**ملخص ورشة عمل**

**معامل التنفسي QR وكيفية أحتساب السعرات الحرارية للطاقة أ.د حامد صالح مهدي**

**كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة – جامعة بغداد**

**2024**

**معامل التنفس (RQ) Respiratory Quotient**

توفر تقنية الماء الموسوم بشكل مزدوج طريقة مثالية لتقدير إجمالي استهلاك الطاقة للأفراد على مدى فترات طويلة، بما في ذلك الراحة في الفراش والفعاليات المفرطة النشاط من قبيل تسلق جبل ايفرست وركوب الدراجات في سباق فرنسا للدراجات والرحلات عبر القارة القطبية الجنوبية والأنشطة العسكرية والأنشطة خارج المركبة الفضائية وتحمل الركض والسباحة.

ان عملية الأكسدة الكاملة لجزيئات الكربون وذرات الهيدروجين الى ثاني أكسيد الكربون والنواتج النهائية للماء تتطلب كميات مختلفة من الأكسجين بسبب الاختلافات الكيميائية المتأصلة في تركيب الكربوهيدرات والدهون البروتين.

 **RQالحاصل التنفسي= CO2 producedمنتج +O2 consumedمستهلك**

يساعد الحاصل التنفسي RQ على تقدير خليط المغذيات المعرضة للأيض الهدمي (المقوّضة) من اجل الحصول على الطاقة اثناء الراحة والتمارين الرياضية. كما يختلف المكافئ الحراري للأكسجين باختلاف العناصر الغذائية المؤكسدة، لذلك فأن تحديد إنتاج الحرارة في الجسم بدقة (كيلو كالوري) يتطلب الحصول على معلومات عن كل من امتصاص الأوكسجين والحاصل التنفسي RQ.

تظهر دراسات مقياس الكالوري القُليّ (مقياس ذو حاوية تحوي أكسجين) او ما يدعى بـ (المسعر التفجيري) ان حوالي 4.82 كيلو كالوري (ألف سعرة حرارية) تنطلق عند حرق مزيج من الكربوهيدرات والدهون والبروتين في لتر واحد من الاكسجين، حتى مع تفاوت كبير في خليط التمثيل الغذائي (الايض) اذ تتغير قيمة السعرات الحرارية للأكسجين هذه في حدود تتراوح بين± 2% الى 4%.

ان مكافئ طاقة الاكسجين لـ 5 كيلو كالوري/ لتر يوفر مقياساً سهلاً لتحويل أي نشاط بدني معتاش بالأكسجين (أيروبيك*)* إلى إطار مرجعي للسعرات الحرارية (طاقة).

يوفر مقياس السعرات الحرارية الغير مباشر عن طريق قياس امتصاص الأُكسجين اساساً لحساب كمية السعرات الحرارية لأغلب النشاطات البدنية.

**الحاصل التنفسي للكربوهيدرات Respiratory Quotient for Carbohydrate**

ان جميع الأكسجين المستهلك في احتراق الكربوهيدرات يؤكسد الكربون في جزيء الكربوهيدرات إلى ثاني أكسيد الكربون. يحدث هذا لأن نسبة الهيدروجين إلى ذرات الأكسجين في الكربوهيدرات تكون دائما في النسبة ذاتها 2: 1 كما هو الحال في الماء. تتطلب الأكسدة الكاملة لجزيء واحد من الغلوكوز ستة جزيئات أكسجين وينتج عنها جزيئات ثاني أكسيد الكربون وماء على النحو التالي:

C6H12O6 + 6O2 🡪6CO2 + 6H20

ينتج عن عملية تبادل الغازات أثناء أكسدة الغلوكوز عدداً متساوياً من جزئيات CO2 إلى جزئيات O2 المستهلكة وبالتالي، فأن الحاصل التنفسيRQ لـ الكربوهيدرات يساوي واحد:

RQ = 6CO2 ÷ 6O2 = 1.00

**الحاصل التنفسي للدهون Respiratory Quotient for Lipid**

يختلف التركيب الكيميائي للدهون عن الكربوهيدرات لأن الدهون تحتوي على ذرات أكسجين أقل بكثير وبشكل يتناسب مع ذرات الهيدروجين والكربون.

