الفصل التاسع

الاستجابات التنفسية

Responses Respiratory

مسار الأكسجين وأقصى حجم ممتص له

The Oxygen Pathway and $\dot{V}o_{2max}$

تشبه رحلة جزيء أكسجين الجو المحيط بمنخري الحصان وحتى العضية السبحية (الميتوكوندريون) داخل إحدى الخلايا العضلية لرحلة لأربع مرات حول العالم، آخذين في الاعتبار على جزيء الأكسجين عبور أوساط عديدة مختلفة في طريقها (هواء، حاجز غاز الدم، دم، الدوران، أغشية الخلية) ، والسرعة التي بها يحدث هذا العبور تجعل ذلك مميزاً لدرجة أكبر . ولوصول كمية كافية من الأكسجين للعضلة العاملة ، يجب أن تحدث سلسلة من الأحداث الخاصة :

١- تدفق معظم الهواء من الجو إلى الحويصلات الهوائية ، هذا ما يعرف بالتهوية.

٢- انتشار الأكسجين عبر غشاء شعيرات الحويصلة الهوائية أو حاجز غاز الدم ومن ثم إلى خلايا الدم الحمراء .

٣- نقل الأكسجين من خلايا الدم الحمراء إلى الشعيرات الدموية داخل العضلات العاملة .

٤- انتشار الأكسجين من خلايا الدم الحمراء إلى خلايا العضلة وفي النهاية إلى الميتوكندريا .

يشير أقصى حجم للأكسجين الممتص ($\dot{V}O_{2max}$) إلى النسبة العظمى التي عندها يمكن للأكسجين أن يستعمل من قبل النسيج النشيط أثناء التمرين . يقاس هذا بحجم الأكسجين باللميللتر O_2 / دقيقة / كجم (يعبر عن ذلك عند STPD) ، بمعنى آخر كمية الأكسجين التي يأخذها الحصان في زمن معين لكل كيلو جرام (Kg) من كتلة الجسم . مسار تسليم الأكسجين العام من الجو إلى الميتوكوندريا هو فقط المكون الجيد والأبطأ ، إذن لو أن إحدى وصلات سلسلة النهوية (١-٤ المذكورة آنفاً) تعرض للخطر بسبب مرض أو تدريب سيء أو حتى عن طريق أحد العوامل المحددّة وراثياً كصغر القلب ، سينخفض حجم الأكسجين الممتص الأعظم وأداء الحصان في العمليات الهوائية الكبيرة قد يضعف .

تعتبر بعض الخيول قادرة طبيعيا على تمرير أكسجين أعلى ($\dot{V}O_{2max}$) من الآخرين ، و تعتبر هذه الخيول الأفضل رياضياً . ويمصطلح آخر ، الخيول الأكبر سوف تستهلك أكسجين أكثر من حصان أصغر حجماً ؛ نظراً لكونه يمتلك كتلة عضلية أكبر ، ولكن قد لا تكون هذه ذات فائدة خاصة و أن لتلك الخيول كتل أكبر من العظام والأمعاء ، وغيرها تتناسب مع كتلها . على أية حال ، إذا عبرنا عن أخذ الأكسجين بالمصطلح أخذ الغاز لكل كيلو جرام من وزن الجسم ، عندها يمكننا أن نعمل مقارنات مفيدة بين خيول ذات حجوم مختلفة . على سبيل المثال ، يمكن أن يكون لحصانين نفس قيمة أقصى أكسجين ممتص ($\dot{V}O_{2max}$) وهو ٧٠ لتر / دقيقة . وفي حالة كانت كتلة أحدهما ٤٠٠ كجم والآخر ٦٠٠ كجم ، وعندما نصحح لهذا بالتقسيم على الكتلة ، نحصل على ١٧٥ مل / دقيقة / كجم و ١١٧ مل / دقيقة / كجم على التوالي . وهكذا ، الحصان الأصغر له حوالي ٥٠ ٪ أعلى من أقصى أكسجين ممتص على

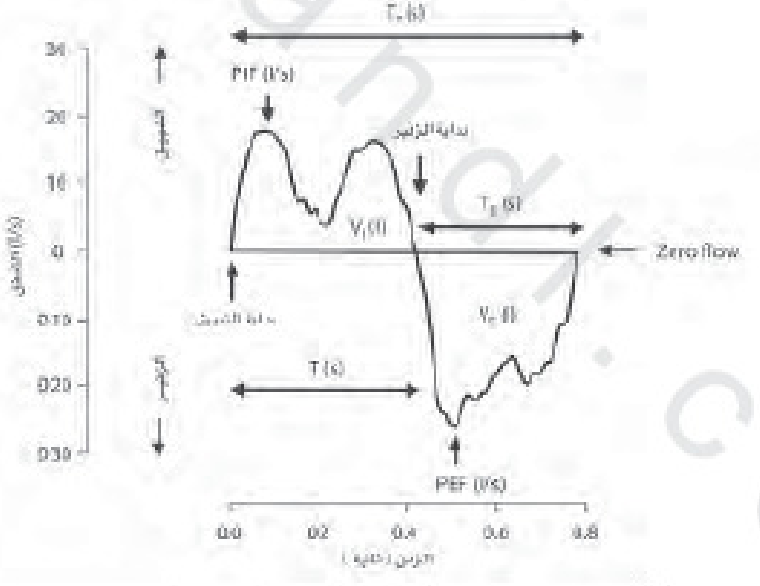
أساس الوزن . يعتبر أقصى أكسجين ممتص ($\dot{V}O_{2max}$) واحداً من أفضل المؤشرات الفسيولوجية للقدرات الرياضية للتمييز بين الأنسال والأنواع، وأداء الحصان السيء والمعتدل أو كونه من النخبة . وعلى أية حال ؟ ، هناك حدود معينة ومن غير المحتمل أن يميزّ بين خيول النخبة من ذوي الأداء العالي .

التهوية
Ventilation

تزداد التهوية طردياً مع زيادة سرعة الجري . تستطيع الخيول الأصيلة المعدة للسباق زيادة تهويتها من حوالي ٥٠—٦٠ لتر/ دقيقة عند الراحة إلى أكثر من ١٨٠٠ لتر / دقيقة عند العدو بسرعة كاملة . قد تملأ كمية الهواء التي تدخل وتخرج من الحصان في الدقيقة أثناء قيامة بالسباق قد يملأ حماماً بحجم طبيعي في حوالي ٦ ثواني . لكي يحرّك ١٨٠٠ لتر من الهواء في الدقيقة من وإلى الرئة ، فإن التيارات الهوائية سوف تكون بنسب في حدود ٥٠ لتر/ ثانية خلال كل منخر . لتكوين فكرة عن الامتصاص الضروري لتهيئة تدفق ٥٠ لتر/ ثانية، ضع يدك على نهاية خرطوم مكنسة كهربائية ! فهذا عملياً الذي يحدث في المنخر أثناء شهيق بالغ الذروة . عندما تدرس نسب التدفق أثناء تمرين ومن خلال الدراسات العلمية ، يقدر معدل التدفق الأقصى (المعروف بنسب التدفق بالغة الذروة) مجتمعاً لكلا المنخرين ، وبمعنى آخر ٤٠ لتر/ثانية للمنخر الأيسر و٤٠ لتر/ثانية للمنخر الأيمن وحصيلة هذا التدفق البالغ الذروة هو ٨٠ لتر/ ثانية . أقصى معدلات التدفق الشهيقي (السرعة الأسرع للانتقال الهوائي إلى الحصان) عادة تكون حول ٧٠ — ٨٠ لتر / ثانية . وقد تصل قمة معدل التدفق الزفيري إلى حوالي ٨٠ — ٩٠ لتر/ ثانية (الشكل رقم ٩,١) . هذه القيم على الغالب أقل عند الخيول عند وجود مشاكل الريح حيث تؤثر إما على المجرى الهوائي العلوي أو السفلي .

التهوية (أو بشكل صحيح أكثر ، تهوية تنفسية ضئيلة) يمكن أن تزداد بزيادة كل من التردد التنفسي و الحجم الموجي Tidal volume أو كليهما (انظر الشكل رقم ٩,٢) . اختيرت مجموعة التردد التنفسي (معدل أخذ النفس في التنفس / دقيقة)

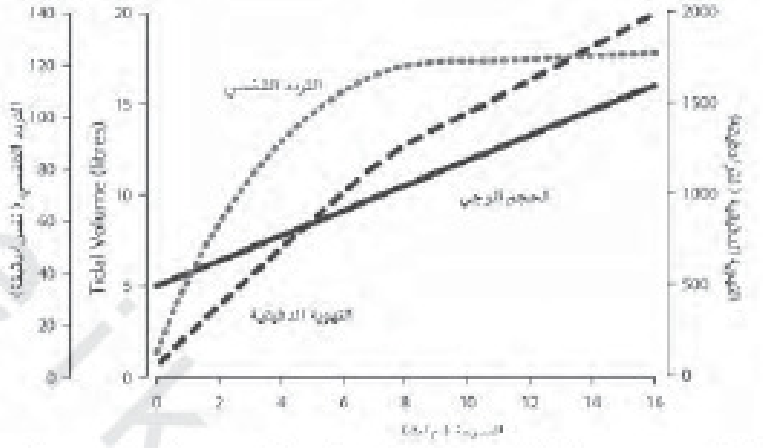
والحجم المتبدل (عمق أخذ النفس باللترات) لإنتاج أي تهوية معطاة وتحسب لحد معين حسب سير الحصان . أثناء مشي وركض الحصان فإنه يزيد من التهوية بشكل كبير وذلك عن طريق زيادة التردد التنفسي مع زيادة صغيرة في الحجم المتبدل . التردد التنفسي أثناء الهرولة أو الركض مرتبط مع تردد الخطوة Stride frequency بشكل متساوٍ ولذا تجلب وبشكل كبير أي زيادة في التهوية من خلال الزيادات في الحجم المتبدل ، وزيادة صغيرة فقط في التردد التنفسي . تردد خطوة واسعة أعلى على السطح المستوي من على المنحدر وخلال جري الحصان على منحدر يتبنى تردد خطوه واسعة أقل وهنا لابد من زيادة الحجم المتبدل لإنجاز المستوى المطلوب للتهوية . ينتج عنه زيادات الحجم المتبدل نتيجة التمرين تمدد الرئة وزيادة في إفرازات السطوح التنفسية Surfactant ويساعد هذا الرئة في أن تصبح أكثر استجابة وطواعية أثناء التمرين .



الشكل رقم (٩,١). نسب التدفق خلال عملية الشهيق والزفير .

المفاتيح PIF : أعلى تدفق شهيقي ، PEF : أعلى تدفق زفيري ، V_I: الحجم الشهيقي ،

V_E : الحجم الزفيري ، T_I : زمن الشهيق ، T_E زمن الزفير ، T_T:وقت النفس الكلي ($T_I + T_E$)



الشكل رقم (٩,٢). رسم تخطيطي يوضح العلاقة بين التردد التنفسي ، الحجم الموجي ، التهوية الدقيقية وسرعة الركض (الجري) .

الازدواج الحركي التنفسي
Respiratory–locomotory Coupling

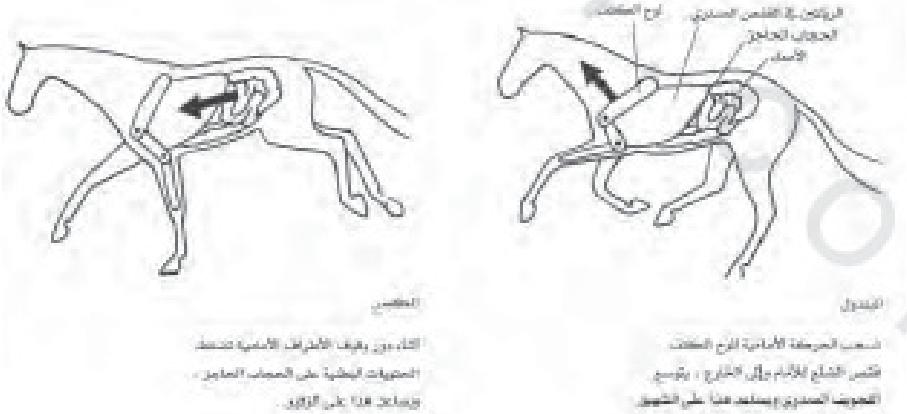
يصف الازدواج الحركي التنفسي أي نمط تنفس حيث أن هناك نسبة ثابتة بين التردد التنفسي وتردد الخطوة الواسعة . تظهر الخيول الصحّية الطبيعية الإزدواج الحركي التنفسي أثناء الهرولة السريعة والجري أو الركض خطوة واسعة بنسب متساوية إلى التنفس لحوالي ٩٩,٩ ٪ من الوقت . إن الاستثناءات هي نفس عرضي عند البلع وأثناء التعجيل acceleration وأحياناً عند تغير اللجام leads . فكّر بأنماط تنفسك الخاص: فعند الجري ، قد تجد بأنك تزفر بعد كل ثلاث خطوات واسعة على سبيل المثال ، أو عند ركوب الدراجة بعد كل دورة للدواسة ، فهذا هو الازدواج الحركي التنفسي ، ولكن في هذه الأمثلة ، نسب التنفس للمشي سوف تكون ١ : ٣ و ١ : ١ على التوالي . معظم الناس الذين يجرون بانتظام سوف يزاوجون على الأقل لبعض الوقت كما تبدو أن تكون عنده منافع نفسية والتي تساعد في التركيز على إبقاء التنفس

العميق المنخفض ، حتى عندما أنت تكافح والتي ستؤل لشهيق بسرعة وبنفس قصير . إن الاختلاف في الازدواج بين البشر والخيول هو مقدرة البشر على الاختيار وقت الشهيق بخطوتهم الواسعة بينما ليس للخيول هذا الخيار خلال عمل الهرولة السريعة أو الركض . إن الاختلاف الرئيسي الآخر بين هذين النمطين من الرياضيين هو أن جسم الحصان متموضع في المستوى الأفقي بينما الإنسان الرياضي يكون متموضع في المستوى الرأسي أثناء الجري .

