المحاضرة الخامسة

استجابات القلب والأوعية الدموية للتمرين الرياضي الحاد

فهم التغييرات التي تحدث في جميع مكونات الجهاز القلبي الوعائي من الراحة إلى التمارين المكثفة.

بعد مراجعة أساسيات علم أنظمة القلب والأوعية الدموية: نبحث في هذه المحاضرة بشكل خاص في كيفية استجابة هذا النظام للطلبات المتزايدة المفروضة على الجسم أثناء ممارسة التمارين الرياضية المكثفة, فخلال المجهود البدني الرياضي، يزداد الطلب على الأكسجين للعضلات النشطة بشكل كبير ويتم استخدام المزيد من العناصر الغذائية، حيث تسرع عمليات التمثيل الغذائي ، مما ينتج عنه المزيد من الفضلات , فأثناء التمرين البدني أو التمرين المطول في مناخ حار ، ترتفع درجة حرارة الجسم, وأثناء التمرين المكثف يزيد تركيز H^+ في العضلات والدم ، مما يخفض درجة الحموضة.

تحدث أثناء التمرين الديناميكي العديد من التغيرات القلبية الوعائية المترابطة ، والغرض الرئيسي من هذه التعديلات هو زيادة تدفق الدم إلى العضلات العاملة؛ ومع ذلك، يعتبر التحكم في القلب والأوعية الدموية لكل انسجة وأعضاء الجسم تقريبًا ضعيف، ولفهم التغييرات التي تحدث بشكل أفضل نحتاج إلى إلقاء نظرة على وظيفة القلب والدورة المحيطية. خلال هذه المحاضرة سنلقي نظرة على التغييرات في جميع مكونات الجهاز القلبي الوعائي ، من الراحة إلى التمارين المكثفة.

1- معدل ضربات القلب,
نبض القلب

يعد معدل ضربات القلب أحد أبسط القياسات الفسيولوجية استجابات للقياس ، لكنها واحدة من أكثر المعلومات إفادة من حيث الإجهاد القلبي الوعائي والجهد, ويتضمن قياس معدل ضربات القلب ببساطة قياس نبض الشخص ، عادةً في الشريان الشعاعي أو الشريان السباتي, ويعد معدل ضربات القلب مؤشرًا جيدًا على شدة التمرين النسبية.

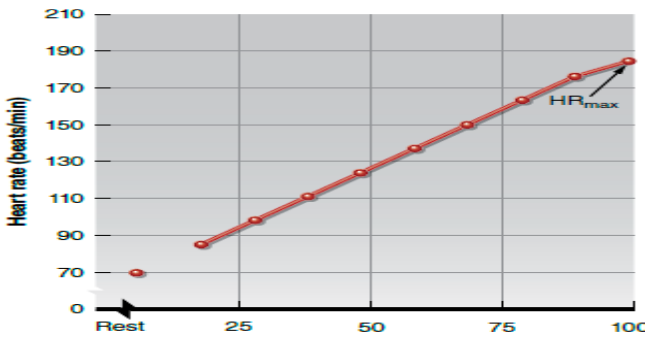
2- معدل ضربات القلب أثناء الراحة.

يتراوح معدل ضربات القلب أثناء الراحة من 60 إلى 80 نبضة / دقيقة عند معظم الاشخاص, وتصل معدلات راحة منخفضة إلى 28-40 نبضة / دقيقة عند الرياضيين المتدربين على التحمل والظروف الخاصة, فيرجع هذا في المقام الأول إلى زيادة في نغمة السمبتاوي (المبهمي) التي تصاحب تمارين التحمل, كما يمكن أن يتأثر معدل ضربات القلب أثناء الراحة أيضًا بالعوامل البيئية, فعلى سبيل المثال تزداد نبضات القلب مع درجات الحرارة القصوى وفي المرتفاعات.

قبل بداية التمرين بقليل ، يزيد عدد النبضات القلبية قبل التمرين الرياضي بشكل عام عن قيمها عند الراحة, فيسمى هذا بالاستجابة الاستباقية , تتم هذه الاستجابة بوساطة تحرير النورابينفرين من الجهاز العصبي الودي وهرمون الأدرينالين من النخاع الكظري, كما تنخفض النغمة المبهمة, ونظرًا لأن النبضات القلبية قبل التمرين تكون عالية, فإجراء قياسات موثوقة للنبضات القلبية الحقيقية يكون فقط في ظل ظروف الاسترخاء التام ، مثل الصباح الباكر قبل أن ينهض الشخص من فراشه. فكلما كان المرء أكثر لياقة من الناحية البدنية، كان معدل نبضات القلب أثناء الراحة أكثر انخفاضا.

