المحاضرة الأولى

تهدف هذه المحاضرة إلى:

- **التعرف على الفوائد التطبيقية لدراسة الطاقة**
- **التعرف طرق على صرف الطاقة**
- **التعرف على كيفية قياس الطاقة**
- **استهلاك الطاقة و النشاط البدني**

1- طاقة الأنشطة البدنية.

الكائن الحي هو مقر التفاعلات الكيميائية التي تطلق الطاقة منها الغذاء الذي يحتوي على الطاقة الكامنة والأكسجين، تعد هذه الطاقة ضرورية للحياة الخلوية ، حيث يتم إطلاقها بكميات متغيرة للغاية اعتمادًا على عوامل إما داخلية ، خاصة بالفرد ، أو خارجية ، مرتبطة بالبيئة، ومن بين هذه العوامل ، يعتبر النشاط العضلي هو الأهم: فهو في الواقع يمكن أن يتضاعف إلى 20 ضعف الطاقة المنفقة خلال الراحة عند الانسان.

2- الفوائد التطبيقية لدراسة الطاقة الحيوية

- **تصنيف الأنشطة الرياضية وفقا لنظم الطاقة**
- **تصميم برامج التدريب المختلفة وفقا لتنمية كفاءة نظم الطاقة بمستوياتها المختلفة**
- تصميم برامج الاستشفاء أثناء التدريب و بعده باستخدام الوسائل المختلفة
- تنظيم تغذية الرياضي سواء قبل أو أثناء أو بعد التدريب لضمان استمرارية الإمداد بالطاقة , و كذلك سرعة تعويض مصادرها.
- تحسين مقاومة التعب أثناء التدريب و المنافسة.
- ضبط وزن الجسم من خلال البرامج الغذائية و اختيار نوعية التدريبات التي تحقق ذلك.
- الاختبارات و المقاييس الفسيولوجية لنظم الطاقة

3- استهلاك الطاقة عند الإنسان

- **طرق وكيفية قياس الطاقة المصروفة من قبل الجسم**

إن جميع العمليات الحيوية داخل جسم الإنسان يتم فيها استخدام الطاقة وينتج عنها حرارة. ويقوم الجسم بالتخلص من الحرارة المنبعثة من جراء عمليات الأيض هذه بوسائل عدة، منها الحمل، والإشعاع، والتوصيل، وتبخر العرق. والمعروف أن تحويل الطاقة الكيمائية داخل العضلات (الناتجة من التمثيل الغذائي داخل الجسم) إلى طاقة ميكانيكية (شغل عضلي) يتم بكفاءة لا تزيد عن 25%، مما يعني أن ما يربو على 75% من الطاقة الكيمائية داخل الجسم تتحول إلى حرارة يتم التخلص منها من قبل الجسم. ويعتبر معدل إنتاج الحرارة في الجسم مؤشراً دقيقاً على معدل العمليات الأيضية (الحيوية) التي تجري داخل الجسم، أي مؤشراً لمعدل الطاقة المصروفة من قبل الجسم . وعن طريق عملية التنفس الخلوي بستخدم الجسم كل من المواد الدهنية والكربوهيدراتية (وبنسبة ضئيلة جداً يمكن استخدام الأحماض الأمينية) في عمليات إنتاج الطاقة، وذلك من خلال حرقها في وجود الأكسجين، ويكون ناتج هذا التفاعل هو غاز ثاني أكسيد الكربون والماء. إن مقدار الطاقة الحرارية المنتجة من عملية التنفس الهوائي عند حرق مول واحد من الجلوكوز (بواسطة الأكسجين) تقدر بما يساوي 686 كيلو سعر حراري. هذه الحرارة المنبعثة من التحلل الجلوكوزي ترتبط ارتباطاً وثيقاً مع مقدار الوقود المستخدم (في هذه الحالة

