الاستجابات الهيكلية
Skeletal Responses

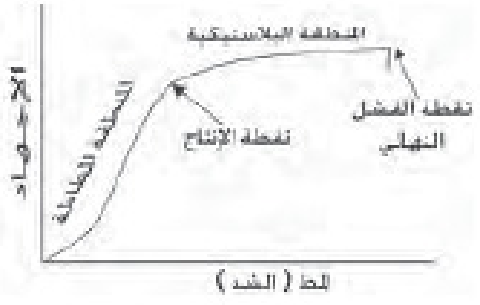
الخواص الميكانيكية للعظم
Mechanical Properties of Bone

عندما تشتري الخيول بقصد التنافس في العدو السريع نحاول أن ننتخب الأفراد ذات البنية الجيدة . فيما يخص شكل الطرف فنحن نقدر قياس الأشكال الأساسية لعظام الأطراف واصطفافها Alignment . فمثلاً ، عند معاينة الطرف الأمامي من جهة الرأس ، يرسم خط تخيلي خلال منتصف الذراع الأمامي على أن ينصف الطرف ومحفظة الحاجز . يمكن أن تنتج انحرافات الطرف سواءً الوسطية الجانبية أو المحورية أعباءً غير طبيعية كما تزيد من احتمالية حدوث تغيرات اضمحلالية في الوتر .

عندما نبيع الخيول أو نعلن عن الأحصنة في مزرعة الخيول ، فإن كمية " العظم " التي يمتلكها الحصان ، مثل ، محيط عظمة الوظيف Cannon Bone Circumference يستشهد بها كدليل على الوزن الذي يتوقع من الحصان أن يكون قادراً على حمله . تعتبر مثل هذه القياسات هي الأكثر فائدة إذا اعتبرنا محيط العظم (بالسنتيمترات) لكل كيلو جرام من كتلة الجسم . وبناءً عليه فإن الحصان ذي الـ

١٧ سم من العظم والذي يحمل ٤٥٠ كجم من كتلة جسمه أفضل من حصان ذي ١٧سم من العظم والذي يحمل ٦٠٠ كجم من جسمه . هناك حل وسط بين كتلة العظم العالية (التي تحتاج إلى زيادة الطاقة عند التنقل) والإمداد بكتلة العظم الكافية لتجنب حدوث انكسار العظم . في الحيوانات التي تربى اختيارياً على مدى سنوات عديدة لغرض التحرك والسرعة ، وبأقل كتلة للطرف البعيد ، فهناك مخاطرة عالية لحدوث الكسر، كما يشاهد في الخيول الأصيلة المحسنة والمدربة للسباق المتبسط . بالإضافة إلى قياس الأشكال الأساسية (الحجم والشكل) للعظم، يعتبر التركيب الداخلي للعظم هاماً في تحديد مقدرته على تحمل أنواع معينة من الأحمال . يختلف التركيب الداخلي للعظام داخل الفرد الواحد من الخيول وبين الخيول الأخرى من حيث نسبة العظم القشري Cortical إلى العظم الأسفنجي (الشبكي) Cancellous ، والكثافة المعدنية للعظم ، ومسامية Porosity العظم وسمك العظم القشري ومقدرة العظم على تحمل كلاً من التوتر Tensile (Stretching) والقوى الضاغطة Compressive Forces . يوجد عديد من الطرق المستعملة على مدى العشرين سنة الأخيرة أو ما شابه لقياس النواحي المختلفة لجودة (لنوعية) العظم والتي استخدمت في الدراسات الخاصة بالتدريب .

تساهم " نوعية " العظم في القوة ، ولكنها ثانوية لقياس الشكل الفعلي للعظم. ترجع نوعية العظم إلى مقدرته على تحمل الإجهاد الميكانيكي المفروض، ويتحكم فيها التركيب العضوي والمعدني . يمكن توضيح استجابة العظم إلى الإجهاد المطبق عملياً برسم بياني لمنحنى الإجهاد المطبق (العبء) مقابل الشد (المط) Strain والذي يمكن رؤيته في العظم نفسه (انظر الشكل رقم ٨,١) . يقاس الشد كتغير في الطول (تمدد أو ضغط) ويعبر عنه منسوباً إلى الطول الأصلي للعظم .



الشـــــكل رقم (٨,١). منحنى الشد / الإجهاد للعظم .

الشد = التغير في الطول (L) / الطول الأصلي (Lo)

يمكن أن يقاس الشد باستعمال مقاييس الشد التي يلتصق بسطح العظم . يؤدي الإجهاد الميكانيكي المطبق عملياً إلى تحوير في المقاومة الكهربية لمقياس الشد الذي ينتج جهداً voltage يتناسب مع الشد الحاصل على سطح العظم . نوع الشد الداخلي للعظم (بمعنى آخر ، في الحصان الحي) يكون صغيراً للغاية ويعبر عنه بالشد المصغر Microstrain (يرمز له με الشد ×١٠$^{-٦}$) .

لاحظ أنه يوجد منطقتان بمنحنى الإجهاد – الشد :

١– منطقة مرنة Elastic zone : يرجع العظم داخل هذه المنطقة مباشرة إلى شكله الأصلي بمجرد إزالة الإجهاد.