3- معدل ضربات القلب أثناء التمرين البدني

يوفر قياس معدل نبضات القلب وسيلة للتوجيه أثناء التدريب، وهو ما يمنح المرء شعورا معيّنا بالتحميل المناسب، بينما من الأفضل للرياضيين الطموحين والتنافسيين الاهتمام بقياس معدل نبضات القلب بانتظام من أجل التدريب لرفع وتحسين الأداء في نطاقات مختلفة, حيث يزداد معدل ضربات القلب عند بداية المجهود الرياضي بالتناسب المباشر مع زيادة كثافة التمرين (الشكل ....) ، حتى الوصول إلى أقصى قدر ممكن من المجهود, وعند الاقتراب من شدة التمرين القصوى ، يبدأ معدل ضربات القلب في الاستقرار حتى وإن استمرت زيادة حمولة التمرين, فيشير هذا إلى أن معدل ضربات القلب يقترب من قيمة قصوى, ويعتبر الحد الأقصى لمعدل ضربات القلب أعلى قيمة يصل إليها معدل ضربات القلب خلال مجهود عام يبلغ التعب الطوعي. بمجرد تحديدها بدقة ، تعد معدل ضربات القلب القصوى قيمة موثوقة للغاية تظل ثابتة من يوم لآخر, إلا أن هذه القيمة تتغير بشكل طفيف من سنة إلى أخرى بسبب الانخفاض الطبيعي المرتبط بالعمر.



الشكل رقم 6

ييرات في معدل ضربات القلب (HR) عندما يمشي الشخص تدريجيًا ، ويركض ، ثم يجري على جهاز ي مع زيادة الشدة. يتم رسم معدل ضربات القلب مقابل كثافة التمرين الموضحة كنسبة مئوية من VO2max اضي ، وعند هذه النقطة تبدأ الزيادة في معدل ضربات القلب في الاستقرار. معدل ضربات القلب في هذه سبة هو أقصى معدل لضربات القلب أو HRmax للرياضي.

غالبًا ما يتم تقدير ضربات القلب اقصوى HRmax بناءً على العمر لأن HRmax يُظهر انخفاضًا طفيفًا ولكن ثابتًا بنحو نبضة واحدة في السنة من سن 10 إلى 15 عامًا, وعند طرح السن من 220 نبضة / دقيقة سيوفر تقديرًا تقريبيًا لقيمة ضربات القلب الفصوى المتوقعة له. ومع ذلك ، هذا مجرد تقدير ، حيث تنحرف القيم الفردية بشكل كبير عن متوسط القيمة. على سبيل المثال ، بالنسبة لامرأة تبلغ من العمر 40 عامًا ، يقدر معدل ضربات القلب بـ 180 نبضة / دقيقة (HRmax = 220-40 نبضة / دقيقة). ومع ذلك ، فإن 68 ٪ من البالغين من العمر 40 عامًا لديهم قيم HRmax فعلية بين 168 و 192 نبضة / دقيقة (يعني ± 1 الانحراف المعياري) ، و95٪ تقع بين 156 و 204 نبضة / دقيقة (يعني ± 2 انحرافات معيارية).

يوضح هذا احتمال حدوث خطأ في تقدير ضربات القلب القصوى للفرد, وق تم تطوير معادلة مماثلة ولكنها أكثر دقة لتقدير ضربات القلب القصوى من العمر.

HRmax = 208 – (0.7 × age in years).

تزداد دقات القلب بسرعة إلى حد ما حتى تصل إلى مرحلة الاستقرار (تصبح مستقرة) عندما تظل شدة التمرين ثابتة في أي حمولة عمل دون الحد الأقصى، هذه الهضبة هي معدل ضربات القلب المستقر ، وهي معدل ضربات القلب الأمثل لتلبية متطلبات الدورة الدموية عند معدل المجهود المحدد ، وسيعود معدل

ضربات القلب إلى قيمة الحالة المستقرة الجديدة في غضون 2-3 دقائق عند زيادة لاحقة في شدة المجهود البدني لدى الرياضي. ومع ذلك ، فكلما زادت شدة التمرين ، كلما استغرق الوصول إلى قيمة التوازن هذه وقتًا أطول.

