

الأسس الفسيولوجية للجهاز التنفسي
والتمرين الرياضي

قال رسول الله صلى الله عليه وآله

صل من قطعك ، وارحم من ظلمك ، وأعطي لمن حرمك

المقدمة

لا يمكن لجسم الانسان البقاء على قيد الحياة مع توقف او انقطاع امداد الاوكسجين عنه من 2.5 الى 3 دقائق وان عملية توفير الاوكسجين يتطلب تظافر العديد من الجهود ومنها وبشكل رئيس الجهاز التنفسي والجهاز الدوري ومنها عضلة القلب والسائل الدموي والجهاز العصبي غير ان الجهازين الدوري والتنفسي لهما علاقة وظيفية قريبة من بعضهما بحيث إنهما أحيانا يشار لهما سوية بتسمية القلب الرئوي او القلب التنفسي . وإن أي اضطراب يؤثر على الجهاز التنفسي له تأثيرا مباشرا وعميق على القلب والعكس صحيح، علاوة على ذلك فإن الجهاز التنفسي يعمل عن قرب مع الجهاز البولي لتنظيم التوازن الحامضي القاعدي في سوائل المحيطة بالخلايا والسوائل داخل الخلايا. وهكذا فإن جهاز الدوران والقلب والكلية والتنفس يرتبطون بعلاقات فسيولوجية كبيرة ووظائف مشتركة.

بالمقابل ان جزء كبير من الطاقة المنتجة تصرف على استمرار الاجهزة الجسمية على القيام بوظائفها . وان معظم العمليات الأيضية في الجسم تعتمد على مركب ATP ومعظم إنتاج ATP يتطلب وجود الأوكسجين كما احد نواتج العمليات الأيضية وإنتاج الطاقة هو غاز ثاني أوكسيد الكربون ..

ولا يخفى على الجميع العاملين في حقل الرياضة كمدرسين او لاعبين بان الجهاز التنفسي له دور كبير في مستوى الاداء الرياضي وفي جميع الرياضات وبون استثناء ولكن يظهر بصورة كبيرة في الالعاب التي تزداد فيها انتاج الطاقة بطريقة اوكسجينية مما يتطلب اعداد التمارين والتدريبات بطريقة تنمي هذه النظام والصفات المرتبطة بها علما انها صفة بدنية تكون القاعدة الاساسية لباقي الصفات .

المراحل الرئيسية في العملية التنفسية

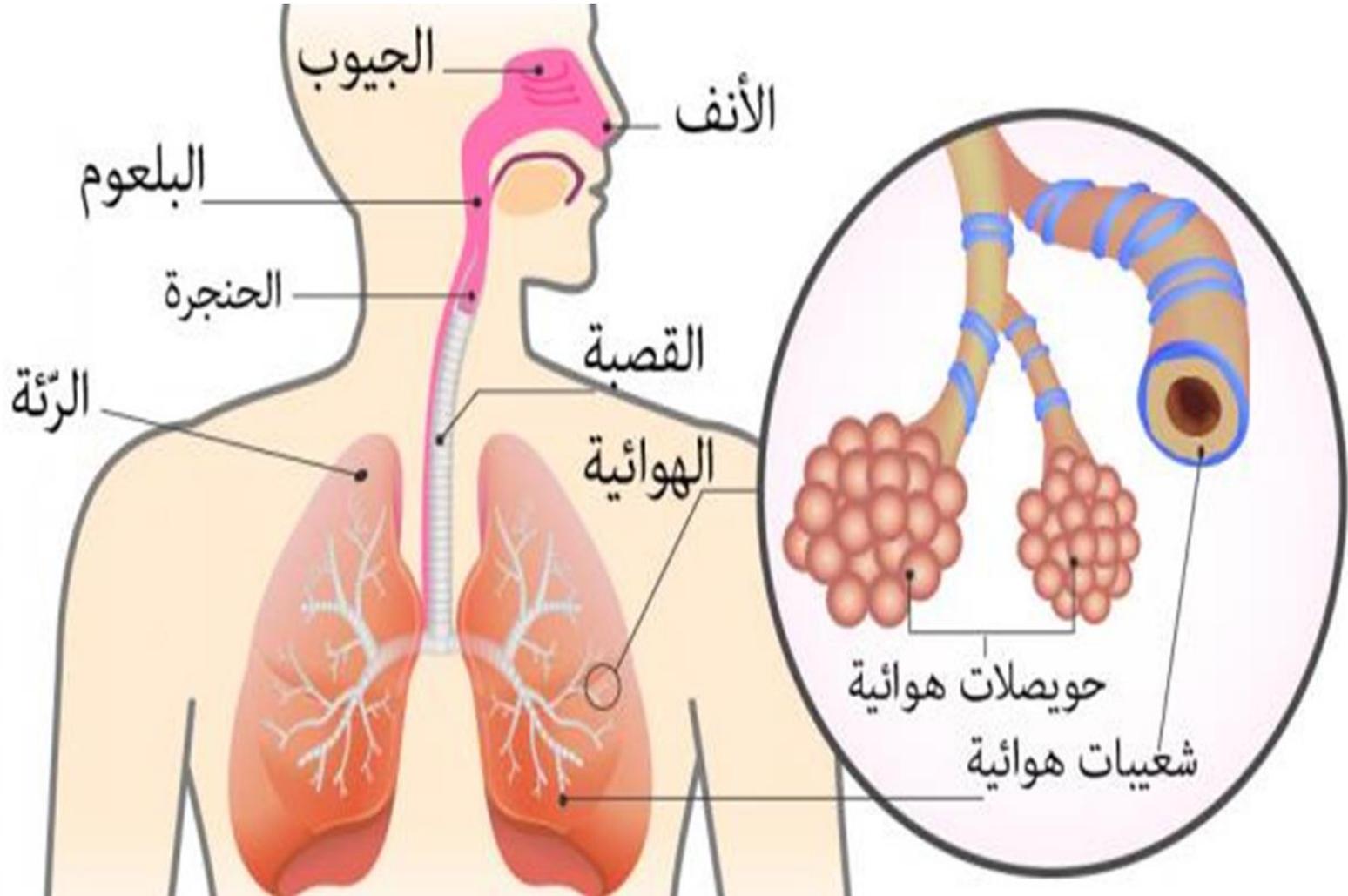
(1) مرحلة التهوية الرئوية: وهي مرحلة دخول وخروج الهواء بين الاسناخ والمحيط الخارجي للجسم .

(2) مرحلة تبادل الغازات بين الهواء في الاسناخ الرئوية والدم .

(3) مرحلة نقل وتبادل الغازات (الأوكسجين) و (ثاني اوكسيد الكاربون) في السائل الدموي من الرئتين الى الأنسجة ومن الأنسجة الى الرئتين .

(4) مرحلة تنظيم وظائف الرئة .

يوضح مكونات الجهاز التنفسي





الوحدة التنفسية

• ان اهم مناطق الجهاز التنفسي من خلال الوظيفية هي منطقة التبادل الغازي وهي ما تسمى بمنطقة الوحدة التنفسية والتي تتكون من

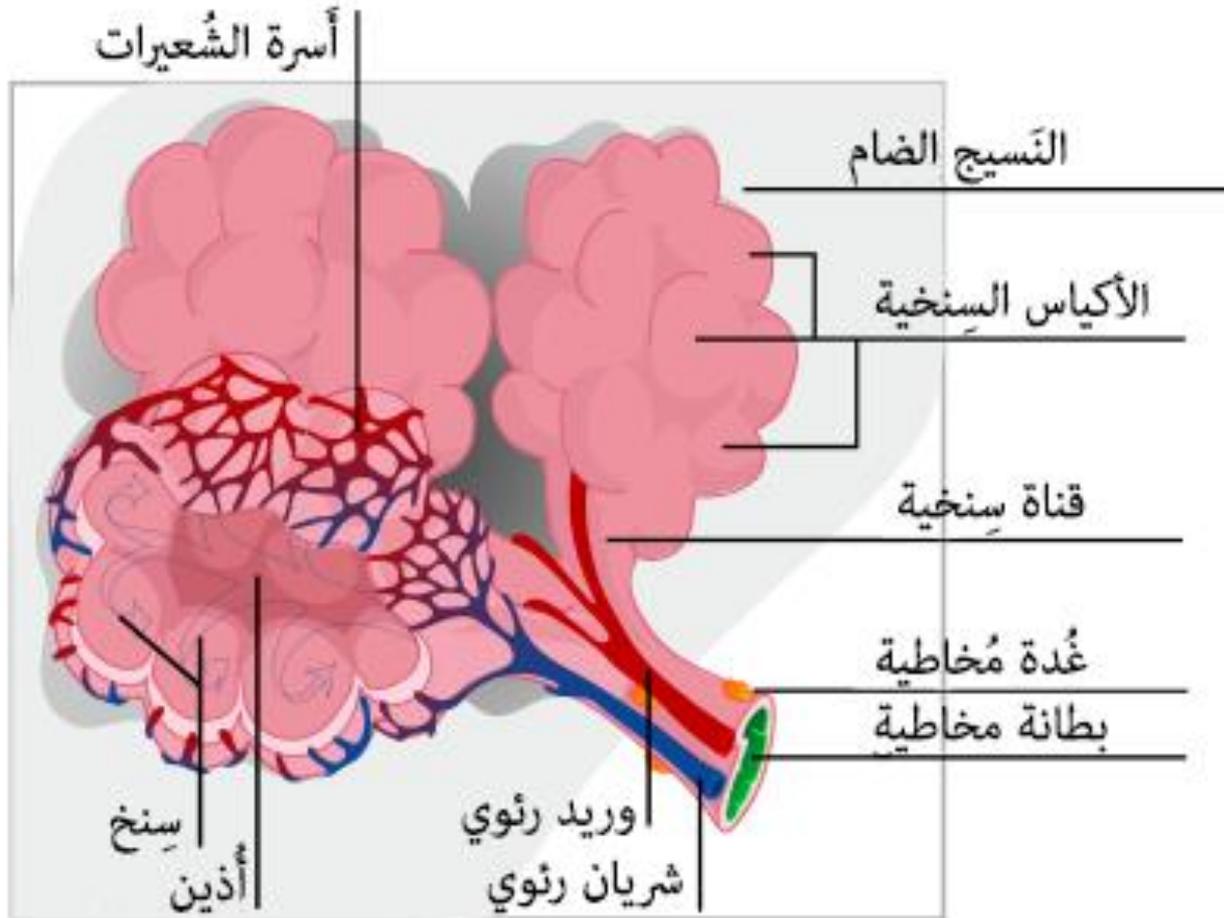
1- قصيبة انتهائية

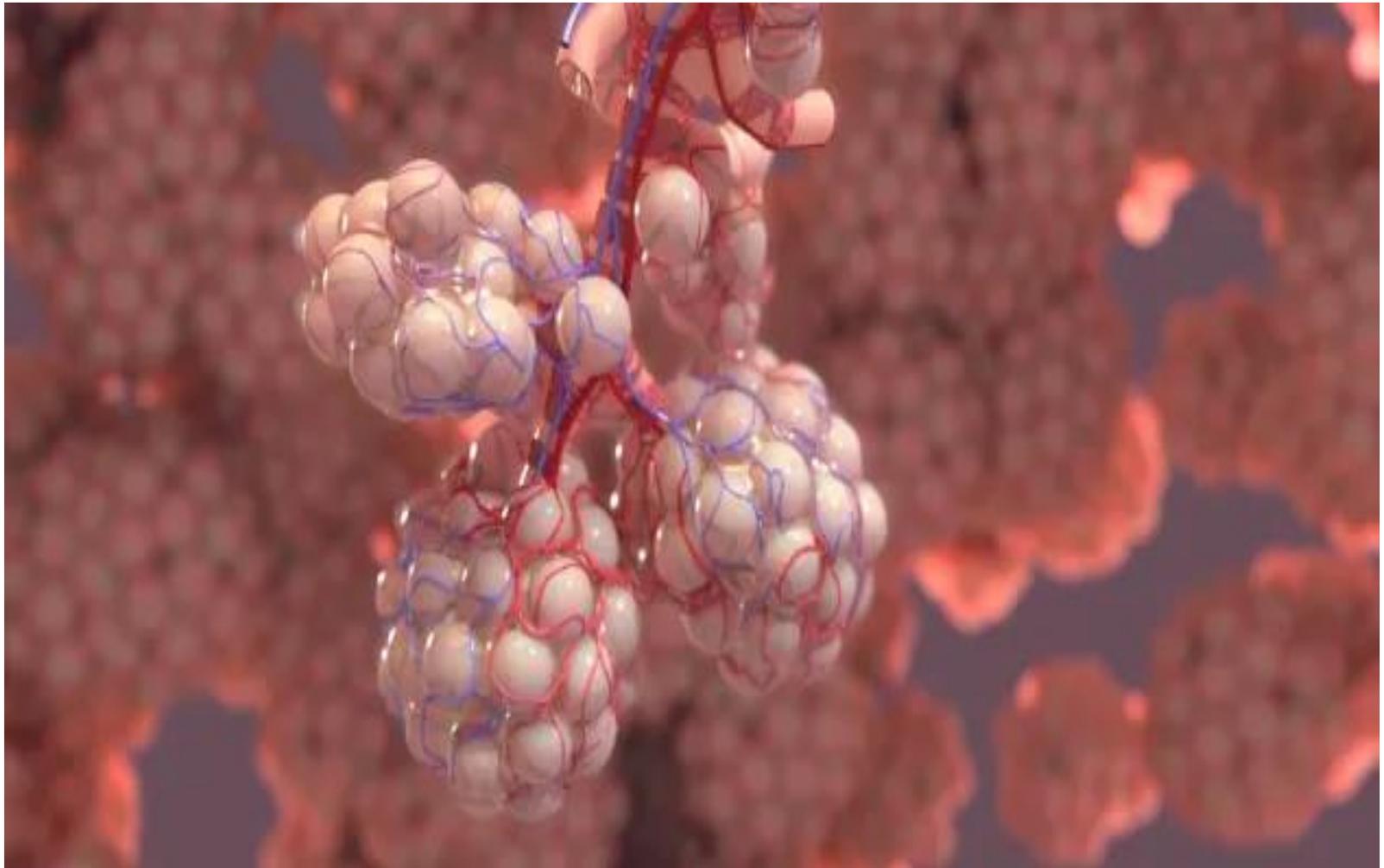
2-قصيبة تنفسية

3-قناة سنخية

4- الاسناخ الرئوية :التي تحاط بشبكة من الاوعية الدموية التي يتم من خلالها التبادل الغازي

الوحدة التنفسية





حركة الهواء الى الرئتين والضغط المتولدة في اقسامها في الراحة والتمرين البدني

الرئة بنية تميل الى الانكماش عندما لا يوجد سبب ومؤثر الى
تمددتها وهي معلقة وغير ملتصقة بجدار في القفص الصدري
وهي محاطة بسائل غشاء الجنب ومستقرة على عضلة الحجاب
الحاجز .

ميكانيكية التنفس :

1- الامامية الخلفية

2- العلوية السفلية

3- للجانبين

غشاء الجنب وظيفته وضغطه اثناء عملية التنفس

- 1- وهو غشاء يحيط بالرئتين من الخارج ويتكون من من طبقتين مصليتين (اي بينهما سائل مصلي)
- 2 – وجود السائل يسمح بحرية حركة الرئتين دون احتكاك يذكر ويحافظ على الرئتين .
- 3 – يخلق انقباض الحجاب الحاجز (اندفعها الى الاسفل) ضغطاً سلبياً داخل تجويف الجنب الذي يدفع الرئتين للتمدد مما يؤدي إلى الشهيق يمكن أن تزداد قوة عملية التنفس هذه من خلال انقباض العضلات بين الاضلاع التي تجبر القفص الصدري على التمدد أكثر وتزيد الضغط السلبي في تجويف الجنب أكثر مما يؤدي إلى ملء الرئتين بالهواء. ويصبح الضغط اثناء الزفير (-5سم ماء) ويرتفع اثناء عملية الشهيق الى (-7.5سم ماء) علما ان اثناء الجهد البدني تتغير تلك الضغوط والتي تزيد من التوسع الحادث في الرئتان والذي يصاحبه زيادة في حجم الهواء المدي

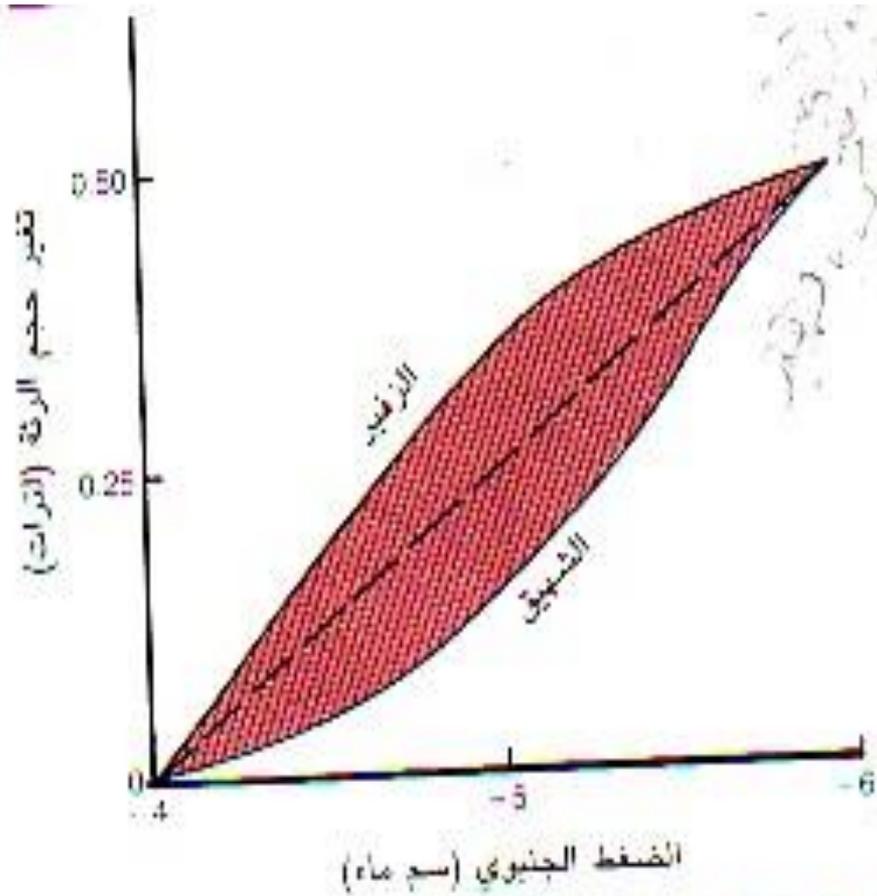
الضغط السنخي

- عند هبوط الضغط السنخي الى اوطأ من الضغط الجوي قليلا اي حوالي (-1سم ماء) وهو كافي لتحريك (500 مليلتر هواء الى الرئتين) وبالعكس اثناء الزفير يرتفع الضغط السنخي الى +1 سم ماء مما يدفع (500 مللتر من الهواء) خارج الرئتين في عملية الزفير
- سؤال ماهي التغيرات اثناء التمرين البدني ؟