نظرية البندول – المكبس الميكانيكية لتوضيح العلاقة بين التنفس والخطى الواسعة

Piston–pendulum Mechanical Theory to Explain the Relationship Between Respiration and Stride

تقترح هذه النظرية في أن العضلات التنفسية للحصان ، على خلاف عضلات الإنسان ، تساعد لمدى كبير للغاية بميكانيكية المشية . يخضع القفص الصدري والحجاب الحاجز لما يعرف بتأثير " مكبس – بندول " في جسم الحصان أثناء الجري السريع (انظر الشكل رقم ٩,٣) ، يساهم هذا التأثير بتخفيض العمل الكلي في الحقيقة (كمية الطاقة) للتنفّس ويخفضّ الجهد المطلوب بواسطة العضلات التنفسية .



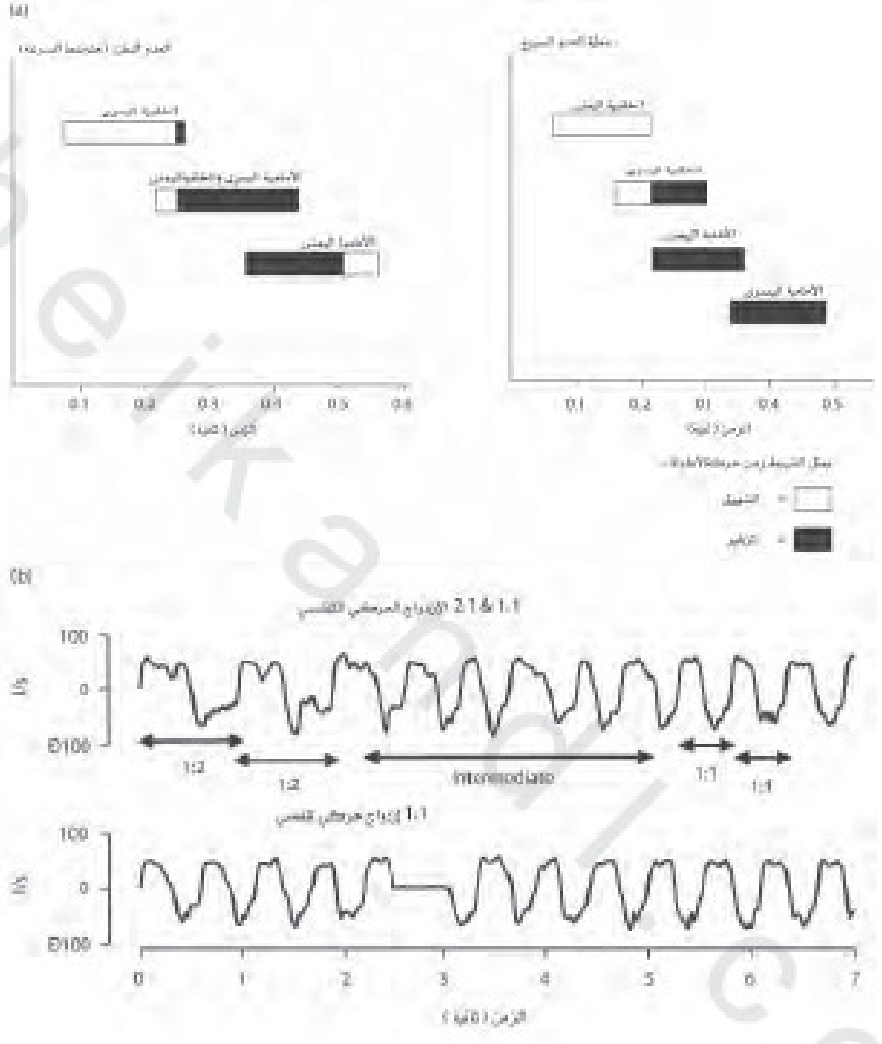
الشكل رقم (٩,٣). نظرية بندول المكبس الميكانيكية .

المكبس The piston

كلما ضربت الأرجل الأمامية الأرض في عملية الجري السريع ، فإن ذلك له تأثير كابح على بقية الحصان . بالإضافة إلى أن تأثير التباطؤ لعمل الرجل الأمامية ، يوجّه هذا في أغلب الأحيان جذع الحصان باتجاه الأسفل كأن أطرافه الأمامية تحط في الأرض . نتيجة لذلك ، خلال مرحلة الوقوف للأطراف الأمامية ، تميل المحتويات البطنية إلى التحرك باتجاه الأمام ويضغط هذا على الحجاب الحاجز مما يساعد هذا على الزفير . في نفس الوقت ، يكون لوح الكتف مضغوط إلى مقدمة الصدر الذي سيكون عنده أيضا تأثير ضغط القفص الصدري. وبالطبع هذا لا يمكن أن يحدث للإنسان عندما يركض قائماً. ولنتذكر هنا ، أن الحصان ليس عنده مثلنا عظم ياقة Collar bone ولذا إلى حدّ ما لوح الكتف أكثر تنقّلا أو حركةً .

البندول The pendulum

عند رفع الأرجل الأمامية والأيدي الأمامية ، يتم دفع لوح الكتف للأمام عن طريق الجزء العنقي للعضلة البطنيه المنشارية (المسننة) Serratus ventralis . ترتبط العضلة البطنية المسننة بالأضلاع ولذا فعندما تندفع لوح الكتف للأمام تندفع معه الأضلاع . يؤدي ذلك إلى رفع القفص الصدري للأمام وللخارج ، وتوسيع التجويف الصدري وتسهيل عملية الشهيق . العلاقة بين الدورة التنفسية ودورة الخطوة الواسعة موضحة في الشكل رقم (٩,٤) .



الشكل رقم (٩,٤). أ) رسم تخطيطي يوضح العلاقة بين توقيت الزمن للدورة التنفسية وتوقيت الأحداث في دورة حركة الطرف عندما يجلب ويجري حصان طبيعي (بتكيف من Attenburrow 1982) . ب) في اللوحة العلوية يأخذ الحصان نفس واحد أوليا خلال خطوتين واسعتين . هناك فترة انتقالية (متوسطة) عندما يتنفس الحصان ١: ٢ أو ١ : ١ قبل الاستقرار إلى نمط عادي ١ : ١ . توضح اللوحة السفلية حصان بـ ١ : ١ إزدواج حركي — تنفسي . تكسر هذه فقط باختصار بحوالي ٢,٥ ثانية عند عمليات جرح الحصان والتي لا يحدث خلالها تدفق هوائي .

النظرية العصبية العضلية لتفسير العلاقة بين التنفس والخطوة الواسعة

Neuromuscular Theory to Explain the Relationship Between Respiration and Stride

على أساس دراسات نشاط العضلة التنفسي في الخيول أثناء التمرين ، اقترح Ainsworth وزملاؤه عام ١٩٩٧ م من أن يكون توقيت التنفس " سلبي " وينتج أساسا بقوى حركية Locomotor forces ، وأن كل نفس مولدّ بالنظام التنفسي نفسه ويمكن أن يكون مستقلا عند الخطوة الواسعة . استنتجت هذه على أساس المقاييس الآنية من نشاط العضلة التنفسية الكهربائي بواسطة جهاز الإلكترو مايوجرافي Electromyography (EMG) والضغط المرئي وحركات الأطراف. وتم الاستنتاج بأنه مع أن القوى الحركية قد تساهم في التيار الهوائي إلا أنه ذو أهمية قليلة حيث القوى الحركية لا تسيطر على التنفس أولياً أثناء التمرين . يدعم ذلك ملاحظة أن تلك الخيول ذات الإعاقة في ممراتها الهوائية العلوية أو السفلية يمكنها التحول من ١ : ١ إلى ١ : ٢ ازدواج حركي تنفسي ، وبمعنى آخر : نفس واحد مقابل خطوتين واسعتين . وللخيول التي تتأثر بشكل معتدل، فهذا قد يُمثل نفس واحد فقط مقابل خطوتين واسعتين (ازدواج ١ : ٢) كل ٢٠—٣٠ نفس ، مع كون جميع التنفسات الأخرى مازالت ١ : ١. في الخيول ذات الإعاقة الحادّة ، قد يتحول الازدواج من ١ : ١ إلى تنفس ١ : ٢ المستمر .

التهوية الحويصلية

Alveolar ventilation ($\dot{V}_A$)

ليس كل الهواء الذي يدخل الجسم عند كل نفس يمكنه الوصول إلى الحويصلات الهوائية . تهدر نسب معنية من كل نفس ويطلق عليها الحيز الميت . تعني التهوية المهدرة أن الطاقة استمرت لإدخال الهواء في الرئة ولكنها لم تصل للمنطقة التي يحدث فيها التبادل الغازي . تذكّر بأن للرئة ممرات توصيل هوائي لا يحدث فيها

تبادل غازي وممرات هوائية تنفسية أخرى تم فيها عملية التبادل الغازي . ويمكن أن يتصور الواحد منا هذا بمصطلح رحلة في نفق القطار تحت الأرض . تستطيع أنت أن تذهب إلى الأسفل و إلى الأعلى خلال السلالم الكهربائية طول اليوم دون ركوب القطار والوصول باتجاه الأسفل إلى الرصيف حيث يقف القطار ويمكنك الركوب فيه .

تهوية الحيز الميت (V_D) هي إذن نسب الحجم المتغير التي لا تصل إلى السطوح التنفسية لسبب أو لآخر . و يمكننا اعتبار أن ما " أهدر بالتهوية " ومهما كان المتبقي فإن التهوية " المفيدة " هي المعروفة بالتهوية الحويصلية .

$$\text{التهوية الحويصلية} = \dot{V}_A - \dot{V}_E - \dot{V}_D$$

التهوية الضائعة (المهدرة) تحدد بحق الحيز الفسيولوجي الميت (V_{Dphys}) وتتكوّن من الحيز الميت التشريحي (V_{Dana})، والحيز الحويصلي الميت(V_{Dalv}). يشمل الحيز الحويصلي في الفرد السليم الطبيعي على المجاري التنفسية الجزء البلعومي الأنفي، والقصبة الهوائية، والشعب الهوائية الكبيرة. ويجب أن يُحسب أغلب التهوية الضائعة عند الراحة بحوالي ٥٠ — ٦٠ ٪ من الحجم المتغير عند الراحة . لذا فإن التهوية الحويصليه " المفيدة " هي فقط ٤٠ — ٥٠ ٪ من التهوية الكلية . فبينما الحصان يقوم بالتمرين، فإن الحيز الميت التشريحي لا يتغير بشكل ملحوظ . الممرات الهوائية العليا، مثل الحنجرة ، قد تتوسع فعلياً ولكن أبعاد أكثر التراكيب تبقى بدون تغير ولا يؤدي ذلك إلى زيادة ملحوظة وهامة في حجم الحيز الميت عند القيام بالتمرين . يعادل الحيز الحويصلي الميت (V_{Dalv}) النسبة من الحجم المتبدل التي ضاعت بسبب تهوية الحويصلات التي لم يصلها الدم . ينخفض في الحقيقة الـ V_{Dalv} أثناء التمرين حيث يزداد جريان الدم إلى الرئة والأوعية الشعرية التي كانت غير فعالة سابقا أو استلمت كمية قليلة من الدم الجاري و أصبح يصلها إلى حد كبير .