الجلوكوز) وبالتالي مقدار الأكسجين المستخدم، وعليه فكلما كان الأكسجين المستخدم في حرق الوقود أكبر كانت الطاقة الحرارية المنبعثة من التفاعل أكثر.
ومن الطرق الأكثر استخدامًا من اجل تحديد التمثيل الطاقوي عند الانسان هي قياس المسعر التنفسي غير المباشر، الذي يقيس على فترات قصيرة (من بضع دقائق إلى بضع ساعات) التبادلات الغازية إما في دائرة مغلقة (spirographe de Benedict)، أو بدائرة مفتوحة وبسهولة أكبر أثناء المجهود.
يتم تزويد الفرد بقطعة على فمه (embout buccal) أو أقنعة بها مجموعة من صمامات شهيق وزفير، يتنفس الشخص هواء المحيط ويرمي غاز الزفير في حاوية محكمة الإغلاق (sac de caoutchouc, gazomètre de Tissot). يسهل عملية حساب استهلاك الأكسجين (O2) وإزالة ثاني أكسيد الكربون(co2) كل من قياس حجم الزفير في وحدة الزمن باستخدام مقياس الغاز(gazomètre ou pneumotachograph) وتحديد اجزاء زفير الأكسجين وثاني أكسيد الكربون (بطرق كيميائية أوفيزيائيَّة) ، حاليا توجد ا أجهزة مدمجة تقيس تلقائيًا تبادل الغازات ، مما يسهل سير الاختبارات، ومن الممكن تقييم إستهلاك الطاقة من خلال قياسات معدل ضربات القلب.
ولقياس الطاقة الحرارية المنبعثة مباشرة من الجسم، يلزمنا استخدام ما يسمى بمقياس الطاقة الحرارية المباشر(Direct calorimeter) ، أي قياس الطاقة الحرارية المنبعثة مباشرة من الجسم، وهذا الإجراء يتطلب وجود غرفة خاصة مجهزة لهذا الغرض، بحيث تكون معزولة عن المحيط الخارجي، ويتم بداخلها قياس مقدار الحرارة المنبعثة من الجسم، سواء كان ذلك أثناء الراحة أم أثناء النشاط البدني، وعادة ما تكون هذه الغرفة المعزولة عن الوسط الخارجي والمجهزة بأنابيب من الداخل يمر فيها تيار مائي ويقياس الفرق بين درجة حرارة تيار الماء الداخل إلى الغرفة والتيار المائي الخارج منها، ومن ثم يتم تحويل ذلك إلى سعرات حرارية، حيث يدل انخفاض درجة حرارة لتر واحد من الماء درجة مئوية واحدة على فقدان كيلو سعر حراري واحد (كذلك فإن انخفاض درجة حرارة 10 لترات من الماء في الأنابيب المحيطة بالغرفة مقدار نصف درجة مئوية هو مؤشر على فقدان خمسة كيلو سعرات حرارية).
علماً بأنه يتم الأخذ بالحسبان الحرارة المنبعثة من بخار الماء في تيار الهواء الداخل إلى الغرفة .
وفي حالة استخدام غرفة قياس الحرارة المنبعثة من الجسم أثناء الجهد البدني باستخدام السير المتحرك على سبيل المثال، فيتم أولاً حساب الطاقة الحرارية المنبعثة من تشغيل جهاز السير المتحرك وحده، وطرحها فيما بعد من الطاقة الحرارية الكلية المنبعثة أثناء الجهد البدني، لكي نحصل على الطاقة الفعلية التي انبعثت من قيام المفحوص بالجهد البدني داخل الغرفة.
وفي وقتنا الحاضر، لا يوجد في كل دول العالم إلا مجموعة محدودة من غرف القياس المخصصة لرصد الحرارة المنبعثة من الجسم، وتستخدم بشكل رئيسي في أغراض البحث العلمي. وفي الآونة الأخيرة حدث تطور في قياس الحرارة المنبعثة من الجسم عن طريق تصنيع بذلة تحتوي أنابيب يمر فيها الماء، ويمكن لبسها من قبل المفحوص، وبالتالي قياس الحرارة المنبعثة منه سواء أثناء الراحة أو أثناء النشاط البدني، لكنها تظل أكثر تعقيداً مما يمكن تصوره، وبالتالي فهي ليست في الواقع طريقة عملية عدا لأغراض البحث العلمي.
ونظراً لصعوبة استخدام الطريقة المباشرة لقياس الحرارة المنبعثة من الجسم، يتم اللجوء إلى ما يسمى بالطريقة غير المباشرة لقياس الحرارة المنبعثة من الجسم(Indirect calorimetry) ، ومن ذلك قياس معدل استهلاك الأكسجين وإنتاج ثاني أكسيد الكربون من قبل الجسم، سواء كان ذلك خلال الراحة أم أثناء الجهد البدني، فمن المعروف أن الأكسجين المستنشق يتم استخدامه من قبل الجسم في حرق الوقود (المواد الكربوهيدراتية، والدهون، وإلى حد أقل البروتينات) من خلال عمليات أيضية هوائية (عمليات

