

Dépense énergétique au cours de l'exercice physique

Dr CHERIAT HAKIM

Universite alger 3

Dr BELOUNIS RACHID

Universite djelfa

Définition :

La dépense énergétique des 24 h se répartit en trois postes d'inégale importance :

le métabolisme de repos qui représente 60-75 % de la dépense énergétique totale, la dépense énergétique liée à l'activité physique, dont la part varie en fonction de la nature, de la durée et de l'intensité de l'exercice, et l'effet thermique des aliments (environ 10 % du total).

La dépense énergétique des 24 h et le métabolisme de repos varient de façon proportionnelle au poids et à la masse maigre.

Les macronutriments (glucides, lipides, protéines) qu'ils aient pour origine l'alimentation où les réserves endogènes constituent l'unique source énergétique pour l'homme. Pour être utilisable, cette énergie doit être transformée en ATP, processus qui consomme de l'oxygène et produit de la chaleur. La mesure de la consommation d'oxygène (calorimétrie indirecte)

et/ou de la production de chaleur (calorimétrie directe) sont les deux méthodes de mesure de la dépense énergétique.

المخلص:

تسمح الطريقة المباشرة بتحرير الطاقة وذلك بتفكيك الكرياتين فوسفات وجزء ADP (طريقة الفوسفاجين نظام لاهوائي لالبيني)، لذلك فان نسبة عالية من الطاقة تأتي من الغليكوليز اللاهوائي ، فالـ ATP المخزن في العضلة يستهلك خلال 6 ثواني ،إعادة تفكيك cp تسمح بتحرير طاقة 10.3kcal/mol (اداء حركات قصيرة وذات شدة عالية : رفع الاثقال ، سباق 100 م)، ويعطي هذا النظام 29 ملي مول في الكغ من العضلة

كما يعتمد النظام اللاهوائي اللبني (الجلكزة اللاهوائية) بتوظيف مخزون الجليكوجان والجليكوز وينتهي النظام بتفكيكهما الغير كامل، ويمر بـ10 تفاعلات، وبممتد في حدود 40-60 ثا، ويعطي هذا النظام 35 ملي مول في الكغ من العضلة.

يكون الإمداد ب ATP عن طريق التنفس الخلوي الهوائي وبتفكيك الأحماض الدهنية ويتم ذلك على مستوى الميتوكوندري، ويمر النظام الهوائي بثلاث مراحل: الجلكزة الهوائية، دورة كريبس، نظام نقل الإلكترونات، ويكون حاصل الأيض الهوائي للسكريات مثلا: ATP: 38، أما بالنسبة للدهنيات (بمليات) 129ATP

ومهما كان مصدر الطاقة سواء من التمثيل الغذائي الهوائي و اللاهوائي و ذلك عن طريق قياسات واختبارات ميدانية ومخبرية (سرجانت، $vo_2 \max$) وقياس QR ($V_{CO_2}/V_{O_2} \geq 1.1$).

ولإعطاء الحرية لحركة الموضوع الملاحظ تم اقتراح تقدير استهلاك O_2 انطلاقا من قيم معدل النبض FC، وتكون الزيادة طرديا بين FC و VO_2 والارتباط القائم هذين المتغيرين الفيزيولوجيين، والاختلاف بينهما اعتمادا على العمر والجنس وتعبئة العضلات و درجة التدريب، فمستوى نفقات الطاقة يقترب من خلال مسح الغذائي، ففي مجال الرياضة (جمباز، الرقص) الذين يرغبون في خفض وزنهم، ويساعد الفحص في منع اضطرابات الجهاز الهضمي، الهرمونية، والنفسية.

وتجدر الإشارة أن نسبة الألياف العضلية وراثيا، فالألياف العضلية البطيئة (البيضاء I) تكون غنية بالساركوبلازم وعدد كبير من الميتوكوندري و تحمل عالي للتعب، وغني بالإنزيمات وتأقلم كبير مع التمارين طويلة المدة، أما الألياف العضلية السريعة (الحمراء اللاهوائية IIB) تكون غنية بإنزيمات الايض اللاهوائي وسريعة التعب، فقيرة للساركوبلازم، أما النوع الثالث يقع بين هذين النوعين الهوائي و اللاهوائي (IIA)

Bases de l'énergétique musculaire:

Il ya plus de 130 ans, j-B, Chauveau démontrait que le glucose est principalement consommé dans les réseaux capillaires des muscles, dont il constitue l'aliment privilégié, et non dans les poumons comme le pensait Claude Bernard. trente ans plus tard, alors qu'il vient d'être nommé au Muséum dans la chaire laissée libre par le décès Claude Bernard, Chauveau entreprend une série de travaux sur l'énergétique musculaire, considérant le muscle comme une machine au sein de laquelle s'échange de l'énergie, énergie chimique et mécanique. il fonde les lois du travail musculaire à partir de mesures de la dépense énergétique et vérifie le principe de la conservation de l'énergie au sein même du muscle, dont il détermine le rendement. dès la fin du siècle dernier, la calorimétrie directe et la calorimétrie respiratoire, sous l'impulsion d'atwater et Benedict aux États-Unis, de Jules Lefèvre à l'institut d'hygiène alimentaire à Paris, vont connaître un développement considérable pendant une soixantaine d'années, appliquées à l'homme au repos ou au cours de l'exercice musculaire.

