الفصل العاشر

الاستجابات القلبية الوعائية

Cardiovascular Responses

لقد تعلمنا بشأن تعقيدات الجهاز القلبي الوعائي عند الراحة، حيث يتضح بأن الجهاز الوعائي أكثر تعقيداً بدرجة طفيفة من المضخة الميكانيكية المتوسطة ونظام الدوران. يمكن للجهاز القلبي الوعائي أن يراقب ويسيطر على تركيز المواد المنقولة ضمن حدود منضبطة، ويمكن أن ينظم بنفسه التدفق وضغط الدم داخل أوعيته. ويمكن أن ينمو ويتكيف لتحمّل الطلب، وأن يصلح نفسه عند حدوث ضرر بسيط. إن الجهاز القلبي الوعائي جزئية متكيفة رائعة من الهندسة الحيوية، وهو بذلك لضمان لطول العمر.

القلب عند التمرين والأداء

The Heart in Exercise and Performance

لقد تم الاعتقاد لفترة طويلة أن القلب الكبير يقابل قدرة رياضية عند الخيول. على سبيل المثال، يفسر ذلك عند تشريح جثة الميت عند السقوط المفاجئ وأن قلبه كان أكبر من الوضع الطبيعي لحجمه. المثال الآخر على ذلك هو حصان السباق الأسطوري Phar Lap، حيث اعتقد الكثير بأنه قد يكون هو حصان السباق الأعظم بلا منازع. في فترة أربع سنوات فاز الـ Phar Lap في ٣٧ من ٥١ من السباقات؛ وربح في ١٩٣٠م أربعة سباقات في أسبوع واحد وخلال سنة ١٩٣٠م – ١٩٣١م ربح ١٤

سباق متتالي . عندما مات قلبه كان حوالي ٦,٣ كجم واليوم مازال محفوظاً في معهد على التشريح في جامعة كانبرا .

منذ عدة سنوات يقوم ملاك إسطبلات خيول الاستيلاء والمشترين المحتملين في الولايات المتحدة الأمريكية بشكل خاص بعمل مسح لقلوب الخيول قبل بيعها باستعمال الأشعة فوق الصوتية (Ultrasound) . تساهم القلوب الكبيرة كإحدى العوامل في القدرة الرياضية الطبيعية للخيول الأصيلة . الخيول الأصيلة لها قلوب تزن حوالي ٤–٥ كجم ، تشكل حوالي ٠,٩ ٪ من كتلة الجسم . مقارنة بـ ٠,٧٦ ٪ من كتلة الجسم عند الخيول العربية و ٠,٦٢ ٪ من كتلة الجسم عند سلالات خيول العمل الأثقل (Kline& Foreman ,1991) .

يبحث علماء فسيولوجيا الجهد البدني دائماً عن الطرق التي تسمح لهم بتميز الأفراد الموهوبين للغاية. وأخيراً، تمت محاولات لتقدير حجم القلب في خيول السباقات الصغيرة . أحد الطرق تقدير حجم القلب ابتكر بواسطة العالم ستيل Steel عام ١٩٦٣ م . لقد قدم الفرضية التي بها يمكن حساب حجم قلب الحصان عن طريق التخطيط القلبي الكهربائي عند الراحة . هناك موجة مميزة على الـ ECG النموذجي تعرف بفترة QRS ، والتي تقابل الانقباض البطيني . استندت طريقة ستيل إلى الفرضية القائلة بأن من يمتلك بطينات أكبر ، يمتلك فترة QRS أطول والتي تستغرق وقت أطول للعبور خلال القلب . تقاس مدّة QRS بأجزاء من الألف من الثانية والتي تحدد درجة القلب (heart score) ، والتي تشير إلى حجم القلب . معادلة للربط بين كتلة القلب و إنجاز القلب ابتكرت بقياس إنجاز القلب من خلال وزن القلوب بعد تشريحها. على سبيل المثال ، فإن درجة قلب ما – ١٠٠ (مكافئ لمدّة QRS من ١٠٠ملي ثانية أو ٠,١ ثانية) تشير لكتلة قلب من ٣ كجم . بالرغم من أن درجة

القلب قد تحدد حجم القلب (الدقة التي يتم بها ذلك مازالت قابلة للنقاش) ، فهو لا يستطيع تزويد أي معلومات عن حجم نبض القلب (stroke volume) . على سبيل المثال، اثنان من الخيول بنفس كتلة الجسم يمكن أن يكون لكلاهما قلوب كبيرة تبعاً لدرجة القلب. على أية حال، إذا حصان واحد له بطين أيسر ذو جدار عضلي سميك جداً وآخر له بطين أيسر جداره رفيع (رقيق) ، فإن الأخير يمتلك حجم نبض أكبر ولذا فدفعه القلبي الأقصى أكبر فعلياً . قيست درجة القلب في العديد من الدراسات لكن لا تشمل الدراسة التي قام بها ستيل (1963) Steel ، ولم يتضح أن هذا مؤشراً يعتمد عليه الأداء . ومن المحتمل أن هناك عدد من العوامل التي تساهم في الأداء غير حجم القلب . حصان بثلاث أرجل لا يربح السباقات حتى لو كان لديه قلب يزن ٧ كجم . الأداء النهائي للحصان هو مجموع العديد من العوامل المساهمة ، وأنه من غير المحتمل أن قياس معلم واحد فقط يمكننا من اختيار الفائزين لكل المسافات أو كل الأحداث ، بالرغم من أنه حقيقي بأن أغلبية ألعاب الحصان الرياضية هي هوائية ولذا فإن القلب الكبير لن يكون عبئاً .

في الوقت الحاضر، يقيم سمك الجداران البطينية ، وفي الحقيقة العديد من أبعاد القلب الأخرى، باستعمال الأشعة فوق الصوتية أو التخطيط القلبي الكهربائي . إن الأخبار الجيدة للبعض منا ومن يمتطي الخيول ذات القلوب "متوسطة الوزن" وبأن العضلة القلبية وتشبه العضلة الهيكلية ويزداد حجمها استجابة للتدريب، ويعرف ذلك بالتضخم hypertrophy . لقد أوضح Kudo *et al.* (١٩٧٤) مظاهر تضخم العضلة القلبية من ٠,٩٤ ٪ من كتلة الجسم في الخيول غير المدرّبة إلى ١,١ ٪ من كتلة الجسم بعد شهرين من التدريب .

لقد أوضح young عام ١٩٩٩م أن التدريب لا يحفز زيادة في سمك جدار البطين فقط لكن أيضاً زيادة في سعته (داخل البطين حيث ينساب الدم) . وهذا يعني بأن القلب قادر على ضّخ حجم أكبر من الدم (حجم الضربة Stroke volume) بكلّ انقباضه وسينقبض بقوة أعظم بعد التدريب .

الضخ القلبي $\dot{Q}$ Cardiac OutPut

يصف الضخ القلبي (Q) حجم الدم الذي يترك الجهة اليسرى من القلب كل دقيقة . يزداد الضخ القلبي كنتيجة لزيادة طلب الجسم للأكسجين . أثناء تمرين عال ، قد يصل الضخ القلبي إلى ٢٤٠ لتر/ لدقيقة :

$\dot{Q}$ = معدل ضربات القلب × حجم الضربة

٢٤٠ لتر / دقيقة = ٢٢٠ ضربة / الدقيقة × ١,١ لتر

في الرياضيين البشر من غير النخبة ، يزيد الضخ القلبي من حوالي ٤–٦ لتر/ دقيقة عند الراحة وإلى حوالي ١٦ –٢٤ لتر/ دقيقة أثناء التمرين ، وبمعنى آخر: زيادة لأربعة أضعاف فوق القيم عند الراحة ، مقارنة بزيادة إلى عشرة أضعاف للخيول . بالإضافة إلى زيادة في الضخ القلبي كنتيجة للتمرين، تزداد نسبة الضخ القلبي المستلمة من قبل القلب والعضلة الهيكلية . أثناء التمرين ، يحول الدم بعيداً عن الأنسجة الأقل نشاطاً مثل القناة الهضمية والكلية ويعاد توجيه إلى العضلة الهيكلية، الجلد، والدوران القلبي والرئوي . تحت تأثير الجهاز العصبي الذاتي (السمبثاوي) (نظام السيطرة القائم عن الهروب و العراك) يرسل الدم بشكل تفضيلي إلى الأعضاء ذات الأعمال الأقوى. أثناء تمرين عنيف، يزداد سريان الدم إلى العضلة الهيكلية سبعون ضعف عن معدله عند الراحة (Parks & Manhar, 1983) .

معدل ضربات القلب عند الراحة Resting Heart Rate

معدل سرعة القلب عند الراحة في حصان أصيل هي حوالي ٣٠—٤٠ ضربة / دقيقة عند استعمال السماعة الطبية من خلال الإنصات أو الجس وتلمس النبض على شريان قريب من السطح، مثل تحت الفك. إنه ليس من غير الشائع قياس معدلٌ ضربات القلب منخفضة كـ ٢٢– ٢٥ ضربة / دقيقة في الخيول المرتاحة في البيئات الهادئة ، خصوصاً إذا ما سجل مع مراقبة معدل نبضات القلب أو نظام الـ ECG بدون وجود أي واحد في الإسطبل عند ذلك الوقت . لعدّة سنوات، حمل العلماء والأطباء البيطريين أراء مختلفة بخصوص معدل نبض القلب عند الراحة لحصان متدرب تكون أقل منه عند الراحة قبل التدريب . إنه من المعروف جيداً بأن للبشر غير المدّربين نبض عند الراحة حقيقية بحوالي ٧٠—٨٠ ضربة/الدقيقة ، بينما الرياضيون المتدربون على المسافات لديهم نبضات قلب منخفضة كـ ٤٠ ضربة / دقيقة . في الحقيقة ذكر الفائز بخمس جولات في السباق الفرنسي (Tows De France) ، الراكب الإسباني ميجيل ندورين (Miguel ndurain) ، بأن لديه نبض قلب عند الراحة حوالي ٣٠ ضربة / دقيقة .