في الحقيقة يزداد الحجم المتبدل أثناء التمرين حتى ٣–٤ مرات فوق مستوياته عند الراحة . يؤدي ذلك إلى نقص في نسبة الحيز الميت إلى الحجم الموجي ($V_D : V_T$) وزيادة في التهوية الحويصلية (V_{AL}) . على سبيل المثال ، إذا كان حجم الحيز الميت التشريحي عند الراحة هو لترين والحجم الموجي هو ٤ لترات ، فالنسبة هي ٠,٥ أو ٥٠ ٪ عندما يكون الحجم الموجي ١٦ لتر ، وإذا كان حجم الحيز الميت هو ٢ لتر ، فإن النسبة هي فقط ٠,١٣ أو ١٣٪ . لذا فإن أكبر النسب في النفس تصل إلى مناطق الرئة المتضمنة في التبادل الغازي فعلياً . وهكذا فبينما يمارس الحصان التمارين ويزداد حجمه الموجي ، فإن النسب المئوية لكل نفس والتي قد تضيع هي نسبياً أقل . تنقص نسبة V_T / V_D خلال التمرين بسبب مجموعة الحجم الموجي المتزايد . والحقيقة أن الحيز الميت التشريحي يبقى بدون تغيير و يزداد ارتواء الرئة بالهواء .

هل الاقتران التنفسي الحركي فعال في تقييمه ؟

Is Respiratory–locomotor Coupling Over–rated ?

من أول نظرة، يبدو أن الاقتران التنفسي الحركي هو " شيء جيد ". بالتأكيد، يجب أن يكون كذلك إذا ما كان يوفر الطاقة . تتجلى المشكلة عندما يُدفع الحصان إلى السرعات العالية . لكي تزيد السرعة فإن أكثر الخيول ستزيد تردد الخطى الواسعة ومن ثم زيادة طول الخطى الواسعة . عند قمة سرعات تردد الخطى الواسعة سيصل أيضا الحد الأعلى ، في هذا الموقف ، زيادة التردد التنفسي لكي تزيد التهوية فإنه ليس خياراً بسيطة. والطريق الوحيد الذي يمكن للحصان أن يحصل على هواء أكثر في رئتيه (أعطى نَفْس مدّة الخطوة الواسعة) هو زيادة معدل تدفق الهواء . يتطلب هذا تأرجح كبير في الضغط الجنبوي الداخلي (الحويصلي) . بمعنى آخر يتطلب هذا عمل أكثر لكي يؤدي بالعضلات التنفسية . يكون التنفس عند مستوى معين من التهوية أبطأ وأعمق وأكثر فعالية من ناحية التهوية الحويصلية والأكسجين المأخوذ عن ذلك التنفس السريع

والضحل . على سبيل المثال ، التهوية الدقيقية من ألف لتر/ دقيقة يمكن أن تنجز عن طريق اتحاد تردد تنفسي من ١٠٠ نفس/ دقيقة وحجم موجي مقداره ١٠ لترات أو تردد حوالي ٢٠٠ نفس/ دقيقة وحجم موجي مقداره ٥ لترات . على أية حال ، الخيار الأخير ستكون أقل فعّالية للأسباب التي وصفت من قبل .

سيأخذ حصان ذو خطوة واسعة عدد خطوات أقل لتغطية مسافة معينة بأي سرعة معطاة . الخيول ذات الخطوات الواسعة الأطول قد يكون لها الحدود على مدى منافسة المشي قصير المدى ، واحتماليه أقل للوصول إلى تردد الخطوة الواسعة الأعلى ، ومن ثم تردد تنفسي أعلى للجري بأي سرعة معطاة . افتراض أن الازدواج التنفسي الحركي هو ١ : ١ ، يجب أن يكون الحصان بخطى واسعة طويلة قادر على حجم موجي أكبر من ذلك الحصان ذي الخطوة الواسعة القصيرة . كقاعدة ، تتطلب خيول الصيد الوطنية طاقة أكثر وهي أطول ولها خطى أوسع من نظرائها في السباق المنبسط .

هناك بعض الاستثناءات البارزة في ازدواج النسبة المثالية ١ : ١. الازدواج التنفسي الحركي بنسبة ١ : ٢ ، بمعنى آخر نفس واحد لكل خطوتين واسعتين ، يشاهد في هرولة الأنواع القياسية عند سباق السرعة والخيول مع RAO وكذلك في الخيول التي عندها إعاقة المسمر البوائي العلوي كما في حالة الفالج الحنجري Larymgeal hemiplegia معتدل إلى حاد (أنفاس صائتة roarers أو صافرات whistlers)، والخيول السليمة التي تهرول عند سرعات منخفضة . وعلى سبيل المثال، قد يتنفس حصان ١ : ٢ بالخطوة الواسعة عندما يكون في هرولة ثابتة بالتمام ، ولكن عليه أن يتحول إلى تنفس ١ : ١ عندما يهرول في السرعة عبر الريف على مستوى أحادية النجمة . تعدو الخيول السليمة بسرعات عالية لكن تتنفس خليط من ٢١ ٪ O_2 و ٦٪ CO_2 (عملياً ، تأخذ صفراً من ثاني أكسيد الكربون مع الشهيق) وتشاهد لتبني ١ : ٢ نمط تنفسي – حركي يؤدي إلى تخمين أن الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون الشرياني ربما يشارك في سيطرة ترابط المشية والتنفس . إنه لمثير أمر تلك الخيول التي

تعاني من الـ RAO ، تظهر ثبات تيار هوائي ونتاج التبادل الغازي من المرض في أغلب الأحيان بنمط تنفس ١ : ٢ ، مما يسمح لوقت أكثر لحدوث الشهيق والزفير . من المفترض أن آلية الازدواج الطبيعية مليئة بأكثر من اللازم في الحالات التي أبعدها نمط التنفس١ : ١ مربحاً ، من خلال مقاومة المجرى الهوائي بشكل مثير أو إزالة ثاني أكسيد الكربون كحل وسط . ويفيد التحويل من ١ : ١ إلى ١ : ٢ ، يجعل التنفس الذي يزداد في حجمه الموجي ينقص بزيادة الحيز الميت التشريحي كجزء من الحجم الموجي .

المقاومة الرئوية

Pulmonary Resistance

المقاومة الرئوية هي مقياس صعوبة حركة الهواء خلال المجاري الهوائية . ترتبط المقاومة العالية بنسب تدفق منخفضة أو جهد عالي ، بينما ترتبط المقاومة المنخفضة بنسب التدفق العالية أو الجهد الأقل . لأي اختلاف ضغط معطى لكلاهما. إن اختلاف الضغط بين المنخرين والحويصلات الهوائية معدوم . مجموع المقاومة الرئوية مبلغ مقاومة كل الخطوط الهوائية ضمن الرئة المعروفة بالمقاومة الكلية . ببساطة تقدر مقاومة الممر الهوائي الأكثر أهمية بنصف قطر الممر الهوائي (بالورية) Caliber . تشبه الممرات الهوائية خراطيم ري الحديقة . كلما كانت الخراطيم الضغط أسمك كلما أصبح معدل التدفق أكبر . هناك عوامل رئيسة أخرى مختلفة تؤثر على المقاومة الكلية والعلاقة معها يمكن حسابها تبعاً للمعادلة العامة لتدفق الغازات في الأنابيب :

$$R = \frac{8\eta l}{\pi r^4}$$

η حيث هي لزوجة خليط الغازات المتدفق خلال المجاري الهوائية ، l طول الممرات الهوائية و r هي نصف قطر الممر الهوائي .

عندما يصبح قطر الممر الهوائي نصف الطبيعي ، فإن المقاومة ستكون متزايدة بـ ١٦ ضعف ؛ لأن المقاومة متناسبة عكسيا مع نصف القطر المرفوع إلى الأس ٤ عادة ، π ،

ا ثوابت كما أن لا لزوجة الغاز ولا طول الممر الهوائي ستتغير أثناء حدوث التنفس. إذا أعطي الحصان خليطاً غازياً أقل كثافة للتنفس ، على سبيل المثال خليط Heliox (٧٩ ٪ هليوم ، ٢١ ٪ أكسجين مقابل ٧٩ ٪ نتروجين ، و٢١ ٪ أكسجين في الهواء)، فسينخفض كل من لزوجة الغاز المتنفس والمقاومة ، وعمل التنفس. وبشكل مثير للانتباه، يؤدي هذا أيضا إلى الزيادة المعنوية في أقصى استهلاك للأكسجين أثناء تنفس هادئ وطبيعي ترجع إلى الممرات الأنفية ، ٥٠ ٪ تسبب المقاومة الرئوية الكلية و٣٠ ٪ تبقى في الممرات الهوائية العليا و ٢٠٪ من نصيب خطوط الممرات الهوائية الصدرية الداخلية (الممرات الهوائية الموجودة ضمن قفص الضلوع أو الصدر) (انظر الشكل رقم ٩,٥) . يظهر أن الممرات الهوائية العليا الكبيرة تمثل مقاومة أعظم إلى الهواء المتحرك قدوماً وذهابا من الممرات الهوائية الصغيرة في الرئة . وهذا ليس بالغريب إذا ما اعتبرنا أي مجموعة الخراطيم التي تمد الحديقة بالماء أسرع ، مائة خرطوم قطر الواحد ١ سم أو عشرة خراطيم قطر الواحد منها ١٠ سم ؟ بالرغم أن الممرات الأنفية لها أنصاف أقطار أكبر من ، وأقل ، القنوات الخويصلية ، إذا قطعنا الرئة ووضعنا كل القنوات الخويصلية جنباً إلى جنب في تلك المقطع ، سوف نجد أن مجموع القنوات الخويصلية تمثل مساحة كليّة أعظم كممر هوائي من ذلك الممرين الأنفيين . زيادات نقص المقاومة كعدد جيل ممر هوائي (عدد قسم) بسبب زيادات مساحة المقاطع الكلية للممرات الهوائية (مجموع مساحات كل الممرات الهوائية عند كل مستوى أو جيل في الرئة) .

الشكل رقم (٩,٥). تقسيم المقاومة الرئوية الكلية في الحصان عند الراحة .

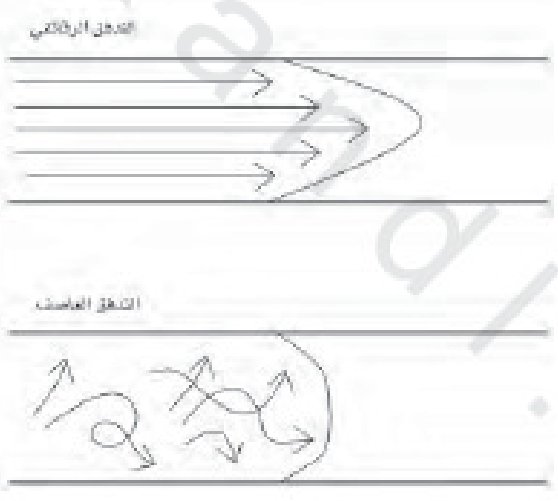
تفترض المعادلة الخاصة بالمقارنة الكلية أن التيار الهوائي رقائقي (صفائحي) أي أن ؛ تلك التيارات الهوائية خلال الممر الهوائي في أنماط وأشكال منظمة ولطيفة . لسوء الحظ ، بسبب نوع نسب التدفق التي ينتجها الخصان أثناء التمرين وجزئياً بسبب شكل المجاري الهوائية فإن التدفق ليس رقائقيا عادة ، بل عاصفاً . يعمل التدفق العاصف على خفض التقدم الأمامي مقارنة مع التدفق الرقائقي ، تزيد المقاومة عمليا لتدفق الهواء (انظر الشكل رقم ٩،٦) . أثناء التمرين ، تزداد نسب تدفق الهواء الجوي ويزداد الهيجان وتكون المقاومة حتمية زيادة في مقاومة الممر الهوائي ، حتمية ومستحيلة التجنب خلال التمرين . في البشر كما في الخيول ، نسب كبيرة من مقاومة الممر الهوائي الكلية هي بسبب الممرات الأنفية . يمكن للإنسان أن يتحول إلى التنفس عن طريق الفم في محاولة لاجتياز التيار الهوائي لعنق الزجاجة ، ولكن الخيول لا تستطيع ذلك ؛ لأنها ملزمة بالتنفس الأنفي . على أية حال ، مازال عندها مدى من الوسائل الفسيولوجية التي نستخدمها لمعادلة الزيادة الحتمية في المقاومة الكلية مع التمرين منها :

* توسيع الفتحات الأنفية .
* اختطاف الحنجرة .
* انفتاح الممرات الهوائية السفلية (توسيع الشعيبات) .