La littérature internationale s'est considérablement enrichie des études expérimentales réalisées dans le domaine des activités physiques et sportives ,mais aussi dans celui du travail professionnel à dominante physique. deux groupes d'auteurs , Passmore et Durnin (1955),Spitzer et Hettinger(1959),ont rassemblé les principales valeurs connues à cette époque ,dressant ainsi un catalogue très détaillé de ce que coûte à l'homme toute activité musculaire .

On admettra cependant une différence fondamentale entre le sport et le travail:

-le sport est une activité physique généralement voulue ,désirée, pouvant dans le cas de la compétition atteindre un engagement

extrêmement intense des diverses fonctions physiologiques, mais cela pendant des temps courts .

-le travail professionnel est une activité imposée , subie ,de niveau modéré ou faible, sauf exception, mais poursuivie sur des périodes très longues ,se comptant en heures , en mois et surtout en années .

Entre ces deux pôles , il convient de placer le cas particulier du sport professionnel (cyclisme, football, etc.), pour lequel le dilemme peut se poser de privilégier le maintien d'une activité sans risque ou la perte d'une rémunération vitale

Le terme " effort" ne devrait pas être employé , car il est à multiple sens ,dans sa définition d'origine , il correspond à la contraction des muscles expiratoires réalisée à glotte fermée ou à débit expiratoire faible :il s'agit des efforts de miction , de défécation , de parturition, de l'effort du trompettiste , ou encore de celui qui porte une charge lourde sur ses épaules , ailleurs ,effort est synonyme de travail ou d'exercice musculaire :on dit asthme ou angine d'effort ,test d'effort, enfin , effort réfère à un renforcement nécessaire et conscient de la volonté afin de pour suivre un travail physique qui devient de plus difficile ,paradoxalement , on pourrait dire qu'un effort (exercice physique)est réalisé avec effort (blocage thoracique) mais sans effort (de volonté)!

Limite énergétiques :

Les valeurs limites entre lesquelles fluctuent les dépenses énergétiques de l'homme sont les suivantes :

-La dépense de fond, observée dans les conditions de repos ,dites basales ,s'établit à environ 1kcal/min(4kj/min), soit 70 w

- la dépense de fonctionnement , qui inclut en outre tout ce qui coûte le maintien posturale , les gestes et activités générales de la vie courante ,l'ingestion et la digestion des aliments et la thermorégulation , principalement dans la zone du froid où la dépense énergétique peut atteindre 3 ou 4fois la dépense de fond (12 à16 kJ/min) ;

- la dépense de travail inclut toutes les activités physiques, professionnelles ou sportives ,a l'exercice, les échanges peuvent être multipliés par 15 ou 20 pour l'ensemble de l'organisme , mais plus de 50 fois si l'on se réfère seulement à la masse des muscles les plus actifs ,ainsi ont été observés chez des skieurs de fonds nordiques des chiffres de l'ordre de 27 kcal/min ,chez l'adulte jeune bien entraîné, les chiffres les plus élevés sont compris entre 16 et 20 kcal/min ,rapportés au poids corporel, ils varient de 35(femmes) et 45 (hommes) mL o₂/min/kg pour sédentaires à 80-90 mL o₂/min/kg chez les athlètes d'endurance les plus performants .

L'énergie échangée apparaît pour 70à80% sous forme de chaleur , ce qui rend plus difficile l'exercice physique en ambiance chaude mais le rend facile au froid .

Les niveaux de la dépense énergétique varient de façon très large

au –dessus de la valeur de repos ,le tableau5.I tente de classer quelques sport les uns par rapport aux autres , il faut cependant se méfier car chaque sport peut être pratiqué à un niveau d'engagement plus ou moins poussé, suivant qu'il s'agit d'un entraînement , d'un match amical ou d'une compétition internationale .

tableau 5.I Dépense énergétique et sport (d'après Durnin et Passmore1967).

Sédentaire	Activité légère	Activité modérée	Activité intense
140	140à280	280à420	>420 ¹
175	175 à350	350à525	>525 ²
Jeu de cartes	Boules	Badminton	Alpinisme
Instrument de musique	Cricket	Bicyclette	Athlétisme
	Croquet	Course	Aviron
	Golf	Equitation	Basket-ball
	Tennis de table	Gymnastique	Boxe
	Tir à l'arc	Hockey	Cross-country
	Voile	Jardinage	Football
	Volley-ball	Nage	Squash
		Ski	
		Tennis	

¹ en w pour une femme de 55kg. ² en w pour un homme de 65kg.