الضغط عبر الرئتين في التمرين البدني والراحة

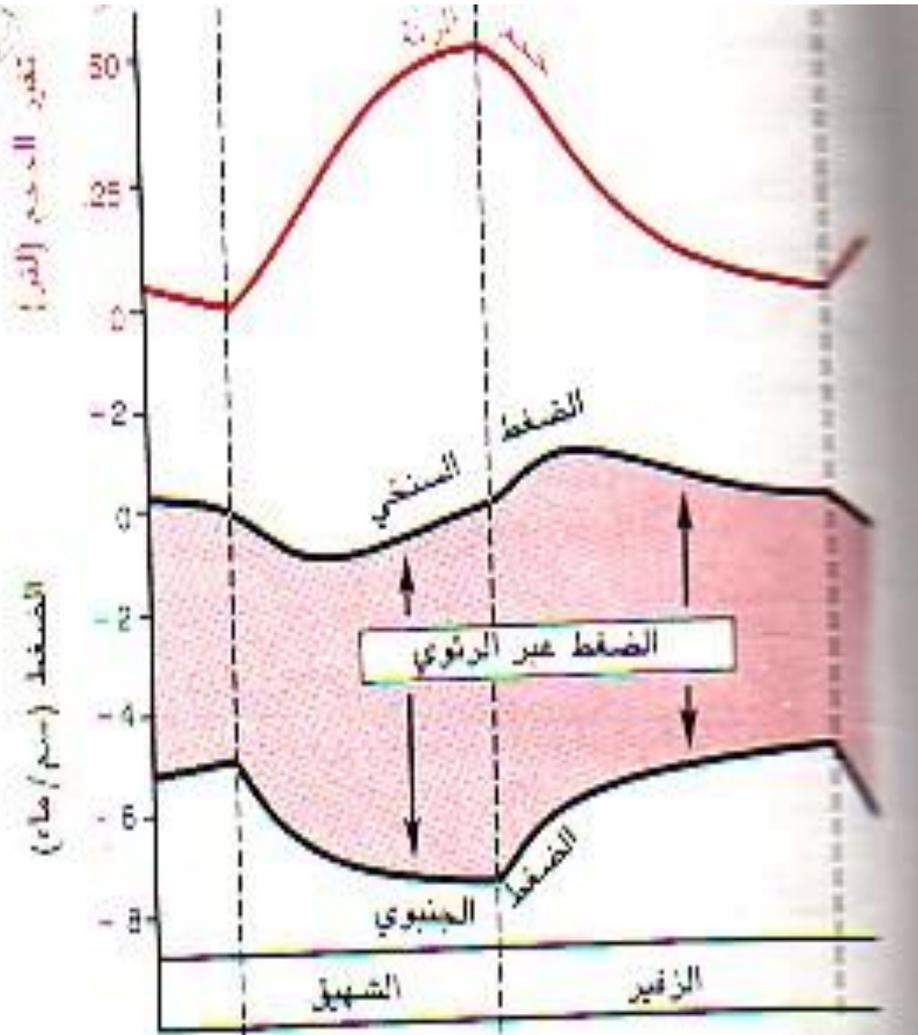
- ان فرق الضغط بين الضغطين السنخي والجنبوي يسمى ضغط الرئة وهو يمثل مقياس قوى المرونة في الرئتين التي تحول انكماشها عند كل نقطة من نقاط توسعها ويسمى ضغط الارتداد .

يوضح الضغوط عبر الرئة (للأسناخ وغشاء الجنب) وحجم الرئة

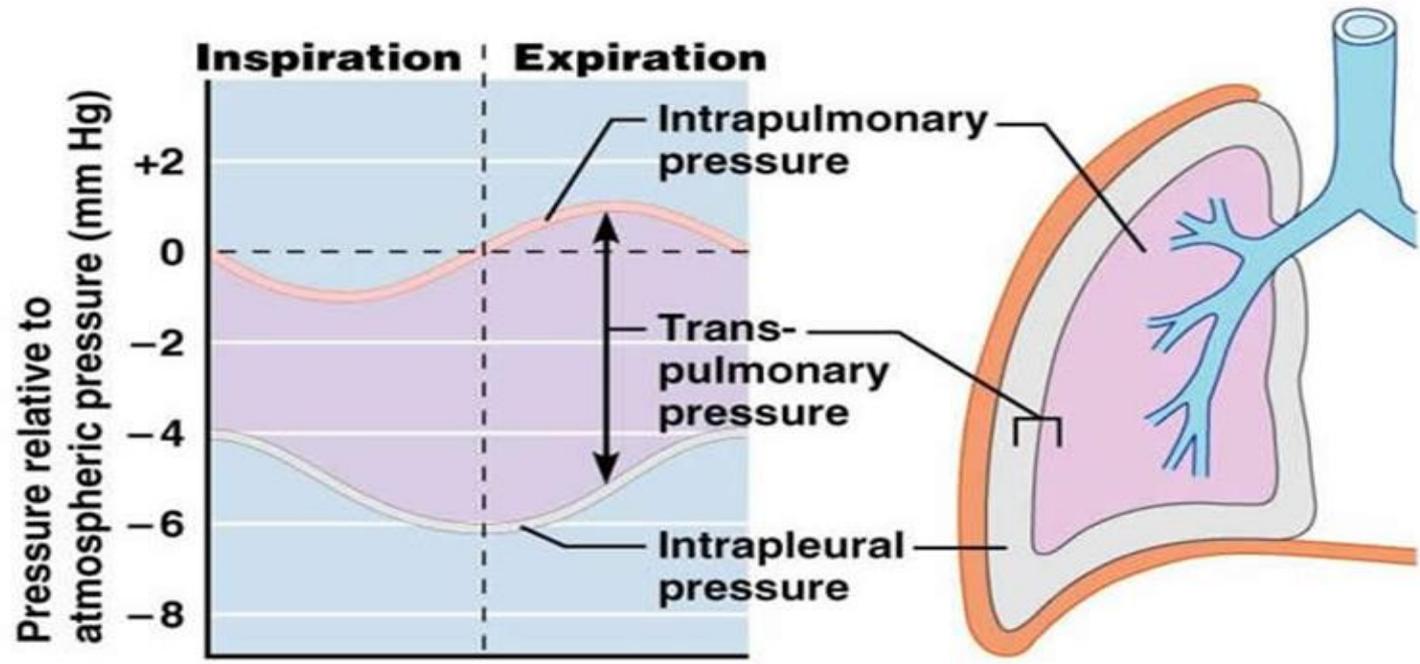
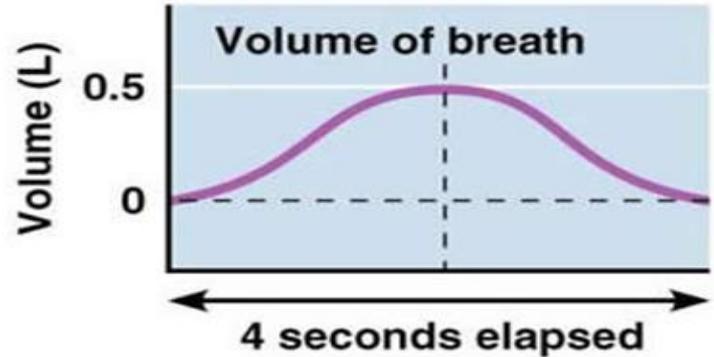


الشكل 3-37 مخطط المطاوعة لشخص سوي ويظهر هذا المخطط مطاوعة الرئتين فقط.

وتتبعين خواص مطاوعة هذا بقوى مرونة
الوقت التي يمكن تقسيمها إلى



الشكل 2-37 تغيرات حجم الرئة والضغط السنخي والضغط الجنوي والضغط عبر الرئة أثناء التنفس السوي.



الفعال بالسطح والتوتر السطحي



شغل التنفس في الراحة والجهد البدني

هناك حركتان متعاقتان في عملية التنفسية وهما الزفير الذي يعد عملية سلبية أما الشهيق هو عملية ايجابية أثناء التنفس الهادئ . لماذا ؟ كون عضلات التنفس تتقلص فقط بالشهيق وتصرف فيها طاقة اي اداء شغل يسمى شغل التنفس وبالتالي يمكن تقسيم شغل الشهيق الى ثلاثة اجزاء هي:

1 – الجزء الذي يتطلبه توسيع الرئتين ضد القوى المرنة والذي يسمى شغل المطاوعة أو الشغل المرن أو عمل المطاوعة .

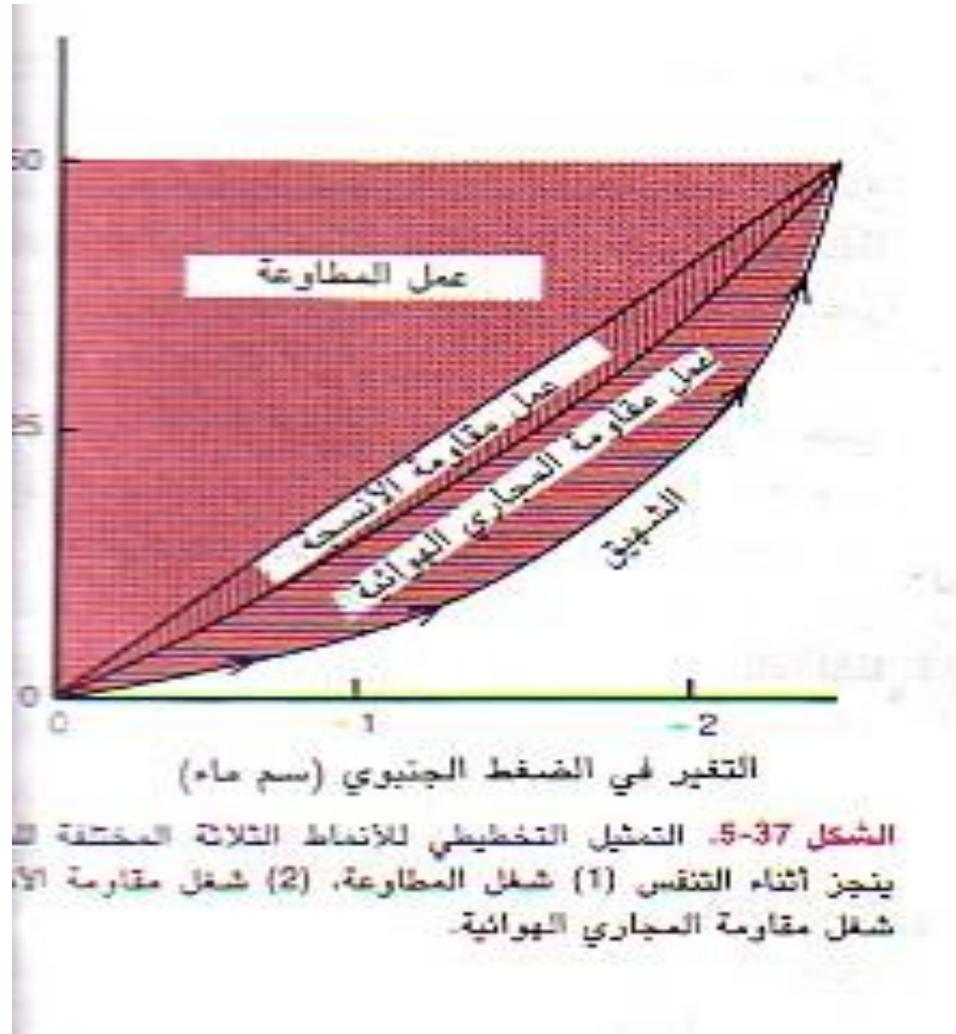
2 – الجزء المطلوب على التغلب على لزوجة الرئتين ويسمى شغل مقاومة الأنسجة .

3 – الجزء المطلوب للتغلب على مقاومة المجاري الهوائية .

ويبين الشكل التغير التدريجي في الضغط وحجم الرئة أثناء الشهيق وتمثل المنطقة المظللة بكاملها (الشغل الكلي) الذي تقوم به العضلات التنفسية الشهيقية في حالة الراحة

سؤال ماذا يحدث اثناء الجهد البدني ماهو التغير في شغل التنفس ؟

يوضح شغل التنفس في عملية الشهيق شغل المطاوعة أو عمل المطاوعة



شغل مقاومة المجاري الهوائية

وهي الأخيرة التي تمثل الشغل للتغلب على مقاومة جريان الهواء خلال المجاري الهوائية التنفسية. ومن خلال المقارنة بين أنماط الشغل الذي تولده العضلات التنفسية الشهيقية في التنفس الهادئ يستعمل لتوسيع الرئتين ونسبة قليلة من الشغل الكلي من التغلب على مقاومة الأنسجة وأحيانا نسبة أكبر للتغلب على مقاومة المجاري الهوائية. ولكن أثناء أداء التمرين الرياضي وتحت حاجة الجسم الى الأوكسجين سوف تتضاعف عدد مرات التنفس وعمقه وشدته وهذا يتم من خلال نفس عضلات التنفس السابقة الذكر ولكن بشكل أشد وأكثر قوة في التقصص مع اشتراك (العضلات التنفسية الإضافية) وهي (العضلة المربعة – والعضلات الأمامية والوسطى والخلفية) والتي تعمل على زيادة التوسع الصدري بجميع الاتجاهات وبالتالي التوسع في الرئتين بسبب زيادة أكبر في مقاومة المجاري التنفسية بسبب سرعة وكمية الهواء الداخلة على الرغم من ان الاقطار لدى الرياضيين تمتاز بالتوسع . اما شغل لزوجة الانسجة فهي تحافظ بعض الشيء لان اللزوجة لا تتغير كثيرا غير الزيادة في الشغل تزداد في شغل المطاوعة (لقوى المرونة للرئتين)

ميكانيكية التنفس والتمرين الرياضي

في الشهيق : يزداد توسع القفص وبذلك التوسع تحصل تلك الزيادة في ثلاثة اتجاهات في القفص الصدري هي :

1 - اتجاه أمامي خلفي والذي يحدث برفع الأضلاع الى الأعلى بفعل العضلات الأربية وتمدد الفقرات الظهرية الى الخلف .

2 - اتجاه جانبي من جهة الى أخرى يتم هذا التوسع بهذا الاتجاه بفعل العضلات الأربية بين الأضلاع . العضلات الأربية الخارجية .

3 - اتجاه علوي سفلي : بسبب تقلص عضلة الحجاب الحاجز التي تدفع الى الأسفل مسببه فراغ علوي وسفلي للرتان.

وتقوم عضلة الحجاب الحاجز بقسم كبير في عملية التنفس حيث تقدر بحوالي 60 % من مجموع عملية التنفس .

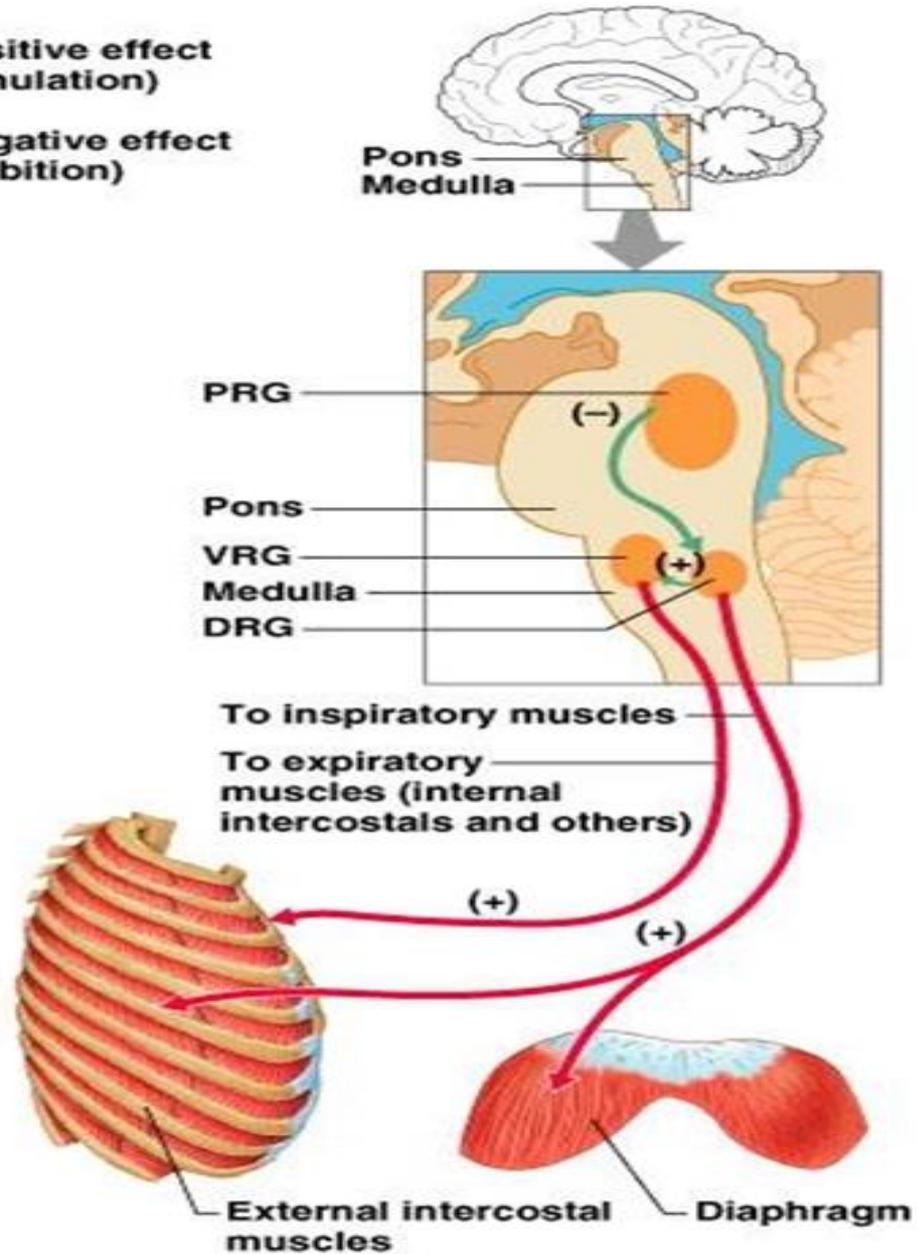
ويكون الشهيق عملية إيجابية كونها تتم من خلال عملية تقلص للعضلات والتي يتم فيها صرف للطاقة في حين يكون الزفير في التنفس الهادئ عملية سلبية كونها تتم من خلال انبساط العضلات السابقة التي تقلصت في الشهيق وعليه لا يتم صرف أي نوع من أنواع الطاقة ولكن الزفير هو الآخر يصبح إيجابيا عند أداء التمرين الرياضي او ممارسة النشاط الرياضي او فرط التهوية إراديا والسبب في ذلك يعود الى اشتراك عضلات تتقلص اثناء طرح الزفير .