٢– منطقة اللدائن (بلاستيكية) : Plastic zone يكون الإجهاد داخل هذه المنطقة كافياً للغاية ليسبب تشويه في نسيج العظم .

يميل نسيج العظم لامتلاك منطقة مرنة كبيرة نسبياً ، حتى يستطيع الانسجام بشكل جيد مع الإعياء لقدر معين. نظراً لأن لديه منطقة مرنة كبيرة ، يوصف كمادة قنوية كاذبة Pseudo ductile material . تعرف المادة ذات المنطقة المرنة الصغيرة نسبياً بالمادة الهشة . عندما يزداد معدل العبء ، يمكن للعظم أن يتغير فعلياً من السلوك

القنوي الكاذب إلى السلوك الهش . وهكذا ، ليس مجرد حجم الإجهاد المطبق عملياً هو المهم ، ولكن المعدل الذي يمارس عنده الإجهاد . يكون معدل العبء مكافئا لعدد المرات التي يضرب فيها كل طرف الأرض ، ويكون الإجهاد المطبق عملياً على العظم هو القوة الاهتزازية التي استقبلها هذا الطرف. المعدلات المقدرة للعبء والتي تسبب تغير من السلوك القنوي الكاذب إلى السلوك الهش يمكن أن تحدث في الخيول التي تعدو بأقصى سرعتها .

تتضمن التقنيات المتوفرة حاليا لدراسة استجابات العظم داخلياً ما يلي :

١ ــ قياس السرعة فوق الصوتية Ultrasound velocity measurment :

تعطى السرعة فوق الصوتية دليلاً على قوة العظم وكلما كانت سرعة الموجات فوق الصوتية خلال العظم أكبر كلما زادت كثافته .

٢ ــ قياس مقدار امتصاص الفوتون Single photon absorptiometry :

تسمح هذه الطريقة بتقدير المحتوى المعدني للعظم. يتناسب عدد الفوتونات photons الممتصة مع المحتوى المعدني للعظم . يمكن استعمال هذه الطريقة مقترنة مع قياس الموجات فوق الصوتية لإعطاء تقديرا للكثافة المعدنية للعظم . لقد استبدلت هذه الطريقة بطريقة امتصاص أشعة X- ثنائية الطاقة Dual energy X-ray absorptiometry التي يرمز لها بالرمز DEXA وحتى كتابة هذه السطور لم تطبق هذه الطريقة على الخيول المدربة .

٣ ــ التصوير بالأشعة Radiography : يستخدم التصوير بالأشعة دائماً لتقدير اكتمال نمو العظم عن طريق دراسة غلق صفيحة النمو Growth plate closure . يستعمل التصوير الإشعاعي لتقدير سمك القشرة الظهرية لعظمة الوظيف الثالثة The third metacarpal (cannon) bone. بينما يستعمل التصوير الإشعاعي الكمي لتقدير كثافتها المعدنية .

٤ – التصوير بالومضان Scintigraphy : التصوير بالومضان طريقة حديثة للتصوير الحي والتي تستعمل كوسيلة للتعرف على تحول العظم وتدفق الدم ، وترسيب العظم ومرضيته . تحقن الخيول بمادة دامغة مشعة Radiolabel والتي تعمل كواسم فسيولوجي مشع Radioactive physiological marker . الدامغ المشع شائع الاستعمال هو مثيل ثنائي الفوسفات (MDP) 99 m والذي يعمل على امتصاص المادة الخلالية للعظم خلال ١–٣ ساعات ويمكن وصفه بالتصوير باستخدام آلة تصوير جاما Gamma camera . يوضح التصوير بالومضان مناطق تدفق الدم المرتفع وأو التغيرات بالعظم ، وكما يحتاج الطبيب البيطري أن يستخدم تقنيات تشخيصية أخرى ليعطي تشخيصاً محدداً. التشخيص بالومضان غالي ومكلف ويستعمل فقط في مستشفيات الخيول البيطرية الكبيرة ومراكز البحوث .

٥– واسمات العظم Bone Markers : تهدف البحوث الحالية إلى توفير واسمات الدم لأيض العظم لمراقبة التغيرات في العظم أثناء التدريب ولربما لاستكشاف التغيرات على خطر الكسر قبل حدوثه ، وبتلك الوسيلة يمكن الحد من الخسارة . اتجهت الأبحاث حديثا نحو استعمال واسمات الدم لتكوين العظم وارتشافه . تتضمن الواسمات الحيوية الممكنة Bio-markers كما تسمى، الفوسفاتاز القاعدي للعظم Bone alkaline phosphatase الذي يرمز له بالرمزAP ، وهو إنزيم يعتقد أنه يعكس نشاط الخلايا بانية العظم ، وكذلك الكولاجين من النوع الأول ذي النهاية البيتيدية الكربوكسيلية Carboxyl-terminal propeptide of type I collagen ، وهيدروكسي برولين الذي يرمز له بالرمز (HP) Hdroxyproline والذي ينتج أثناء تكون الكولاجين ، وأستيوكالسين Osteocalcin والذي يفرز إلى مجرى الدم أثناء تكوين العظم .