L'aliment du muscle :

La source première de l'énergie fournie aux réside dans l'hydrolyse de l'ATP(adénosine triphosphate) en ADP(adénosine diphosphate)

, chaque molécule contient d'ATP libère un peu plus de 10kcal, le tissu musculaire contient 5mmol/kg d'ATP, soit environ 3g/kg , cette source d'énergie se trouve tarie en quelques secondes ,la recharge du muscle en ATP s'effectue à partir de 3 voies métaboliques (fig.5.1)

Les deux premières , dites anaérobies parce qu'elles ne nécessitent pas la présence d'oxygène ; la troisième ,dite aérobie, correspond

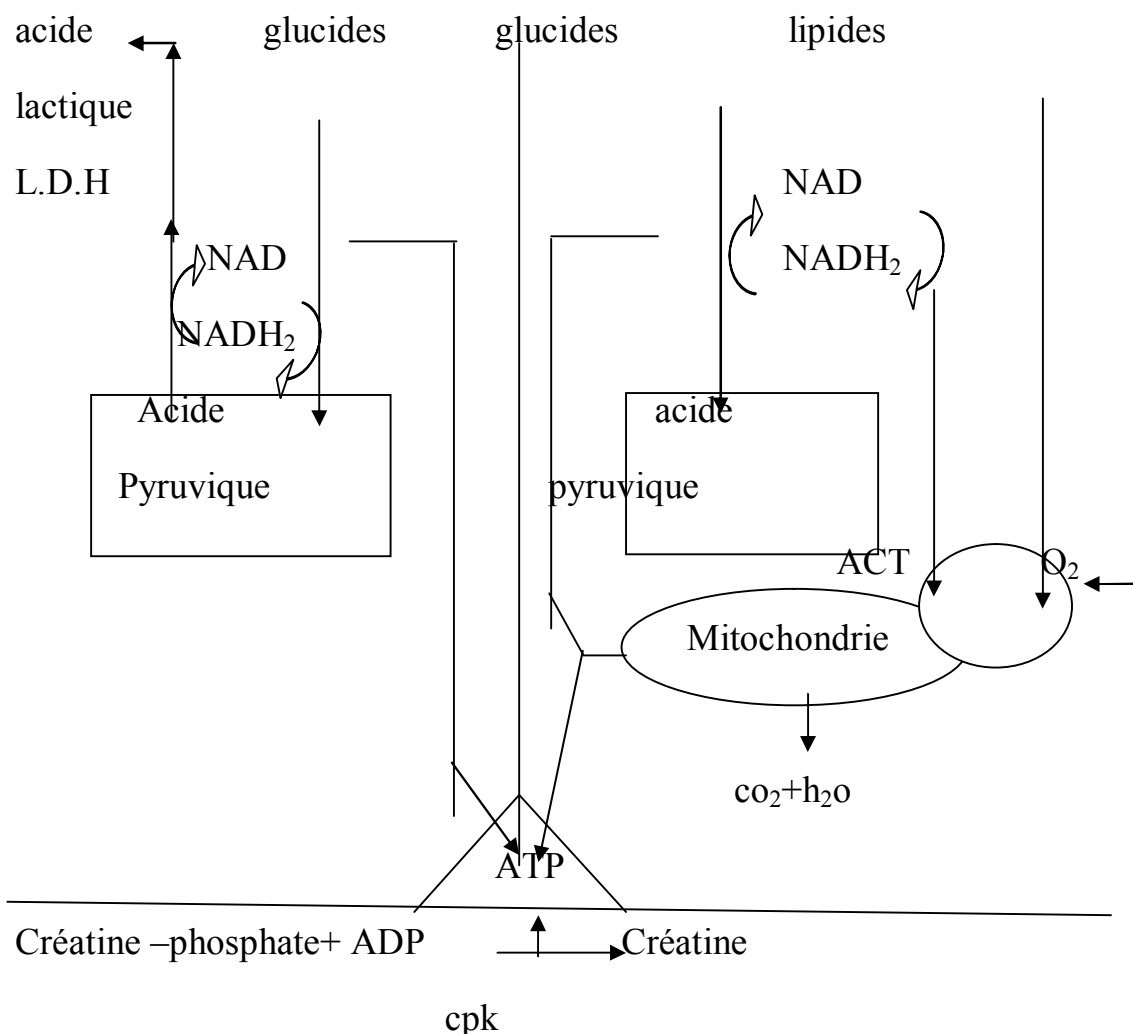


Figure 5.1 origine de l'ATP musculaire .toute les voies concourent au renouvellement du stock d'ATP.

Aux oxydations cellulaires , chacune de ces voies comporte une puissance maximal , une capacité ,une durée ,une vitesse de restauration .

Le métabolisme anaérobie alactique est sollicité très tôt après le début de la contraction à partir de l'ATP présent dans les muscles au repos , qui peuvent fournir environ 9kj(2.2kcal).