التمثيل الغذائي داخل الخلايا)، ويتم إنتاج ثاني أكسيد الكربون كناتج أيضي يخرج عن طريق هواء الزفير، بالإضافة إلى إنتاج الماء. ويمكن بدقة ويسر تقدير الطاقة المصروفة أثناء الجهد البدني من خلال معرفة معدل استهلاك الأكسجين ومقدار المعامل التنفسي الخلوي، خاصة في حالة الاستقرار Steady) (state، وهو حاصل قسمة معدل إنتاج ثاني أكسيد الكربون على معدل استهلاك الأكسجين، ويرمز له بالرمز(RQ) ، حيث يكون المعامل التنفسي الخلوي يساوي 1 صحيح في حالة حرق الكربوهيدرات 100% (6 ÷ 6 =1)، وحوالي 0.7 في حالة حرق الدهون 100% (16 ÷ 23 + 0.695).

وتتناسب في الواقع عملية استخدام الأكسجين تناسباً طردياً مع الطاقة المنتجة من قبل الجسم . كما نلاحظ أثناء الجهد البدني المتدرج وجود علاقة خطية قوية بين استهلاك الأكسجين وشدة الجهد البدني المبذول سواء كان ذلك الجهد محسوباً بالجول أو بمقدار سرعة الجري. وتشير نتائج الدراسات التي أجريناها في مختبر فسيولوجسا الجهد البدني أن معدلات استهلاك الأكسجين وكذلك الطاقة المصروفة لشاب رياضي أثناء قيامة بالجري على السير المتحرك عند سرعات مختلفة تراوحت من 10 كم في الساعة إلى 16 كم في الساعة، بلغت خلالها مقادير الطاقة الحرارية التي تم صرفها من قبله أثناء الجري من 7.9 كيلو سعر حراري في الدقيقة عند السرعة الدنيا إلى 12.7 كيلو سعر حراري في الدقيقة عند السرعة العليا.

وفي الأعوام القليلة الماضية حدث تطوراً كبيراً في تقنية أجهزة قياس استهلاك الأكسجين، فمع توافر أجهزة صغيرة الحجم وسهلة الحمل تقوم بتخزين بيانات استهلاك الأكسجين وإنتاج ثاني أكسيد الكربون ليتم تحليلها لاحقاً، أصبح بالإمكان استخدام هذه التقنية ميدانياً وإجراء قياسات استهلاك الأكسجين وتقدير الطاقة المصروفة للرياضيين وللعديد من منسوبي المهن الأخرى، بواسطة أجهزة قياس استهلاك الأكسجين المتنقلة.

استخدام الماء غير المشع كمقياس لمعدل الطاقة المصروفة وهي إحدى الطرق المستخدمة في قياس الطاقة المصروفة من قبل الشخص، والتسمية الحقيقية للإجراء هي في الواقع استخدام الماء الموسوم بنظيري الأكسجين والهيدروجين(Doubly-labeled water) ، ونظراً لطول الترجمة، فقد استخدمنا بديلاً عنها كلمة غير المشع، وهذا في الواقع صحيح، حيث أن نظيري كل من الأكسجين والهيدروجين المستخدمين في هذه الطريقة يعدان من النظائر المستقرة (Stable isotopes) وبالتالي فليس هناك خطورة تذكر من استخدامهما لقياس مستوى النشاط البدني، فالعنصران مستقران وغير مشعين، ويتم الحصول عليهما من خلال شركات تجارية تنتج النظائر. والنظير يشبه كيميائياً العنصر الأصلي، لكن كتلته الذرية (Atomic mass) مختلفة قليلا، هذا الاختلاف في الكتلة الذرية هو الذي يجعل من الممكن تعقبه داخل الجسم وتمييزه عن العنصر الأصلي .

وطريقة استخدام الماء غير المشع لقياس الطاقة المصروفة تعد إجراء كيموحيوي يتم من خلاله مراقبة معدل العمليات الأيضية داخل الجسم، وبالتالي تحديد الطاقة الكلية المصروفة خلال كامل المدة التي تم فيها القياس. وفكرة الطريقة سهلة، حيث يقوم الشخص بشرب الماء الموسوم بنظيري الهيدروجين (2 (Hوالأكسجين (18(O، ومن هنا جاءت التسمية بالوسم المزدوج .(Doubly labeled) ونظير الهيدروجين يسمى أحياناً دوتيريوم .(Deuterium) وخلال ساعات بعد شرب الماء غير المشع يمتزج هذان النظيران بسوائل الجسم. إن نظير الهيدروجين يخرج بعد ذلك من الجسم على هيئة ماء (2 (H2O من خلال البول والعرق والتنفس، أما نظير الأكسجين فيخرج على هيئة ماء (H2O18) وعلى هيئة ثاني أكسيد الكربون .(C 18O2) ويتم أخذ عينات من البول من المفحوص قبل شرب الماء غير المشع، ثم عينة أخرى في صباح اليوم التالي، وأخيراً عينة في نهاية التجربة، ومن خلال الفرق بين معدل

