

جامعة باتنة -2- مصطفى بن بولعيد

معهد العلوم وتقنيات النشاطات البدنية والرياضية

قسم النشاط البدني والرياضي التربوي

مطبوعة محاضرات في مقياس:

فسيولوجيا الجهد البدني

المستوى: السنة الثانية ليسانس

الشعبة: النشاط البدني الرياضي التربوي

التخصص: التربية وعلم الحركة

السداسي: الرابع

إعداد: الدكتور بوشريط شهير

السنة الجامعية: 2021-2022

قائمة المحتويات

- المحاضرة رقم (01): مدخل لعلم فسيولوجيا الجهد البدني
- المحاضرة رقم (02): تكيف الجهاز القلبي الدوراني
- المحاضرة رقم (03): تكيف الجهاز التنفسي
- المحاضرة رقم (04): تكيف الجهاز العضلي
- المحاضرة رقم (05): تكيف الجهاز الهرموني والتنظيم الحراري أثناء التدريب البدني
- المحاضرة رقم (06): التكيف في القمم والمرتفعات

المحاضرة رقم (01): مدخل لعلم فسيولوجيا الجهد البدني

تمهيد:

يرجع تاريخ المعرفة البشرية بحركة جسم الإنسان والرياضة البدنية وعلاقتها بصحة الجسم ووظائفه الفسيولوجية إلى قدماء الإغريق، حيث كانت ممارسة الرياضة البدنية وبناء الجسم من مظاهر الحياة العامة لديهم، ومنذ ذلك الوقت تتابع الاهتمام على مر العصور بهذا الفرع من العلوم من قبل آلاف العلماء والأطباء، الأمر الذي أسهم في اكتشافات علمية لا حصر لها وتراكم معرفي غزير في فسيولوجيا الجهد البدني بشكل عام، وصلته القوية بالأداء البدني وبالمحافظة على الصحة البدنية والنفسية والحماية من أمراض عضوية لا حصر لها ناجمة عن نقص الحركة، وبارتباطه الوثيق بعلاج العديد من الأمراض المزمنة الواسعة الانتشار كأمراض القلب وداء السكري

1- تعريف فسيولوجيا الجهد البدني:

فسيولوجيا الجهد البدني هو ذلك العلم الذي يبحث في استجابة وظائف أجهزة الجسم المختلفة للجهد البدني وتكيفها للتدريب، وهو علم انبثق من علم الفسيولوجيا الذي يهتم بدراسة وظائف أعضاء الجسم على المستوى الجهازي (Systems) والنسيجي (Tissues) والخلوي (cellular) والجزيئي (Molecular)

فسيولوجيا الجهد البدني هو العلم الذي يعطي وصفا وتفسيرا للتغيرات الوظيفية التي تحدث للجسم نتيجة التعرض لحمل التدريب (عبء جهدي) مقنن ومتحكم فيه مسبقا سواء كان في المخبر أو في الميدان

- **الحمل البدني:** الحمل البدني هو الجهد أو العبء الذي يقع على أجهزة الجسم المختلفة خلال أداء اللاعب لجرعات تدريبية مقننة، ومقدار ما يتطلبه ذلك الجهد من طاقات فسيولوجية وبدنية وعصبية وينقسم الى نوعين هما:

أ- **حمل التدريب الداخلي:** ويقصد به التأثيرات الفسيولوجية والنفسية الواقعة على أجهزة الجسم الداخلية لأداء الجهد المبذول.

ب- **حمل التدريب الخارجي:** هو جهد العمل أو الأداء المتمثل في التدريبات البدنية أو المهارية أو الخطئية وهذا الحمل يشتمل على 3 مكونات وهي:

1- **شدة الحمل:** وتعني المستوى أو الصعوبة المميزة للأداء.

2- **حجم الحمل:** هو طول فترة الأداء مقاسا بالزمن أو المسافة، وعدد تكرار التمرين، أو الكيلوغرامات في تدريبات رفع الأثقال، وعموما يمكن تمييز مكونين لحجم الحمل هما: فترة دوام الحمل وتكرار الحمل.

3- **كثافة الحمل:** وهي تعني العلاقة بين فترات الراحة البينية وشدة الحمل أو بين الحمل والراحة خلال أداء الجرعة التدريبية أو خلال وحدة التدريب

2- تعريف التكيف:

التكيف هو تغير أو أكثر في البناء أو الوظيفة تحدث بصفة خاصة كنتيجة لتكرار مجموعات من التمرينات البدنية، ويعرف أيضا بالتغيرات الوظيفية والعضوية التي تحدث في جسم الكائن الحي نتيجة لمتطلبات داخلية وخارجية (أحمال) حيث يعكس التكيف مدى صلاحية الأعضاء الداخلية لمواجهة المتطلبات وهو نوعان:

أ- **التكيف الوظيفي:** هو التكيف الذي يحدث في الأجهزة الوظيفية والذي يؤدي إلى تحسين كفاءة أدائها لوظائفها وهذه الأجهزة هي كل من الجهاز الدوري والتنفسي والعصبي والعضلي والغدد الصماء وكل من الجهاز لإخراجي والهضمي.

ب- **التكيف المورفولوجي:** هو التكيف الذي يحدث في أحجام وأبعاد الأجهزة العضوية المشار إليها سلفاً.

3- المجالات التطبيقية لفسولوجية الجهد البدني:

أ-المجال الصحي واكتساب العافية:

كدراسة تأثير النشاط البدني على الصحة العضوية والنفسية وتنمية عناصر اللياقة البدنية المعززة للصحة

ب-المجال الإكلينيكي (العيادي):

كدراسة التأثير الوقائي والعلاجي والتأهيلي للنشاط البدني والتدريب المنتظم على العديد من الأمراض واستخدام اختبارات الجهد البدني في الكشف عن الأمراض

ج-المجال الرياضي:

كدراسة العوامل الفسيولوجية المرتبطة بالأداء البدني والمؤثرة فيه خلال الظروف البيئية المختلفة، وإجراء التقييم الفسيولوجي للرياضيين بغرض مراقبة أدائهم الرياضي وتحسينه

4-مراحل التكيف:

- الاستجابة الآنية:

هي التغيرات الآنية (الحادة) التي تحدث لأجهزة الجسم نتيجة جرعة من الجهد البدني، فمثلا تستجيب ضربات القلب للجهد البدني المتدرج حتى الأقصى فترتفع بالتدرج حتى بلوغها إلى المعدل الأقصى ثم تستعيد تدريجيا حالتها بعد مدة من التوقف

- الاستجابات المتراكمة:

وهي استجابات متراكمة نتيجة التكرار المنتظم للتدريب لفترات زمنية منتظمة وهي مرحلة وسطية للوصول الى مرحلة التكيف.

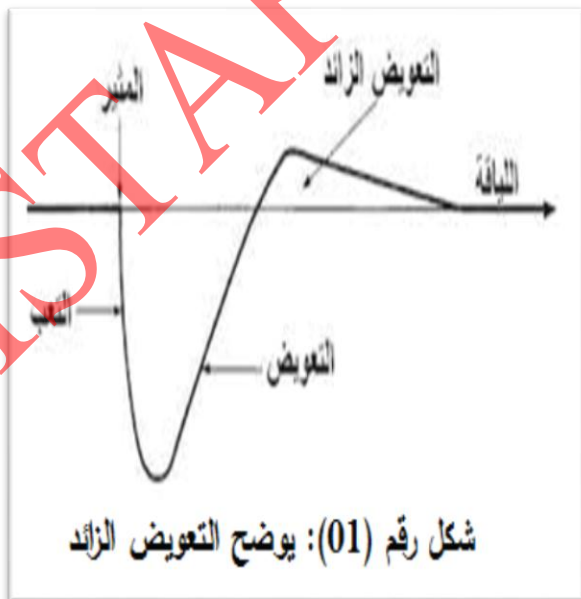
- التكيف:

هي التغيرات المزمنا (الثابتة) لوظائف أعضاء الجسم (مثل حجم القلب والعضلات....) الناتجة عن التدريب البدني المستمر لفترة قد تطول أو تقصر.

وهو التقدم الذي يحدث في مستوى إنجاز الأعضاء والأجهزة الداخلية للجسم نتيجة أداء أعمال داخلية وخارجية تتخطى مستوى عتبة الإثارة وتحتاج الى فترات زمنية طويلة عدة أشهر أو عدة سنوات

5- كيف يحدث التكيف الفسيولوجي:

عملية التكيف هي نتاج للتبادل الصحيح بين الحمل والراحة، فعند إعطاء الرياضي حمل اثناء وحدة التدريب اليومية فان الحمل مع تكراره يؤثر في اعضاء واجهزة الجسم ويصل بها الى مرحلة التعب المؤثر (قدرة الرياضي تقل تدريجيا لاستهلاك القوة الوظيفية لأجهزة الجسم)، وفي هذه اللحظة يبدأ فيها الجسم في عملية التكيف والتي تكتمل اثناء فترة الراحة (الاستشفاء) حيث يتطلب الجسم فترة من الراحة لاستعادة المستهلك من الطاقة، وعند تكرار نفس الحمل في فترة التعويض الزائد او زيادة استعادة الاستشفاء يتم نفس التأثير وبذلك يرتفع اداء اللاعب (توازن بين عمليتي الهدم والبناء)



إذ تعتبر فترة التعويض الزائد هي الوقت المثالي المناسب لإمداد الجسم بإثارة جديدة للارتفاع بمستوى مقدرة اللاعب، والسبب في ذلك ان اجهزة الجسم الحيوية لا تقوم في هذه الفترة بتعويض الطاقة السابقة التي بذلتها فقط، بل تكون في هذه الحالة تستطيع معها زيادة طاقة احتياطية اخرى بالإضافة الى الطاقة السابقة التي تم تعويضها.

المحاضرة رقم (02): تكيف الجهاز القلبي الدوراني

- تمهيد:

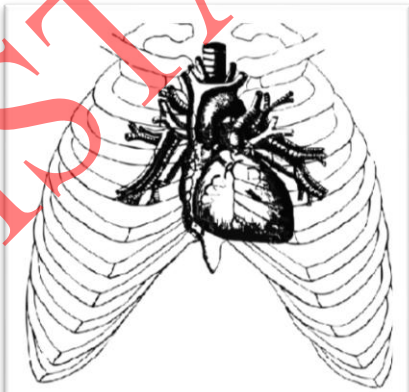
الجهاز القلبي الدوراني هو الجهاز المسئول عن دوران وسيران الدم إلى جميع أنحاء الجسم، فهو الجهاز المسئول عن نقل الأكسجين والمواد الغذائية إلى جميع الخلايا والأنسجة كما يقوم بتخليص هذه الخلايا من فضلات التمثيل الغذائي وثنائي أكسيد الكربون نتيجة عمليات الاحتراق والأكسدة فهو جهاز حيوي يعمل باستمرار دون توقف، فإذا توقفت الدورة الدموية لحظات قليلة يهبط عمل ونشاط جميع الأنسجة والأعضاء

1- تركيب الجهاز القلبي الدوراني:

يتكون الجهاز القلبي الدوراني من: القلب، الأوعية الدموية والدم

1-1- القلب:

القلب هو مصدر الطاقة المسببة لحركة الدم في الأوعية الدموية، وهو يقوم بعمله كمضخة يأتي إليه الدم من جميع أجزاء الجسم لكي يقوم بدفعه من خلال الأوعية الدموية مرة أخرى، والقلب يعتبر أهم أعضاء الجهاز الدوري حيث تقوم الأوعية الدموية بتوزيع الدم المندفَع من القلب إلى جميع أجزاء الجسم.



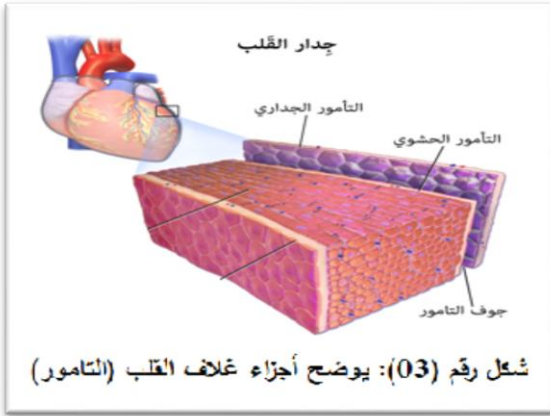
شكل رقم (02) يوضح الموقع التشريحي للقلب

فالقلب عضو عضلي لا إرادي أجوف مخروطي الشكل يقع في منتصف التجويف الصدري بين الرئتين مائلا إلى اليسار، وقاعدته على منتصف الحجاب الحاجز، ويقع ثلث عضلة القلب على يمين خط منتصف الجسم والثلثان الباقيان على يساره، يزن القلب حوالي 300 غرام ويقدر حجم الشخص البالغ بحجم قبضة اليد وهي مضمومة، ويغلف

القلب بغشاء ضام مزدوج يعرف بالتامور، يتكون من طبقتين داخلية وخارجية يفصل بينهما سائل يمنعهما من الاحتكاك ويسمى بسائل التامور

1- الطبقة الخارجية (التامور الليفي) (Fibrous Pericardium):

يتكون من نسيج ليفي متين يلتحم بجذور الأوعية الدموية الكبيرة من الأعلى وبالسطح العلوي لعضلة الحجاب الحاجز من الأسفل



2- الطبقة الداخلية (التامور المصلي):

فالتبقة الداخلية تلتصق بسطح القلب وتسمى بالتبقة الحشوية (التامور الحشوي أو النخاب)

بينما الطبقة الثانية تبطن الطبقة الخارجية الليفية للتامور وتسمى بالطبقة الجدارية.

يوجد بين هاتين الطبقتين المصليتين تجويف به سائل كافي يسهل تقلص وانبساط القلب بأقل احتكاك ممكن. وبالإضافة لهذه الوظيفة، يقوم التامور بالمحافظة على القلب ويساعد على ثباته في موضعه الطبيعي في الجسم.

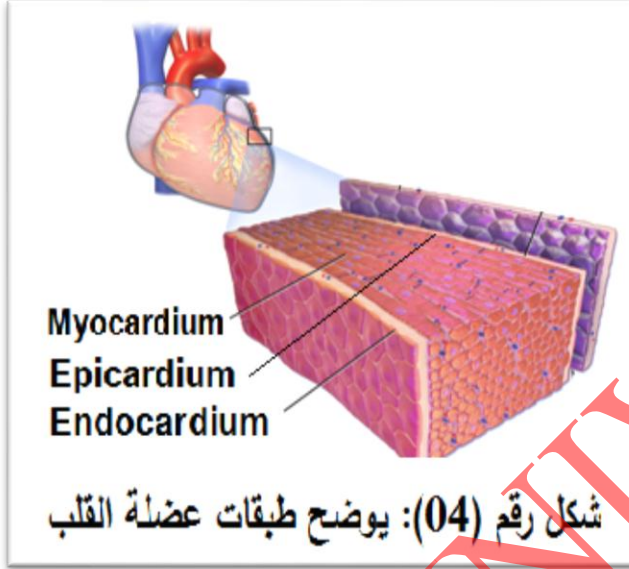
ويتألف القلب من ثلاث طبقات:

أ- الطبقة الأولى:

هي الطبقة الخارجية وتسمى إيكارديوم (Epicardium) وهي تتكون من نسيج ليفي متين وتلتحم بجذور الأوعية الدموية الكبيرة وبالسطح العلوي لعضلة الحجاب الحاجز من الأسفل وهي تكون طبقة خارجية تحمي القلب من الخارج.

ب-الطبقة الثانية :

هي الطبقة الجدارية الوسطى وتسمى مايوكارديوم (Myocardium) وهي تكون الجزء الرئيسي لعضلة القلب ، وهي عضلة كبيرة وسميكة تعطي القلب الخاصية المميزة لدقاته وهي تخضع لقانون الكل أو عدمه في انقباضها، وأي مؤثر يسبب انقباضها بالكامل ولا يوجد تدرج في انقباض عضلة القلب



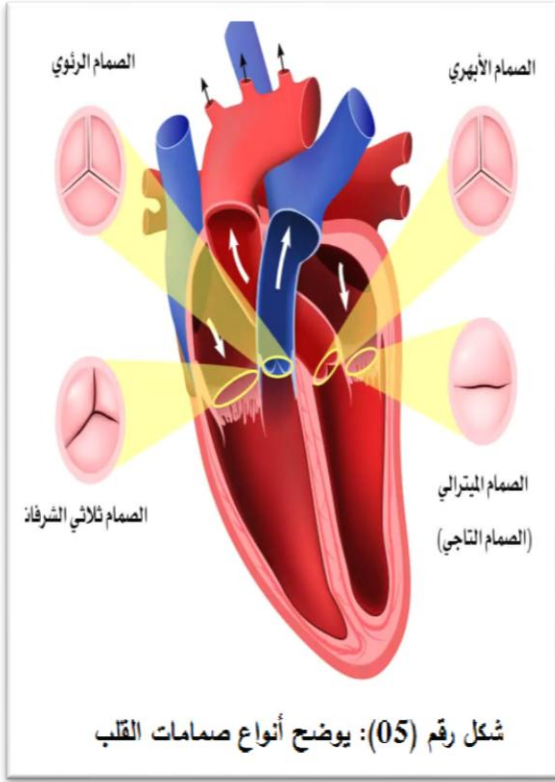
كما هو الحال بالنسبة للعضلات الهيكلية وسماعة هذه العضلة يعتمد على القوة التي يضح فيها القلب الدم وخاصة البطين الأيسر.

ج-الطبقة الثالثة:

هي الطبقة الحشوية الداخلية وتسمى اندوكارديوم (Endocardium) وهي التي تلتصق التصاقا وثيقا بالقلب وتوجد بها الأوعية الدموية القلبية وكذلك تشكل الصمامات في القلب ويتكون القلب من أربع حجرات اثنان منها لاستقبال الدم وهما الأذين الأيسر والأيمن واثنان لدفع الدم خارج القلب هما البطين الأيمن والأيسر، والنصف الأيسر للقلب منفصل عن النصف الأيمن بواسطة جدار سميك لمنع اختلاط الدم التقي بالدم الغير نقي، كما يفصل بين كل أذين وبطين صمامات وهي أداة ميكانيكية تسمح بجريان الدم باتجاه واحد فقط توجد أربع أنواع من الصمامات لها أهمية في عمل القلب وهي كالآتي:

1-الصمام التاجي (ثنائي الشرفات):

صمام ثنائي الشرفات يفصل بين الأذين الأيسر والبطين الأيسر سامحًا بمرور الدم من الأذين إلى البطين ويمنع عودة الدم من البطين إلى الأذين.