أحد أسباب الخلاف على تغير معدل ضربات القلب عند الراحة في الخيول مع التدريب هو صعوبة الحصول على معدل نبض القلب الحقيقية عند الراحة للحصان . وكما أن الاقتراب من الحصان لاستعمال السماعة الطبية أو مراقبة معدل نبضات القلب قد تؤدي إلى درجة من تحفيز الجهاز العصبي السمبثاوي الذي يرفع معدل نبضات القلب فوق قيم الراحة ، بحوالي ٥ — ١٠ ضربة / دقيقة . تحتاج تسجيلات معدل نبض القلب أن تعمل على فترة زمنية مطولة من الوقت بدون حضور أو وجود

الناس أو النشاط الآخر للحصول على قيم حقيقية عند الراحة . ولا ينطبق ذلك بالطبع على معدل ضربات القلب لتأخذ كجزء من الفحص السريري .

يقترح البحث الحديث المنفذ باليابان بأن معدل ضربات القلب عند الراحة للخيول الأصيلة ، في الحقيقة ، تنقص بعد التدريب (Kuwahara *et al.*, 1999). ونظرياً كلما زادت كتلة عضلة القلب (تعرف العملية بالتضخم hypertrophy) نتيجة للتدريب ، يصبح انقباض عضلة القلب أقوى (هذا يدعى باسم زيادة القابلية الانقباضية لعضلة القلب) . وبالتالي دّم أكثر يمكن أن يدفع من القلب مع كل دقة ، وكمية الدّم الضرورية لإمداد الأنسجة عند الراحة يمكن أن تكون مجهزة بمعدل أقل نبضات قلب . في هذه الدراسة ، ينخفض معدل نبضات القلب أثناء اليوم من ٤٧ – ٣٨ ضربة / دقيقة وفي الليل من ٤٠ – ٣٤ ضربة / دقيقة ، في كلتا الحالتين بعد ٧ أشهر من التدريب . يبدو معدل نبضات القلب الأولية أثناء أو خلال اليوم بعض الشيء على جانب المستوى العالي يعكس عوامل أخرى مثل الإثارة أثناء القياس عند بدء الدراسة . بينما هذه هي الدراسة الأولى لإظهار الخفض في معدل نبضات القلب عند الراحة مقارنة مع التدريب ، يحتاج الأمر إلى تكرار ذلك . على أية حال ، حتى إذا حدث تأثير تدريب أصيل ما على معدل نبضات القلب عند الراحة في الحصان ، يحتمل أن يكون الخفض في الغالب بحدود بضعة ضربات / دقيقة ، ولذا من المستبعد جداً أن هذه ستكون طريقة عملية لمراقبة الاستجابة للتدريب أو توفر قاعدة لمقارنة الخيول .

قياس معدل نبضات القلب أثناء التمرين

Measuring Heart rate During Exercise

قياس معدل نبضات القلب العامل شيء ذو أهمية كبيرة في التدريب والعديد من المجالات ، وسيتم التعامل معه بشيء من العمق في الفصل الثامن عشر. يمكن استعمال طرق مختلفة لقياس معدل نبضات القلب .

الإنصات باستخدام السماعة Auscultation using a stethoscope

يمكن حساب معدل نبضات القلب بحساب عدد الضربات المسموعة في فترة من ١٥ ثانية (وتضرب عدد مرات الضربات بأربعة) إلى دقيقة واحدة . تحديد العد خلال ١٥ ثانية فقط ، فإن معدل نبضات القلب سوف يتم تقديرها بفارق هو ٤ ضربات/دقيقة وبمعنى آخر ٢٨ ، ٣٢ ، ٣٦ ، ٤٠ ، ٤٤ ، ٤٨ ضربة / دقيقة...إلخ. حساب العدد خلال أكثر من ٣٠ ثانية تجعل الفارق ضربتين / الدقيقة ، بمعنى آخر ٢٨ ، ٣٠ ، ٣٢ ضربة / دقيقة .... الخ . لذا تعتمد فترة العد المستعملة على معدل نبضات القلب التي تم أخذها . هذه طريقة رخيصة وسهلة ؛ على أية حال ، يمكن فقط أن تستعمل في حالة وقوف الحصان بلا حراك (الشكل رقم ١٠.١) ، ولذا فهي تمكننا فقط من الحصول على معلومات حول معدل نبضات القلب قبل وبعد التمرين . إن الفائدة العظيمة للسماعة الطبية مقارنة بالطرق الأخرى بأنها تعطي معلومات حيوية ، وعن نوعية نبض القلب نفسه ، كما أنها تمكن الأطباء البيطريين من اكتشاف ضربات القلب المفتقدة ، وكذلك الإيقاعات الشاذة (اضطراب النسق Dysrrhythmia) ودندنة القلب heart murmurs . العديد من الخيول لا تظهر أو تسقط "drop" الضربات عند الراحة ، لكن يظهر له نبض قلبي منتظم خلال التمرين . هذا عادة نتيجة للدرجة الثانية من القفل الأذيني البطيني Atria ventricular (AV) block . يحدث هذا عندما تكون موجة P غير شاملة البطينين في التخطيط القلبي الكهربائي (ECG) دون أن يليها موجة معقد QRS complex . تظهر موجة "P" التالية ومعقد QRS بالضبط عند مرور الوقت حيث ما توقع إمكانية حدوثها بالاستناد على الضربات السابقة والتالية . هذا يرى على التخطيط القلبي الكهربائي ويحدث في أغلب الأحيان عند معدل ضربة واحدة مابين ٣- ٥ اخفاقات في الخيول المرتاحة وقبل التمرين. تدل

الدرجة الثانية من انغلاق الـ AV على آلية لسيطرة الضغط الشرياني في الخيول عند الراحة ودون الحاجة لتوسيع وتضيق الأوعية الدموية أو تغيير في معدل نبضات القلب. إذا ما راقبنا ضغط الدم الشرياني بمرور الوقت ، في الخيول التي تظهر الانغلاق من الدرجة الثانية (AV" block) ، سنرى ازدياد الضغط بمعدل عدد من الضربات ، وعند أعلى مستوى مباشرة قبل ضربة القفل (block beat) . ينحدر متوسط الضغط الشرياني كنتيجة لضربة القفل ومن ثم يزداد ذلك بمرور الوقت حتى تحدث ضربة الانسداد التالية .

الشكل رقم (١٠,١). التصنت باستعمال السماعة الطبية .

تقابل دندنة الصوت القلبي وصوت الصمامات لب – دب Lup-dup الواضحة الصحي الطبيعي ، وهي أصوات سببها الصخب من جريان الدم . تتفاوت الدندنة في الموقع (جانب القلب الأيسر أو الأيمن) والكثافة (صخابة) وزمن حدوثها في الدورة القلبية . ليس بالضرورة أن أي حالة دندنة تعبر عن أخبار سيئة . بالتأكيد إن الدندنة العالية جداً من الجانب الأيسر (الجانب الذي يضخ الدم الشرياني) للقلب قد تؤثر على الأداء ، لكن تأثيرها على أداء الدرجات المنخفضة للدندنة وبالخصوص دندنة قلب سليم مازالت غير واضحة .

تحسس نبض الشريان Palpation of the pulse in an artery

يمكن أن يؤخذ النبض بأي مكان في الجسم يمر فيه شريان سطحي فوق عظم. إحدى الأماكن الأسهل لإيجاد الشريان الوجهي هو مكان مروره فوق قاع عظم الفكّ (الشكل رقم ١٠,٢ أ) . يمكن أيضاً أن يحس النبض في الشريان الوجهي المستعرض (الشكل رقم ١٠,٢ ب) والذي قطره بضع ملليمترات فقط ، وحتى في الشريان السباتي تحت الوريد الودجي . والممكن أيضاً أخذ النبض في الحصان الواقف فقط وليس أثناء القيام بالتمرين . وحيث إنه من الصعب في أغلب الأحيان الحصول على الحصان واقف بلا حراك لمدة دقيقة واحدة بعد التمرين لأخذ النبض ، سيكون من الضروري في أغلب الأحيان الاستماع فقط لـ ١٥ ثانية أو حواليها وبعد ذلك تضرب بأربعة للحصول على نبضات الدقيقة الواحدة على أية حال ، كلما طال وقت تحسس النبض ، كانت النتيجة المحتملة أكثر دقة . لأخذ النبض يدوياً عليك أن تترجل إذا لم يتوفر من يساعدك . أحد المساوئ الرئيسة أن الحصان يكون منتصباً في هذه الحالة بينما هو يتعافى وسيكون ذلك في الحقيقة أسرع وأكثر فعالية إذ بقي الحصان دون حراك ويبدأ يتحرك نزولاً للأسفل للراحة "من خلال التروس" ! . على أية حال ، إن قياس

معّدل نبضات القلب مبكراً في فترة استعادة الوضع (قل ١ — ٣ دقائق من نهاية التمرين) يعطي عادة مدلولاً أكثر دقة عن معّدل نبضات القلب مقارنة بأخذها فيما بعد الانتهاء . إن المشكلة الرئيسة تلك بينما الحصان يستعيد وضع وهنالك العوامل الأخرى عدا العمل السابق ، مثل الإثارة والتي يبدأ تأثيرها على معدل نبضات القلب .