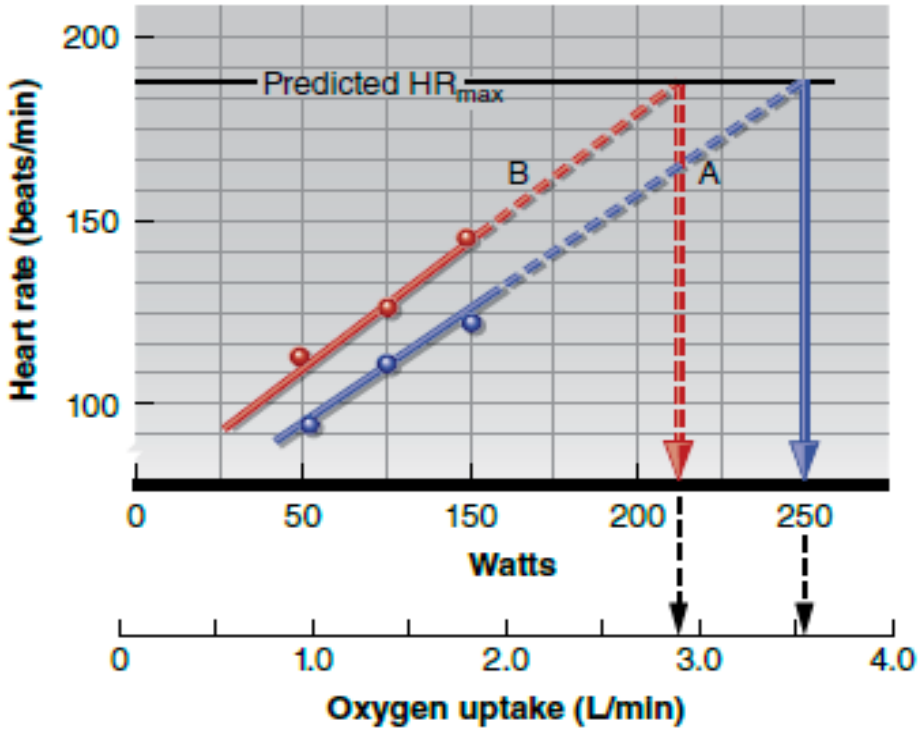
يعتبر مفهوم معدل ضربات القلب المستقر أساس اختبارات التمارين البسيطة التي تم تطويرها لتقدير اللياقة القلبية التنفسية (الهوائية) ، وفي أحد هذه الاختبارات يتم وضع الأفراد على آلة مقاس الدراجة الارجومترية، ثم يؤدون تمرينًا بشدتين أو ثلاث من المجهود البدني،

فأولئك الذين يتمتعون بقدرة أفضل على التحمل القلبي التنفسي سيكون لديهم نبضات قلب في حالة الاستقرار منخفضة خلال كل شدة حمل من التمرين مقارنة بأولئك الذين لديهم أقل لياقة. وبالتالي ، فإن معدل ضربات القلب في حالة استقرار منخفضة في شدة تمرين ثابتة هو مؤشر صالح لتحسين لياقة القلب والجهاز التنفسي. يوضح الشكل,,,,...نتائج اختبار تمرين متدرج دون الحد الأقصى الذي يتم إجراؤه على الدراجة الارجومترية.

يُقاس معدل ضربات القلب لشخصين مختلفين من نفس العمر في الحالة المستقرة بثلاثة أو أربعة أحمال عمل منفصلة، ويتم رسم خط لأفضل ملائمة من خلال نقاط البيانات. نظرًا لوجود علاقة متسقة بين شدة التمرين واحتياجات الطاقة، ويمكن رسم النبضات القلبية في الحالة المستقرة مقابل الطاقة (V .O2) المطلوبة لأداء عمل على دراجة مقياس الجهد. يمكن استقراء الخط الناتج إلى النبضات القلبية القصوى المتوقع بناءً على العمر لتقدير قدرة التمرين القصوى للفرد. في هذا الشكل ، يتمتع الشخص A بمستوى لياقة أعلى من الشخص B لأنه:

(1) عند شدة دون الحرجة، يكون معدل ضربات القلب لدي الشخص A أقل.

(2) استقراء النبضات القلبية القصوى المتوقعة بالعمر ينتج عنه قدرة تمرين قصوى تقديرية أعلى (V .(.O2max



لشكل رقم 7 استقراء الحد الأقصى المتوقع لامتصاص الأكسجين باستخدام الحد الأقصى لمعدل ضربات القلب المقدر لشخص كما هو موضح هنا.

ردين لهما معدلات قلب قصوى تقديرية متشابهة ولكنهما يختلفان تمامًا في المجهود الاقصى وقيم .VO2max

.

4- حدة النبضة

يتغير حجم النبضة القلبية أيضًا أثناء التمرين المكثف حتى يسمح للقلب بتلبية متطلبات المجهود. في شدة تمرين شبه قصوى أو قصوى ، عندما يقترب معدل ضربات القلب من الحد الأقصى ، يعد حجم النبضة القلبية محددًا رئيسيًا لقدرة التحمل القلبية التنفسية. يتم تحديد حجم الانقباض القلبي من خلال أربعة عوامل:

1. عودة حجم الدم الوريدي إلى القلب (القلب يستطيع فقط ضخ ما يعود).
2. التضخم البطيني (القدرة على أنتفاخ البطين للسماح بالملء الأقصى)
3. انقباض البطين (قدرة البطين الكامنة لينقبض بقوة)
4. الضغط الشرياني الأبهر أو الرئوي (الضغط التي يجب أن ينقبض البطينان ضدها)

يؤثر العاملان الأولان على سعة ملء البطين ، ويحددان مقدار الدم الذي يملأ البطين ومدى سهولة امتلاء البطين بالضغط المتاح، تحدد هذه العوامل معًا الحجم الانبساطي النهائي ، والذي يُسمى أحيانًا التحميل المسبقتؤثر السمتان الأخيرتان على قدرة البطين على التفريغ أثناء الانقباض ، وتحديد القوة التي يتم بها إخراج الدم والضغط الذي يجب دفعه إلى الشرايين. يُشار إلى العامل

الأخير ، ضغط الشريان الأبهر المتوسط ، والذي يمثل مقاومة الدم الذي يتم دفعه من البطين الأيسر (وبدرجة أقل أهمية ، مقاومة ضغط الشريان الرئوي للتدفق من البطين الأيمن) باسم الحمل اللاحق postcharge، وتتحد هذه العوامل الأربعة لتحديد حجم الانقباض أثناء الحمل الحاد.