تأثير الجهد البدني على التشكل وإعادة التشكل
The Influence of Exercise on Modelling and Remodelling

النمو الأساسي للعظم وإعادة البناء Basic Bone Growth and Remodelling

خلال الحياة يوجد اتزان بين تكوين العظم وارتشافه Resorption . في سنوات النمو يزيد التكوين عن الامتصاص ثانية وتزداد الكتلة الهيكلية (فرط النمو). يصل فرط النمو للجهاز الهيكلي أقصى ما يمكن خلال العام الأول من الحياة . في الحصان الناضج يكون فرط النمو أقل ، مع وجود فرصة عالية لإعادة البناء (تحول العظم Turnover of bone) . في الحقيقة ، يحدث معدل أكبر من إعادة البناء للعظم في الخيول ما بين٣-٢سنوات من العمر . العظم المعاد بناؤه كثافته المعدنية أقل من العظم مكتمل النمو لعدة شهور بعد التكوين . كنتيجة لإعادة البناء ، يستبدل ٥٠ ٪ من التركيب الهيكلي الأساسي للحصان عند عمر ٣ سنوات .

استجابة العظم للأعباء التطبيقية Bone Responds to Applied Loads

يستجيب العظم للظروف المفروضة تبعا لقانون وولف Wolff's law . وكما تم وصفه في الفصل الرابع ، يحتاج العظم ببساطة إلى كمية معنية من الحمولة لكي يحافظ على كتلته . ويؤدي الإجهاد الحاصل دون القدر المعين إلى خسارة صافية من العظم ، ويؤدي إجهاد أكبر من هذا القدر إلى ضخامة العظم وزيادة كتلته . تحتاج إلى إحداث إجهاد معين لنحافظ على كتلة العظم ونكسبه المقدرة على الاحتمال اليومية والتنافسية دون إصابته بضرر . لا تعتمد نوع استجابة العظم فقط على قدر الحمل والتكرار الذي يطبق به، وإنما أيضاً على المستوى السابق للتهيئة . لسوء الحظ فإن الذي يشكل بالضبط الإجهاد " الجيد " والإجهاد " السيء " مازال عمل تخميني بشكل كبير . فبينما يمكن أن نستعمل رصد معدل ضربات القلب للحصول على فكرة

عن كيفية عمل القلب بشكل قاسي، ولكن ليس هناك طريق سهل لنعرف كيف يعمل الجهاز الهيكلي بشكل قاس .

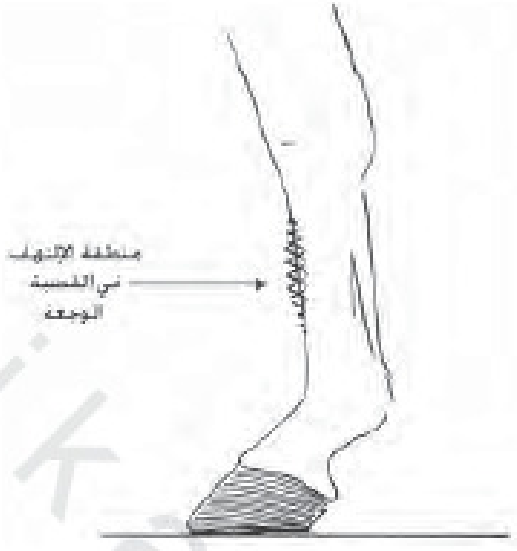
القصبة (مقدم الساق) الموجعة Bucked Shins

مظهر عام للاحتمال الزائد لخيول السباق الصغيرة في تدريب السباق المنبسط هو " القصبة الموجعة " . تحدث حالة القصبة المؤلمة لأن خلايا العظم تصبح غير قادرة على تصنيع وتكوين المادة الخلالية بسرعة كافية لتقليل الإجهاد النسيجي الموضعي .

يستتبع التلف الدقيق Microdamage لقشرة عظمة الوظيف الثالثة بعد ذلك بإعادة بناء ينتج عنه زيادة المسامية وتكون وحدات عظم ثانوية Secondary osteons أضعف من العظم الأساسي (الأولي) .

هذه حالة مؤلمة عند بداية تكونها، في المراحل المبكرة، سوف تلتهب القصبة الموجعة، وإذا لم يتم التنبه إلى العلامات التحذيرية للالتهاب، سيحدث أذى في تركيب العظم نفسه (كسر دقيق Microcracking). يؤدي ذلك مع الوقت، إلى جعل الناحية الظهرية لعظمة الوظيف سميكة نتيجة للتعرض للإجهاد وتبدو بها التواء طفيف . القصبة الموجعة أكثر شيوعاً في خيول السباق ذات عمر ٢-٣ سنوات والتي يعتبرها بعض المدربين تقريبا أمراً لا مفر منه. يعتقد أن القصبة الموجعة هي النتيجة الطبيعية لزيادة كمية العظم على حساب زيادة مساحة المقطع العرضي للعظم حتى تزداد المنطقة التي عليها الاحتمال ، ولسوء الحظ أن العظم الذي يتم بناؤه بشكل سريع يتركب من وحدات عظمية ثانوية مكوناً مادة عظمية منخفضة الجودة عند مقارنتها بالوحدات العظمية الأولية Primary Osteons .