بالرغم من هذه التكيفات ، تستمر المقاومة الكلية في الزيادة أثناء التمرين إلى مستويات فوق التي يواجهها عند الراحة عندما كان التيار الهوائي منخفض . أثناء التمرين الشديد مثل العدو السريع ، هناك زيادة بمقدار الضعف في المقاومة الكلية بالرغم من كل التكيفات التي ذكرت سابقاً .

مكون كبير في زيادة المقاومة للتيار الهوائي أثناء الجهد هي بسبب زيادة في القصور الذاتي أو الخمول. القصور الذاتي هو خاصة ذاتية للمادة والتي أثناء حركتها

تسبب مقاومة التغير إما في الاتجاه أو السرعة، بمعنى آخر ؛ السرعة . إن تعجّل الطائرة أسفل المدرج لغرض الإقلاع ، يمكّنك من الشعور بأنك تضغط الظهر ضدّ المقعد كقصور جسمك الذاتي للتغلب عليه. بنفس الطريقة عند هبوط الطائرة وملامستها الأرض فهناك إبطاء مثير ، أنت تستمرّ في الحركة بينما أحزمة الأمان تقاوم قصورك الذاتي . وتوضح السفن الكبيرة أيضا خاصية القصور الذاتي . من الصعوبة أن تبدأ الحركة ، ولكن إذا ما بدأت فإنها تحتاج لوقت طويل للتوقف . كلما زاد التيار الهوائي من قصوره الذاتي يرتفع ويصبح أصلب لتبطئ و توقف ويعكس الجريان ، إن السهولة أو الصعوبة في إبطاء أو إيقاف وتعجيل الهواء في الممرات الهوائية فهذا كله يدعى الخمول Inertance .



الشكل رقم (٩,٦). التدفق الرقائقي والعاصف .

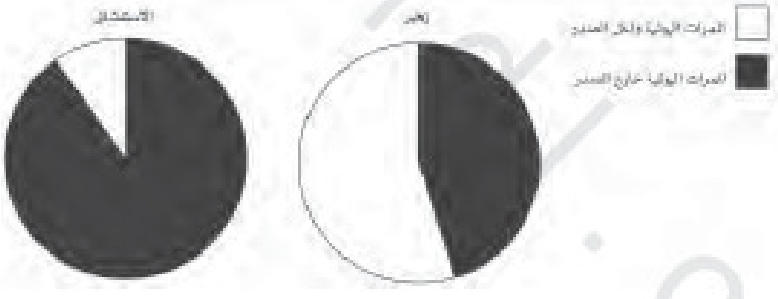
الآليات التي يستعملها الحصان لمحاولة وتخفيض المقاومة لا تمر بدون ملاحظة . ولقد استعملت الأدوات المختلفة لتوسيع فتحتي المنخرين . حالياً الأكثر شعبية في هذا، هي نسخة شريط المجرى التنفسي البشري الموسع والتي أنتجت للخيول وكان هدفها منع النسيج الناعم في الشق الأنفي الذي يصبح ممتصّا إلى الداخل أثناء عملية الشهيق .

الكفاح للتنفس
The Struggle to Breathe

عند نقاط معنية في الدورة التنفسية ، تكون الضغوط على خارج الممرات التنفسية أكبر إلى حد كبير من تلك في الداخل ، يصبح هنا الممر الهوائي مضغوطاً ويمكن أن يحدث به انهيارا جزئياً . يشبه ذلك كرتون الشراب الذي ينكمش أو ينهار عندما تصل إلى نهاية الشرب ، حيث يختلف الضغط بين داخله وخارجه ويكون كاف لتحطيم جدران الكرتون . يشبه ذلك ، بالرغم من أنه بعض الشيء أقل إثارة ، حدوث تأثيرات على الممرات الهوائية لكل الخيول أثناء قيامها بالتمارين العالية . تتأثر الأجزاء المختلفة للنظام الرئوي عند المراحل المختلفة من الدورة التنفسية . خلال عملية الشهيق، تتأثر فتحتي المنخرين و البلعوم و القصبة الهوائية والقصيبات يمكن أن تصبح منكمشة ؛ لأن ضغطها الداخلي سلبي . خلال الزفير وعندما يطرد الهواء من الحويصلات الهوائية ، ربما يكون الضغط عبر جدران الممرات الهوائية الأصغر (خصوصاً تلك التي ليس لديها غضاريف) بما فيه الكفاية أن يضغط البعض منها . خلال التمرين العالي وفي الوقت عندما نحن يمكن حقا نعمل بدون زيادة في مقاومة الممر الهوائي ، تبدأ الممرات الهوائية بالانهيار ، وتعرف هذه الظاهرة بالانهيار الجزئي الديناميكي Dynamic partial collapse وهي شيء طبيعي يحدث في الخيول السليمة الطبيعية .

يؤثر الانهيار الجزئي الديناميكي على تقسيم مقاومة الممر الهوائي الكلي ، معتمداً على ما إذا كان الحصان يقوم بعمليات الشهيق أو الزفير . أثناء الشهيق عند التمرين تهتم الممرات الهوائية خارج القفص الصدري (الممرات الهوائية خارج الصدر) بتشكيل أكبر من ٩٠ ٪ من المقاومة الكلية . أثناء الزفير عند التمرين ، تشكل الممرات الهوائية داخل الصدر أكثر من ٥٠ ٪ من المقاومة الكلية للممر الهوائي (انظر الشكل رقم ٩.٧) . تساعدنا ديناميكية مقاومة الممرات الهوائية لفهم أسباب بعض

المشاكل التنفسية والتي تتسبب في قفل الممرات الهوائية خلال عملية الشهيق وبعضها في عملية الزفير. بينما تقدم الممرات الهوائية العليا النسبة الأعظم من المقاومة الكلية أثناء الشهيق ، تؤثر المشاكل التي تحدث للممرات الهوائية العليا مثل الشلل الشقي الحنجري الأيسر (هدير) على الشهيق أكثر منه على الزفير. تظهر اضطرابات الممر الهوائي السفلي مثل RAO أكثر أثناء الزفير؛ لأنها تتم عند مساهمة الممرات الهوائية السفلية بالجزء الأكبر من المقاومة. هناك استثناء وحيد محتمل هو إزاحة ظهرية من الحنك الناعم Soft palate التي نجدها شائعة في خيول السباقات وتلاحظ في أغلب الأحيان من خلال الابتلاع المتكرر وترتبط أحياناً بضوضاء " الغرغرة " " gurgling " والأداء السيء . بالرغم من إعاقة الممرات الهوائية العليا، وبسبب طبيعة الإعاقة تؤثر هذه الحالة على كل من الشهيق والزفير ، بالرغم أن الأخير عادة يصل إلى أقصاه .



الشكل رقم (٩,٧). تقسيم المقاومة الرئوية الكلية في الحصان عند التمرين .

لقد اقترح أن القصبات الهوائية إذا كانت دائرية أكثر منها بيضاوية تكون أقل عرضة للانهيار الديناميكي . تمدد القصبة الهوائية عن طريق تشجيع أو السماح للحصان بشد رأسه ورقبته قد يخفضان الصخب ويصلبان القصبة الهوائية أيضاً لكي تكون أقل عرضة للضغط الديناميكي . وعلى العكس ، منع الحصان من تمديد رأسه

ورقبته أثناء قيامة بعمل أو مجهود شاق يزيد مقاومته للتيار الهوائي في الممر الهوائي العلوي (خصوصاً في الحنجرة) وتتأثر تهوية الحصان . في المراحل الأخيرة للتمرين الحادّ، مثل السباق المنبسط ، غالباً تقوم الخيول بتمديد رأسها ورقبتها ومن المحتمل جدا أن تكون هذا محاولة لزيادة التهوية . العديد من الخيول التي " تعمل ضجة " أثناء التمرين (الجهد) فهي على الأرجح تقوم بذلك كون رؤوسها ورقابها مثنية وغير مسموح لهم بتمديدهم. يمكن أن يُرى أثر الانهيار الديناميكي للقصبة الهوائية الشديد (القاسي) على الخيول بتأثر الـRAO من خلال الفحص بالمنظار أثناء الراحة .

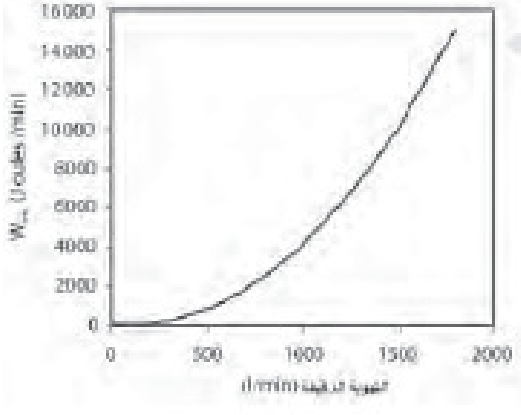
بعد التمرين فإن التكيف الذي يقوم به الحصان لإنقاص المقاومة الكلية يزن أكثر من العوامل الطبيعية التي تعمل على زيادتها أثناء التمرين، بالنتيجة النهائية تكون المقاومة الكلية بعد التمرين مباشرة أقل منها قبل التمرين . ربما تكون مشكلة مقاومة الممرات الهوائية مركبة من كل من الاستراحة وأثناء التمرين باستنشاق المهيجات التي تؤدي إلى إفراز المخاط المتزايد ، حيث يسد المخاط الممرات الهوائية ويضيق الشعب الهوائية (تقلص العضلات الملساء المحيطة بالممرات الهوائية) . يمكن أن تخفضّ هذه التأثيرات بإبقاء خيولنا الرياضية في بيئة تكون خالية من الغبار. يجب الانتباه إلى التفاصيل الصغيرة مثل تنظيف الإسطبل أثناء وجود الحصان خارج الإسطبل ويمكن أن يؤدي هذا إلى اختلاف كبير. يزال الحطام والمواد المعينة الأخرى بالعادة من الرئة بواسطة المجاري المخاطية المهدبة ، ولكن ربما يتم التنظيف إذا ما كان رأس الحصان ثابت في وضع قائم الزاوية لفترات طويلة من الوقت كما هو الحال أثناء الرحلات الطويلة حيث يكون الحصان في عربة النقل الخاصة . أيضا تقتل الإصابات الفيروسية كالأنفلونزا عدداً كبيراً من الخلايا المهدبة المبطنة للقصبة الهوائية والمجاري الهوائية الكبرى ، لذا فإن القدرة على إزالة الحطام من الرئة بعد الأنفلونزا ربما ينقص و يهيئ

الحيوان إلى إصابات بكتيرية ثانوية . تشير الأبحاث في الأمراض التنفسية للخيول إلى مزيد من الحاجة نحو تغذية كل الخيوّل ، بدلاً من فقط الخيول التي تعاني من RAO ، والحد من تعرضها لغبار العلف وحفظها على أرضية مطاطية .

عمل التنفس

The Work of Breathing

يعتبر النفس الداخل والخارج عملية جداً نشطة للغاية. تتطلب العضلات التنفسية طاقة لكي تؤدي عملها الميكانيكي، عمل التنفس . عندما تزيد التهوية ، يزداد معها عمل التنفس (انظر الشكل رقم ٩,٨) . يعني هذا بأن يزداد استهلاك العضلات التنفسية للأكسجين تمشياً مع سرعة الركض . على أية حال ، لا تستطيع زيادة التهوية إلى ما لانهاية. فمن المحتمل بأن هناك نقطة حرجة حيث أن أي أكسجين إضافي يؤخذ كنتيجة للزيادة في التهوية سوف يستعمل كليًا في العضلات التنفسية . في هذه الحالة ، هناك فوائد محدودة في مواصلة زيادة التهوية . كما هو خطأ اقتصادياً لصرف ١٠ جنيهات إسترلينية على البنزين للسفر إلى دكان ما حيث ستكون مشترياتك ٥ جنيهات إسترلينية أرخص ، وهو اقتصادياً خطأ للعضلات التنفسية للاستمرار بزيادة التهوية تمشياً مع سرعة ركض بشكلٍ غير محدد . في الخيول لربما تحددّ قدرة التمرين الزيادة في عمل التنفس .