2-الصمام ثلاثي الشرفات:

صمام يفصل الأذنين الأيمن عن البطين الأيمن
سامحاً بمرور الدم من الأذنين الأيمن إلى البطين
الأيمن ويمنع عودة الدم من البطين إلى الأذنين

3-الصمام الأبهري (الأورطي):

يوجد في فتحة جذع الأبهري ويفصل البطين الأيسر
عن الأبهري سامحاً بمرور الدم من البطين الأيسر

إلى الأبهري ويمنع عودة الدم من الأبهري إلى البطين الأيسر.

4-الصمام الرئوي الهلالي:

ويوجد في فتحة الجذع (الشريان الرئوي) ويفصل البطين الأيمن عن الشريان الرئوي سامحاً
بمرور الدم إلى الشريان ويمنع عودة الدم إلى البطين.

1-2-الأوعية الدموية:

عبارة عن أنابيب أو قنوات تنقل الدم من القلب إلى أجزاء الجسم المختلفة والعكس، وتوجد
منها ثلاثة أنواع رئيسية هي: الشرايين، الأوردة والشعيرات الدموية، ويبطن تجويف الوعاء
الدموي طبقة رقيقة جدا من الخلايا الطلائية، وتتميز جدران الشرايين والأوردة باحتوائها على
ألياف عضلية ونسيج ليفي مطاطي مما يعطيها خاصية القدرة على التمدد عند دفع الدم من
القلب، والانكماش أثناء انبساط القلب ولا توجد هذه الخاصية في الشعيرات.

1- الشرايين:

وهي قنوات تنقل الدم من القلب إلى مناطق الجسم المختلفة، وعادة ما يكون هذا الدم مؤكسد (نقيا) فيما عدا الشريان الرئوي الذي يحمل دما غير مؤكسد، وتتميز الشرايين بأن جدرانها سميكة وقوية إلا أن قطرها الداخلي أضيق من قطر الوريد، وتتفرع الشرايين الرئيسية التي تخرج من القلب مباشرة كالشريان الأورطي (الأبهر) والشرايين إلى شرايين فرعية متوسطة الحجم تمثل 90% من مقدار المقاومة التي يصادفها الدم عند مروره عبر هذه الأوعية، حيث إنه كلما قل قطر الوعاء زادت مقاومته لجريان الدم، وتنتهي الشرايين الفرعية بأوعية أصغر حجما تسمى الشريينات (Arterioles) التي تنتهي في الصغر تدريجيا حتى تنتهي بالشعيرات الدموية الشريانية التي تنتشر وتتوزع عبر خلايا الجسم

2- الأوردة:

تبدأ الأوردة عند نهايات الشعيرات الدموية في صورة شعيرات وريدية ومن هذه الشعيرات يتجمع الدم في أوردة دقيقة تسمى الوريدات (Venules) تتصل الوريدات ببعضها لتكون الأوردة وتصب الأوردة الصغيرة في أوردة أكبر حجما لتكون في النهاية الوريدين الأجوفين العلوي والسفلي واللذين يقومان بإرجاع الدم إلى القلب، وعموما فإن وظيفة نقل الدم من أجزاء الجسم المختلفة وإرجاعه إلى القلب تعتبر الوظيفة الرئيسية لعمل الأوردة، لذا فإنه في جميع الأحوال الطبيعية تستوعب الأوعية نسبة 25-70% من إجمالي حجم الدم بالجسم وعلى هذا الأساس يطلق عليها مخازن الدم

3- الشعيرات الدموية:

هي أوعية دموية متناهية في الصغر، تعمل كحلقة وصل بين الوريدات والشريينات الصغيرة، وتكون شبكة كثيفة يتم من خلال جدرانها تبادل المواد بين الدم والسائل النسيجي، ويختلف حجم الأوعية الشعيرية من منطقة إلى أخرى في الجسم، وهي في الرئتين تكون أكثر اتساعا في قطرها من أي جزء آخر في الجسم

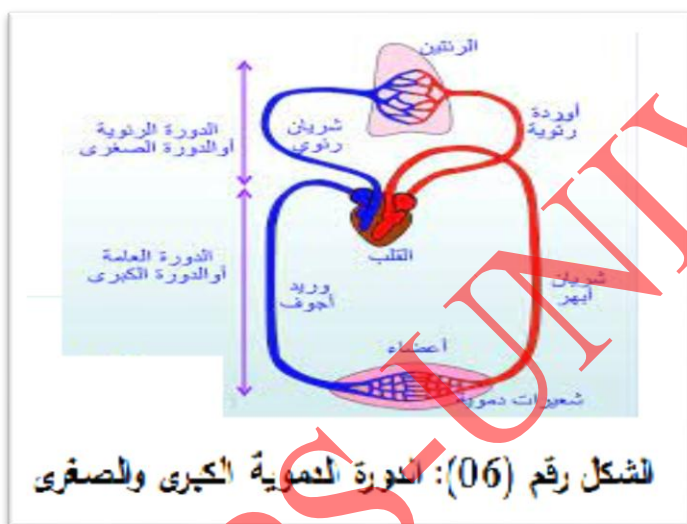
1-2-1- الدورة الدموية:

يوجد في الجسم دورتان دمويتان إحداهما تسمى الدورة الوظيفية والأخرى تسمى الدورة المغذية.

أولا :الدورة الدموية الوظيفية: وتنقسم إلى قسمين:

1-الدورة الدموية الكبرى (الدورة العامة):

يقوم البطين الأيسر بضخ الدم المؤكسد إلى الشريان الأبهر فالشرايين المتفرعة وأخيرا إلى الشعيرات الدموي الطرفية حيث يقوم الدم بتقديم الأكسجين الذي يحمله إلى خلايا الجسم ويأخذ منها ثاني أكسيد الكربون ويتابع جريانه في الأوردة الطرفية الصغيرة والأوردة الكبيرة مثل الوريد الأجوف العلوي والسفلي حيث يصبان



في الأذين الأيمن فالبطين الأيمن

وهو الشريان الوحيد الذي يحمل دم

غير مؤكسد.

2-الدورة الدموية الصغرى:

يقوم البطين الأيمن بضخ الدم الوريدي للشريان الرئوي وفروعه ثم للشريان الدموي ويتم طرح غاز أكسيد الكربون في الاسناخ واخذ الأكسجين وبهذا يصبح الدم مؤكسد ولونه احمر ويدخل الأوردة الرئوية وهي الأوردة الوحيدة التي تنقل دم مؤكسد للأذين الأيسر فالبطين الأيسر حيث تبدأ الدورة العامة بضخ الدم الى جميع انحاء الجسم عبر الشريان الأبهر.

ثانيا :الدورة الدموية المغذية التاجية:

هي التي تزود عضلة القلب ذاتها بالدم ل توفر لها الأكسجين والعناصر الغذائية لإنتاج الطاقة لكي تقوم بوظيفتها كمضخة للدم ، وهي أضعف نقطة في الإنسان إذ يموت الكثير بمرض

الدورة الدموية التاجية لان الشرايين التاجية أكثر قابلية للتصلب و تتم الدورة التاجية ابتداء من الشريانيين التاجيين من الشريان الأبهر قبل تقوسه احدهما يتجه نحو اليمين والآخر لليساار ويتفرع كلا منهما لشريانات صغيرة ثم شعيرات دموية حتى يصبح ليف عضلي في عضلة القلب ، وبعد أن تحصل الألياف العضلية القلبية على الأكسجين وتطرح ثاني أكسيد الكربون يعود الدم الغير مؤكسد للأوردة التاجية (الجيب الإكليلي) التي تفتح مباشرة في مجاري القلب بنسبة 40 % وفي القناة الوريدية التاجية التي تفتح في الأذين الأيمن بالقرب من العقدة الأذينية البطينية بنسبة 60 % ، والدورة الدموية التاجية تعتبر اقصر الدورات في الجسم إذ أنها لا تستغرق أكثر من 8 ثواني.

1-3-الدم:

يقوم الدم في الجسم بوظيفة مهمة حيث يحمل الى جميع خلايا الجسم الاكسجين عن طريق الجهاز التنفسي، كما يحمل ايضا الغذاء عن طريق الجهاز الهضمي، فضلا عن ان بعض اجزاء من الجسم كخناق العظام والطحال تنتج خلايا خاصة تقوم بوظائف حيوية مهمة يحملها الدم ايضا ويدور بها في اجزاء الجسم المختلفة كما انه يخلص جميع انسجة الجسم من النفايات نتيجة عمليات الاحتراق والاكسدة حيث يتخلص الجسم من البول عن طريق الكلية، ويتخلص الجسم من الاملاح وغيرها عن طريق العرق وتقوم الرئتين بتخليص الجسم من ثاني اكسيد كربون

2-أهم تكيفات الجهاز القلبي الدوراني أثناء الجهد البدني:

1-معدل ضربات القلب:

يعد معدل ضربات القلب من المؤشرات المهمة التي يمكن من خلالها الاستدلال على شدة العبء الملقى على الجسم، فضربات القلب ترتفع بصورة مطردة مع زيادة الجهد البدني، إلى أن تصل أقصى معدل أثناء الجهد الأقصى، ومن المعتاد فإن معدل ضربات القلب القصوى تصل لدى الشاب السليم إلى حوالي 200 ضربة /الدقيقة، ومع تقدم العمر خاصة بعد

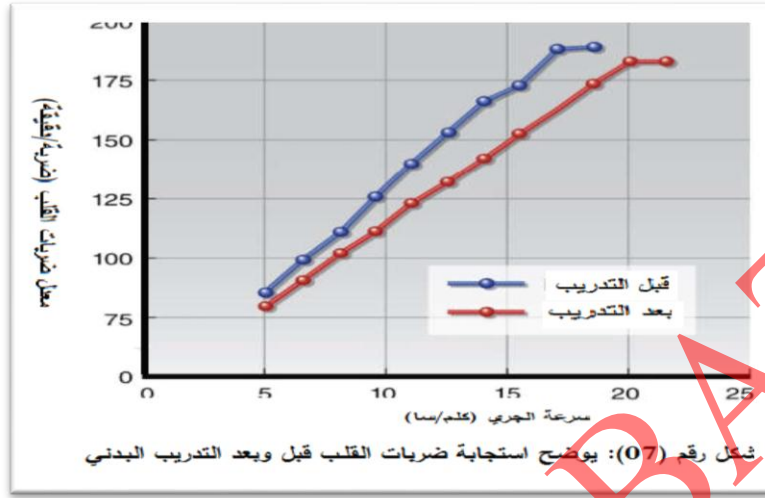
العشرينات من العمر تنخفض ضربات القلب القصوى تدريجيا وبمعدل يصل إلى حوالي ضربة في الدقيقة كل سنة، أي حوالي 10 ضربات في كل عقد من الزمن.

من المعروف أن معدل ضربات القلب يرتفع أثناء ممارسة النشاط البدني، ويعتمد مقدار الارتفاع على شدة الجهد البدني المبذول، وعلى نوعية النشاط الممارس. ففي الأنشطة التي يتم فيها استخدام كتلة عضلية صغرى من الجسم مثل الذراعين فقط، فإن ضربات القلب لا يمكن أن تبلغ أقصاها، مقارنة بتلك التي يتم فيها استخدام كتلة عضلية كبرى مثل الفخذين والساقين، ومن أمثلة الأنشطة البدنية التي يتم فيها استخدام كتلة عضلية كبرى الهرولة، الجري، ركوب الدراجة والتزلج والتجديف، ويعود سبب ذلك إلى أن التنبيه المرسل إلى النخاع أثناء أداء الجهد البدني باستخدام كتلة عضلية صغرى لا يكون كافيا، وعليه فالوصول إلى ضربات القلب القصوى يتطلب توظيف وحدات حركية أكبر حتى نضمن كفاية التنبيه الموجه إلى مركز التحكم في ضربات القلب في النخاع، من خلال حفز التنبيه المركزي القادم من القشرة الحركية والتنبيه المحلي القادم من المستقبلات الحسية والحركية.

أما في رياضة السباحة والتي يتم فيها أيضا توظيف كتلة عضلية كبرى، فإن ضربات القلب لا تصل خلالها إلى مستوى ما تصل إليه أثناء الجري، ويعزى ذلك إلى أسباب عديدة من أهمها اختلاف وضع الجسم أثناء السباحة عنه أثناء الجري وبالتالي سهولة عودة الدم الوريدي إلى القلب أثناء السباحة مما يجعل القلب يضخ كمية أكبر من الدم في كل ضربة من ضرباته، أي يصبح حجم الضربة أكبر في وضع الاستلقاء مقارنة بوضع الجلوس أو الوقوف، وبالتالي انخفاض معدل نبضات القلب.

يقود التدريب البدني المنتظم إلى جملة من المتغيرات الوظيفية الإيجابية للعديد من أجهزة الجسم المختلفة بما في ذلك القلب والأوعية الدموية، ويظهر هذا التحسن في كفاءة القلب على شكل انخفاض في ضربات القلب في الراحة وانخفاضها أيضا أثناء الأنشطة البدنية غير القصوى (أي أن جهدا بدنيا محددًا يؤدي إلى رفع ضربات القلب انخفاض ضربات القلب بعد

التدريب بدرجة أقل مما هو قبل التدريب) ويوضح الشكل البياني رقم (07) رسماً لاستجابة معدل ضربات القلب بعد التدريب البدني مقارنة بما قبل التدريب لدى أحد المفحوصين.



ويتبين من الشكل رقم (07) أن منحنى استجابة معدل ضربات القلب قد اتجه على اليمين بعد التدريب البدني، مما يعني أن هناك تكيف قد حدث للمفحوص من جراء التدريب البدني، وهذا التكيف من جراء التدريب البدني يشير إلى أن القلب أصبح قادراً على ضخ كمية نفسها من الدم إلى العضلات بضربات أقل عند سرعة محددة من الجهد البدني، أما ضربات القلب القصوى فيعتقد أنها تنخفض قليلاً أو لا تتأثر على الإطلاق بالتدريب البدني، وهذا يتيح احتياطاً أكبر لضربات القلب أثناء الجهد البدني دون القصوى بعد التدريب مقارنة بما قبل التدريب، علماً أن احتياطي ضربات القلب أثناء الجهد يساوي ضربات القلب القصوى مطروحاً منها ضربات القلب أثناء الجهد البدني.

2- حجم الضربة:

يعني حجم الدم المدفوع من القلب في كل ضربة من ضرباته، ويبلغ في الراحة لدى الشاب المتوسط الحجم غير المتدرب حوالي 60 ملل، ويرتفع في الجهد البدني المرتفع الشدة ليلبلغ 100-110 ملل، أما لدى الشخص الرياضي فيبلغ حجم الضربة في الراحة حوالي 80 ملل،

ويزداد في الجهد البدني الأقصى إلى أن يصل حوالي 150-160 ملل، وقد يبلغ 200 ملل لبعض الرياضيين المتميزين.

ويرتبط حجم الضربة إلى حد ما بحجم القلب وسمكه ومن المعلوم أن حجم الضربة يتأثر بوضع الجسم سواء في الراحة أو في الجهد، فحجم الضربة أثناء الوقوف أو الجلوس يعد أقل منه في حالة الاستلقاء وذلك نتيجة زيادة العائد الوريدي أثناء الاستلقاء، مما يجعل القلب قادراً على دفع الكمية نفسها من نتاج القلب بمعدل أقل من ضربات القلب، كما يتأثر حجم الضربة بمقدار العضلات المشاركة أثناء الجهد البدني، ففي الجهد البدني الذي تستخدم فيه عضلات كبرى من الجسم كما في الجري يكون مقدار حجم الضربة أعلى مما هو أثناء استخدام كتلة عضلية صغرى كما في حال استخدام مجهاد اليدين.

3-النتاج القلبي (الدفع القلبي):

النتاج القلبي هو كمية الدم التي يضخها القلب في الدقيقة الواحدة باللتر أو المليلتر وهو محصلة ضرب ضربات القلب في الدقيقة في حجم الضربة، ويتراوح عادة حجم نتاج القلب في الراحة لرجل متوسط الحجم حوالي 5 لتر/د، إلا أنه يرتفع إلى حوالي 20 ل/د للشخص غير الرياضي أثناء الجهد البدني الأقصى، و30 ل/د أو أكثر عند الرياضي

ويعزى الزيادة في نتاج القلب هذه مع ارتفاع شدة الجهد البدني إلى زيادة كل من ضربات القلب وحجم الضربة، وتبدو الزيادة في ضربات القلب شبه خطية مع زيادة شدة الجهد البدني، إلا أن حجم الضربة يزداد بشكل صريح وواضح في بداية الجهد البدني، ولكن سرعان ما يستقر عندما تصبح ضربات القلب مرتفعة وقريبة من ضربات القلب القصوى، ويعود ذلك لسبب بسيط، وهو أنه في الجهد القريب من الأقصى يكون معدل ضربات القلب سريعاً بحيث لا يسمح بحدوث وقت كاف لامتلاء القلب بالدم، أي ينخفض حجم الدم في البطين عند نهاية

مرحلة الانبساط ، غير أن بعض الدراسات الحديثة تشير إلى أن حجم الضربة لا يستقر إطلاقاً لدى رياضي التحمل المتميزين، حيث يستمر حجم الضربة في الزيادة حتى نهاية الجهد البدني.

