

LE KARATE, MODELISATION DE LA TACHE

1^{ère} Partie

L'analyse de la contrainte énergétique en karaté et plus particulièrement la détermination des facteurs mécaniques de la performance ont fait l'objet d'un nombre limité d'études. La littérature fait état de la diversité des exercices réalisés en karaté. La répétition en routine d'enchaînements techniques, la réalisation d'une phase de combat ou la compétition sont autant de situations susceptibles d'être analysées dans le but de déterminer les caractéristiques mécaniques et physiologiques déterminantes de la performance. Toutefois, la demande énergétique en karaté a été principalement étudiée au cours d'exercices variés d'entraînement ou simulant une compétition. La synthèse de ces études a été réalisée dans le but d'identifier le système d'approvisionnement énergétique majoritairement sollicité en karaté.

I - Les exercices d'entraînement

1.1 . La demande énergétique

Parmi les études relatives aux conditions particulières d'exercice rencontrées en karaté, nombreuses sont celles qui ont mesuré les adaptations physiologiques induites par l'entraînement. L'enjeu était notamment de confirmer que la pratique régulière contribuait à l'amélioration des aptitudes cardiovasculaires des pratiquants (*1).

Shaw et Deutsch (1982) ont spécifié la durée et la cadence des répétitions de combinaisons techniques nécessaires à l'obtention d'une intensité d'exercice au moins égale à 50% de la consommation maximale d'oxygène (*i.e.* le seuil reconnu de développement de la consommation maximale d'oxygène par l'American College of Sports Medicine 1990).

(*1) Le karaté a longtemps souffert d'une mauvaise réputation. L'étude des besoins physiologiques et du développement des aptitudes physiques liés à l'entraînement a pu en ce sens légitimer la pratique du karaté. "Le karaté est un sport complet, bilatéral et symétrique, qui fait travailler tous les muscles du corps (...) les qualités requises sont la souplesse, une grande vitesse gestuelle et l'endurance physique." Civard-Racinais 1997, Un esprit sain dans un corps sain. *Univers Santé* 21: 48-49

La pratique du karaté est supposée bénéfique pour la santé : "sa pratique régulière suffit comme préparation et il n'est pas nécessaire de pratiquer un entraînement cardio-vasculaire ou musculaire particulier" Dr. Garson G 1997, Karaté deux fois champions. *Médecins du Sport* 9 : 5 - 7

Par ailleurs, les résultats des études mesurant les variations de la fréquence cardiaque (Bernez 1982 ; Pieter *et coll.* 1990) et de la consommation d'oxygène au cours d'enchaînements codifiés de techniques et de déplacements, suggéraient que leur exécution pouvait être utilisée comme moyen spécifique de développement des aptitudes aérobies (Shaw et Deutsch 1982 ; Zehr et Sale 1993). La consommation d'oxygène relevée dans les études précédentes s'étendait de 55 à 94% de la consommation maximale d'oxygène des sujets.

La quantité d'énergie dépensée au cours de la pratique d'un exercice particulier de karaté continu de 2 minutes (1 frappe.s⁻¹ alternativement avec les membres inférieurs et supérieurs) présentait des valeurs moyennes de 16,3 (\pm 2,3) kcal.min⁻¹ (Baker et Bell 1990) suggérant une intensité d'exercice élevée (tennis 8 kcal.min⁻¹, ski de fond 20,3 kcal.min⁻¹). La consommation d'oxygène relevée atteignait 2,22 (\pm 0,46) l.min⁻¹. Les fréquences cardiaques maximales s'étendaient de 181 à 194 bpm.

Par ailleurs, Francescato *et coll.* (1995) ont estimé que la fraction d'énergie issue des sources aérobies représentait de 11 à 41% de l'apport énergétique total au cours de l'exécution (de manière explosive) d'un enchaînement de techniques et de déplacements codifiés dont la durée variait de 20 à 80 s. Les concentrations de lactate sanguin au repos et à l'issue de l'exercice ont été déterminées dans le but de calculer l'équivalent énergétique de l'accumulation de lactate. La demande énergétique totale des exercices, définie par l'équivalent en oxygène, représentait selon leur durée entre 3,5 et 1,8 fois la consommation maximale d'oxygène des sujets.