(ب) (أ)

الشكل رقم (١٠,٢) قحس النبض .

وسائل مراقبة معدل نبضات القلب Heart rate monitors

إن اغلب وسائل مراقبة معّدل نبضات القلب فعالة وموثوقة وتعمل بشكل صحيح ، بالرغم من أن بعضها يؤدي أفضل بكثير من الأخرى. إذا هناك مشاكل مع الدقة ، على الأغلب خلال التمارين التالية الدقيقة (عندما الحصان يتعرق) وأثناء المشي أو الهرولة. في أغلب الأحيان فإن حركة الأقطاب الكهربائية على الجلد والنشاط العضلي الكهربائي أثناء الهرولة والجري يمكن أن يؤديا إلى قراءات غير دقيقة ، المثال النموذجي لمعدل نبضات القلب تكون مشابهة لنسبة الخطوة الواسعة (١٠٠ — ١٥٠ بالدقيقة) والذي لا يزيد بزيادة السرعة.

تلتقط وحدة صغيرة النشاط الكهربائي عبر القلب عن طريق الأقطاب الكهربائية الموضوعة على الجلد وترسل إما خلال سلك أو من قبل موجة إذاعية ضعيفة (مداها حوالي ١ متر) إلى ساعة استلام (انظر الشكل رقم ١٠,٣) والتي

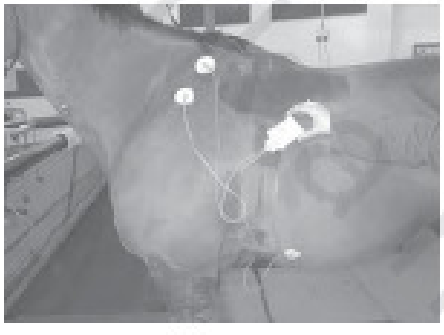
تحسب عدد النبضات المستلمة وتحوله إلى نسبة بالدقيقة. يتم مراقبة معدّل نبضات القلب كل ٥ ، ١٥ أو ٦٠ ثانية. إذا هناك اتصال جيد بين القطب الكهربائي والجلد (عادة يمكن أن ينجز هذا ببساطة بترطيب المنطقة تحت الأقطاب الكهربائية) والاعتناء الجيد بالأجهزة (خصوصاً أسلاك الأقطاب الكهربائية والبطاريات) فيمكن لأجهزة المراقبة تلك أن تعطي نتائج ممتازة. تكون النتائج أقل اعتماداً و أكثر صعوبة للإنجاز إذا تمت فوق الأغطية الشتائية غير المقصوصة. يتفاوت كثيراً سعر وسائل معدل نبضات القلب ، اعتماداً على كونها تعرض فيه معدل نبضات القلب فقط ، أو تقوم بتخزين معدل نبضات القلب لكي يتم تحميلها لاحقاً خلال جهاز الحاسوب. إن الوظيفة الصحيحة لنوع تحميل نتائج المراقب لقياس معدل نبضات القلب أسهل للتدقيق من ذلك النوع غير المحمل على جهاز الحاسوب.

الشكل رقم (١٠,٣). ساعة تسلم مراقبة معدل نبضات القلب .

الرسم القلبي الكهربائي Electrocardiography

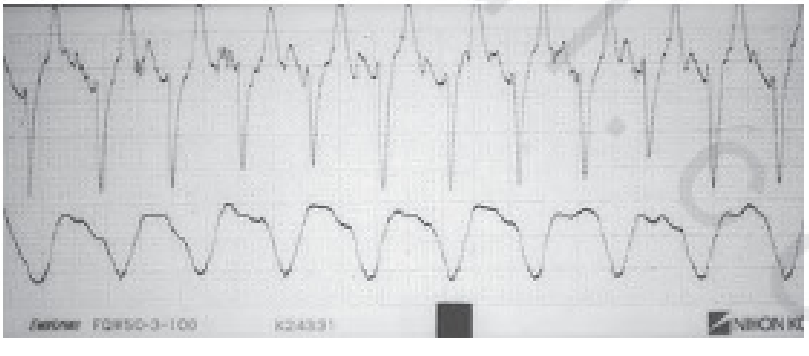
يستعمل هذا لإنتاج الرسم القلبي الكهربائي (ECG) Electrocardiogram ، وهذا تمثيل تصويري لجميع (Summation) النشاطات الكهربائية التي تحدث في القلب. وهي الطريقة الأكثر دقة لقياس معدل نبضات القلب ، معطيةً معلومات عن كل من معدل

نبضات القلب ونوعية أو جودة نبض القلب نفسه. تتوفر ثلاثة أنواع أساسية مختلفة من تسجيلات القلب ECG. التسجيل التقليدي Traditional electrocardiogram التي تؤخذ للحصان عند الراحة ؛ هذه تستعمل للبحث عن اضطراب النسق مثل التليف الأذيني Atrial fibrillation. يربط الحصان بأسلاك من الأقطاب الكهربائية (تماماً مثل المستعمل في الإنسان) على سطح الجلد ويربط مباشرة إلى جهاز الـ ECG (انظر الشكل رقم ١٠,٤). إن أي حركة تؤدي في أغلب الأحيان إلى إشارة ECG ضوضائية .



(ب)

(أ)



(ج)

الشكل رقم (١٠,٤). ماكينة قياس التخطيط القلبي الكهربائي عن بعد . (أ) مستقبل وعارض ؛ (ب) أقطاب كهربائية ومرسل على الحصان . (ج) التخطيط القلبي الكهربائي وورقة مطبوعة لمخطط إشارة تنفسية.

النوع الثاني للنظام مازال يعتمد على الأقطاب الكهربائية بينما مسجل الـ ECG أصغر بكثير (حوالي ٣ سم × ٥سم × ٨ سم) ويثبت على الحصان. في أغلب الأحيان تسمى هذه بمسجلات المراقبة الدائمة Halter monitors، حيث تترك غالباً لكي تسجل الرسم البياني للمخطط القلبي الكهربائي لمدة ٢٤ ساعة للبحث عن اضطرابات النسق المتقطع. تحتوي هذه المسجلات بالأصل على الأشرطة ولكن النسخ الأكثر حداثة تستعمل بطاقات ذاكره. إن الشريط أو البطاقة غالباً ما تزال من المسجل وتحمل البطاقات المسجلة إلى جهاز تحليل أو حاسوب. هذه الأنظمة ليست مناسبة لمثل هذه الحالات حيث هناك حركة هامة وكبيرة كما هو الحال عند التمرين (الجهد البدني).

إن النوع الثالث من أنظمة قياس التخطيط القلبي الكهربائي عن بعد Telemetry ECG يشبه هذا النظام مراقب معدل نبضات القلب من حيث إن النشاط الكهربائي يلتقط من القلب بواسطة الأقطاب الموضوعة على الجلد وترسل عن طريق وحدة صغيرة من على الحصان إلى الوحدة الأساسية. تظهر القاعدة الأساسية للتخطيط القلبي الكهربائي وتحسب معدل نبضات القلب وحتى في بعض الأنظمة في قياس معدل التنفس من خلال استخدام المبدأ المعروف بالمعوق الكهربائي Impedance plethysmography . تنتج هذه الأنظمة تمارين ممتازة لسجلات التخطيط القلبي الكهربائي ولكنها غالية نسبياً.

تعتمد أكثر الأجهزة الحديثة على مستند حاسوب بسيون المحمول باليد Psion hand-held computer والمطور خصيصاً للعمل الحقلي البيطري. يقع هذا النظام بين مراقب الـ holter وجهاز التخطيط القلبي الكهربائي المرتبط مباشرة والمزود بعرض مرئي (انظر الشكل رقم ١٠,٥). توضع الأقطاب الكهربائية وتوصل الأسلاك. يمكن أن ترى إشارة التخطيط القلبي الكهربائي على جهاز الـ Pison لتمييز الحصول على إشارة جيدة. يتم فصل الـ Psion ويواصل تحميل البيانات dedata ogger. جهاز تسجيل التخطيط القلبي الكهربائي بعد التمرين يمكن أن يعاد التوصيل إلى جهاز بسون وتحميل

البيانات في التخطيط القلبي الكهربائي في البسون Psion لتحليلها. ينتج هذا النظام تسجيلات نوعية جيدة حتى أثناء التمرين.