3-1- كيفية قياس النتاج القلبي:

أ- حساب حجم النتاج القلبي بواسطة معادلة (fick equation) :

ويتم حساب حجم النتاج القلبي بواسطة معادلة (fick equation) كما يلي:

نتاج القلب (ل/د) = استهلاك الأوكسجين (ملي ل/د) ÷ الفرق الوريدي الشرياني للأوكسجين (ملي ل/د) ومن أجل القيام بذلك يتطلب الأمر معرفتنا بمحتوى كل من الدم الشرياني والوريدي من الأوكسجين، كما يلزمنا معرفة معدل استهلاك الأوكسجين، شريطة أن يكون هذا في حالة راحة، فمثلاً عندما يكون محتوى الدم الشرياني من الأوكسجين في حالة الراحة يساوي 200 ملي لتر في كل لتر من الدم، ومحتوى الدم الوريدي من الأوكسجين يعادل 150 ملي لتر في كل لتر من الدم، فيكون الفرق في تركيز الأوكسجين بين محتوى الدم الشرياني ومحتوى الدم الوريدي والمسمى الفرق الشرياني الوريدي للأوكسجين يساوي 50 ملي لتر من الأوكسجين في كل لتر، وعليه يمكن لنا حساب نتاج القلب في الراحة باستخدام معادلة فك على النحو المبين أدناه، علماً بأن معدل استهلاك الأوكسجين في الراحة لشخص متوسط الحجم يساوي 250 ملي لتر في الدقيقة نتاج القلب (ل/د) = $250 \div 50 = 5$ ل/د

ب- قياس نتاج القلب بواسطة الصبغة الملونة أو (المشعة):

يتطلب هذا الإجراء حقن صبغة ملونة أو مادة مشعة في الجسم عن طريق الوريد ثم الانتظار حتى تختلط هذه الصبغة بالدم الشرياني، ومن ثم أخذ عينات من الدم الشرياني على فترات متفاوتة وقياس تركيز المادة الملونة أو المشعة فيها، ومن خلال معرفة كمية المادة الملونة المحقونة في الوريد، وتركيز المادة الملونة في العينات المأخوذة من الدم الشرياني، يمكن حساب حجم نتاج القلب في الدقيقة.

ج- قياس نتاج القلب بواسطة إعادة استنشاق ثاني أكسيد الكربون:

تعتمد هذه الطريقة بأنها إجراء غير توسعي (أي لا تتطلب استخدام الإبرة أو أخذ عينة من الدم)، وهذه الطريقة تعتمد على استنشاق تركيز محدد من غاز ثاني أكسيد الكربون ثم معرفة تركيزه في الدم الشرياني والوريدي، ومن ثم حساب حجم نتاج القلب بمعادلة شبيهة لمعادلة فك، لكن باستبدال استهلاك الأوكسجين بإنتاج ثاني أكسيد الكربون، وذلك على النحو التالي:

نتاج القلب (لتر/د) = إنتاج ثاني أكسيد الكربون في هواء الزفير (ملل/د) ÷ الفرق الشرياني الوريدي لثاني أكسيد الكربون (ملل/د)

4- زيادة حجم القلب وسك جدرانه:

يعتمد التغير في حجم القلب (خاصة البطين الأيسر) وفي سك جدرانه على نوع التدريب البدني، حيث يؤدي التدريب البدني التحملي إلى زيادة حجم البطين الأيسر، ويظهر ذلك على وجه الخصوص لدى الرياضيين الذين يشاركون في الأنشطة البدنية التحملية التي تدوم من (5-30 دقيقة) حيث يتوفر في تلك الأنشطة بالإضافة إلى عنصر التحمل عنصر الشدة، حيث الاعتقاد السائد أن شدة الجهد البدني بالإضافة إلى إستمرارياته عنصران مهمان في إحداث تغيرات في حجم تجويف بطين القلب، وبالمقارنة مع الشخص غير المتدرب الذي يبلغ حجم البطين الأيسر لديه 1,7 - 1,9 مليلتر/كغ من وزنه، فإن رياضي التحمل قد يصل حجم البطين الأيسر لديه إلى 3,2 مليلتر/كغ من وزن الجسم.

أما التدريب البدني الذي يوظف الانقباض العضلي الثابت بشكل كبير، مثل رفع الأثقال، كمال الأجسام، الجودو والكاراتيه وما شابه ذلك من رياضات، فلا يعتقد أنه يؤدي إلى زيادة ملحوظة في حجم البطين الأيسر، بل يقود هذا التدريب إلى زيادة سك جدار القلب، بما في ذلك الجدار البطيني، كاستجابة فيسيولوجية لنوع التدريب البدني المستخدم في تلك الرياضات التي يتم فيه التركيز على زيادة الضغط داخل التجويف الصدري وبالتالي ازدياد مقاومة الأوعية الدموية لضخ الدم في القلب. في حين يقوم التدريب البدني الذي يجمع بين الانقباضين

العضليين المتحرك والثابت مثل رياضة الدراجات إلى زيادة كل من حجم تجويف البطن وسمك جدار القلب.

5- ضغط الدم الشرياني:

تتطلب العضلات أثناء انقباضها كمية كبيرة من الدم مقارنة بالراحة، ولهذا نجد أن حجم نتاج القلب يرتفع أثناء الجهد، ويعتمد هذا الارتفاع في حجم نتاج القلب على شدة الجهد البدني، وازدياد جريان الدم في الأوعية الدموية في العضلات العاملة تتمدد الأوعية، إلا أنها في الأنسجة الأخرى من الجسم تنقلص، حتى يتمكن الجسم من توجيه أكبر كمية من الدم إلى الأجهزة العاملة، ومنها القلب والرئتين والعضلات العاملة حتى تستأثر (العضلات) بحوالي 80% من نتاج القلب أثناء الجهد البدني العنيف.

ولهذا نرى أن ضغط الدم الشرياني يرتفع في الجهد البدني العنيف حتى عند الفرد السليم، وهذا الارتفاع في الضغط ضروري جدا لكي يزيد ضغط التشعب أي تشعب العضلات العاملة بالدم، وتشير البحوث الحديثة إلى أن هذا التحكم في ضغط الدم أثناء الجهد البدني يتم من خلال الجهاز العصبي السمبثاوي. إن ارتفاع ضغط الدم الشرياني الانقباضي (Systolic) أثناء القيام بجهد بدني يعتمد بشكل كبير على شدة الجهد البدني، ويعود سبب هذا الارتفاع إلى الارتفاع الكبير في جريان الدم في الأوعية الدموية (من جراء زيادة نتاج القلب)

أما الضغط الشرياني الانبساطي (Diastolic) فلا يتأثر تأثرا ملحوظا بالجهد البدني المتحرك (Dynamic) ويعتمد ضغط الدم على حجم الدم ومعدل جريانه في الأوعية الدموية وكذلك على مقاومة الأوعية الدموية لجريان الدم

ويؤثر نوع الانقباض العضلي بشكل واضح في الضغط الشرياني أثناء الجهد البدني حيث يكون الارتفاع في الضغط الشرياني أكبر عندما يكون الانقباض العضلي ثابتا (Isometric) مقارنة مع الانقباض العضلي المتحرك (Dynamic) ولهذا لا ينصح بعمل التدريبات العضلية الثابتة أو المشابهة للثابتة لكبار السن أو الذين لديهم ارتفاع في ضغط الدم (بما في ذلك بعض

تدريبات الأثقال)، بينما يساعد التدريب البدني الهوائي (كالمشي، الجري والسباحة....الخ) على خفض ضغط الدم لدى الأفراد الذين يعانون من ارتفاع ضغط الدم ومن المعلوم أن أداء الجهد البدني باستخدام كتلة عضلية صغيرة مثل عضلات الذراعين يؤدي إلى ارتفاع ضغط الدم الشرياني بصورة أشد مقارنة باستخدام كتلة عضلية كبيرة كعضلات الفخذين والساقين، ويعزى هذا الفرق في استجابة ضغط الدم بشكل رئيسي إلى أن استخدام الكتلة العضلية الصغرى (التي يتم فيها مشاركة وحدات حركية أقل) يؤدي إلى زيادة الاعتماد أكثر على الانقباض العضلي الثابت، بينما يقود إلى زيادة الضغط داخل التجويف الصدري وبالتالي انخفاض العائد الوريدي (كمية الدم العائد إلى القلب)، الأمر الذي يزيد في النهاية من معدل ضربات القلب وبالتالي زيادة ضغط الدم الشرياني.

6-زيادة بلازما الدم:

من المعلوم أن القيام بجهد بدني يؤدي إلى حدوث انخفاض مؤقت في حجم بلازما الدم لا يدوم طويلا بعد الجهد البدني، ويمكن سبب ذلك في أنه مع بداية الجهد البدني يزداد انتقال سائل البلازما في الأوعية الدموية الشعرية إلى الفراغ بين الخلوي (الفراغ الذي بين الخلايا)، ويكون ذلك بسبب زيادة جريان الدم وارتفاع ضغطه، الأمر الذي يؤدي في النهاية إلى زيادة ترشيح الماء من الأوعية الدموية. ويبدو أن معدل فقدان الماء من سائل البلازما يتناسب تناسبا طرديا مع شدة الجهد المبذول. ويقدر انخفاض حجم بلازما الدم بحوال 10-20% أثناء الجهد البدني الطويل الأمد، ويزداد الانخفاض في واقع الأمر عندما يتزامن الجهد البدني مع ارتفاع درجة الحرارة الخارجية وفقدان كمية كبيرة من العرق. خاصة عندما لا يتم تعويض السوائل المفقودة من الجسم، ويعود السبب في ذلك إلى أن أكثر من 99% من سائل العرق هو ماء قادم بصفة رئيسية من السوائل بين الخلوية ومن بلازما الدم.

إن انخفاض حجم الماء في الفراغ بين الخلوي يؤدي إلى زيادة الضغط الأسموزي فيه، مما يقود إلى جذب سائل أكثر من بلازما الدم، وهكذا ينخفض حجم بلازما الدم، ويقود انخفاض حجم بلازما الدم إلى زيادة نسبة الهيماتوكريت، أي زيادة تركيز كريات الدم الحمراء في الدم.

غير أن التدريب البدني المنتظم، خاصة في الجو الحار، يؤدي في النهاية إلى زيادة حجم بلازما الدم لدى الرياضي سواء في الراحة أو في الجهد البدني، وبالرغم من تفاوت الزيادة في حجم البلازما من جراء التدريب البدني في الجو الحار، إلا أنها قد تصل بعد فترة من التأقلم لدى بعض الرياضيين إلى 30%، هذا التكيف الفسيولوجي من جراء التدريب البدني في الجو الحار يعد شيئاً إيجابياً، ينعكس بدوره على تحسن اتزان السوائل في جسم الرياضي، مما يوفر له المقدرة على تحمل الجهد البدني في الجو الحار، كما تقود الزيادة في حجم بلازما الدم هذه إلى تخفيف لزوجة الدم. ويعتقد أن الآلية المسؤولة عن زيادة حجم بلازما الدم من جراء التدريب في الجو الحار تتمثل في زيادة المنحلات في سوائل الدم، خاصة الصوديوم والكلوريد، وكذلك الاحتفاظ بالمواد البروتينية بصورة أكبر في الأوعية الدموية.

ومن المعروف أن زيادة حجم بلازما الدم بعد فترة من التدريب البدني في الجو الحار قد تصل إلى نسبة 20% لدى البعض مقارنة بما قبل التدريب، الأمر الذي يؤدي فعلاً إلى تخفيف لزوجة الدم كثيراً، وبالتالي انخفاض تركيز كل من الهيموجلوبين ونسبة الهيماتوكريت نتيجة زيادة حجم بلازما الدم بشكل واضح من جراء تدريب بدني في الجو الحار.

7-زيادة سريان (تدفق) الدم:

إن سرعة تدفق الدم إحدى العوامل الضرورية لثبات البيئة الداخلية بمختلف أجزاء الجسم، حيث تسهل عملية التخلص من فضلات التمثيل الغذائي، وتنظم درجة حرارة الجسم وإمداد الأنسجة العاملة بالمواد الغذائية، وبصفة خاصة الأوكسجين. وإن زيادة احتياج العضلات أثناء المجهود البدني للأوكسجين نتيجة زيادة طلب عمليات التمثيل الغذائي لها في عمليات توليد الطاقة والوقود، ولتوفير هذا يجب زيادة سريان الدم إلى هذه العضلات والتي تتم عن طريق الزيادة في ضخ الدم (الدفع القلبي) وكذلك عن طريق إعادة توزيع الدم من الأعضاء غير النشطة إلى الأعضاء النشطة، وتدفق الدم في الأوعية الدموية يرتبط ارتباطاً طردياً مع الضغط في نهاية وبداية هذه الأوعية ويرتبط عكسياً مع مقاومة هذه الأوعية الدموية.

المحاضرة رقم (03): تكييف الجهاز التنفسي

1-تركيب الجهاز التنفسي:

هو الجهاز الذي يمد الجسم بالأكسجين من الهواء الخارجي ويخلصه من ثاني أكسيد الكربون

الناجم من العمليات الأيضية من خلال

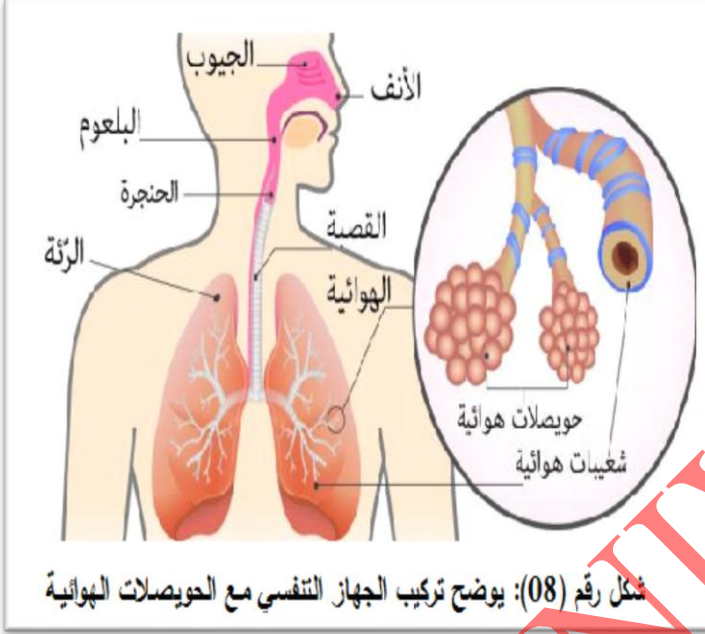
عملية التنفس. يتكون الجهاز التنفسي

من فتحة الأنف، تجويف الأنف،

البلعوم الحنجرية، القصبة الهوائية،

الشعبتين الهوائيتين، ثم تتفرع إلى

شعبيات أصغر فأصغر والتي يقدر



عددها بحوالي مليون شعبية حتى تنتهي بالحويصلات الهوائية (مكان تبادل الغازات) والتي

يقدر عددها حوالي 300 مليون حويصلة حيث يتراوح قطر الواحدة منها 75 إلى 300 ميكرون

وهي محاطة بالشعيرات الدموية رقيقة الجدار لسهولة تبادل الغازات، ويصل وزن الرئتين إلى

واحد كيلوغرام ومساحتها تصل إلى 80 متر أي أنه تغطي نصف مساحة ملعب للكرة الطائرة

وينقسم الجهاز التنفسي إلى منطقتين:

أ-منطقة التوصيل:

وهي المنطقة التي لا يتم فيها تبادل الغازات

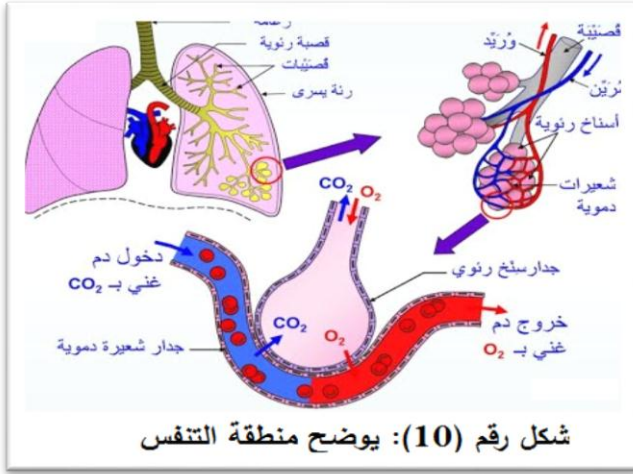
وتشمل الأنف والبلعوم والحنجرة والقصبة

الهوائية والشعبتين وجزء من الشعب الهوائية

وتسمى (بالمنطقة التشريحية الخاملة) ويصل

حجمها 150-200 مليلتر



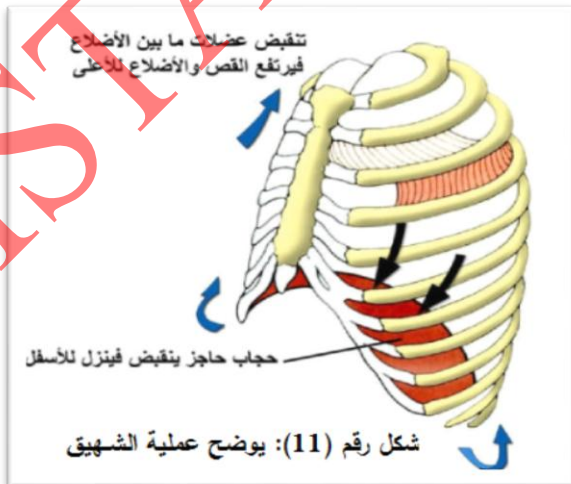


ب-منطقة التنفس:

وهي المنطقة التي يتم فيها تبادل الغازات بين الحويصلات الهوائية والدم، وتعتبر الوظيفة الرئيسية للحويصلات الرئوية هي تبادل غازي الأوكسجين وثنائي أكسيد الكربون والشعيرات الدموية المحيطة بها

2-وظائف الجهاز التنفسي:

- الوظيفة الرئيسية للجهاز التنفسي هي توفير الأوكسجين لخلايا الجسم والتخلص من ثاني أكسيد الكربون الناتج من العمليات الأيضية.
- المحافظة على التوازن الحمضي- القاعدي PH الجسم
- تدفئة وترطيب هواء الشهيق وتخليصه من الأتربة
- الوقاية من المكروبات والمواد الضارة التي تدخل الجسم مع هواء الشهيق
- الكلام لاحتوائه على أعضاء الكلام (الأوتار الصوتية)
- تنظيم درجة حرارة الجسم (التخلص من الحرارة والماء الزائد).