5- مبدأ ومعادلة Fick

في سبعينيات القرن التاسع عشر ، طور عالم فسيولوجيا القلب والأوعية الدموية اسمه أدولف فيك مبدأ أساسيًا لفهمنا للعلاقة الأساسية بين التمثيل الغذائي ووظيفة القلب والأوعية الدموية. في أبسط أشكاله ، ينص مبدأ فيك على أن استهلاك الأكسجين للنسيج يعتمد على تدفق الدم إلى ذلك النسيج وكمية الأكسجين التي تستخلصها الأنسجة من الدم. يمكن تطبيق هذا المبدأ على الجسم كله أو على التوزيعات الإقليمية. استهلاك الأكسجين هو نتاج تدفق الدم والاختلاف في تركيز الأكسجين في الدم بين الدم الشرياني الذي يغذي الأنسجة والدم الوريدي المتدفق من الأنسجة – فرق O2 (a-v ¯) يتم حساب استهلاك الجسم بالكامل للأكسجين (V. O2) على أنه ناتج من النتاج القلبي) و (a-v¯) فرق O2.

معادلة Fick:

$$VO_{=} Q\times(a\text{-}v)O_2 \text{ diff}$$

والتي يمكن إعادة كتابتها كـ

$$VO_2 = HR \times SV \times(a\text{-}v)O_2 \text{ diff}$$

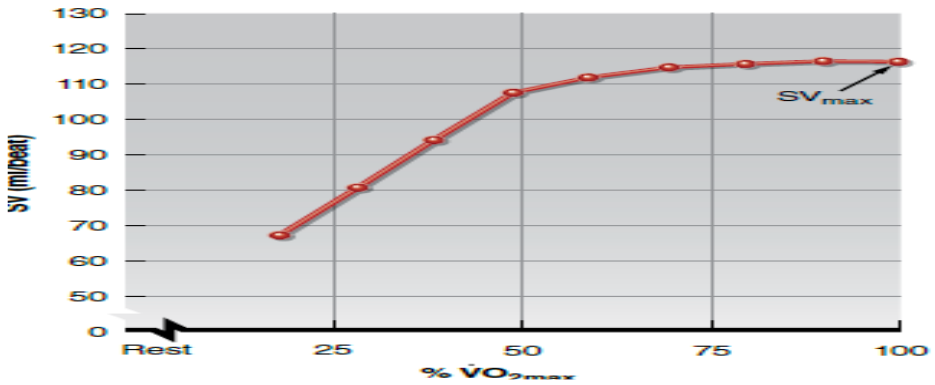
هذه العلاقة الأساسية هي مفهوم مهم في علم وظائف الأعضاء,

6- زيادة حجم الضربات خلال التمرين

يزيد حجم الضربة عن قيم الراحة أثناء المجهود البدني الرياضي, ويتفق معظم الباحثين على أن الحجم الانقباضي يزداد مع زيادة شدة حمولة التمرين حتى شدة تتراوح بين 40٪ و 60٪ من VO2max. في هذه المرحلة يظل حجم الانقباض القلبي في المستوى المناسب دون تغيير بشكل أساسي حتى تصل إلى نقطة النضوب ، كما هو موضح في الشكل أدناه ومع ذلك ، أفاد باحثون آخرون أن حجم النبضة القلبية يستمر في الزيادة إلى ما يزيد عن 40٪ إلى 60٪ من VO2max ، حتى يصل إلى أقصى شدة للتمرين. عندما يكون الجسد واقفا ، يمكن أن يكون عدد النبضات حوالي ضعف حالة الجلوس. على سبيل المثال ، يزيد حجم النبضة القلبية عند الأفراد النشطين ولكن غير المدربين من حوالي 60-70 نبضة / الدقيقة في حالة الراحة إلى 110-130 نبضة / الدقيقة خلال المجهود الأقصى. يمكن أن يزيد حجم الضربات القلبية لدى الرياضيين المدربين تدريباً عالياً على التحمل ، من 80 إلى 110 مل / نبظة في حالة الراحة إلى 160 إلى 200 مل / النبضة أثناء بذل أقصى جهد. فأثناء المجهود البدني الذي يكون فيه الرياضي مستلقي على ظهره ، مثل ركوب الدراجات في وضعية الاستلقاء ، يزداد التقلص البطيني أيضًا ، ولكن عادةً بنسبة تتراوح من 20٪ إلى 40٪ فقط - وليس بنفس القدر في وضع الوقوف. إذا لماذا يُحدث وضع الجسم مثل هذا الاختلاف؟

عندما يكون الجسم مستلقيًا على الظهر ، لا يتجمع الدم في الأطراف السفلية, حيث يعود إلى القلب بسهولة أكبر في وضع الاستلقاء ، مما يعني أن قيم تقلص البطين أثناء الراحة تكون أعلى في وضع الاستلقاء عنها في الوضع الوقوف, فالزيادة في تقلص البطين مع أقصى قدر من المجهود ليست كبيرة عند الاستلقاء كما هي عند الوقوف لأن تقلص البطين يبدأ أعلى. ومن المثير للاهتمام ، أن أعلى قيمة تقلص البطين يمكن تحقيقها خلال التمرين في وظعية الوقوف تكون أعلى قليلاً فقط من قيمة الراحة في وضع الاستلقاء. يبدو أن معظم الزيادة في

تقلص البطين أثناء تمرين منخفض إلى متوسط الشدة في وضع الوقوف يعوض عن قوة الجاذبية التي تسبب تجمع الدم في الأطراف.