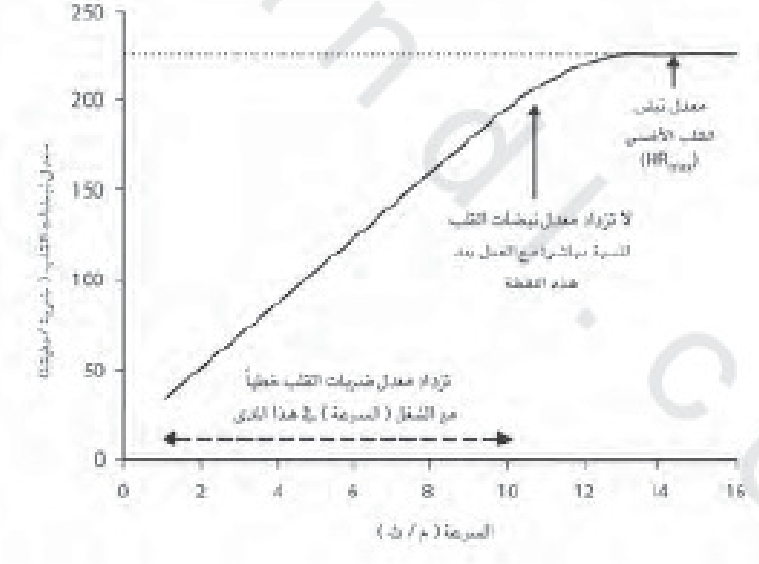
أجهزة تسجيل التخطيط القلبي الكهربائي أغلى إلى حدٍ كبيرٍ من أجهزة مراقبة معدل النبض القلبي وتستخدم عادة من قبل العيادات البيطرية ومراكز البحوث. على أية حال، يتوفر حالياً من شركة (P polar) نوع يتوسط بين الأجهزة لمراقبة معدل نبضات القلب القياسي ونظام مسجل التخطيط القلبي الكهربائي التقليدي. جهاز مراقبة معدل نبضات القلب الـ Poler NV قادراً على العمل في النمط RR، وفي أنماط المتوسطات الأكثر شيوعاً. يكون النمط RR المراقب NV قادراً على حساب وخزن كل فترة RR (الفترة بين ضربات القلب المتعاقبة المستندة على الوقت بين كلا من موجة R في الموجة QRS). إن فترةRR المعترف فيها عالمياً والطريقة المقبولة لحساب معدل نبضات القلب مستند على التخطيط القلبي الكهربائي. وتبعاً لخبرتنا يعمل الـ NV في النمط RR في الخيول عند الراحة بشرط غياب الحركة ووجود اتصال قطبي كهربائي (إلكتروني) جيد جداً. وهذا يتطلب استعمال أقطاب كهربائية قابلة للالتصاق. لقد صنع الـ Polar جهاز مراقبة RR والذي يبدو أنه يعطي نتائج جيدة ودقيقة عندما نقارنه بالتخطيط القلبي الكهربائي في الخنازير عند الراحة، لكن حسب معرفتنا أن مثل هذه الجهاز لم يقيم استعماله في الخيول.

الشكل (١٠,٥). مسجل التخطيط القلبي الكهربائي على الحصان والذي يمكن تحميله على جهاز الحاسوب المحمول يدويا .

الزيادة في معدل نبضات القلب استجابة للتمرين

Increases in Heart rate in Response to Exercise

يزيد معدل نبضات القلب بشكل خطي مع السرعة (مكافئ للعمل حتى معدل نبضات القلب الأقصى (HR_{max}) (انظر الشكل رقم ١٠,٦). H_{max} هو معدل نبضات القلب المحتمل القابل للإنجاز بواسطة الحصان ويشاهد كحالة مستقرة في رد فعل نبضات القلب، بالرغم من الزيادة في سرعة الجري. وإذا لم تصل معدل نبضات القلب إلى حالة مستقرة نسبياً رؤية فإن معدل نبضات القلب الأعلى أثناء أي جزء من التمرين يعرف بذروة نبضات القلب. أي شيء أقل من معدل نبضات القلب الأقصى يعرف بمعدل نبضات القلب ما تحت الذروة. الدليل التقريبي إلى معدل نبضات القلب دون الأقصى عند سرعات مختلفة يتضح في الجدول رقم (١٠,١).



الشكل رقم (١٠,٦) العلاقة بين معدل نبضات القلب والسرعة موضحا HR_{max}

الجدول رقم (١٠,١). دليل معدل نبضات القلب عند السرعات المختلفة من الحركة

المشية	السرعة		معدل ضربات القلب دون الحد الأقصى (ضربة/دقيقة)
	م/ث	متر/دقيقة	
مشي	١,٧	١٠٠	٦٠–٨٠
هرولة	٣,٧	٢٢٠	٨٠–١٠٠
الجري	a٥,٨	a٣٥٠	١٠٠–١٤٠
	b٨,٣	b٥٠٠	١٢٠–١٨٠
رمح	c١٣,٣–١٦,٧	c٨٠٠–١٠٠٠	١٨٠–٢٢٠

a) ركض سهل مع قفز الحواجز

b) ركض جيد

c) سطح منبسط

يبلغ معدل نبضات القلب الأقصى في حصان سباق بعمر ٢–٣ سنوات بحدود ٢٤٠ — ٢٥٠ ضربة / دقيقة. ينقص أقصى معدل نبضات القلب عند الإنسان مع العمر، طبقاً للعلاقة (العمر بالسنين) :

معدل نبضات القلب الأقصى = ٢٢٠ — العمر بالسنوات

بالرغم من أن أقصى معدل نبضات القلب تنقص أيضاً مع العمر في الخيول (Mckeeorr Malinowski 1997) ، إلا أنه ليس هناك علاقة بسيطة تصف طبيعة النقصان بمرور الوقت. على أية حال، كدليل عام، من التجربة السابقة، الخيول بأعمار حوالي ٨— ١٠ سنوات يتوقع أن يكون لديها معدل نبضات قلبي أعلى تتراوح بين ٢٢٠— ٢٣٠ ضربة / دقيقة وخيول أعمارها فوق ١٥ سنة قد تكون في مدى ١٩٠ — ٢١٠ ضربة / دقيقة.

إذا ما انطلق الحصان من الوقوف إلى الركض والصهيل ، فيستغرق هذا حوالي ٢٠– ٣٠ ثانية لإنجاز أعلى معدل نبضات القلب. عموماً، يزداد معدل نبضات قلب الخيول استجابة للزيادة في الطلب على العمل أكثر بكثير مما عند البشر، تتم الزيادة في معدل نبضات القلب استجابة لزيادة في التحفيز السمبثاوي ونقص في التحفيز الباراسمبثاوي مع زيادة متلاقية في أدرينالين الدورة الدموية. هذه بالضبط نفس الآلية المسؤوله عن الزيادة في معدل نبضات القلب كجزء من "استجابة للإقدام أو الهروب التقليدي" والهرب أو الهجوم. يمكن أن يتجاوز تركيز الأدرينالين من دم الخيول أثناء تمرين كثيف تلك المقاس عند الرياضيين من البشر بعشرة مرات.

يمكن ملاحظة أن للخيول الواقفة معدل نبضات قلبية مرتفع يصل إلى ١٩٠ ضربة/ دقيقة تماماً كنتيجة للخوف أو الإثارة. المدى الذي تصل فيه آلية "الإقدام أو الهروب" يمكن أن ترفع معدل نبضات القلب والسرعة التي يحدث بها، يطلق عليها "تفاعلية" Reactivity معدل نبضات القلب. استجابات معدل نبضات القلب عند الخيول أكثر تفاعلاً مما يرى عند البشر، وردود معدل نبضات قلوب الخيول الأصيلة، عموماً أكثر تفاعلاً من الأنواع ذوات الدم البارد. كلما كانت السلالة أكثر تفاعلية، كلما كان معدل نبضات القلب تحت العليا أكثر تغيراً.

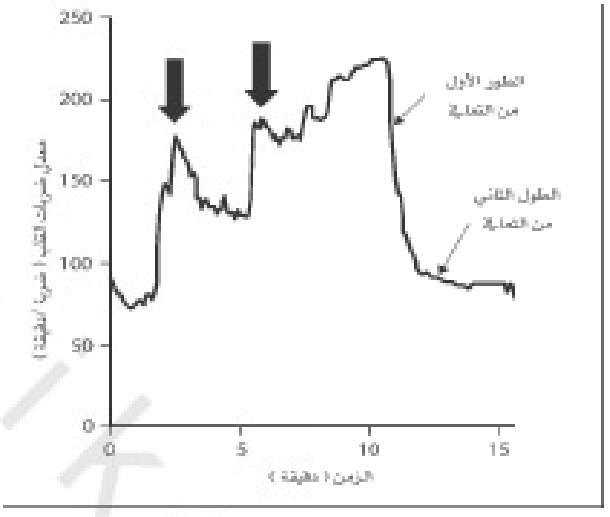
عند تكثيف التمرين ينتج انخفاض في معدل نبضات قلب من حوالي ١٢٠– ١٥٠ ضربة / دقيقة، تتغلب تأثيرات الإثارة في أغلب الأحيان على تأثيرات التمرين، لذا العلاقة الخطية الطبيعية بين معدل نبضات القلب والسرعة قد لا تظهر في الخيول المثارة بمستويات أقل في هذه التمارين. على أية حال، عندما يكوم الحصان في البرولة والجري، يمكن أن تتأكد إلى حد ما بأن معدل نبضات القلب الذي تراه ذي إشارة حقيقة وكم هو صعب على الحصان القيام بذلك. معدل نبضات القلب ليس المؤشر الموثوق لمستوى العمل أثناء المشي والبرولة بسبب تأثير الإثارة على القلب.