3-آلية التنفس:

3-1-عملية الشهيق:

هو عملية ادخال الهواء الى الرئتين، عن طريق بالجهاز العصبي المركزي فيبدأ التنفس بإشارة

عصبية من مركز التحكم في التنفس، بالمخ لينبه عضلات التنفس والحجاب الحاجز وعضلات ما بين الضلوع ومع انقباض الحجاب الحاجز يزداد تجويف القفص الصدري ويقل الضغط داخل الرئتين فيبدأ الهواء بالدخول عن طريق الانف والفم إلى الرئتين لتعويض الفقد في الضغط.

3-2-عملية الزفير:

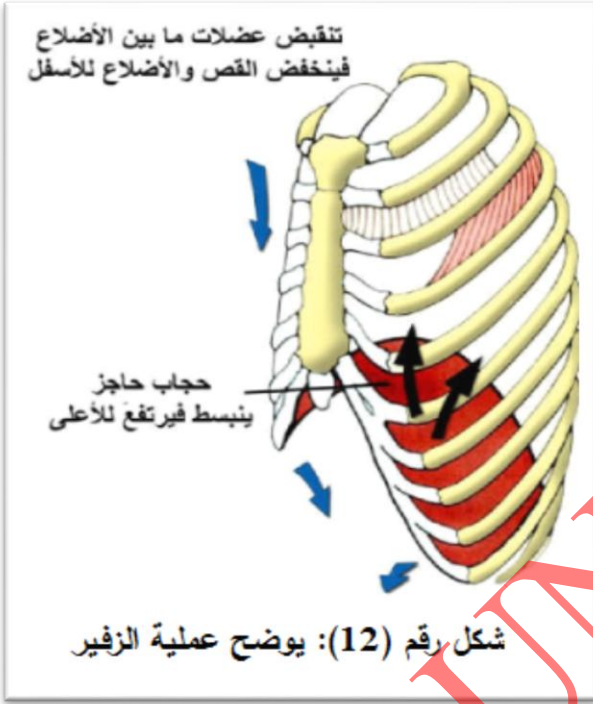
بعد اكمال عملية الشهيق يرسل مركز التنفس رسالة أخرى، فتنبسط عضلات ما بين الضلوع فيهبط القفص الصدري ويرتخي الحجاب الحاجز فيزداد الضغط داخل القفص الصدري ويضغط على الرئتين مؤديا إلى خروج الهواء منها.

4-عملية التنفس والتبادل الغازي:

تنقسم إلى أربع خطوات:

1-التهوية الرئوية:

هي عملية دخول الهواء الغني بالأكسجين إلى الرئتين عبر المجاري التنفسية حتى الوصول إلى الحويصلات الهوائية، وكذلك خروج ثاني أكسيد الكربون من الحويصلات الهوائية إلى الهواء الخارجي (التنفس الخارجي). ومن الجدير بالذكر أن حجم التهوية الرئوية (أو كمية الهواء التي تدخل إلى الحويصلات الرئوية) يتأثر بمدى حاجة الجسم للأكسجين وأيضا مدى حاجته للتخلص من ثاني أكسيد الكربون، ولهذا نجد أن حجم التهوية الرئوية الذي يبلغ 7



لترات/دقيقة أثناء الراحة لدى الشاب السليم (500 مليلتر في كل شهيق x 14 مرة/دقيقة) وهذا الرقم يرتفع ليصل إلى حوالي 90-120 مليلتر/ دقيقة أثناء الجهد البدني الأقصى، ولبيلغ عند بعض الرياضيين ذوي الكفاءة العالية والأجسام الكبيرة 180 مليلتر / دقيقة.

وفي الواقع فإن جزء من التهوية الرئوية لا يدخل فعليا في عملية تبادل الغازات (التي تتم بين الحويصلات الهوائية والدم المحيط بها)، ويسمى بالتهوية الرئوية الخاملة، ويقدر حجمه بحوالي 150 مليلتر، وهو الهواء الواقع في المنطقة التشريحية الخاملة، والتي تشمل الهواء في الفم، الأنف، الحنجرة والبلعوم والقصبه الهوائية والشعبتين الهوائيتين وأجزاء من الشعبيات الهوائية، وعليه فإن كمية الهواء الذي يدخل في عملية تبادل الغازات يساوي تقريبا 350 مليلتر ويسمى بالتهوية الحويصلية

2- الانتشار الرئوي:

وتوصف عملية الانتشار الرئوي بالتنفس الخارجي، وتسمى أيضا بعملية تبادل الغازات في الرئتين، حيث يتم تبادل غازي الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون بين الحويصلات الهوائية والشعيرات الدموية المحيطة بها، وعملية الانتشار الرئوي تعد عملية بسيطة ولا تتطلب طاقة، حيث ينتقل الغاز من التركيز العالي إلى التركيز المنخفض، ونظرا لصغر سماكة أغشية الحويصلات الرئوية والشعيرات الدموية، فإن انتشار غازي الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون بين الحويصلات الرئوية والشعيرات الدموية المحيطة بها يكتمل في غضون ثانية واحدة في الرئة السليمة.

3- عملية نقل الغازات:

وهي عملية نقل الأكسجين من الشعيرات الدموية المحيطة بالرئتين إلى بقية أنسجة الجسم عبر القلب، وكذلك نقل ثاني أكسيد الكربون من أنسجة الجسم إلى الرئتين، وهذه العملية تتم من خلال الجهاز الدوري عن طريق الهيموجلوبين (المسمى خضاب الدم)، حيث يتم نقل أكثر من

98% من الأوكسجين عن طريق اتحاده مع الهيموجلوبين مكونا مركبا يسمى أوكسي هيموجلوبين، أما النسبة الباقية من الأوكسجين فتذوب في سائل الدم، وتقدر كمية الدم الذائب في سائل الدم بحوالي 3 مليلتر في كل لتر من الدم عندما يكون ضغط الأوكسجين في الدم الشرياني 100 مم/ زئبقي.

أما ثاني أكسيد الكاربون فيتم نقله في سائل الدم على ثلاث هيئات، الأولى بشكل ذائب في سائل البلازما، ونظرا لأن قدرة ثاني أكسيد الكاربون على الذوبان تزيد على قدرة ذوبان الأوكسجين بحوالي 20 ضعفا، فإن كميته الذائبة في الدم تعادل 5%، أما الهيئة الثانية لنقل ثاني أكسيد الكاربون على شكل بيكربونات في بلازما الدم، حيث يتم اتحاد 60-80% من ثاني أكسيد الكاربون مع الماء ليعطي حمض البيكربونيك والذي سرعان ما يعطي أيون الهيدروجين والبيكربونات، ويتحكم في هذا التفاعل إنزيم كاربونيك انهدريز، والهيئة الأخيرة ينقل ثاني أكسيد الكاربون متحدا مع الهيموجلوبين مكونا مركبا يسمى كاربأمينوهيموجلوبين.

4-مرحلة الانتشار الخلوي :

في هذه الخطوة يتم تبادل غازات التنفس الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون بين الشعيرات الدموية وخلايا الجسم، ويطلق على هذه الخطوة التنفس الداخلي، حيث يتجه الأوكسجين من الدم إلى الخلايا ويتجه ثاني أكسيد الكربون من الخلايا إلى الدم. وحيث يتم تبادل الغازات بين الخلايا والأوعية الدموية المحيطة بالخلايا عن طريق الانتشار البسيط، على الرغم من أن المسافة بين الشعيرات الدموية المتفتحة في العضلة وجدران الخلايا قد تصل إلى 50 ميكرون (أكبر من سمك الجدار الفاصل بين الغازات في الحويصلة الهوائية والدم المحيط بها الذي لا يتجاوز 0,5 ميكرون) إلا ان هذه المسافة تتقلص اثناء الجهد البدني نظرا لانفتاح عدد أكبر من الاوعية الشعرية، مما يساعد على سرعة انتشار الغازات.

5- التحكم في التنفس:

يتم التحكم في عملية التنفس من خلال مراكز التحكم في التنفس الموجودة بجسر المخ والنخاع المستطيل بالدماغ، وهي تتصل بالعضلات التنفسية من خلال أعصاب حركية، تعمل مراكز التنفس على زيادة وخفض معدل التنفس وأيضاً عمق التنفس من خلال معلومات يتلقاها من أماكن عديدة أهمها:

- المستقبلات الكيميائية المركزية على سطح النخاع
- المستقبلات الكيميائية الطرفية في الجسم السباتي والأبهر
- مستقبلات التمدد في الرئتين ومغازل العضلات التنفسية
- المستقبلات الحسية في العضلات العاملة والمفاصل
- درجة حرارة الجسم في غدة المهاد وتحت المهاد بالدماغ

6- التهوية الرئوية أثناء الراحة:

التهوية الرئوية أثناء الراحة عملية متكررة نتيجة الشهيق والزفير، وهي مختلفة من فرد لآخر، وهذا الاختلاف ليس كبيراً، ولكنه موجود ويرجع ذلك إلى حجم الجسم وعوامل فسيولوجية أخرى، ويطلق على حجم الهواء الذي يدخل الرئتين في الدقيقة الواحدة (سعة الرئتين التنفسية) أو التهوية في الدقيقة، وهي تعادل كمية الهواء الذي يدخل الرئتين في دورة تنفسية واحدة مضروبة في عدد الدورات التنفسية في الدقيقة، وقد وجد أن متوسط حجم الهواء الذي يدخل للرئتين في الدورة الواحدة حوالي 500 سم³ وأن عدد الدورات التنفسية في الدقيقة 16 دورة فتكون التهوية أثناء الراحة في الدقيقة الواحدة

$$VE = TV \times F$$

$$500 \times 16 = 8 \text{ لترات في الدقيقة}$$

- **TV**: كمية الهواء التي تخرج في الزفير من نفس واحد (مرة واحدة)

- **F**: تردد التهوية، كم شهيق أو زفير في الدقيقة

7- التهوية الرئوية أثناء التمرينات:

التهوية الرئوية أثناء التمرينات يمكن أن تصل إلى أكثر من 180 لتر/د، أي أن الزيادة يمكن أن تصل من 20 - 25 ضعف الكمية المستخدمة أثناء الراحة، وهذه الزيادة تكون عن طريق زيادة عمق الشهيق الناتج من قوة عضلات التنفس حيث يبلغ 800 سم³ في المرة الواحدة، وكذلك لسرعة الشهيق والزفير حيث يصل إلى أكثر من 25 مرة /د، كما أن التهوية الرئوية لا تقتصر زيادتها أو تحسينها أثناء التمرينات فقط، بل إنما تتغير قبل التمرينات وأثناء التمرينات وبعد التمرينات، وهي تتناسب مع درجة الجهد والحمل الملقى على عاتق الفرد الرياضي.

1- قبل التمرين مباشرة:

تزيد التهوية في اللحظات قبل بداية التمرين وأن استقرار الجسم للتمرين هو الذي يزيد التهوية.

2- أثناء التمرين:

أ-زيادة سريعة جداً خلال الثواني الأولى من بداية التمرين للتهوية وهذا عائد للتحفيز التنفسي والعصبي للتمرين.

ب-في المرحلة الثانية تتحدد الزيادة السريعة وتصبح زيادة بسيطة.

3- بعد التمرين:

أ-في الثواني الأولى يحدث انخفاض سريع ومفاجئ في عملية التهوية.

ب-بعد الثواني الأولى يحدث تناقص بطيء ويتجه نحو القيم في فترة الراحة.

وكلما زادت شدة التمرين تطول الفترة للعودة للراحة، وهناك اعتقاد أن السبب هو زوال التأثير التنفسي.

8-تكيف العمليات التنفسية للجهد البدني:

يؤدي الانتظام في مزاوله التدريب الرياضي وبصفة خاصة أحمال التدريب الهوائية التي تعتمد على استخدام الأكسجين وتتميز بها رياضيات التحمل، إلى جملة من التغيرات الفسيولوجية التي تعتبر عن كفاءة عملية التنفس لدى الرياضيين وتكيفها للتدريب الرياضي مقارنة بالأفراد غير الممارسين للرياضة وتتلخص أهم أنواع التكيف فيما يلي:

1- يقل عدد مرات التنفس لدى الرياضيين من غير الرياضيين، كما يتميز الرياضيون بعمق عمليات التنفس مما يجعلهم أقل عرضة للوصول إلى النهجان والتنفس السريع عند أداء المجهود ويصل حجم هواء التنفس العادي لدى الرياضيين في حالة الراحة ما بين 700-800 مليلتر مقارنة بمقدار 500 مليلتر عند غير الرياضيين.

2- ترتفع كفاءة اللاعب في استغلال واستهلاك الأكسجين لإنتاج الطاقة مقارنة بغير الرياضيين، وتتميز تلك الظاهرة لدى الرياضيين في ثلاث جوانب هي:

- كفاءة عمليات استيعاب الأكسجين
- عمليات نقل وامتصاص الأكسجين
- عمليات استهلاك الأكسجين في نشاط العضلات

3- زيادة الكفاءة الهوائية لعضلات التنفس وخاصة عضلات ما بين الضلوع وعضلة الحجاب الحاجز، فيزداد حجم القفص الصدري اتساعاً ومرونة خلال عملية التنفس، وهذا يسمح لأداء العمليات التنفسية على نحو أفضل لدى الأشخاص الرياضيين وبصفة خاصة عند أداء الجهد البدني.

4- زيادة حجم التهوية الرئوية القصوى (VE max) بعد التدريب البدني.

5-زيادة حجم الإمكانية التنفسية القصوى(MVV) لدى الفرد بعد التدريب البدني، وكذلك زيادة حجم التنفس الأقصى بعد التدريب البدني، وإليه يعزى بشكل كبير التحسن الملحوظ في حجم التهوية الرئوية القصوى بعد التدريب البدني، على أن الأحجام الرئوية الأخرى أو السعات الرئوية لا تتأثر كثيرا جراء التدريب البدني لدى الأفراد الأصحاء

6-يؤدي التدريب الرياضي المنتظم إلى زيادة كثافة الشعيرات الدموية المحيطة بالحوصلات الهوائية للرئتين نتيجة تفتح عدد من الشعيرات الدموية المقفلة أو الخاملة أو تولد شعيرات دموية جديدة تحت تأثير التكرارات المتواصلة لأداء الجهد البدني، وعلى أي حال فإن زيادة عدد أو كثافة الشعيرات الدموية يؤدي إلى زيادة المساحة أو المسطح الخاص بتبادل الغازات بين تلك الشعيرات وبين الحوصلات الهوائية للرئتين وخاصة عند أداء الجهد البدني مما يميز الرياضيين بكفاءة تنفسية أفضل من غيرهم

7-تحسن العمليات التوافقية بين ميكانيكية التنفس وحجم المجهود البدني المبذول، وتساعد تلك العملية على حدوث استقرار أطول وأفضل لما يعرف بالحالة الثابتة (Steady state) لوظائف الجسم الفسيولوجية عند أداء المجهودات البدنية، خاصة تلك التي تتميز بالاستمرارية لفترات زمنية طويلة في أنشطة التحمل الدوري التنفسي

8-ترتفع كفاءة استغلال الأكسجين في حالة الراحة لدى الرياضيين نتيجة لعدد من التغيرات المورفولوجيا والفسيولوجية التي تم تناولها في النقاط السابقة، ويؤدي ذلك إلى تميز الرياضيين بالاقتصادية في عمليات التنفس سواء كان ذلك في حالة الراحة أو عند أداء الجهد البدني مقارنة بغيرهم

13-يلاحظ أيضا بعد التدريب البدني انخفاض تركيز الأكسجين في هواء الزفير (مثلا 18-15%) دلالة على زيادة قدرة الجسم على استخلاص أكبر كمية من الأكسجين الموجود في الدم، وهذا مؤشر على ارتفاع كفاءة التهوية الرئوية بعد التدريب

9- يؤدي تميز الرياضيين بكفاءة استغلال الأوكسجين إلى تقليل تركيز ثاني أكسيد الكربون في الدم لديهم وتقليل حموضة الدم بواسطة معادلة تركيز حمض اللاكتيك أو سرعة عمليات التخلص منه في العضلات والدم مما يميز الرياضيين بتأخر وصولهم إلى التعب مقارنة بغير الرياضيين عند أداء المجهودات البدنية

10- تزداد مطاطية الرئتين وقدرتها على التمدد والانكماش لأداء حركات التنفس القوي والعميق نتيجة التكيف للأعباء التدريبية المتنوعة التي يواجهها الرياضيين.

11 . يؤدي تميز الرياضيين بكفاءة استغلال الأوكسجين إلى تقليل تركيز ثاني أكسيد الكربون في الدم لديهم وتقليل حموضة الدم بواسطة معادلة تركيز حمض اللاكتيك أو سرعة عمليات التخلص منه في العضلات والدم مما يميز الرياضيين بتأخر وصولهما إلى التعب مقارنة بغير الرياضيين عند أداء المجهودات البدنية.

12- تزداد مطاطية الرئتين وقدرتها على التمدد والانكماش لأداء حركات التنفس القوي والعميق نتيجة التكيف للأعباء التدريبية المتنوعة التي يواجهها الرياضيين.

