الفصل الثالث عشر

مقدمة في الآلية الإحيائية

Introduction to Biomechanics

تعتبر الآلية الإحيائية واحدة من أصغر فروع فسيولوجيا الجهد البدني ، عند الخيول : يمكن تصنيفها إلى مظهرين ، علم الحركة المجردة Kinematics ، وعلم القوى المحركة Kinetics . علم الحركة المجردة هو دراسة الحركة مع وصف الإحلال ثلاثي الأبعاد الخطي وذي الزوايا للأطراف ، بينما علم القوى المحركة هو دراسة القوى المولدة أو الممتصة لتُحدث أو تقاوم الحركة . رائد الآلية الإحيائية في الخيول والرجل المسئول عن إنتاج أول صور متحركة هو(1899) Muybridge . إن صوره ، التي أخذت باستعمال سلسلة من آلات التصوير لتلتقط تتالي حركات الأطراف في الخيول ، هي الأولى من نوعها التي أوضحت أنه يوجد حقاً لحظة (التعطيل المؤقت) Suspension عند ذروة الحركة أو النشاط للخبب (أو الهرولة) حيث يكون الحصان بعيداً تماماً عن الأرض . يمكننا أن ندرس علم الحركة المجردة باستعمال آلات التصوير ، الفيديو ، أو أجهزة خاصة لتتبع الأثر ، ويمكننا أن ندرس علم القوى المحركة باستعمال أجهزة تعرف بصفائح القوة Force plates وأجهزة قياس التعجيل Accelerometers . قبل التقدم في تقنية الحاسوب كانت العقبة الأساسية التي واجهت العلماء المهتمين بتحليل مشية الحصان هي احتياج العديد من تقنيات القياس إلى طرق مجهده ومستهلكة للوقت لكي

يتم الحصول على البيانات . تم إجراء العديد من التقدم في إحراز ومعالجة البيانات منذ الثمانينيات والتي مكنت العلماء من إجراء دراسات أكبر وأكثر تفصيليا ضمن أي حيز معين من الوقت . هناك أيضا عائق مُتضمّن في مجال الأبحاث المتسع السريع والجديد وهو الاختلافات في المصطلحات العلمية المستعملة بواسطة المؤلفين العلميين المختلفين والتي أدت غالباً إلى صعوبة تفسير نتائجهم. ولتسهيل المقارنات بين نتائج البحوث تم اقتراح مصطلحات علمية قياسية لوصف الحركة المجردة على الأرض بواسطة Leach *et al.* (1984) والتي حُدِّثت أخيراً بواسطة Leach عام ١٩٩٣م . نشر Clayton عام ١٩٨٩م في ورقة علمية أعطى فيها مصطلحات علمية قياسية والتي يمكن أن تستعمل لوصف هيئات تتابع القفز (Clayton 1989) .

أدى الكثير من العمل المبكر في الآلية الإحيائية إلى دراسات وصفية هدفت إلى وصف النواحي المختلفة للتحرك الطبيعي في الخيول . ومع الوفرة في المعلومات المتاحة حاليا والمرتبطة بعلمي القوى المحركة والحركة المجردة للخيول الطبيعية ، أصبح العلماء الآن قادرين لتطبيق تلك النتائج برؤية تطوير طرق توقع الأداء (الكفاءة) بناءً على الخصائص الميكانيكية الحيوية ، وأيضاً لتطوير أنظمة حساسة وكمية لاكتشاف العرج Lameness . إن دراسة مشية الخيول أيضاً ضرورية ليس فحسب لتطوير أنظمة اكتشاف العرج ولكن لاختبار فعالية استراتيجيات العلاج ، على سبيل المثال ، الشفاء من عملية التحذية (تركيب حذوة الجواد) Remedial shoeing . هكذا تستطيع بحوث الميكانيكية الحيوية عمل مساهمة معنوية لرفاهية الخيول .

هناك بعض التحديات الخطيرة التي تواجه الباحثين في مجال الميكانيكيات الحيوية لتحقيق هذه الأهداف . في توقع الأداء ، الفكرة هي المقدرة (الموهبة) المقصورة على النخبة من الصغار . نود جميعنا أن نكون قادرين على تحديد واكتشاف

خيول حدث الأوليمبياد وفائزي دربي ومن الأفضل كثيرا تحديدهم عند عمر مبكر، من المفضل قبل بداية البرنامج التدريبي ، وحتى لا تضيع الوقت والجهد في تدريب مرشحين غير مرغوب فيهم . إذا أردنا أن نفعل هذا فإننا نحتاج لنعرف أولا وقبل كل شيء ماذا عن الحصان الهائل الذي يجعله هائلاً . مع تأسيس هذا ، نحتاج بعد ذلك أن نعرف — على أية حال — أن تكون تلك الخصائص مبهرة في الخيول الصغيرة . بمعنى آخر هل وُلِد الحصان بحركة جيدة أو هل تستطيع الخيول أن تطور حركة جيدة مع الوقت ؟ من دواعي سعادتنا ، يبدو أن العديد من نواحي مشية الفرد قد ترسخت في الخيول الصغيرة عمر ١٢–١٨ شهراً (Back *et al.*, 1994) . بالطبع فإن تحديد حصانٌ ما بجميع الاعتمادات الميكانيكية الحيوية الصحيحة مازال فقط منتصف المعركة في إيجاد الحصان الجيد للرياضة (كما نوقش في الفصل التاسع عشر) . من المحتمل أن ينتج أداء النخبة من اشتراك العديد من العوامل متضمنة الخصائص العضلية والوعائية القلبية ، واللياقة، الرعاية والحالة الصحية بالإضافة إلى الخصائص الميكانيكية–الحيوية .

لكي نصبح قادرين على تحديد العرج Lameness ، يحتاج العلماء إلى تطوير أنظمة تحليل المشية والتي تكون موضوعية وأكثر حساسية من خلال التقييم بالنظر بواسطة الطب السريري . هدف الكثير من العمل المبكر إلى قياس (تحديد) العرج ليخدم بالكاد توضيح أن النظام المرئي Visual system للطبيب البيطري المدرب هو بالفعل أداة تشخيصية دقيقة جداً! بينما نتقدم بسرعة في اتجاه النقطة حيث تنافس تقنيات تحليل المشية القائم بالفحص السريري بخصوص إيجاد تشخيصات موثوق بها . ليس من المحتمل أن تصبح مثل هذه التقنيات شائعة في كل مكان في الممارسات البيطرية للخيول ما لم تكن قادرة على إيجاد نتائج سريعة دون الحاجة إلى فني مدرب متخصص يجمع ويفسر البيانات .

دراسة مشية الحصان
Studying The Gaits

لدراسة مشية الخيول فإننا نحتاج إلى التأكد من أن القياسات المتحصل عليها يمكن الاعتماد عليها وإعادة إنتاجها . لبعض التطبيقات المعينة يجب أيضا أن تكون تلك القياسات حساسة بدرجة كافية لتتمكن من اكتشاف توقيت الأحداث التي يتعذر تمييزها بالعين المجردة ، مثل الوقت المار بين انتقال عقب القدم Heel ومقدم القدم Toe عند نهاية وقفة الحصان . على سبيل المثال ربما تكون هرولة (خبب) حصان ما من الصفوة ذات شكل جمالي مرضٍ ، ولكن لاكتشاف ماذا عن تلك الهرولة بالضبط والتي جعلته من الصفوة فإن ذلك يحتاج إلى معدات وأجهزة حساسة ودقيقة . لكي نعطي بيانات صحيحة وفعالة يجب ألا تتدخل تلك المعدات نفسها فعليا مع المشية أو تقيدها بأية حال أثناء فترة التسجيل . تُمكن المعدات الأكثر نفعا لتحليل مشية الحصان من خلال أخذ القياسات الحقلية وتلك على طاحونة الدوس .

علم القوى المحركة وصفائح القوة
Kinetics and Force Plates

بتطبيق القانون الثالث لنيوتن Newton " لكل فعل رد فعل مساوٍ له في المقدار ومعاكس له في الاتجاه " ، نستطيع دراسة القوى التي يحدثها الطرف Limb بالنسبة للأرض باستعمال صفائح القوة ، ومن ثم القوى التي تحدثها الأرض بالنسبة للطرف. لقد استخدمت صفائح القوة بشكل أو بآخر على نطاق واسع في أبحاث الميكانيكيات الحيوية في الخيول في العشرين سنة الأخيرة . أحد أشكال صفائح القوة (Kistler force plate) عبارة عن ساندوتش كبير من صفائح الألمنيوم عادة ذي مقاس حوالي ٩٠٠ مم X ٦٠٠ مم ، ويوجد في كل ركن منه محول طاقة لقوة كهربية ضغطية

(إجهادية) Piezo electric . ينتج كل محول طاقة شحنة كهربية عندما يتغير شكلها . بمجرد معايرة صفيحة القوة بقوة معروفة يمكن إجراء التلازم (الارتباط) بين الإشارة الكهربية الناتجة ومستوى القوة المطبق على اللوح Plate .