استجابة معدل نبض القلب الطبيعية عند التمارين

The Normal Heart Rate Response to Exercise

يتعلق معدل نبضات القلب أثناء التمرين بالعمل مباشرة، أو في الواقع، السرعة. فبينما تزداد السرعة، يزداد معدل النبض القلبي بنسبة حتى الوصول إلى معدل النبض القلبي الأقصى. عندما يعمل الحصان بسرعة ثابتة، يكون معدل النبض القلبي ثابتاً. يتفاوت معدل النبض القلبي للخيول ما بين٢٥– ٢٥٠ ضربة / دقيقة عند الراحة أثناء أشد التمارين. عند بداية عمل ما تحت الحد الأقصى، فإنه لطبيعي جداً رؤية تخطي الحدود لمعدل النبض القلبي أولاً قبل أن يستقر في نسبه الخاصة بعبء الشغل (انظر الشكل رقم ١٠,٧). لذا على سبيل المثال، عند الذهاب من البرولة بمعدل نبض قلبي ما بين ٩٠– ١٢٠ ضربة / دقيقة إلى خبب متوسط السرعة فإن معدل نبض القلب سوف يزداد تماما بسرعة حتى ١٦٠– ١٨٠ ضربة / دقيقة ومن ثم يتناقص مرة أخرى إلى حوالي١٤٠– ١٦٠ ضربة /دقيقة ويبقى ثابتاً إذا ما بقيت السرعة ثابتة وظروف أرضية التمرين وعدم وجود انحدار فيها لا يتغير. في بعض الظروف فإن معدل نبضات القلب قد لا يستقر بالرغم من أن العمل ثابت. أثناء التمرين في الجو الحار أو الحار الرطب، قد يبدأ الحصان الخبب بمعدل نبضات قلبية ١٢٠ ضربة /دقيقة، ولكن إذا زادت درجة حرارة الجسم بمرور الوقت خلال التمرين، فإن معدل النبض القلبي سيزداد تدريجياً مع الزيادة في درجة حرارة الجسم. ويعرف هذا بالجنوح القلبي Cardiac drift.

تخطي حدود معدل النبض القلبي عند بداية الجهد هو ملمح مميز في رد فعل معدل نبضات القلب حيث إن جهاز القلب والأوعية الدموية تقريبا يأخذان الحيطة لما هو أعلى من المطلوب. لقد تم اعتبار ردة فعل قلب الحصان عند ممارسة مجهود منخفض على أنه عجز نسبي بالأكسجين (low oxygen deficit) عند القيام بتمارين عنيفة.



الشكل رقم (١٠,٧). التتبع النموذجي لمعدل نبضات قلب مثالي لحصان يؤدي اختبار عمل متزايد في طاحونة الدوس . تشير السهم الغامقةعلى تخطي معدل ضربات القلب في إنتقال من المشي إلى الخبب ومن الخبب إلى الجري .

عندما الانتهاء جزئياً من العمل، يجب أن يسمح للحصان بإنقاص السرعة بشكل تدريجي. ويجب على الفارس أن يتأكد بأن الحصان يخفض سرعته خلال التروس، ولا يتخبط إلى الهرولة والمشي. إذا ما وقف الحصان فجأة بعد جري سريع، فإن قلبه سيتباطأ مبدئياً ولكن من المحتمل المعدل سيزداد ثانية، مظهراً تجاوزاً لما تم ملاحظته في بداية التمرين. يؤدي ذلك إلى تباطؤ بالعودة إلى الوضع الطبيعي وإذا ما استرخى الحصان، سترى بأن معدل النبض سينخفض إلى المعروف عند الرجوع للمشي أو التوقف المباشر. يظهر استقرار معدل النبض القلبي طورين :

١- مرحلة سريعة أولية.

٢- هبوط أكثر تدرجاً باتجاه القيم عند الراحة (انظر الشكل رقم ١٠,٧).

تتحدّى الخيول قواعد فسيولوجية أساسية

Horses Defy Basic Physiological Rules

كقاعدة عامة، فإن الحيوان الأكبر له معدل أيض قلبي أقل عند الراحة؛ فعلى سبيل المثال، الخيول أكبر من البشر ولها معدل نبض قلبي عند الراحة تقريباً

نصف الذي للإنسان. القاعدة العامة الأخرى هي أن الحيوانات الأكبر لها معدل نبضها القلبي الأعلى أقل . مع أن الخيول لها معدل نبضات قلبية تصل فيه إلى ٢٤٠ ضربة /دقيقة، أعلى مما عند الإنسان والتي تصل ٢٠٠ ضربة / دقيقة. والحقيقة بأن الحصان قادر على زيادة معدل ضربات قلبه بحوالي عشرة أضعاف فوق معدلها عند الراحة وهذا عامل آخر يساهم في الأداء الرياضي المتفوق للحصان. النوع الرياضي الآخر مثل الإنسان والجمل، فإنه يمكنها فقط أن تزيد معدل نبضات قلوبها بحوالي أربعة أمثال فوق قيمة معدلها عند الراحة.

حجم الضربة (السعة الانقباضية) Stroke Volume

يزداد حجم الضربة أثناء التمرين. إن أعلى حجم ضربة يمكن أن ينجزها حصان أصيل وزنة ٥٠٠ كجم هي تقريباً ١,٣ لتر. عموما ، كلما كان القلب أكبر كلما كان حجم الضربة أعظم وهذا ما يشاهد عند الراحة. يزداد حجم الضربة استجابة للقيام بالتمرين، كتحفيز أعصاب الجهاز العصبي السمبثاوي والذي مباشرة يزيد قوة انقباض القلب. يمكن أن يزداد حجم الضربة إلى مقدار ٥٠ ٪ عن قيمها عند الراحة، ولكن غالبية هذه الزيادة تحدث عند الانتقال من الراحة إلى تمارين المشي والركض، مع قليل أو بدون زيادة أكثر بمجرد أن يخب ويجري بسرعة. هناك دائما الاحتمال بأن معدل نبضات القلب العالي قد يحدّد حجم الضربة، بينما الدورة القلبية تترك أقل وقت للملئ البطيني . ثلاثون سنة من الدراسات على الأشخاص الرياضيين أخفقت في توضيح ما إذا كان حجم الضربة الحقيقية يرتفع إلى مستويات أعلى من الجهد البدني أو أنها تستمر في الزيادة حتى تصل إلى أقصى معدل ضربات القلب، وكما يبدو فإنها تختلف اعتماداً على كيفية نمط التمرين والقدرة الفردية.

أخذ الحجم الأقصى من الأكسجين
Maximal Oxygen Uptake ($\dot{V}o_{2max}$)

المقصود به أخذ الأكسجين الممتص بواسطة العضلات، وليس الأكسجين الواصل إلى الرئة. يمثل $\dot{V}o_{2max}$ النسبة القصوى للأكسجين الذي يمكن أن يستعمل. يمكن $\dot{V}o_{2max}$ اعتباره كمقياس المقدرة الهوائية للفرد، ولكن في النهاية سيحدد بعدد الميتوكندريا في العضلات وكفاءة تسليم الأكسجين. أثناء تمرين في الخيول، يزداد أخذ الأكسجين بالعضلات بحدود ٣٥ مرة عن المعدل عند الراحة. تملك الخيول $\dot{V}o_{2max}$ عالية جداً وذلك حسب كتلة الجسم ومن ثم السعة التنفسية الهوائية الكبرى. يبلغ حجم الأكسجين الأعلى عند الخيول الصغيرة (البوني) عادة حوالي ١٠ — ١٠٠ مل STPD /دقيقة / كجم ويصل في الخيول الأصيلة إلى ١٤٠ مل / دقيقة / كجم مقارنة بـ ٧٠ مل / دقيقة / كجم لشخص المسافات الرياضي المميز. استثناء واحد لذلك هو راكب الدراجة ميجيل أندورين (Miguelndurain) والذي ذكر بأنه له $\dot{V}o_{2max}$ بحوالي ١٠٠ مل / دقيقة / كجم، وهذا جعله المكافئ الرياضي لخيل البوني، لكن مازال عند مسافة بعيدة خلف الخيول الأصيلة.

يمكن استعمال مبدأ فيك (Fick principle) لحساب حجم الأكسجين المأخوذ، والذي ينص بأن كمية المادة المزالة أو المأخوذة بواسطة عضو ما في وحدة زمن تكون مساوية للتركيز الشرياني مطروحاً منها التركيز الوريدي من تلك المادة مضروب في سرعة انسياب الدم خلال العضو. ولجميع الجسم فإن الأكسجين المأخوذ يمكن التعبير عنه على هيئة رمزية لمعادلة كما يلي :

$$\dot{V}o_2 = Q \times (Ca - C\bar{v}o_2)$$

حيث $\dot{Q}$ هي الضخ القلبي و $Cao_2 - C\bar{v}o_2$ هو المحتوى الشرياني من الأكسجين منقوص منه المحتوى الوريدي المختلط من الأكسجين. محتوى الأكسجين الوريدي المختلط هو

مقياس في الدم المأخوذ من الشريان الرئوي. إذا ما أخذ دم وريدي من الوريد الودجي فإن هذا سوف يعكس فقط الأكسجين المنزوع بواسطة الرأس والرقبة، لذا يعتبر الدم في الشريان الرئوي ممثل لمزيج حقيقي من الدم يرجع إلى القلب من كل أجزاء الجسم ويدعى بالدم الوريدي المختلط. الدم الوريدي المختلط هو دائماً غني بالمعلومات المفيدة للغاية عندما يراد تقييم حالة غاز الدم مقارنة مع الوريدي الودجي، بالرغم من أن الأخير أسهل كثيراً لجميع الدم.