Plus récemment, Imamura *et coll.* (1999) ont mesuré les adaptations physiologiques au cours de la totalité d'un entraînement sans apporter de modification ni aux durées, ni aux intensités des exercices dans le but de reproduire avec fidélité les conditions réelles de pratique. Le résultat majeur de cette étude était que les valeurs de consommation d'oxygène, de fréquence cardiaque et de concentration de lactate sanguin relevées étaient fonction des caractéristiques de l'exercice (*i. e.* exécution des techniques accompagnées ou non de déplacements, en présence ou en l'absence d'un partenaire). Ainsi, le seuil accepté de développement de la consommation maximale d'oxygène (American College of Sports Medicine 1990) n'était pas atteint par l'ensemble des exercices d'entraînement. En effet, seuls les exercices dont le but était de répéter plusieurs techniques associées à des déplacements du corps (en présence ou en absence de partenaire) ainsi que les exercices plaçant les sujets dans une situation de combat simulé ont permis de relever des valeurs nettement supérieures à 50% de la consommation maximale d'oxygène et 60% de la fréquence cardiaque maximale des sujets. Les valeurs de concentration de lactate sanguin relevées s'étendaient selon le type d'exercice de 1,4 (\pm 0,4) à 3 (\pm 1,2) mmol.l⁻¹. De telles valeurs associées à la faible consommation d'oxygène post - exercice en excès, mesurée après l'entraînement, suggéraient une

intensité d'exercice modérée. Les valeurs de lactate observées dans cette étude sont particulièrement faibles et peuvent être dues à la méthode de détermination utilisée. Les échantillons de sang étaient collectés par micro-prélèvements effectués au lobe de l'oreille et analysés à partir d'un analyseur de lactate Yellow springs. Du reste, de telles valeurs de lactate n'étaient pas en accord avec celles présentées par Angulo *et coll.* (1990 a) qui rapportaient des concentrations sanguines nettement supérieures, comprises entre 3,6 ($\pm 2,1$) et 10,6 ($\pm 2,9$) mmol.l⁻¹ selon le type d'exercice étudié.

Si les valeurs élevées de lactate sanguin témoignent d'une participation importante de la glycolyse dans l'approvisionnement énergétique, l'ensemble des études précédentes suggère une participation mixte des systèmes d'énergie aérobie et anaérobie au cours des différents exercices d'entraînement.

1 . 2 . Les caractéristiques biomécaniques et histologiques

Deux études réalisées sur les membres supérieurs (Voigt et Klausen 1990 ; Zehr *et coll.* 1997) ont observé que la pratique régulière d'exercices traditionnels de karaté améliorerait les variables de vitesse et de force mesurées au cours d'un mouvement balistique d'extension du coude et d'une frappe de poing de karaté.

Ricoy *et coll.* (1998) ont étudié la typologie musculaire du *vastus lateralis* par biopsie chez 72 athlètes spécialistes de différentes activités sportives (sprint 100 m, 400 m, longue distance, triple sauts, football, karaté). Si le pourcentage le plus élevé de fibres de type I était observé chez les coureurs spécialistes de longue distance, les spécialistes de karaté présentaient le pourcentage le plus élevé (69%) en fibres de type II. De plus, parmi les fibres de type II, 81,5% étaient de type IIa chez les spécialistes de karaté. Les auteurs classaient le karaté dans le groupe des activités anaérobies avec le triple saut et le sprint.

Récemment, Busko et Wit (2002) observaient des vitesses maximales théoriques moyennes de pédalage égales à 232 rpm au cours d'un test force-vitesse sur ergocycle. Ce résultat observé chez 9 spécialistes de karaté polonais de niveau de pratique national permettait de classer le karaté parmi les *sports explosifs*.

II - Le combat

Dans le but de déterminer l'intensité de l'exercice de compétition, plusieurs travaux ont étudié les réponses métaboliques, ventilatoires ou cardiaques des pratiquants à l'issue d'un exercice test censé reproduire la situation de compétition. Selon les études, cet exercice test était défini comme :

- ❑ une répétition de combinaisons techniques offensives puis défensives face à un partenaire alternativement défenseur puis attaquant (Imamura *et coll.* 1999).
- ❑ un combat comprenant 2 séquences de 2 min entrecoupées de 8 à 12 min de repos (Angulo *et coll.* 1990 b).
- ❑ une succession de 20 combats d'entraînement (Imamura *et coll.* 1996).
- ❑ une répétition de frappes avec les poings durant 30 s puis les membres inférieurs durant 30 s à raison d'une technique par seconde sur une durée totale de 2 min (Baker et Bell 1990).