Il s'y ajoute l'ATP reformé à partir de l'ADP par hydrolyse de la phosphocréatine (20mmol/kg),susceptible d'apporter ,pour les 28 kg de muscle d'un sujet de 70kg, 39 kj(10kcal),ces quantités sont utilisables en un temps très bref (5 à7 s) lors d'exercices particulièrement intenses ,type course de 100m.

Le temps de demi restauration du stock d'ATP après travail est l'ordre de 15 minutes

Le métabolisme anaérobie lactique est sollicité quelques seconds après le début d'un exercice ,quelle que soit son intensité ,chaque molécule de glycogène donne 3 molécules d'ATP, l'énergie libérable pour l'ensemble des muscles est de l'ordre de 65 à 70kj ;elle peut être épuisée en 40 à 60s suivant l'intensité de l'exercice ,le temps de demi-restauration est de l'ordre de 4 minutes ,la mise en jeu du métabolisme anaérobie lactique n'apparaît pas dans les exercices de faible intensité, car l'acide lactique produit par les muscles actifs est métabolisé par ceux qui ne le sont pas.

Le métabolisme aérobie permet aux muscles de disposer d'une quantité d'énergie pratiquement inépuisable (1Ld'o₂=5kcal),à partir du glycogène et des triglycérides intramusculaires ,du glucose et des acides gras libres apportés par la circulation ,pourvu toutefois que la demande ne soit pas trop élevée ,l'oxydation complète, mitochondriale ,d'une molécule de glycogène donne 39 molécules d'ATP, une molécule de palmitate en donne 129,la mise en jeu de la voie aérobie peut débuter précocement grâce à la présence du glycogène intracellulaire et de l'oxygène fixé sur la myoglobine ,mais son développement est relativement lent ,en raison de l'inertie du système cardiorespiratoire de transport de l'oxygène, qui n'atteint sa pleine efficacité qu'après quelques minutes au bout desquelles il s'établit un équilibre entre fourniture et demande d'énergie ,avant que celui-ci ne soit atteint ,il s'établit une dette d'oxygène qui sera remboursée après l'arrêt de l'exercice .la puissance maximale du métabolisme aérobie

S'exprime par débit maximal d'oxygène mesuré au cours d'un exercice maximale ,elle est de l'ordre de 15 à 20 kcal /min ,correspondant à 3 à4 l d'oxygène par minute, chez l'homme jeune; elle est moindre chez la femme (-30%),diminue avec l'âge ,mais peut être augmentée par l'entraînement (plus de 5Lchez les skieurs de fond).

Les caractéristiques principales de ces trois métabolismes sont données dans le tableau 5.II.

C'est par un abus de langage ,et parfois de pense , que l'on confond souvent performance physique et métabolisme

Substrat	Durée maximal	Energie disponible	Puissance maximal	Temps demi-récupération
ATP+PC	6s	0.4kj/kg	67w/kg	15min
Glycolyse	40s	1.2kj/kg	30w/kg	4min
Oxydation	>30 min	>120kj/kg	33-44w/kg	30s

Tableau 5.II caractéristiques principales trois métabolismes.

	Anaérobie Alactique	Anaérobie Lactique	Aérobie
Substrats	ATP CP	Glucides (glucoses et glycogène)	Glucides Lipides Protéines (faible %)
Délai d'efficacité maximum	Nul	20 à 30 secondes	1 à 3minutes
Puissance	Très élevée + + + +	Elevée + +	Dépend du VO2 max
Temps d'épuisement à puissance maximale	2 à 3 secondes	25 à 40 secondes	3 à 15 mn
Capacité	Très Faible +	Faible +	Illimité + + + + +
Temps d'épuisement de la capacité (réserve)	Entre 7 et 20 secondes	2 minutes	Dépend du % du VO2 max utilisé
Facteurs limitants de l'exercice	Puissance : système enzymatique et neuromusculaire. Capacité : baisse de la concentration des réserves de CP	Puissance : enzymes de la glycolyse anaérobie et nombre de fibres rapides Capacité : Baisse du pH musculaire	Puissance : fatigue musculaire locale Capacité : chute du taux du glycogène

**Résumé des caractéristiques essentielles des différentes filières énergétiques
D'après D'après M.Pradet (1989)**

Sous –jacent ,certes ,l'origine de l'énergie échangée dans le muscle dépend de type d'exercice réalisé :le métabolisme anaérobie est prédominant dans les exercices brefs et intenses ,le métabolisme aérobie dans les exercices prolongés, prétendre mesurer la puissance d'un métabolisme à travers une performance n'a qu'un sens limité ;puisque la part respective des trois métabolismes ne peut être estimée que façon très approchée ,on sait notamment que si les exercices prolongés atteignent une certaine intensité ,les deux voies métaboliques ,anaérobie et aérobie lactique ,sont mises à contribution.