الشكل رقم 8 التغييرات في حجم الضربة (SV) عندما يتمرن الشخص على جهاز المشي بقوة متزايدة. يتم رسم حجم الضربة مقابل النسبة المئوية لـ V. O2max. تزداد SV مع زيادة شدة ما يصل إلى حوالي 40 إلى 60٪ من VO2max ، قبل أن تصل إلى الحد الأقصى (SVmax).

6- 1- تفسيرات لزيادة حجم النبضات

أن العامل الرئيسي الذي يحدد تقلص البطين هو الزيادة في التحميل المسبق precharge ، أو مدى امتلاء البطين بالدم والتمدد. عندما يتمدد البطين أكثر أثناء الامتلاء ، فإنه يتقلص بقوة أكبر، فعلى سبيل المثال وهذا هو أحد تفسيرات الزيادة في تقلص البطين خلال المجهود الرياضي ، عندما يدخل حجم أكبر من الدم ويملأ البطين أثناء الانبساط تتمدد جدران البطين أكثر، ولدفع هذا الحجم الأكبر من الدم ، يستجيب البطين عن طريق الانقباض بقوة أكبر. وهذا ما يسمى آلية فرانك ستارلينج، فعلى مستوى الألياف العضلية ، كلما زاد تمدد خلايا عضلة القلب ، يتم تكوين المزيد من الجسور المتقاطعة للأكتين والميوسين ، وكلما زادت القوة .

بالإضافة إلى ذلك ، سيزداد انقباض البطين أثناء المجهود إذا تم تحسين انقباضه (خاصية متأصلة في البطين), فيمكن أن تزيد قابلية الانقباض عن طريق زيادة تحفيز العصب السمبتاوي أو تعميم الكاتيكولامينات (الإبينفرين ، النوربينفرين) ، أو كليهما، ويمكن أن تؤدي قوة الانقباض المتطورة إلى زيادة انقباض البطين عن طريق زيادة جزء الدفع البطيني.

وأخيرًا، عندما يكون متوسط ضغط الدم الشرياني منخفضًا ، يكون انقباض البطين أكبر نظرًا لوجود أقل مقاومة للتدفق إلى الشريان الأورطي, وتتحد كل هذه الآليات لتحديد انقباض البطين في أي شدة معينة للمجهود الديناميكي.

يوضح الشكل ادناه نتائج دراسة أشخاص نشطين بشكل طبيعي ولكن غير متدربين, في هذه الدراسة ، تم اختبار المشاركين وهم مستلقين على الظهر وعلى مقياس الدراجة الارجومترية أثناء الراحة ثم القيام بالتمرين البدني على ثلاث حمولات ، وتم رسمها على المحور السيني للشكل ، لوحظ ان هناك زيادة في انبساط البطين الأيسر عند الانتقال من الراحة إلى التمارين البدنية ذات الشدة المتزايدة (زيادة الامتلاء أو التحميل المسبق) من أجل زيادة الانقباض البطيني. من خلال آلية فرانك ستارلينج ، هناك أيضًا انخفاض في حجم انقباض نهاية البطين الأيسر (إفراغ أكبر) ، مما يشير إلى زيادة قوة الانقباض. ويوضح هذا الشكل أن آلية Frank-Starling وزيادة الانقباض مهمان في زيادة انقباض البطين أثناء المجهود البدني، ويبدو أن آلية فرانك ستارلينج لها تأثيرها الكبير في شدة التمرين المنخفضة ، ويصبح التحسن في قوة الانقباض أكثر وضوحًا خلال الحمولة ذات أعلى شدة في المجهود البدني.

تتخطى إحدى الدراسات 40٪ إلى 60٪ من قدرة التمرين الأقصى للفرد ، إما في حالة الوصول إلى الهضبة أو الاستمرار في الزيادة بمعدل أبطأ بكثير، وبالتالي ، فإن الزيادات الإضافية في الدفع القلبي هي إلى حد كبير نتيجة الزيادات في معدل

ضربات القلب, وتساهم الزيادات الإضافية في حجم انقباض البطين بشكل أكبر في زيادة الدفع القلبي عند القيام بالمجهود الرياضي بشدة عالية لدى الرياضيين المدربين تدريباً عالياً.