الشكل رقم (٩,٨) العلاقة بين عمل النفس والتهوية مستندة على بيانات من (Art et al 1990a)

التمرين المؤدي إلى نقص التأكسد الشرياني
Exercise – induced Arterial Hypoxaemia

في الفصل الخامس ناقشنا التصميم الرائع للرئة فيما يتعلق بزيادة انتشار الأكسجين عبر الغشاء الحويصلي الشعري . عند الراحة و أثناء تمرين معتدل وحتى لا يكون هناك مشاكل تعبر كميات كافية من الأكسجين من الحويصلات إلى مجرى الدم، لأن الضغط الجزئي للأكسجين في الشرايين يبقى قريب من (١٠٠ مم زئبق) (١٣,٣ KPa) . الحقيقة بأن ضغط الأكسجين الشرياني الجزئي مستقر تقريباً عند (١٢ — ١٣,٣KPa) (٩٠ — ١٠٠ مم زئبق) خلال المستويات المنخفضة والمعتدلة من التمرين ، يعكس هذا قدرة الأجهزة التنفسية والقلبية الوعائية لمجاراة توفير الأكسجين بنجاح حسب الطلب . في الحقيقة، للذهاب من الراحة إلى المشي والهرولة ، قد يزيد في الحقيقة الضغط الجزئي للأكسجين في الدم بعض الشيء .

على أية حال، أثناء تمرين عال الشدة ، عادة، عند الخيول اللائقة والسليمة يهبط الضغط الجزئي الشرياني للأكسجين من حوالي (١٠٠ مم زئبق) (١٣,٣KPa) إلى قيمة صغيرة في حدود (٧٠ مم . زئبق) ٩,٣ KPa (نقص التأكسج الشرياني)، والذي يكون عادة مصحوبا بزيادة في الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون من حوالي (٤٥ جم . زئبق) ٦,٠ KPa عند الراحة إلى (٦٠ — ٧٠ مم . زئبق) ٨,٠–٩,٣ KPa أثناء التمرين المكثف (زيادة ثاني أكسيد الكربون في الدم Hypercapinia) (الجدول رقم ٩,١) .

تعتبر زيادة ثاني أكسيد الكربون في الدم دليل على أن لدى الحصان نقص في التهوية من جراء القيام بمجهود شاق . الحصان بشكل حرفي لا يهوّى بما فيه الكفاية لمستوى العمل، وهذا من المحتمل جداً بسبب قيود ازدواج التنفس الحركي على الأرجح .

الجدول رقم (٩,١). القيم النموذجية لمتغيرات التنفس في الخيول.

	الـــــراحـــــة	أقصى مجهود
النسبة التنفسية f_R (نفس / دقيقة)	١٠ – ١٥	١٢٠–١٥٠
الحجم الموجي ، V_T (lBTPS)	٣–٦	١٤–٢٠
التهوية الدقيقية ، $\dot{V}_E$ (l/min BTPS)	٤٠–٦٠	١٥٠٠–٢٠٠٠
أقصى تدفق شهيقي ، (l/s)PIF	٣	٨٠
أقصى تدفق زفيري (l/s) PEF	٣	١٠٠
الأكسجين المستهلك ، $\dot{V}_{O_2}$ (ml/min/Kg ,STPD)	٥	١٣٠–٢٠٠
ثاني أكسيد الكربون المنتج $\dot{V}_{CO_2}$ (ml/min/Kg, STPD)	٤	١٤٠–٢٢٠
الضغط الجزئي للأكسجين في الدم الشرياني PaO_2 (mmHg @ 37°C)	٩٠–١١٠	٧٠
الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون في الدم الشرياني PaO_2 (37°C) (mmHg @	٤٥	٧٠
الرقم الأيدروجيني للدم الشرياني P^H (37°C)	٧,٤	٧,١

عادة ، يزيد الهبوط في ضغط الأكسجين الشرياني في سياق التنفس و تحفيز الزيادة التعويضية في التهوية لصدّ نقص التهوية الظاهرة (تؤدي التهوية الناقصة إلى زيادة ضغط ثاني أكسيد الكربون الشرياني الجزئي) . ليس من المعتاد أن يتحمل الحصان نقص أكسجين شرياني وفرط أكسيد الكربون في الدم عند قيامه بالتمارين القصوى دون جعل أي زيادات تعويضية في التهوية . وعادة يستطيع الأشخاص الرياضيون إبقاء مستوى غاز دمائهم عند أفضل وضع عند مستويات التمرين العليا ، مع نقص أكسجين شرياني فقط يمكن رؤيته في أشخاص رياضيين معينين يعملون عند تمارين شدتها عالية للغاية . قُدمت عدّة نظريات لتوضيح ما تواجهه الخيول أثناء

التمرين الناتج عن نقص التأكسد الشرياني . على الأغلب، تفسير حدوث النقص الأكسجيني الشرياني كنتيجة لمجموعه من ثلاثة عوامل :

١- تعمل كثافة التمرين العالي على تحويل بعض من سريان الدم الرئوي عبر التوزيع الشرياني الرئوي إلى التوزيع الوريدي الرئوي عن طريق المرور على سطح التبادل الغازي ، بمعنى آخر، نسبة صغيرة من الدم الوريدي الرئوي لا يحدث أبدا أن تقابل الغاز الجديد المستنشق في الحويصلات الهوائية ويختلط على الجانب الآخر للرئة بالدم الذي تمت إعادة أكسدته، مما يؤدي إلى خفض متوسط الضغط الأكسجيني الشرياني .

٢- تحسينات الإرواء الرئوي ونسب التدفق العالية من الدم خلال الدورة الرئوية نتيجة التحسينات في الضخ القلبي وكنتيجة للتدريب الذي يخفّض أوقات العبور عبر سطح التبادل الغازي . بمعنى آخر ، تصبح نسب تدفق الدم خلال الدوران الرئوي سريعة للغاية لدرجة أنه ليس هناك وقت كاف لأخذ أكسجين كاف .

٣- أخيرا، بسبب الضغوط الوعائية الرئوية شديدة الارتفاع أثناء التمرين ، يؤدي بعض البلازما المعصورة من الأوعية الشعرية، إلى سماكة مؤقتة للغشاء الحويصلي الشعري أثناء التمرين . كأحد العوامل التي تحدّ معدل الانتشار هي مسافة الانتشار ، يؤدي ذلك إلى زيادة الوقت الذي يأخذه الأكسجين للانتشار من الحيز الحويصلي إلى الأوعية الشعرية .

في بعض الحالات، يصبح نقص التأكسد الشرياني أسوأ في الخيول المتدّربة، خصوصاً ذوي القدرة القلبية الوعائية الكبيرة : يعود ذلك؛ لأن التدريب يسمح لهم للعمل في مستويات يحدث عندها نقص التأكسد ، أو لأن جريان الدم يتحسن إلى مثل هذا المدى الذي عنده تكون فيه أوقات العبور الرئوية ناقصة ، وبمعنى آخر ، جريان

الدم أسرع خلال الأوعية الشعرية الرئوية . نتائج النقص الأكسجيني الشرياني يكون أقل عند الحصان من الإنسان الرياضي حيث يمتلك الحصان القدرة لزيادة عدد الكريات الحمراء في الدورة الدموية من تلك المخزنة في الطحال . الأشخاص ليس لديهم القدرة على القيام بذلك . على أية حال ، ماذا يعني هذا للحصان ؟ ، أنه بالرغم من أن الضغط الجزئي للأكسجين يتناقص في الدم الشرياني مع التمرين الحاد ، تزداد كمية الأكسجين المحمولة (المعروفة بمحتوى أكسجين الدم والتي هي تتناسب مع عدد الكريات الحمراء بحوالي ٣٠ ٪ بين الراحة والتمرين المعتدل القوة (٥٠ — ٦٠ ٪ $\dot{V}O_{2max}$) . وبزيادة الكثافة يعود أقصى استهلاك للأكسجين إلى ١٠٠٪ أو أعلى ، ينخفض محتوى أكسجين الدم الشرياني ، لكن مازال يبقى أعلى منه عند الراحة .

الاستجابة التنفسية للتدريب

Respiratory Response to Training

أوضحت عدد من الدراسات المختلفة أن الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين يزداد بما مقداره ٣٠ ٪ خلال الأسابيع القليلة الأولى من بداية التمرين . عموما يتوقع أن تكون الزيادة حوالي ١٥- ٢٠ ٪ . التحسينات في السعة الهوائية لها كل شيء متعلق بالتكيف الذي يتم على مستوى العضلات وجهاز القلب و الأوعية الدموية ، وقليل جدا ، إذا وجد ، له علاقة بأي تكيفٌ تنفسي . ما يبعث على الاستغراب ، أنه ليس هناك تقريباً تحسن في قدرة سعة التهوية كنتيجة للتدريب . قد تزيد قوة العضلة التنفسية عن قبل بما مقداره ١٠٪ ، ولكن لا يساهم ذلك كثيراً إلى تحسين أقصى استهلاك للأكسجين. يفترض العديد من الناس أنه لابدّ أن يكون هناك تحسينات كبيرة في وظيفة الجهاز الرئوي ؛ لأن خيولهم لا " تنفخ " كثيراً عندما تكون لائقة صحياً . هنالك علاقة بين المدى الذي "تنفخ فيه الخيول " بعد التمرين وبدرجة استدعاء

مسارات الطاقة اللاهوائية ودرجة حرارة الجسم . الحصان غير اللائق صحياً سيعتمد أكثر على إمدادات طاقة التنفس اللاهوائي ، و يكون جسمه أحر وتنظيم درجة حرارة جسمه أقل منه عندما يكون في وضع صحي لائق . بدلاً من القدرة الفجائية على استهلاك الأكسجين أكثر ، يصبح الحصان اللائق ببساطة عبارة عن ماكينة هوائية ذات كفاءة أكثر ، تراهن في تسليم و استعمال الأكسجين الذي يجلب . يظهر التحسين في الاستفادة من الأكسجين عند الخيول التي يمكن أن تخبّ فوق التل بدون نفخ ، في عمل كان هو لا يستطيع القيام به . الحقيقة أن عدم الاستجابة للتدريب ، يجب أن يرسل رسالة واضحة . أن تتلف رئتي حصانك بإبقائه في بيئة مترية وعلى الدريس وتبن ملئ بالفطر ، فهذا ضرر لا يمكن التغلب عليه ولا تعويضه من خلال تدريب الرئتين للتعويض عن هذا الضرر . قد يكون العرج بسبب المشاكل التنفسية الأكثر شيوعاً لأداء الخيول غير المتوقع .

النزف الرئوي بسبب التمرين

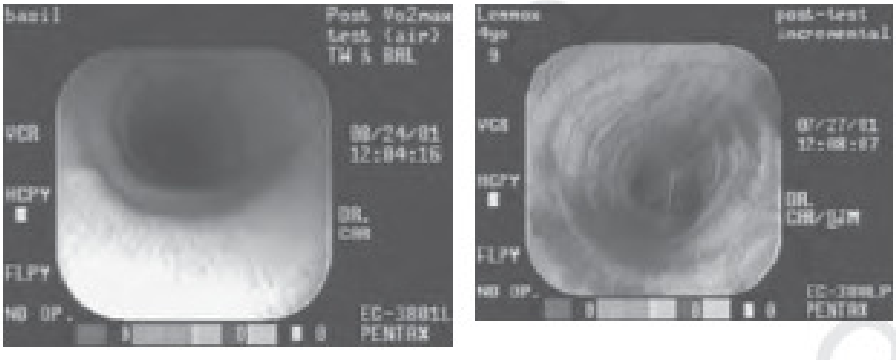
Exercise – Induced Pulmonary Haemorrhage(EIPH)

يستحق النزف الرئوي بسبب التمرين إشارة خاصة حيث أنه قد تكون " الشذوذ " الأكثر شيوعاً الذي يؤثر على الحصان أثناء التمرين . التمرين المحدث للنزف الرئوي أي نزف من الأوعية الدموية الرئوية أثناء التمرين (تمرين تحريضي) . تتضمن المصطلحات العامّية " نزف " و طفحان الأوعية الدموية " ، بينما كان موثقا لأكثر من ٣٠٠ سنة سابقة أن نسبة مئوية صغيرة من أحصنة السباق تتعرض إلى دم في الممرات الخيشومية بعد السباق ، ومثال ذلك : نزف تشيلدرس Bleeding Childers' ، لم يكن معروفا حتى تم إدخال المنظار ذي الألياف البصرية حديثاً نسبياً في السبعينيات (١٩٧٠م) والذي أوضح أن الدم في الخياشيم أثناء أو بعد الجهد البدني المضني ينشأ بشكل دائم تقريباً من الرئتين ، أكثر منه في الممرات الهوائية العلوية .