تعطي صفائح القوة معلومات قيمة عن الطور الوضعي (التوقفي) لكل طرف ، كم من الوزن تم حمله عن طريق كل طرف وإلى أي مدى يكون كل طرف مسئولا عن الدفع (التسيير) العام للحصان في مشية خاصة . الصعوبة في قياسات صفيحة القوة هي الحاجة إلى العديد من المحاولات لجعل الطرف المقصود يرتطم بصفيحة القوة بوضع مركزي تقريبا للحصول على تسجيل جيد . يجب أن يضرب قدم واحد فقط في وقت واحد صفيحة القوة ، ويجب أن يضرب الصفيحة مركزيا بدلا من القرب من الحواف . يجب أن تُغطى صفيحة القوة بنفس السطح مثل باقي حلبة السباق لكي لا يستطيع الحصان أن يميز صفيحة القوة وبالتالي لا يعدل من مشيته بأي حال حينما يقترب منها أو يحاول تجنب صفيحة القوة تماما . كلما كانت المشية أسرع كلما كانت الخطوة أطول وضرورة كثرة المحاولات للحصول على ضرب جيد على الصفيحة . عند العدو البطيء أو المتوسط السرعة (الركض) Canter قد يستغرق الأمر ٢٠ مرة من العدو فوق الصفيحة للحصول على ضربة ناجحة . من الممكن أن يكون هناك سلسلة من صفائح القوة في صورة خط لزيادة عدد الضربات الناجحة عند كل جري ، مع ذلك من المحتمل أن يكلف نظام صفيحة القوة الفردية في حدود ٥٠ ألف جنيه إسترليني . بالإمكان إقامة صفائح قوة أكبر ولكن إذا ارتطم أكثر من قدم واحد بالصفيحة في نفس الوقت فليس من الممكن أن نفصل الإشارات . إن صفائح القوة ذات مستقبل فعال في اكتشاف العرج ولكن من الواضح ليس مثاليا أن يجري حصان أعرج مرة ومرة أخرى للحصول على البيانات الضرورية . بعض الخيول ، على سبيل

المثال تلكم ذات التراكيب غير المتناسقة تميل إلى تحمل الوزن بطريقة غير متماثلة عند الوقوف ، وهذا يمكن اكتشافه بقياس القوى الرأسية لرد فعل الأرض تحت كل طرف فرديا . قد تتصرف الخيول العرجى بنفس الطريقة بتحويل أوزانها للتخفيف عن العرج أو الطرف المصاب حال وقوفها ، وهذا أيضا يمكن اكتشافه باستعمال صفائح القوة .

ربما تكون صفيحة القوة أداة نافعة في تحديد تماثل (تناسق) أزواج الأطراف اليمنى واليسرى في تحمل الوزن وأفعال الدفع (التسيير) ، ولكن تستطيع فقط أن تزود بالبيانات المتعلقة بالطور التوقفي (الوضعي) . ربما تكون بيانات صفائح القوة أكثر نفعا حينما تستخدم مقترنة مع تقنية الحركة المجردة مثل فن التصوير السينمائي ذات السرعة العالية. إحدى نقاط القوة الهائلة لصفائح القوة هي تقدير اتزان القدم عن طريق تتبع قوى رد الفعل الأرضية Ground Reaction Forces (GRFs) خلال الطور التوقفي (الوضعي) . يمكن أن تؤخذ الأشكال (الرسومات) قبل وبعد التشذيب (التقليم) والتحذية (تركيب حذوة الجواد) الصحيحة للاستدلال على التأثيرات العلاجية البيطرية على الطور التوقفي .

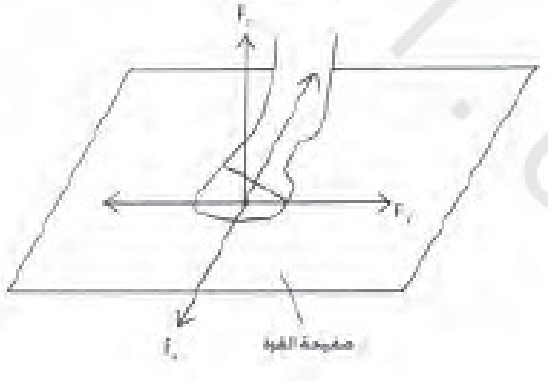
تقيس صفيحة القوة المُحدَثة على الصفيحة في ثلاث اتجاهات معطية ثلاثة أنواع مختلفة من قوى رد الفعل الأرضية كما يلي (انظر الشكل رقم ١٣,١) :

- القوة الوسطية الجانبية Mediolateral force (Fx) والتي تعمل من جانب إلى جانب الطرف أو عبر مسار الحصان .
- القوة العلوية الذيلية Cranio caudal force (Fy) والتي تعمل من أمام إلى خلف الطرف في اتجاه المسير .
- القوة الرأسية Vertical force (Fz) والتي تعمل عمودياً بالنسبة للأرض .

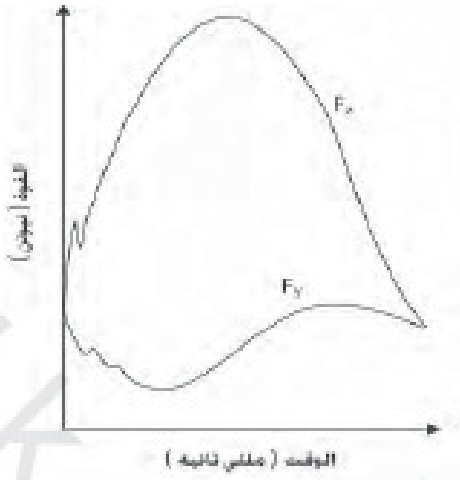
من هذه الثلاث القوى ، يعطى معظم الانتباه إلى رسومات Fy, Fz وهذا يرجع جزئياً ؛ لأن قيم Fx متغيرة بدرجة كبيرة حتى بين مرات الجري لنفس الحصان ، ولذا لم تدرس بنفس الحد كما في رسومات Fy, Fz . يُمثل رسم Fz درجة تحمل

الطرف للوزن ، بينما يمثل رسم Fy إلى أي حد يمكن للطرف دفع وتسيير أو إنقاص سرعة الحصان خلال كل طور من أطوار التوقف .

يوضح الشكل رقم (١٣,٢) رسومات Fy, F z العامة المعينة على الرسم البياني مقابل الوقت . أعطيت القوى في صورة وحدات نيوتن ، ولكن لإمكانية إجراء المقارنات بين كل من الخيول وبين المشيات تطبع أو تسوى القوى إلى N/Kg كتلة الجسم N/Kg body mass معبراً عن مقياس رسم الوقت كنسبة من الزمن الكلي للوقف لهذا الطرف ، يسمح هذا الأخير بالاختلافات في تكرار الخطوات بين الخيول. عندما يكون القدم على الأرض أثناء النصف الأول من الوقفة فإن له تأثير إنقاص أو كابح لسرعة الحصان ، بينما أثناء النصف الثاني من الوقفة فإن له تأثير تسارعي أو اندفاعي . وبالتالي فإن رسم Fy يوضح طورين ، يوافق الطور الأول طور المكابحة للطرف ، ويوافق الطور الثاني الطور الاندفاعي للطرف . يحدث وقت العبور بين الطورين تقريبا عندما تكون عظمة (القصبة) في وضع رأسي Vertical ويطلق على هذه اللحظة من الوقت منتصف الوقفة Mid-stance . تُعرّف العلاقة بين كل طور الدور الرئيس للطرف ، عما إذا كانت كابحة أو اندفاعية بصفة سائدة . تزداد أقصى سعة لرسم Fz مع زيادة سرعة الجري .



الشكل رقم (١٣,١). الثلاث قوى لرد فعل الأرض والمقاسة أثناء الوقف (عندما تكون القدم على الأرض) باستعمال صفائح الحقيقة .



الشكل رقم (١٣,٢). قوة رد الفعل العمودية للأرض .

يمكن أيضا دراسة علم الحركة باستعمال أجهزة قياس التعجيل Accelerometers والتي كما يقترح من اسمها تقيس التسرعات والإبطاءات الناتجة أثناء تحرك الطرف . يمكن تثبيت أجهزة قياس التعجيل إلى أجزاء مختلفة من طرف الحصان أو إلى جدار الحافر وبالتالي فإن لها ميزة عن صفيحة القوة حيث يمكن قياس عدد غير محدد من الخطوات بطريقة متتالية . تختلف أجهزة قياس التعجيل اختلافا كبيرا في أحجامها ومن ثم في درجة تأثيرها في مشية الحصان . حيث تقوم بالتسجيل بصفة مستمرة خلال الوقف والتأرجح ، يمكن أن يعطى التفسير للفترات بين قمم التعجيل كمية معينة عن بيانات الحركة المجردة (تكرر وأمد الخطوات الواسعة) بالإضافة إلى بيانات القوى المحركة . يعتبر تكيف تلك الأجهزة مع الحافر أو الطرف أمراً هاما إذا ما تم الاحتياج إلى معلومات بخصوص القوى في اتجاه معين ، مثلا رأسيا ، وإذا كانت هذه هي الحالة فسوف تكون دقيقة حينما يكون محور جهاز قياس التعجيل موجها في هذا الاتجاه .

حديثاً ، تم تضمين الميكانيكيات الحيوية في الخيول مجال مثير في تطور استعمال التحليل الديناميكي العكسي Inverse Dynamic analysis (ترجع الديناميكيات العكسية إلى تقدير القوى التي تسبب حركة ملحوظة) يجمع التحليل الديناميكي العكسي ما بين بيانات الحركة المجردة وصفائح القوة والقياسات الشكلية لتحديد قوة المفصل الصافية Net joint power . مكنت حسابات قوى المفصل الصافية العلماء من تعريف أدوار المفاصل وإدراك التغيرات التي تحدث في أدوار المفاصل نتيجة للعرج . وقد تستعمل أيضا للتنبوء بتأثير الجراحة أو العلاج البيطري على وظيفة المفصل . حتى وقت الكتابة ، تتوفر قوى المفصل الصافية فقط للخيول الطبيعية في المشي والهرولة (Colborne *et al.*, 1998; Clayton *et al.*, 1998) .

دراسة علم الحركة المجردة
Studying Kinematics

واحدة من أسهل وأغلب الطرق التي يمكن الحصول عليها لدراسة علم الحركة المجردة هي استعمال كاميرا فيديو. إحدى الفوائد الرئيسة لهذا الاتجاه هي الكلفة المخفضة نسبياً وإعادة التشغيل السريع ما جعل التصوير البسيط بالفيديو إحدى الطرق الأكثر احتمالية للاستخدام مثل الممارسين البيطريين لتحليل مشية الحصان وللمساعدة في تشخيص العرج . تستطيع كاميرات المنزل القياسية HVS أن تلتقط عند 25 Hz (أو 25 لقطة لكل ثانية) ولكن تم صنع أجهزة أعلى وأكثر احترافاً خصيصا لتحليل حركة تستطيع أن تلتقط حتى 200 Hz . يمكن أن توضع واسمات الجلد Skin markers على الحصان لتجعل من السهل قياس زوايا مفصل معين والمسافات الخطية مباشرة من الفيديو أو اختياريا من برامج لمواد معدة للاستخدام مع الأجهزة السمعية البصرية

والتي أصبحت متوفرة لتمكن من إيجاد الرسوم البيانية أو التخطيطية غير المتحركة والمتعاقبة بصورة منطقية لتحركات الطرف .