مراجعة

➢➢ مع زيادة شدة المجهود البدني ، تزداد النبضات القلبية بشكل متناسب ، وتقترب من أقصى حد لمعدل ضربات القلب الأقل من أقصى شدة للمجهود البدني الرياضين, ويزداد أيضًا حجم نبضات البطين (كمية الدم التي يتم إخراجها مع كل انقباض) بشكل متناسب مع زيادة شدة التمرين ، ولكنه يصل عادةً إلى ذروته عند حوالي 40٪ إلى 60٪ من V. O2max عند الأشخاص غير المدربين, كما يمكن للأفراد المتدربين تدريباً عالياً الاستمرار في زيادة نبضات البطين حتى الوصول الى أقصى شدة للتمرين. تتحد الزيادات في معدل ضربات القلب و ونبضات البطين بزيادة الدفع القلبي. وبالتالي ، يتم ضخ المزيد من الدم أثناء التمرين ، مما يضمن وصول الإمداد الكافي من الأكسجين وركائز التمثيل الغذائي إلى العضلات التي تقوم بالمجهود الرياضي والتخلص من الفضلات الناتجة عن التمثيل الغذائي للعضلات.

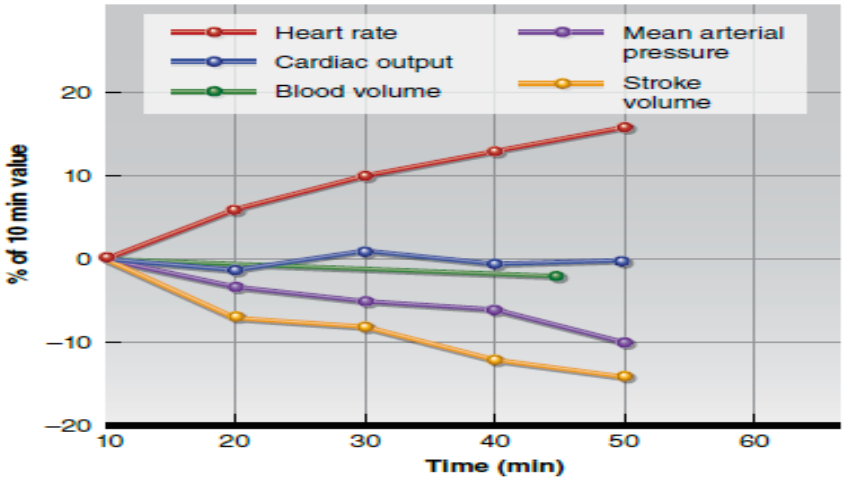
7- الانجراف القلبي الوعائي

يتناقص الحجم الانقباضي تدريجيًا خلال التمارين الهوائية الطويلة أو التمارين الهوائية في بيئة حارة ذات الشدة الثابتة ، ويزيد معدل ضربات القلب، ويتم الحفاظ على الدفع القلبي جيدًا، ولكن ينخفض ضغط الدم، ولقد أشير إلى هذه التغييرات ، الموضحة في الشكل 8 بشكل جماعي تحت اسم الانجراف القلبي الوعائي وترتبط عمومًا بزيادة درجة حرارة الجسم وجفافه.

يرتبط الانجراف القلبي الوعائي بزيادة تدريجية في جزء التدفق القلبي الموجه إلى الجلد الموسع وذلك من أجل تسهيل فقدان الحرارة وتخفيف الزيادة في درجة حرارة الجسم المركزية، ومع وجود المزيد من الدم في الجلد بغرض تبريد الجسم يتوفر دم قليل للعودة إلى القلب ، وبالتالي يقلل التحميل المسبق، كما يكون أيضا انخفاض طفيف في حجم الدم الناتج عن التعرق والحركة العامة للبلازما عبر غشاء الشعيرات الدموية إلى الأنسجة المحيطة. تتحد هذه العوامل لتقليل ضغط امتلاء البطين ، مما يقلل من عودة الدم الويدي إلى القلب ويقلل من الانبساط البطيني. يتم أنخفاظ الانقباض البطيني مع تقليل الانبساط البطيني

(SV = EDV – ESV).

من أجل الحفاظ على الدفع القلبي (Q. = HR× SV) يزداد معدل ضربات القلب للتعويض عن الانخفاض في الدفع البطيني



شكل رقم 09 استجابات الدورة الدموية لفترات طويلة ومتوسطة

تمرين مكثف في الوضع المستقيم في بيئة محايدة حراريًا تبلغ 20 درجة مئوية ، مما يوضح الانجراف القلبي الوعائي. يتم التعبير عن القيم كنسبة مئوية من التغيير من القيم التي تم قياسها في 10 دقائق من التمرين.

عندما تضاف متطلبات المجهود الرياضي إلى متطلبات تدفق الدم لجميع أجهزة الجسم الأخرى تحدث منافسة على إمداد الدم ، ويمكن أن تحدث منافسة على التدفق القلبي المحدود والمتاح, كما يمكن أن تتطور هذه المنافسة على تدفق الدم المتاح بين أسرّة وعائية متعددة ، اعتمادًا على الظروف المحددة. فعلى سبيل المثال ، قد تكون هناك منافسة على تدفق الدم المتاح بين العضلات الهيكلية النشطة و الجهاز الهضمي بعد الأكل, قام بعض العلماء بدراسة حول تأثير الأغذية على توزيع تدفق الدم أثناء المجهود البدني مقارنة بالصيام ، وتم تقسيم العينة إلى مجموعتين.

