني (Butler *et al.*، 1919) .

نقاط مفتاحية **KEY POINTS**

- يمكن إن يزداد امتصاص الأكسجين بواسطة العضلات إلى ٣٠ ضعف من الراحة إلى الجهد البدني .
- يكون أقصى امتصاص من الأكسجين للحصان نتيجة لكل من المقدرة العالية لتسليم الأكسجين والكثافة العالية من الميتوكوندريا (موقع استهلاك الأكسجين) في العضلات . يستطيع الحصان أن يزيد امتصاصه للأكسجين بمعدل ٤٠ مرة فوق مستوى الراحة عند أقصى جهد بدني .
- قد تصل درجة حرارة العضلات إلى حوالي ٤٦°م أثناء الجهد البدني المكثف. قد تحدث تغيرات عكسية في تركيب البروتينات عند ٤٤°م ؛ ومع ذلك، يزداد خطر التلف التركيبي المستديم مع كل من زيادة درجة الحرارة والزمن الذي يستغرقه ذلك .
- مع زيادة شدة الجهد البدني تجند (تستعمل) عادة الألياف العضلية بالترتيب II . B<II A<I

تابع نقاط مفتاحية

- تستطيع الخيول أن تنتج تركيز مرتفع من اللاكتات بالعضلة حتى ٢٤٠ مللي مول /كجم/عضلة جافة أو ٣٥ مللي مول في الدم . كلتا هاتين القيمتين أعلى من مثلتيهما عند الرياضيين من البشر .
- يمكن تتبع العمليات التي تحدث في العضلة والاعتماد على التحلل السكري اللاهوائي مع إنتاج حمض اللاكتيك عن طريق قياس ظهور حمض اللاكتيك في الدم أو البلازما .
- يطلق على السرعة التي يصل عندها لاكتات الدم إلى تركيز ٤مللي مول / لتر بداية تراكم اللاكتات (OBLA) أو V_{LAn}(السرعة عند تركيز لاكتات الدم ٤ مللي مول/لتر) .
- بعد الجهد البدني الكثيف ، قد لا يصل تركيز لاكتات الدم إلى أعلى مستوى له مثل ٥–١٠ دقائق بعدئذٍ لأن اللاكتات يستمر في ترك العضلة ودخوله إلى الدم .
- يتم إزالة اللاكتات من الدم بشكل أسرع عند الخبب (الهرولة) عنه عند المشي ويكون أسرع عند المشي عنه عند الوقوف .
- لا ينتج الحصان فقط كميات أعلى من اللاكتات بالنسبة لرياضي البشر ، لكن لديه المقدرة أيضاً على تحملها . المقدرة التنظيمية للعضلة أعلى في الخيول عن الإنسان .
- قد تزداد تركيزات البوتاسيوم في البلازما من ٤مللي مول / لتر إلى ١٠ مللي مول / لتر أثناء الجهد البدني الكثيف كنتيجة لتدفق البوتاسيوم إلى الخارج من العضلة .
- يُحدث التدريب تغيرات في إمداد العضلة بالشعيرات واستخلاص الأكسجين والمقدرة التأكسدية واستعمال الدهن و/ أو الكربوهيدرات (جليكوجين) كوقود ومحتوى الجليكوجين للعضلة ومحتوى الميوجلوبين والمهارات الحركية .

تابع نقاط مفتاحية

- يمكن أن تُكتشف الاستجابات في العضلة بعد مدة قليلة من التدريب ١٠–١٤ يوماً .
- تأثير انقطاع الخيول عن التدريب أبطأ بشكل كبير عن رياضي البشر. قد يحدث تغير قليل في اللياقة التي يمكن قياسها بعد ٣–٤ أشهر من خفض شدة وحجم الجهد البدني .

obeikandl.com