يستخدم فن التصوير السينمائي Cinematography الأفلام بدلا من أشرطة الفيديو وأصبح أكثر شيوعا مقارنة مع التصوير بالفيديو سابقاً ، ومع ذلك أدت الكلفة العالية للأفلام لجعل التصوير بالفيديو أكثر قبولا . أصبح فن التصوير السينمائي عالي السرعة متاحا مع سرعات لقطات حتى 1000لقطة في الثانية . المشكلة الرئيسة مع كل من التصوير بالفيديو والتصوير السينمائي هي أن خطوة Stride واحدة أو اثنتين قد تقع خلال المجال المماير لرؤية الكاميرا في أي وقت محدد . هناك عدة طرق لزيادة عدد الخطوات التي يمكن قياسها على الترتيب : نستطيع أن نقتنص البيانات من سيارة متحركة تسير جنبا إلى جنب مع الحصان ، نستطيع إجراء التدوير الفوتوغرافي (تدوير أو تحريك المصورة السينمائية أو التلفزيونية عموديا وأفقياً) لزيادة مجال الرؤية ، أو نستطيع التقاط فيلم للحصان وهو على طاحونة الدوس .

يقدم تحريك الكاميرا جنبا إلى جنب مع الحصان عموديا حركة كثيرة جدا للكاميرا ونادراً ما تستعمل في الأبحاث . يزيد التدوير الفوتوغرافي للكاميرا Camera panning عدد الخطوات الواسعة والتي يمكن الاحتفاظ بها في مجال النظر ، كما أنها تزود بمعلومات أكثر بالمقارنة مع الكاميرات الثابتة . يسمح جري الحصان على طاحونة الدوس بتسجيل جميع الخطوات خلال فترة التدريب الجسماني للحصان ، ولكن قد يكون هناك اختلافات في كيفية تحرك الحصان وعملية الفارس في حلبة السباق ، وبالطبع لا يمكن استعمالها عند دراسة القفز! فن التصوير السينمائي باهظ الثمن ولكنه أيضا دقيق جدا وينتج كميات كبيرة من البيانات . أدى التقدم الحديث في معالجة البيانات وتحليلها باستعمال الحاسوب إلى خفض الوقت المستهلك بدرجة كبيرة في

تفسير بيانات التصوير السينمائي ، وبالتالي ازدياد قبولها من قبل الباحثين . استعملت تقنيات أخرى لدراسات تحليل العديد من مشيات الحصان وفيها يستخدم واسمات تشريحية Anatomical markers توضع على الحصان ويتم تتبعها . يوجد عموما نوعان من الأنظمة المستعملة ، تلكم التي تستعمل واسمات سلبية (غير نشطة) عاكسة للضوء والأخرى التي تستعمل واسمات نشطة والتي يمكن كشفها في الحال . تحتاج جميع الطرق التي تستعمل واسمات الجلد إلى عامل تصحيح Correction factor لتطبيقها عند إحلال الواسمات وذلك بسبب حركة الجلد . توضع واسمات الجلد فوق مراكز دوران المفاصل المراد دراستها ، ولكن لا يمكن تجنب حركة الجلد كلما تحرك الطرف . أجريت دراسات لتحديد مدى إحلال الجلد ووجد أنها أعظم للمفاصل القريبة عنها في المفاصل البعيدة . طالما أن درجة الإحلال معروفة فيمكن أن تبرر أي قياسات تم إجراؤها .

طول الخطوة وتكرارها
Stride Length and Stride Frequency

طول الخطوة Stride length (SL) هو المسافة المقطوعة عن طريق مركز كتلة الحصان أثناء خطوة واحدة ، أو هو المسافة بين الآثار المتتالية لنفس القدم . يمكن قياس طول الخطوة فعلا بسهولة عن طريق جري الحصان على سطح رملي منحدر لكي يمكن رؤية بصمات القدم Foot prints وقياس المسافة بين بصمات القدم المتتالية لنفس القدم أو عن طريق الفحص بواسطة الفيديو لمعرفة الطول مقدرا بالأقدام Video footage . يُعرّف عدد الخطوات لكل وحدة زمن بتردد الخطوة Stride frequency (SF)

السرعة (متر/ث) = طول الخطوة (متر) × تردد الخطوة (عدد الخطوات/ ثانية)

أمد الخطوة (ثانية) = ١/ تردد الخطوة (عدد الخطوات/ث)

عندما تزيد الخيول من سرعتها خلال أية مشية ، تميل أن تنجز ذلك أولاً عن طريق زيادة طول خطواتها وبعد ذلك تكرار خطواتها . حينما تزيد الخيول من سرعتها من المشي حتى الرمح (العدو بأقصى سرعة)، يزداد طول خطوتها من ٢متر تقريبا عند المشي إلى ٦–٧ متر تقريبا عند الرمح بالنسبة للخيول المحسنة الأصيلة . لسنوات عديدة تعلم مربو الخيول أنه يمكن الحكم على الحصان من خلال مشيه فقط ، وهذا مشي جيد ، بمعنى آخر الحصان ذي طول خطوات واسعة ، يعني طول الخطوة عند الرمح . وهذا حقيقي بدرجة كبيرة . ينبغي أن يكون هناك ارتباطاً قوياً بين طول الخطوة عند المشي وعند الرمح أطول ؛ لأن أطوال الطرف والجذع يحددان بدرجة كبيرة طول الخطوة . لقد ازدادت الخيول في الحجم أثناء التطور وفي اكتساب السرعة أيضا . بينما الحيوانات الأكبر لديها خطوات أطول فإنها غير قادرة على إنتاج تكرارات خطوة عالية كما في الحيوانات الأصغر ، بمعنى آخر يتم تحقيق قمة السرعة كنتيجة للتسوية بين طول الخطوة وتكرارها . أقصى طول لخطوة الحصان هي تقريبا ٢–٢,٥ خطوة / ث (٢–٢,٥هرتز) بالمقارنة مع أقصى تكرار لخطوة فأر صغير ٨ خطوات / ث (٨ هرتز).

تميل الخيول المحسنة الأصيلة والتي انتُخبت للتربية لأجل السرعة ، أن ترفع لأقصى درجة طول خطوتها عن طريق اختيار فعل منخفض مستقيم والذي يُعرف بـ " تنقيح الطراز الأول " "Daisy–cutting" وهذا على النقيض من الفعل التجوالي الأكثر ارتفاعا للأنواع ذات الدم الحار . وهكذا فإن ذوات الدم الحار تأقلمت جيدا كمهارة الخيال والقفز أثناء العرض ، وتأقلمت الخيول المحسنة الأصيلة بأعلى درجة وأكثر امتياز للسرعة حيث تكون قادرة على الرمح لميل واحد (١٦٠٠ متر) عند ١٨متر/ ث وهذا يكافئ تغطية ميل واحد في دقيقة ونصف.

مشيات الحصان

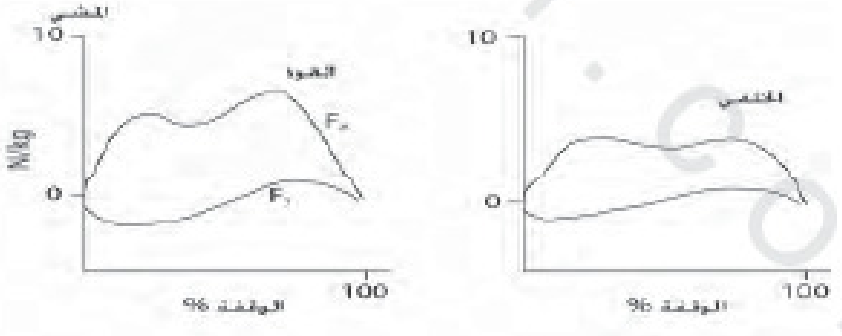
The Gaits

المشية على نمط خاص لوقع الأقدام Footfalls ؛ والمشيات الرئيسية للحصان هي المشي Walk و الهرولة Trot (جري بين المشي والعدو) و الركض Canter (العدو البطيء أو متوسط السرعة) والرمح Gallop (العدو بأقصى سرعة) . تقع مشيات الحصان في نوعين رئيسين ، متناسقة ، وغير متناسقة. يمكن تعريف المشية المتناسقة بأنها هي المشية التي يكون فيها وضع أزواج الأطراف اليمنى واليسرى ، الأمامية والخلفية منفصلا بتساوٍ أو اتزان مع الوقت . بهذا التعريف فالمشي والهرولة تكون متناسقة أما الركض والرمح تكون غير متناسقة .