الخيول قادرة على الزيادات الضخمة في أخذ الأكسجين استجابة للتمرين ، ويرجع هذا جزئياً بسبب قدرتها لزيادة الناتج القلبي بحوالي عشرة أضعاف فوق النسبة وقت الراحة. على أية حال، تنشأ مساهمة أكبر من الحصان حتى يكون قادراً على تحسين أكسجينه بشكل ملحوظ لتحميل سعة أكبر من الأكسجين ومن ثم عن طريق العضلة بواسطة زيادة محتوى أكسجين الدم.

في بداية التمرين، وحتى عند الاستعداد له، يؤدي تحفيز الأعصاب العطوفة(السمبثاوية) إلى زيادة دوران و توزيع الأدرينالين. يسبب إفراز الأدرينالين انكماش الطحال و إطلاق خلايا الدم الحمراء المخزنة لديه. يحقن الحصان دورته الدموية الخاصة بشكل حرفي بكريات دم حمراء إضافية، واعتبرت هذه ممارسة غير شرعية نفذت لبعض عدائي المسافة في السبعينيات من القرن الحالي التي كان عندها حوالي لتر من الدم سحبت منه وبردّت لستة أسابيع أو حولها قبل عملية المنافسة. استجابة الجسم على فقدان خلايا الدّم بواسطة عمل المزيد من الخلايا وبالتالي يرجع المستوى إلى الوضع الطبيعي. عندما تم حقن الدّم المنتزع ثانية قبل أيام قليلة من السباق، أدى إلى زيادة عدد خلايا الدم الحمراء في الدوران ومن ثم رفع قدرتها على حمل الأكسجين. توجه مماثل استخدم من قبل العديد من راكبي الدراجات المحترفين في السنوات الأخيرة.

على أية حال، بدلاً من أخذ المزيد من كريات الدم الحمراء، يأخذون عقار يسمى الإريثروبيوتن Erythropoetin (الاسم الشائع يسمى EPO) والذي يحفز نخاع العظم لإنتاج الكريات الحمراء أكثر من الوضع الطبيعي. بينما النسبة الطبيعية لهذه الكريات في رياضي البشر المتدربين حوالي ٠,٤٠ – ٠,٤٥ لتر/ لتر (الحجم لكريات الدم المضغوط)، فإنه يرتفع إلى ٠,٦ لتر/ لتر كما تم قياسها. في السنوات الأخيرة، قاد هذا اتحادات ركوب الدراجات لوضع حد أعلى هو ٠,٥ لتر/لتر للحجم المضغوط لكريات الدم قبل بداية المنافسة لمحاولة وتحديد استخدام الإريثروبيوتن. يحسن نقص الدم موضوعياً ، $\dot{V}o_{2max}$ (Buick *et al*, 1980) ومن ثم يحسن الأداء في الأحداث مع مساهمة هوائية كبيرة. كما سترون فيما يلي، الحصان قادر على إنجاز هذا وأكثر، ولكن قانونياً! الانكماش الطحالي يعتقد بأنه يفسر أغلبية الزيادة بنفاذ الأكسجين فوق مستويات الراحة، ويوضح سبب كون الحصان قادراً على مثل هذا $\dot{V}o_{2max}$ الكبير مقارن بالثدييات الأخرى التي لا تمتلك احتياطات طحالية لكريات الدم الحمراء.

الاحتياطات الطحالية

Splenic Reserves

على الأقل ثلث العدد الكلي لكريات الدم الحمراء في جسم الحصان مخزون داخل الطحال ويمكن إطلاقه استجابة للزيادة في الأدرينالين. إن كمية كريات الدم الحمراء في حجم معين من الدم يعبر عنه من ناحية بمصطلح الحجم المضغوط لكريات الدم الـ PCV الذي يزداد تدريجياً مع السرعة. يتراوح الحجم المضغوط لكريات الدم PCV عند الراحة تقريباً ما بين ٠,٣٠– ٠,٧٠ لتر / لتر، يرتفع إلى ٠,٦٠ — ٠,٧٠ لتر/لتر أثناء التمرين الأشد أو يتلو حقن الجرعة العالية للأدرينالين. كلما كان الحجم المضغوط لكريات الدم أكبر، كلما كانت لزوجة الدم أكثر ، والأصعب للقلب لكي

يضخ الدم خلال دورانه. على سبيل المثال، قدَّر Fedde &Erickson (1998) بأن زيادة في الحجم المضغوط لكريات الدم للحصان من ٠,٠٤ لتر /لتر عند الراحة إلى ٠,٦٥ لتر / لتر أثناء التمرين سوف يضاعف اللزوجة الظاهرة للدّم. تؤدي الحركة الكلية لكريات الدم الحمراء من الطحال إلى زيادة في تركيز هيموجلوبين الدم، من ١٥٠ جم /لتر– ٢٢٠ جم /لتر. تحدث الحركة الكلية لكريات الدم الحمراء في حدود ٢٠ ثانية من بداية تمرين عالي القوة، ولكنه يستغرق حوالي ساعة واحدة لترجع كل هذه الخلايا إلى الطحال بعد التمرين. تناقص الدم Blood doping لا يفيد الحصان الرياضي بالضرورة، وهو يؤدي إلى دم لزج للغاية وفي الحقيقة سيكون أكثر صعوبة للقلب أن يضخه حول الجسم، ومن المحتمل أن ينخفض الناتج القلبي. لذا لا تحتاج الخيول إلى الاستفادة من تناقص الدم ؛ فهي تقوم بذلك طبيعياً بإصدار كريات دم حمراء مخزنة في الطحال.

ضغط الدم أثناء التمرين
Blood Pressure During Exercise

قيمة قياس ضغط الدم الشرياني عند الراحة في شريان كبير مثل السباتي عند الخيول هو حوالي (١٢٠ / ٨٠ مم زئبق) وكما هو الحال في البشر. أثناء التمرين تحت العالي، لا يتغير ضغط الدم، وهو ربما قد ينخفض بعض الشيء بسبب توسع الأوعية في العضلات العاملة والجلد، ولكن أثناء التمرين الأعلى فإن ضغط الدم يزداد إلى حوالي 16.0 KPa / 26.7 (٢٠٠ / ١٢٠ مم . زئبق) وبمتوسط حوالي 22.7 KPa (١٧٠ مم . زئبق). تكون الزيادة في الضغط الشرياني في الدورة الدموية الجهازيه مصحوبة بزيادة ملحوظة (دراماتيكية) لدرجة أكبر من ضغط الشرياني الرئوي . عند الراحة يكون معدل ضغط الشريان الرئوي حوالي 2.0–4.0 KPa (١٥ — ٣٠ مم . زئبق)

ويمكن أن يزيد عن 13.3 KPa (١٠٠ مم . زئبق) أثناء التمرين الشاق. ردة الفعل في الضغط الشرياني الرئوي لا يشاهد في الإنسان وأن الضخ القلبي الخاص نتيجة معينة لضخ الدم العالي لكتلة في الحصان (وبمعنى آخر لكتلة جسمه). يعتقد بأن مجرى الدم خلال الرئتين كبير للغاية بحيث يعود الدم الشرياني من سطح التبادل الغازي في الدوران الوريدي الرئوي ويغمر البطين الأيسر. الأذين الأيسر غير قادر على مجاراة نسبة التدفق فينساب الدم قدوماً إلى الأوردة الرئوية. يزيد هذا الضغط الوريدي الرئوي ويرسل للخلف على طول النظام خلال الشبكة الشعرية الرئوية ومن ثم إلى الدوران الشرياني الرئوي. القياسات المباشرة للضغط الأذيني الأيسر في الخيول أثناء تمرين شاق يصل إلى 9.3 KPa (٧٠ مم . زئبق) كما تمت الإشارة لذلك سابقاً. بينما اقترح بعض العلماء أن هذا يشير إلى أن الأذين الأيسر يفشل، وإن الضغوط الوريدية العالية جداً تكون مطلوبة لمساعدة الأذين الأيسر لملأ البطين الأيسر بمعدل نبض قلبي يرتفع حتى ٢٤٠ ضربة / دقيقة. قد تكون الضغوط الوعائية الرئوية العالية جزء ضروري لناتج قلبي عالي ومستوى عالي لـ $\dot{V}o_{2max}$ ، بالرغم من أن المقابل قد يكون معاناة الحصان من EIPH. إنه غالباً من السهل أن توزن هذه القضايا من ناحية الفائدة التطورية :

أ– جري مسطح لمدة ٣٠– ٤٠ ثانية ، هروب ومعاناة من نزف رئوي حاد أو

ب – لا يجري بنفس السرعة، ولا يشكو من الـ EIPH، ولكن يمسك ويؤكل.

يبدو الاختيار سهل للغاية الآن.