عند ظهور علامات القصبات الموجعة يجب خفض تكرار إجهاد الأحمال العالية للخيول ، دون إزالتها بالكامل . يضمن الإجهاد العالي للأحمال أن المنبه لإعادة (تجديد) بناء العظام مازال موجوداً ، ولكن تقليل التكرار يضمن أن يعطي للعظم بعضا من الوقت حتى يتكيف (الشكل رقم ٨,٢) .



الشكل رقم (٨,٢). القصبة الموجعة .

استجابات العظم للتدريب
The Responses of Bone to Training

لقد أجريت دراسات عديدة خلال السنوات القليلة الماضية في محاولة لتقدير استجابة الجهاز الهيكلي لبرامج التدريب المختلفة . يستجيب معظم الجهاز الهيكلي للحمولة بعملية تعرف بضخامة النمو التكيفي Adaptive Hypertrophy ، بمعنى آخر ، زيادة كتلة العظم وفقاً لقانون وولف Wolff's law عن طريق زيادة كتلة العظم وتعديل توزيع العظم الموجود للإمداد بعظم أكثر حينها يحدث حالة إجهاد (توتر) عال High stain ، مما يجعل الناحية الظهرية — الوسيطة لعظمة الوظيف غالباً أسمك من بقية العظام الكثيفة في الخيول المدربة . من ناحية ثانية ، يعتبر ذلك استجابة تكيفيه إيجابية للتدريب مقارنة بالقصبات الموجعة التي هي علامة الحمل الزائد Overload .

يبدو أن المنبه للنمو التكيفي هو العمل لفترات قصيرة وبشدة عالية. في دراسة لـ Firth *et al.* (1999) على مجموعتين من الخيول المحسنة الأصيلة ، تدربت

مجموعه لمدة ٤ أشـهر وتدربت المجمـوعة الأخـرى لمدة ١٨ شهراً . في كلتا المجموعتين تدربت الخيول إما بكثافة عالية أو كثافة منخفضة . استجابت جميع الخيول المدربة بشـدة عالية بإظهار زيادة في النمـو عند موضع خاص في الناحية الظهرية لعظمة الكعبرة Radial وعظام المشط (سنغي) Metacarpal ، بينما لم تظهر المجموعة المدربة ذات الشدة المنخفضة مثل ذلك .

يحدث كاستجابة إضافية لعظام الطـرف الخلفي في الخيول للحمل المطبق عمليا كسر دقيق . قـام Reilly *et al.* (1997) بتنفيذ برنامج تدريب عند البداية لمدة ١٩أسـبوعاً على مجموعه من الخيول المحسنة الأصيلة في عمر ١٩ شـهراً . أعطيت خيول إحدى المجموعات تمرين مشي فقط لمدة ٤٠ دقيقه في اليوم ، بينما خيول المجموعة الأخرى سارت ٤٠ دقيقة في اليوم ، وهرولة لمدة٢٠ دقيقه في اليوم وقامت بتنفيذ جهد بدني أكثر شدة ومتقدم على طاحونة الدوس . عند نهاية برنامج التدريب ، أظهرت عينات العظم المأخوذ من قشرة عظمة الوظيف داخل غمد العظم أن لدى المجموعة ذات الجهد البدني عالي الكثافة درجة أكبر من التكسير الدقيق وزيادة في قوة التأثير . يشاهد غالباً التكسير الدقيق بعد الجهد البدني عالي الشده ويقلل فعلياً من حدوث خطر التكسيرات الكبيرة التي تظهر داخل تركيب العظم اعتماداً على أن العبء (الحمل) طُبق بطريقة ازدياد تدريجي على مدى فترة مناسبة من الوقت. يمكن أن يؤدي الحمل فائق الكبر دون تدرج إلى القصبة الموجعة كما وصف سابقاً .

أوضح العمل الذي أجري في الفضاء أن ١٠ دقائق فقط من الحمل على العظم في اليوم يؤدي إلى استجابة تدريبيه للعظـم (Good ship *et al.* 1998) يبدو أن الفترات القصيرة للعبء ذات التأثير العالي تسبب زيادة في كتلة العظم ، وأن الهرولة لمجرد ١٠ دقائق في اليوم على سطح صلب ربما تكون كافية لتحدث تكيفات إيجابية في العظم وعلى وجه الخصوص في المراحل المبكرة من برنامج التدريب .

المصطلحات العملية في تدريب العظم
Training Bone in Practical Terms

قد تنخفض مقدرة العظم للتكيف لمدى من الإجهاد المعرض له بالتقدم في العمر. يمكن أن تستغرق الاستجابة الكلية للعظم لزيادة كمية الإجهاد عدة شهور حتى تكتمل . لذا فإن المفتاح أن تبدأ مبكرا ولكن تتقدم بحذر. يجب أخذ العناية في تعريض الجهاز الهيكلي للحصان الصغير تدريجيا لحمولة متزايدة تدريجياً، مجرد مثل تعرض العضلات لمتطلبات زائدة للعمل . لكي يستجيب العظم ايجابياً ، يجب أن يعرض لحمولة متزايدة تدريجياً على مدى فترة كافية من الوقت. يحدث الإعياء عادة بسبب التعرض لحمولة خلال فترة فعلية قصيرة من الوقت ما يؤدي إلى ضرر طفيف Microdamage .