المحاضرة رقم (04): تكييف الجهاز العضلي

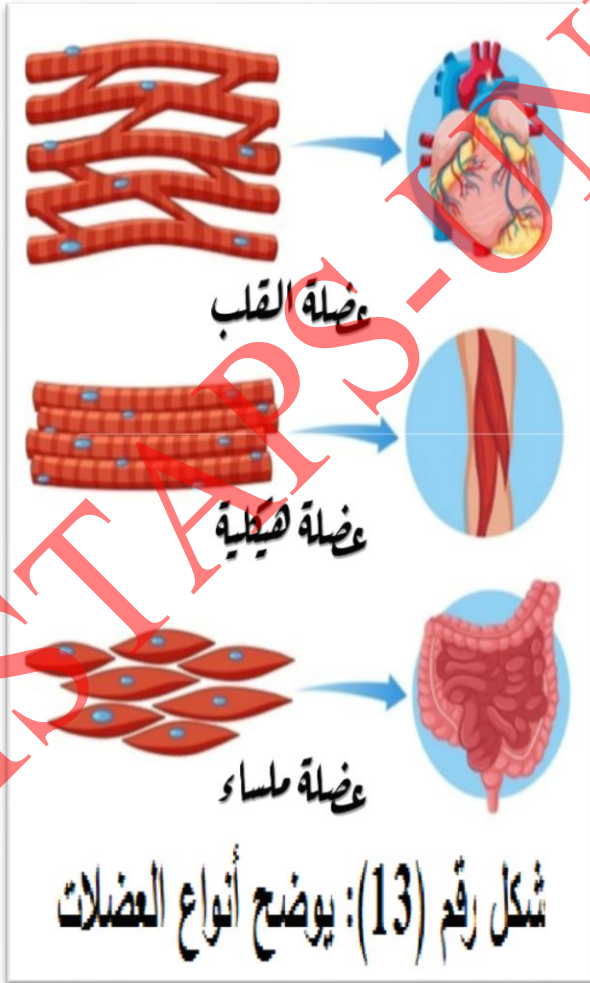
- مقدمة:

الجهاز العضلي هو الجهاز المسئول عن القوة والحركة في جسم الإنسان، بالإضافة لذلك فهو يعطي للجسم الشكل العام، ويستخدم الإنسان عضلاته عند أي حركة وبشكل مستمر من خلال تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة ميكانيكية (حركية)، فهو يستخدم عضلة الفك لمضغ الطعام مثلا، وعضلة الحجاب الحاجز وعضلات الأضلاع للتنفس، فالجهاز العضلي يتشكل من جميع العضلات في الجسم بنسبة 40-50% من وزن الجسم، والتي يتجاوز عددها 600 عضلة، منها العضلات الإرادية التي تشكل معظم العضلات في الجسم، وتسمى بالعضلات الهيكلية والعضلات الملساء وعضلة القلب

1- أنواع العضلات:

1-1- العضلات الإرادية (المخططة):

سميت كذلك لأنها تتقبض وتنبسط وفق إرادة الإنسان نفسه أي تخضع لتحكم الجهاز العصبي عن طريق الأعصاب الحركية، وسميت مخططة لأنها خلاياها تظهر على شكل خيوط ليفية طوليا وعرضيا تحت المجهر (خيوط الأكتين والميوزين)، وسميت أيضا عضلات هيكلية لأنها تتصل بالهيكل



العظمي عن طريق الأوتار وبذلك فهي المسئولة عن حركة وشكل وهيكـل الجسم، وللعضلات الهيكلية بداية ونهاية والجزء الواقع بينها يعرف ببطن العضلة، بداية العضلة يعرف بوتر المنشأ ونهايتها يعرف بوتر الاندغام، ونلاحظ أن وتر المنشأ عادة يتصل بأحد العظام ليمسك بها، بينما يتصل الأندغام بعظمة أخرى يشد عليها ليحركها بواسطة الانقباض العضلي

1-2- العضلات الإرادية (الملساء):

هي العضلات التي تخضع لسيطرة الجهاز العصبي الذاتي (اللاإرادي) دون إرادة الإنسان، وسميت عضلات ملساء لأنها تتكون من ألياف مغزلية الشكل ولا يظهر عليها التخطيط بشكل واضح تحت المجهر، وهي تدخل في تكوين الأوعية الدموية، الأوعية اللمفاوية وأحشاء الجسم المختلفة مثل الجهاز الهضمي والممرات التنفسية والمجاري البولية وبعض الأجزاء الداخلية كالمثانة وعضلات الرحم

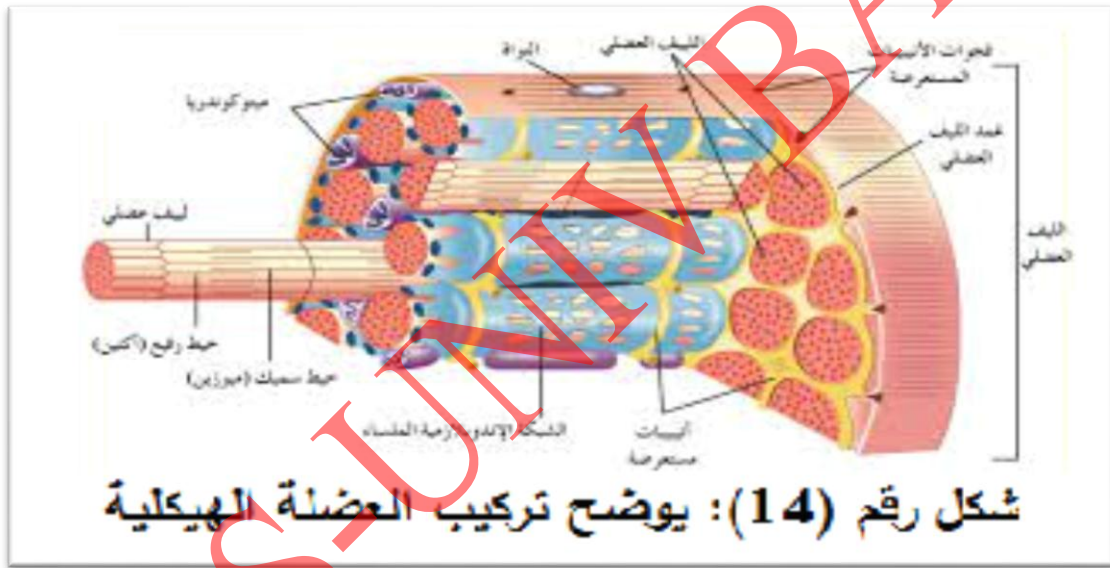
1-3- عضلة القلب:

تجمع في تركيبها ووظائفها بين النوعين السابقين من العضلات، فيظهر نسيج عضلة القلب في شكل مخطط عند الفحص المجهرى كما في العضلات الهيكلية الإرادية، بينما يكون إنقباضها غير إرادي كما هو الحال بالنسبة للعضلات الملساء، إلا أن عضلة القلب تتفرد بكونها ذاتية الإنقباض بمعنى أن انقباضها يتم دون الحاجة إلى صدور إشارة من الجهاز العصبي، وإنما تنشأ الإنقباضية أو النبضة القلبية نتيجة مؤثر صادر من عضلة القلب ذاتها.

2- تكوين العضلة الهيكلية:

العضلة الهيكلية هي عبارة عن خلية طويلة أسطوانية الشكل تحتوي على العديد من الأنوية الطرفية، تتكون من مجموعة من الألياف العضلية الرفيعة مصطفة بشكل متوازي في العضلة على شكل حزم عضلية مستقلة ومحاطة بنسيج ضام يسمى بلفافة الحزمة العضلية، وكل

مجموعة من هذه الحزم تضمها لفافة جديدة لتكون لنا حزم أكبر، وكل هذه الحزم تشكل لنا العضلة التي تحاط بنسيج ضام أكثر سمكا يسمى بغلاف العضلة ويكون بين هذه الحزم ألياف الكولاجين، وألياف مرنة، وأوعية دموية وأعصاب ويحاط الليف العضلي بغشاء بلازمي يسمى غمد الليف العضلي أو الساركوليمما، ويحتوي الليف العضلي على الليفيات العضلية وهي عبارة عن بروتينات مرنة تقوم بعملية الانقباض، يجري بينها سائل السيركوبلازم (سيتوبلازم الألياف العضلية) يملأ الخلية من الداخل وتسمح فيها العديد من عضيات الخلية أهمها: الجلايوجين والنواة والميتوكوندريا وأجسام كولجي والميوجلوبين وغيرها من العضيات الأخرى.



ويحتوي الليف أيضاً على شبكة إندوبلازمية ملساء مختلفة عن تلك الموجودة في الخلايا العادية، تقوم بتخزين الكالسيوم إلى حين الحاجة (انقباض العضلات)، كما أنه توجد شبكة من الأنابيب المستعرضة والتي تدعى (أنبيبات T) والتي من أهم وظائفها نقل السائل العصبي إلى داخل الليف العضلي مما يساهم في استجابة العضلة ككل وبشكل أسرع مما لو كان انتقال السائل العصبي سيتم عبر انتشار الشحنة الموجبة إلى داخل الليف العضلي، ذلك أن الأنابيب المستعرضة تكون متصلة مع المنطقة خارج الليف العضلي، ويتكون اللييف العضلي من الساركومير وهو الوحدة البنائية والوظيفية للليف العضلي، يتكون من خيوط رفيعة وهي خيوط

الأكتين و خيوط الميوزين السميكة وهما عبارة عن خيوط بروتينية ضروريان في عملية الانقباض العضلي.

3-أنواع الألياف العضلية وخصائصها الفسيولوجية:

تنقسم عموماً إلى نوعين رئيسيين هما :

1 - الألياف العضلية بطيئة الانقباض:

ويتميزها البعض من ناحية اللون فيطلق عليها الألياف الحمراء، ويتميز هذا النوع من الألياف بالقدرة على أداء انقباضات عضلية متتالية لفترة طويلة من الوقت معتمدة على الأوكسجين في إنتاج الطاقة ولذا فإنها تعرف أيضاً بالألياف البطيئة المؤكسدة، تدخل في تكوين رياضي الأداء التحملي كالمارتون وتشتمل الألياف البطيئة على حجم أكبر من الميوكلوبين، وعدد أكبر من الميتوكوندريا والشعيرات الدموية كما تتميز بكفاءة أكبر في إنتاج ATP بطريقة هوائية

2 - الألياف العضلية سريعة الانقباض:

ويتميزها البعض من حيث اللون فتعرف بالألياف البيضاء، كما تتميز بسرعة انقباضها وتكون قوة انقباض هذا النوع من الألياف بدرجة أكبر من قوة انقباض الألياف البطيئة لذا يمكن تسمية الألياف سريعة الانقباض باسم (ألياف القوة والسرعة) والتي تدخل في تكوين رياضي القوة والسرعة مثل عدائي السرعة ولاعبو الرمي والوثب بأنواعهما المختلفة.

وهي بدورها تنقسم إلى قسمين هما :

أ - الألياف السريعة الكليوجينية المؤكسدة :

هذا النوع من الألياف يعتمد بشكل أساسي على إنتاج الطاقة بواسطة استخدام الأوكسجين في أكسدة الكليوجين ، بالإضافة إلى استخدامه لنظام آخر هو الجلوكزة اللاهوائية (احتراق الجلوكوز دون استخدام الأوكسجين) وتتركز تلك الألياف في عضلات الرجلين عموماً

ب - الألياف السريعة الكليجوجينية :

ويعتمد هذا النوع من الألياف بدرجة أساسية على نظام الجلزمة اللاهوائية ، ويتركز تكوين تلك الألياف في عضلات الذراعين وفي أجسامنا يختلف توزيع الألياف العضلية بنوعيتها، كما يختلف توزيع وتركيز نوعية تلك الألياف لدى بعض الأشخاص عن البعض الآخر، ومن ثم كان اختلاف الأفراد في خصائص وعناصر اللياقة البدنية وتشتمل عضلات الجسم على كلا نوعي الألياف العضلية : السريعة والبطيئة ، إلا انه في حدود الوحدات الحركية بالعضلة تشتمل كل وحدة حركية بذاتها على نوعية محددة من تلك الألياف ، فهناك الوحدات الحركية سريعة الانقباض أي التي تعمل على ألياف عضلية سريعة ، وهناك الوحدات الحركية التي تعمل على ألياف عضلية بطيئة الانقباض ، وطبقا لهذا المفهوم تتوقف سرعة انقباض العضلة على مقدار احتواءها على أكبر عدد من الوحدات الحركية السريعة ، ويرتبط تحمل العضلة بمقدار احتواءها على عدد أكبر من الوحدات الحركية البطيئة

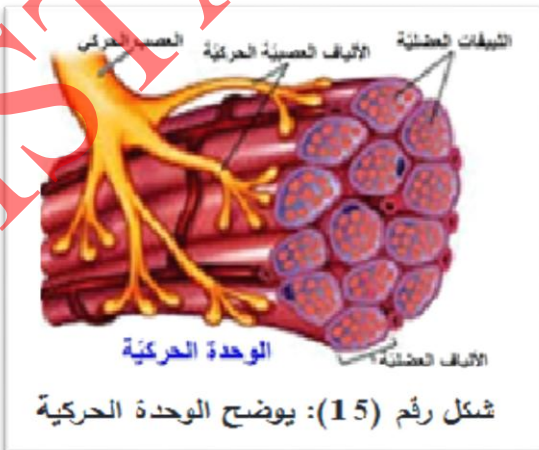
4- الانقباض والاسترخاء العضلي:

إن الانقباض العضلي هو انقباض لخيوط الأكتين والميوزين وفق نظرية انزلاق خيوط الأكتين والميوزين من خلال جسور التقاطع التي تصل بينها، فيتم تداخل خيوط الأكتين والميوزين فتقصر العضلة، أما عملية الاسترخاء فهي عودة الألياف العضلية إلى ما كانت عليه قبل الانقباض نتيجة فك جسور التقاطع أو الترابط واتجاهها نحو الخارج، وتتم هذه العملية بمجرد توقف التنبيه العصبي للعضلة وتوقف إنتاج الطاقة

4- الوحدة الحركية وآلية الانقباض العضلي:

لقد لوحظ بأنه في جسم الإنسان يتصل بالعضلة

الواحدة عدد من الألياف العصبية قد يصل إلى



المئات أو الآلاف وتتفرع الليفة العصبية إلى فروع عديدة ودقيقة يتصل كل منها بليفة عضلية، ويطلق على مجموعة الألياف العضلية التي تتصل بها ليفة عصبية واحدة اسم الوحدة الحركية، ويختلف عدد الألياف العضلية من وحدة حركية إلى أخرى ، فهناك الوحدات الحركية الكبيرة مثل وحدات عضلات الظهر والرجلين، وهناك الوحدات الحركية الصغيرة كعضلات الأصابع وعضلات التي تحرك وينبغي الإشارة إلى انه كلما قل عدد الألياف العضلية بالوحدة الحركية كانت الحركة الناتجة سريعة ودقيقة ولكن ينقصها القوة و ينطبق ذلك على حركات عضلات الأصابع وحركة العين ، في حين انه كلما زاد عدد الألياف العضلية بالوحدة الحركية زادت قوة الانقباض وكانت الحركة أكثر قوة ، كما أن هنالك عاملاً آخر يتحكم في مقدار القوة الناتجة بالعضلة وهو مقدار استثارة أو تنبيه اكبر عدد ممكن من الوحدات الحركية بالعضلة حيث تصل قوة الانقباض إلى أقصاها عندما تستثار جميع الوحدات الحركية بالعضلة إن كل عضلة تغذي بعصبان أحدهما حسي والآخر حركي، والعصب الحركي عند وصوله إلى العضلة يتفرع ويخرج منه ألياف عصبية تخترق الليفة العضلية ثم تتفرع داخلها، وهذه المنطقة في الليفة العضلية تسمى بمنطقة الاتصال العصبي العضلي أو بمنطقة اللوح النهائي ولهذا المنطقة أهمية كبرى في نقل الإشارات العصبية الحركية للعضلة والتي ينتج عنها الانقباض العضلي.

عندما يصل التنبيه العصبي إلى العضلة تتفجر الحويصلات فيتحرك الأستيل كولين الذي يولد جهد كهربائي (إزالة الاستقطاب) ويعمل الأستيل كولين على توسيع الثقوب والأنابيب الموجودة على سطح الساركوليم (جدار الليفة العضلية) وبذلك يصبح جدار الليفة العضلية نافذ، فيتحرر من خلالها كميات كبيرة من أيونات الكالسيوم من الشبكة الإندوبلازمية للخلايا العضلية (حيث تكون مختزنة بداخلها) إلى داخل الليفات العضلية، فتقوم أيونات الكالسيوم بمعية

مركب الطاقة أدينوسين ثلاثي الفوسفات على إحداث انزلاق خيوط الأكتين (جزء الأكتين وجزء التروبونين وخيوط التروبوميوزين) على خيوط الميوزين (ساق وخيوط الميوزين)

نحو الداخل فتقبض العضلة، حيث ترتبط الكالسيوم بجزء التروبونين خاصة على خيوط الأكتين فتعمل على ازاحة خيط التروبوميوزين مما يكشف عن مواقع إرتباط رؤوس الميوسين بخيوط الأكتين، فيتم الارتباط بينها مكونة مركب الأكتوميوزين، ثم تتحرر جزيه أدينوسين ثنائي الفوسفات والفوسفات الناتجة عن حلمأة ATP، ومع وجود الطاقة بالعضلة ترتبط من جديد برؤوس الميوزين مسببة انفصالها عن خيوط الأكتين فبعدها يقوم انزيم (كولين استيراز) بوظيفته تحليل مادة (الاستيل كولين) لإبطال مفعولها وإيقاف الانقباض فيحصل الانبساط (إعادة الاستقطاب)، ويتم ضخ أيونات الكالسيوم بعد جزء من الثانية عائدة إلى داخل الشبكة الاندوبلازمية العضلية حيث تبقى مختزنة هناك فتتسبط العضلة حتى يأتي تنبيه عصبي عضلي جديد.

5-العوامل التي تؤثر على القوة العضلية:

- فترة الانقباض العضلي:

طول فترة الانقباض العضلي تقلل من قوة الانقباض بينما قصر الانقباض تزيد في قوة الإنقباض العضلي، لذلك إذا أردنا تحقيق أقصر قوة علينا إخراجها في أقل زمن ممكن

- نوع الألياف العضلية:

أ-ألياف عضلية حمراء (بطيئة):

تتميز بقابليتها القليلة للتعب كما تنتج عن استثارتها انقباضات عضلية تتميز بالقوة والبطء ولفترات طويلة كعضلات البطن.