ماهو الفرق في ميكانيكية التنفس في الراحة والجهد البدني ؟

Key:

(+) = Positive effect
(stimulation)

(-) = Negative effect
(inhibition)



عدد مرات التنفس

- ان عدد مرات التنفس تتناسب مع حجم التنفس الواحد اذ كلما ارتفع مستوى اللياقة البدنية والكفاءة لدى الرياضيين والوصول الى مستوى التكيف فان عدد مرات التنفس تميل الى الاقتصادية (الانخفاض) وربما تصل الى (12-14) مرة بالدقيقة وهذا يرافقه زيادة في حجم التنفس الواحد (الحجم المدي) والذي يزيد من 450- 500 مليلتر الى 600-700مللتر في الراحة اما في الجهد البدني يصل الى 1- 2 ربما الى 2.5 لتر حجم المدي

التهوية بالدقيقة

كما نعلم جميعا التهوية تتالف من طورين ، الاول يجلب الهواء الى داخل الرئتين ويدعى "الشهيق" والآخر يدفع الهواء يخرج الى المحيط الخارجي ويدعى "الزفير". مصطلح "التهوية بالدقيقة" يشير الى كمية الهواء التي اما مستنشق او الذي يزفر (ولكن ليس كلتا العمليتين معا) في دقيقة واحدة. وهذه الكمية يمكن تحديدها بمعرفة :

1- **الحجم المدي (TV)** : أي كمية الهواء المزفور او المستنشق في النفس الواحد البالغ في الراحة (400 الى 500مليتر) والي يزداد الى 1-2 لتر في الجهد البدني

2- **تكرار التنفس (R)** : أي عدد مرات التنفس بالدقيقة الواحدة (15-22) في حالة الهدوء اما في الجهد فقد تصل (50-60) . وبعبارة أخرى :

$$VE=TV \times R$$

تكرار التنفس × الحجم المدي = التهوية بالدقيقة

(نفس / دقيقة) (لتر) (لتر / دقيقة)

التنفس خلال الجهد البدني (التمرين)

التهوية الرئوية تزداد خلال أداء التمرين . وفي معظم الأحيان تكون هذه الزيادة متناسبة طرديا مع

1- الزيادة في كمية الأوكسجين المستهلك من قبل العضلات العاملة .

2- ثاني اوكسيد الكربون المنتج بالدقيقة من قبل العضلات العاملة .

والموضح بالشكل للشباب الذكور المدربين وغير المدربين . والذي يوضح إن التهوية الدقيقة غير متناسبة مع استهلاك الأوكسجين وان هذا يشير الى إن التهوية بالدقيقة ربما تنظم حسب الحاجة الى إزالة ثاني اوكسيد الكربون أكثر من الحاجة الى الأوكسجين ، على الأقل

في حالة الجهد البدني القصوي . وان حقيقة كون التهوية تزداد أكثر بكثير من VO_2

(موضحة بالجزء المنحني في الخطوط توضح لنا أيضا ان التهوية بالدقيقة عادة لا تحدد

السعة ($VO_2 \max$) الجهاز التنفسي القلبي . نقطة مهمة أخرى تلاحظ في الشكل أن

الأشخاص المدربين يمتلكون تهوية رئوية بالدقيقة اقل خلال أدائهم التمرين البدني عند

تحميلهم أعباء معينة او استهلاك أوكسجين) الشكل رقم(12- أ) وإنتاج ثاني اوكسيد الكربون

VCO_2 . وهذه الاستجابة التنفسية عند أداء التمرين البدني بالرغم من انها شائعة عند

جميع الرياضيين فإنها أكثر ما تلاحظ عند رياضيي المطاولة . ومن المعتقد ان يكون الأمر

متعلقا بتثبيت وظيفة المستقبلات الكيماوية المحيطة ، عند أي معدل تنفس وبغض النظر عن

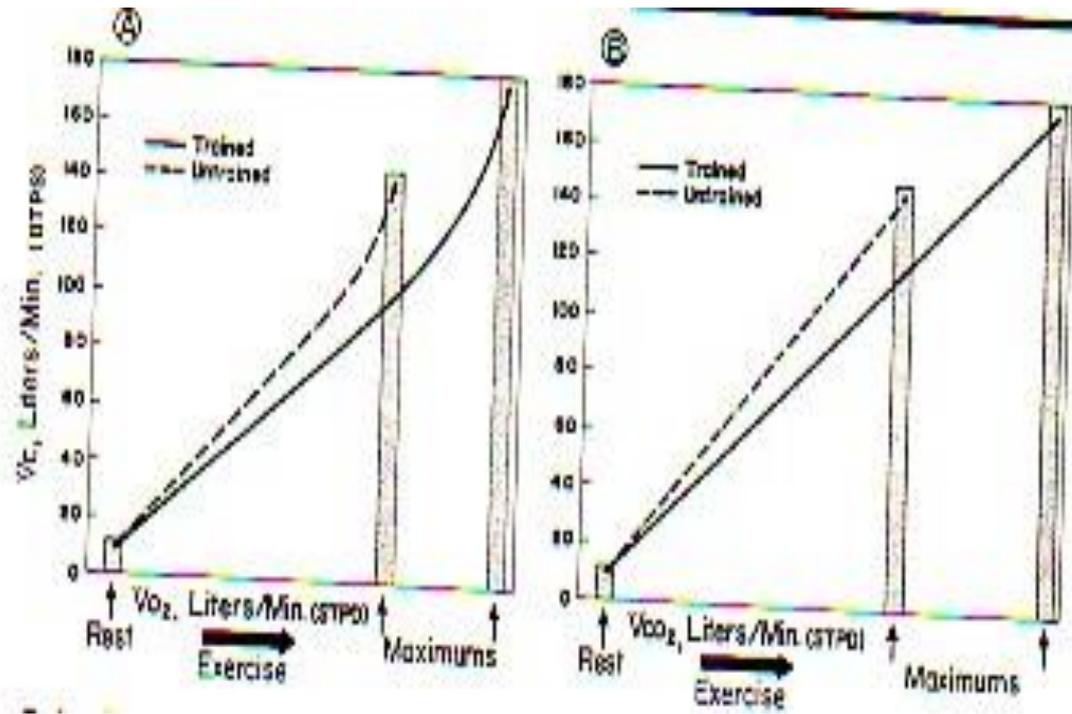
السبب فان من المعتقد ان الاستجابة التنفسية الواطنة للايجاد قد تربط بطول فترة اداء

رياضي المطاولة . ان التهوية العظمى ($\max V_e$) الناتجة بسبب الاجهاد من الممكن ان

تصل الى قيم عالية مثل 130 و180 لتر / دقيقة (BTPS) عند الاناث والذكور على

التوالي . مثل هذه الزيادة الكبيرة تصبح ممكنة بزيادة عمق (الحجم المدي) وتكرار التنفس .

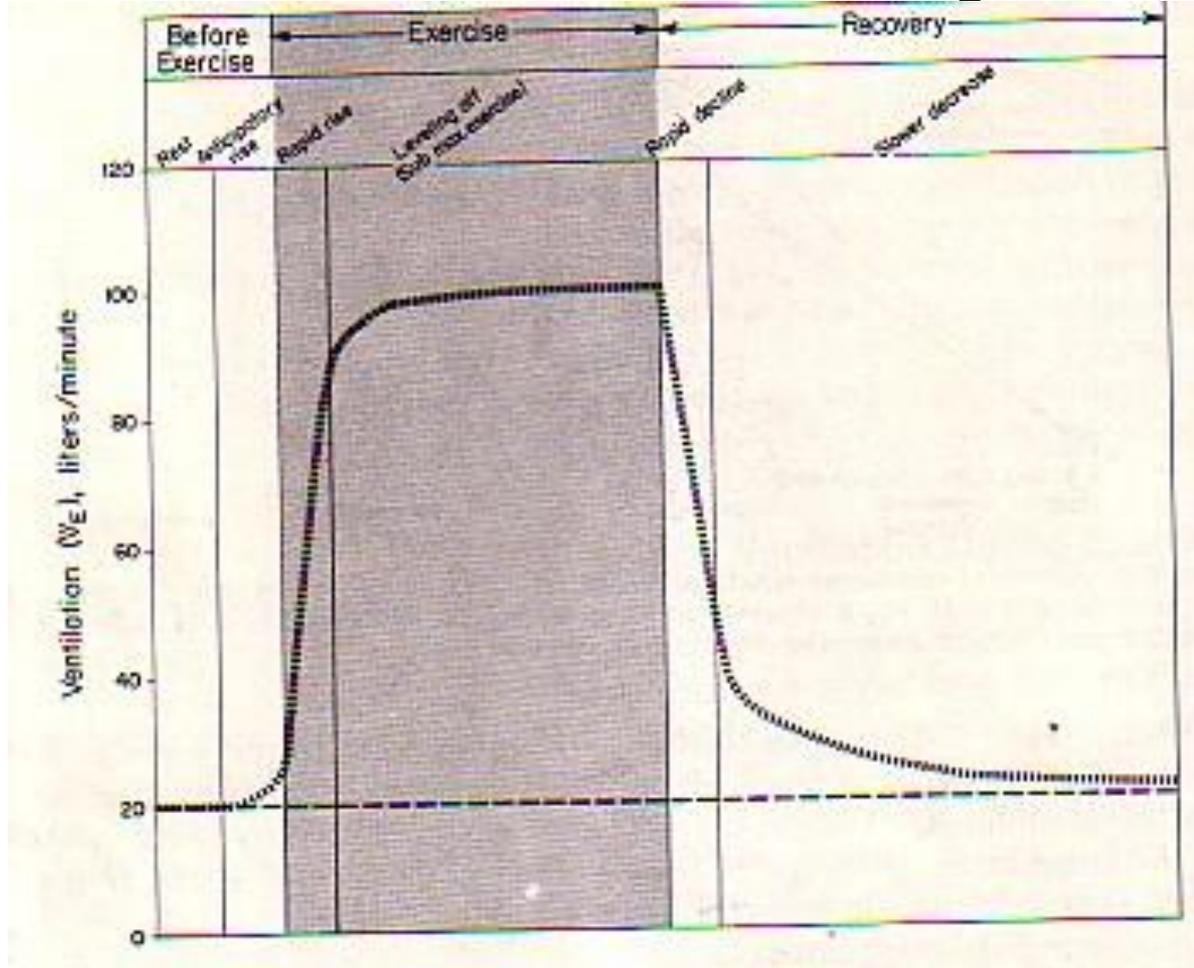
يوضح مستوى التهوية الرئوية واستهلاك الاوكسجين لدى المتدربين
وغير المتدربين)



التغيرات قبل الجهد (التمرين) البدني

- مباشرة قبل بدء الجهد البدني (التمرين تزداد التهوية هذه الزيادة وكما هو موضح في شكل ليست ناتجة عن أي شيء يتعلق بالجهد (التمرين). وإنما تتعلق في الأغلب عن تحفيز قادم من قشرة الدماغ نتيجة نقل المستقبلات الحسية التنبيهات الحادثة في المحيط الخارجي والتي تدل على الاستعداد للمنافسة وأن سبب تلك الزيادة هي بسبب الإيعازات العصبية وليست الكيميائية وهي تدعى بحمى البداية وتقع تحت عناوين القلق (وحمى البدايه) وكما يلاحظ ان هذه الزيادة هي صغيرة فضلا عن انها مختلفة من فعالية الى اخرى ففي الفعاليات ذات الزمن الطويل فيكون الارتفاع بسيط اما ذات الزمن القصير فتمتاز بالارتفاع النسبي .

ماذا تفهم من هذا المخطط (جهد متوسط الشدة)
زيادة الحادثة قبل الجهد البدني بسبب نفسي
الارتفاع في التهوية الرئوية
الاستقرار عند حد معين (الحالة الثابته)
الهبوط السريع للتهويه الرئوية بعد توقف التمرين
مقدار الدين الاوكسجيني للعودة الى الحالة الطبيعية



التغيرات خلال الجهد (التمرين) البدني (السرعة والمطاولة)

تمرين المطاولة :

• زيادة سريعة جدا خلال ثوان قليلة بعد بدء التمرين. وهذا من المحتمل ان تكون بسبب التحفيز العصبي الناشئ من المستقبلات المفصلية نتيجة الحركة المتولدة من قبل العضلات العاملة. الزيادة السريعة في التهوية تتوقف حالا وتستبدل بزيادة إبطاء وهو ما وضح في الرسم السابق .

• اما في التمرين (الجهد) قرب الأقصى . يلاحظ ارتفاع حاد في التهوية الرئوية وهو قادم من زيادة عدد مرات التنفس وعمق التنفس والاول اكثر اثر من الثاني كون الجهد قصوي فضلا عن لا يصل الرياضي الى الحالة الثابته لشدة التمرين والجهد . هذه التغيرات من المعتقد انها تحفز بواسطة محفزات كيميائية أساسا من ثاني اوكسيد الكاربون وأيون الهيدروجين في الدم المنتج خلال التمرين (الجهد). وعند التوقف يحتاج الى زمن طويل لكي يصل الى الحال الطبيعية لزيادة الدين الاوكسجيني

في الجهد الاقل من القصوي

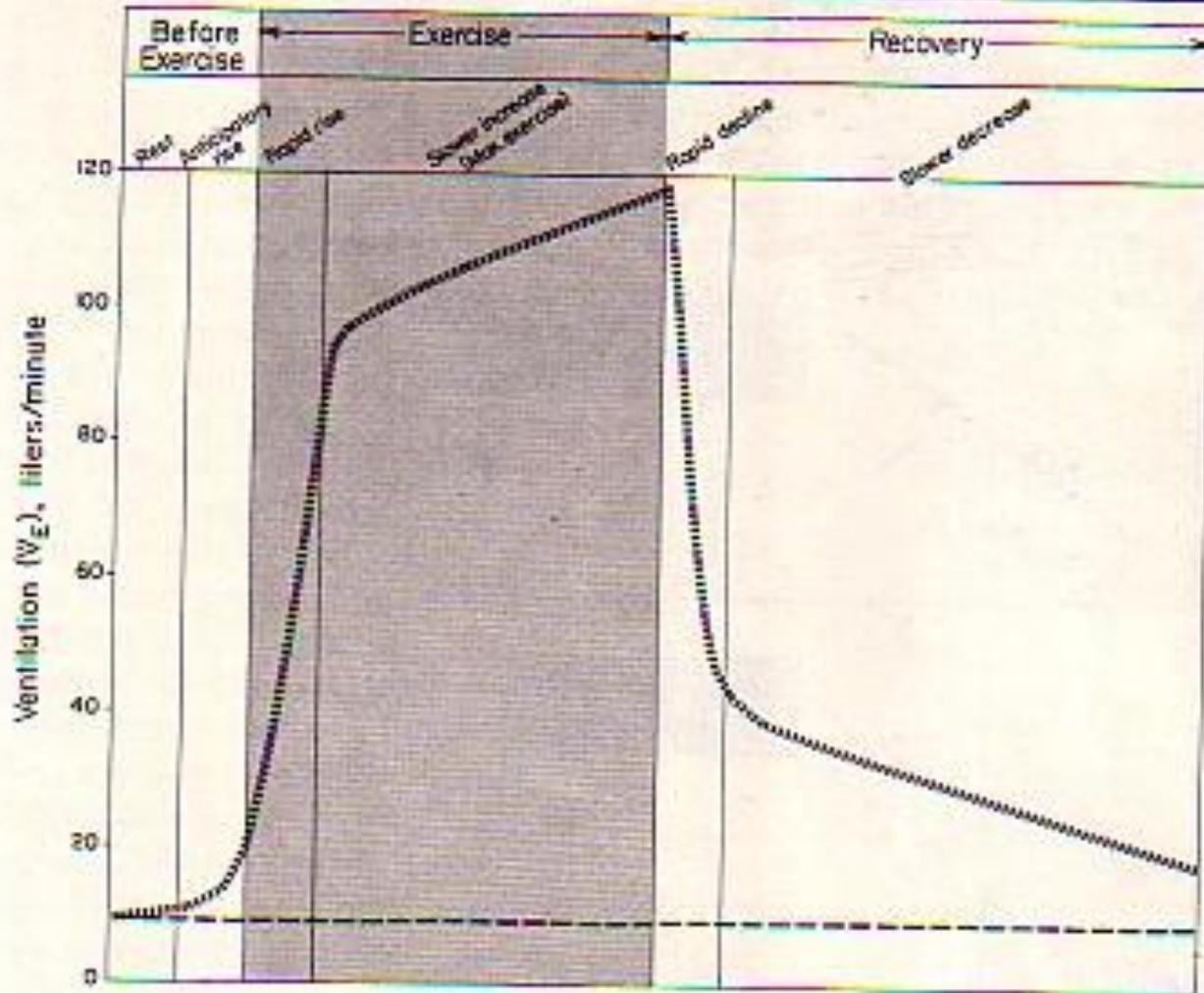


Figure 8-2 Continued

التغيرات بعد الجهد البدني (التمرين)

خلال هذه الفترة بعد اداء الجهد (التمرين), هنالك ايضا تغيران كبيران:

1- حالما يتوقف الجهد (التمرين) سيكون هناك تناقص مفاجئ في التهوية. هذا بسبب توقف الفعالية الحركية مما يؤدي بالنتيجة الى توقف التحفيز الناشئ من المستقبلات الموجودة في العضلات والمفاصل .

2- بعد التناقص المفاجئ في التهوية، سيكون هنالك تناقص تدريجي او بطيء باتجاه قيم الراحة . كلما كان العمل اشد، كلما كانت فترة عودة التهوية لمستويات الراحة اطول ان هذا التغير من المحتمل ان يكون ناتجا عن تناقص إنتاج ثاني اوكسيد الكربون . ان موجزا لهذه التغيرات في التهوية والتغيرات الحادثة في الراحة وللجهدين الاقل من الاقصى والمتوسط .

3- اما التغيرات الحادثة في التهوية الرئوية بعد الجهود البدني الاقصى (100م – 50م – 200م) والذي يتم فيها تنظيم التنفس مع الايقاع المهاري بشكل كبير والذي يشجع فيه كتم التنفس فيسبب زيادة الدين الاوكسجيني مما يسبب زيادة التهوية الرئوية بعد التوقف من الاداء نتيجة للحاجة الكبيرة والنقص الكبير في الاوكسجين الواصل الى جسم الرياضي

التهوية السخية (الحيز الميت التشريحي والفسولوجي)

ان كمية الهواء المستنشق لمرّة واحدة او في الدقيقة الواحدة لن يصل باكملة الى الاسناخ الرئوية لبقائه في الممرات التنفسية والتي تسمى الحيز الميت التشريحي التي يتبقى فيه الهواء بدون تبادل في كل مرّة وهو تم قياسه من قبل علماء الفسولوجي وقدره بحوالي (150 مليتر). بما ان الفضاء الميت يختلف نوعا ما باختلاف حجم الجسم، أي ان 30% يبقى في الفضاء الميت . ان توسع الممرات التنفسية خلال التمرين (الجهد) قد يضاعف حجم الفضاء الميت التشريحي ,

الحيز الميت الفسيولوجي

والحيز الذي يعتمد على مستوى كفاء الفرد ولياقته البدنية ونوع التخصص الرياضي (عدد الاسناخ يصل الى 3 مليون سنخ في كل رئة) فان الاسناخ الرئوية ليس جميعها تكون نشطة فهذا يعتمد على حاجة الجسم اليها مقابل الحمل الخارجي وبالتالي ربما هناك من يستغل واحد مليون سنخ ومنهم من يستغل واحد ونصف مليون وآخر 2 مليون سنخ وكلما تميزت الفعالية الى التخصص بنظام الطاقة الهوائي كلما زادت الاسناخ النشطة وقلة الاسناخ الخاملة وعليه تعد الاسناخ غير المشاركة في التهوية السخيه كونها خاملة ضمن الحيز الميت الفسيولوجي. كما يسبب ذلك غلق عدد من الفروع للشبكة الشعرية الدموية القريبة من الاسناخ الخاملة والتي تتفتح عند نشاط تلك الاسناخ فضلا عن ولادة ونمو فروع جديدة من الاوعية الدموية

معدل التهوية السنخية والجهد البدني

وهي التهوية السنخية في الدقيقة الواحدة أي حجم الهواء المتنفس (الحجم المدي مطروحا منه حجم الهواء في الحيز الميت مضروبا في عدد مرات التنفس في الدقيقة ويتم من خلال المعادلة التالية :

$$VA = \text{عدد مرات التنفس بالدقيقة (RR)} \times (DV - TV) \text{ وفي الإنسان}$$

الطبيعي السوي الذي يبلغ لديه الحجم المدي حوالي 500 مليلتر وحجم الغاز

في الحيز الميت (150 مليلتر) وسرعة التنفس التي تصل (12 - 18) مرة

في الدقيقة عليه يكون التهوية السنخية عند ذلك التهوية السنخية = 12 × (

$$500 - 150) = 4200 \text{ مليلتر / دقيقة أمافي حالة أداء جهد بدني ربما يصل}$$

الحجم المدي الي حوالي (1 - 2 لتر) وهذا يختلف باختلاف مستوى وكفاءة

اللاعبين ذوي المستويات العليا فضلا عن نوع التخصص الرياضي الذي

يمارسونه وما يحدثه من تكيفات في وظائف الرئة من خلال التجارب التي

أثبتت بأن حجم التنفس بالدقيقة تصل في رياضات التحمل الطويلة الي (80 -

$$100 \text{ لتر / د) والناجمة عن زيادة الحجم المدي فضلا عن عدد مرات التنفس}$$

كما ذكرنا سابقا في حين عدد مرات التنفس تصل (50 - 60 مرة بالدقيقة)

وعليه تكون التهوية السنخية

$$\text{التهوية السنخية} = 50 \times (1500 \text{ مليلتر} - 150 \text{ مليلتر})$$

$$= 67.500 \text{ لتر / د}$$

ولكن بما ان الحجم المدي يزداد ايضا فانه يمكن المحافظة على تهوية حويصلية كافة ومن ثم تبادل غازي كاف ان

(حجم التنفس في الدقيقة) يعتمد على ثلاثة عوامل : (1) عمق النفس (الحجم المدي) ، (2) معدل التنفس (3) حجم الفضاء الميت .