المشي Walk

المشي هو مشية ذات أربع ضربات وقع أقدام تحدث بالترتيب التالي : الخلفي الأيسر ، الأمامي الأيسر ، الخلفي الأيمن والأمامي الأيمن . في هذه المشية يكون طرفان على الأقل في مرحلة الوقف Stance phase في وقت معين وليس هناك فترة تعلق في المشية ، مع إتيان السرعة بوضع ثابت . فكّر في ركوب الدراجة حيث كلما أبطأت أنت في السير ، كلما كان من الصعب البقاء في وضع عمودي . يطبق نفس الشيء على الحصان : كلما كانت المشية أبطأ ، يلزم أن تكون أطراف أكثر على اتصال بالأرض في وقت معين ليحافظ على الثبات . عند مشيات أسرع تكون بضع أطراف الحصان على اتصال بالأرض ، ومع ذلك يروض ليحافظ على الثبات ، ببساطة يرجع ذلك إلى القوة الدافعة الأمامية Forward momentum . قد يوضح هذا أيضا لماذا تميل الخيول الماهرة Dressage horse والتي لم تندفع للأمام إيجابيا في اتصال ظهري جيد أن تواجه صعوبة أكثر عن الآخرين في بقائها مستقيمة بدرجة حقيقية ، وعلى وجه الخصوص في المشي . تعلمنا دائما كراكبي الخيول أن " الأطراف الخلفية هي محرك الحصان "Horse's engine ، لكن أوضحت دراسات صفائح القوة للمشي الطبيعي ، ما يناقض

الاعتقاد الشائع أن الأطراف الأمامية هي كل قطعة مسئولة عن توليد القوى الاندفاعية كما في الأطراف الخلفية . يوضح الشكل رقم(١٣,٣) قوى رد الفعل الأرضية النموذجية في الطرف الأمامي والخلفي أثناء المشي . لا حظ وجود انخفاض Dip في رسم Fz ما يعكس فترة التدعيم من الجانبين للطرف الأمامي والخلفي على التوالي والتي تساهم في خفض الوزن الذي يتحمله الطرف الأمامي لحظيا . وكما أن، حمل الطرف المتأرجح بعض القوة الدافعة التصاعدية خلال التأرجح المتأخر يخفض الوزن على الطرف العكسي عند الوقف . تكون سعة Fz للأطراف الأمامية أكبر من تلك للأطراف الخلفية موضحة أن الأطراف الأمامية تلعب دورا أكبر في تحمل الوزن بالمقارنة مع الأطراف الخلفية . يبين رسم Fy بوضوح أنه المشي يُزود جزء ضخم من قوة الانقياد للحركة الأمامية عن طريق الأطراف الأمامية . يبدو هذا منطقيا عندما نعتبر في المشي على الأقل أن العمود الفقري يكون مرنا نسبيا ولا يكوّن رابط صلب بين "المحرك" "engine" والأطراف الأمامية . يكون في المشيات الأسرع العمود الفقري أكثر صلابة عن طريق التركيب العضلي ولذا فإن الاندفاع الأمامي المعطى عن طريق الأطراف الخلفية يُنقل بفاعلية أكثر إلى الأطراف الأمامية .



الشكل رقم (١٣,٣). آثار الأقدام GFR عند المشي .

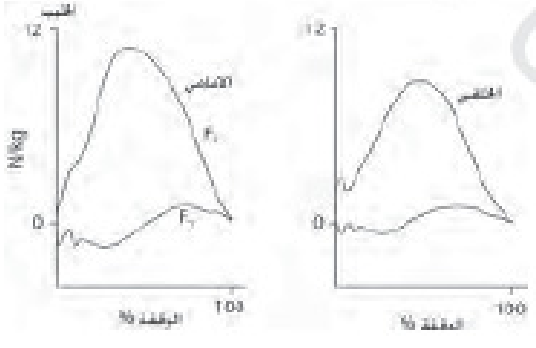
أوضحت دراسات المشي للخيول الماهرة أن بعضها منها يحقق فعليا إيقاع الأربع ضربات المنتظم في المشي ، مع خيول إما أن تظهر ثنائيات جانبية Lateral couplets ، بمعنى آخر وقت أقصر بين وقع الأقدام الجانبية (Clayton, 1995) أو ثنائيات قطرية (مائلة) Diagonal couplets ، بمعنى آخر وقت أقصر بين وقع الأقدام القطرية (Deuel & Park , 1990) . يبدو أن فقد الانتظام يناقض تعريف FEI للمشي والذي ينص على أنه " يجب أن يبقى الترنح (الهويني) Pace مستمراً Marching وعنيفا ، وتوضع الأقدام في تتالٍ منتظم " . وبالمثل تنص تعريفات FEI يجب ألا يكون هناك تغيراً في السرعة أو الدرجة Tempo (مكافئا لتكرار الخطوة) عند التحرك من المشيات المتجمعة إلى المشيات الممتدة (الواسعة) . ومع ذلك أوضحت دراسة لإحدى عشر من الخيول المنتجة الماهرة في اوليمبياد أطلنطا (Hodson *et al.*, 1999) أن زمن الخطوة الواسعة للسير الممتد Extended walk كان بالفعل أقصر من مثيله في السير المجتمع Collected walk (١,٠٥ ثانية مقابل ١,١٦ ثانية) ، ولكن بالطبع كانت درجة الفرق صغيرة للغاية لإدراكها بواسطة حكام السباق . إذا اعتبرنا هذه النتائج كاستنتاج منطقي فقد نقرر أنه ينبغي وجود أنظمة لحلبة السباق وكذلك حواسيب لإجراء تحكيم الـ Dressage وهذا لا يمكننا من تقدير تلك النوعيات " بالوجود Presence " و" التسليم Submission " .

وجد أيضاً في دراسة (1999) . Hodson *et al* أن خطوات كل من المشي المجتمع والممتد كان لديها أمد أطول للوقف للأطراف الخلفية عنه في الأطراف الأمامية ، والتي من المحتمل أن تعكس ما يطلق عليه الفرسان " بالدافع (أو الحافز) Impulsion " . الحافز (الدافع) مرادف لمصطلح علمي أكثر وهو " النبضة " (حركة ناشئة عن قوة مفاجئة) "Impulse" حيث النبضة = القوة X الوقت . تزداد النبضة بازدياد إما زمن الوقفة أو القوى المحدثة بواسطة الأطراف ، دون اقتصار ذلك على المشي ولكن في مشيات الحيوان الأخرى أيضاً .

الهرولة (الخبب) (جري بين المشي والعدو) Trot

الخبب Trot هو مشية ذات ضربتين مع وقع الأقدام بالترتيب التالي : الخلفي الأيسر والأمامي الأيمن RF, LH معاً متبوعة بالأمامي الأيسر والخلفي الأيمن معا . تسمى أقطار الخبب يسرى ويمنى تبعا للطرف الخاص بالقطر ، لذا يشكل القطر الأيمن Right diagonal كل من الطرف الأيمن والطرف الخلفي الأيسر . يجب أن يكون للخبب فترة تعلق بين مراحل الوقف لكل زوج قطري .

يوضح الشكل رقم (١٣,٤) قوى رد الفعل الأرضية النمطية المتحصل عليها أثناء الخبب في خيول طبيعية . في الخبب يكون قدر أقصى قوة رأسية (Fz) Peak vertical force للأطراف الأمامية أكبر من مثيله في المشي ، تقريبا ١١ نيوتن/كجم مقابل ٦—٧ نيوتن/كجم للمشي . يوجد في قمة Peak واحدة فقط في قوة Fz عند الخبب ، ما يعكس الطور الفردي للتحميل وإفراغ الحمولة في الوقف حيث تمتص أوتار الكف Palmar tendons الطاقة ثم تردها مثل الزنبرك . مرة أخرى ، تتحمل الأطراف الأمامية وزنا أكثر بالمقارنة مع الأطراف الخلفية ، ولكن يتحول دور الدفع أو التسيير إلى الأطراف الخلفية أكثر كما هو موضح بالمساحة الأكبر تحت الجزء الثاني من رسمة Fy للأطراف الأمامية مقارنة مع الأطراف الخلفية .



الشكل رقم (١٣,٤). آثار الأقدام GFR عند الخبب.

قد توضح حقيقة أن الخبب هو مشية متناسقة تولد الأطراف الخلفية فيها أغلب القوى الاندفاعية ، لماذا يستعمل مدربو الـ Dressage ومحافل القفز الخبب أكثر غالبا من أية مشيات أخرى حينما يتم تنفيذ عمل الركوب المبكر لحصان صغير ؟ هذا والحقيقة أنه يستعمل معظم الفرسان " الخبب المرتفع Rising trot " لكي يكون مقعدهم أعلى عن ظهر الحصان ٥٠% من الوقت . واحدة من الخصائص الأساسية للخبب " الجيد " هي درجة الوضع المتقدم للطرف الخلفي لكل زوج قطري، بمعنى آخر الخبب " الجيد " هو الذي يؤثر فيه الطرف الخلفي على الأرض قبلا بدرجة طفيفة عن الطرف الأمامي القطري . في الخبب الجيد العامل سوف يرتطم الطرف الخلفي فعلياً بالأرض متقدماً حوالي ٠,٠٣ ثانية (١٠٠/٣ من الثانية) عن الطرف الأمامي معطيا الإنطباع عن رشاقة (خفة وزن) الطرف الأمامي لمن يراقبه . عند التحرك من المشيات المتجمعة إلى المشيات الممتدة ، يزداد المدى الذي عنده تتجاوز (الأصح يطلق عليها تجاوز المسار Overtracking) البصمة اليسرى بواسطة الطرف الأمامي لنفس الجانب (بمعنى آخر الطرف الأمامي على نفس الجانب)، وبتلك الوسيلة يزداد طول الخطوة . يوضح السير الطبيعي للحصان الجيد تجاوز المسار بـ ١٠-٢٠سم. في الخبب المتجمع للخيول غير المتجاوزة المسار " Under track " ترفع الأقدام الخلفية في وضع أكثر دورانية ثم توضع خلف بصمات الأقدام الأمامية . يحدث تجاوز المسار في جميع أنواع الخبب الأخرى كالعامل و المتوسط والممتد . تنص أيضا FEI على أنه يتم تحكيم الحصان وفقا لقدرته في المحافظة على نفس الإيقاع خلال الانتقال بين الخبب المتجمع والمتوسط والممتد (الواسع) ؛ في الواقع حتى الصفوة من خيول الـ Dressage تميل أن يكون لها تكرار خطوة أعلى حينما تؤدي الخبب الممتد (الواسع) عنها في الخبب المتجمع . على سبيل المثال ، درست مجموعة من خيول FEI على مستوى Dressage