التخلص من هذين النظيرين يتم تحديد كمية ثاني أكسيد الكربون المنتجة من قبل الجسم خلال زمن التجربة (الذي تتراوح من أسبوع إلى أسبوعين)، وبالتالي تقدير استهلاك الأكسجين.
وهذه الطريقة لوحدها تعطينا مؤشراً لكمية الطاقة الكلية المصروفة خلال مدة التجربة، ثم يتم قسمة تلك الطاقة الكلية على عدد أيام القياس، لنحصل على الطاقة الكلية بالكيلو سعر حراري في اليوم. وتمثل هذه الطاقة مجمل الطاقة المصروفة من قبل الجسم، بما في ذلك الطاقة المصروفة في العمليات الحيوية في الراحة (RMR) والطاقة المصروفة في استهلاك الطعام والطاقة المصروفة أثناء النشاط البدني اليومي، بدون أي تمييز يذكر بينهما. ومن أجل معرفة الطاقة المصروفة في الأنشطة البدنية يلزم أن يتم تقدير الطاقة المصروفة أثناء الراحة والطاقة المصروفة في استهلاك الطعام ثم طرحهما من مجمل الطاقة الكلية، أو القيام بقياس الطاقة في الراحة بواسطة أجهزة قياس الأكسجين، ومن ثم تحديد الطاقة المصروفة من جراء النشاط البدني اليومي.
ويعد استخدام الماء غير المشع من الطرق المباشرة لقياس الطاقة المصروفة لدى الفرد، وتستعمل هذه الطريقة كثيراً كمحك لبعض الطرق الأخرى المستخدمة لقياس النشاط البدني. والمعروف إن هذا الإجراء لا يتطلب جهداً كبيراً من المفحوص وهو لا يؤدي إلى تغيير سلوك الفرد ونشاطه البدني، كالمراقبة المباشرة مثلاً. إلا أن من عيوب هذه الطريقة أنها مكلفة نسبياً، خاصة إذا تطلب الأمر إجراءها على عدد كبير من المفحوصين، كما أن هذه الطريقة تعطينا معلومات عن مجمل الطاقة المصروفة خلال اليوم، ولا يمكن معرفة التغيرات الآنية في النشاط البدني (ساعة بساعة مثلاً)، أو الوقت الذي قضاه الشخص خلال ساعات اليوم في نشاط بدني مرتفع أو معتدل الشدة.

4- وحدات القياس الطاقوية

منذ 1جانفي 1978 يعد الجول وحدة القياس الإجبارية للنظام الدولي، بالنسبة لكميات الطاقة، الشغل والحرارة إلخ، يكافؤ4.18 جول لكل 1 كيلو حريرة، ليس من الظاهر استخدام الجول في الطاقة الحيوية والتغذية سرعان ما يصبح شائعا، فالسعرات الحرارية أو السعرات الحرارية الصغيرة هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة الحرارة بمقدار 1 درجة مئوية، واحد غرام من الماء تتراوح درجة حرارته بين 14 و 15 درجة مئوية. منذ فترة طويلة تم استخدام السعرات الحرارية الكبيرة أو كيلو كالوري.

حرارة احتراق الطعام	معامل Berthelot	معامل Rübne
غلوسيدات	17,7 kJ · g–1	39,8 kJ · g^{-1}
بوتيدات	18,4 kJ · g^{-1}	17,1 kJ · g^{-1}
دهون	39,8 kJ · g^{-1}	37,6 kJ · g^{-1}
مطابقة الطاقة للغازات:	أكسجين	غاز كربون
غلوسيدات	21,3 kJ · L–1 O_2	21,3 kJ · L^{-1} CO_2
بروتيدات	18,8 kJ · L–1 O_2	23,6 kJ · L^{-1} CO_2
دهون	19,6 kJ · L–1 O_2	27,6 kJ · L^{-1} CO_2