ان التهوية بالدقيقة لوحدها لا تشير الى ما اذا كانت التهوية الحويصلية كافية ام لا كمثال، لو كانت التهوية بالدقيقة اثناء الراحة تساوي 6 لتر / الدقيقة على كل حال الحجم المدي (TV) يساوي 0,5 لتر ومعدل التنفس هو 12 نفس بالدقيقة

(0.5 لتر × 12 نفس / الدقيقة = 6 لتر / الدقيقة). بينما اذا كان حجم التنفس يساوي 0.25 لتر ومعدل التنفس يساوي 24 نفس / الدقيقة (250 × 24 = 6 لتر / دقيقة)

وعليه ان (500 مليلتر – 150 = 350 مليلتر × 12 = 4200 مليلتر /د) في الحالة الاولى

اما في الحالة الثانية فان (250 - 150 = 100 مليلتر × 24 = 2400 مليلتر /د) في الحالة الثانية

وهو يوضح الاقتصادية في صرف الطاقة والجهد فضلا عن زيادة في الكمية الواصلة الى الاسناخ اي موقع التبادل الغازي

التنفس واستهلاك الطاقة

إذا كان الغذاء التمتناول خليطاً من الدهون والكربوهيدرات، كما هو حاصل في معظم الأنشطة البدنية المعتدلة الشدة، فإن كل لتر من الأوكسجين المستهلك يعطي في الدقيقة أو (4.85 كيلو سعر حراري) وكذلك قيم المعامل التنفسي الخلوي والمعروف أن المعامل التنفسي الخلوي يساوي حاصل قسمة حجم ثاني أكسيد الكربون المنتج على حجم الأوكسجين المستهلك أثناء حالة الاستقرار، ويتراوح من 0.7 عندما تكون الدهون هي الوقود المستخدم بنسبة 100% في عمليات التنفس الخلوي، إلى 1.0 عندما تكون الكربوهيدرات هي الوقود المستخدم 100% في عمليات التنفس الخلوي (أي في عمليات إنتاج الطاقة بواسطة النظام الهوائي). ونظراً لأن المعامل التنفسي الخلوي لا يأخذ في الاعتبار الطاقة القادمة من البروتين (والتي تمثل نسبة منخفضة من مجموع الطاقة الكلية في الأحوال الاعتيادية) فإنه يمكن تقدير الطاقة المصروفة من خلال المعامل التنفسي الخلوي غير البروتيني وباستخدام معادلة وير (Weir) على النحو التالي (إهمال البروتين يقود إلى خطأ لا يتجاوز 2% فقط:

• تقدير الطاقة المصروفة (بالكيلو سعر حراري)

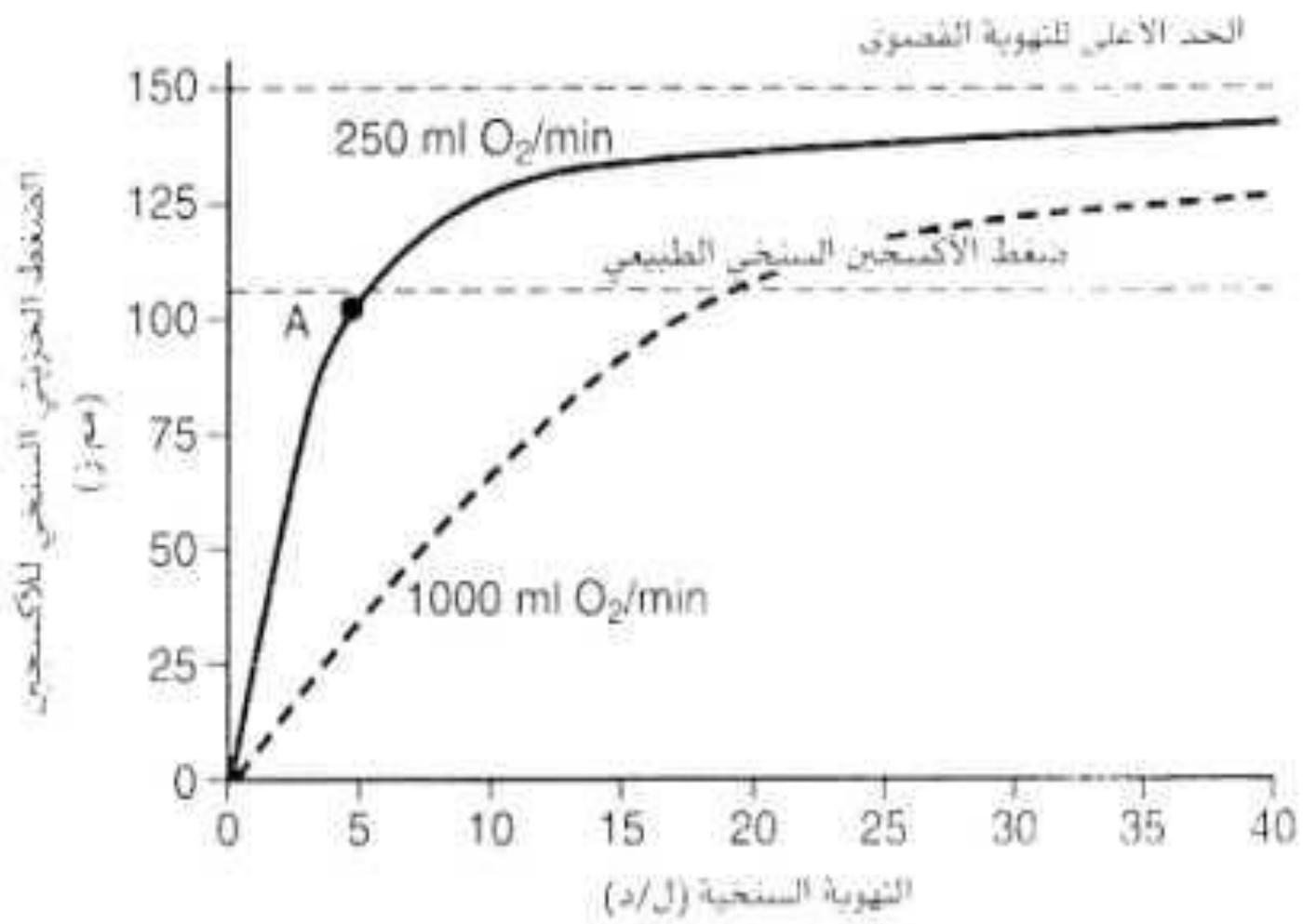
$$= \text{استهلاك الأوكسجين (بالتر)} \times [3.9 + (1.1 \times \text{المعامل التنفسي الخلوي})]$$

تركيز الأوكسجين وضغطه الجزئي في الأسناخ

1- يقل تركيز الأوكسجين في الأسناخ كلما زادت سرعة امتصاصه من الأسناخ وانتقاله الى الدم

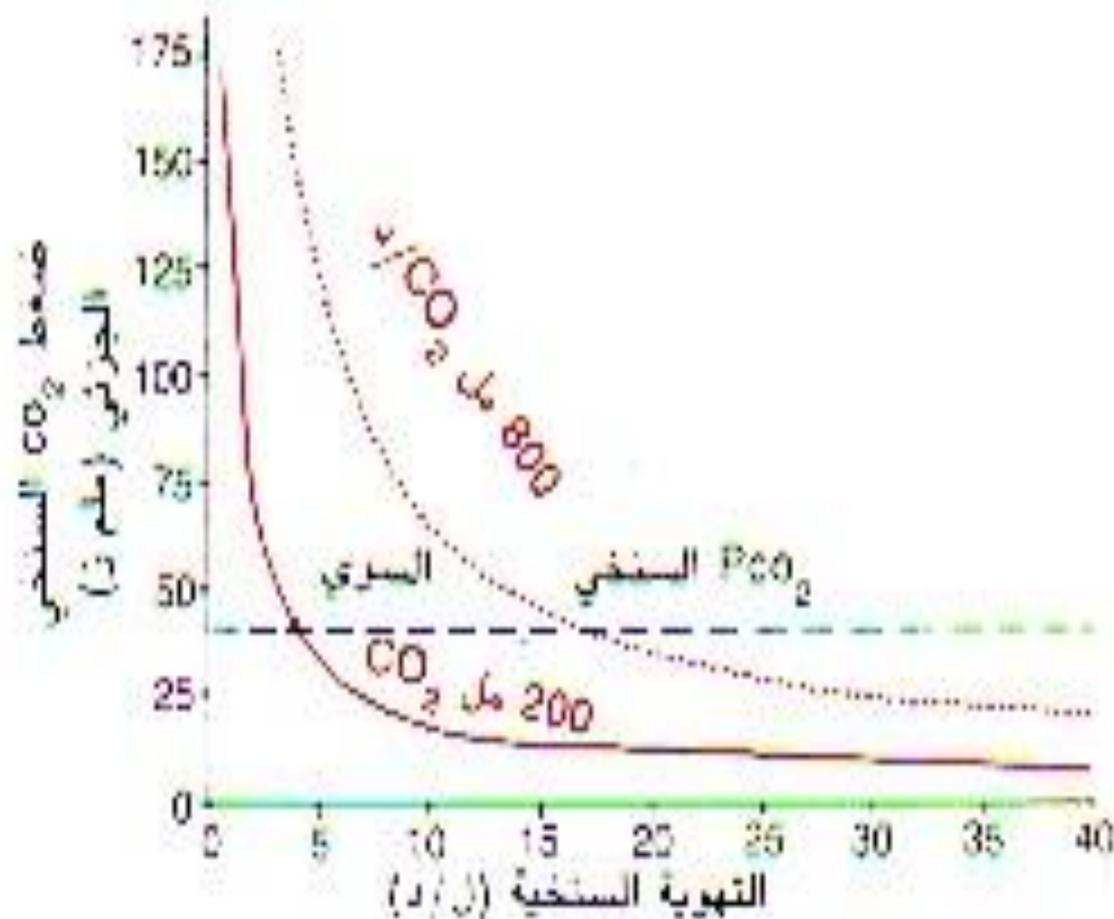
2- ويزيد تركيزه في الاسناخ كلما زادت التهوية الرئوية.

ويبين شكل تأثير التهوية السنخية وسرعة امتصاص الأوكسجين الى الدم على الضغط الجزئي السنخي للأوكسجين (PO2) ويمثل المنحنى المتواصل امتصاص الأوكسجين بسرعة 250 مليلتر / د في حين يمثل المنحنى المتقطع 1000 مليلتر / د وتمثل النقطة (أ) معدل تهوية سوية 4.2 لتر / د واستهلاك الأوكسجين 250 مليلتر / د وهي النقطة السوية للعملية الوظيفية للتنفس . كما يبين الشكل أيضا عندما يمتص الأوكسجين بمعدل 1000 مليلتر / دقيقة عندها تزداد معدل التهوية الى أربعة أضعافها وهذا يحدث عند إداء التمارين الرياضية المتوسطة الشدة للمحافظة على PO2 السنخي عند حدوده السوية (104 ملم ز) ولكن يجب ان يقابل ذلك زيادة في معدل التهوية السنخية الى (25 لتر بالدقيقة) وفي طبيعة الحال لا يتمكن الجهاز التنفسي واجهزة الجسم مضاعفة التهوية التنفسية وكمية الهواء الواصلة بشكل سريع مما يحدث دين اوكسجين ومع مرور زمن الاداء يتمكن الجسم من اوصول الكمية الكافية والتي تنسجم وشدة وحجم التمرين البدني



تركيز ثاني أكسيد الكربون وضغطه الجزئي في الأسناخ

يزال ثاني أكسيد الكربون من الجسم بعد مروره الى الأسناخ بعد أن يولد في الجسم باستمرار ويزال بالتهوية ويبين شكل تأثير سرعة التهوية السنخية على سرعة إفراغ ثاني أكسيد الكربون وضغطه PCO_2 في الأسناخ. والشكل يوضح سرعة التهوية السنخية على سرعة التخلص من ثاني أكسيد الكربون ويمثل المنحنى المتواصل السرعة السوية لإفراغ ثاني أكسيد الكربون وهي 200 مليلتر / د وتكون نقطة عمل PCO_2 السنخي في حالة السرعة السوية للتهوية السنخية 4.2 لتر / دقيقة عند النقطة (أ) أي عند 40 ملم ز . كما تتضح حقيقتان أخريتان الأولى هي إن PCO_2 السنخي يزداد طرديا مع سرعة إفراغ CO_2 كما هو ممثل بارتفاع المنحنى المنقط ل سرعة إفراغ ثاني أكسيد الكربون 800 مليلتر / د والثانية إن PCO_2 السنخي يقل بنسبة عكسية مع التهوية السنخية ولهذا فإن تركيز الضغوط الجزئية للأوكسجين وثاني أكسيد الكربون في الأسناخ تتعين بسرعة امتصاص وإفراغ الغازين ومستوى التهوية السنخية.



الشكل 5-39 تأثير التهوية السنخية على P_{ACO_2} السنخي عند سرعتي إنفراة ثاني أكسيد الكربون من الدم، 200 مل/د و 800 مل/د.

الضغوط في الدوران الرئوي

• كما نعلم هناك دورة كبرى (جهازية) وصغرى رئوية (لا جهازية) ، ودورة صغيرة شعيرية ولكل منها ضغوطها التي تناسب اداء وظيفتها :

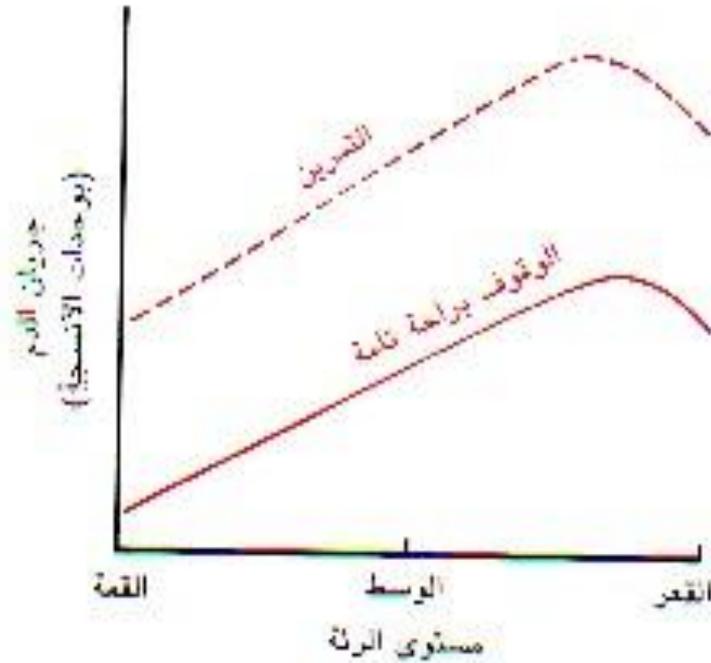
• إذ يكون الضغط الانقباضي في البطين الأيمن حوالي (25 ملم ز) وفي حالة الانبساط يصل الى (صفر - 1 ملم ز) في حين في الجذع الرئوي يصل الى شكل مشابه مما هو عليه في البطين الأيمن ثم يعود في الانبساط الى (8 ملم ز) وبالتالي يكون متوسط الضغط الشرياني الرئوي حوالي (15 ملم ز) وهذه التغيرات تتسجم مع الجانب الايمن من القلب كما وتتسجم مع ما يدور من ضغوط في الجانب الايسر من الضغوط التي تصل في الانقباض الى (120 ملم ز) في حين الشريان الأبهر الذي يصل الى مستوى مقارب الى البطين الأيسر في الانقباض أما في الانبساط الى (80 ملم ز) وبالتالي يكون متوسطه حوالي (100 ملم ز) .

التهوية والإرواء وعلاقتها بالضغط والتمرين البدني

هناك اختلافا في نسبة التهوية لمناطق الرئة وكذلك اختلاف في نسبة جريان الدم للرئة وهي في الحالة السوية (الراحة) ويعد موضوع العلاقة بين التهوية وجريان الدم وتأثيرها على التبادل الغازي من المواضيع المهمة في الجهاز التنفسي.

ففي الرئتين مناطق قليلة فيها جريان الدم والعكس في مناطق أخرى تكون ممتازة وكثيرة بجريان الدم وأخرى معدومة تقريبا بجريان الدم. ومن هنا تولد مفهوم يساعدنا على فهم التبادل التنفسي عندما لا يكون هناك توازن بين التهوية السنخية وجريان الدم السنخي والذي يسمى نسبة (التهوية – الإرواء) .

يوضح جريان الدم وتوزيعه في مناطق الرئة في الراحة والتمرين البدني



الشكل 3-38. جريان الدم في مستويات مختلفة في رئة شخص مننصب عند الراحة واثنا التمرين. ريلأخذ بأنه عندما يكون الشخص في حالة الراحة يكون جريان الدم واطناً جداً عند قعتي الرئتين ويجري معظم الدم في أسفل الرئتين.