التوافق بين الطلب على الأكسجين والتزود به
Matching Oxygen Demand and Supply

في سباقات العدو السريع تجهز الخيول للسرعات الأعلى تقريباً. في بداية مثل هذا السباق، يكون الطلب على الأكسجين بواسطة العضلات قريب من حده الأعلى، ولكن هناك تأخر بين بداية الطلب على الأكسجين وتسليم المستويات الكافية

للأكسجين إلى العضلات. يلزم قليل من الوقت لتسليم الأكسجين بواسطة الجهاز القلبي الوعائي لمجاراة حاجة العضلات. وقد يستغرق ٢٠ — ٣٠ ثانية للوصول لمعدل نبضات القلب الأعلى وكمية مماثلة من الوقت للانكماش الطحالي الكامل، حيث يؤدي إلى "عجز" أكسجيني في بداية تمرين عنيف، بينما جهاز القلب و الأوعية الدموية يلحق بالطلب على الأكسجين بالنشاط المتزايد بشكل مثير للعضلات. تعتبر الخيول عموماً جيدة جداً بالنسبة للتجهيز المماثل لتلبية الطلب نسبياً وبسرعة، ويستجيب جهاز القلب و الأوعية الدموية فيها بشكل أسرع منه عند الرياضيين من البشر. على سبيل المثال، وجد Rose *et al.* (1988) أن تسليم ٩٥ ٪ من الأكسجين كان من الحالة الثابتة تم خلال ٣٠ ثانية من بداية التمرين. على أية حال، الدراسة الأكثر حداثة التي قام بها Langesetmo *et al.* (1997) أوضحت أن تحت عتبة اللاكتيت المكون السريع لامتصاص الأكسجين أكثر منه في الإنسان، ولكن سواءً كان كل منهما تحت وفوق عتبة اللاكتيت فإن خصائص كيفية ازدياد أخذ الأكسجين استجابة للتغيرات في الطلب على الأكسجين عند مستوى العضلة كانت عموماً مشابهة لما يحدث في الإنسان.

الاستجابة القلبية الوعائية للتدريب
The Cardiovascular Response to Training

تشتمل الردود القلبية الوعائية للتدريب على عوامل تتعلق بالقلب نفسه، وتلك التي تتعلق بالجهاز الوعائي، أو الأوعية الدموية. هناك تحسينات هامّة في كلا تسليم الأكسجين وقدرة حمل الأكسجين كنتيجة للتدريب. تقليدياً، نحنُ علّمنا أن الضبط القلبي الوعائي يحدث في المراحل النهائية للبرنامج التدريبي رداً على العمل السريع، لكن البحث يوضح بأن العديد من التكيفات تحدث كاستجابة للعمل البطيء المنفذ في المراحل المبكرة من البرنامج التدريبي.

الزيادة في كتلة القلب Increase in Heart Mass

اتضح أن الزيادات المحسوبة في كتلة القلب بحوالي ٣٣٪ باستعمال المخطط القلبي الصوتي (Echocardiography) تحدث في الخيول الأصيلة عند عمر سنتين بعد ١٨ أسبوعاً من تدريب السباق التقليدي. على أية حال، محفز التدريب يجب أن يكون من النوع والمدّة الملائمة حتى يتم إنجازه. إن مشي ساعة واحدة في اليوم، من المحتمل أن يكون لها أثر على قلب الحصان. ركض في السرعة الأعلى لمدة ثلاثون ثانية لربما ينتج تأثيراً مختلفاً بمقارنة إلى ١٠ دقائق من الخبب المستمر عند معدل نبض قلبي ١٨٠ ضربة / دقيقة إن القلب عضلة و مثله مثل أي عضلة هيكلية أخرى، يتكيف لمتطلبات التدريب. هناك طريقتان محتملتان يمكن للقلب أن يكيف نفسه : (أ) زيادة سمك جدرانه و / أو (ب) زيادة قطر غرفه. يؤدي زيادة سمك الجدران إلى زيادة قوته في الانقباض وزيادة قطر غرفه يؤدي إلى زيادة حجم الضربة (السعة الانقباضية).

في البشر، تدريب الوزن أو تدريب قوة الرياضة يميل أولياً إلى زيادة سمك جدران القلب، بينما تدريب التحمل يؤدي إلى زيادة في قطر غرفه. من خلال فصل تدريب سباق استمر ١٨ شهراً، أظهرت الخيول الأصيلة كلا التكيفين (Young ,1999). يُحدث التدريب زيادة في كتلة القلب بمعدل ٠,١٪ من كتلة الجسم والتي تؤدي إلى زيادة في حجم الضربة، وإلى خفض معدل نبضات قلب عند أي شغل معطى، ونتائج قلبي أعلى و أعظم. وهكذا دم أكثر أكسجيني يمكن أن يسلم إلى العضلات. وجد Thomas *et al*(١٩٨٣) زيادة ١٠ ٪ في حجم الضربة بعد عشرة أسابيع من التدريب على مطحنة الدوس، حيث الخيول خبت عند معدل ضربات قلبية تصل إلى ١٥٠ ضربة / دقيقة. على أية حال، لم يذكر باحثون آخرون مثل هذه الزيادة في حجم الضربة. إنه من المحتمل أن مرحلة تدريب الخيول وعمرها ونوع العمل هي التي تفسر الاختلافات التي ظهرت.

تغيرات في معدل النبض القلبي استجابة للتدريب

Changes in Heart Rate Response With Training

الحصان المدرب يجب وبشكل دائم تقريباً أن يكون قادراً على الشغل عند أي سرعة معطاة مع معدل نبض قلبي منخفض نسبياً بمقارنته بذلك الحصان قبل التدريب. على سبيل المثال، إذا خب حصان عند ١٠ م /ثانية (٦٠٠ متر / دقيقة) قبل التدريب لربما يصل معدل النبض القلبي حوالي ١٩٠ ضربة / دقيقة، لكن بعد التدريب ربما يكون قادراً على الخب في نفس السرعة بمعدل نبض قلبي فقط ١٧٠ضربة / دقيقة. من المحتمل أن تكون الخيول المدربة أيضاً عندها انخفاض في معدل النبض القلبي الأقصى أثناء التمرين ومعدلات نبض قلبي تميل للارتفاع قد يصل معدل نبضات القلب القصوى إلى ٢١٠ – ٢٢٠ ضربة / دقيقة. الخيول اللائقة أيضاً لها معدل استرداد قلبي أسرع بعد التمرين. على أية حال، قياس معدل نبضات القلب عند أي سرعة معطاة، أو حتى قياس وقت مستوى التحسن، لا يزودنا بمعيار مؤكد للـ "اللياقة" طالما الخيول الأكثر رياضية سيكون عندها معدلات نبض قلبية عاملة أقل نسبياً وأقل لياقةً وأوقات تحسن أسرع من خيول أخرى أقل رياضية وأقل لياقة. إنه لمن الصعب التمييز تماماً بين اللائق وغير اللائق على أساس معدل النبض القلبي بمفرده. هو، على أية حال، يمكن استعمال مقياس استجابات معّدل نبضات القلب بمرور الوقت لمراقبة التغير في اللياقة عند الأفراد.

تزايد حجم البلازما **Increased Plasma Volume**

إذا أفرغنا كل الدم من جسم حصان وتم فصل مكونات الدم والبلازما، فإن الحجم الكلي للبلازما سوف يمثل حجم البلازما والحجم الكلي لخلايا الدم الحمراء. زيادة حجم البلازما استجابة للتدريب تم توضيحه من قبل ، Mckeever *et al.*(١٩٧٨) لقد كان هنالك زيادة ٢٩,١ ٪ من حجم البلازما بعد ١٤

يوماً من العمل على مطحنة الدوس في سرعه تصل إلى (١,٦ متر/ ثانية). إلى حد بعيد فإن غالبية الزيادة (٩٠ ٪) تحدث خلال الأسبوع الأول، وتم المحافظة على زيادة حجم البلازما لمدة ٦ أسابيع بعد توقف التدريب. هكذا، يبدو أن الزيادة في حجم البلازما (المعرف بزيادة الحجم Hypervolaemia) تحدث رداً على المستويات المنخفضة نسبياً من التدريب. حجم البلازما عند الراحة في الخيول وهي من ذوات الدم الحار يكون حول ٥٠ — ٦٠ مل / كجم من كتلة الجسم. تميل الخيول الأصيلة إلى امتلاك كتلة أعلى من حجم البلازما هذا يصل حتى ٧٥ مل / كجم عند الراحة. يمتلك حصان أصيل وزنه ٥٠٠ كجم حوالي ٣٢ لتر بلازما.