ب-ألياف عضلية بيضاء (سريعة):

فإنها تتميز بسرعة الانقباض مع قابليتها السريعة للتعب كالعضلة ذات الرأسين الفخذية.

- التوافق العصبي العضلي:

يرتبط إنتاج القوة العضلية بحالة الإثارة العصبية الصادرة من الجهاز العصبي المركزي وبالتوافق استجابة المجموعات العضلية بهذه، فكلما كان التوافق بين العضلات والأعصاب المغذية لها عالياً كان الإنتاج من القوة أكبر

- حجم الألياف العضلية:

كلما زاد حجم الألياف العضلية زادت القوة العضلية وكلما قل الحجم قلت القوة العضلية ويعمل التدريب الرياضي على زيادة حجم الألياف العضلية وترجع الزيادة العامة في حجم العضلة إلى زيادة مكونات كل ليفة عضلية من حيث زيادة خيوط الأوكتين والميوسين ولزيادة الشعيرات الدموية المغذية للعضلة ولقوة الأوتار العضلية أيضا.

- إثارة الألياف العضلية:

تخضع الألياف العضلية لقانون الكل أو العدم، إذا وقع مثير على الليفة العضلية الواحدة فإنها إما ان تقبض بكاملها أو لا تقبض إطلاقا ويسري هذا القانون على العضلة كلها ويسري على الألياف العضلية المكونة لها والسبب هو أن العصب الواحد يقوم بتغذية مجموعة من الألياف العضلية بالمعلومات الحركية، وعليه فإن القوة المتوقع إخراجها من المجموعات العضلية مرتبطة بدرجة وشدة الإثارة

- تهيئة الألياف العضلية:

المقصود بذلك إعطاء العضلات الإحماء اللازم لها بغرض تدفئة الألياف العضلية الداخلية المكونة للعضلة وتتم التدفئة إما بشكل طبيعي من خلال القيام ببعض التمرينات العامة والخاصة أو بطريقة جماعية كإجراء التدليك أو الحرارة الموضعية بواسطة الأجهزة المعدة لذلك.

- العامل النفسي:

من العوامل المهمة التي تؤثر على القوة العضلية وتظهر في أقصى درجاتها هي ثقة الفرد في نفسه وقوة إرادته واستعداده للمنافسة من أجل تحقيق الفوز، بينما الخوف وعدم الثقة في النفس يؤثر سلبا على معدل القوة، ويبدو الفرد هزيلا ضعيفا وبالتالي يقل معدل القوة وهذا يتضح لنا عندما نهتم بالإعداد النفسي في المنافسات

6-أنواع الانقباض العضلي:

هناك أنواع أساسية للانقباض العضلي إما أن تتم بصورة فردية أي يحدث الانقباض عن طريق نوع واحد أو يتم الانقباض من خلال عدة أنواع متجمعة.

أولا: الانقباض العضلي المتحرك:

هو أكثر أنواع الانقباض شيوعا، وذلك لأن الانقباض العضلي فيه يكون مصحوبا بتحريك عضو معين أو مفصل محدد ويلاحظ في هذا النوع من الانقباض أن العضلات لا تخرج كل قوتها أثناء الانقباض ولذلك لا تشعر بالتعب سريعا.

ثانيا: الانقباض العضلي الثابت:

يحدث هذا النوع من الانقباض العضلي في حياتنا العادية بصورة قليلة كأن يقوم الفرد بمحاولة دفع سيارة معطلة أو دفع جدار حائط وبالنسبة للنشاط الرياضي نلاحظ ذلك في رياضة الجمباز أو عند المصارعة، وفي هذه الحالة يصبح بالإمكان إنتاج قوة عضلية كبيرة دون إظهار حركة واضحة للعضلات العاملة لأن العضلة في هذه الحالة تكون في طولها المثالي من حيث تنظيم خيوط الأوكتين والميوسين والجسور المتقاطعة ويصاحب هذا الانقباض سرعة الشعور بالتعب إذ تقل نسبة إمداد العضلات بالأكسجين.

ثالثا: الانقباض العضلي المشترك (الثابت المتحرك):

يمكن ملاحظة هذا النوع من الانقباض العضلي كثيرا أثناء أداء الحركات الرياضية حيث تقوم العضلات بالعمل في ظل ظروف قريبة من الانقباض العضلي الثابت المتحرك، مثال ذلك في رياضة السباحة ومقاومة الماء حيث يتم الأداء فترات الراحة ثم فترات أخرى بالانقباض العضلي

رابعا: الانقباض المشابه للحركة أيزوكينتيك:

وهو نوع الانقباض العضلي الذي يؤدي بسرعة ثابتة وعلى المدى الكامل للحركة بحيث يأخذ الشكل الطبيعي لأداء الحركات الفنية التخصصية، فنقصر الألياف العضلية أو تطول عند انقباضها وفقا للحركة المطلوبة، ومن أمثلة ذلك حركات الشد في السباحة والتجديف

خامسا: الانقباض البليومتري:

وفيه تمط العضلة بأكثر من طولها العادي قبل الانقباض مباشرة، وبعبارة أخرى فإن الانقباض يتم خلال عمليتين متتاليتين في اتجاهين مختلفين، يبدأ الانقباض بعمل مطاطية سريعة للعضلة كاستجابة لتحميل متحرك مما ينبه أعضاء الحسية العصبية العضلية فتقوم بعمل رد فعل انعكاسي يحدث انقباضا عضليا سريعا يتم بطريقة تلقائية، ويعمل على خزن الطاقة المطاطية في الألياف العضلية.

7-تكيفات القوة العضلية:

1-رفع كفاءة وفعالية الألياف العضلية:

يؤدي التدريب البدني التحملي (الهوائي) إلى رفع كفاءة وفعالية الألياف العضلية البطيئة الخلجة، بينما يؤدي التدريب العنيف والقصير الأمد إلى رفع كفاءة الألياف العضلية السريعة الخلجة، وتشير البحوث العلمية الحديثة إلى انه لا يمكن تحويل أي نوع من تلك الألياف الى

النوع الآخر عن طريق التدريب البدني، لكن التدريب البدني الهوائي (التحملي) يعمل على توظيف (استخدام) الألياف العضلية البطيئة الخلجة، وبالتالي يقود إلى تطورها، بينما يعمل التدريب البدني العنيف على توظيف الألياف العضلية السريعة الخلجة، وبالتالي يؤدي إلى تطور تلك الألياف. كما تشير الإشارة إلى أن تحديد نسبة الألياف العضلية لدى الفرد للوراثة (أي أن الفرد يولد ولديه نسبة معينة من الألياف العضلية لا يمكن تغييرها). وتشير دراسة التركيب التشريحي للألياف العضلية إلى أن الألياف بطيئة الخلجة يصل بها في الغالب أعصاب حركية صغيرة، بينما يتصل بالألياف سريعة الخلجة أعصاب حركية كبيرة، ولقد أوضح تحليل مستوى الجلايكوجين في العضلات عن طريق أخذ عينات صغيرة من العضلات العاملة قبل وأثناء وبعد أداء جهد بدني إلى أن الألياف العضلية البطيئة الخلجة توظف بشكل أكبر أثناء الجهد البدني المتواصل والمعتدل الشدة، بينما توظف الألياف العضلية السريعة الخلجة بشكل أكبر عندما تزداد شدة الجهد البدني.

2- التضخم العضلي:

ويشمل ذلك زيادة البروتين العضلي وزيادة الليفات العضلية، وحجم الأنسجة الضامة وحجم الألياف العضلية السريعة، والتضخم العضلي هو الزيادة في محيط العضلة نتيجة زيادة عرض الألياف العضلية المكونة للعضلة، ويحدث جراء التدريب البدني ذي العبء الزائد خاصة تدريبات الأثقال، مما يجعل العضلة تستجيب للعبء الغير معتاد من خلال أحداث تغييرات تشريحية ووظيفية إيجابية تجعلها قادرة فيما بعد على التكيف مع هذا الوضع الجديد عليها. من المعروف أن هناك العديد من العوامل المؤثرة على حجم العضلات في جسم الإنسان. من تلك العوامل يأتي دور كل من الوراثة، التأثير الهرموني والنشاط البدني خاصة تدريبات الأثقال والتغذية وأخيرا نوعية التوصيل العصبي للعضلات.

إن عمليات زيادة حجم العضلة مرتبط بشكل مباشر بمعدل تكوين المواد الخلوية داخل العضلة، خاصة الألياف البروتينية، حيث يلاحظ بعد فترة من القيام بتدريبات الأثقال زيادة سمك اللييفات

العضلية (Myofibrils)، وتكوين وحدات إضافية من وحدات الساركومير (Sarcomers) وهي الوحدات الأساسية المكونة للألياف العضلية.

من المعلوم أن العضلات تضم ما يسمى بالخلايا الثانوية أو التابعة (Satellite cells) موجودة على السطح الخارجي للألياف العضلية، هذه الخلايا الثانوية التي لها نواة واحدة، مهمتها تسهيل عمليات نمو العضلات وكذلك المساهمة في ترميم وإصلاح الأنسجة العضلية المصابة بالتلف من جراء الإصابة أو التدريب البدني العنيف، فمن المعلوم عند ممارسة تدريبات الأثقال أن عمليات هدم البروتينات في العضلات يزداد، الأمر الذي يقود إلى تكاثر عدد الخلايا الثانوية ومن ثم اقترابها من الخلايا التالفة، حيث تعطىها نواتها مما يساهم في ترميم الألياف العضلية المصابة بالتلف وزيادة ألياف الأكتين والميوسين التي هي أساس تكوين وحدات الساركومير، والمعتقد أن عملية ترميم العضلات تدوم لحوالي 48 ساعة بعد حدوث الإصابة أو القيام بتمرينات الأثقال، لذا لا ينصح بإجراء تمرينات الأثقال العنيفة بشكل يومي لأن ذلك لا يعطي الألياف العضلية فرصة لترميم التلف الحاصل جراء التدريب السابق قبل بدء التدريب اللاحق.

المحاضرة رقم (05): التكيف الهرموني والتنظيم الحراري أثناء الجهد البدني

1-جهاز الغدد الصماء:

هو الجهاز الذي يتحكم في مختلف الوظائف الاستقلابية في الجسم مثل نقل المواد عبر الأغشية والنمو والإفراز.... الخ وهو على 3 أشكال:

أ-الغدد الصماء:

هو مجموعة من الغدد التي تنتج وتفرز الهرمونات التي يستخدمها الجسم لأداء مجموعة متنوعة من الوظائف في الدم مباشرة

ب-الغدة الخارجية الإفراز:

هي مجموعة من الخلايا المتخصصة التي تفرز المواد عبر قناة، نتج الغدة الخارجية الإفراز مواداً مثل الإنزيمات، وتفرزها عبر قناة على سطح الجسم. ويمكن أن تكون هذه الأسطح داخلية، مثل الفم، حيث تفرز الغدد اللعابية الخارجية الإفراز اللعاب عبر قنوات. وقد تكون هذه الأسطح خارجية، مثل الجلد، حيث تفرز غدد العرق الخارجية العرق، عبر قنوات أيضاً.

ج-الغدة المختلطة:

هي مجموعة من الخلايا المتخصصة القادرة على القيام بوظائف كل من الغدد الصماء، أي إفراز الهرمونات في الدم، والغدد الخارجية الإفراز، أي إفراز مواد أخرى، مثل الإنزيمات عبر قناة

2-الهرمونات:

تعرف الهرمونات بأنها نواقل كيميائية تنتقل عبر جسم الكائن الحي، من خلال الدم عادةً أو من خلال وسط انتقال آخر، بمجرد إفراز الهرمونات من الغدة، فإنها تنتقل في وسط انتقال

سائل، عادة ما يكون بلازما الدم، للتأثير على الأعضاء أو الخلايا المستهدفة. وبمجرد وصول الهرمونات إلى الخلايا المستهدفة، فإنها ترتبط بالمستقبلات داخل الخلية أو بسطح غشاء الخلية. وتشتق كلمة «هرمون» من كلمة يونانية تعني تحفيز النشاط، فالهرمونات «تُنشِط» تأثيرات في أماكن أخرى من الجسم تختلف عن مكان إفرازها عن طريق الارتباط بمستقبلات هذه الخلايا المستهدفة.

3- بعض الأمثلة على الغدد الصماء أثناء الجهد البدني:

أ- الغدد الكظرية:

- هرمون الأدرينالين والنورأدرينالين

يعمل الأدرينالين والنورأدرينالين معًا للسماح لجسمك بالاستجابة للمواقف المُجهدة جسديًا وعاطفيًا. تتمثل إحدى الوظائف الرئيسية للأدرينالين في زيادة معدل ضربات القلب وقوة انقباضات القلب. وكلما زادت سرعة ضربات القلب وقوتها، وسرعة تأكسج الدم أيضًا، زاد معدل التنفس في الخلايا. هذا يعني أن خلايا الجسم، وبخاصة خلايا العضلات، يُمكنها إطلاق المزيد من الطاقة للقيام بنشاط طارئ. كما يعمل الأدرينالين على تكسير عدد أكبر من جزيئات الجليكوجين المخزن في الكبد والعضلات ويحوّله إلى جلوكوز. وهذا يؤدي إلى زيادة تركيز الجلوكوز في الدم؛ بحيث تصل كمية أكبر من الجلوكوز إلى الدم للقيام بعملية التنفس الخلوي.

إن الأدرينالين والنورأدرينالين لهما أدوار مُتشابهة. فهذان الهرمونان يُمكنهما زيادة تدفق الدم إلى العضلات لضمان وصول الجلوكوز والأكسجين إليها بصورة أسرع. كما يُمكن أن يؤثر تأثيرًا عكسيًا على الأوعية الدموية في الأعضاء غير الأساسية لتحفيز استجابة الكرّ والفرّ. على سبيل المثال، يُمكن أن يقلل هذان الهرمونان تدفق الدم إلى المعدة والأمعاء؛ بحيث ينتقل على الفور إلى الأعضاء الأساسية، وهو ما يؤدي إلى إبطاء عملية الهضم.

تتضمّن الأنسجة الأخرى التي يَستهدِفها الأدرينالين والنورأدرينالين الممرّات المؤدّية إلى الرئتين والشُعَب الهوائية والشُعَبِيَّات الهوائية، عندما يرتبط الأدرينالين بهذه الخلايا المُستهدَفة ترتخي العضلات الملساء الموجودة في جدرانها. وهذا يُتيح للرئتين الحصول على مزيد من التهوية؛ بحيث تَصِل كمية أكبر من الأكسجين إلى الأوعية الدموية المُحيطة بهما.

ويرتبط الأدرينالين والنورأدرينالين أيضًا بالخلايا المُستهدَفة في العضلات الدائرية في القُرْحية، وهو ما يُوَدّي إلى ارتخائها. ويُوَدّي ارتخاء عضلات القُرْحية إلى توسيع حدقة العين، وهو ما يسمح بدخول المزيد من الضوء إليها. وهذا من شأنه أن يُحسّن الرؤية، ويسمح للشخص بالاستجابة بصورة أفضل للتغيرات المُفاجئة في البيئة.

- هرمون الألدوستيرون:

تشتمل الهرمونات الستيرويدية التي تُفرزها قشرة الغدة الكظرية على مجموعة الهرمونات القشرية المعدنية. يُسمّى الهرمون الرئيسي في مجموعة الهرمونات القشرية المعدنية هرمون الألدوستيرون. ويلعب الألدوستيرون دورًا مهمًا في الحفاظ على استقرار مستوى ضغط الدم عن طريق موازنة تركيز الأملاح والماء في الدم. يستهدِف الألدوستيرون أنسجة الكليتين، ويُحفّزها لامتناس المزيء من الصوءيوم والماء من الدم، وهذا يُوَدّي إلى احتفاظ الجسم بكمية أكبر منهما. يُساعد الألدوستيرون أيضًا في التخلص من البوتاسيوم الزائء، وهو ما يُساعد في تنظيم ضغط الدم والتوازن الحمضي القاعءي.

- هورمون الكورتيزول:

وتفرز قشرة الغدة الكظرية أيضًا مجموعة من الهرمونات الستيرويدية تُسمّى الهرمونات القشرية السُكّرية، من أمثلة الهرمونات القشرية السُكّرية الكورتيزول والكورتيكوستيرون. يعمل الكورتيزول بصورة أساسية على تنظيم التمثيل الغذائي (الأيض) في خلايا الجسم، ويُمكن أن يُساعد أيضًا في الحفاظ على مستوى الجلوكوز في الدم. وقد يكون ذلك مُفيدًا، وبخاصةً لكي يستجيب

الجسم استجابة مناسبة في المواقف التي تسبب التوتُّر من خلال إطلاق طاقة إضافية. يُساعد الكورتيزول أيضاً في تنظيم ضغط الدم، والتحكُّم في دورة النوم، ويُمكنه أيضاً المُساعدة في تنظيم الاستجابة المناعية.

ب- الغدة النخامية:

تتكون الغدة النخامية من فصين: الفص الأمامي، والفص الخلفي. ترتبط الغدة النخامية ارتباطاً وثيقاً بجزء من الدماغ يسمى تحت المهاد. وتتكوّن بعض الهرمونات عن طريق تحت المهاد، وتخزن في الفص الخلفي للغدة النخامية، لإفرازها في الدم عند الحاجة. وأحد هذه الهرمونات هو الهرمون المضاد لإدرار البول (ADH)، والمسئول عن التحكم في إعادة امتصاص الماء في مجرى الدم عن طريق الكليتين.

ج- البنكرياس:

البنكرياس غدة صماء، حيث يفرز الهرمونات في الدم مباشرة. وتُعرف الأنسجة الصماء في البنكرياس، والتي تفرز الهرمونات، باسم جزر لانجرهانز.

داخل جزر لانجرهانز، يوجد نوعان من الخلايا: خلايا ألفا وخلايا بيتا. تعمل هذه الخلايا على الحفاظ على مستوى طبيعي من الجلوكوز في الدم. والجلوكوز هو السكر الذي يجري تكسيره داخل الخلايا لإنتاج الطاقة من خلال عملية التنفس الخلوي.