وعليه توجد ثلاث مناطق لجريان الدم

الأولى : التي لا يجري فيها الدم كون الضغط الدموي في الأوعية منخفض عن الضغط في الأسناخ الرئوي المحيطة بها. (قمة الرئة)

الثاني : التي يكون جريان الدم فيها متقطع وهو ناتج عن ارتفاع الضغط الدموي في الأوعية الدموية في حالتها الانقباض والانبساط للضغط الدموي ففي حالة الانقباض يجري الدم بسبب ارتفاع الضغط في الأوعية المحيطة بالأسناخ وفي الانبساط يعود الضغط أقل مما هو في الأسناخ فيتوقف الدم (وسط الرئة)

الثالثة وهو استمرار الجريان الدم في الأوعية نتيجة ارتفاع الضغط في الأوعية فيها في حالتها الانقباض والانبساطي (الثالث الأسفل من الرئة)

سبب اختلاف مستوى الجريان في الرئة اثناء التمرين البدني

ان الاختلاف في مستوى الضغوط هو الذي ينظم انتقال الدم . اذ عندما يكون الضغط في الاوعية الشريانية المحيطة في الاسناخ اعلى من مما هو موجود في الاسناخ سوف يستمر جريان الدم والعكس صحيح . ويزداد جريان الدم في الرئتين اثناء التمرين الرياضي الى (4-7) اضعاف عن الراحة

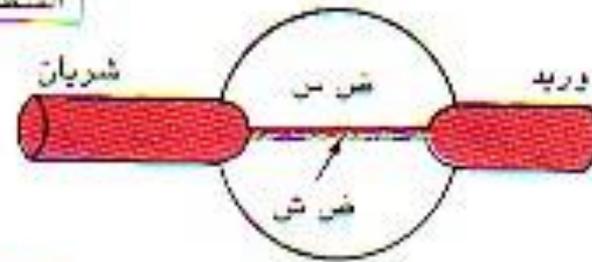
السؤال ماهو سبب زيادة الجريان ؟ الجواب لزيادة السعة التنفسية

السؤال كيف يزداد الجريان ؟

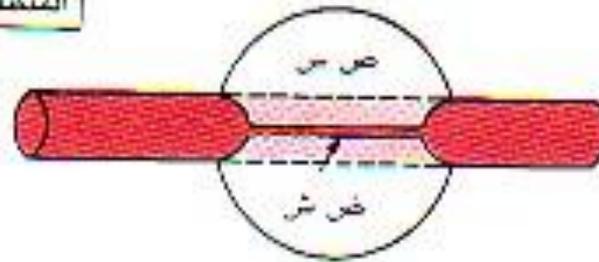
- 1-زيادة عدد الشعيرات الدموية المتفتحة 2-زيادة وسع الشعيرات الدموية
 - 3-وزيادة سرعة الجريان الدم 4-زيادة جريان الدم في المناطق الثلاثة من الرئة بسبب زيادة الضغط الدموي في الشعيرات المحيطة بالاسناخ
- وان العاملين الاول والثاني تقلل من المقاومة الوعائية ولكن يختلف ذلك بين التمارين ذات النظام الهوائي عما هو عليه في الأنشطة ذات النظام اللاهوائي والذي يزداد فيها كتم النفس أو تنظيم عملية التنفس . والشكل يوضح تحرك الدم وانتقاله في المناطق المختلفة في الرئة

وعليه عند أداء الأنشطة ذات الطاقة الهوائية سيكون هناك ثبات في عدد مرات التنفس وإيصال الكمية الكافية تقريبا وعليه الارتفاع الحادث في الضغط الشرياني سوف يسري عن جميع مناطق الرئة والتي يكون أعلى من الضغط السنخي وبالتالي استمرار تدفق الدم. أما في حالة نظام الطاقة اللاهوائي والذي يرافقه تنظيم لعدد مرات التنفس وهذا ما يحدث مثلا في سباق 100 م او 200م والذي لا يزيد عن (مرة واحدة لكل خمسة الى عشرة متر) بسبب خصائص اللعبة ونظامها مما يجعل اللاعب يتدرب على كتم وتنظيم التنفس والذي يصل الى أخذ شهيق لكل (5 م – 10 م) هذا يعني هنالك تدفق بالدم نتيجة لزيادة مرتفعة بمعدل ضربات القلب وزيادة في الناتج القلبي وبالتالي زيادة في الضغط الشرياني الرئوي وهو أعلى مما هو في الأسناخ مما يزيد من تدفق الدم بعموم الرئة ولكن يرافقه نقصان في التهوية الرئوية الناتجة عن كتم النفس. ولكن الفرق الأكبر في الجريان للمطاولة غير ان ذلك لا يعني عدم حدوث تغير في السرعة في مناطق الرئة عما عليه عن الراحة .

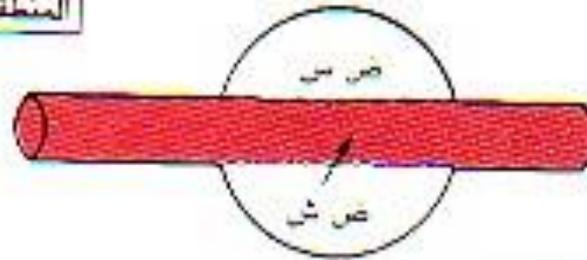
المنطقة 1



المنطقة 2



المنطقة 3



الشكل 36-4. أليات جريان الدم في ثلاث مناطق جريان دم مختلفة في الرئة المنطقه 1 لا يوجد جريان دم فيها لأن الضغط السنخي أعلى من الضغط الشرياني. المنطقه 2، جريان دم متقطع لأن الضغط الانقباضي يرتفع إلى أعلى من الضغط السنخي ولكن الضغط الانقباضي يهبط ما دون الضغط السنخي. المنطقه 3، جريان دم مستمر لأن ضغط الدم الشرياني يبقى أعلى من الضغط السنخي طيلة الوقت (ض س = الضغط السنخي، ض ش = الضغط الشرياني).

نقل الاوكسجين وثاني اوكسيد الكربون في الدم وسوائل الجسم

ينتقل الاوكسجين بمجرد انتشاره من الاسناخ الى الدم بصورة رئيسية متجها مع الهيموكلوبين الى شعيرات الانسجة حيث يحرر لاستعمال الخلايا . ويؤدي وجود الهيموكلوبين في خلايا الدم الحمراء الى نقل الاوكسجين بما يعادل 97% ضعف نسبة التي يمكن ان تنقل بشكل اوكسجين مذاب في الماء الدم . ويتفاعل الاوكسجين في خلايا الانسجة مع العديد من المواد الغذائية فيولد كميات كبيرة من ثاني اوكسيد الكربون الذي يدخل بدوره الى شعيرات الانسجة لينقل الى الرئتين . ويتحد ثاني اوكسيد الكربون مثل الاوكسجين مع المواد الكيميائية في الدم. ولهذا فان هدف هذا الموضوع هو تقديم الاسس الفيزيائية والكيميائية كليا وكيفيا لنقل الاوكسجين او ثاني اوكسيد الكربون في الدم وسوائل الجسم وارتباطها في التمرين البدني.

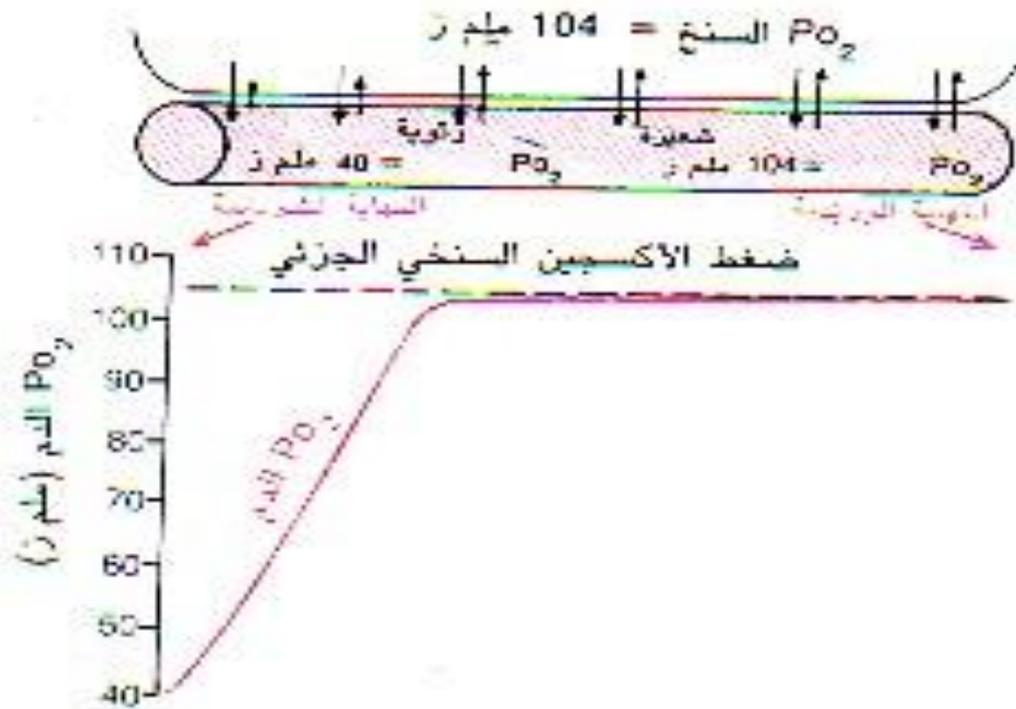
ضغوط الاوكسجين وثاني اوكسيد الكربون في الرئتين والدم والانسجة

أن الغازات يمكن ان تتحرك من نقطة الى اخرى بالانتشار , والسبب في هذه الحركة هو دائما فرق الضغط بين النقطتين التي تنتقل الغازات بينهما . ولهذا فان الاوكسجين ينتشر من الاسناخ الى دم الشعيرات الرئوية لان ضغط الاوكسجين PO_2 في الاسناخ اعلى من ضغطه في الدم الرئوي . ومن ثم يؤدي ضغط الاوكسجين الاعلى في الشعيرات النسيجية الى انتشار الاوكسجين الى الانسجة وبالعكس من ذلك فعندما يؤدي الاوكسجين دوره الايضي في الخلايا يرتفع ثاني اوكسيد الكربون PCO_2 الى درجة عالية مما يسبب انتشاره الى شعيرات الانسجة وبنفس الطريقة فانه ينتشر خارجا من الدم الاسناخ لان ضغطه فيها اوطأ مما هو عليه في دم الشعيرات الرئوية ولذلك يعتمد في الاساس نقل الاوكسجين وثاني اوكسيد الكربون في الدم على الانتشار وعلى جريان الدم .

نقل الاوكسجين بالدم

- يبين القسم العلوي من الشكل سنخا مجاورا لشعيره دموية رئوية , كما يبين ايضا انتشار جزيئات الاوكسجين بين الهواء السنخي والدم الرئوي . ويبلغ معدل الضغط الجزئي للاوكسجين الغازي في الاسناخ (104 ملم ز) بينما يبلغ معدل ضغطه الجزئي في الدم القادم من الخلايا الذي يدخل الشعيرة (40 ملم ز) فقط بسبب الكمية الكبيرة من الاوكسجين التي تزال من هذا الدم عند مروره خلال الانسجة المحيطية . ولهذا فان فرق الضغط الاولي الذي يسبب انتشار الاوكسجين الى الشعيرة الرئوية هو (64=40-104 ملم ز) . ويبين المنحنى السفلي في الشكل الارتفاع التدريجي في PO2 الدم عندما يمر الدم خلال الشعيرة ويظهر انه يرتفع في الواقع ليساوي ضغط الهواء السنخي في الوقت الذي يتحرك فيه الدم ثلث المسافة خلال الشعيرة ليصبح 104 ملم ز تقريبا .

يوضح استخلاص وانتقال الاوكسجين بالدم الشعيري الرئوي



الشكل 1-4: قوس الأوكسجين بالدم الشعيري الرئوي (لقد رسم منحنى هذا الشكل من معطيات في Milhorn & Pulley: Biophys J. 9:337.

(1968)

استخلاص الاوكسجين اثناء التمرين الرياضي وزيادة السعة التنفسية

يحتاج جسم الرياضي اثناء التمارين البدنية ذات الحمل العالي الى ما يصل (20) ضعفا من الكمية السوية (بالراحة) للاوكسجين . كما يحدث زيادة نتاج القلب في الوقت نفسه فضلا عن ان الزمن الذي يبقى فيه الدم في الشعيرات الى اقل من نصف الوقت الطبيعي بالرغم من ذلك يبقى الدم مشبعا تماما تقريبا بالاوكسجين عندما يترك الشعيرات الرئوية . وتعود اسباب ذلك الى ما يأتي :

اولا: سعة انتشار الاوكسجين تزداد اثناء التمارين الى ثلاث اضعافها تقريبا. ويتولد ذلك بصورة رئيسية من زيادة (اعداد الشعيرات الدموية) و (وتفتح الاسناخ الرئوية الخاملة) (والدم ياخذ مجرى قريب من الاسناخ) و (نسبة التهويه - التروية المثالية) في جميع الاقسام ومنها القسم العلوي من الرئتين . كما ان كمية جريان الدم في المناطق الثلاثة السابقة في الرئة الذكر تزداد .

ثانيا: يلاحظ في الشكل بان الدم يتشبع بالاوكسجين تقريبا عند جريانه في الوقت الذي يمر فيه خلال ثلث الشعيرة الرئوية الاول ولا يدخل الدم بعد ذلك الا اوكسجين قليل اثناء مروره خلال الثلثين الاخيرين من الشعيرة ويعني ذلك ان الدم عادة ما يبقى في الشعيرات الرئوية حوالي ثلاث اضعاف الوقت الضروري لتوليد الاكسجة للدم بصورة كاملة . ولهذا فحتى عند تقصير الوقت لتعرض الدم اثناء التمارين فانه لديه الوقت الكافي لاكسجته بصورة كامله او قريبا من ذلك .

انتشار الأوكسجين من الشعيرات المحيطية الى سائل الأنسجة

- إن ضغط الأوكسجين المحمل بالدم الشرياني يبقى 95 ملم ز والواصل الى الأنسجة والخلايا الجسمية والتي يكون فيها الضغط الأوكسجيني في السائل الخلالي 40 ملم ز وبالتالي يسهم هذا التفاوت في الضغط الجزئي الى انتشار الأوكسجين بسرعة كبيرة جدا من الدم المؤكسج الى الأنسجة بحيث إن PO2 الشعيري يهبط لحد مساو تقريبا 40 ملم ز في الخلال وكذلك الدم الذي يدخل الأوردة من الشعيرات يكون حوالي 40 ملم ز كما يوضح في الشكل التالي عملية انتشار الأوكسجين من شعيرات الأنسجة الى الخلايا في الحالة السوية

يوضح عملية انتشار الأوكسجين من شعيرات الأنسجة الى الخلايا في الراحة



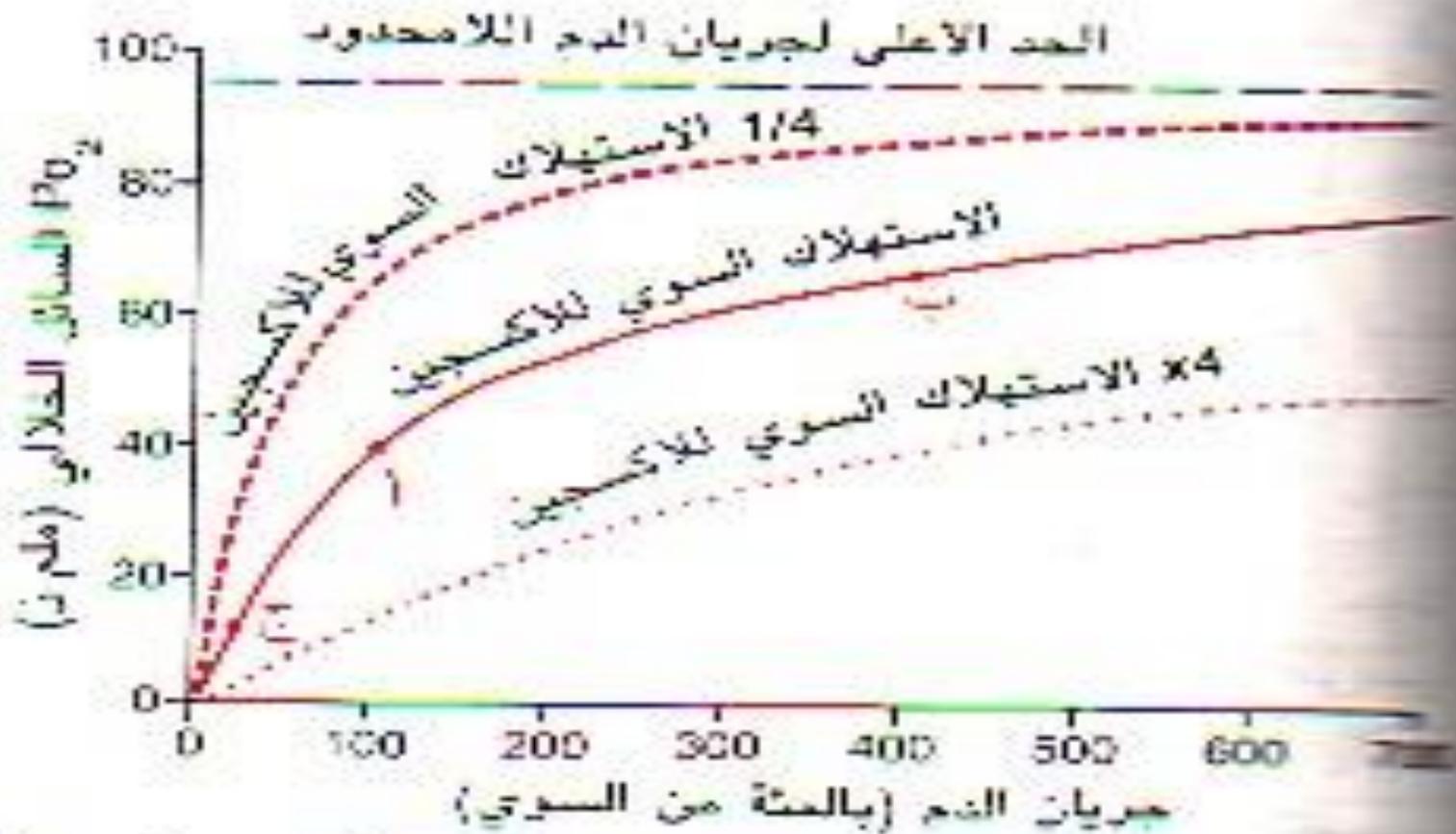
التمرين الرياضي وسرعة جريان الدم على PO2 السائل الخلالي

في الحالة السوية والتي يكون فيها معدل التهوية السنخية مثالية ويصل معدل التنفس من (22 - 12) مرة بالدقيقة مع جريان مثالي للرئتين والبالغ 9 % من الدم الكلي في جهاز الدوران حوالي (450 مليترا) (0.09×5000) . وإن هذه النسب السوية من جريان الدم والتهوية السنخية تجعل الضغط الأوكسجيني PO2 ، في السائل الخلالي (40 ملم ز) عند النقطة (أ) والموضح في الشكل التالي الذي يوضح تأثير جريان الدم وسرعة اسرعة استهلاك الاوكسجين على PO2 في السائل الخلالي أما في حالة أداء نشاط رياضي معتدل فإن ذلك سوف يزيد من كمية وسرعة جريان الدم عبر الأوعية الشعرية الرئوية فيؤدي ذلك الى تقليل الضغط الأوكسجيني الخلالي والموضح في الشكل فعند زيادة استهلاك الأوكسجين وعند انخفاضه وتأثيره على خفض الضغط وارتفاعه يقابلها زيادة في العمليات الأيضية داخل الأنسجة والخلايا أي زيادة في استهلاك الأوكسجين والذي يصل الى عدة أضعاف الحالة السوية لاستمرار العمل العضلي والنتاج هو الآخر عن زيادة الأوكسجين الواصل لتلك الأنسجة عن طريق الدم المؤكسج والموضح في الشكل أعلاه في النقطة (ب) وأخيرا إن تعيين PO2 الخاص بالسائل الخلالي يعتمد بالتوازن على :

1 - سرعة نقل الأوكسجين الى السائل الخلالي بواسطة الدم .