وبناءاً على ذلك، فأن هدم او تقويض الدهون للحصول على الطاقة يتطلب مقداراً أكبر من الأكسجين نسبةً الى إنتاج ثاني أكسيد الكربون اذ يتأكسد حمض البالميتيك (الحامض النخيلي) وهو من الأحماض الدهنية النموذجية، إلى ثاني أكسيد الكربون وماء لإنتاج 16جزيئ لثاني أكسيد الكربون لكل 23 جزيئ من الأكسجين المستهلك. تلخص المعادلة الاتية هذا التبادل لحساب الحاصل التنفسي RQ:

حامض البالميتيك C16H32O2 + 23O2 🡺 16CO2+ 16H2O

الحاصل التنفسي RQ = 16CO2 ÷ 23O2 = 0.696

وبصورة عامة فقيمة 0.70 تمثل الحاصل التنفسي للدهون التي تتراوح بين 0.69 و0.73 اعتماداً على طول سلسلة كاربون الحمض الدهني المتأكسد

**الحاصل التنفسي للبروتين Respiratory Quotient for Protein**

لا يتأكسد البروتين الى ثاني أكسيد الكربون وماء اثناء عملية التمثيل الغذائي للطاقة بالأحرى، يفصل او يزيل الكبد أولاً النتروجين مِنْ جزيئة الحامض الأميني ثم يطرح الجسم أجزاء النتروجين والكبريت في البول والعرق والغائط. يتأكسد (الحمض الكيتوني) المتبقي إلى ثاني أكسيد الكاربون وماء لتزويد الطاقة للأعمال الحيوية. للحصول على احتراق كامل، تتطلب الاحماض الكيتونية قصيرة السلسلة مقدار أكسجين أكثر من ثاني أكسيد الكاربون المنتج. فعلى سبيل المثال، يتأكسد بروتين الالبومين (زلال) كالاتي:

C72Hll2N2O22S + 77O2 🡺 63CO2 + 38H2O + SO3 + 9CO(NH2)2
 RQ = 63CO2 ÷77O2 = 0.818

والقيمة العامة 0.82 تحدد خصائص الحاصل التنفسي للبروتين.

**الحاصل التنفسي لنظام غذائي مختلط** **Respiratory Quotient for a Mixed Diet**

اثناء النشاطات التي تتراوح ما بين الراحة التامة في الفراش الى المشي المعتدل في الهواء او الهرولة البطيئة، نادراً ما يعكس الحاصل التنفسي تأكسد الكربوهيدرات النقية او الدهن النقي. عوضاً عن ذلك، فان عملية التمثيل الغذائي لخليط المغذيات تحدث بنسبة تنفس متوسطة تتراوح بين 0.70 و1.00. لمعظم الاستعمالات تم فرض نسبة تنفس0*.*82للتمثيل الغذائي لخليط مكون من40% كربوهيدرات و60% دهون مع تطبيق المكافئ الحراري للأكسجين البالغ4.825كيلو كالوري/لتر لغرض عملية التحويل. وبأستخدام4.825كيلو كالوري فأن اقصى خطأ ممكن في تقدير ايض الطاقة لمعدل امتصاص اكسجين ثابت يبلغ حوالي ± 4 %.

يوضح **الجدول رقم 7.1** الطاقة المصروفة او المستهلكة لكل لتر من الاكسجين الممتص لقيم نسب تنفس مختلفة لخليط خالٍ من البروتين بضمنها النسب المئوية والغرامات المناظرة للكاربوهيدرات والدهون المستخدمة للطاقة. تفترض نسب تنفس لخليط خالٍ من البروتين ان المزيج الأيضي يشكل الكربوهيدرات والدهون فقط. ويفسر الجدول كما يلي:

يفترض امتصاص الاكسجين خلال 30 دقيقة من التمارين الرياضية (ايروبيك) بمعدل 3.22 لتر/دقيقة مع انتاج CO2 بقيمة 2.78 لتر/دقيقة.