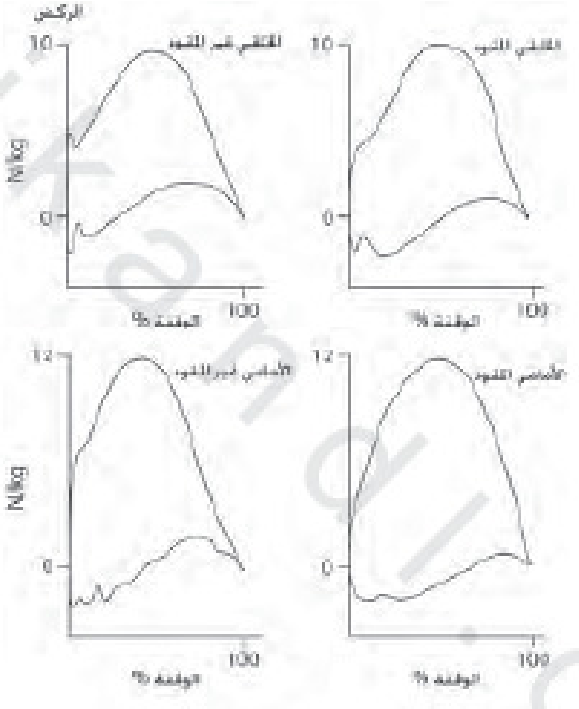
بواسطة Clayton (1994a) ووجد أن لها تكرار خطوة ٧٧ خطوة / دقيقة (١,٢٨ هرتز) في الخبب المتجمع و ٨٣ خطوة / دقيقة (١,٣٨هرتز) في الخبب الممتد (الواسع)، ومع ذلك فإن الزيادة في تكرار الخطوة عند الحركة من المشيات المتجمعة إلى تلك الممتدة (الواسعة) أقل في حصان النخبة عنه في حصان يؤدي ذلك عند مستويات أقل.

الركض (العدو البطيء أو متوسط السرعة)Canter

الركض هو مشية ذات ثلاث ضربات مع فترة تعلق Suspension واحدة . يعتمد تسلسل وضع الأقدام على الطرف الذي يقود الحصان . إذا كان الحصان على القائد الأيمن Right lead فيكون الطرف الأيمن الأمامي والأيمن الخلفي من كل زوج من الأطراف الأمامية والخلفية آخر من يضرب الأرض . هكذا فإن تتالي ركض القائد الأيمن لوقع الأقدام هو الخلفي الأيسر والخلفي الأيمن والأمامي الأيسر معا ثم تتبع الأمامي الأيمن . هكذا يكون متبوعا بفترة تعلق قبل أن تحدث الخلفي الأمامي تأثيرها مرة أخرى . مع زيادة سرعة الركض " ينفصل " الزوج القطري Diagonal pair حيث يؤثر الطرف الخلفي متقدما عن الطرف الأمامي القطري . حينما يحدث ذلك ، لم تعد المشية ثلاث مرات ولكن أربع مرات وتصبح رمحاً Gallop .

يوضح الشكل رقم (١٣,٥) قوى رد الفعل الأرضية النمطية الناتجة بواسطة كل طرف في ركض ذات قائد أيمن . توضح أدوار الأطراف كما حددت عن طريق تحليل GRF أن للطرف الخلفي غير القائد أكبر عامل اندفاعي بالنسبة لجميع الأطراف . يميل الطرف الخلفي غير القائد أن يدفع أكثر عن الطرف القائد حيث يكون مسئولاً عن تحويل الفعل النزولي عند نهاية مرحلة التعلق للخطوة إلى حركة أمامية عبر الأرض . يكون الطرف الأمامي غير القائد هو أول من ينزل من زوج الأطراف الأمامية

ويبين أنه يتحمل وزناً أكثر وفعل اندفاعي أكثر بالمقارنة مع الطرف الأمامي القائد . في الواقع ، من الصعب على الطرف الأمامي القائد أن يدفع الحصان على الإطلاق ، حيث يكون آخر طرف يترك الأرض قبل التعلق التالي ولذا فإن الكثير من طاقة الانطلاق Take-off تكون قد أنتجت عند الوقت الذي يحدث فيه الطرف الأمامي القائد تأثيره .



الشكل رقم (٥،١٣). آثارأقدام GRF عند الركض .

ليس للركض المتجمع أي مرحلة تعلق على الإطلاق . حينما يتحرك الحصان من الركض المتجمع إلى الركض الممتد (الواسع) ، تزداد درجة التعلق ضمن الخطوة وكذلك طول الخطوة. أوضح تحليل علم الحركة المجردة تناقضا آخر لتعريفات الكتب

المرجعية وهو أن الركض المتجمع والواسع لخيول النخبة هو مشية ذات أربع ضربات وليست مشية ذات ثلاث ضربات . أوضحت دراسة الخيول الـ Dressage والمتنافسة في أوليمبياد سيؤل عام ١٩٨٨م (Clayton1994b) أن سرعة الركض المتجمع كانت أبطأ فعليا عند ٣,٣ م/ث من السرعة التي تؤدي عندها معظم الخيول الانتقال من الهرولة إلى الركض ، وهكذا ربما تكون كلفة الطاقة للركض المتجمع أكبر من تلك لحصان يتحرك بحرية عند الركض . للحصان dressage الأولمبي خطوات واسعة طويلة تصل حتى ٤ متر في الركض الممتد (يتحرك عند سرعات ٦,٥ ث م تقريباً) وتميل تلك الخيول ذات الخطوات الطويلة أن تستقبل علامات أعلى Higher marks لأجل هذه الحركة .

الرمح (العدو بأقصى سرعة) Gallop

الرمح هو مشية ذات أربع – ضربات . إن تتالي وقع الأقدام لرمح ذا قائد أيمن هو الخلفي الأيسر والخلفي الأيمن والأمامي الأيسر والأمامي الأيمن . لتغيير القيادة عند الرمح سوف تغير الخيول غالبا المؤخرة (الجزء الخلفي) أولاً ، وبالتالي يصبح وقع الأقدام الخلفي الأيمن والخلفي الأيسر والأمامي الأيسر والأمامي الأيمن . وهذا يعرف بالرمح الدوار Rotary gallop وهذا يضع الطرف الأمامي الأيسر في خطرٍ كبيرٍ نتيجة ضرر أن تصطك قائمتا الفرس الأمامية والخلفية والذي يوجه كضربة عن طريق الطرف الخلفي الأيسر . عادة يدوم الرمح الدوار نصف خطوة فقط قبل أن يغير الحصان أيضا القائد الأمامي ليستكمل تغيير القائد خلال خطوة واحدة كلية . في الغالب تغير القائد أثناء السباق يُعتقد أنه علامة للعرج أو الإرهاق . حتى الآن ، دُرس بعمق كبير علم الحركة المجردة وليس علم القوى المحركة لخطوات الرمح . يزيد الحصان من طول خطوته عند الرمح عن طريق زيادة درجة التعلق داخل الخطوة كنسبة من

زمن الخطوة وعن طريق تقليل كم الوقت الذي يستنفذه الخلفي القائد والأمامي غير القائد في التدعيم ثنائي القدمين Bipedal support (ثنائي الأرجل). بمعنى آخر ، يستنفد حصان الرمح الجيد ما أمكنه الكثير من وقت الخطوة سيرا للأمام في مرحلة التعلق ، وما أمكنه القليل من الوقت على الأرض .

انتقالات المشية

Gait Transition

يُعتقد أن هناك عوامل متنوعة تؤثر في النقطة التي تحدث عندها الانتقالات بين المشيات . من المحتمل في أي موقف معين ، أن يحدد اشتراك العوامل التالية النقطة التي يحدث عندها الانتقال :

الفارس The Rider

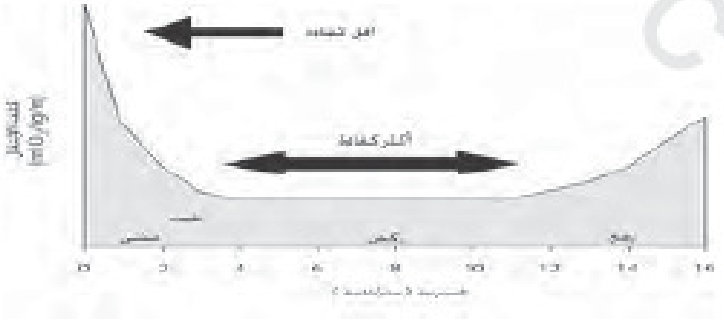
في خيول الركوب يحدد الفارس متى تتم تغيرات المشية وحقا متى تحدث الانتقالات داخل المشية ، مثل من الهرولة العادية إلى الهرولة المتسعة Extended . ليس هناك برهان لكي يقترح وجود أية اختلافات معنوية في الحركة المجردة المكانية Spatial (في المكان أو الموقع) والزمانية Temporal (مع الوقت) من حالة الركوب إلى حالة عدم الركوب طالما يستطيع الراكب أن يحافظ على توازنه دون تدخل اتزان من الحصان . التأثير الوحيد للراكب ذو وضع الركوب الجيد هو الوزن الإضافي . يسبب هذا زيادة طفيفة في التواء مفاصل الأطراف الخلفية بالمقارنة مع الجري الحر لحصان بنفس السرعة . حتى الآن ، لم يبدأ العلماء في استقصاء التأثيرات الإيجابية الممكنة للراكب ذي الخبرة على خصائص المشية ، مثل زيادة نشاط الأطراف الخلفية أو مساعدة الحصان ليعمل " في اتزان " .

كلفة الطاقة Energy Cost

حينما تُعطَى اختياراً بحرية ، سوف تنتخب الخيول عادة مشية تستعمل فيه أقل طاقة عند أي سرعة معينة . لذا سوف يجري الانتقال من الهرولة إلى الركض عند النقطة التي عندها يصبح أكثر كلفة (بلغة الطاقة) أن يهرول من أن يركض بطيئا . إذا طلب

الفارس من الحصان أن يزيد طول الخطوة في الهرولة لكي يزيد السرعة ، سوف يستعمل الحصان فعليا طاقة أكثر عما لو تحرك في اتجاه الركض (Hoyt & Taylor 1981) . لذلك تقوم الخيول بإجراء الانتقالات بين المشيات لتقلل من كلفة طاقة النقل Transport .