المعامل المتوسط للاكسجين هو20,15 kJ · L^{-1} ما يعدل (4,825 kcal· L^{-1})أي حوالي 20 kJ · L^{-1} :

عمل ميكانيكي:يتم التحول بمردود 100٪ بقيمة 102 كيلوغرام متر (kgm) للكيلوجول الواحد زمنه لدينا المعادلات التالية:

426,4 kgm=0,207 L O2=4,18 kJ =1 kcal

2057 kgm=4,825 kcal=20,17 kJ=1 L O2

0,49 mL O2=2,35 cal=9,82 J=1 kgm

102 kgm=49,52 L O2=0,239 kcal=1 kJ

القيم التقريبية التالية غالبًا ما تُستخدم لإجراء حسابات سريعة:

1 L O2=20 kJ=5 kcal أي 1 kcal= 4 kJ= 0,2 L O2 =

1 mL O2=20 J =2 kgmأي1 kgm =10 J =0,5 mL O2

الاستطاعة - هي الطاقة المنتجة لكل وحدة زمنية. يتم التعبير عنها عادةً بالواط (W) - أي $J\ s^{-1}$ - وبالسعرات الحرارية 24 ساعة $^{-1}$ ، كيلو كالوري دقيقة $^{-1}$ ، كجم / دقيقة $^{-1}$:

1 W = 0,239 cal · s–1 = 60 J · min–1 = 6,11 kgm · min–1 = 10,5 kcal · min–1

1 mL O2 · min–1 = 0,34 W

1 kgm · min^{-1} = 0,164 W

1 kcal · m2 · h–1 = 1,16 W/m2

1 kcal · min–1 = 69,67 W

في العمليات الحسابية السريعة ، يتم استخدام القيم التقريبية التالية:

1 W = 6 kgm · min^{-1}

1 CV = 10 kcal · min–1, soit 1 kcal · min–1 = 0,1 CV

تدفق (O2) ، (CO2):

1 L · min–1 = 44,6 mmol · min^{-1}

1 mmol · min^{-1} = 0,022 L · min^{-1} à 0 °C

تركيز(O2)، (CO2):

1 mL p. 100 = 0,446 mmol · L–1

1 mmol · L–1 = 24 mL p. 100 à 0 °C 2

الضغط:

1 mmHg = 1 Torr = 0,133 kPa

1 kPa = 7,5 Torr = 7,5 mmHg

تختلف الطاقة المكافئة للأكسجين تبعًا لنوع الغذاء المستخدم. يسمح لك الحاصل التنفسي (vCO2/o2) بمعرفة نصيب كل غذاء وحساب متوسط معامل الطاقة،عادة تستخدم القيمة

لهذا الاخير أثناء التمرين البدني 5 سعرات حرارية لكل لترمن O2 المستخدم ، أي 21 كيلو جول لتر-1.

5- أشكال الطاقة: هناك ستة وهي كما يلي

- الطاقة الكيميائيةchemical energy
- الطاقة الميكانيكية.mechanical energy
- الطاقة الحرارية.heat energy

- الطاقة الضوئيةlight energy
- الطاقة الكهربائية.electrical energy
- الطاقة الذريةnuclear energy

من المعروف أن هناك قانونا هاما يحكم الطاقة , وهي أن الطاقة لا تفني و لكنها يمكن أن تتغير من شكل إلي أخر , وتحصل خلايا الجسم علي الطاقة من البيئة لمحيطة من خلال الغذاء , حيث يتغذي الإنسان والحيوان علي البنات , ويحصل النبات علي الطاقة من الشمس من خلال الطاقة الضوئية ويخزنها في شكل كيميائي من خلال عملية التركيب الضوئي . وهذه الطاقة الكيميائية المخزونة يحصل عليها الإنسان والحيوان من خلال الغذاء في شكل الكربوهيدرات التي تتحول من خلا الهضم إلي الجلوكوز , وفي شكل الدهنيات التي تتحول من خلال الهضم إلي الأحماض الدهنية , من خلال البروتين الذي يتحول من خلال الهضم إلي أحماض أمينية , وهذه المواد تعتبر هي مصادر الطاقة الحيوية في جسم الإنسان.