للحفاظ على مستوى طبيعي من السكر في الدم، تنتج خلايا ألفا وتفرز هرموناً يسمى الجلوكاجون، ويعمل هذا الهرمون بطرق مختلفة لزيادة مستوى الجلوكوز في الدم عندما يكون منخفضاً جداً. وتنتج خلايا بيتا وتُفرز هرموناً يُسمى الإنسولين، ويعمل هذا الهرمون على خفض مستوى الجلوكوز في الدم عندما يكون مرتفعاً جداً، كما يحدث بعد تناول وجبة.

د- الغدد العرقية:

الغدد العرقية عبارة عن غدد صماء أنبويّة بسيطة توجد تحت الجلد العلوي، مهمتها تصريف محتوياتها على سطح الجلد عبر قنوات إفرازية ملفوفة، حيث تفتح القنوات على أطراف البشرة في مسام العرق.

يمكن تصنيفها أيضًا على أنها غدد الميروكرين، ووفقًا لتقرير موقع "histology" فإنها تفرز السائل المائي في البلازما، لأن عملية التبخر مهمة للتنظيم الحراري في الجسم بسبب احتواء العرق على الماء والصوديوم والبوتاسيوم والكلوريد واليوريا والأمونيا وحمض اللبنيك.

توجد الغدد العرقية المفترزة فقط في مناطق الإبط والثدي والعانة والفخذين، ويسيطر الجهاز العصبي الودي على الغدد المفترزة بتنظيم درجة حرارة الجسم، فعندما تزداد درجة الحرارة الداخلية، تفرز غدد الإيكرين وهي نوع من الغدد العرقية الماء على سطح الجلد، حيث يتم تنظيم الحرارة عن طريق التبخر.

4- التأثير الهرموني على أيض الجلوكوز والدهون أثناء الجهد البدني:

يتم التحكم في تركيز الجلوكوز في الدم من قبل هرمونين يفرزان من غدة البنكرياس، وهما: هرموني الأنسولين (Insulin) والجلوكاجون (Glucagon) ويؤثر كل من هذين الهرمونين على جلوكوز الدم بشكل معاكس للآخر، ففي حالة ارتفاع تركيز الجلوكوز في الدم (بعد الأكل مثلا) فإن إفراز هرمون الأنسولين يزداد، فيقوم بخفض مستوى الجلوكوز في الدم، وذلك عن طريق تسهيل دخول الجلوكوز إلى العضلات والأنسجة الضامة، وتنشيط عملية بناء الجليكوجين في الكبد (أي تحويل بعض الجلوكوز في الدم إلى جليكوجين في الكبد)، وكذلك تنشيط عملية هدم جليكوجين الكبد إلى جلوكوز. أما هرمون الجلوكاجون فيزداد إفرازه عند انخفاض تركيز الجلوكوز في الدم عن مستواه الطبيعي، حيث يقوم هذا الهرمون بتنشيط عملية هدم جليكوجين الكبد إلى جلوكوز (Glycogenolysis) وتنشيط تصنيع الجلوكوز

(Gluconeogenesis) من مصادر أخرى غير كربوهيدراتية (من الأحماض الأمينية ومن الجليسرول). أما مع ارتفاع شدة الجهد البدني من خفيف إلى معتدل فمرتفع الشدة فإن الجسم يقوم بتنشيط وخفض إفراز هرمون الأنسولين من البنكرياس (لأن هناك حاجة للجلوكوز)، ويؤدي إلى زيادة حساسية مستقبلات الأنسولين في الخلايا، خاصة الخلايا العضلية، مما يعني أن كمية أقل من الأنسولين تصبح فعالة في إدخال الجلوكوز إلى العضلة، كما يؤدي التدريب البدني أيضا إلى زيادة عدد الناقلات الجلوكوزية (Glut 4) المسؤولة عن نقل الجلوكوز عبر غشاء العضلة، وبعد دخول الجلوكوز إلى العضلة تجري سلسلة من العمليات الكيموحيوية التي تؤدي إلى استخدام الجلوكوز في النهاية كمصدر للطاقة العضلية في حالة النشاط البدني (عملية هدم الجلوكوز Glycolysis)، أو تحويله إلى جليكوجين يخزن في العضلة (بناء جليكوجين العضلات Glycogenesis).

وفي المقابل تسهم عدة هرمونات في ارتفاع تركيز الجلوكوز في بلازما الدم أثناء الجهد البدني، حيث يزداد تركيز هرمون الجلوكاجون مما ينشط عملية هدم جليكوجين الكبد، كما يزداد تركيز هرموني الكاتوكولامين (الايبيبينفرين، النورايبينفرين) في الدم، خاصة أثناء الجهد البدني المرتفع الشدة،

مما يقود إلى تنشيط هدم جليكوجين الكبد، أما هرمون الكورتيزول الذي يزداد تركيزه أيضا أثناء الجهد البدني، فيعتقد أن له دور ملحوظ في هدم البروتين وبالتالي توفير الأحماض الأمينية اللازمة لصنيع الجلوكوز من مصادر غير كربوهيدراتية.

وفي الجهد البدني العنيف جدا (الجهد البدني اللاهوائي، كما هو الحال أثناء العدو السريع)، فإنه من المعروف أثناء تركيز الجلوكوز في الدم يزداد بشكل حاد، وذلك بفعل تأثير هرموني الجلوكاجون والكاتوكولامين اللذان ينشطان عملية هدم جليكوجين الكبد إلى جلوكوز ويحفزان على توفير الطاقة للجهد العضلي، إلا أن الجسم لا يستطيع استخدام كل هذا الجلوكوز المتراكم في بلازما الدم، نظرا لأن استعمال جليكوجين العضلات في الجهد البدني المرتفع الشدة يكون

أسهل وأسرع من استخدام جلوكوز الدم، فيرتفع الجلوكوز في الدم بشكل واضح، لأن إنتاجه يفوق معدل استخدامه، لكن مستوى تركيزه سرعان ما يعود إلى مستواه الطبيعي بعد التوقف عن الجهد البدني بقليل، وذلك بسبب دخول الجلوكوز إلى العضلة لكي يستخدم في بناء جليكوجين العضلات الذي تم استعماله أثناء الجهد البدني المرتفع الشدة.

أما الأحماض الدهنية تعد مصدرا مهما للطاقة أثناء الجهد البدني، خاصة في الشدة المنخفضة إلى المعتدلة، وتعتمد عملية استخدام الأحماض الدهنية وأكسدها من قبل العضلات العاملة على مدى توفرها في البلازما، أي على مقدار تجهيزها، وتخضع عملية تجهيز الأحماض الدهنية للتنبيه الهرموني من قبل هرمون الإينفرين الذي يعمل على المستقبلات الأدرينالية من نوع بيتا، حيث يؤدي ذلك التنبيه إلى تحلل الجليسيريدات الثلاثية إلى جليسرول وثلاثة أحماض دهنية حرة. كما أن انخفاض تركيز هرمون الأنسولين في الدم يؤدي إلى المساعدة على تجهيز الأحماض الدهنية الحرة،

5- كيفية انتقال الحرارة أثناء الجهد البدني:

ينبغي القول أولا أن هناك تبادلا مستمرا لعمليتي اكتساب الطاقة الحرارية وفقدانها بين جسم الإنسان والبيئة الخارجية المحيطة، حيث يتم فقدان واكتساب الطاقة الحرارية بالوسائل الأربعة التالية:

1- الإشعاع:

هو انتقال الطاقة الحرارية على صورة موجات كهرومغناطيسية (شبيهة بحزم الأشعة الضوئية من جسم إلى آخر، فالشمس مثلا تعطي طاقة حرارية بالإشعاع للإنسان الذي من الممكن أن يفقد طاقة حرارية بالإشعاع للأجسام المحيطة، وفي الواقع يمكن لشخص موجود في بيئة حرارية معتدلة (12-25 درجة مئوية) لا يرتدي أي ملابس أن يفقد حوالي 60% من الطاقة المخزنة في جسمه عن طريق الإشعاع.

2-التوصيل:

يتم خلال هذه الطريقة انتقال الطاقة الحرارية من الجسم الحار إلى الجسم الأقل حرارة عن طريق الملامسة وكذلك انتقال الحرارة من الماء الساخن إلى جسم الإنسان عند الجلوس في مغطس مملوء بالماء الساخن، والعكس صحيح بالنسبة للماء البارد، وفي داخل جسم الإنسان تنتقل الحرارة من نسيج إلى آخر حتى الوصول إلى سطح الجلد ثم الملابس التي يرتديها الشخص، والعكس صحيح.

3-الحمل:

يتم انتقال الطاقة الحرارية من الجسم عن طريق ملامسة الهواء المحيط بالجسم لسطح الجلد، حيث يؤدي التيار الهوائي إلى إزاحة الهواء السابق، وإحلال هواء آخر، وهكذا يتم من خلال هذه العملية انتقال الطاقة الحرارية بالحمل، فعندما يكون الهواء المحيط بالجسم باردا مقارنة بدرجة حرارة سطح الجلد، فإنه يكتسب الحرارة ثم يسخن فينتقل بعيدا عن سطح الجسم، لتأتي جزيئات أخرى من الهواء وتلامس سطح الجلد وتكتسب الحرارة وهكذا والعكس صحيح بالنسبة للهواء الحار الملامس لسطح الجلد، فإنه يفقد الحرارة ويكتسبها سطح الجلد عندما تكون درجة الهواء المحيط أعلى من درجة حرارة سطح الجلد، ويزداد معدل انتقال الحرارة بالحمل كلما كانت حركة جزيئات الهواء المحيطة بالجسم عالية، كما يمكن للسوائل أيضا توصيل الحرارة بواسطة الحمل.

4-التبخر:

يتم فقد الطاقة الحرارية من سطح الجسم بواسطة التبخر الذي يحدث لسائل العرق، ويعد التبخر من الطرق الأساسية والمهمة التي يتمكن الجسم خلالها من التخلص من الحرارة العالية الناتجة عن الجهد البدني العنيف، إلا أن زيادة الرطوبة النسبية في الجو المحيط (زيادة جزيئات بخار الماء في الجو) يؤدي إلى انخفاض قدرة العرق على التبخر، لتصبح صفرا عند درجة

رطوبة مقدارها 100% بالإضافة إلى تبخر العرق، فإن جزءا بسيطا من الطاقة الحرارية المخزنة في الجسم يتم فقده عن طريق تبخر هواء الزفير في المجاري التنفسية من جراء التهوية الرئوية العالية أثناء الجهد البدني، ويبلغ مقدار الطاقة الحرارية المفقودة عبر تبخر هواء التنفس حوالي 5% من الطاقة الحرارية المنبعثة من التبخر.

ويلاحظ أن الجسم يمكنه اكتساب وفقد الطاقة الحرارية بالطرق الثلاث الأولى وهي: الإشعاع والتوصيل والحمل، بينما يتم فقط من خلال عملية التبخر فقدان الطاقة الحرارية من الجسم إلى المحيط الخارجي، ولا بد لقطرات العرق أن تتبخر حتى يتم فقدان الطاقة الحرارية منها، وبالتالي تبريد سطح الجسم، أما إذا سقطت قطرات العرق على الأرض أو تم مسحها بقطعة قماش أو منديل من سطح الجلد فلن يتم فقدان الحرارة منها.

6-آلية التحكم الحراري في الجسم:

يتم التحكم في درجة حرارة جسم الإنسان الداخلية عن طريق خلايا عصبية حساسة، موجودة في الجزئين الأمامي والخلفي من منطقة تحت المهاد، حيث تقوم هذه الخلايا برصد درجة حرارة الدم، فالخلايا الأمامية لتحت المهاد تستجيب لارتفاع درجة حرارة الجسم، بينما تستجيب الخلايا الخلفية في تحت المهاد لانخفاض درجة حرارة الجسم، بالإضافة إلى المستقبلات الحرارية المركزية الموجودة في منطقة تحت المهاد، هنالك مستقبلات حرارية طرفية (للحرارة والبرودة) موجودة على سطح الجلد، تشعر بدرجة الحرارة المحيطة بالجسم وترسل المعلومات إلى منطقة تحت المهاد وإلى القشرة الدماغية. أما كيفية التحكم في عملية انتقال الحرارة من الجسم إلى المحيط الخارجي فتتمثل في واقع الأمر في الآليتين التاليتين:

1- التحكم في كمية الدم المتجه للجلد، حيث يؤدي توسع الأوعية الدموية المحيطة إلى اتجاه كمية أكبر من الدم إلى الجلد، وبالتالي فإن الدم الحار القادم من مركز الجسم سوف يفقد جزءا من حرارته عن طريق إحدى الوسائل السابقة (الإشعاع، التوصيل، الحمل) من جراء جريانه في الجلد، والملاحظ أن حجم الدم المتجه للجلد يزداد عندما ترتفع شدة الجهد البدني إلى ما

يعادل لترا واحدا من استهلاك الأوكسجين (VO_2) على أن بلوغ درجة الحرارة الداخلية للجسم حدا معيناً (يختلف تبعا لعدة عوامل من أهمها محتوى الجسم من السوائل) فإن توسع الأوعية الدموية الطرفية لا يزداد بشكل ملحوظ، على الرغم من ارتفاع درجة حرارة الجسم.

ومن جهة أخرى عندما يكون الجو الخارجي بارداً، يقوم تحت المهاد (الخلايا الخلفية) من خلال الجهاز العصبي السمبثاوي بتقليص الأوعية الدموية تحت الجلد ليتجه الدم بعد ذلك إلى وسط الجسم (مركزه) بعيداً عن الأطراف، مما يقود في النهاية إلى تقليص الفرق في درجة الحرارة بين الجلد والبيئة المحيطة. الأمر الذي يقلل من فقدان الحرارة من الجسم، كما أن بقاء الأوعية الدموية الطرفية متقلصة يمنع إلى حد كبير عملية انتقال الحرارة من داخل مركز الجسم إلى محيطه (أطرافه)

2- التحكم في كمية إفراز العرق بواسطة الغدة العرقية، حيث أن زيادة عملية إفراز العرق ومن ثم تبخره سوف تؤدي إلى سرعة فقدان الحرارة من الجسم، ويعد تبخر العرق الطريقة الرئيسية للتخلص من ارتفاع درجة حرارة الجسم أثناء الجهد البدني، خاصة في الجو الحار، حيث يتم التخلص من حوالي 80% من الطاقة الحرارية المخزنة في الجسم عن طريق تبخر العرق مقارنة مع حوالي 20% من الطاقة الحرارية التي تفتقد عن طريق التبخر أثناء الراحة.

والمعروف أن كلا الآليتين (التحكم في كمية الدم المتجه إلى الجلد، والتحكم في كمية إفراز العرق) يتم ضبطهما والتحكم فيهما عن طريق نشاط تحت المهاد في قاع الدماغ (Hypothalamus) علماً أن انتقال الحرارة من وإلى الجسم يعتمد بشكل كبير على مقدار مساحة سطح الجسم منسوبا لكتلة الجسم، وعليه فكلما كان الشخص صغير الحجم كلما كان من السهولة اكتساب الحرارة وفقدانها من الوسط المحيط به.

إن التعرق المستمر أثناء الجهد البدني يؤدي إلى فقدان كمية كبيرة من سوائل الجسم، وإن لم يتم تعويض السوائل المفقودة فيتم جفاف الجسم وحدث ما يسمى بالإصابة الحرارية (ارتفاع

درجة حرارة الجسم الداخلية)، ومن المعروف أن التعرق الغزير أثناء الجهد البدني في الجو الحار المصحوب بفقدان السوائل وأيونات الصوديوم يقوم بتحفيز هرمون ألدوستيرون والهرمون المضاد لإدار البول (ADH) حيث يقوم هرمون ألدوستيرون بالحث على ترشيد طرح الصوديوم في البول، مما يحافظ على تركيزه في البلازما، بينما يقوم الهرمون المضاد لإدرار البول بحث الكلية على زيادة امتصاص الماء مما يساعد على بقاء السوائل داخل الجسم

7-التأقلم على الجهد البدني في الجو الحار:

يعد التأقلم جزءاً من التكيف الفسيولوجي، الذي يحصل لأجهزة الجسم المختلفة جراء التدريب البدني في الجو الحار، ويحدث التأقلم نتيجة التعرض بشكل متكرر ومتدرج للجهد البدني في الجو الحار، والنتيجة هي زيادة الشخص على أداء الجهد البدني تحت الظروف الجوية الحارة، من خلال تحسن وظائف الجهاز الدوري وزيادة فعالية جهاز التنظيم الحراري وازن السوائل في الجسم هذه التغيرات الإيجابية تجعل صور الإجهاد الحراري أخف وطأة على وظائف الجسم وأقل أثراً، فنجد أن ارتفاع درجة حرارة الجسم يكون بعد التأقلم أقل مما سبق، والقدرة على التخلص من الحرارة تتحسن، كما تستجيب الغدد العرقية للتدريب البدني بشكل فعال، فتصبح أكبر حجماً وأكثر كفاءة، وتكون مستهل عتبة التعرق أدنى (أي يبدأ الجسم بالتعرق مبكراً مقارنة بما قبل التأقلم) كما أن إفراز العرق بعد التأقلم يصبح أقل احتواءً على كلوريد الصوديوم (الملح)، مما يشير إلى أن الجسم صار أكثر قدرة على ترشيد هذا العنصر

ويؤدي التأقلم على الجو الحار إلى انخفاض ضربات القلب القصوى عند أداء جهد بدني دون القصوى، ويزداد تدفق الدم إلى الجلد، ويصبح حجم بلازما الدم أكثر لدى المتأقلم مقارنة بغير المتأقلم، مما يزيد حجم الضربة وبالتالي نتاج القلب، بالإضافة إلى ما سبق، ينخفض استخدام جليكوجين العضلات أثناء الجهد البدني دون الأقصى بعد التأقلم مما يعني انخفاض إنتاج حمض اللبنيك في الجهد البدني دون القصوى.