من أفضل الطرق لضمان تعرض الهيكل العظمي النامي لإجهاد كاف "جيد" هي السماح لصغار الحيوانات للتجهيز بقدر وفير، والأفضل مع رفقاء في نفس العمر حيث يشاركون معاً في اللعب. من المهم ألا يسمح للخيول الصغيرة بحمل أحمالاً أكثر من اللازم بخصوص حالة الجسم (بمعنى آخر دهن زائد) حيث يضع هذا إجهاداً غير ضروري على العظام والمفاصل غير الناضجة.

يجب أن تعمل على مشية الحيوان التي تحاكي الرياضة البدنية المقصودة للحصان . يجب أن يعرض الحصان أثناء برنامج التدريب لأنواع الأسطح والتضاريس الأرضية التي ترى في المنافسة . إذا طلب من الحصان أن يعمل في منطقته فيحتاج أن يؤدي أكثر من العمل في جميع الأحوال الجوية لميادين التنافس أو العدو بأقصى سرعه في ميدان سباق منبسط . ونظراً لأن اتجاهات الإجهاد الأساسية تعتمد على مشية الحيوان، يجب أن يعمل الحصان عند السرعات التي تحاكي التنافس ، لإحداث الإجهاد بالطريقة المناسبة وللحصول على استجابة التدريب المرغوبة . الجهد

العنيف المفاجئ القصير Short bursts للجهد الجسماني ذو السرعة العالية أو" العمل ذو الانطلاق السريع Breeze work " من المحتمل أن يكون أكثر فائدة لحصان السباق ، من الركض (العدو البطيء أو متوسط السرعة) الأبطأ والأطول . كلما كانت متطلبات الرياضة البدنية أكثر كانت الزيادات أصغر في الحمل التدريبي . بصفة عامة ، يجب عدم مضاعفة الحمل التدريبي (الإجهاد) أكثر من مرة كل أسبوعين أثناء تدريب الحصان للمرة الأولى. مجرد ١٠دقائق عن التأثير العالي لأحمال٣-٤ أيام في الأسبوع هو كل ما يعتقد أنه ضروري. الهرولة بسرعة لفترات طويلة على الطريق أفضل لتحسين صورة العظم بالمقارنة مع فترة قصيرة من الهرولة على نفس المسطح.

استجابات الغضروف للتدريب

Responses of Cartilage to Training

يُكوِّن الغضروف الزجاجي Hyaline cartilage نهايات عظام (الأسطح المفصلية) الأطراف في الحصان البالغ . يقوم الغضروف الزجاجي بامتصاص الصدمات عند سطح المفصل . يوجد تحت الغضروف الزجاجي الطري طبقة غضروفية كلسيه تفصل العظم الصلب تحت الغضروف عن السطح المفصلي . يُعتقد أن وجود مواد ذات صلابة مختلفة جدا مجاورة لبعضها البعض يؤدي إلى زيادة خطر حدوث الضرر بسبب قوى القص Shear forces بين السطحين . توفر الطبقة الكلسية سطح بيني لصلابة وسطية بين الغضروف الزجاجي الطري والعظم الصلب تحت الغضروف والذي يُعتقد أنه يخفض قدر قوى القص التي تعمل بين الغضروف الزجاجي والعظم تحت الغضروف .

يشاهد الالتهاب العظمي المفصلي الرسغي Carpal osteoarthritis كثيراً في خيول السباق المنبسط ذات عمر ٢-٣ سنوات. تحدث الإصابات عادة في المواقع الظهرية ضمن المفصل الرسغي الأوسط. أوضح Young *et al.* (1991) وجود زيادة في

صلابة عظمة الرسغ الثالثة تحت الغضروف استجابة للتدريب، بينما أوضحت دراسة Murray *et al.* (1998) أن الغضروف الزجاجي قد يفقد الصلابة مع الجهد البدني المجهد عند مواقع الإصابة السريرية . لذا يعتقد أن الجهد البدني القوي قد يزيد من خطورة قوى القص المحدثة بين الغضروف الزجاجي والعظم تحت الغضروف . فحصت دراسة Murray *et al.*(1999) التغيرات في الغضروف المفصلي للعظام الرسغية في الخيول . استخدمت هذه الدراسة مجموعتين من الخيول خضعت إحدى المجموعتين لجهد بدني (تمرين) عالي الشدة على طاحونة الدوس لمدة ١٩ أسبوع، بينما خضعت المجموعة الأخرى للمشي فقط. أخذت عينات من ثمانية مواقع مختلفة من الرسغ Carpus. كان للمجموعة التي تدربت على تمارين عالية الشدة غضروف كلي أسمك وطبقة كلسية أسمك بشكل معتبر عن المجموعة التي خضعت للشدة المنخفضة، دون وجود فرق في سمك طبقة الغضروف الزجاجي. يُعتقد أن زيادة سمك الطبقة الكلسية هو آلية لحماية الغضروف الزجاجي من تأثيرات الأحمال العالية . كان لكلتا المجموعتين طبقات كلسيه ظهرية أسمك من تلك لباطن القدم لذا يعكس هذا حقيقة أن النواحي الظهرية للعظام الرسغية تكون عرضة لأعباء متقطعة عالية وليس من الأعباء الأكثر ثباتاً كما تظهر مناطق باطن القدم .