لزيادة حجم الدم (Hypervolaemia) ثلاث منافع :

١ – زيادة في سعة التنظيم الحراري. تخيل بأن عندك نظام تدفئة مركزية مع فقط مشعاعان (radiator) في غرفتين مختلفتين، ولكن هناك ماء كافي فقط لملأ مشعاع واحد. وليكن عندك مشعاع واحد عاملٌ، عليك أن تقفل المشعاع الآخر. وإذا أمكنك أن تضع ماءً أكثر في النظام، ستكون قادراً على امتلاك كلتا المشعاعين يعملان. عندما يعمل الحصان بجد، خصوصاً في جو حار أو حار ورطب، ترتفع درجة حرارة جسمه بسرعة أكثر مما هو في الجو البارد. الاستجابة الفسيولوجية إلى زيادة في درجة الحرارة الداخلية تم من خلال إرسال دم أكثر إلى الجلد لتشتيت الحرارة حيث الحاجة للتخلص من الحرارة تكون ماسة، وتصبح الأوعية الدموية الواصلة للجلد متوسعة بالكامل ودم أكثر بشكل متناسب يعاد توجيهه إلى الجلد للمساعدة في التخلص من الحرارة. هذا يمكن أن يحدث للمدى الذي فيه مجرى الدم إلى العضلات قد تم تسويته. يدّرب الحصان وله حجم بلازما أعلى وحجم دم كلي أعلى وجريان الدم للعضلات الهيكلية أقل من المحتمل أن يسوى لكي يرسل دماً كافياً إلى الجلد للتبريد. يتفاوت المدى الذي تختار فيه

الخيول إرسال الدم إلى الجلد أو إلى العضلات بين السلالات. تبدو السلالات و الأنواع الأثقل لاختيار التنظيم الحراري راجع إلى الأداء. تظهر الخيول الأصيلة لاختيار إستراتجية تحويل أكثر الدم بعيداً عن الجلد عند المجهود العالي الكثافة ولها القدرة على رفع درجة حرارة الجسم بشكل كبير.

٢- يساهم زيادة حجم الدم في الزيادة في السعه الانقباضية. الدم الأكثر في الدورة الدموية ، فإن حجمه الأكبر يعود إلى الجانب الأيمن للقلب بعد الدوران حول الجسم (ويعرف ذلك بالعودة الوريدية). تتناسب السعة الانقباضية طردياً مباشرة مع العودة الوريدية ويساهم فيما قبل التحميل ، يعّرف المبدأ بقانون ستارلنج (Starling law) للقلب ، الذي ينص على أن طاقة الانقباض تتناسب مع الطول الأولي لليفة العضلية القلبية. التفسير الأساسي لهذا هو "من يدخل ، عليه أن يخرج". وعند أكبر امتلاء للبطين (قبل التحميل) تتمدد الجدران العضلية للبطين أكثر ويكون حجم الضربة أكبر كنتيجة للانقباض.

٣- تساعد الزيادة في حجم الدم المدور أيضا في تخفيف ونقل و إعادة توزيع وإزالة منتجات الأيض مثل ثاني أكسيد الكربون وأيونات الهيدروجين والأمونيا.

زيادة تجمع خلايا الدم الحمراء الكلي

Increased Total Red Blood Cell Pool

ترتبط الزيادة في حجم تجمع الكريات الحمراء الكليّة كنتيجة للتدريب مع محتوى الهيموجلوبين المتزايد. زيادة حجم البلازما بجانب وتركيز الهيموجلوبين (Hb) (كمية Hb لكل لتر من الدم) عادة لا تتغير مع التدريب ، بالرغم من زيادة المحتوى المطلق لليهموجلوبين (الكمية الكلية في الدوران) ، خصوصاً أثناء التمرين عند الانكماش الطحالي الكامل. تؤدي الزيادة في محتوى الكريات الحمراء إلى زيادة أيضاً في

القدرة على نقل الأكسجين في التمرين العنيف، لكن ليس له أي منفعة حقيقية أثناء التمرين تحت الأعلى أو في حالة الراحة. الهيموجلوبين هو أحد المكونات الرئيسة في الدم، القادر على امتصاص أيونات الهيدروجين طالما لم تفرغ أوكسجينها. في الحقيقة، يساعد وجود أيونات الهيدروجين في عدم تفريغ الأكسجين من الهيموجلوبين عند مستوى الدوران الشعيري العضلي . الزيادة في محتوى الهيموجلوبين كنتيجة للتدريب أيضاً تسمح للحصان أن يتحمل عبء أعلى من أيونات الهيدروجين.

الدوران الشعيري المتزايد Increased Capillarisation

كنتيجة للتدريب الأولي الهوائي، تتحسن الشبكة الشعرية داخل العضلة. تؤدي الشبكة الشعرية الكثيفة إلى خفض ضغط أكبر عبر سرير العضلة الشعري ونسبة أقل من التدفق خلال الأوعية الشعرية. يسمى الوقت المستغرق للدم ليعبر السرير الشعيري بوقت العبور. زيادة وقت العبور للدم خلال العضلة كنتيجة للتدريب، يؤدي إلى تحسين إزالة أيونات الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون و اللاكتيت. إن تحسن إزالة اللاكتيت من العضلة وإعادة التوزيع في كافة أنحاء الجسم يؤديان إلى تأخير الوقت (مّده و/أو كثافة التمرين) الذي تصل عنده العتبة اللاهوائية. استعمل هذا كمؤشر على أداء الخيول. تسمى السرعة التي عندها يحتوي دم الحصان لاكتيت بمقدار ٤ ملليمول / لتر (V_{LA4} (mmol/L). أوضح Thornton *et al* (1983) ، أن برنامج تدريبي لمدة خمس أسابيع ينتج عنه زيادة في متوسط V_{LA4} من ٧-٨ متر/ثانية. لذلك وفي التوسط وقبل التدريب، يصل تركيز اللاكتيك إلى ٤ ملليمول/لتر عند سرعة ٧ متر/ ثانية، بينما بعد التدريب الخيول يمكنها أن تجري عند ٨ متر/ ثانية قبل أن تصل إلى نفس مستوى لاكتيت الدم.

نقاط مفتاحية **KEY POINTS**

- يعتقد منذ فترة طويلة أن القلب الكبير يتوافق مع القدرة الرياضية العالية.
- قلب الحصان الأصيل النموذجي هو حوالي ٤–٥ كجم أو حوالي ٠,٩ ٪ من كتلة الجسم.
- قد يزيد التدريب من حجم غرف القلب (حجم البطين) وسمك الجدران البطينية وكما يزيد من حجم الضربة وقوة الانقباض.
- يمكن أن يرتفع الناتج القلبي (حجم الضربة × معدل نبضات القلب) من حوالي ٢٥ لتر / دقيقة عند الراحة إلى ٢٤٠ لتر / دقيقة أثناء تمرين شاق.
- يتحول سريان الدم أثناء التمرين بعيداً عن الأعضاء مثل الكلية والقناة الهضمية إلى الجلد والعضلات. عند التمرين العالي العنيف يتم جريان الدم في الجلد، ومن ثم التنظيم الحراري، وحتى دعم جريان دم عضلي عالي.
- يكون معدل ضربات القلب الحقيقي عند الراحة عادة حوالي ٢٠– ٢٥ ضربة / دقيقة ومازال هناك نقاش عما إذا ما كان ينقص مع التدريب.
- تنزل ضربات القلب عند كثير من الخيول الصحية العادية وقت الراحة. تدعى هذه باسم الدرجة الثانية للمنع الأذيني البطيني وتتعلق بتنظيم ضغط الدم الشرياني الجهازي.
- دندنة القلب هي أصوات مرتبطة بجريان الدم بالإضافة إلى الأصوات الطبيعية المرتبطة بصمامات القلب .
- يقاس معدل النبض القلبي عادة بالإنصات، وعن طريق التحسس والتخطيط القلبي الكهربائي، جس Palpation، من ECG أو من مراقب معدّل نبضات القلب.
- يزداد معدل نبضات القلب بشكل تدريجي مع الجهد إلى معدل نبضات القلب القصوى. تصل معدل نبضات القلب القصوى عند حوالي ٩٠٪ من أخذ الأكسجين الأقصى.

تابع نقاط مفتاحية

- معدل نبض القلب الأعلى في حصان سباق بعمر ستتان قد يرتفع حتى ٢٤٠ ضربة / دقيقة وقد ينخفض إلى حوالي ١٩٠ ضربة / دقيقة إذا بلغ من العمر ١٥ سنة.
- أثناء تمرين مطول مصحوب بزيادة بطيئة في درجة حرارة الجسم ربما تؤدي إلى زيادة بطيئة مطابقة لمعدل نبضات القلب والمعرفة بالانجراف.
- ينقبض معدّل نبضات القلب عادة بسرعة في نهاية التمرين يلي ذلك وبشكل بطيء كثيراً من التحسن.
- يمكن أن يزداد حجم الضربة بحوالي ٥٠٪ استجابة للتمرين.
- يشير أخذ الأكسجين الأعلى إلى النسبة القصوى التي يستطيع عندها الجسم أن يستعمل الأكسجين خلال المجهود الشاق، وهذه بشكل رئيس وظيفة تسليم الأكسجين بواسطة الجهاز الوعائي وعدد من الميتوكندريا في العضلات.
- يمكن للخيول أن تزيد من عدد الكريات الحمراء في الدورة الدموية وذلك بتقليص الطحال خلال المجهود. يزيد ذلك من تركيز هيموجلوبين الدم ومن ثم سعة حمل الأكسجين.
- يزداد متوسط الضغط الدموي الشرياني أثناء المجهود الشاق بحوالي ٧٠ ٪، ولكن متوسط الضغط الشرياني الرئوي قد يزداد حتى ٤٠٠ ٪.
- من جراء التحفيز السريع، إنه فقط يأخذ الحصان حوالي ٢٠- ٣٠ ثانية ليصل معدل نبض القلب الأقصى خلال و٣٠ ثانية ليصل إلى ٩٥ ٪ من أقصى أخذ للأكسجين.
- يؤدي التدريب تغيرات في كتلة القلب واستجابة معدل الضخ القلبي عند المجهود ومعدل استعادة نبض القلب وحجم البلازما وحجم الدم الكلي.