الحاصل التنفسي المحسوب كالاتي VCO2÷VO2 أي (2.78 ± (3.22 يساوي 0.86. من الجدول رقم 7.1 قيمة الحاصل التنفسي (العمود على اليسار) يناظره مكافئ الطاقة البالغ 4.875 كيلو كالوري لكل لتر من الاكسجين الممتص أو ناتج طاقة التمرين 15.7 كيلو كالوري/ دقيقة (3.22 لتر من O2 /دقيقة ×4.875 كيلو كالوري)

استناداً الى الحاصل التنفسي RQ لخليط خالٍ من البروتين فالنسبة54.1% من السعرات الحرارية متولدة من احتراق الكربوهيدرات ونسبة45.9% متولدة من حرق الدهون. ان السعرات الحرارية الاجمالية المستهلكة اثناء ممارسة التمارين بفترة 30 دقيقة تساوي 471 كيلو كالوري (15.7 كيلو كالوري/دقيقة×30)

**الجدول رقم 7.1 المكافئات الحرارية للأكسجين لقيم الحال التنفسي RQ لخليط خالٍ من البروتين بضمنها الغرامات والنسب المئوية للسعرات الحرارية المشتقة من الكربوهيدرات والدهون**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| الحاصل التنفسي RQ لخليط خالٍ من البروتين | كيلو كالوري/لترمن امتصاص O2 | النسبة المئوية المشتقة للكيلو كالوري من الكربوهيدرات | النسبة المئوية للكيلو كالوري المشتقة من الدهون | غم/لتر امتصاص O2للكربوهيدرات | غم/لتر امتصاص O2للدهون |
| Non-Protein RQ | kCal per Liter O2 Uptake | % kCal Derived from Carbohydrate | %kCal Derived From Fat | Grams per Liter O2 uptake Carbohydrate | Grams per Liter O2 uptake Fat |
| 0.7 | 4.686 | 0.0 | 100.0 | 0.000 | 0.496 |
| 0.71 | 4.690 | 1.1 | 98.9 | 0.012 | 0.491 |
| 0.72 | 4.702 | 4.8 | 95.2 | 0.051 | 0.476 |
| 0.73 | 4.714 | 8.4 | 91.6 | 0.900 | 0.460 |
| 0.74 | 4.727 | 12.0 | 88.0 | 0.130 | 0.444 |
| 0.75 | 4.739 | 15.6 | 84.4 | 0.170 | 0.428 |
| 0.76 | 4.75 | 19.2 | 80.8 | 0.211 | 0.412 |
| 0.77 | 4.764 | 22.8 | 77.2 | 0.250 | 0.396 |
| 0.78 | 4.776 | 26.3 | 73.7 | 0.290 | 0.380 |
| 0.79 | 4.788 | 29.9 | 70.1 | 0.330 | 0.363 |
| 0.8 | 4.801 | 33.4 | 66.6 | 0.371 | 0.347 |
| 0.81 | 4.813 | 36.9 | 63.1 | 0.413 | 0.330 |
| 0.82 | 4.825 | 40.3 | 59.7 | 0.454 | 0.313 |
| 0.83 | 4.838 | 43.8 | 56.2 | 0.496 | 0.297 |
| 0.84 | 4.85 | 47.2 | 52.8 | 0.537 | 0.280 |
| 0.85 | 4.862 | 50.7 | 49.3 | 0.579 | 0.263 |
| 0.86 | 4.875 | 54.1 | 45.9 | 0.621 | 0.247 |
| 0.87 | 4.887 | 57.5 | 42.5 | 0.663 | 0.230 |
| 0.88 | 4.889 | 60.8 | 39.2 | 0.705 | 0.213 |
| 0.89 | 4.911 | 64.2 | 35.8 | 0.749 | 0.195 |
| 0.9 | 4.924 | 67.5 | 32.5 | 0.791 | 0.178 |
| 0.91 | 4.936 | 70.8 | 29.2 | 0.834 | 0.160 |
| 0.92 | 4.948 | 74.1 | 25.9 | 0.877 | 0.143 |
| 0.93 | 4.961 | 77.4 | 22.6 | 0.921 | 0.125 |
| 0.94 | 4.973 | 80.7 | 19.3 | 0.964 | 0.108 |
| 0.95 | 4.985 | 84.0 | 16.0 | 1.008 | 0.090 |
| 0.96 | 4.998 | 87.2 | 12.8 | 1.052 | 0.072 |
| 0.97 | 5.01 | 90.4 | 9.6 | 1.097 | 0.054 |
| 0.98 | 5.022 | 93.6 | 6.4 | 1.142 | 0.036 |
| 0.99 | 5.035 | 96.8 | 3.2 | 1.186 | 0.018 |
| 1 | 5.047 | 100.0 | 0.0 | 1.231 | 0.000 |

****

**نسبة التبادل التنفسي RESPIRATORY EXCHANGE RATIO**

يستلزم تطبيق الحاصل التنفسي فرض ان تبادل غاز الاكسجين وغاز ثنائي اكسيد الكربون في الرئتين يعكس التبادل الغازي للمستوى الخلوي من اجل التمثيل الغذائي للمغذيات. وهذه الفرضية معقولة وصالحة في حالة الراحة واثناء المعدل الثابت للتمارين الرياضية المعتدلة ولغاية ظروف التمارين الرياضية المتوسطة بدون تراكم اللكتات.