يبدو أن كمية التدريب المناسبة المقدمة بطريقة متزايدة تدريجياً تؤدي إلى زيادة في سمك الغضروف المفصلي ضمن المفاصل الرسغية لصغار خيول السباق المنبسط مع ضخامة نمو العظم تحت الغضروف الأساسي في نفس الوقت كمعدل إضافي لإعادة البناء داخل العظام الرسغية نفسها. يعتبر كل ذلك استجابات تكيفية إيجابية للعبء التدريبي التطبيقي مما يقلل من احتمالية حدوث كسر في الرسغ (وهذا شائع الحدوث في خيول السباق المنبسط عند عمر ٢-٣ سنوات) . ومع ذلك ، يمكن أن يؤدي التدريب القوي في النهاية إلى تدهور الغضروف المفصلي (Murray *et al.*، 1999) .

من المحتمل أن يكون للغضروف في صغار الخيول قدرة علي التكيف للأعباء الميكانيكية المفروضة بالمقارنة مع غضروف الخيول البالغة . التفسير الحالي هو مقدرة الغضروف على الاستجابة للأعباء المطبقة أكبر كثيراً عنه عن التعرض فعلياً في برنامج تقدمي للجهد البدني في وجود فارس ، وتهدف الأبحاث الحالية استحداث تكيف مبكر للأنسجة تجعلها قادرة على تحمل شدة العدو السريع التنافسي .

استجابات الأوتار للتدريب
Responses of Tendons to Training

تعتبر الأبحاث الخاصة باستجابة الأوتار والأربطة للتدريب هامة وذلك بسبب تعدد الإصابات العالية للخيول . قد تساعد المعرفة الزائدة لاستجابة الوتر للتمارين وتدريب المدربين في تدبير الأمور التي تقلل من خطر إصابة الوتر . تستغرق عملية إعادة التأهيل التي تتم بعد إصابة الوتر فترة طويلة وتتطلب إدارة حريصة للجهد البدني للحصان على مدى عدة شهور . لا تبدي الأوتار شفاءً بنسبة ١٠٠ ٪ ، مع احتمالية عالية لتكرر حدوث الإصابة دورياً ؛ لأن النسيج التالف قد استبدل بندبة من نسيج ضام بدلاً من النسيج الوتري Tendinous tissue .

في دورها كزنبرك (نابض) موفر لطاقة الحركة، تتوقع أن تمتلك الأوتار أقصى مرونة تخزينية ، وهذا يتطلب أن تمدد (تبسط) الأوتار إلى أقصى ما يمكن . وتعتبر الإصابة بالنسبة للوتر مخاطرة مهنية Occupational hazard . لقد سجلت الدراسات داخل الجسم إجهاد توتري ووظيفي للأوتار القابضة السطحية في الخيول باستعمال أجهزة قياس صغيرة مثبتة واقترحت مثل هذه الدراسات حدوث إجهاد توتري بحوالي ٣ ٪ عند المشي و٦–٨ ٪ عند الهرولة Trot ، وحتى ١٢– ١٦,٦ ٪ عند الرمح Gallop (Stephens *et al.*، 1989) . تعتبر القيم بالنسبة

للرمح تحذيرية فعلياً عند مقارنتها بدراسة أخرى والتي أوضحت حدوث تمزق كامل للأوتار خارج الجسم (أزيلت من الحصان بعد الموت) والتي حدثت كنتيجة لأقصى شد ما بين ١٢–١٩,٧ ٪ (Wilson 1991) . بمعرفة أقصى شد والذي تفرضه الأوتار عند الرمح (العدو بأقصى سرعة) فلا نستغرب من الشيوع الكبير لإصابات الوتر في خيول التنافس ، بل من المدهش حقاً ليس هناك أكثر من ذلك. بالرغم من حقيقة أن إصابة الوتر تساهم بدرجة عالية في استبعاد الخيول من العدو السريع التنافسي، فمازلنا لا نعرف الكثير عن أفضل طريقة لتدريب الأوتار بطريقة معينة لتقليل خطر الإصابة . ومع ذلك، حتى ومع الإعداد (التجهيز) الصحيح ، قد تحدث إصابة الوتر كنتيجة للإعياء أو السير الصعب .