صامت مجموعة واحدة لمدة 14-17 ساعة قبل القيام بالتمرين، وتناولت المجموعة الثانية حصتهم الصباحية على وجبتين: وتم توزيع نصف الحصة الغذائية بـ 90 إلى 120 دقيقة قبل التمرين والنصف الآخر 30 إلى 45 دقيقة قبل التمرين، ثم ركضت كلتا المجموعتين بحوالي 65٪ من حجم الأكسجين الأقصى.

كان تدفق الدم إلى عضلات الأطراف أثناء التمرين أقل بنسبة 18٪ ، وكان تدفق الدم في الجهاز الهضمي أعلى بنسبة 23٪ ، في المجموعة التي تحصلت على الأغذية عنه في مجموعة التي صامت. تشير نتائج مماثلة إلى أن إعادة توزيع تدفق الدم في الجهاز الهضمي إلى العضلات العاملة يحدث بعد تناول الوجبة. كتطبيق عملي ، تشير هذه النتائج إلى أنه يجب على الرياضيين توخي الحذر في توقيت وجباتهم قبل المنافسة من أجل زيادة تدفق الدم إلى العضلات النشطة أثناء التمرين.

ملاحظة: أثناء التمرين ، يتم إعادة توزيع الدم في جميع أنحاء الجسم في المقام الأول لتلبية متطلبات الأنسجة النشطة ، وخاصة تقلص ألياف العضلات الهيكلية.

مثال أخر على التنافس على تدفق الدم يمكن ملاحظته خلال ممارسة الرياضة في بيئة حارة, حيث في هذا السيناريو قد تحدث المنافسة على التدفق القلبي المتاح بين الدورة الدموية للجلد من أجل التنظيم الحراري والمجهود العضلي.

8- الدم

بعد دراستنا لكيفية استجابة القلب والأوعية الدموية للتمرين البدني الرياضي, نوجه تركيزنا إلى المكون المتبقي من نظام القلب والأوعية الدموية وهو الدمّ, السائل الذي يحمل الأكسجين والمواد المغذية إلى الأنسجة ويزيل

الفضلات من عملية التمثيل الغذائي, مع زيادة التمثيل الغذائي أثناء التمرين ، تصبح العديد من جوانب الدم نفسها حاسمة بشكل متزايد لتحقيق الأداء الأمثل.

8-1- الأكسجين المحتوى في الدم. في حالة الراحة ، يتراوح محتوى الأكسجين في الدم من 20 مل من الأكسجين لكل 100 مل من الدم الشرياني إلى 14 مل من الأكسجين لكل 100 مل من الدم الوريدي العائد إلى الأذين الأيمن. الفرق بين هاتين القيمتين (20 مل - 14 مل = 6 مل) يسمى فرق الأكسجين الشرياني الوريدي المختلط ، أو فارق $O2$ ($\bar{a}$-v)، تمثل هذه القيمة مدى استخراج الأكسجين أو إزالته من الدم أثناء مروره عبر الجسم. مع زيادة شدة المجهود الرياضي ، يزداد فارق ($\bar{a}$-v $O2$) تدريجيًا ويمكن أن يتضاعف ثلاث مرات تقريبًا من الراحة إلى أقصى شدة لحمولة اللتمرين. يعكس هذا الاختلاف المتزايد في انخفاض في محتوى الأكسجين الوريدي نظرًا لأن محتوى الأكسجين الشرياني يختلف قليلاً من الراحة إلى أقصى مجهود. فخلال المجهود الرياضي تتطلب العضلات النشطة المزيد من الأكسجين ؛ لذلك يستهلك المزيد من الأكسجين من الدم, وينخفض محتوى الأكسجين الوريدي ويقترب من الصفر في العضلات النشطة. ومع ذلك ، نادرًا ما ينخفض الدم الوريدي المختلط في الأذين الأيمن للقلب إلى أقل من 4 مل من الأكسجين لكل 100 مل من الدم لأن الدم العائد من الأنسجة النشطة يختلط بدم الانسجة الخاملة عند عودته إلى القلب, فاستخراج الأكسجين من الأنسجة الخاملة يكون أقل بكثير من العضلات النشطة.