مع الاستخدام الواسع الانتشار و الأكثر للمنظار في الممارسات والأبحاث البيطرية، أصبح واضحاً أن مابين ٤٠ – ٧٥ ٪ من الخيول الأصيلة سيكون عندها بعض الدم في قصبتها الهوائية بعد السباق . تتفاوت درجة النزف إلى حد كبير بين أفراد الخيول المختلفة ، قد نرى في خيول ما دماً مرئياً في ممراتها الخيشومية (الرعاف) وغالباً ما يطلق عليها " النزافون Bleeders " (انظر الشكل رقم ٩,٩) . لقد نشر الباحث كوك Cook (١٩٧٤م) دراسة مفادها أن هناك ٠,٢٥ – ٢,٥٠ ٪ من الخيول تصاب بالرعاف .

الشكل رقم (٩,٩). الرعاف .

هناك عدد من الاستطلاعات المنشورة باستخدام المنظار لحادثة النزف ما بعد السباق والتي تمت بواسطة مختصين ومن قبل مجاميع بحثية وفي بلدان مختلفة حول العالم. السبب في وجود عدد من التقارير المختلفة غير الواضحة ، قد يكون الوقت الذي يتم فيه عادة إجراء مثل هذا الفحص المنظاري بعد السباق . وإذا كان موقع النزف وبشكل دائم تقريباً من نهاية الرئة، سيستغرق الدم بعض الوقت للتحريك قحفياً وبطنياً على طول الممرات الهوائية ، أي ، للأمام ونازلا من خلف الرئة نحو مقدمتها ووسطها ، وحتى القصبة الهوائية . بنفس الطريقة ، إذا ما تركت فترة زمنية طويلة بعد التمرين وحتى الفحص باستخدام المنظار، فلربما تظف من القصبة الهوائية و تم ابتلاعه . الوقت الذي تم اختياره بواسطة معظم الباحثين لإجراء الفحص المنظاري من أجل تقييم وجود الدم في القصبة الهوائية كان ٣٠ — ٤٠ دقيقة من نهاية التمرين (انظر الشكل رقم ٩,١٠) .



الشكل رقم (٩,١٠). دم في القصبة الهوائية كدليل على EIPH . توضح الصورة اليسرى النزف من الدرجة ١، توضح الصورة اليمنى النزف من الدرجة ٣ . يمكن أن يرى الجوجو في مركز الصورة اليمنى .

لا يشاهد الدم دائماً في القصبة الهوائية بعد التمرين الشديد . اقترح Whitwell & Greet عام (١٩٨٤م) أن أكثر من ٩٠ ٪ من الخيول الأصيلة في التدريب ذات الخبرة في العدو السريع يحدث لها درجة من النزف وبشكل متكرر. واستند ذلك على تحليل عدد كبير من غسول القصبة الهوائية لخيول التدريب. تقريباً كل الخيول التي تجري بسرعة كان عندها مرض التبلعم الهيموسيدريني Haemosiderophages موجود في غسول القصبة الهوائية. مرض النزف هو خلايا أكولة Macrophages تحوي صبغة الهيموسيدرين haemosiderin من خلايا دم حمراء متحطمة والتي في طريقها للإزالة من المجاري الهوائية . هكذا يدل ، وجود التبلعم الهيموسيدريني على حدوث نزف مسبق. بعد دخول الدم إلى الرئة ، فإنه يستغرق حوالي ٧ أيام للتبلعم الهيموسيدريني للظهور في غسيل القصبة الهوائية ويبقى كذلك لمدة ثلاثة أسابيع على الأقل ، يدل وجود التبلعم الهيموسيدريني على أن الحصان تعرض سابقاً لنزف بسبب التمرين في وقت ما حديثاً . على أساس الفحوص التشريحية للرئتين بعد الوفاة لخيول السباق في هونكنج ذكر ، Mason , *et al.* عام (١٩٨٣م) أن ٩٤ ٪ من خيول السباق المتقاعدة كان لديها علامات من الـ EIPH السابق ، بينما ظهر ذلك عند جميع الخيول المنهارة أثناء التدريب .

لقد تبنى العديد من الباحثين دليل مدرج لكمية الدم المرئي في القصبية الهوائية ، بدلاً من الاكتفاء بتسجيل وجود أو غياب الدم في القصبة الهوائية . (دليل الدرجات) المستعمل في مؤسسة الائتمان الصحي الحيوانية هو على النحو التالي :

* درجة صفر لا يرى الدم .
* درجة ١ عند ظهور بقع من الدّم .
* درجة ٢ عند ظهور بقع دم أكثر ، ولكن أقل من جريان مستمر .

* درجة ٣ عند ظهور جريان مستمر ولمسافة أقل من النصف عرض القصبة الهوائية .

* درجة ٤ عند ظهور جريان مستمر ولمسافة أكثر من النصف عرض القصبة الهوائية .

* درجة ٥ عند ظهور الممرات الهوائية مغمورة بالدم .

مع تقدم العمر كان هنالك ازدياد في عدد الخيول الذي قصباتها الهوائية تحتوي الدم بعد السباق وكذلك ارتفاع في درجة النزف (درجة ٣ أو أعلى) هي الأكثر شيوعاً في الخيول متقدمة العمر.

هنالك طريقة خالصة و أكثر حساسية إلى تحديد التمرين المحدث للنزف بعد التمرين كانت باستخدام حساب الكريات الحمراء في عينات غسيل الحويصلات الهوائية القصبية Bronchoalveolar larvge , BAL . في هذه الطريقة لفهم الموضوع (ينوم) يهدأ الحصان أولاً . نادراً ما يستخدم التخدير لغسل القصبات لوحدها ، إلا في حالة الخيول الصعبة للغاية . وبعد أن يمر المنظار عبر القصبة الهوائية . يجمع غسيل القصبة الهوائية ويتم تسجيل وجود أي دم . يدفع المنظار باتجاه الكارينا Carina (نقطة انقسام القصبة الهوائية إلى اثنتان) و عبوره إلى الرئة اليسرى أو اليمنى على طول يمين أو يسار محور القصبة الرئيس . و ما لم تكن الممرات الهوائية للحصان ملتهبة أو مستحثة ، فإنه من غير المحتمل أن يسعل مرة أو مرتين أثناء عبور جهاز المنظار لأسفل القصبة الهوائية . على أية حال، تقريباً تكح كل الخيول عند عبور المنظار إلى القصبات، لهذا السبب، مجرد الوصول إلى القصبات، درجة حرارة الجسم عند التخدير الموضعي (عادة ١٠ – ٣٠ مل من محلول ٢ ٪ الزالوكين Xylocaine أو مخدّر موضعي مشابه) تكون متسربة أسفل قناة منظار فحص العينة أثناء تقدمه . يكون المحلول عند درجة حرارة الجسم ؛

لأن المحاليل الباردة ربما تسبب السعال . يندفع جهاز المنظار حتى يصل إلى جيل من الممرات الهوائية الأصغر منه حجماً مما يجعلها تتردد Wedged بين خارج المنظار وجدار الممر الهوائي . يتم صب حوالي ١٠٠ — ٢٠٠ مل من ٠,٩ ٪ المحلول الملحي المعقم الدافئ (٣٧°م) إلى جزء الرئة ما بعد النقطة التي عندها المنظار المؤتد ، عن طريق قناة فحص العينة . يساعد في هذه الحالة السائل دافئ سائل البطانة الطلائي (السائل الذي يبطن الممرات والحويصلات الهوائية) على الذوبان في المحلول الملحي وكذلك يقلل من خطر السعال . السعال عند إجراء هذه المرحلة غير مرغوب فيه إطلاقا حيث إنه قد يؤدي إلى الربط (التثبيت) بين جهاز المنظار والممر الهوائي والذي قد يكون مكسورا مما يجعل المحلول الملحي يندفع للخلف ماراً بقمة جهاز المنظار والذي يصعب معه أخذ العينة .

يستعاد فوراً الحجم الكامل من المحلول الملحي الذي تم دفعة بالامتصاص اليدوي بواسطة الحقنة الطبية ، أو أحياناً بواسطة مضخة ماصة . التقليد المعروف هو أخذ ١٠٠ مل (من حقنتين كل منهما ٥٠ مل) ، بعد أن يتعافى الحصان ثم تجمع ١٠٠ مل ويتعافى منها . يجمع الجزءان سوياً مع بعضهما البعض . إذا تم جمع أكثر من ٦٠ ٪ من حجم السائل المدفوع للفحص فيعتبر ذلك كافياً من سائل العينة . لا يمكن استعادة كامل المحلول الملحي ، ولكن يحتمل أن يستعاد ٨٠ ٪ منه . المحلول الملحي الذي يبقى في الرئة ليس له آثارا سيئة وسيتم امتصاصه عبر الرئة إلى الجهاز اللمفاوي .

إذا أدى غسيل الحويصلات الهوائية القصبية ما بعد التمرين ، يمكن أن يحسب عدد خلايا الدم الحمراء باستعمال جهاز عد خلايا الدم و إحصاء أو عد كريات الدم الحمراء يعبر منه لكل حجم من سائل غسيل الحويصلات الهوائية القصبية. عند

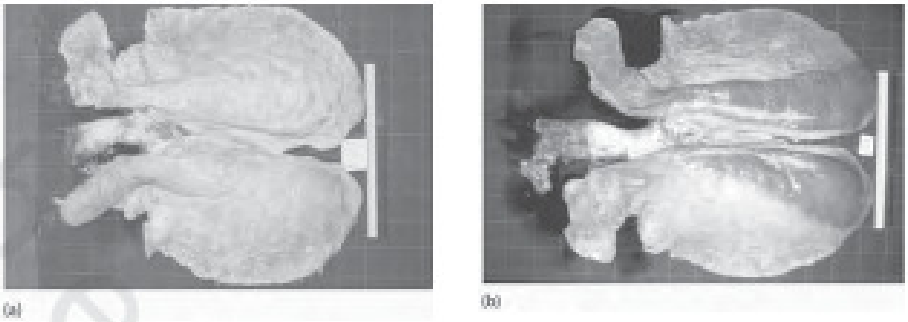
الراحة، عدد كريات الدم الحمراء هو تقريبا بشكل دائم تحت ١٠ خلايا لكل ميكرولتر من غسيل الحويصلات الهوائية القصبية ، ما لم يحدث نزف كان سببه إجراء غسيل الحويصلات الهوائية القصبية نفسه . إنه غير عادي لإجراء غسيل الحويصلات الهوائية القصبية أن يحدث نزف ، لكن هذا يمكن أن يحدث إذا لم يتعاون الحصان، إذا تحرك جهاز المنظار قدوماً وذهاباً في المجاري الهوائية ، أو إذا كان الحصان يكح كثيراً . حساب كريات الدم الحمراء في غسيل الحويصلات الهوائية القصبية ما بعد التمرين هو اختبار أكثر حساسية لاكتشاف النزف الرئوي بسبب التمرين من إحراز وجود الدم في القصبة الهوائية. على سبيل المثال، بعد تمرين طاحونة دوس معتدل إلى عالي الشدة ، مثال ذلك دقيقتان عند ١٢ متر/ ثانية (٧٢٠ متر/ دقيقة) على منحدر٣° ، معظم الخيول لا يظهر فيها دم في القصبة الهوائية ولكن عدد كريات الدم الحمراء و غسيل الحويصلات الهوائية القصبية قد يتراوح من ٣٠٠ – ٣٠٠٠ غسيل الحويصلات الهوائية القصبية لكل ميكرولتر من كريات الدم الحمراء. ظهور الأحجام الصغيرة للدم في غسيل الحويصلات الهوائية القصبية يمكن أن يكون مثيراً جداً . إن تقنية حساب خلايا الدم الحمراء في غسيل الحويصلات الهوائية القصبية أصبحت الآن مستعملة أكثر من الإحراز المنظاري البسيط بواسطة المجموعات البحثية المشتركة في النزف الرئوي بسبب التمرين .

بينما يعتقد أصلاً بأنه قد يكون مشكلة في الخيول الأصيلة الذي هو واضح الآن أن أي جيل أو نوع في الحصان أو المهر Pony قد يواجه تمرين نشيط ربما يواجه بعض درجة من النزف الرئوي بسبب التمرين . لقد لوحظت الحالة هذه في الخيول الأصيلة بعد السباق المنبسط وسباق واسع أو تتخلله حواجز ، من الأنواع القياسية يتبع السباق (الهرولة أو الخطوة أو الهوينا) وفي الخيول المستعملة للبولو ، سباق قفز

الموانع ، وعبر الريف ، وسباق الرحى أو البرميل . لقد شوهد النزف الرئوي بسبب التمرين يحدث في سباق الكلاب السلوقية ، الجمال والبشر بعد التمرين الشديد .