تؤدي الأحمال أثناء الوقف Stance إلى تمدد وارتخاء الوتر القابض الإصبعي السطحي (SDFT) . الطاقة المستعملة أثناء التمدد لا يحتفظ بجميعها أثناء الارتخاء وتنطلق الطاقة المفقودة كحرارة . يمكن أثناء الجهد البدني أن تصل درجة الحرارة الداخلية (العميقة) للوتر إلى ٤٦°م . لبضع سنوات مضت ، اقترح أن هذا التسخين للب المركزي هو المسبب لحدوث تلف الوتر ولكن درجات حرارة مثل هذه تكون كافية لقتل أورمات الخلايا الليفية الأخرى ، لذا يبدو أن الخلايا الليفية للوتر ذات قدرة على تحمل الحرارة . ومع ذلك فما زلنا نجهل إذا ما كان لهذا التسخين تأثيرات ضارة على النواحي الأخرى من تركيب الوتر، المادة الخلالية للوتر بدلاً من – بيساطة – خلايا الوتر على سبيل المثال .

غالباً ما نسمع الناس يتحدثون عن " تصليب " "Hardening" الأوتار، ويوردون ذلك كاستجابة مرغوبة للعمل على الطريق Road-work كجزء من البرنامج التدريبي . ويبدو أن ذلك لا يستند على أي إثبات علمي . إذا توافق " تصليب الوتر

Hardness " مع المقدرة على تحمل الشد إلى أقصى مدى فربما ارتبط بمساحة المقطع العرضي . وحيث أن مساحة المقطع العرضي (XSA) ترتبط بقوة الشد ، فإن الزيادة في XSA للـ SDFT تؤدي إلى زيادة في الصلابة ، وبتلك الوسيلة تقلل الشد (ازدياد صلابته) ولكن تقلل أيضاً مرونته وبالتالي القدرة على تخزين الطاقة . بمعنى آخر ، إذا لم يصبح الوتر أكثر صلابة مع التدريب ، سوف يصبح افتراضياً أقل مرونة ولا يعمل وظيفياً بطريقة جيدة كزنبرك مرن وبذلك يرفع فعلياً من كلفة الحركة والتي لها تأثير تدريبي غير مرغوب .

للدراسات التي تبحث في تغيرات مساحة المقطع العرضي للوتر مع التدريب نتائج متضاربة. فقد أظهر Gillis *et al.* (1993) زيادة في مساحة المقطع العرضي للـ SDFT كنتيجة لتدريب سباق لمدة ٤ أشهر في الخيول المحسنة الأصيلة . بينما لم تجد دراسة Brich *et al.* (1999) زيادة في مساحة المقطع العرضي للـ SDFT في الخيول المحسنة الأصيلة والمدربة على طاحونة الدوس إما بسرعة منخفضة (المشي) أو سرعة عالية (حتى ١٥ م/ ث). اقترح Brich *et al.* (1999) أن الزيادة التي رآها Gillis *et al.* (1993) ربما ترجع إلى تغيرات مرضية مبكرة في الوتر ، حيث زيادة مساحة المقطع العرضي للوتر إحدى أول علامات الإصابة .

بينما لا يوجد للتدريب تأثير معين على مساحة المقطع العرضي للأوتار ، إلا أنها تزداد حتى اكتمال النمو والتي تظهر عند حوالي عمر سنتين للـ SDFT وعمر ثلاث سنوات للوتر القابض الإصبعي العميق (Brich *et al.* 1999) . حقيقة أن الـ DDFT (الوتر القابض الإصبعي العميق) غير ناضج تماماً أثناء تدريب السباق عند عمر سنتان ليست مشكلة كما يتوقع المرء ؛ لأن الوتر القابض الإصبعي العميق يكون عرضة لمستويات إجهاد من الشد والتوتر أقل من تلك التي يتعرض لها الـ SDFT .

يحدث تغير آخر في الأوتار كلما تقدمت الخيول في العمر وهو انخفاض في مستوى التموج (الكرمب) Crimp والذي يرى في اللب المركزي للـ SDFT مع الفقد الناتج للمرونة في هذه المنطقة .

إتضح حديثاً احتواء الأوتار على بروتين يدعى Cartilage oligometire matrix protein (COMP) وكان يعتقد سابقاً أنه يوجد فقط في الغضروف . يلعب هذا البروتين دوراً في سلامة تركيب الوتر والرباط ، ما يؤدي الحقيقة أن الطفرات في هذا البروتين ينتج عنها أوتار وأربطة رخوة في الإنسان . يبدو أن هذا البروتين COMP يتمركز في المنطقة السطحية (عظام المشط) للـ SDFT ، ويمكن أن ينشأ استجابة للحاجة عند مقاومة الأحمال. يتراكم هذا البروتين مع التقدم في العمر حتى عمر ٢ سنة ثم ينخفض بعد ذلك بسرعة. قد يؤدي الجهد البدني غير المناسب أو الزائد إلى تلف الوتر النامي ما ينتج عنه قلة في تكوين أو فقدان هذا البروتين (Smith *et al.* 1999). أجرى Cherdchutham *et al.* (1999) دراسة باستخدام جياد صغيرة Foals ألمانية والتي حددت لواحدة من مجاميع الجهد البدني الثلاثة مجرد أسبوع واحد بعد الولادة. حفظت المجموعة الأولى في مكان إيواء للراحة ، حفظت المجموعة الثانية مستقرة ولكنها عرضت لتدريب قصير من العدو السريع لمدة ٣ دقائق يومياً ، بينما حفظت المجموعة الثالثة بالمرعى ولوحظت وهي تقوم بتنفيذ تمارين عدو سريع لمدة ٣,٥ دقيقة يومياً إضافية إلى قدر كبير من المشي والخبب (الهرولة) . بعد مرور ٥ أشهر، وجد أن المجموعة التي بقيت بالمرعى أظهرت أعلى مستويات من اللـ COMP. أظهر التدريب الإضافي حتى ١١ شهر مع إيواء جميع الجياد في حظيرة مزودة بإسطبل لترويض الخيول Paddock أن المعالم الحيوية للجياد التي بقيت سابقاً في أماكن الإيواء أو في المراعي متشابهة ، ما يقترح أن التمارين الرعوية من عمر ٥–١١ شهر مكنت الجياد