Mesure de la dépense énergétique :

Quelle que soit l'origine de l'énergie échangée à un instant donné ,la somme de ce qui vient des métabolismes anaérobie et aérobie peut être appréciée par mesure du

volume d'oxygène consommé en sus du repos ,y compris pendant la phase de restauration qui suit l'arrêt de l'exercice ,la consommation d'oxygène est facilement mesurée en laboratoire lors d'exercices réalisés sur tapis roulant ou bicyclette ergométrique par la méthode dite du circuit ouvert .celle-ci comporte la mesure du volume de gaz passant par les poumons chaque minute et l'analyse des gaz expirés (O_2 et CO_2).

Des dispositifs portables par le sujet ,fondés sur le même principe, on été mis au point pour donner à celui-ci une plus grande liberté de mouvement et de déplacements , permettant ainsi des mesures de terrain (fig.5.2).

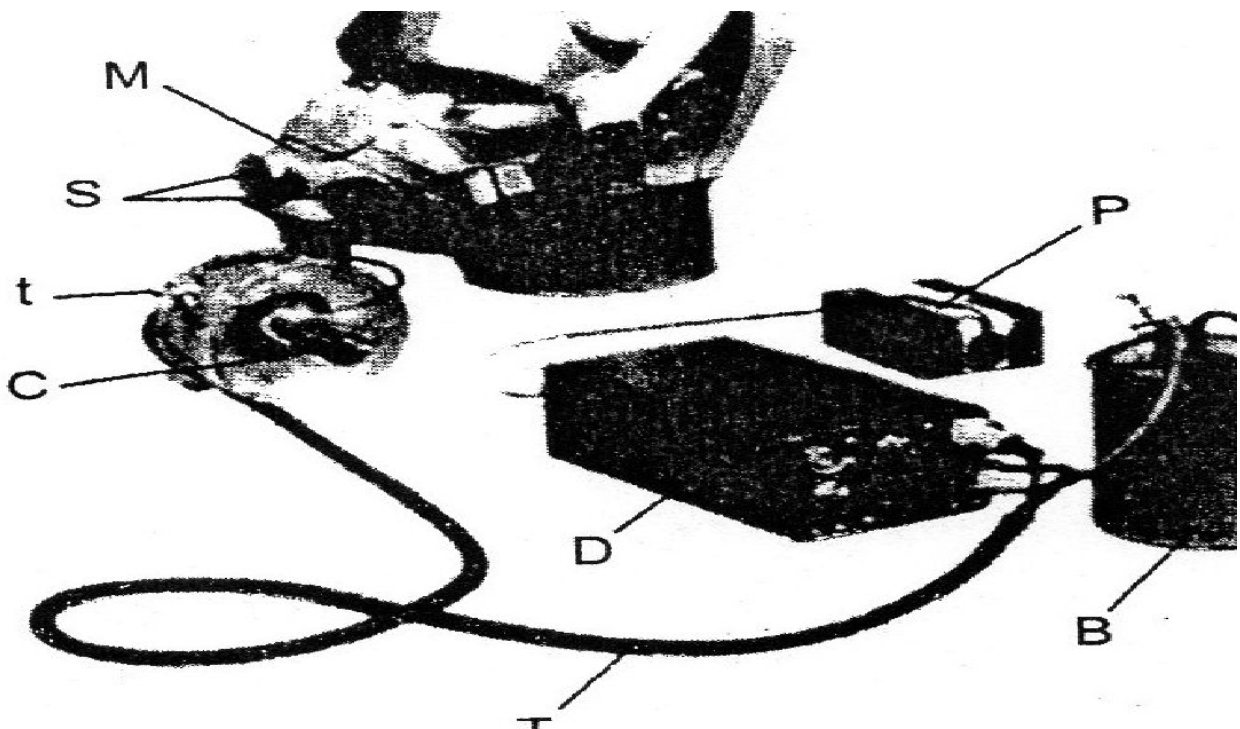


Figure 5.2 appareil portable pour la mesure de la consommation d'oxygène : integrating motor pneumotachograph (IMP).

L'appareil est destiné a mesurer le volume expiré et à recueillir un échantillon moyen de celui-ci.il comprend un masque (M),fixé par harnais (H) sur la tête du sujet .l'air atmosphérique est prélevé par soupapes inspiratoires (S).l'air est ensuite expiré dans une chambre (C) portant un thermomètre (t) et comprenant une membrane sensible à la pression expiratoire et par conséquent au débit de l'air expiré. Le sujet porte sur le dos un dispositif(D);relié à la chambre expiratoire par un tube souple (T);ce dispositif ,alimenté par une pile de 90v(p),comprend un compteur de volume et une petite pompe assurant un prélèvement d'air proportionnel au débit expiratoire .l'air expiré est recueilli dans un sac de 250mL, dans lequel le vide est préalablement fait, contenu dans une boîte cylindrique (B).l'air est ensuite analysé .

Ces dispositifs ont été conçus au début pour tenter de connaître avec précision la dépense énergétique de l'homme en mouvement .on privilégie actuellement

l'utilisation d'appareils automatiques moins précis car donnant des résultats calculés à partir de valeurs supposées constantes du quotient respiratoire .ils sont suffisants en laboratoire et sur le terrain pour les comparaisons faites entre individus ou chez un même individu à différents moment de son parcours sportif.