إنه كان تقريباً قد قبل ذلك عالميا بأن النزف الرئوي بسبب التمرين في الخيول هو نتيجة التمرين الشديد ، مثل السباق . على أية حال ، لقد اقترح من دراسة تشريح رئتي جثث أحصنة السباق الصغيرة في اليابان (Oikawa ,1999) بأن النزف الرئوي بسبب التمرين قد يحدث عند سرعات منخفضة كـ ٧-٩ متر/ ثانية (٤٢٠ — ٥٤٠ متر/ دقيقة ، بمعنى أخر ، هرولة بطيئة) .

النزف الذي يحدث كنتيجة للتمرين الشديد في الخيول ليس عشوائياً أو موزعاً بشكل متجانس في كافة أنحاء الرئة الكاملة ، لكنه يؤثر على الجزء الخلفي الظهري للرئة ، عمليا منطقة الرئة تحت خلف السرج . وفي حصان صغير بعمر سنتان في التدريب وحصان الركوب الصغير (٤- ٥ سنوات) و مع العمل المجهد (هرولة سريعة وركض ومن المحتمل قفز) ، تتأثر قمم الرئة أولا . بسبب عمر الحصان وزيادة الحجم وكثافة التمرين ومع مرور الوقت ، تتأثر كمية أكبر من الرئة ويصبح النزف أكثر سوءاً (انظر الشكل رقم ٩,١١) . قد تكون تلك النوبات المستمرة النزف الرئوي بسبب التمرين تتسبب في التغيرات التركيبية في الرئة كنتيجة لعمليات الإصلاح وهذا ربما يفسر الاتجاه لكثرة النزف المتكرر والحاد مع العمر . على سبيل المثال ، في دراسة باستخدام المنظار لمعرفة مدى انتشار النزف الرئوي بسبب التمرين في خيول السباق الأصيلة في المناطق المستوية ، لقد ذكر Roberts *et al* (١٩٩٣) أن ٤٠ ٪ من خيول عمرها سنتان ، ٦٥ ٪ من خيول عمرها ثلاث سنوات و٨٢ ٪ من خيول عمرها أربع سنوات أو أكثر كان لديها دم في القصبة الهوائية بعد السباق .



الشكل رقم (٩,١٩). a) رئتين صحيحتين طبيعيتين و b) رئتين تضررتا بالنزف الرئوي الذي سببه التمرين (المساحات ذات الصبغات الغامقة).

يعتقد العديد من المدربين والجراحين البيطريين بالممارسة بأن النزف الرئوي بسبب التمرين يؤثر على الأداء . في دراسة مسحية نفذت في المملكة المتحدة، أعتقد ٢٦ ٪ من مدربي المناطق المستوية و ٥٤ ٪ من مدربي الصيد الوطنيين أن النزف يؤثر على أداء السباق . على أية حال، أكثر الاستطلاعات نفذت في السباقات لم تجد علاقة بين النزف الرئوي بسبب التمرين والأداء . على سبيل المثال، وجد Roberts (١٩٩٨م) أن النزف الرئوي بسبب التمرين في المملكة المتحدة لم يختلف بين الخيول المتوقع أدائها العالي وتلك الخيول ضعيفة الأداء في الحقيقة، دراسة رئيسة واحدة فقط، بينت بأن النزف الحاد كان أقل شيوعاً في الخيول ذات المكان الكامن مقارنة بتلك الخيول في الأماكن غير الكافية أو الملائمة (Mason *et al.*, ١٩٨٣) . على أية حال، في دراسة على خيول تدريب الرحى (طاحونة الدوس) وجد أن ٢٠٠ مل من الدم المستخرج (بمعنى آخر، سحب دم خاص بالحصان من الوريد) كان قد استنشق إلى الرئتين اليمنى واليسرى وكان التبادل الغازي أضعف أثناء تمرين مكثف و انخفضت قدرة التحمل للتمرين . شكلت هذه الكمية من الدم المستنشقة (٤٠٠ مل) نزفاً ذا درجة ٢–٣ مما أحرز على كمية الدم في القصبة الهوائية بعد التمرين .

يمكن لعملية الدم الذي يدخل المجاري الهوائية أن يأخذ كلتا التأثيرات المحتملة الفورية وطويلة المدى . هناك دليل بأن النزف الرئوي بسبب التمرين قد يسبب تعديلات دائمة في إمداد الدم للأجزاء المتأثرة في الرئتين . لحسن الحظ ، يؤثر النزف الرئوي بسبب التمرين عادة على كمية صغيرة نسبياً من الرئة الكلية . أثناء التمرين ، الدم الذي يدخل للممرات الهوائية سيعطل سطوح الرئة ويتداخل مع التبادل الغازي إما بزيادة تلك المسافة التي يحتاجها الأكسجين وثاني أكسيد الكربون لينتشر بتشكيل طبقة أسمك على حاجز غاز الدم أو من خلال قفل الممرات الهوائية الصغيرة مما يجعل الحويصلات الهوائية خلف هذه لا يمكن يمكنها التبادل الغازي . هكذا يمكن لكل من التهوية والتبادل الغازي أن يضعفا . على المدى الطويل و من المحتمل أن يكون هناك تليف وتصلب للأنسجة الرئوية و قد يكون هناك فقدان لتركيب الأنسجة ، وربما المنطقة المتضررة قد لا تعود إلى الوظيفة الكاملة . استنشاق الدم إلى الممرات الهوائية بشكل تجريبي قد يسبب حدوث التهاب الممرات الهوائية الذي يؤدي إلى زيادة في الإتلاف وذلك بسبب إنتاج خلايا الدم البيضاء المتعادلة لمادة مرنة ومجموعات أكسجينية فعالة تضعف أغشية الخلية ، يجعل هذا حدوث النزف أكثر احتمالاً وعلى الأرجح خلال نوبة الجهد البدني التالية . يحدث الالتهاب عندما تتضرر أنسجة الجسم. على سبيل المثال ، في حالة قطع في الجلد ، يؤدي الاستجابة التحريضية للالتهاب إلى زيادة في جريان الدم إلى المنطقة ، مع احمرار وتضخم وحرارة وألم . أخيراً ، الدم هو وسيط جيد لنمو البكتيريا ويعتقد العديد من الممارسين بإعطاء المضاد الحيوي كحماية للحصان الذي عرف بالتجربة أن لديه حالة حدوث النزف الرئوي بسبب التمرين المعتدلة إلى الحادة .

بالرغم من إنه قد مرت ٢٥ سنة حتى الآن منذ أن أصبح مقبولاً حدوث نزف عند الخيول في رئاتها بعد التمرين الشديد ، لكن السبب لا يزال غير معروفاً . لقد اقترح عدد كبير من العوامل التي قد تسبب النزف الرئوي بسبب التمرين في الخيول وهذه تتضمن ما يلي :

* الإجهاد الميكانيكي في الرئة خلال المجهود كنتيجة للضغط بالحجاب الحاجز وحركة محتويات البطن .
* اختناق Asphyxia ونقص التأكسد لأوعية الرئة المنقبضة .
* التهاب الممر الهوائي ومرض الرئة المزمن .
* الإصابة الطفيلية ووجود مسببات العدوى في الدم .
* إعاقة الممر الهوائي .
* عيوب في التخثر .
* التوزيع غير المستوي من الإجهاد الميكانيكي في الرئة خلال المجهود .
* ضغط الصدر والرئة بالكتف وتوليد موجات الضغط هذه يؤدي إلى إجهاد القص (تمزيق النسيج عند المستوى المجهري) .

النظرية الأكثر قبولا هي أن النزف يحدث بسبب الإجهاد الشديد الذي يرجع إلى الضغط المرتفع عبر الجدر للشعيرات الدموية الدقيقة في رئات الخيول خلال قيامها بالمجهود والذي يؤدي إلى فشل في الإجهاد الشعري الرئوي . لقد اقترحت هذه النظرية بواسطة مجموعه تحت قيادة الفسيولوجي التنفسي البارز جون وست John west في جامعة كاليفورنيا .

تستند هذه النظرية على أن الدم يكون مفصولا عن الفراغات الهوائية في الرئة بواسطة غشاء رقيق للغاية وحاجز غاز مانع الدم (أو الغشاء الحويصلي الشعري) والذي يسهل أخذ الأكسجين بواسطة الدم . أثناء التمارين تطور الخيول ضغوطا شديدة في الأوعية الدموية الرئوية وهي تفترض بأن هذه يمكن أن تكون كافية لتفجير جدران الأوعية . بالرغم من أن ضغط الأوعية الدموية الرئوية عالي ، وقد يتفاوت فقط بـ (٤٠ مم . زئبق) ٥,٤ KPA من الانبساط إلى الانقباض خلال كل دورة قلبية . لذلك فإن اندفاع الضغط من داخل الوعاء الدموي ثابت نسبياً . على أية حال ،

الضغط عبر الجدران (الضغط عبر جدار الوعاء الدموي) يتفاوت خلال كل دورة تنفسية بسبب تغير الضغوط في الممرات الهوائية من إيجابي في الزفير إلى سلبي خلال الشهيق ويكون في أعلى مستوى له خلال بداية الشهيق .

معالجة النزف الرئوي بسبب التمرين في الوقت الحاضر صعبة ؛ لأن الحالة مازالت غير مفهومة تماماً . وتشمل المعالجات المستخدمة كل من سم الثعابين ومضادات التأكسد ومضادات التخثر والأسبرين ومزيلات الدم وناهضات B_2 (B_2–agonists) والهرمونات ومدرات البول والحرمان من الماء والأشرطة الموسعة لفتحات المنخرين . مدى تطبيق المعالجات يكون انعكاساً للحقيقة بأنه ليست المعالجة المنفردة تظهر فعّالية عالية .

إن الضغوط الوعائية الرئوية العالية أثناء التمرين بعد استخدام المخدر الفروسميد Frusemide (معروف في الولايات المتحدة الأمريكية على نطاق واسع بـ Lasix) . يعتبر الفروسميد بالتأكيد تقريباً المعالجة المستعملة على نطاق واسع في النزف الرئوي بسبب التمرين . الفروسميد هو مدر للبول يتسبب في زيادة التبول و يزيد تأثيره المجفف للحصان ، و الذي يكافئ لفقدان في كتلة الجسم ربما تصل إلى ٢- ٥ ٪ . تقلل فقدان السائل من حجم البلازما الدوراني ومن ثم حجم الدم . كنتيجة لذلك ، ضغط الدم و بأهمية كبرى ، ضغط الشريان الرئوي ، يكون منخفضاً عند الراحة و أثناء التمرين . هكذا ، يجب أن ينخفض المكون الوعائي للضغط عبر الجدران أثناء التمرين .

بينما في الولايات المتحدة الأمريكية ، يسمح باستعمال الفروسميد أثناء كل من التدريب والسباق ، يحدّد استعماله أثناء التدريب في المملكة المتحدة ، بشكل رئيس للخيول التي تواجه النزف الرئوي بسبب التمرين الحادّ . استعمل الفروسميد بشكل علاج لذلك لسنين عديدة على أساس القاعدة الأكثر قبولا والتي فسرت النزف

الرئوي بسبب التمرين كنتيجة لإجهاد شعري رئوي بسبب ضغوط عالية عبر الجدر على الشعيرات الرئوية . لأن الفروسميد يخفض الضغوط الوعائية الرئوية، فإنه يخفض الضغوط على الجدر . كفاءة الفروسميد في خفض الضغوط الوعائية الرئوية أثناء التمرين تم توضيحها على نطاق واسع ، على أية حال، ينقصه الدليل لكفاءته في منع النزف الرئوي بسبب التمرين . على سبيل المثال، Manohar وزملائه ذكروا عام (١٩٩٧م) أنه حينما يكون الفروسميد عند مستوى ١– ١,٥ مجم / كجم فإنه يخفض بشكل ملحوظ الضغط الشعري الرئوي خلال تمرين الركض المكثف (١٤,٢ م/ث ، ٣,٥٪ ميل) ، حدوث النزف الرئوي بسبب التمرين (بالرغم من أن إحرازه فقط كموجب أو سالب وليس له درجة) كان نفسه في المجموعة الضابطه وكلتا جلستي المعالجة بالفروسميد . بنفس الطريقة ، أوضحت عدد من الدراسات والتي أجريت في مضامير السباق في الولايات المتحدة الأمريكية أن حوالي نصف الخيول المعاملة مازالت تظهر باستمرار حدوث النزف الرئوي بسبب التمرين ، لكن إنه مقبول بشكل عام أن الشدة (الحدة) عادة أقل بعد معالجة . المراجعات لبعض الأبحاث الجارية وكفاءة معالجة النزف الرئوي بسبب التمرين قد نشر مؤخراً (Marlin , 2001 , 2002) .