2 - السرعة التي يستهلك بها الأوكسجين في الأنسجة .

يوضح تأثير جريان الدم وسرعة استهلاك الاوكسجين على PO_2 الانسجة



الشكل 4-4. تأثير جريان الدم وسرعة استهلاك الاكسجين على PO_2

انتشار ثاني اوكسيد الكربون من الخلايا العضلية الى السائل الخلالي ومنه الى الشعيرات الدموية ومنه الى الاسناخ الرئوية

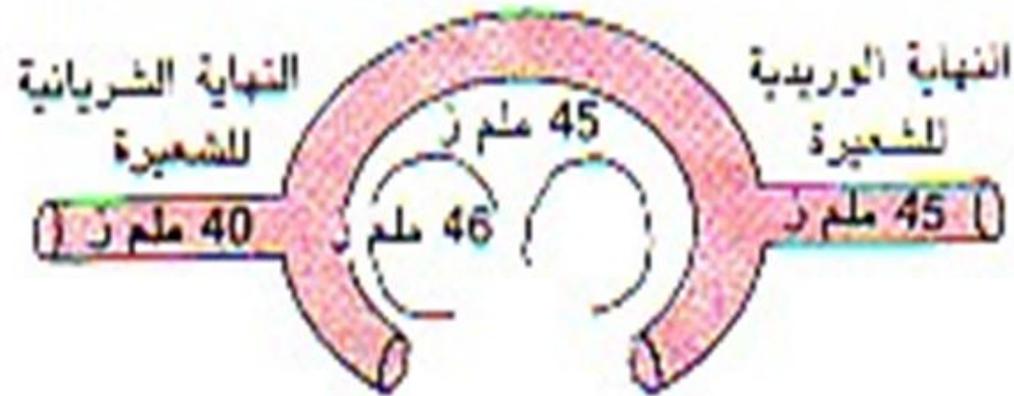
عندما تستعمل الخلايا الاوكسجين يتحول معظمه الى ثاني اوكسيد الكربون ويزيد ذلك من PCO_2 داخل الخلايا . ولهذا ينتشر ثاني اوكسيد الكربون من الخلايا الى السائل الخلالي ومن ثم الى الشعيرات الدموية الذي يحمله بواسطة الدم الى الرئتين حيث ينتشر اليها من الشعيرات الرئوية الى الاسناخ أي ان ثاني اوكسيد الكربون ينتشر عند كل نقطة من نقاط سلسلة النقل الغازي باتجاه معاكس تماما لاتجاه انتشار الاوكسجين . ومع ذلك هناك فرق كبير بين انتشار ثاني اوكسيد الكربون و انتشار الاوكسجين اذ ان انتشار ثاني اوكسيد الكربون ينتشر بسرعة تبلغ حوالي (20 ضعفا) من سرعة انتشار الاوكسجين ولهذا فان

فروق الضغط التي قد يقتضيها انتشار ثاني اوكسيد الكربون هي اقل بكثير من تلك التي يقتضيها انتشار الاوكسجين وهذه الضغوط هي الآتية:

. ويبلغ PCO_2 داخل الخلايا حوالي 46 ملم ز وحوالي 45 ملم ز في السائل الخلالي والموضح في الشكل التالي كما يبلغ PCO_2 الدم الوريدي الذي يصل الأنسجة 40 ملم ز

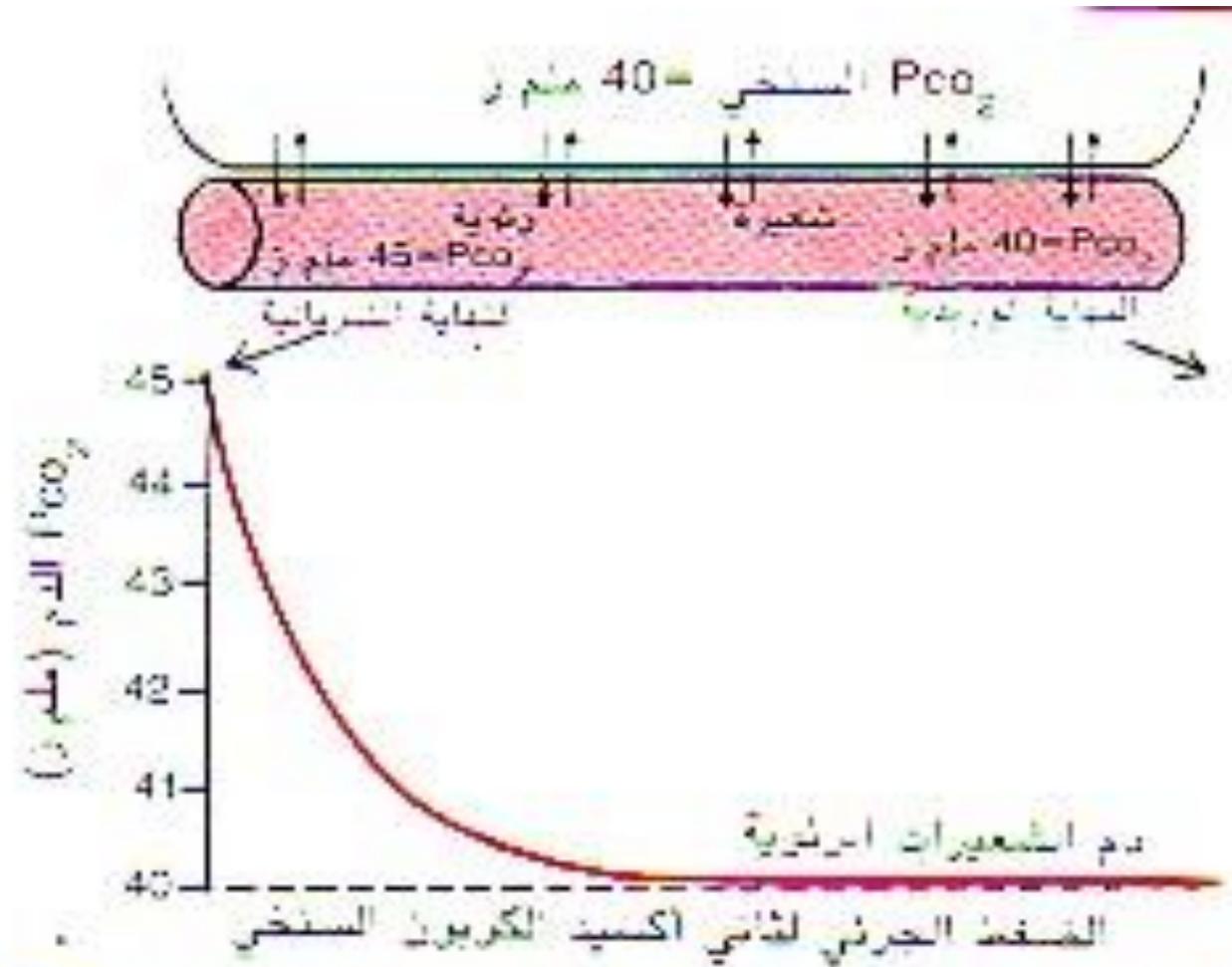
انتقال ثاني اوكسيد الكربون بالدم والشعيرات الذي يدخل الشعيرات الرئوية 45 ملم ز في حين PCO_2 في الهواء السنخي 40 ملم ز وهذا يجعل الفرق 5 ملم ز مما يسهم في انتشار CO_2 من الأوعية الشعيرية الرئوية الى الأسناخ ويوضح ذلك الشكل انتشار ثاني اوكسيد الكربون من الدم الرئوي الى الاسناخ

الانتقال من الخلية الى السائل الخلالي الى الشبكة الشعيرية الوريدية CO2



الشكل 40-5. قبط ثاني أكسيد الكربون بالدم في الشعيرات

انتشار ثاني اوكسيد الكربون من الدم الرئوي الى الاسناخ



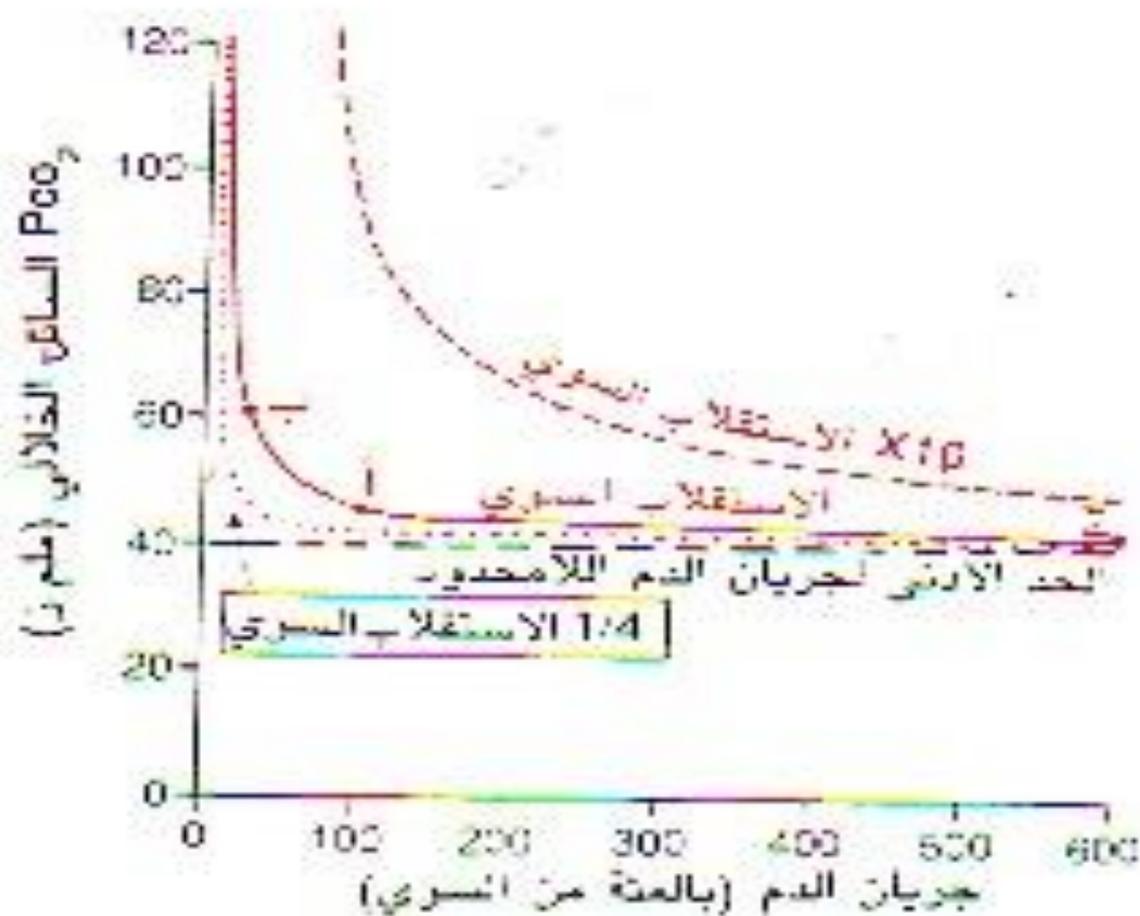
الشكل 40-6. انتشار ثاني اوكسيد الكربون من الدم الرئوي الى الاسناخ
 رسم هذا المنحنى من معطيات هي J. Milhorr & Pulley: Biophys.

التمرين الرياضي وسرعة جريان الدم والعمليات الأيضية على CO2

في السائل الخلالي

هي معاكسة لتأثيرها على PO2 فإن زيادة سرعة الجريان هي تؤدي الى خفض PCO2 عن الحالة السوية من 45 ملم ز الى 10 ملم ز كما إن زيادة سرعة استهلاك الأوكسجين بسبب تضاعف العمليات الأيضية يزيد PCO2 عن الحالة السوية الى درجة عالية . وإن أداء التمارين والنشاطات ذات الشدة المتوسطة والزمن الطويل والذي يرافقه زيادة في جريان الدم مع زيادة التهوية السنخية مع ارتفاع العمليات الأيضية فإن ذلك سوف يزيد من PCO2 داخل الخلية ولكن بنفس الوقت سرعة الجريان للدم المؤكسج يبقى حالة التوازن نسبي في زيادة سرعة عمليات الانتشار بسبب استمرار الفرق بين الضغطين خارج وداخل الخلايا . ولكن عند أداء التمارين والنشاطات ذات السرعة العالية والزمن القصير والتي تعتمد على إنتاج الطاقة بطريقة لاهوائية وبسبب ما تفرضه طبيعة وخصائص الفعالية أو اللعبة فإن ذلك يزيد من سرعة الجريان ولكن ليس كما في التمرين المطول كما ترافقه عمليات الأيضية عالية جدا مما يزيد في زيادة PCO2 داخل الخلايا مع عدم توفير الكمية المناسبة من الدم مما يجعل إبقاء PCO2 هو الآخر عاليا مما يجعل الفروق ليس بكبيرة بين جهتي الانتشار مما يقلل سرعة الانتشار أثناء أداء الجهد ويعد واحدا من أهم أسباب استمرار التنفس بشكل عال الى بعد انتهاء الجهد لسد النقص للدم المؤكسج

إزالة CO2 من الأنسجة العاملة

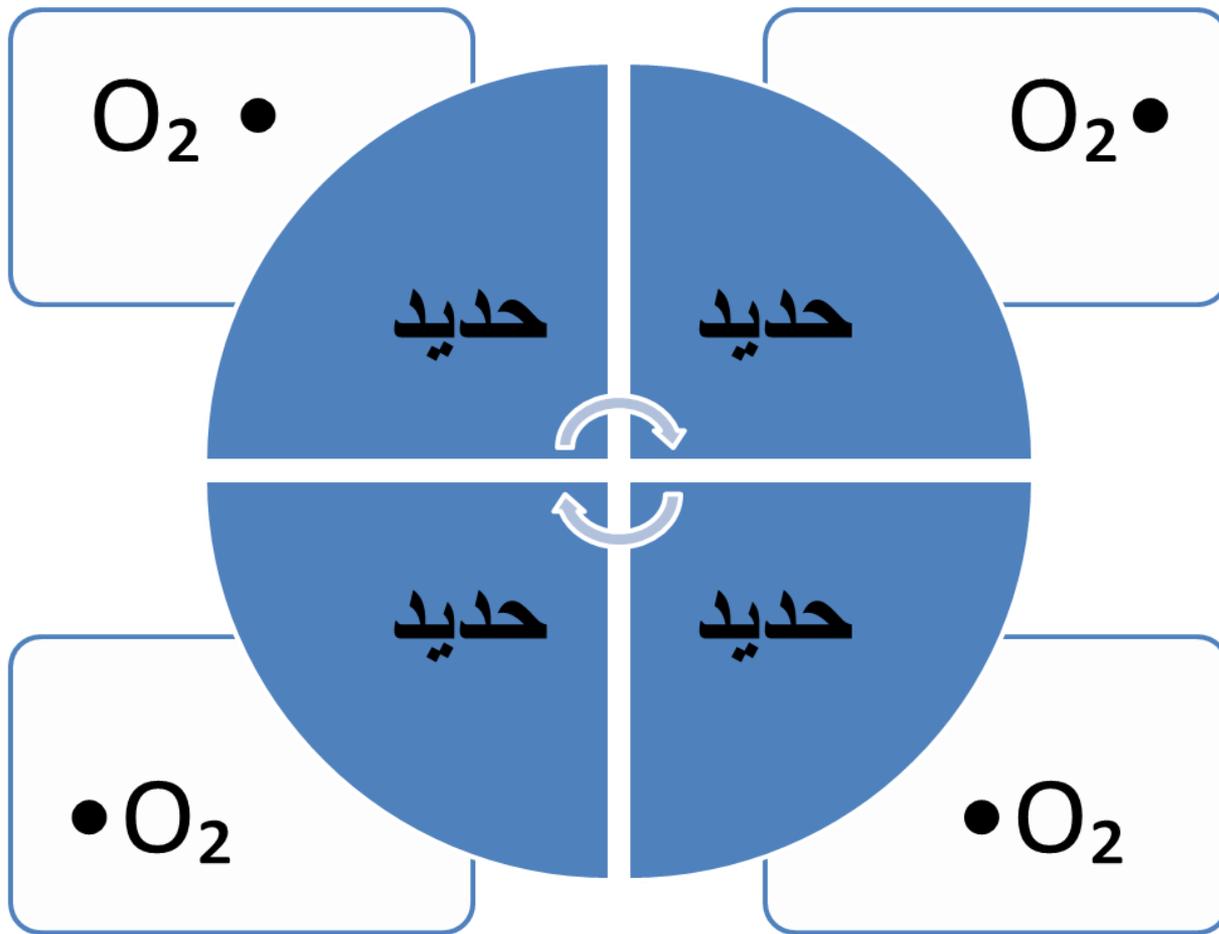


الشكل 7-40. تأثير جريان الدم وسرعة الاستقلاب على P_{CO_2} الأنسجة

نقل الأوكسجين بالدم :

ينقل الأوكسجين بواسطة كل من البلازما (الجزء السائل من الدم) وبواسطة الهيموغلوبين الموجود في خلايا الدم الحمراء. الأوكسجين الذي ينتشر في البلازما لا يخضع لاي تفاعلات كيميائية، فانه يذوب في البلازما وينقل في سائل الجسم . ان المقدار المنقول بهذه الطريقة هو ، بالظروف الطبيعية ، مقدار ضئيل جدا من جهة اخرى ، فان الاوكسجين الذي ينتشر في خلايا الدم الحمراء والذي يتحد كيميائيا مع الهيموغلوبين (Hb) ليشكل ما يسمى بالأوكسي هيموغلوبين (Hbo2) . يحمل في العادة 97 % من الأوكسجين الذي من الرئتين إلى الأنسجة باتحاد كيميائي من الهيموغلوبين في خلايا الدم الحمراء . ويحمل الـ 3 % الباقي في حالة ذوبان في ماء البلازما والخلايا . ولهذا يحمل الدم في الحالات السوية إلى الأنسجة بواسطة الهيموغلوبين بصورة تامة تقريبا .

كما يوضح الشكل التالي منحنى تفارق الاوكسجين - الهيموكلوبين



سعة او حجم الاوكسجين المحمل بالهيموكلوبين Hb

لكي نعرف ونحسب حجم الاوكسجين المحمل بالدم او الهيموكلوبين يجب معرفة حجم الهيموكلوبين في الانسان او الرياضي .