المحاضرة رقم (06): التكيف في القمم والمرتفعات

مقدمة:

ومن الملاحظات الجديرة بالإشارة أولاً أن الأداء البدني في الرياضات التدي تتطلب قدرة هوائية (أي التي تتطلب عنصر التحمل، كالمسافات الطويلة في رياضات الجري، والسباحة والدراجات والتزلج) تتأثر سلباً بالمرتفعات كما حدث في الدورة الأولمبية عام 1968م في مكسيكو (على ارتفاع 2300 متر فوق سطح البحر) حيث لم يتم تحطيم أي رقم قياسي في أي من السباقات التي تدوم أكثر من دقيقتين ونصف الدقيقة في تلك الدورة. أما في الرياضات ذات الطابع اللاهوائي التي تستغرق وقتاً قصيراً (أقل من دقيقة) فالمعتقد أن تأثير المرتفعات على الأداء البدني يعد ضئيلاً، بل أن كثافة الهواء المنخفضة تعمل على تقليل من مقاومة الهواء للرياضي، خاصة في مسابقات الوثب والعدو وسباقات السرعة في الدراجات مما قد يحسن من الأداء البدني قليلاً.

1- تأثير المرتفعات على القدرة الهوائية القصوى:

من المعروف أن القدرة الهوائية القصوى ($VO_2 \max$) تتأثر سلباً بالمرتفعات حيث تشير الدراسات العلمية إلى أن هناك فقداناً في القدرة الهوائية القصوى يصل إلى 3,5% لكل 305 م صعود فوق ارتفاع 1500 م من مستوى سطح البحر (أي أن مقدار الانخفاض في القدرة الهوائية القصوى يبلغ حوالي 12% إلى 15% عند الصعود إلى مستوى 2500م فوق مستوى سطح البحر). غير أن البعض يعتقد أن الانخفاض في القدرة الهوائية القصوى قد يكون على صورة أشد من ذلك.

ولقد تم التنبؤ بمقدار الاستهلاك الأقصى للأكسجين عند قمة أيفرست في جبال الهيمالايا بحوالي 350 إلى 500 ملييلتر في الدقيقة، وهو لا يختلف كثيراً عن معدل استهلاك الأكسجين أثناء الراحة الذي يبلغ 260 إلى 280 ملليلتر في الدقيقة لشخص متوسط الحجم، علماً بأن

الاستهلاك الأقصى للأوكسجين يتأثر لدى الرياضيين عند بلوغهم ارتفاع يصل إلى 900 متر فوق مستوى سطح البحر، غير أن الشخص العادي قد لا يتأثر استهلاكه الأقصى للأوكسجين قبل الوصول إلى 1200 متر فوق مستوى سطح البحر. ويحدث الانخفاض في الاستهلاك الأقصى للأوكسجين (والذي يعبر عن القدرة الهوائية القصوى) بسبب الانخفاض في الضغط الجوي للهواء، وما يعقبه من انخفاض في الضغط الجزئي للأوكسجين، كلما ارتفعنا عن سطح البحر، إن انخفاض الضغط الجزئي للأوكسجين يؤدي إلى خفض ضغط الأوكسجين في الحويصلات الرئوية، وبالتالي انخفاض نسبة تشبع الدم الشرياني بالأوكسجين (الدم المغادر الرئتين)، وبطبيعة الحال هذا يترجم إلى انخفاض في الأداء البدني في الرياضات التي تتطلب عنصر التحمل (مثل جري مسافة 1500 م فأكثر)

ولتوضيح ذلك تجدر الإشارة إلى أن كثافة الهواء تتخفض مع الارتفاع عن مستوى سطح البحر، فالضغط الجوي للهواء عند مستوى سطح البحر يبلغ 760 ملي متر زئبقي، لكن هذا الضغط الجوي ينخفض مع الارتفاع عن سطح البحر، ليصل إلى 510 ملم زئبقي عند ارتفاع 3048م فوق مستوى سطح البحر؛ أما عند ارتفاع 5846 م فوق مستوى سطح البحر، فيصل الضغط الجوي للهواء إلى نصف ما هو عليه عند مستوى سطح البحر.

على الرغم من أن نسبة تركيز الأوكسجين في المرتفعات تبقى كما هي عند سطح البحر (20.93 %)، إلا أن الضغط الجزئي للأوكسجين ينخفض مع الارتفاع عن سطح البحر نتيجة لانخفاض الضغط الكلي للهواء، حيث أن الضغط الجزئي للأوكسجين يساوي نسبة تركيز الأوكسجين 20.93 % مضروباً بمقدار الضغط الكلي للهواء، وحيث أن الضغط الكلي للهواء ينخفض مع الارتفاع فنجد أن الضغط الجزئي للأوكسجين ينخفض تبعاً لذلك،

فعلى سبيل المثال يبلغ الضغط الجزئي للأوكسجين عند مستوى سطح البحر يصل إلى 159 ملم / زئبقي (0.2093 × 760 ملم / زئبقي) ، إلا أن هذا الضغط الجزئي للأوكسجين ينخفض عند ارتفاع 3048 م فوق سطح البحر ليبلغ 107ملم / زئبقي.

ويوضح الجدول رقم (01) كل من الضغط الجوي وضغط الأوكسجين عند مرتفعات مختلفة عن مستوى سطح البحر.

الجدول رقم(01) يبين الضغط الجوي وضغط الأوكسجين تبعاً للارتفاع عن مستوى سطح البحر

الارتفاع (متر)	الضغط الجوي (ملم زئبقي)	ضغط الأوكسجين (ملم زئبقي)
مستوى سطح البحر	760	159,2
1000	674	141,2
2000	596	124,9
3000	526	110,2
4000	4120	96,9

ويعتقد أن قدرة الإنسان العادي لا تسمح له بالعيش بشكل دائم عند ارتفاعات أعلى من 5200 متر فوق سطح البحر بدون استخدام أسطوانات الأوكسجين، حيث يصبح الضغط الجزئي للأوكسجين في الدم الشرياني عند هذا الارتفاع أقل من 40 مم/زئبقي، وعلى الرغم من ذلك تفيد بعض التقارير أن هناك بعض الأفراد الذين تمكنوا من العيش على ارتفاع يزيد عن 6000 متر إلا أن هذه الأمثلة الاستثناء وليست القاعدة أما قدرة الشخص على القيام بجهد بدني فتتخفض في المرتفعات التي تزيد عن 4500 متر حيث يكزن الضغط الجزئي دون 400 ملم زئبقي (مقارنة بمقدار الضغط الجوي عند مستوى سطح الأرض الذي هو 760 ملم زئبقي).

2-التأقلم في المرتفعات:

فمن المظاهر السريعة للعيش في المرتفعات حدوث زيادة في التنفس (فرط التهوية الرئوية) لدى الفرد، ويعزى ذلك إلى أن الانخفاض في الضغط الجزئي للأوكسجين في الدم الشرياني عند مستوى 2000 متر فوق سطح البحر ويؤدي إلى تنبيه المستقبلات الكيميائية في الجسم (في الجسم السباتي والجسم الأبهر) والتي بدورها تؤثر على مراكز التحكم في التنفس في

الدماغ، مما ينتج عنه بالتالي زيادة التهوية الرئوية، من أجل تعويض الانخفاض في الضغط الجزئي للأوكسجين في الدم الشرياني.

ومن مظاهر الاستجابة السريعة كذلك ما يحدث للجهاز القلبي الوعائي حيث تزداد معدلات ضربات القلب وحجم نتاج القلب في الراحة وفي الجهد البدني دون الأقصى، بينما يبقى حجم الضربة (حجم الدم المدفوع من القلب في كل ضربة من ضربات القلب) بدون تأثير ملحوظ، الأمر يجعل الجهد البدني ذاته يبدو أصعب في المرتفعات مقارنة بمستوى سطح البحر. أما معدل ضربات القلب القصوى ونتاج القلب الأقصى فينخفضان في المرتفعات ويعتقد أن السبب في انخفاض معدل ضربات القلب القصوى في المرتفعات يعود إلى زيادة تحفيز النشاط نظير السمبثاوي وتنشيط النشاط السمبثاوي من جراء وجود الشخص في المرتفعات.

ومن الآثار الواضحة أيضا لتأثير المرتفعات على الجسم حدوث فقدان السوائل الجسم بشكل أكبر مما يحدث عند مستوى سطح البحر، حيث يفقد الجسم كمية من الماء نتيجة التهوية الرئوية نسبيا، بالإضافة إلى ذلك فإن الهواء في المرتفعات يكون جافا وباردا الأكر الذي يؤثر بالطبع على حجم سوائل الدم خاصة البلازما.

أما أهم آثار التكيف الفسيولوجي البطيء الذي يحدث نتيجة للعيش في المرتفعات (من أسبوع إلى أكثر) فيتمثل في التغيرات التي تحدث في حجم بلازما الدم والكريات الدم الحمراء، فالملاحظ أن حجم بلازما الدم ينخفض في المرتفعات مما يجعل تركيز كريات الدم الحمراء يصبح عاليا مقارنة بمستوى سطح البحر بالإضافة إلى ذلك فإن عدد كريات الدم الحمراء يرتفع نتيجة للعيش في المرتفعات حيث يزداد معدل انتاجها من نخاع العظام وليس من المستغرب أن تزداد كريات الدم الحمراء بنسبة أكثر من 30 % عند الصعود إلى ارتفاع 4000 متر فوق مستوى سطح البحر.

ومن الملاحظ أيضا أن نسبة الهيموجلوبين (Hb) والهيماتوكريت (Hct) ترتفعان من جراء البقاء في المرتفعات مقارنة بمستوى سطح البحر ومما لا شك فيه أن زيادة كريات الدم الحمراء سوف يؤدي إلى زيادة السعة الأكسجينية للدم (قدرة الدم على حمل الأكسجين) إلا أن الزيادة غير العادية في كرات الدم الحمراء تؤدي إلى زيادة لزوجة الدم، مما يعيق بالتالي عملية انتشار ونقل الدم في الجسم (وما لذلك من تأثير على الأكسجين).

وقد يصل الانخفاض في حجم بلازما الدم حوالي 25% خلال العشرة الأيام الأولى من وجود الشخص في المرتفعات وقد يستغرق عودة حجم الدم إلى مستواه في سطح البحر عدة أسابيع إلى أشهر من العيش في المرتفعات، وعند عودة الرياضي إلى مستوى سطح البحر بعد قضاء عدة أسابيع في المرتفعات فإن حجم بلازما الدم سرعان ما يعود إلى مستواه السابق في غضون أسبوع من العيش عند مستوى سطح البحر.

ومن مظاهر التكيف البطيء أيضا نتيجة للمرتفعات زيادة ميوجلوبين العضلات وكذلك زيادة في عدد الميتوكوندريا (بيت الطاقة) وارتفاع في تركيز عدد من الانزيمات المسؤولة عن عمليات إنتاج الطاقة الهوائية في الجسم أما عن المدة اللازمة للتأقلم التام في المرتفعات فالملاحظ أنها تعتمد على مقدار الارتفاع، إلا أنه بشكل عام يمكن القول أنه يلزم أسبوعين لتأقلم لارتفاعات عند 2300 متر فوق سطح البحر فأقل.

ويعتقد كذلك أن التأقلم للمرتفعات يزول في غضون 2-3 أسابيع بعد العودة إلى مستوى سطح البحر، غير أن القدرة الهوائية القصوى تتأثر سلبا في المرتفعات، بل تظل متأثرة حتى بعد فترة من التأقلم في المرتفعات.

أما المتغيرات الفسيولوجية دون القصوى (عند جهد بدني دون القصوى) كمعدل ضربات القلب دون القصوى وتركيز حمض اللبنيك دون الأقصى فإن تأثيرها من جراء المرتفعات يكون أقل، خاصة بعد فترة من التأقلم في المرتفعات. كما أن مستوياتها بعد العودة من المرتفعات عادت

إلى معدلاتها عند مستوى سطح البحر، مما يعني أن التغيرات الفسيولوجية القصوى تتأثر بصورة أشد من تأثر المتغيرات دون القصوى من جراء البقاء في المرتفعات.

3-التدريب في المرتفعات:

في البداية نشير أن التأقلم في المرتفعات يؤدي إلى زيادة إمكانية الفرد على أداء جهد بدني عند ذلك الارتفاع. وعلى الرغم من معرفتنا بأن التدريب في المرتفعات يؤدي إلى زيادة السعة الأكسجينية للدم، إلا أن البحوث العلمية لا تدل على أن هناك أثر مساعدة للتدريب في المرتفعات على الأداء البدني لمنافسة تقام عند مستوى سطح البحر. حيث اشارت العديد من الدراسات والبحوث إلى عدم حدوث تحسن في أي من الاستهلاك الأقصى للأوكسجين أو في زمن الأداء البدني بعد العودة من تدريبات المرتفعات، بل أن بعض الدراسات تظهر لنا أن التدريب في المرتفعات لا يفوق التدريب عند مستوى سطح البحر في رفع الأداء البدني في مسابقة تقام عند مستوى سطح البحر.

ولعل من أسباب عدم فعالية التدريب في المرتفعات كما تشير إليه البحوث أنه عند ارتفاع 2200 متر أو أكثر فوق مستوى سطح البحر يصعب جدا على اللاعب أن يتدرب بشدة التي كان عليها عند مستوى سطح البحر، مما لا يلقى عبئا كافيا على الجهاز العصبي العضلي لإحداث التكيف المطلوب للجهاز الأيضي في العضلات العاملة بشكل تام، على الرغم من أن التدريب في المرتفعات يجهد بشكل ملحوظ الجهاز القلبي التنفسي.

4-العيش في المرتفعات والتدريب عند مستوى سطح البحر:

وفي الآونة الأخيرة ونظرا للاعتبارات التي تم التطرق لها في الفقرة السابقة فقد بدأ الاهتمام باتباع نمط جديد من التكيف الناجم عن المرتفعات، ألا هو العيش في المرتفعات والتدريب البدني عند مستوى سطح البحر، وتشير بعض الدراسات إن ذلك النمط من الحياة يؤدي إلى التحسن في الأداء البدني التحملي، حيث تتم الاستفادة من النوم في المرتفعات في تحفيز

كريات الدم الحمراء في الجسم وزيادة نسبة الهيماتوكريت مع المحافظة على شدة التدريب البدني، كما يؤدي ذلك إلى زيادة مستوى الاستهلاك الأقصى للأكسجين وتحسين العتبة اللاهوائية، في المسافات التي تزيد على 3000 متر وتبين التقديرات إلى اتباع هذا النظام من العيش في المرتفعات والتدريب عند مستوى البحر قد يقود إلى تحسين زمن سباق الماراثون بحوالي 8,9 دقائق (أي حوالي 5%)

5-توصيات بشأن التكيف في المرتفعات:

- يعتمد حدوث التأقلم التام للاعب على مقدار الارتفاع حيث يتراوح بين أسبوعين إلى

ثلاثة في الارتفاعات التي عند 2000-2500م فوق سطح البحر

- في حالة وجود مسابقة في المرتفعات ولم يكن باستطاعة اللاعب أن يقضي فترة التأقلم

اللازمة قبل السباق في المرتفعات، فينبغي عليه أن يجدول وصوله إلى المرتفعات قبل

السباق بوقت قصير جداً (بيوم واحد)

- فيما يتعلق بالتدريب البدني في المرتفعات، ينبغي على اللاعب المحافظة على شدة

التدريب مع خفض مدة التدريب والإبقاء على التكرارات الأسبوعية

- ينبغي على اللاعب الذي يتدرب في المرتفعات الإكثار من تناول السوائل وخاصة الماء

حيث يتم فقده بسهولة في المرتفعات نتيجة للتنفس المتزايد.

المراجع

- اللغة العربية:

- أحمد نصر الدين سيد. 2003. فسيولوجيا الرياضة. نظريات وتطبيقات. القاهرة. دار الفكر العربي.
- هاشم عدنان الكيلاني. 2000. الأسس الفسيولوجية للتدريبات الرياضية. 1. الكويت. مكتبة الفلاح للنشر والتوزيع.
- هزاع بن محمد الهزاع. 1417 هـ. فسيولوجيا الجهد البدني لدى الأطفال والناشئين. الرياض: الإتحاد السعودي للطب الرياضي. 363-384.
- هزاع بن محمد الهزاع. 1990. المرتفعات والأداء البدني. مطوية صادرة من المؤلف.
- هزاع بن محمد الهزاع. 2007. التنظيم الحراري وتعويض السوائل والمنحلات أثناء الجهد البدني لدى الإنسان. الرياض: الإتحاد السعودي للطب الرياضي
- هزاع بن محمد الهزاع. 2009. فسيولوجيا الجهد البدني (الأسس النظرية والاجراءات المعملية للقياسات الفسيولوجية). 1. جامعة الملك سعود: النشر العلمي والمطابع.
- هزاع بن محمد الهزاع. 2009. فسيولوجيا الجهد البدني (الأسس النظرية و الإجراءات المعملية للقياسات الفسيولوجية). 2. جامعة الملك سعود: النشر العلمي والمطابع
- هزاع بن محمد الهزاع. 2010. موضوعات مختارة في فسيولوجيا النشاط والأداء البدني. جامعة الملك سعود: النشر العلمي والمطابع
- هزاع بن محمد الهزاع. والأحمادي محمد. 2004. النشاط البدني وقياس الطاقة المصروفة لدى الإنسان: الأهمية وطرق القياس الشائعة. مركز البحوث التربوية. كلية التربية. جامعة الملك سعود.

- اللغة الأجنبية:

- D Bailey, B Davies. 1997. Physiological implications of altitude training of endurance performance at sea level : a review. Br J Sports Med 31: 183-90
- H Al- Hazzaa. A Al- Mobeireek. A Al- Howaikan. 2004. Cardiopulmonary exercice testing: an underutilized diagnostic tool in Saudi Arabia. Saudi Med J 25: 1453-1458
- J Holloszy, E Coyle. 1985. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercice and their metabolic consequences. J Appl physiol 56: 831-838
- P Komi. The musculoskeletal system. 1998. In: The Olympic Books Of Sports Medicine. Vol 1, A Dirix. H Knuttgen. K Tittel. (edit). Oxford: Blackwell Scientific: 15-39