بمفهوم عام ، فإن كلفة الطاقة لنظام النقل (الطاقة المطلوبة لكي تحرك كجم واحد من كتلة الجسم واحد متر وتقاس بلغة إما بعدد ضربات القلب أو بالسم[٣] من الأكسجين المستعمل ، بمعنى سم[٣] أكسجين/كجم/م) أعلى للمشي ، وأقل للهرولة والركض ، وبعدها أعلى عند الرمح (انظر الشكل رقم ١٣,٦) . أغلب الطرق اقتصاديا لتغطية مسافة ما هو عند الهرولة و/أو الركض . مع ذلك فإن ذلك لم يأخذ في الحسبان العوامل الهامة الأخرى التي يلزم أخذها بالاعتبار مثل الإمداد بالطاقة ، والتنظيم الحراري. وهكذا فإن الركض السريع ربما يكون اقتصاديا من حيث كمية الطاقة المطلقة المطلوبة ، ولكن يكون محددا في المسافة عن طريق إرهاق ، وإجهاد مخازن الطاقة مثل الجليكوجين ، وتتضمن معوقات التنظيم الحراري الجفاف وفرط الحرارة. حديثا ، طوّر Preedy and Colborne (2001) طريقة لتحديد المحافظة وكفاءة الطاقة الميكانيكية في مشية الخيول ، آخذين في الحسبان جميع مكونات الطاقة الحركية والكامنة لكل قطعة من الجسم .



الشكل رقم (١٣,٦). العلاقة بين تكلفة الطاقة عند الإنتقال والسرعة .

رقم فرود Froude Number

تخيل أن الجسم يتحرك إلى أعلى والطرف في وضع منحني(في وضع قوس) معكوس . يكون الجسم عرضة لعدة قوى . إحداها القوة الجاذبة إلى المركز Centripetal force والتي تُوجه نصف قطريا للداخل في اتجاه مركز الدوران والتي تكبح ميل الجسم أن يترك الانحناء . يمكن التعبير عن هذه القوة في إطار قانون نيوتن الثاني كما يلي:

$$F = ma = mv^2 / r$$

حيث m هي كتلة الجسم عند القوس (الانحناء) ، v هي سرعته التماسية (وهي طبيعية لنصف قطر القوس) ، r هي المسافة النصف قطرية من مركز الدوران . يسمى أحيانا الوضع العكسي التقريبي لهذا بالقوة الطاردة Centrifugal force ، بالرجوع إلى القوة المكافئة والتي تميل إلى إلقائه خارج القوس . هذه – مع ذلك عبارة عن قوة القصور الذاتي Inertial force الموجهة نصف قطريا إلى الخارج . تمشيا مع قانون نيوتن الثالث فإن هاتين القوتين ليستا زوج من الفعل – رد الفعل ؛ لأن القوة الطاردة تعتمد على حركة الجسم ضمن إطار مرجعي غير قصور ذاتي ، بينما تُوصف القوة الجاذبة للمركز بالرجوع إلى إطارها الدوراني الخاص بها . في الميكانيكيات الحيوية ، يستعمل عادة الإطار المرجعي غير القصور الذاتي ، أخذ في الاعتبار قوى نيوتن التقليدية بالإضافة إلى قوى القصور الذاتي المعرّفة بطريقة مناسبة .

يكون الجسم أيضا عُرضة لقوة الجاذبية الأرضية . لذلك فإن قوة الجاذبية تكون هي نفسها مهما كانت السرعة ولا ترتبط بأي حال باتجاه الحركة . مع ذلك ، فلقد افترض أنه بمجرد أن تصبح القوة الجاذبة إلى المركز مساوية لقوة الجاذبية الأرضية ، يتحرك الحيوان للأمام للمشية التالية . يُعطى رقم فرود Froude number عن طريق نسبة قوى القصور الذاتي إلى قوى الجاذبية الأرضية التي تعمل على رجل الحيوان . تتوافق تغيرات مقود الحركة Gear إلى أعلى عند رقم فرود ١,٠ . تتحول

الخيول من المشي إلى الخبب (الهرولة) عند رقم فرود ٠,٧ –٠,٩ . بمجرد أن يكون رقم فرود أكثر من ١,٠ فهناك لحظة من التعلق في طريقة مشي الحصان . في الواقع فإن مرحلة التعلق تزيد طول الخطوة بواسطة إضافة قفزة .

أقصى قوة رأسية Peak Vertical Force

ثمة قوة أخرى يعتقد أنها تتحكم في النقطة التي يحدث عندها انتقال Transition هي أقصى قوة رأسية من خلال الأطراف . تحول الخيول المشية عندما تصل القوة الرأسية إلى كمية حرجة . على أية حال ، لو أن الحصان يمتطيه فارساً ، فإنه لن يُحوِّل المشية عند عبور منحنيات الكفاءة للهرولة والركض ، ولكن عند النقطة التي تصل إليها القوة من خلال الأطراف إلى أقصى مستوى .

الخطوة الواسعة للقفز
The Jump Stride

يوجد قدر كبير من الاختلاف في علم الحركة المجردة وعلم القوى المحركة للخطوة الواسعة للقفز حيث يوجد العديد من المتغيرات المؤثرة متضمنة عوامل مثل سرعة الاقتراب، وارتفاع السياج، وتأثير الراكب عند الاقتراب وأعلى السياج وتأثير العوائق ذات العلاقة .

تتضمن الخطوة الواسعة للقفز نفسها طور الانطلاق والتعلق والهبوط يبدأ تعيين المكان المناسب لوضع الأقدام عند القفز بوضع الطرف الخلفي المتثاقل عند الانطلاق وتنتهي بوضعه عند النزول . عند الاقتراب من السياج ، يوجه الحصان جسمه بحيث تُستعمل الأطراف الأمامية كقوائم انضغاطية Struts لرفع الجذع الأمامي بينما تدور الأطراف الخلفية أسفل الجسم ، غالبا توضع بالقرب من السياج أكثر من الأقدام الأمامية معطية قوة دافعة Propulsive force للانطلاق . إذا أخطأت أو زلت

الأطراف الأمامية عند الانطلاق ، فلا تستطيع الأطراف الخلفية أن تولد نفس الدرجة من الارتفاع الرأسي ويكون الحصان أكثر احتمالية أن يضرب السياج . كما رأينا سابقاً فإن زيادة وقت الوقف للأطراف الخلفية يمكن أن يزيد " الحافز " Impulse ، ولذا يكون وقت الوقف للأطراف الخلفية عند الانطلاق أكبر منه للخطوة الواسعة العادية للاقتراب . كلما كان السياج أعلى وسرعة الاقتراب أبطأ ، فإنه من المحتمل أكثر أن يُظهر الحصان الأطراف الخلفية متزامنة . بمعنى آخر ، يعدل الحصان توقيت تعيين المكان المناسب للأطراف الخلفية بحيث تهبط وتنصرف عند الانطلاق في نفس الوقت ، حيث يقوم بوضعها على الأرض قريبة معا أمام السياج . عند قفز الحصان بسرعة عالية ، فهناك تزامن قليل للأطراف الخلفية ويميل الحصان " أن يقفز بعيدا عن خطوته الواسعة" بحيز معتبر ، بمعنى مسافة ، انفصال الأطراف الخلفية . نادرا ما يرى تزامن الأطراف الخلفية في قافزي السياج النقال الخشبي Hurdlers وسباق الخيول ذات الحواجز Steeplechaser عند الانطلاق (الإقلاع) .

أوضح تحليل قوة رد فعل الأرض لوضع الطرف أثناء الخطوة الواسعة للقفز أن أدوار الأطراف الخلفية والأطراف الأمامية مشابهة جداً للأدوار التي تلعبها عند خطوات الركض Canter stride ، هكذا فإن الخطوة الواسعة للقفز — لحد معين — هي خطوة الركض مع فترة أكثر معنوية للتعلق . أوضح الطرف الأمامي غير القائد أكبر قيمة للقوة الرأسية من بين جميع الأطراف ، كما يفعل ذلك في خطوة الركض (العدو متوسط السرعة) ، مع أن أقصى قوة رأسية فعلية أكبر من خطوة الركض بينما للطرف الأمامي القائد مكون تثبيطي كبير محولا بعض القوى الدافعة للتحرك إلى ارتفاع رأسي. أظهرت الأطراف الخلفية نقص قليل جدا في السرعة وكثيرا من التسريع (التعجيل) وأكثر منه في خطوة الركض العادية . أطوار الاقتراب والانطلاق تُحدد

مسبقا مسار مركز الحصان للجاذبية الأرضية أثناء التعلق . خلال الحمل في الهواء Airborne يبدأ الحصان في فرد (مد) الأطراف الأمامية استعدادا للنزول ويرفع الرأس والرقبة ، ليساعد بما هو ضروريا للدوران الأمامي عند النزول إلى الخلف أو في دوران عكس عقارب الساعة لكي يضع الأطراف الخلفية على الأرض . ربما تكون الخيول التي تقفز بسرعة غير ناجحة في محاولاتها لعكس هذا الدوران عند النزول ، مؤدية إلى النزول " التجعدي Crumpling " والذي يرى عند قفز الأسيجة الثقالة وعند سباقات الخيول ذات الحواجز .