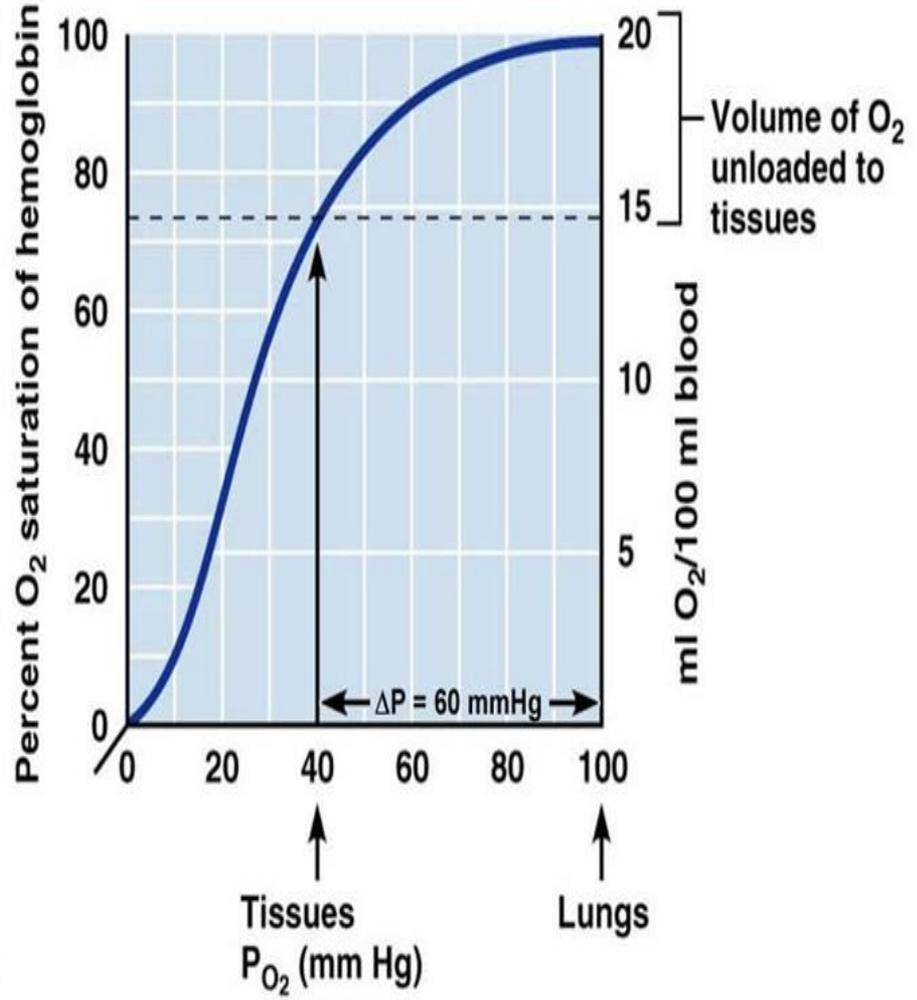
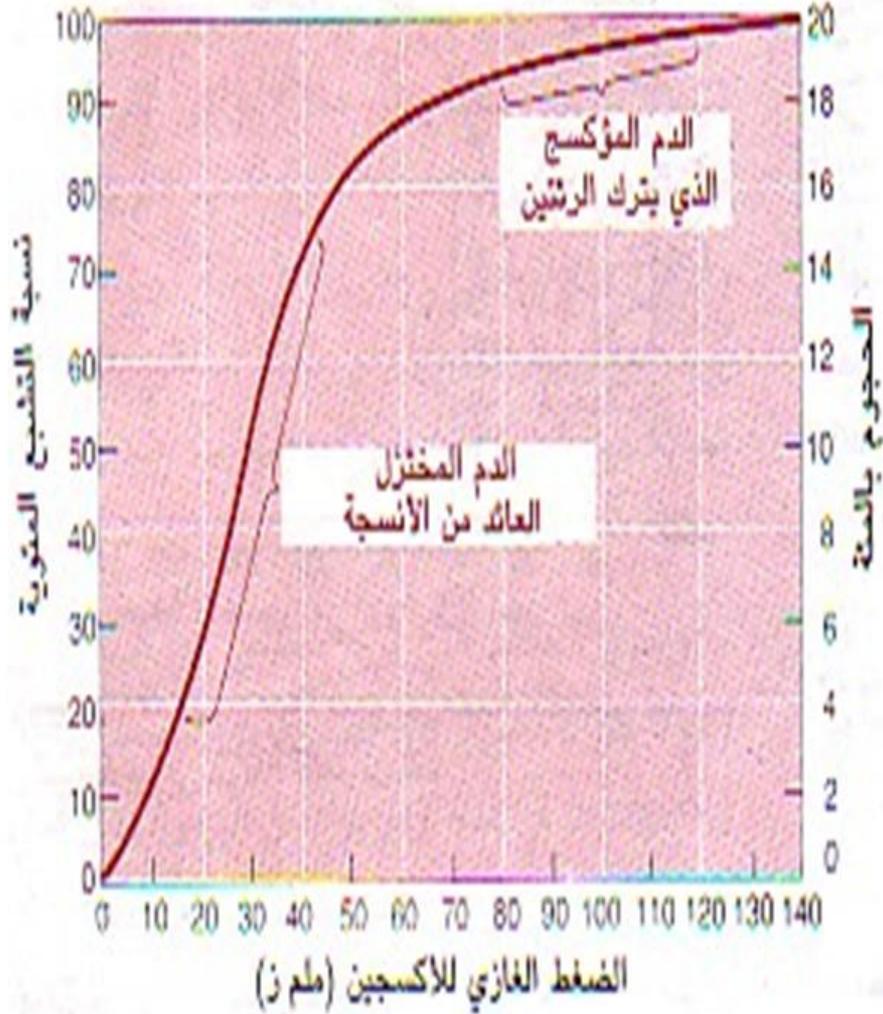
اذ كل واحد غرام هيموكلوبين بالدم يحمل (1.34 مليلتر اوكسجين)
وعليه عندما يبلغ تركيز الهيموكلوبين بالدم هو (15 غرام لكل 100 مليلتر دم)

عليه يكون السعة الاوكسجينية المحملة بالدم هي:

$1.34 \times 15 = 20.1$ مليلتر اوكسجين / 100 مليلتر دم وربما يزداد الى (17 لكل 100 مليلتر) للاعبين المستويات العالية ولاسيما لاعبي التحمل . او يقل الى المصابين بنقص كريات الدم الحمراء او سوء التغذية

منحنى تفارق الأوكسجين – الهيموغلوبين

يبين الشكل تفارق الأوكسجين – الهيموغلوبين الذي يبين الزيادة التدريجية في نسبة الهيموغلوبين المرتبط بالأوكسجين عند زيادة pO_2 والذي يسمى النسبة المئوية لتشبع الهيموغلوبين ولأن للدم في الشرايين في العادة pO_2 يقارب 95 ملم ز فمن الممكن أن نلاحظ من منحنى التفارق بأن تشبع الأوكسجين الاعتيادي للدم الشرياني يبلغ 97 % ومن الناحية الأخرى يبلغ pO_2 الدم الوريدي السوي العائد من الأنسجة حوالي 40 ملم ز وإن تشبع الهيموغلوبين هو حوالي 75 % .

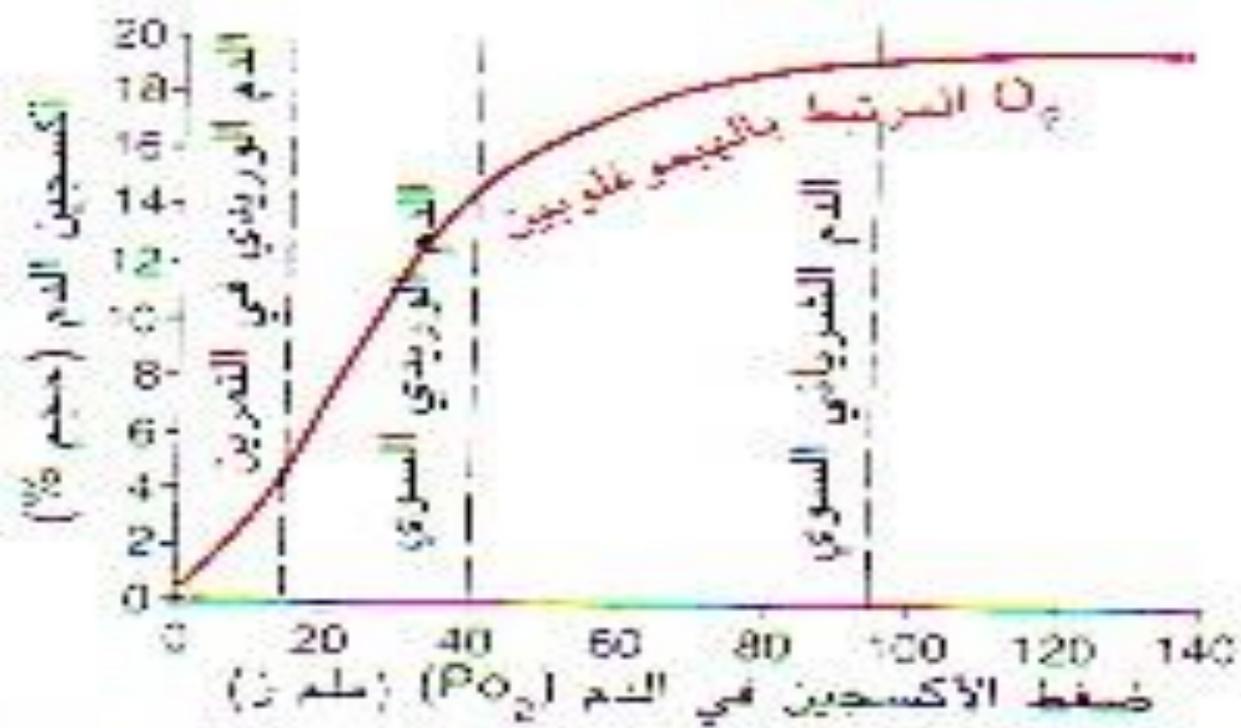


الكمية القصوى من الأوكسجين التي يمكن أن تتحد مع هيموغلوبين الدم

يحتوي دم الشخص السوي حوالي 15 غم من الهيموغلوبين في كل 100 مليلتر من الدم ومن الممكن أن يتحد كل غرام منه مع حوالي 1,34 مليلتر من الأوكسجين كحد أقصى (1.39 مليلتر عندما يكون الهيموغلوبين نقياً كيميائياً ولكنه يقل عن ذلك لوجود الشوائب فيه مثل الميتموغلوبين) . ولهذا يتمكن الهيموغلوبين الموجود في 100 مليلتر من الدم من الاتحاد بالمعدل مع ما يبلغ حوالي 20 مليلتر من الأوكسجين عندما يكون الهيموغلوبين مشبعاً 100 % ويعبر عن ذلك عادة بـ 20 حجماً بالمئة ولهذا فمن الممكن التعبير عن منحنى تفارق الأوكسجين - الهيموغلوبين في الشخص السوي بالتعبير عن حجم الأوكسجين بالمئة كما هو مبين بالمقياس الذي على عوضاً عن تركيز الهيموغلوبين بالمئة .

كمية الأوكسجين التي تحرر من الهيموغلوبين في الأنسجة

تبلغ كمية الأوكسجين الكلية المتحددة مع الهيموغلوبين في الدم الشرياني السوي المشبع لدرجة 97 % حوالي 19,4 مليلترا في كل 100 مليلتر من الدم . عادة ما تقل هذه الكمية عند مرور الدم خلال الشعيرات النسيجية إلى معدل 14,4 مليلترا ($pO_2 = 40$ ملم ز هيموغلوبين مشبع 75 %) ولهذا ففي الأحوال السوية تنقل حوالي 5 مليلترات من الأوكسجين إلى الأنسجة في كل 100 مليلتر واحد من الدم .



الشكل 9-40. تأثير P_{CO_2} الدم على كمية الأكسجين المرتبط بالهيموغلوبين في كل 100 مليتر من الدم.

• نقل الأوكسجين أثناء التمرين الشاق

- تستهلك الخلايا العضلية في التمرين الشاق الأوكسجين بسرعة عالية مما يسبب هبوط po_2 السائل الخلالي إلى مستوى واطئ يصل إلى 15-20 ملم ز وعند هذا الضغط يبقى 4.4 مليترات فقط من الأوكسجين متحدة مع الهيموغلوبين في كل 100 مليتر من الدم كما هو مبين أيضا في الشكل ولهذا فإن $19,4 - 4,4 = 15$ مليتر من الأوكسجين تنقل في كل 100 مليتر من الدم أي ثلاثة أضعاف كمية الأوكسجين التي تنقل في العادة بنفس هذا الحجم من الدم الذي يمر خلال الأنسجة وعندما نتذكر بأن القلب يمكن أن يزداد إلى 6 - 7 أضعاف السوي لدى رياضيي المسافات الطويلة المدربين .

التهووية والتروية والتمرين البدني

العجز الأوكسجيني

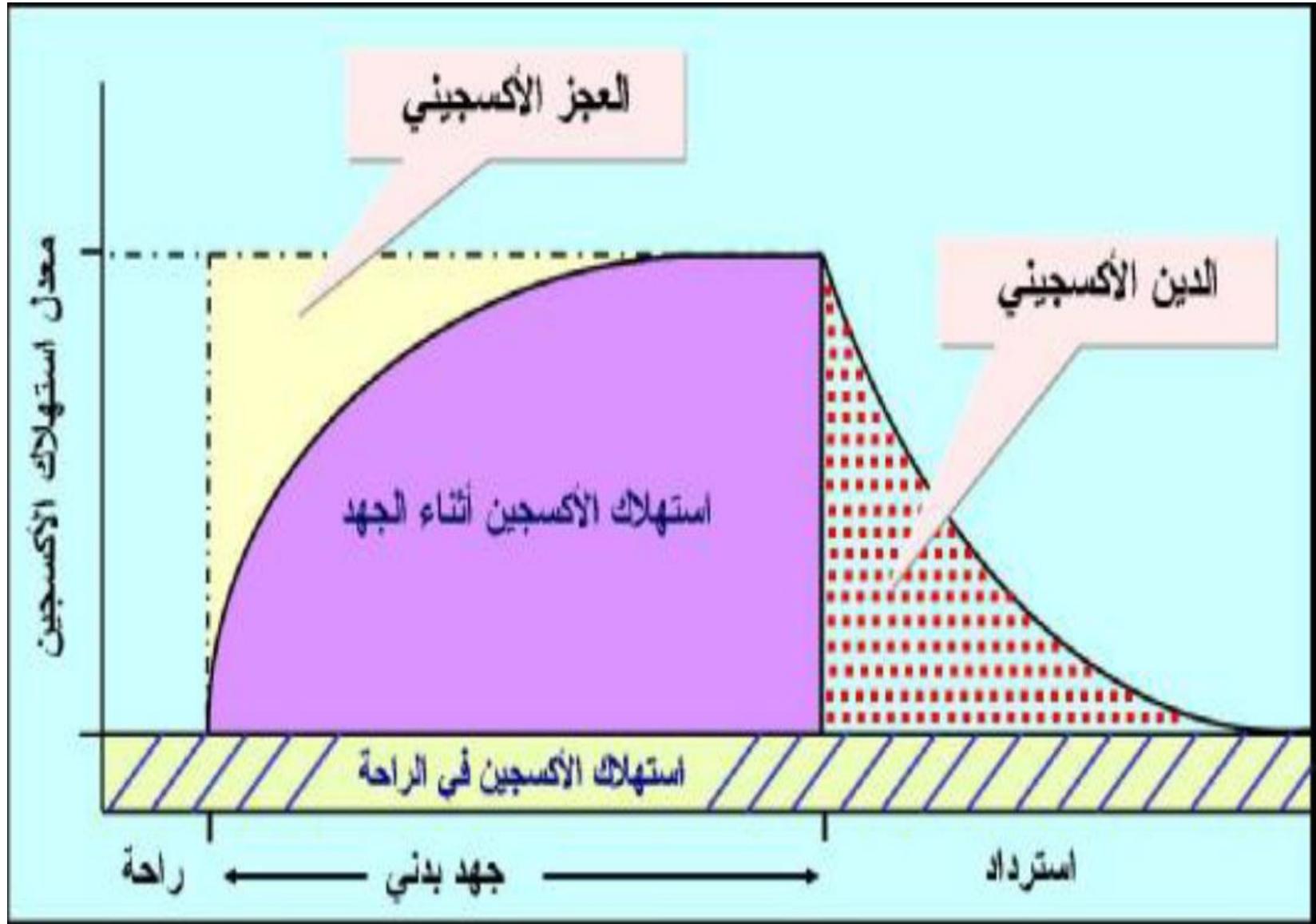
أن العجز الأوكسجيني يمثل الفرق بين ما يتطلبه الجهد البدني من أكسجين وما يستطيع الجسم توفيره من الأكسجين. ويتم تغطية العجز الأوكسجيني من عدة مصادر لا تعتمد على أخذ الأكسجين من قبل الرئتين ومن ثم نقله عبر الجهاز الدوري إلى العضلات العاملة، وتشمل تلك المصادر أنظمة الطاقة اللاهوائية . والمخزون الأوكسجيني في الدم والعضلات. والمعروف أن العجز الأوكسجيني يزداد كلما كان الجهد البدني عنيفاً وقريباً من طاقة الفرد القصوى. وتتمثل المصادر التي تشارك في تغطية العجز الأوكسجيني في التالي:

- 1- ATP ثلاثي فوسفات الأدينوسين المخزن في العضلات
- 2- CP فوسفات الكرياتين
- 3- التحلل اللاهوائي للجليكوجين والجلوكوز المنتهيان بحمض اللبنيك.
- 4- الأوكسجين الملتصق بالميوكلوبين (وهو يشبه الهيموكلوبين لكنه في العضلات بدلاً من الدم).
- 5- الأوكسجين الذائب في سوائل أنسجة الجسم

في بداية الجهد البدني يكون استهلاك الأوكسجين من قبل الجسم في مستوى أقل مما تتطلبه العضلات من أوكسجين بغرض إنتاج الطاقة اللازمة للجهد البدني، أي أن ما يستطيع الجسم توفيره من أوكسجين للعضلات العاملة أقل من احتياجها الفعلي له، الأمر الذي يولد ما يسمى بالعجز الأوكسجيني. والملاحظ أنه كلما كانت شدة الجهد البدني عالية (وبالتالي كان الطلب على الأوكسجين من قبل العضلات العاملة عالياً) كان العجز الأوكسجيني أكبر. وعند ملاحظة منحني استهلاك الأوكسجين أثناء الجهد البدني المعتدل الشدة كما هو موضحاً في الشكل البياني ، نلاحظ أن معدل استهلاك الأوكسجين يزداد بالتدرج حتى الوصول إلى مرحلة الاستقرار، عندها يكون معدل استهلاك الأوكسجين يوازي معدل استخدامه من قبل العضلات العاملة، وبالتالي نلاحظ تقلص العجز الأوكسجيني شيئاً فشيئاً. أما عند القيام بجهد بدني مرتفع الشدة (فوق مستوى العتبة اللاهوائية)، فالمشاهد أن استهلاك الأوكسجين يزداد

بالتدرّيج أيضاً حتى الوصول إلى التعب العضلي، بدون حدوث حالة استقرار لمعدل استهلاك الأوكسجين.

أما بعد التوقف عن الجهد البدني، فالملاحظ أيضاً أن معدل استهلاك الأوكسجين لا يعود إلى مستوى الراحة مباشرة، بل يستغرق وقتاً يقصر أو يطول حتى الوصول إلى مستواه في حالة الراحة، ويعتمد ذلك الوقت على شدة الجهد البدني المبذول واللياقة البدنية للشخص.