ثمة عوامل متعددة يمكنها تغيرتبادل غاز الاكسجين وغاز ثنائي اكسيد الكربون في الرئتين بحيث ان معدل التبادل الغازي لا يعكس سوى خليط المادة في ايض الطاقة الخلوي. على سبيل المثال، تزداد ازالة ثنائي اكسيد الكربون اثناء فرط التهوية بسبب زيادة التنفس الى مستويات عالية لا تتناسب مقارنة مع احتياجات الايض الحقيقية. ومن خلال التنفس المفرط يتناقص المستوى الطبيعي لثاني اكسيد الكربون في الدم نتيجة الغاز المنبعث في هواء الزفير. والزيادة المناظرة في امتصاص الاكسجين لا يصاحبها زيادة في عمليات طرح ثاني اكسيد الكربون. وبناءاً على ما تقدم، فان معدل التبادل يتجاوز الواحد. حيث يشير اختصاصيو فيزيولوجيا التنفس الى ان نسبة ثاني اكسيد الكاربون الناتج الى الاكسجين الممتص في ظل هكذا ظروف مثل نسبة التبادل التنفسي R أو RER ويحسب هذا المعدل في الحالة نفسها للحاصل التنفسي RQ. كما ان أي زيادة في نسبة التبادل التنفسي فوق الواحد لا يمكن ان يعزى الى تأكسد المادة الغذائية.

تمثل ممارسة التمارين المنهكة حالة اخرى يزداد فيها التنفس عادةً فوق الواحد للحفاظ على توازن حامضي– قاعدي مناسب اذ ان كربونات الصوديوم في الدم تخفف او تقوم بمعادلة اللكتات المتولد اثناء الايض في التفاعل الاتي:

HLa + NaHCO3 🡺 NaLa + H2CO3 🡺

H2O + CO2 🡺 Lungs الرئتين

ينتج عن اللكتات المخفف حامض كربونيك أضعف حيث يتكسر حامض الكاربونيك في الشعيرات الدموية الرئوية الى مكوناته وهما ثاني اكسيد الكاربون وماء ليسمح بخروج ثاني اكسيد الكاربون بسهولة من خلال الرئتين. تزداد نسبة التبادل التنفسي R فوق الواحد 1.00 لان التخفيف يضيف كمية CO2 اضافية الى هواء الزفير أكثر مما يطلقه بالحالة الطبيعية خلال التمثيل الغذائي للطاقة الخلوية.

بالنسبة الى انخفاض قيم نسب التبادل التنفسي R الذي يحدث بعد ممارسة التمارين المنهكة حيث يبقى ثاني أكسيد الكربون في سوائل الجسم لإعادة تعويض البيكربونات التي خففت اللاكتات المتراكمة. وهذه العملية تقلل ثاني أكسيد الكربون بالزفير دون التأثير على امتصاص الأكسجين اذ تنخفض قيمة نسبة التبادل التنفسي R لأقل من 0.70

**لمعلوماتك : تدفق الاكسجين**

تزداد قيمة VO2 وفق حالات التمارين الاتية:

1. عند اداء التمرين بمستويات مكثفة اكبر من 70% حسب طريقة VO2max
2. عند التمرن بنسب مئوية قليلة حسب طريقة VO2max لكن لفترات طويلة (30 دقيقة)
3. عند أداء التمرين بيئة رطبة وحارة لفترات طويلة تحدث هذه الزيادات على الرغم من عدم تغير متطلبات الطاقة. يحدث هذا التدفق التصاعدي في نتائج VO2 من زيادة مستويات الكاتيولامينات بالدم وتراكم اللكتات (في حال كان التمرين مكثف بشكل كافي) وتحويل استخدام المواد (لاستخدام كربوهيدرات أكثر) وزيادة قيمة طاقة التهوية وازدياد درجة حرارة الجسم.