6- إستهلاك الطاقة عند الراحة:

حينما نقوم بقياس استقلاب الطاقة عند الفرد ، نلاحظ أنه باستطاعته ان يتغير تغيرا كبيرًا خارج أي نشاط حركي ووفقًا للعديد من الظروف:حيث يزداد خلال فترة الهضم بعد ساعات من تناول الوجبة، تتعلق أهمية هذا التغير بجودة الطعام والكمية التي يتم تناولها، إذ يفسير ذلك من جهة عن طريق عمل الجهاز الهضمي (النشاط الحركي والإفرازي للجهاز الهضمي) ولكن أيضا عن طريق عمل التحول واستيعاب العناصر الغذائية بعد امتصاصها. استهلاك الطاقة الإضافية المقابلة لهذا العنصر الأخير (حركة ديناميكي خاصة للغذاء) لا يغطيه النشاط الخلوي ويمثل طاقة ضائعة، ترجع الحركة الديناميكية إلى الطعام المهضوم. يمكن أن يظهر تأثير الوجبات الغذائية خلال عدة ساعات، يسمى العمل الديناميكي المحدد بالتوليد الحراري الناجم عن النظام الغذائي.

يزداد إستهلاك الطاقة بمجرد حدوث نشاط منظم حراري لمقاومة البرد أو الحرارة، فخلال التعرض للبرد ، يمكن ان يتضاعف التمثيل الغذائي للشخص اربع مرات كحد أقصى (ذروة التمثيل الغذائي) أثناء الراحة. قد تساهم الحركة الديناميكية المحددة في التوليد الحراري الخاص بالحرارة، فأثناء التعرض لحرارة الطقس فان الاستهلاك الاضافي يكون ضعيفا.

يختلف استهلاك الطاقة أيضًا باختلاف وضع الجسم ويكون ذلك بعد مشاركة نوعا ما هامة لمجموعات عضلية تتدخل في وضع الجسم، وهكذا ، فإن عملية التمثيل الغذائي خلال الراحة تزيد بنسبة 5 إلى 15٪ في وضعية الجلوس، وبنسبة 15 إلى 30٪ في وضعية الوقوف مقارنة بوضعية التمدد على الأرض ، كما يزداد مستوى معدل ضربات القلب بنفس النسب ، ولكن يكون التدفق القلبي أقل بنسبة 15 إلى 20٪ في وضع الوقوف مقارنة بقيمته في وضع التمدد، يؤدي هذا التباين في استهلاك الطاقة أثناء الراحة إلى الحد الأدنى من الإستهلاك غير القابل للاختزال والمرتبط بالوظيفة الأساسية للخلايا والأعضاء الرئيسية: إنه معدل الأيض الأساسي وكمية الطاقة التي ينفقها الإنسان في حالة الراحة ، مستلقيًا ، على معدة فارغة ، موضوعا في بيئة هادئة ومريحة حراريًا تبلغ39 كيلوكالوري.م - 1.2 - h أو45 واط.م -2 عند الرجال و 34 كيلو كالوري.م -2 . h 1- أي 40 واط.م-2 عند النساء.

خارج الشروط الأساسية ، يكون الاستهلاك خلال مرحلة الراحة 260 مل 1 – O2 .min، أي 1.25 كيلو كالوري دقيقة -1 (1 كيلو كالوري كجم – 1.1 – h) (أي تقريبًا3.5 مل كلغ -1 دقيقة - 1). هذه الكمية تتوافق مع وحدة التمثيل الغذائي التي تستخدم في بعض الأحيان، يمكن تحديد

متوسط المستوى اليومي لإستهلاك الطاقة عند الانسان وعند الحيوانات عن طريق أساليب اكثر شمولية ، ولكن على فترات أطول (من 1 إلى 3 أسابيع): عن طريق قياس الكالوري المباشر(غرفة قياس السعرات الحرارية) أو عن طريق قياس السعرات الحرارية غير المباشرة للغداء. هناك طريقة أحدث تستخدم لدراسة الإزالة التفاضلية لمكونات المياه المجودة بشكل مزدوج.

6-1- استهلاك الطاقة و النشاط البدني

يعتبر النشاط العضلي أهم سبب للتغيير في استهلاك الطاقة، حيث يمثل المستوى الإضافي للطاقة المستهلكة فوق مستوى طاقة الراحة العمل الميكانيكي المنجز، ويمكن أن يكون هذا الاخير ضعيفا اقل من 70 واط بالنسبة للنشاط البدني أو مرتفع جدا يصل إلى 2 كيلواط عند رياضيي المستوى العالي الذين ينجزون نتيجة رياضية بسرعة قصوى، خلال المجهود العضلي كالمشي، الجري، سياقة الدراجة ... ترتفع كلفة الطاقة بصفة خطية تناسب 50% من الشدة القصوى

المشي: المشي الطبيعي، الأوتوماتيكي أو شبه الأوتوماتيكي هو التمرين البدني الاكثر ممارسة والمدمج تماما مع اقتصاد الجسم وهو في متناول أي شخص مؤهل.