(O2 debt) الدين الأوكسجيني

الدين الأوكسجيني : يعني كمية الأوكسجين المستهلكة أثناء فترة الاسترداد (بعد الانتهاء من الجهد البدني) بما يزيد على معدل الاستهلاك في الراحة .ومن الملاحظ أنه كلما كان الجهد البدني مرتفعاً كان كل من العجز الأوكسجيني والدين الأوكسجيني مرتفعاً .ماهي وظيفة الأوكسجين في فترة الاسترداد (الدين الأوكسجيني)؟:

1-يستخدم بعض من الأوكسجين المسترد لإعادة وتعويض نظام الطاقة الاول (ATP-PC) الذي أُستخدم في فترة العجز.

2- يستخدم بعض من الأوكسجين المسترد لإعادة وتعويض نظام الطاقة الثاني من خلال تحويل حامض اللبنيك الى جلايكوجين في الكبد

3- يستخدم بعض من الأوكسجين المسترد لإعادة الأوكسجين الملتصق بالمايوجلوبين الذي أُستخدم في فترة العجز

4- يستخدم بعض من الأوكسجين المسترد لتعويض الأوكسجين الذائب في سوائل أنسجة الجسم لذي أُستخدم في فترة العجز

ما هو سبب ارتفاع مستوى استهلاك الأوكسجين في فترة الاسترداد فوق ما يتطلبه الجسم في ؟

إن العوامل السابقة التي تؤدي إلى ارتفاع معدل استهلاك الأوكسجين في فترة الاسترداد فوق مستوى الراحة كانت مصادر قامت بالمشاركة في تغطية العجز الأوكسجيني، إلا أن العلماء لاحظوا بعد فترة من التجارب العلمية أن مقدار الأوكسجين الزائد عن استهلاك الراحة في فترة الاسترداد أكبر حجماً من الأوكسجين المطلوب لتوفير طاقة لتلك العوامل التي شاركت في سد العجز الأوكسجيني، والسبب في تلك الزيادة هو من أجل إعادة الاتزان الفسيولوجي للجسم من جراء هذا الجهد البدني العنيف، والدليل على ذلك أن الدين الأوكسجيني يزداد مع زيادة شدة الجهد البدني المبذول. ولكن قد يتساءل البعض لماذا على الجسم أن يعيد اتزانه، وما هي تلك العوامل التي تجعل استهلاك الأوكسجين في فترة الاسترداد مرتفعاً بشكل أكبر من الحاجة لتعويض العناصر التي قامت بسد العجز؟ والجواب على ذلك هو أنه بعد الجهد البدني لا تعود الوظائف الفسيولوجية مباشرة إلى مستواها ما قبل الجهد، مما يتطلب الأمر استهلاكاً من الأوكسجين أعلى من مستوى الراحة، وهذه العوامل أو الأسباب تتمثل في ما يلي:

1-الراحة إلى ارتفاع درجة حرارة الجسم من جراء الجهد البدني، ومع ارتفاع درجة حرارة الجسم الداخلية فإن معدل الأيض في الجسم يرتفع مما يعني زيادة في استهلاك الأكسجين خلال فترة الاسترداد.

2-من الملاحظ أيضاً أن معدل ضربات القلب وكذلك نتاج القلب لا يعودان إلى مستواهما في الراحة بعد التوقف من الجهد البدني مباشرة، مما يعني الحاجة للأكسجين لتوفير الطاقة اللازمة لعضلة القلب أثناء عملها في فترة الاسترداد.

3-من الملاحظ كذلك أن معدل التنفس وحجم التهوية الرئوية يضلان مرتفعين لفترة من الوقت بعد التوقف من الجهد البدني، مما يعني أن العضلات التنفسية تعمل فوق مستوى الراحة، وبالتالي سوف تحتاج طاقة تأتي من استهلاك الأكسجين أثناء فترة الاسترداد.

4-استمرار معدل هرموني الإبينيفرين والنورإبينيفرين (فوق مستواه في الراحة) يقود إلى ارتفاع معدل الأيض في الجسم، وبالتالي إلى زيادة استهلاك الأكسجين فوق مستوى الراحة خلال فترة الاسترداد.

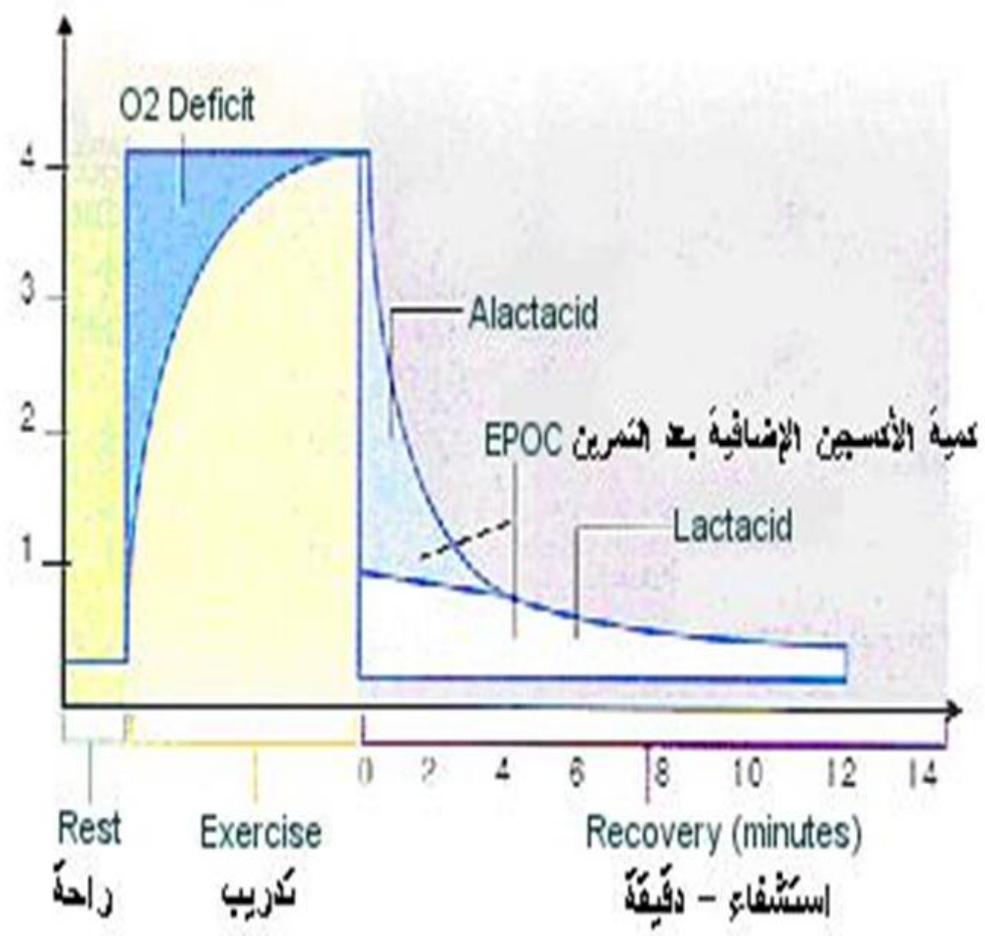
5-ن عمليات إعادة توازن أيونات الكالسيوم والبوتاسيوم والصوديوم بعد القيام بجهد بدني عنيف تحتاج إلى طاقة يتم توفيرها عن طريق الأكسجين، مما يجعل مستواه يزيد عن مستوى الراحة خلال فترة الاسترداد..

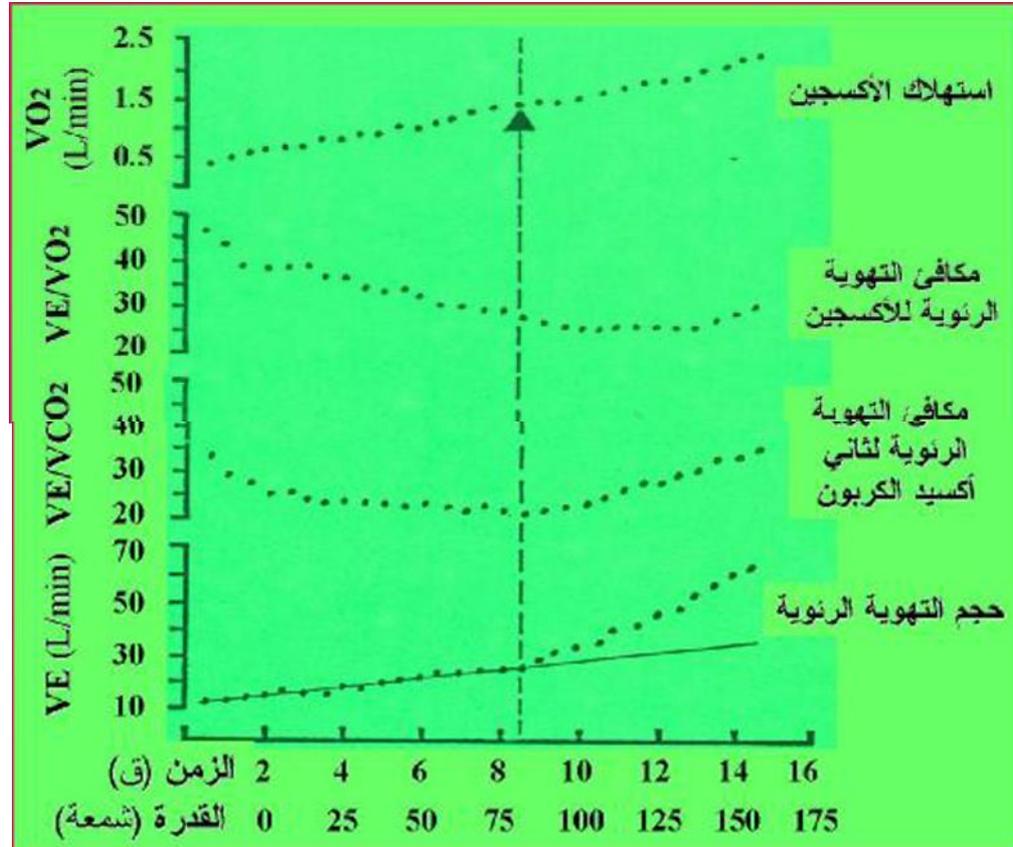
أنواع الدين الأوكسجيني:

ينقسم الدين الأوكسجيني إلى قسمين أحدهما يتم فيه استعادة تكوين مصادر للطاقة الفوسفاتية التي استنفدت , والأخر يتم فيه التخلص من حامض اللاكتيك , لذا يسمى القسم الأول بالدين الأوكسجيني بدون اللاكتيك **alactacid Oxygen Debt** ويسمى الآخر بالدين الأوكسجين لحامض اللاكتيك **aLactacid oxygen Debt** ويلاحظ إن سرعة استهلاك الأوكسجين خلال مدة الاستشفاء لا تظل على مستوى ثابت , إذ أنها خلال أول دقيقتين إلى ثلاث دقائق تنخفض بدرجة كبيرة جدا ثم تنخفض تدريجيا بعد ذلك حتى تصل إلى المستوى الثابت . ويسمى الجزء الأول سريع الانخفاض في الاستهلاك الأوكسجين في الدين الأوكسجيني بدون حامض اللاكتيك , بينما يكون الجزء الأبطأ هو الدين الأوكسجيني لحامض اللاكتيك , وقد أطلقت هذه التسمية لأن الجزء الأول يمكن أن يتم بدون وجود حامض اللاكتيك ويكون الهدف منه تعويض مصادر الطاقة الفوسفاتية , بينما يكون الجزء الثاني أطول مدة ويرتبط بوجود حامض اللاكتيك نتيجة الجلزمة اللاهوائية .

• ويبلغ الحد الأقصى للدين إلكسجينى بدون اللاكتيك ما بين 2-4 لترات للذكور غير المدربين بينما يزيد عن ذلك بالنسبة للاعبين المدربين , وعلى سبيل المثال فقد سجل لاعبو التجديف دينا اوكسجينيا بدون اللاكتيك مقدار ه 6 لترات , ومما لاشك فيه إن لاعبي السرعة يحتاجون إلى تنمية القدرة اللاهوائية المرتبطة بالدين إلكسجينى بدون اللاكتيك أكثر من غيرهم , ويمكن للمدرب قياس كفاءتهم فى ذلك باستخدام احد الاختبارات البسيطة كاختبار الوثب العمودى .

إما بالنسبة إلى الدين إلكسجينى لحامض اللاكتيك فانه يختلف فى حجمه لدى اللاعبين تبعاً لشدة أداء التدريبات المستخدمة , فنجد انه كلما زادت شدة الأداء زاد حجم الدين إلكسجينى اللاكتيكي والعكس صحيح , ويبلغ مقدار الحد الأقصى له ما بين 5-10 لترات , وهذا معناه زيادة مقدار الدين إلكسجينى اللاكتيكي عن غير اللاكتيكي إلا إن الأخير تتم استعادته بصورة أسرع





العتبة اللاكتيكية

البعض يطلقون عليها العتبة الفارقة اللاوكسجينية أو نقطة انكسار التهوية الرئوية والمصطلح الأكثر دقة وشيوعاً في **Heak** هيك الوقت الحاضر هو عتبة اللاكتيك.

ماذا تعنى عتبة اللاكتيك :-

هي الحد الفاصل بين الانتقال من التدريب الاوكسجيني الى التدريب اللاوكسجيني وعند تجمع حامض اللاكتيك الى اقل من (4) ملي مول من حاض اللاكتيك فان التدريب اوكسجينيا اما اذا زاد عن ذلك فان التدريب دخل النظام اللاوكسجيني .اي الانتقال من عمليات التمثيل الغذائي الأوكسجيني إلى عمليات التمثيل الغذائي اللاوكسجيني وفسولوجيا هي أن درجة تراكم حامض اللاكتيك في دم الرياضي أثناء الأداء هي أكبر من درجة التخلص منه أي أن المنظمات الحيوية في جسم الرياضي والتي تقوم بدور التخلص من حامض اللاكتيك في الدم لا يستطيع التخلص منه أثناء الأداء نتيجة لارتفاع شدة الأداء واستمرارية وزيادة عمليات التمثيل الغذائي اللاوكسجيني (تحلل الكلوكوز لاوكسجينا) والذي ينتج عنه تراكم حامض اللاكتيك في العضلات ثم ينتقل إلى الدم وطالما بقي تجمع حامض اللاكتيك أكبر من درجة التخلص منه فإن التدريب يعتبر لاوكسجيناً .أما إذا كانت المنظمات الحيوية تستطيع التخلص من حامض اللاكتيك أثناء الأداء وعدم ارتفاعه أكثر من (٤) ملي مول في دم اللاعب فإن هذا التدريب يعتبر تدريباً أوكسجيناً .

ويرى أن العتبة اللاكتيكية لا تحدد بقيمة ثابتة لكل اللاعبين وهي (4) ملي مول بل هي عتبة فردية بمعنى أنها قد تزيد أو تقل قليلاً عن هذه القيمة تبعاً لخصائص الرياضي وحالته التدريبية وهذه يمكن معرفتها من خلال الاختبارات البدنية والفسولوجية التي تحدد القيمة التي يبدأ بعدها تجمع حامض اللاكتيك بدرجة أكبر من درجة التخلص منه كيفية تحديد العتبة اللاكتيكية بالعاب القوى يمكن تحديد العتبة اللاكتيكية من خلال ما يلي :-
أولاً :-

- 1- عندما يصل معدل ضربات القلب أثناء الجهد البدني من (170-190 ض/د) وهي تشكل من (85-95%) من اقصى معدل للضربات القلب (
- 2- عندما يصل الحد الأقصى لاستهلاك الأوكسجين (80-100%) من الحد الاقصى للاستهلاك الاوكسجين
- 3 - عندما يرتفع تركيز حامض اللاكتيك في الدم) ٤ (ملي مول لكل لتر دم وهو يعادل) ٣٦ (ملجم كل ١٠٠ سم من الدم .

الاستهلاك الأقصى للاوكسجين

تعريف الاستهلاك الأقصى للاوكسجين: هو أقصى معدل أو أعلى كمية من الأوكسجين التي يمكن للرياضي خاصة استهلاكها في الدقيقة الواحدة أثناء الجهد البدني. ويعبر عنها بالحجم المطلق لتر من الأوكسجين في الدقيقة، لتر/دقيقة وأحيانا ينسب إليها وزن الجسم بالكيلوغرام فيكون الناتج مليلتر/كغ/د

أهمية الحد الأقصى لاستهلاك الأوكسجين:

- يعد مؤشرا لمدى تكيف الوظائف الفسيولوجية المختلفة للمتطلبات الايضية (التمثيل الغذائي) المتزايدة للتمرين والجهد
- يعد معيارا لقياس اللياقة البدنية وخاصة عنصر التحمل الهوائي، فزيادته تعني تمتع الفرد بلياقة بدنية عالية.
- بمعرفته يمكن تحديد شدة التدريب البدني، إذ تقدر النسبية للتدريب بناءا على الحالة الراهنة للياقة البدنية والصحية للفرد فضلا عن حالته التدريبية السابقة.
- يعد مقياسا للطاقة القصوى المنتجة بالطريقة الهوائية
- أفضل مؤشر لكفاية الجهاز الدوري والتنفسي والعضلي.

والرجال يتمتعون بقابلية اعلى في هذه الصفة وتصل المرأة إلى اعلى قابلية اوكسجينية قبل الرجل ويمكن ملاحظة ان الرياضيين يستطيعون المحافظة على هذه الصفة لفترات متقدمة من العمر وتقل لديهما بعد عمر الثلاثين ويزداد الحد الاقصى لاستهلاك الاوكسجين بزيادة :-

- 1- نسبة O_2 في الهواء المحيط.
 - 2- السعة الحيوية.
 - 3- نسبة الهيموكلوبين في الدم.
 - 4- قابلية القلب والدورة الدموية.
 - 5- قابلية الانسجة على التشبع.
 - 6- عملية التمثيل الغذائي.
 - 7- معدل تبادل الغازات في الحويصلات الرئوية.
- وهناك ثلاثة أجهزة رئيسية في الجسم تكون مسئولة عن هذا المؤشر (التنفسى والدورى والعضلى)

علامات الوصول الى الحد الاقصى للاستهلاك الاوكسجيني

علامات الوصول للحد الأقصى لاستهلاك الأوكسجين هي:

1. عدم زيادة استهلاك الأوكسجين عند زيادة شدة الحمل البدني
2. زيادة ضربات القلب عن 180 ضربة في الدقيقة .
3. زيادة عدد مرات التنفس لدرجة لا يستطيع الفرد معها الاستمرار في إداء
4. زيادة تركيز حامض اللاكتيك عن 80% ملليجرام/لتر؟؟

تتمية الحد الأقصى لاستهلاك الأوكسجين

يمكن تحسين مستوى الحد الأقصى لاستهلاك الأوكسجين دون استخدام الشدة القصوى للحمل البدني حيث يبلغ الإنسان أقصى حد لاستهلاك الأوكسجين عندما يصل إلى 95% من أقصى معدل للقلب وعند مستوى 80% من زمن قطع المسافة فإذا علمنا أقصى معدل للقلب يمكن تحديد معدل القلب أثناء التدريب وليكن 200 ضربة / دقيقة وذلك باستخلاص 95% من هذا الرقم عن طريق $200 \times 0.95 = 190$ ضربة / دقيقة أو إذا عرف زمن قطع المسافة بأقصى سرعة نستخدم 80 من هذه السرعة . من خلال المعادلة التالية :
عداء انجازه القصوي بركض 400م هو (48 ثانية) فما هي نسبة 80% من مستواه لتطوير الحد الاقصى لاستهلاك الاوكسجين ؟

• 48ثا

• _____ = 60 ثانية

• 0.80