En l'absence d'appareillage ,la dépense d'énergie pour une activité complexe peut être approchée à partir d'un découpage temporelle fin de cette activité .pour ce faire ,on identifie d'abord chaque opération élémentaire ; lorsqu'elles se répètent, on détermine leurs durées cumulées que l'on exprime en minutes .ensuite, on applique les valeurs du coût énergétique (en mL/min) mesurées pour les activités identique et données par de table; pour plus de précision ,des mesures ponctuelles de consommation d'oxygène peuvent être réalisées sur le terrain .il suffit alors de calculer le coût de chaque opération ,d'additionner les coûts partiels et éventuellement d'établir la considérée .

L'exemple donné dans le tableau 5.III concerne la pratique du golf :le produit du cout calorique par minute (kcal/min) pour chaque opération par le nombre de minutes contenues dans une heure de jeu donne le coût de chaque opération pour celle –ci.

Tableau 5.III de la dépense énergétique du golfeur.

Opération	Durée des opérations (en% du temps)	Coût énergétique		
		Min/h	Kcal/min	Kcal/h
Station debout	34.51	20.70	1.096	022.687
Marche en tirant un caddy	36.63	21.98	6.721	147.728
Shots (bois)	3.41	2.05	4.544	9.315
Shots (fer)	5.11	3.07	3.445	10.576
Putting green	20.34	12.30	2.619	32.214
Total				222.250

Estimation de la dépense par échanges respiratoires :

Pour s'affranchir des contingences instrumentales et donner encore plus de liberté de mouvement au sujet observé ,il été proposé d'estimer la consommation d'oxygène à partir des valeurs de la fréquence cardiaque ,mesurées lors des différentes phases de l'activité physique étudiée .il est aisé d'enregistrer en continu sur le terrain les valeurs successives de la fréquence cardiaque (FC) par télémétrie ou a l'aide d'un microprocesseur fixé au poignet du sujet (sport tester) la figure 5.3 concerne une estimation de la consommation d'oxygène (vo_2) à partir enregistrement de la fréquence cardiaque .

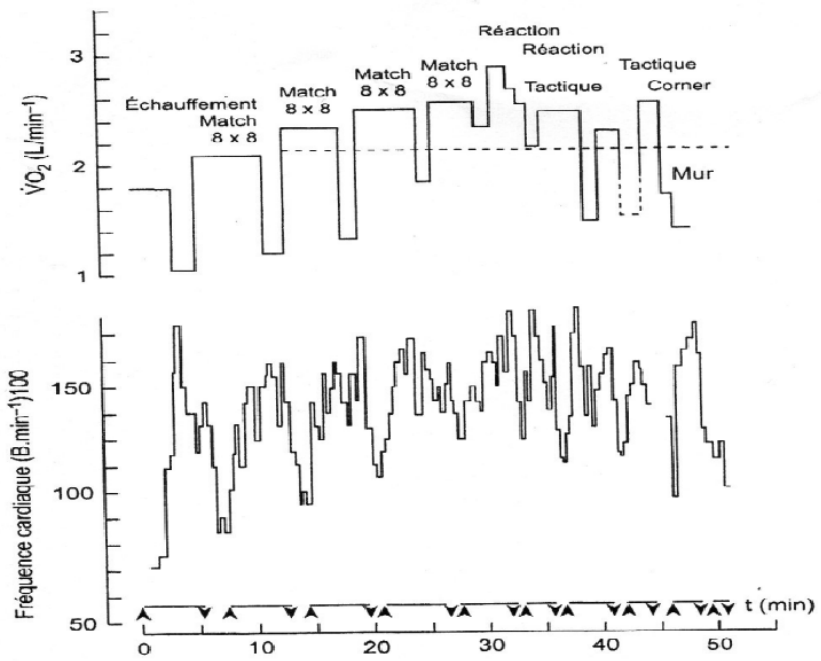


Figure 5.3 Estimation de la dépense énergétique lors d'une séance d'entraînement de 52 minutes.

Des phases successives dont le début (▲) et la fin (▼) sont indiqués .en haut : valeurs estimées de la consommation d'oxygène (vo_2) pour chacune des phases de l'entraînement .en pointillés, valeur moyenne du sujet pour l'ensemble de la séance (d'après ferret).

Le raisonnement suivant peut être tenu : FC et Vo_2 augmentent l'une et l'autre de façon linéaire avec la puissance mécanique de l'exercice ,comme le montre la figure 5.4. de la corrélation établie entre les deux variables physiologique ,on peut donc tirer la valeur probable de l'une quand l'autre est connue .les différences de pente entre ces deux variables physiologique en fonction de l'âge , du sexe, des muscles mobilisés , du degré d'entraînement physique peuvent introduire des sous ou surestimations de la dépense énergétique .