8-2- حجم البلازما

عند الوقوف أو في بداية التمرين ، يحث فقدان فوري تقريبًا للبلازما من الدم إلى حيز السائل النسيجي, تملي الضغوط داخل الشعيرات الدموية حركة السوائل من الشعيرات الدموية ، والتي تشمل الضغط الهيدروستاتيكي الناتج عن زيادة ضغط الدم والضغط التناضحي الغرواني، والضغط الذي تمارسه البروتينات في الدم ، وخاصة الألبومين, الضغوط التي تؤثر على حركة السائل خارج الشعيرات الدموية هي الضغط الذي توفره الأنسجة المحيطة وكذلك الضغوط التناضحي الغرواني لبروتينات السائل الخلالي، وتلعب الضغوط التناضحية ، تلك التي تمارسها الإلكتروليتات في المحلول على جانبي جدار الشعيرات الدموية ، دورًا أيضًا. مع زيادة ضغط الدم خلال الممارسة الرياضية ، يزداد الضغط الهيدروستاتيكي في الشعيرات الدموية. هذه الزيادة في ضغط الدم تدفع الماء من الحيز داخل الأوعية إلى الحيز الخلالي. أيضًا ، نظرًا لتراكم الفضلات الأيضية في العضلات العاملة ، يزداد الضغط التناضحي العضلي ، مما يؤدي إلى سحب السوائل من الشعيرات الدموية إلى العضلات.

قد يحدث انخفاض بنسبة 10-15٪ تقريبًا في حجم البلازما خلال ممارسة الرياضة لفترات طويلة ، مع حدوث أكبر قطرات (chute) خلال الدقائق القليلة الأولى, ويتناسب فقدان حجم البلازما مع شدة التمرين أثناء تدريب المقاومة ، مع فقدان انتقالي مماثل للسوائل من حيز الأوعية الدموية بنسبة 10٪ إلى 15٪.

إذا تسببت شدة التمرين البدني الرياضي أو الظروف المناخية في التعرق ، فقد تحدث خسائر إضافية في حجم البلازما, وعلى الرغم من أن مصدر السائل الأساسي لتكوين العرق هو السائل الخلالي ، فإن مساحة السوائل هذه سوف تتضاءل مع استمرار التعرق, فيؤدي هذا إلى زيادة ضغط تناضحي (نظرًا لأن البروتينات لا تتحرك مع السوائل) والضغط الازموسي (نظرًا لأن العرق يحتوي على إلكتروليتات أقل من السائل الخلالي) ، مما يؤدي إلى تدفق المزيد من البلازما من الحيز الوعائي إلى الفراغ الخلالي، فمن المستحيل قياس حجم السائل داخل الخلايا بشكل مباشر ودقيق ، ولكن تشير الأبحاث إلى أن السائل يُفقد أيضًا من الحيز داخل الخلايا أثناء التمرين طويل المدة إلى جانب خلايا الدم الحمراء ، التي يمكن أن تقلص حجمها.

قد يؤثر انخفاض حجم البلازما على الأداء بالنسبة للأنشطة طويلة الأمد التي تؤدي إلى حدوث الجفاف مما يشكل فقدان الحرارة مشكلة ، فقد يتم تقليل تدفق الدم إلى الأنسجة النشطة للسماح بتحويل المزيد والمزيد من

الدم إلى الجلد في محاولة التخلص من حرارة الجسم. لاحظ أن انخفاض تدفق الدم في العضلات يحدث فقط في ظل ظروف الجفاف وفقط في شدة عالية. ويؤدي انخفاض حجم البلازما أيضًا إلى زيادة لزوجة الدم ، مما قد يعيق تدفق الدم وبالتالي يحد من نقل الأكسجين ، خاصةً إذا تجاوز الهيماتوكريت 60٪، وتكون التغييرات في سوائل الجسم ذات أهمية عملية قليلة في الأنشطة التي تدوم بضع دقائق أو أقل، ومع ذلك، مع زيادة مدة المجهود الرياضي تتغير سوائل الجسم ويصبح تنظيم درجة الحرارة مهمًا من اجل للأداء الامثل, فبالنسبة للاعب كرة القدم أو متسابق راكب الدراجات أو عداء الماراثون ، تعتبر هذه العمليات حاسمة ، ليس فقط من أجل المنافسة ولكن أيضًا للبقاء على قيد الحياة. حيث حدثت العديد من الوفيات بسبب الجفاف وارتفاع الحرارة أثناء أو بعد الممارسة الرياضية المختلفة.

3-8- تركيز الدم

عندما ينخفض حجم البلازما ، يحدث تركيز الدم, وعندما ينخفض الجزء السائل من الدم ، تشكل الأجزاء الخلوية والبروتينية جزءًا أكبر من إجمالي حجم الدم ؛ أي أنها تصبح أكثر تركيزًا في الدم, يزيد تركيز الدم هذا بشكل كبير من تركيز خلايا الدم الحمراء ما يصل إلى حوالي 20٪ أو 25٪, كما يمكن أن يزيد الهيماتوكريت بنسبة 40٪ إلى 50٪. ومع ذلك ، فإن العدد الإجمالي وحجم خلايا الدم الحمراء لا يتغيران بشكل كبير, فالتأثير الصافي ، حتى بدون زيادة في إجمالي عدد خلايا الدم الحمراء هو زيادة عددها لكل وحدة دم ؛ أي أن الخلايا أكثر تركيزًا. مع زيادة تركيز خلايا الدم الحمراء ، يزداد أيضًا محتوى الهيموجلوبين في الدم لكل وحدة, مما يزيد بشكل كبير من قدرة الدم على حمل الأكسجين ، وهو أمر مفيد أثناء التمرين الرياضي ويوفر ميزة واضحة في المرتفعات.