- **المشي على أرض مستوية:**

إذا كانت تكلفة الطاقة للمشي بسرعة منخفضة (أقل من 0.5 م. ث -1 أو1.8 كم. 1 – سا) فإنها مرتفعة نسبيًا، ترتفع إلى حوالي 160 جول- م . بالنسبة لشخص يزن 70 كيلوغرام، ترتفع تدريجيا فوق 5 كلم- سا وابتداء من 8 كلم-سا تتجاوز تكلفة الجري.

- **المشي في سطح مائل متصاعد:** على سطح مائل زاويته بين 0 و 30° ووفقا للسرعة المستعملة تسمح لنا فهم التغيرات الهامة في طلب الطاقة اللازمة لسرعة معينة، فوفقا لزاوية السطح يدرس الاجهاد الطاقوي للتدريب أو للمشي عند مرضى القلب. فعند القيام بسرعة 4 كلومتر – سا يتضاعف استهلاك الطاقة مرتين في ميل زاويته 10% أما في ميل زاويته 20% يزداد استهلاك الطاقة 3 مرات و 4 مرات بالنسبة لميل قدره 24% والذي يكافؤ في هذه الحالة جوالي 12 واط في الكلغ-1. يمثل هذا لدى بعض الأشخاص استهلاك اقرب إلى الأقصى، ومنه نفهم أن المشي على سطح متصاعد قد يسبب ألام الذبحة الصدرية عند قاصري الشريان التاجي.

وعلى العكس تكلفة المشي على منحدر تكون أقل من تكلفة المشي على ارض مسطحة (-25% بالنسبة لسطح مائل بمقدار 22%)، الى جانب ذلك عندما يكون الميل اشد انحدار فإن تكلفة الطاقة تكون أقل من تكلفة الطاقة المستهلكة على ميدان مسطح. خاصة إذا كانت سرعة المشي ضعيفة.

يعتبر صعود السلم شاق ويتناسب مع المشي على ميدان ذو ميل عال جدا، وتأثير شكل السلم على التكلفة الفزيولوجية للصعود مهم جدا، فاقل كلفة نجدها في صعود السلالم التي ارتفاع كل منها 16 إلى 17 سم وعمقها 30 -32 سم، صعود سلالم ارتفاعها 12 متر بالنسبة لشخص كتلته 75 كلغ يستهلك 35 كلوجول، فإذا كان الزمن المستغرق لهذا الصعود هو 60 ثانية فإن الشدة المستعملة هي 0.6 كيلواط، وبالنسبة للهبوط فأن الطاقة المنفذة تمثل 3/1 من قيمة الصعود.

الجري على الاقدام: إن أسهل طريقة لحساب كلفة طاقة للجري على الاقدام هي قياس استهلاك الأكسجين بسرعة أقل في بداية تدخل الأيض اللاهوائي (دون أكسجين) في تغطية الطاقة، ففي الواقع ، بالنسبة لإقاع السرعة العالية (سرعات قياسية من 100 إلى 800 م) من الصعب تقدير تكلفة الطاقة الخاصة بالجري على الإقدام انطلاقا من الاستهلاك الأكسجيني ، بما ان الأكسجين

(O2) لا يتدخل (من 100-200 م) فقط في جري مسافة 400-800 م (بسبب مدة التمرين) في تحويل الطاقة الكيميائية إلى الطاقة الميكانيكية، فالسرعة المثالية لقياس تكلفة الطاقة للجري على الاقدام انطلاقا من استهلاك الأكسجين تساوي 60٪ من السرعة القياسية لـعداء 1000 متر، وبالتالي بالنسبة للعداء الذي ينجز مسافة 1000 متر خلال 3 دقائق (20 كم / ساعة) تقييم تكلفة الطاقة في 12 كم / ساعة ومنه نلاحظ أن هذا الرياضي يستهلك 42 مل في الدقيقة -1. كجم -1 عند 12 كم / ساعة أي عند 200 م / دقيقة (من أجل تجانس الوحدات في الدقيقة). لذلك سيكون هناك تكلفة الطاقة