عند النزول (الهبوط) فإن الهدف هو تحويل الحركة الرأسية إلى حركة أمامية أفقية ومن ثم خفض القوى التصادمية Concussive force على الأطراف والإعداد للخطوة الواسعة التالية . يؤثر أولا الطرف الأمامي غير القائد ، عادة عند زاوية ٩٠° تقريبا بالنسبة للأرض . يؤثر الطرف الأمامي القائد عند زاوية حوالي ٦٨° بالنسبة للأرض . حقيقة أن الطرف الأمامي غير القائد ينزل عموديا تقريبا تعني أن له تأثير بطيء قليل في إنقاص سرعة الحصان ، ومعظم هذا الدور يقوم به الطرف الأمامي القائد . ومع ذلك يتحمل الطرف الأمامي غير القائد الوطأة (brunt) العظمى لقوة الهبوط وبالتالي أقصى قوة رأسية كبيرة . يُتوقع حدوث قمة كبيرة للقوى الرأسية عند الهبوط من قفز العرض أعلى السياجات الكبيرة (١,٤٠ متر فما فوق) . وبالتالي تميل الخيول عند القفز أثناء العرض أن تعاني من مشاكل المفاصل المتعلقة بالارتجاج (التصادم) في الأطراف الأمامية البعيدة . يُظهر الطرف الخلفي النازل أولا عند جانب الهبوط (الطرف الخلفي غير القائد) أغلبية الدفع أو التسيير حيث تهدف إلى إيجاد الدفع الأمامي للخطوة الواسعة التالية .

أوضحت دراسات خيول الصفوة للقفز أثناء العرض أن الحصان الجيد يميل إلى سرعة أقل في خطوة الاقتراب الواسعة Approach stride . تضع الخيول الجيدة أيضا أطرافها الخلفية بالقرب أكثر من السياج عند الانطلاق (Deuel & Park 1991) ولديها المقدرة على العودة إلى نمط الخطوة الواسعة فوق الأرض بطريقة أسرع بعد السياج ، والتي قد تخفض الوقت المار بين الأسيجة ، وهو عامل حاسم في وقت انطلاق السباق off – jump . تميل أيضا خيول القفز أن تضع أقدامها الخلفية بالقرب من الإسقاط الرأسي لمركز كتل الجسم الكلية ، والتي تعطيها سرعة رأسية أفضل (Colborne *et al* . 1995) .

الحركة المجردة للعمود الفقري ومشاكل الظهر
Spinal Kinematics and Back Problems

منذ الثمانينيات يوجد عدد من الدراسات البحثية المختصة بعلم الحركة المجردة للعمود الفقري وحدوث مشاكل الظهر في الخيول . أصبح الآن " علاج رياضات Sports therapy" الخيول جزءاً من الحياة اليومية في معظم ساحات السباق ، من المحتمل أن يعتبر الفرسان مشاكل الظهر مسئولة عن خسارة خيولهم في الأداء عما يقول ضعف (عرج) الطرف البعيد . ربما يكون هذا نتيجة الازدياد الحديث في عدد ممارسي خبراء المعالجة اليدوية في الخيول Chiropractors والمعالجين المختصين بالتدليك للرياضات ، إلخ . مما لا شك فيه أن ألم الظهر يمكن أن يكون مسئولا عن خسارة معنوية في الأداء ، وربما يكون مسئولا حتى عن بداية المشاكل السلوكية مثل الغفوة Napping ، وطرح الحصان لفارسه أرضا Bucking ، ولكن هذا لا يعني بالضرورة أن الظهر هو مصدر المشكلة . من الصعب إلى حد بعيد تشخيص حالة الضعف (العرج) الدقيق في الطرف أو الأطراف العديدة في الخيول ؛ لأن الحالات المزمنة غالبا تؤدي إلى تعويضات في مشية الخيول

بالرغم من الاستمرار في العمل لفترة طويلة من الوقت . تؤدي مثل هذه التعويضات غالبا إلى ترتيب المشاكل العضلية – الهيكلية والتي ربما يكون ألم الظهر واحدا منها ، على أية حال ، السبب الجذري في تحويرات المشية والتي تحتاج إلى طبيب ماهر يعالج سريريا ليصل إلى تفسيرات صحيحة . نشر Jeffcott عام ١٩٨٠م دراسة تضمنت ٤٤٣ حصانا لديها مشاكل ظهرية في محاولة لتعيين الأسباب بدقة . كانت إصابات الأنسجة اللينة وأضرار فقرات العمود الفقري سببين رئيسين يشكلان حوالي ٨٠ ٪ من الحالات . وجد أن بعض الخيول أظهرت مشاكل سنية Dental وسلوكية بدلا من مشاكل الظهر الأساسية ، وفي بعض الخيول لم يُتمكن من تحديد تشخيص واضح .

إدراك الفارس لوظيفة العمود الفقري في التحرك ولأوجه الإدارة مثل تناسب السرج Saddle fitting يمكن أن تكون إضافة فقط عندما نضع رفاهية وأداء حصان السباق في الحسبان شريطة ألا يبالغ بذلك ويتم استدعاء الشخص المهتم بالظهر (الفارس) قبل التفكير في دعوة الطبيب البيطري . بالإضافة إلى أنه غير قانوني في المملكة المتحدة لأي شخص عدا الجراح البيطري المؤهل لإجراء التشخيص ، ولا يجب على الطبيب أن يعالج الحيوان بدون توجيه بيطري ، الحقيقة التي لم يكن جميع الحائزين (وبعض مزاولي المهنة !) على دراية وإدراك لها .

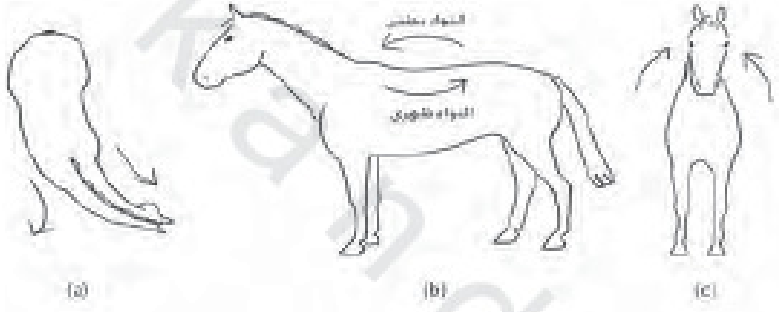
لقد تطور العمود الفقري ليؤدي وظائف معينة متضمنة دوره كدعامة وإطار للعضلات والأربطة وناقلا للقوى الدافعة للأرجل الخلفية إلى الأرجل الأمامية للحصان . وعلى النقيض من الحيوانات الصغيرة مثل القطط ، تميل الخيول للاحتفاظ بعمودها الفقري صلبا على نحو ملائم خاصة حينما تسير بسرعة عالية . كنتيجة لهذا تميل الخيول أن تتوافق مع الأدوار في الركض والرمح عن طريق التقريب نحو المحور الرئيس Aductting ، بمعنى ، التجهيز في اتجاه الخط الوسطي ، والطرف الداخل

وانحراف القفص الصدري خلال التعلق Sling ، والمتكون عن طرق العظم الكتفي والصدري لكل طرف أمامي . إنه حقيقيا فقط عندما يُبدأ في عمل الركوب حيث يطلب من الخيول أن تنثني أو تلتوي حول الدورانات والدوائر ، وهو شيء ليس بالضرورة أن يفعله الحصان الذي يجري بطلاقة . الأنواع التي ترى ضمن العمود الفقري موضحة في الشكل رقم (١٣,٧) ويمكن تعريفها كما يلي :

- انثناء (التواء) ظهري Dorsiflexion ويرجع إلى أنه خفض الظهر ، ومن ناحية أخرى يعرف بـ Lordosis .
- انثناء (التواء) بطني (أمامي) Ventroflexion ويرجع إلى تقوس الظهر ، ومن ناحية أخرى يعرف بـ Kyphosis .
- انثناء (التواء) جانبي وهو حركة الفقرات من الجانب إلى الجانب.
- الدوران المحوري وهو دوران الفقرات حول المحور الطولي للعمود الفقري .

إن موضوع " ما هو كم الحركة التي تحدث في العمود الفقري للخيول " هو محل اهتمام لسنوات عديدة ويرجع ذلك بقدرٍ كبير لما له من تضمينات للفرسان والمدربين . أجريت دراسات فحص الجثة بعد الوفاة Post mortem لمحاولة تحديد المدى الممكن للحركة ضمن العمود الفقري . لسوء الحظ تحتاج هذه الدراسات إلى تشريح وعزل الجهاز العضلي بسبب تلك الحركات ، وهكذا ما تم قياسه ليس انعكاسا حقيقيا لما يحدث في الخيول الحية . أجريت دراستان من هذا النوع (بعد الوفاة) في الثمانينيات . أجرى Jeffcott and Dalin عام ١٩٨٠م دراسة ما بعد الوفاة والتي تم فيها إزالة الجهاز العضلي Musculature مع مجرد ترك الأربطة دون إزالة . كما أجرى Town send and Leach دراسة مشابهة عام ١٩٨٣م والتي تم فيها إزالة الجهاز العضلي مع ترك قفص الضلوع كما هو دون إزالة . في كلتا التجربتين تم تثبيت العمود الفقري عند كل نهاية ثم

طُبقت قوى في اتجاهات متنوعة . وجدت كلتا الدراستين أن أقصى كمية من الحركة الظهرية – البطنية حدثت عند المفصل العجزي- القطني . ينشأ معظم " تدوير " الظهر الذي يرى في الحصان وهو أعلى السياج أو حتى الظهر المتقوس لحصان الروديو الذي يشب Bucking rodeo horse بدرجة كبيرة من (التواء) هذا المفصل . لقد وجد مدى واسع من الحركة الظهرية – البطنية ضمن المفصل بين الفقرتين الصدريتين $T_1 - T_2$ ووجد أن أقل كمية من الالتواء الظهري– البطني حدثت بين الفقرة الثانية ، الفقرة السادسة القطنية.



الشكل رقم (١٣,٧). ثلاث أنواع مختلفة من الحركة يمكن رؤيتها في الفقرات :
a) دوران جانبي b) التواء ظهري والتواء بطني ، c) دوران محوري .