بالطبع ، إنه من المحتمل بدلاً من إكمال منع النزف الرئوي بسبب التمرين كنتيجة للمعالجة بالفروسميد ، ربما يجب نحن أن نركز في البحث عن تخفيض في الشدة إما معتمدون على الفحص بالمنظار أو عد الكريات الحمراء في غسيل الحويصلات الهوائية القصبي . ليستر Lester وآخرون (١٩٩٩) أوضحوا انخفاض في متوسط ذروة الضغط الشرياني الرئوي أثناء التمرين البالغ الذروة في الحقل و انخفاضا معنوياً في عدّ الكريات الحمراء في غسيل الحويصلات الهوائية القصبي ، مقارنة بالمجموعة الضابطة ، كنتيجة لإعطاء ٢٥٠ مجم فروسميد في الوريد ٣٠ دقيقة قبل التمرين . بشكل مثير للانتباه ، حقن ٢٥٠ مجم فروسميد في الوريد في نفس الحصان ٢٤٠ دقيقة قبل التمرين

(الوقت الطبيعي المستعمل كمنّظم للسباق في الولايات المتحدة الأمريكية) أخفق في إنقاص أعلى مستوى للضغط الشرياني الرئوي أو عدد الكريات الحمراء في غسيل الحويصلات الهوائية القصبي بعد التمرين مقارنة بالجلسة الضابطة للخفض في حساب عدد الكريات الحمراء في غسيل الحويصلات الهوائية القصبي الذي يتبع المعالجة بالفروسميد كرر مؤخراً بواسطة كل من(Kinding *et al* ٢٠٠١ م) ، Geor وآخرون (٢٠٠١م) أظهرت كلتا هاتين الدراستين انخفاضاً في عدد الكريات الحمراء في غسيل الحويصلات الهوائية القصبي (من ٩٠٪ و ٨٠ ٪ على التوالي) بعد التمرين العالي الكثافة على المطحنة . على أية حال، لقد وجد حديثاً أن استنشاق أكسيد النيتروز (NO) ، والذي هو أيضا يخفض معدل الضغط الشرياني الرئوي ، للمفارقة، يزيد من شدة النزف الرئوي بسبب التمرين كنتيجة لقياس عدد كرات الدم الحمراء في النزف الرئوي بسبب التمرين (Kingding *et al* ,2001 b).

أوضحتا دراستان حديثتان أيضا أن الشريط الموسع الأنفي (الشكل رقم ٩,١٢) له كفاءة مماثلة للفروسميد في إنقاص شدة النزف الرئوي بسبب التمرين كما هو مقيّم من قبل حساب عدد كرات الدم الحمراء في النزف الرئوي بسبب التمرين . إن المبدأ خلف استعمال الموسعات الأنفية، هو أن تلك يخفض مقاومة الممر الهوائي ، والتي تخفض تغيرات ضغط الممر الهوائي ضمن الرئة ، وتباعا، ينقص هذا الإجهاد على الأوعية الشعرية الرئوية بتقليل الضغط الشعري الرئوي على الجدران Kingding *et al.*, (2001a) ذكروا تخفيض بمقدار ٤٤ ٪ في حساب عدد الكريات الحمراء في غسيل الحويصلات الهوائية القصبي عندما تلبس الخيول أشرطه موسعة ، بينما ذكر Geor *et al* (٢٠٠١) تخفيض بمقدار ٧٤ ٪. ربما هناك فائدة صغيرة من جراء دمج الفروسميد وشرائط والموسع الأنفي ؛ لأن هذا يخفض عد الكريات الحمراء في غسيل الحويصلات الهوائية القصبي بنسبة تصل ٨٧ ٪ (Geor *et al.*, 2001) . حتى

وقت الكتابة، شرائط الموسع الأنفي والفروسميد مسموح بها أثناء السباق في أكثر الولايات بالولايات المتحدة الأمريكية ولكن ليس مسموح باستعمالها أثناء السباق في المملكة المتحدة . على أية حال، كلاهما قد يستعمل أثناء التدريب .

الشكل رقم (٩,١٢). الشريط الفرسي الأنفي الموسع وهو مصمم لمنع أو تخفيض الانهيار الداخلي للجلد والذي يخنق الشق الأنفي أثناء الشهيق (a) . يحتوي ثلاث دعامات أفقيه حلزونية مساندة مقارنة بما هو في الإنسان الذي يحتوي فقط على دعامة واحدة . وضع الشريط الصحيح هو أمر حاسم بالنسبة لوضيفته الفعالة (b,c) .

لا تستطيع نظريات ضغط الدم العالي حول النزف الرئوي بسبب التمرين في الوقت الحاضر التوضيح كلياً لماذا يحدث النزف في الجزء الأعلى والخلفي للرئة . على سبيل المثال، لقد تم عرض استعمال التقنية باستخدام تقنية المحيط الهوائي الدقيق أن جريان الدم إلى الجهة الظهرية للرئة يزداد أثناء التمرين في الحصان

(Bernard *et al* .1996) . على أية حال، زيادة التدفق لا يساوي بالضرورة زيادة في الضغط . إذا أدرت خرطوم الماء في الحديقة وأبقيت إصبعك ضاغطا على النهاية، يكون التدفق منخفضا، لكن الضغط عالي . إذا حركت إصبعك يزداد التدفق كثيراً ولكن ينخفض الضغط . ربما أحد أسباب شعبية الفروسميد هو إظهاره بأنه يحسن الأداء؛ لأن الحصان المعالج سيحمل حوالي ٢٠- ٣٠ كيلو جرام كتلة جسم أقل بسبب زيادة التبول قبل السباق . لهذا السبب من المحتمل أن يعطي الفروسميد للخيول غير النازفة بالإضافة إلى النازفة في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث يسمح استعماله.

النظرية المقترحة حديثاً هي أن النزف الرئوي بسبب التمرين ينتج من ضغط الصدر من قبل الأطراف الأمامية أثناء الهرولة السريع ، والرمح والقفز . عند تحميل الأطراف الأمامية أثناء الجري ، لوح الكتف يدفع للخلف وإلى القفص الصدري . هذا يكون خصوصاً في الحصان؛ لأنه ليس لديه عظم ياقة لتثبيت لوح الكتف . عند تثبيت القدم على الأرض ، ترسل القوة إلى الصدر وإلى الرئة ومن قوة الضغط على الرئة هناك موجة من الضغط تمر خلالها . بسبب شكل الرئة تصبح هذه الموجة مضخمة وأكثر حدة في الجزء الخلفي والأعلى للرئة . يتسبب الضرر بواسطة الموجة المعروفة بإجهاد القص. يحدث إجهاد القص في المستوى المجهري وينتج من الأجزاء المختلفة من النسيج (في هذه الحالة الرئة) ، الحركة عند سرعات مختلفة وفي اتجاهات مختلفة طالما ضغط الموجة يمر من خلالها . مبدأ كيفية حدوث الضرر يكون مشابهاً للذي تواجهه رئتي الإنسان في حوادث السيارات حيث تضرب بشدة على مقدم الصدر عجلة (دولاب) القيادة . في هذه الحالة ، الضرر والنزف اللذان يحدثان في الرئة ليس عادة في مقدمة الرئة حيث ضُرب الصدر ، ولكن في الخلف . وهذا نفسه ما يحدث في نزف الدماغ عند المواجهة من قبل الملاكمين . يحدث هذا عادة خلف الجمجمة ، وبمعنى آخر: على الجانب المعاكس لمكان الضرب . حالة مماثلة يمكن أن توجد بين الجزء الخلفي و الأعلى للرئة وجدار الرئة .

في الوقت الحاضر، بدون معرفة السبب الحقيقي للنزف الرئوي بسبب التمرين، من الصعب جداً إصدار توصيات للإدارة لمنع و خفض أو علاج الحالة. يشك الكثير بأن التهاب الممرات الهوائية، التي تلي العدوى أو كنتيجة لنظافة الإسطبل السيئة (تسمح بالتلوث بالفطريات، الغبار والنشادر)، ربما قد يؤكد على حدوث النزف الرئوي بسبب التمرين. يعتقد الآخرون بأن حالة الممر الهوائي العلوي كالشلل الحنجري الشقي (هدير) ربما يجعل النزف أسوأ. في الواقع، هناك العديد من العوامل التي يمكن أن تؤثر على قوة حاجز غاز الدم فعلا والمساهمة لربما تتفاوت بين الأفراد. على سبيل المثال، معظم الخيول لديها الخبرة لمواجهة النزف الرئوي بسبب التمرين أثناء التمرين الشديد بسبب الضغوط العالية على الجدر، بينما بعض الأفراد قد تنزف بشدة بسبب تفاقمه بالعوامل مثل التهاب الممر الهوائي وانغلاق الممر الهوائي العلوي. فقط عندما يكون لدينا فهم جيد وواضح لمسببات النزف الرئوي بسبب التمرين ونركن إلى التقنيات لتحديده بدقة وموضع النزف ضمن الرئة سيكون ممكن تحسين إدارتنا لهذه الحالة.

نقاط مفتاحية **KEY POINTS**

- تزيد التهوية تقريباً بشكل خطيّ مع سرعة الجري أو ثقل العمل.
- الزيادة في التهوية من الراحة إلى أعلى تمرين قد تكون بقدر ثلاثين ضعف.
- معدل قمة نسبة التدفق الزفيري هو حوالي ١٠ ٪ أعلى من معدل قمة نسبة التدفق الشهيقي.
- تأخذ الخيول السليمة أثناء الهرولة والجري نفس واحد لكل خطوة واسعة.
- تم اقتراح نظريتين لتوضيح الازدواج الحركي التنفسي في الحصان و نظرية بندول المكبس والنظرية العصبية العضلية.

تابع نقاط مفتاحية

- عادة قد يختل الوضع الطبيعي ١ : ١ ازدواج تنفسي حركي من حين لآخر في الخيول الطبيعية عند البلع أو تغيير اللجام و أكثر كثيراً في الخيول التي تعاني المرض أو اختلال وظيفي في المجاري الهوائية العليا والسفلى .
- يعبر عن تهوية الحيز الهوائي الميت فسيولوجيا بنسب التهوية التي لاتصل سطوح التبادل الغازي .
- يتكون الحيز الميت الفسيولوجي من الحيز الميت التشريحي (الممرات الهوائية الموصلة) وحويصلات الفراغ الميت (الحويصلات التي تهوىً ولكن ليست مغمورة) .
- ترجع أغلبية المقاومة للتيار الهوائي أثناء الاستنشاق خلال التمرين بسبب الممرات الهوائية العليا . أثناء الزفير وخلال التمرين ، تكون الممرات الهوائية السفلى هي المسئولة فقط عن أكثر من نصف المقاومة الكليّة للتيار الهوائي .
- لمحاولة وتقليل مقاومة الممر الهوائي أثناء التمرين ، توسع الخيول منخاريها. وتقبض الحنجرة ، وتوسع الممرات الهوائية الرئوية (الكاتيكولامنات ذو فعالية عالية في توسيع الشعيبات) .
- قد يحدث انهيار جزئي ديناميكي للممرات الهوائية خلال الزفير أثناء التمرين الشديد عندما يكون الضغط حول الممرات الهوائية عاليا للغاية . يمكن أن يؤثر ذلك بشكل على كل من : القصبة الهوائية والممرات الهوائية الداخلية الصدرية الصغيرة .
- يصبح عمل التنفس أعظم بشكل متناسب مع الزيادة في مستوى التهوية .
- تواجه الخيول خلال قيامها بتمرين عنيف بنقص الهواء الشرياني (نقص في توتر الأكسجين) و زيادة ثاني أكسيد الكربون في الدم (زيادة توتر ثاني أكسيد الكربون) .
- يؤشر تطور الزيادة في ثاني أكسيد الكربون في الدم الشرياني إلى نقص التهوية Hypoventilation .

تابع نقاط مفتاحية

- يعتقد أن نقص الأكسجين الشرياني يعود لتحويل الدم من الرئة (الدم الذي يمر على سطح التبادل الغازي) وانخفض أو تقليل في وقت العبور الشعيري (حركة الدم على طول القطع الشعرية بسرعة أعلى و أسرع بسبب أن الضخ القلبي العالي لا يتوفر له الوقت الكافي لموازنته بالكامل بالأكسجين على " الجانب الهوائي " لحاجز غاز الدم) ومن المحتمل كذلك بسبب زيادة سمك حاجز غاز الدم الناتج عن الأوديما Oedema كنتيجة للضغوط الوعائية الرئوية العالية .
- لا يستجيب الجهاز التنفسي في الخيول للتدريب .

obeikandl.com