Il ne faut pas méconnaître l'importance de l'erreur faite sur la valeur estimée de la dépense énergétique si la relation fréquence cardiaque /consommation d'oxygène utilisée a été établie sur un group de sujet , d'où l'intérêt d'établir une courbe d'étalonnage individuelle (voir chapitre 6). En effet ,chaque sujet du fait de sa constitution , de son type d'activité professionnelle , de sa pratique sportive et de l'entraînement qu'il a suivi a développé sa propre relation FC/ VO_2 . l'erreur d'estimation peut donc être considérablement réduite si chaque sujet a fait l'objet au préalable d'une courbe d'étalonnage individuelle, déterminée pour des activités musculaire voisines de celles étudiées sur le terrain , et dans des condition climatiques identiques.

On sait ,en effet , que l'exposition à la chaleur est susceptible d'élever le niveau de la fréquence cardiaque sans avoir d'influence sur la consommation d'oxygène. Par ailleurs , à dépense énergétique égale , la fréquence cardiaque s'élève davantage chez le sujet âgé que chez le jeune et pour un travail des membres supérieurs que pour un travail des membres inférieurs .

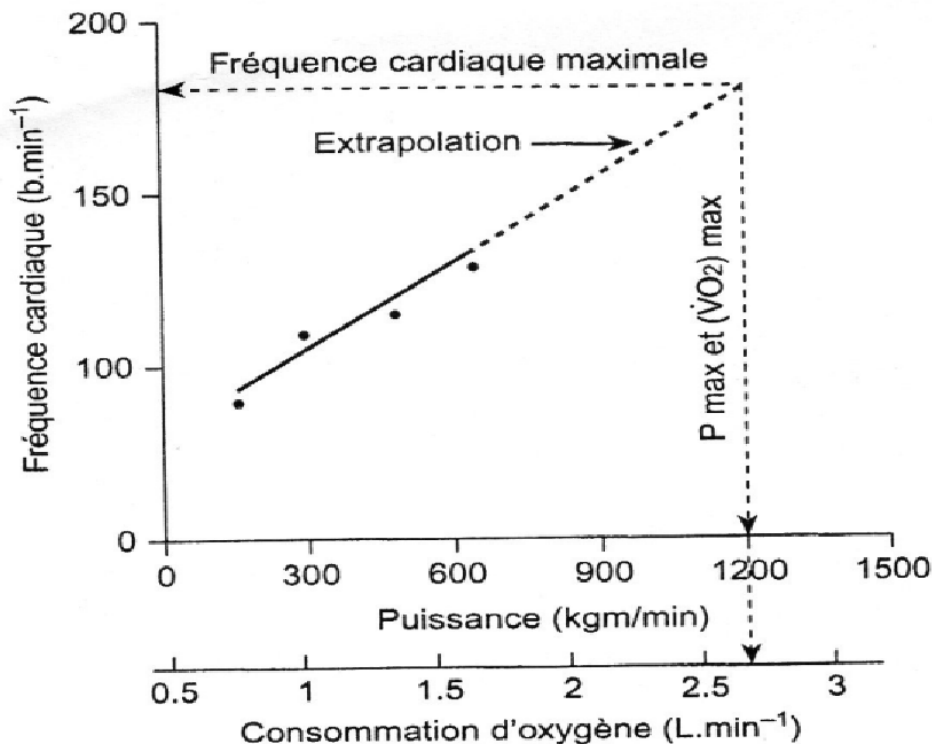


Figure 5.4 relation fréquence cardiaque /consommation d'oxygène. A partir de 4 couples de valeurs obtenues lors d'épreuves sous-maximales, une droite d'étalonnage individuelle a été établie .celle-ci a été prolongée jusqu'à valeur maximale théorique (220-âge) de la fréquence cardiaque :le point extrême donne une estimation de la consommation maximale d'oxygène (vo2 max) .en fin abscisse , la coïncidence des deux échelles se fonde sur une valeur supposée constante du quotient respiratoire.

Estimation de la dépense par le bilan alimentaire :

Le niveau de la dépense énergétique peut être approché par une enquête alimentaire. Des relevés du contenu des repas de 24 heures ,réalisés pendant plusieurs jours consécutifs ,menés parallèlement avec des mesures de consommation

d'oxygène ont montré une bonne concordance des résultats obtenus par les deux voies, sous réserve du contrôle de la stabilité du poids corporel

La méthode ,dite du semainier , déjà utilisée au début du XIXe

Siècle ,était tombée en désuétude mais a été remise à l'honneur pour l'étude des sportifs à catégorie de poids .elle est aussi appliquée ,notamment chez les sportives (dance, gymnastique, cirque; voir chapitre 19) désirant limiter leur poids et présentant de ce fait des variations de poids volontaires pouvant être dangereuses et inquiétantes .ce dépistage non invasif permet de prévenir des troubles digestifs , hormonaux ou psychologiques. Sont également utilisés des questionnaires explorant le comportement alimentaire et le profil psychologique du sportif, tel le Eating Disorder inventory .