تكلفة الطاقة (mlO2.min-1.kg-1) = 42 mlO2 . min-1 . kg-1 /200 m . min-1

0,210 mlO2 . m-1 . kg-1 =

.210 mlO2 . km-1 . kg-1=

في المثال اعلاه الاقتصاد الطاقوي هو 42 mlO2 . min-1 . kg-1 بالنسبة لسرعة 12 km/h في الواقع العداء الذي لديه إقتصاد طاقوي عالي (ملل أكسجين. الدقيقة -1.كلغ -1 بسرعة معينة) ستكون أقل اقتصاد طاقوي من ذلك الذي لديه طاقة اقل (42 مل O2. دقيقة -1. كجم -1 بسرعة12 كم / ساعة بالنسبة للعداء المقتصد طاقويا و 48 مل دقيقة -1. كجم -1 بسرعة 12 كم / ساعة بالنسبة للذي هو أقل اقتصادا).

- **السباحة:** يقاوم السباح ضد القوى المعارضة لتنقله في الماء، تعتمد هذه القوى على:

(أ) شكل الجسم عند ملامسة الماء:

ب) قوى احتكاك سطح الماء / مساحة الجسم ؛

ج) تشكيل موجة الماء.

هذه المجموعة مكونة من "قوة سحب الجسم في الماء" ويُشار إليها بـ Fd (قوة F و d كـ "سحب") لذلك يتم حساب قوة السحب Fd بالمعادلة التالية:

$$Fd = K \times Ap \times v2$$

حيث K هو ثابت يتضمن كثافة الماء (وهي أقل في البحر منه في حمام السباحة) و معامل السحب ، حيث Ap هي المنطقة الأمامية خلال ماء وحيث v هي سرعة السباحة. فالطاقة التي يستهلكها السباح بسرعة معينة يجب أن تكون مساويًة أو معاكسًة لـ Fd. وبالتالي فإن الالاستطاعة الميكانيكية (P) هي نتاج قوة السحب (Fd)مضروبة بالسرعة ، أي:

$$P = Fd \times v$$

شرع دي برامبيرو (1974) بإضافة قوات إضافيةK يسبح السباح بتقنيةالكراول(le crawl) بسرعة ثابتة عن طريق جر منصة تحمل بكرة يتم تعليق أوزان إضافية في نهايتها. يقوم السباح بالزفير في أكياس دوغلاس لقياس استهلاك الأكسجين الإضافي المنسوب إلى زيادة قوة السحب، وبذلك تمكن هذا الباحث من قياس مردودالسباحة ابتداء من المعادلة:

$$\Delta P = \Delta Fd \times v$$

$$\Delta = \Delta P / \eta$$

حيث ΔP و Δ هي فرق القدرة واستهلاك الأكسجين الناتج عن زيادة قوة السحب (ΔFd) الناتجة عن الثقل المضاف

المردود الميكانيكيη يساوي النسبة بين P وvo2، لهذا نحصل بعد ذلك على:

$\eta = \Delta P / \Delta VO2$.

اذا استبدلنا P بـ $\Delta Fd \times v$ ، نحصل على

معادلة :

$\eta = \Delta Fd \times v / \Delta VO2$

ومنه تكون سرعة السباحة الناتجة عندئذٍ: $v = (net) \times \eta / Fd$

حيث $VO2$ الصافي هو استهلاك الاكسجي خلال السرعة v ننقص منها استهلاك الاكسجين خلال الراحة 0,3 l/min .وتكون تكلفة الطاقة في السباحة: $CE = 58,5$ ml d'O2/m

التي تكافؤ 293 kcal/km

(5 × 58,5 × 1000 ml d'O2).

إذا أردنا مقارنة تكلفة الطاقة في الجري والسباحة ، يمكننا أن نذكر أن الجسم يستهلك حوالي 1 كيلو كالوري (4.18 كيلو جول) لكل كيلومتر مستغرق ولكل كيلوغرام ، أي 70 كيلو كالوري لـ 70 كيلوغرام اریاضي يركض كيلومترًا واحدًا، وبالتالي تتطلب السباحة استهلاك طاقة تقدر بـ 293 كيلو كالوري / كم ، وهو يتجاوز الري بأربع مرات (70/293 =4.2) لكل وحدة مسافة. لذلك العائد بنسبة 10٪ من المردود ستؤدي إلى زيادة أكثر في سرعة السباحة ما لا يسمح به تحسين الاستهلاك الأقصى الأكسجين أو القدرة اللاهوائية اللبنية، كما أن أسلوب السباحة والمرفولوجيا هما مفتاح النجاح في السباحة.