المحفوظة في أماكن الإيواء من التعجيل بسرعة في نمو وتطور أوتارها. من ناحية ثانية استمرت مجموعة التدريب في امتلاك إنتاج منخفض من مركب أمين الجلوكوز المكبرت الجلايكولي المتعدد Poly sulphated glycos amino glycans (PSGAGs) وبذلك يزداد خطر التهاب الوتر في الجياد .

ليس لدى العلماء في الوقت الحاضر جميع الإجابات بخصوص أفضل الطرق في استحداث استجابات النسيج الضام للتدريب ، ويبدو أن استجابات التدريب تعتمد على السلالة ، نوع العمل المباشر ومن الممكن العمر الذي يبدأ عنده التدريب . وقد يوجد أيضاً استمرارية بين استجابة فسيولوجية مرغوبة والتي تزيد من مقدرة النسيج على تحمل الأحمال وبين تغير مرضي غير مرغوب . الأبحاث المستمرة في هذا المجال هامة ؛ لأن إصابة الجهاز الهيكلي العضلي تعتبر سبب رئيس للفقدان والأداء الهزيل في خيول التنافس . وقد نجد أن نوع برنامج التدريب الذي يسبب تكيف أمثل في العظم ليس هو الأمثل بالنسبة للوتر أو الغضروف. لهذه الأسباب، ربما يمر بعض الوقت قبل أن نفهم كيف نجلب جميع أنواع النسيج الضام إلى نقطة من التكيف المرضي عند جميع أنواع خيول الرياضة البدنية .

نقاط مفتاحية **KEY POINTS**

- ترتبط قوة العظم بكتلة وكثافة وشكل العظم والتركيب الداخلي له.
- يؤدي تطبيق الإجهاد (الأحمال) إلى الشد لأقصى مدى ، حيث الشد = التغير في الطول / الطول الأصلي، لذا كلما كان التغير في الطول أكبر كلما كان الشد أكبر.

تابع النقاط المفتاحية

- يظهر العظم سلوكاً مرناً على مدى واسع من الإجهادات المطبقة. تعرف المادة ذات المنطقة المرنة الكبيرة بأنها قنوية كاذبة Pseudo ductile. مع هذا السلوك المرن ، يعود العظم إلى شكله الأصلي عندما يزال الإجهاد .
- عند مستويات معينة من الإجهاد المطبق، يظهر العظم سلوكاً غير مرن، وعند إزالة الإجهاد ، لا يعود العظم إلى شكله الأصلي ، بمعنى آخر ، أن العظم قد تشوه .
- مقدار الإجهاد المطبق ومعدل التطبيق هامان في تحديد كيفية استجابة العظم .
- ربما يكون الطريق الأمثل لتدريب العظم هو تعرضه لفترات قصيرة (١٠ دقائق) من التأثير العالي للأحمال ثلاث إلى أربع مرات أسبوعياً . في المراحل الأولى من برنامج التدريب يمكن عمل ذلك عن طريق إجراء فترات قصيرة من الهرولة على الطريق وفي المراحل المتأخرة يكون من الأنسب أن يتم الرمح (العدو بأقصى سرعة) على النجيل عند جميع الظروف الجوية .
- تزداد كتلة العظام الرسغية استجابة للتدريب وقد يؤدي هذا إلى بعض الفقد في المقدرة على امتصاص الصدمات للغضروف المفصلي إذا ما تعرض الحصان مباشرة وبدون تدرج لأعباء عالية أثناء برنامج التدريب .
- يستجيب الغضروف المفصلي لصغار خيول السباق المنبسط في التدريب عن طريق زيادة سمك طبقة الغضروف الكلسية .
- تزداد مساحة المقطع العرضي للأوتار (عند عمر سنتان للـ SDFT) ويبدو أنها لا تزيد أكثر من ذلك مع التدريب .
- توجد تغيرات معنوية في التركيب الكيموحيوي للمادة الخلاليه للوتر بسبب التدريب، ويمكن أن تتأثر هذه التغيرات إيجاباً وسلباً بنوع التمرين البدني المعرض له الوتر عند بداية العمر وحتى أقل من ١٢ شهراً .