On remet au sportif étudié un semainier (durée convenable pour son observation), sur lequel il doit consigner la nature aussi exacte que possible de chacun des aliments ingérés et leurs poids approximatifs (pesées si possible).

Une évaluation est ensuite faite en se référant aux <<table de contenu énergétiques des aliments >> établies par l'Inserm.

Qualité des fibres musculaires :

L'aptitude à la pratique d'un sport ne tient pas seulement à la mise en jeu préférentielle de l'un et l'autre métabolisme , mais aussi à la capacité du muscle à bénéficier plus particulièrement de l'un ou l'autre métabolisme. On oppose généralement les muscles rouges aux muscles blancs .cette distinction est fondée sur la proportion plus grande de fibres musculaires rouges dans les premiers, de fibres musculaires blanches dans les seconds .

Les fibres rouges ,dites fibres I, sont riches en sarcoplasme, colorées par la myoglobine ,pigment fixant de l'oxygène , entourées de nombreux capillaires ;leur contenu en glycogène , de l'ordre de 1%, est susceptible d'être augmenté par le régime , notamment le <<régime dissocié scandinave >>; elles contiennent en outre des triglycérides .les très nombreuses mitochondries ,riches en enzymes , leur confèrent un grand pouvoir oxydatif .ce sont des fibres à contraction lente et peu fatigables ,bien adaptées aux exercices de longue durée .

Les fibres blanches dites fibres II, sont riches en myofibrilles , donc pauvres en sarcoplasma ;elles sont capables de développer une force élevée et de contraction rapide. riches également en glycogène, elles contiennent les enzymes du métabolisme anaérobie et sont orientées vers le métabolisme glycolytique .ce sont

des fibres rapidement fatigables, convenant aux exercices intenses et brefs .il les fibres II ont été secondairement dénommées fibres IIB pour les distinguer des fibres à caractères intermédiaires (IIA),à la fois oxydatives et glycolytiques, et résistant mieux à la fatigue (tableau 5.IV).

Le type d'entrainement suivi oriente les muscles plus utilisés vers le métabolisme aérobie (endurance ,fibre I)ou anaérobie (résistance, fibre IIB).c'est ce que montrent les biopsies musculaires pratiquées chez les coureurs de fond, la proportion des fibres rouges dans le muscle vaste externe est très prédominante , alors que chez les sportifs de force (haltérophilie, lancers, etc..)ou de vitesse (50m,100m,200m), la proportion des fibres rouges est extrêmement réduite.

Type de fibre	I	IIA	IIB
	Contraction lente	Contraction rapide	
Contenu en myoglobine	Elevé	intermédiaire	faible
Contenu en glycogène	Elevé	Elevé	Elevé
Potentiel oxydatif	Très Elevé	Elevé	faible
Contenu en lipides	Très Elevé	intermédiaire	faible
Capillarisation	Très riche	riche	pauvre
Recrutement	Lent	intermédiaire	rapide
Durée d'exercice	Long et modéré	Intense et modéré	Bref et intense

Tableau 5.IV les différents types de fibres musculaires.

Conclusion:

La connaissance des métabolismes énergétiques au cours de l'exercice est utile pour comprendre les limites physiologiques auxquelles l'organisme est soumis et, en fonction du but pour suivi , concevoir un type d' entrainement adapté .

Le bilan global ,en termes consommée par 24 heures ,obtenu par l'analyse de la ration alimentaire(méthode du semainier) ou de l'activité motrice appuyée ensuite de fixer des valeurs optimales a partir de la mesure du volume de co2 rejeté réalisée en cours d'exercice, il est plus possible de calculer le quotient respiratoire ,dont la valeur est indicative de la nature et de la proportion des combustibles utilisés ,glucides et lipides .

Bibliography :

- 1- Coyle E.F., Sidossis L.S., Horowitz J.F., et al. Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers ,1992 p 782.
- 2- Durnin, John V. G. A., and Reginald Passmore :1967 Energy, Work and Leisure, London: Heinemann Educational Books, London. 1967,p166.
- 3- Gosker H.R., Engelen M.P., van Mameren H., et al. Muscle fiber type IIX atrophy is involved in the loss of fat-free body mass in chronic obstructive pulmonary disease Am J Clin Nutr 2002 ; p 113.
- 4- Helge JW, Fraser AM, Kriketos AD, et al. Interrelationships between muscle fibre type, substrate oxidation and body fat. *Int J Obesity* 1999,p 986.
- 5- . Jéquier E, Felber J. Indirect calorimetry.Baillieres Clin Endocrinol Metab 1987 ; p911
- 6- Spitzer.H.and Hettinger,th tafeln fur den caloienumatz der koperlichen qrbeit,sonderheft der refa-nachrichten(koln ;beuth-vertrieb) 1958,from keller and kraut1961
- 7- Schoeller DA, Fjeld CR. Human energy. metabolism : what have we learned from the doubly labeled water method ? 1991 ;p 355