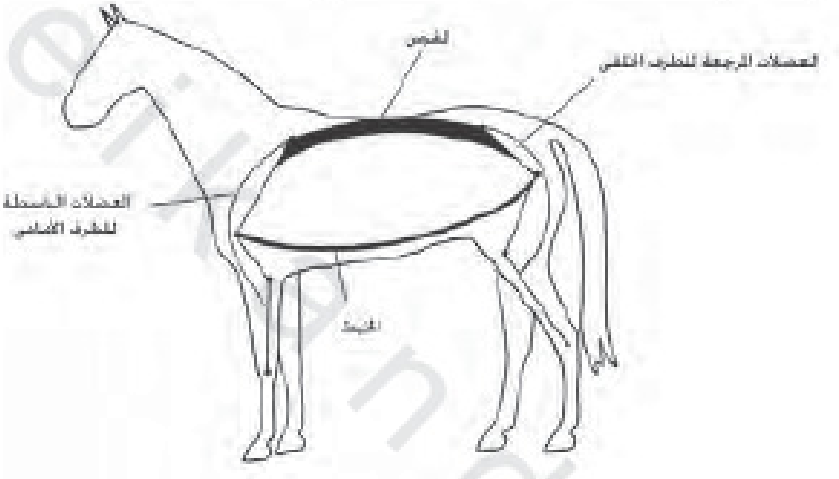
يبدو أن هناك مجالا للدوران المحوري والانثناء الجانبي خلال العمود الفقري ولكن تُقلل درجة الانثناء الجانبي كلما تحركت أنت في اتجاه الجزء الأخير من المنطقة القطنية . إذا اعتبرنا العمود الفقري يشبه لحد ما لعبة قطار Toy train مصنوع من عديد من الحافلات الخشبية الصغيرة والتي تمثل الفقرات ، تكون الدورانات الجانبية الصغيرة لكل حافلة ضرورية لتسمح للقطار أن ينثني حول الدورانات الضيقة . بنفس الطريقة ، تتجمع الدرجة الصغرى من الانثناء ضمن كل فقرة لتنتج درجة معنوية من " الانثناء " ضمن العمود الفقري ككل .

درس (Audigie *et al* 1999) علم الحركة المجردة لظهر الخيول في خيول ذات صلاحية للهرولة Sound trotting horse مستعملا واسمات للجلد Skin markers وضعت عند نقاط معينة على طول الخط الوسطي الظهري للجذع . وجد الباحثون أن الظهر يتمدد (التواء ظهري Dorsiflexed) أثناء النصف الأول لكل وقفة مائلة (منحرفة) Diagonal stance ويتثني الظهر بطنياً (Ventroflexed) أثناء الجزء الثاني لكل مرحلة وقفة مائلة ، بمدى حركة أقل من ٤° . استنتج الباحثون أنه عند الخيب (الهرولة) البطيئة (Slow trot) ، تعمل عضلات الجذع أساسيا لتحُد من حركات انثناء — مد الظهر بدلا من أن تُحدث حركات .

نظرية الخيط والقوس
Bow and String Theory

تقترح نظرية الخيط والقوس كيفية تأثير العمود الفقري بعضلات الطرف وكيفية دعم العمود الفقري لكتلة جسم الحصان (Badoux, 1975) . يشبه العمود الفقري للخيل القوس والخيط ، (انظر الشكل رقم١٣,٨) . العمود الفقري ، الحوض والعضلات فوق المحورية تماثل القوس . يظل القوس تحت توتر من الخيط والذي يكون مشدودا . حينما يكون القوس تحت توتر فيكون ظهر الحصان أفضل مقدرة على أن يتحمل الحمل السابق . يقابل الخيط كل من القص Sternum والعضلات الباطنية . تخيل ما يحدث عندما تنقبض عضلات الطرف . فعندما تنقبض العضلات الباسطة Protractors للطرف الأمامي والعضلات المُرجعة Retractors للطرف الخلفي فإن القوس يتثني بطريقة ما بحيث يؤدي إلى التواء بطني أو تقوس الظهر . حينما تحاول تصور ذلك يجب عليك أن تتخيل أن العضلة تنقبض عندما يتحمل الطرف عبئا ما . وعلى النقيض ، عندما تنقبض العضلات المرجعة للطرف الأمامي والعضلات الباسطة للطرف الخلفي ،

يكون القوس رخواً Slack ويحدث هبوطاً أو التواء ظهري . كلما كانت العضلات المرجعة للطرف الخلفي أكثر فعالية ودرجة التواء المفصل العجزي القطني أكبر ، كلما كان الالتواء المعرض له القوس أكبر . يساعدنا التناظر الوظيفي للخيط والقوس أن نفهم لماذا نضع أهمية كبيرة في ارتباط الطرف الخلفي ليكون خطاً علوياً دائرياً .



الشكل رقم (١٣,٨). الخيط والقوس .

بنية الفرد وطبيعة الرياضة التي يشارك فيها لديهما حملاً على نوع إصابات الظهر التي تُرى . الحصان المصاب بالسرج Sway backed horse (انحناء العمود الفقري إلى أسفل نتيجة الإرهاق) لدية " قوس ضعيف " وبالتالي يكون أقل مقدرة لدعم حمل الراكب بفاعلية . ربما تكون الخيول ذات الظهر القصير أكثر احتمالية أن تعاني من حالات مثل " ملامسة الفقرات Kissing spines " حيث ترتطم الزوائد الظهرية الفقرية ببعضها البعض أثناء الالتواء الظهري ، بينما تكون الخيول ذات الظهر الأطول أكثر عُرضة إلى إجهاد الأنسجة الرخوة . عبر فروع المعرفة المتنوعة ، فإن لدى خيول القفز السريع إصابات أكثر بالظهر مقارنة مع أنواع خيول الرياضات الأخرى .

إنه من المفيد غالبا في حالات " مشاكل الظهر " الحقيقية أن ننظر إلى الحصان والفارس معا ، حيث إن مشاكل وضع الفارس وألم الظهر لدى الفارس يمكن أن تظهر نفسها كمشاكل على الحصان ، وإذا لم يكن الحصان قد تم ركوبه من قبل بواسطة هذا الشخص المعين . يمكن أن تؤدي اشتراك مجموعة من المؤثرات مثل البنية السيئة ، اتزان القدم الرديء ، وتناسب السرج غير الجيد والفارس غير القادر لجعل الحصان يستخدم ويشارك بربعيه الخلفيين Hindquarters بدرجة كافية إلى عرج أو تكسيح واضح ، بينما أي من هذه العوامل بمفرده لا يكون كافيا لإحداث خسارة معنوية في الوظيفة . ربما يكون السيناريو النمطي هو ذلك الذي يؤدي فيه المستوى المنخفض من عرج الطرف الخلفي إلى فقدان نشاط الأرباع الخلفية مما يجعل الحصان يحمل نفسه في إطار مُفْرغ Hollow outline ، بمعنى آخر ، مع بقاء العمود الفقري في اتساع وتمدد . يؤدي ذلك إلى إضعاف " القوس " وتصبح الأطراف الأمامية مسئولة بدرجة أكبر عن كل من حمل العبء والاندفاع ، مؤدية إلى التصادم المتزايد للأطراف الأمامية وعرج الأطراف الأمامية على كلا الجانبين . حينما يصبح الحصان أعرجا أو كسيحا في كلا طرفيه الأماميين بدرجة متساوية فيمكن أن تستمر مع عدم ملاحظتها لعدة شهور أو حتى سنوات ، مع الظن بأن المشية غير النشطة والمثاقلة هي مشية " عادية " . يعتبر الناس غالبا جدا أن العرج ببساطة هو مشية خاصة بالبنية مدعين أن الحصان " يسير دائما مثل هذا " . في هذا العصر من التقنيات التشخيصية المتقدمة واتجاهات العلاج التي لا تحصى هل علينا ألا نمسك الرصاص بأسناننا ونسأل أنفسنا عما إذا كان الحصان في الحقيقة عنده عرج بصفة دائمة ؟

نقاط مفتاحيه **KEY POINT**

- تتضمن الميكانيكيات الحيوية دراسة علم الحركة المجردة وعلم القوى المحركة . علم الحركة المجردة هو دراسة الحركة ، مع وصف الإحلال الخطي (الحركة في مستوى أفقي) وذي الزاوية للأطراف ، بينما علم القوى المحركة هو دراسة القوى المولِّدَة لكي تسبب الحركة .
- دُرِس علم الحركة المجردة باستعمال آلات التصوير والفيديو وبأجهزة متابعة متخصصة ، بينما دُرِس علم القوى المحركة باستعمال آلات تُعرف بصفائح القوة وأجهزة التسريع .
- نواحي عديدة لمشية الفرد قد ترسخت في الخيول منذ الصغر أي عند عمر ١٢– ١٨ شهراً.
- تعطينا قوى رد الفعل الأرضية المتحصل عليها بواسطة صفائح القوة معلومات بخصوص درجة تحمل الطرف للعبء ، والمدى الذي عنده يمكن للطرف أن يدفع أو ينقص من سرعة الحصان خلال كل مرحلة من الوقفة .
- حيث يزيد الحصان من سرعته في المشي حتى الرمح ، فإنه يزداد طول خطوته الواسعة من ٢ متر تقريبا عند المشي إلى ٦ – ٧ متر تقريبا عند الرمح بالنسبة للخيول الأصيلة المحسنة .
- يعتقد أن هناك عدة عوامل تؤثر على النقطة التي يتم عندها الانتقال بين المشيات فمن المحتمل في أي موقف معين ، أن اشتراك العوامل التالية تحدد النقطة التي يحدث عندها الانتقال: تأثير الفارس ، رقم فرود Froude number ، كلفة الطاقة ، أقصى قوة رأسية خلال الطرف .

تابع نقاط مفتاحيه

- تشبه الخطوة الواسعة للقفز إلى حدٍ كبيرٍ الخطوة الواسعة للركض بلغة الأدوار التي يقوم بها كل طرف .
- ما يطلق على الفرسان الدفع Impulsion يسميه العلماء أثر الدفع (حركة ناشئة عن قوة مفاجئة) Impulse ، وعادة يتحصل عليها بزيادة أمد الوقف للأطراف الخلفية .
- يستطيع العمود الفقري في الخيول أن يتحرك في ثلاث مستويات ، التواء بطني–ظهري، انثناء جانبي والدوران المحوري بدرجات متفاوتة .

obeikandl.com