A notre connaissance, peu d'études ayant eu pour but d'estimer la dépense énergétique de l'exercice de compétition ont été consacrées à l'analyse de la situation de combat réel. Schmidt et Perry en 1976 ont étudié les variations de la fréquence cardiaque afin de rendre compte de la contrainte physiologique globale éprouvée par les sujets au cours d'un combat de 2 min. Cette première étude *in situ* rapportait des cinétiques de fréquences cardiaques identiques chez l'ensemble des sujets avec des valeurs augmentant rapidement de 0 à 25 s pour atteindre un plateau de valeurs s'étendant de 161 ($\pm 4,1$) à 177 (± 3) bpm de 25 s à 120 s. Ces auteurs suggéraient que l'augmentation rapide de la fréquence cardiaque était le reflet de la charge de travail très élevée impliquant les sources d'énergie anaérobie. Les valeurs de fréquences cardiaques variaient de manière importante selon les sujets. Ce résultat suggère que l'intensité relative de chaque combat n'est pas stéréotypée.

L'étude du coût métabolique d'un combat de compétition (Angulo *et coll.* 1990 a) a aussi montré une importante variation interindividuelle des concentrations de lactate sanguin. Toutefois, les valeurs élevées ($12,4 \pm 3,6$ mmol.l⁻¹) mesurées suggéraient une sollicitation des sources d'énergie anaérobie lactique.

Si nous mettons en relation le coût métabolique d'un combat et celui d'un entraînement stéréotypé relevés dans les études précédentes (Francescato *et coll.* 1995 ; Imamura *et coll.*, 1997 ; Shaw et Deutsch 1982 ; Zehr et Sale 1993), nous remarquons que l'entraînement ne semble pas reproduire les contraintes énergétiques de l'exercice de compétition. Ainsi, Angulo *et coll.* (1990 a) ont relevé des valeurs de concentration de lactate s'étendant de 3,6 ($\pm 2,1$) à 10,6 ($\pm 2,9$) mmol.l⁻¹, en fonction des exercices d'entraînement, alors que la concentration moyenne relevée à l'issue d'un combat de karaté était de 12,4 ($\pm 3,6$) mmol.l⁻¹.

III - Evaluation des aptitudes physiques des karatékas

L'étude des caractéristiques fonctionnelles des pratiquants visait majoritairement l'évaluation de l'aptitude aérobie chez les spécialistes de karaté sportif (Angulo *et coll.* 1990 b) et traditionnel (Bernez 1982 ; Francescato *et coll.* 1995 ; Imamura *et coll.* 1999). Les résultats obtenus suggèrent des caractéristiques similaires à celles des joueurs de sports collectifs avec notamment une consommation maximale d'oxygène inférieure à 60 ml/min/kg. De plus, les valeurs de consommation d'oxygène (exprimées en pourcentage de la consommation maximale d'oxygène) mesurées au seuil de transition aérobie - anaérobie (défini ici par la valeur de concentration de lactate égale à 4 mmol.l⁻¹) étaient significativement inférieures à celles obtenues chez une population spécialiste de ski de fond et de course à pieds (Angulo *et coll.* 1990 b).

Récemment, Busko et Wit (2002) évaluaient l'aptitude anaérobie de spécialistes polonais de niveau de performance national, à partir d'un test de Wingate. Les puissances maximales développées ($10,8 \pm 0,85 \text{ W.kg}^{-1}$) sur ergocycle étaient supérieures à celles observées chez des rameurs et des spécialistes de hand ball, mais inférieures à celles de lutteurs.

IV - Conclusion

La diversité des situations d'entraînement et des exercices analysés dans la littérature souligne la difficulté d'étudier les caractéristiques et les besoins du spécialiste en situation réelle de pratique et la difficulté de reproduire les conditions spécifiques de pratique du karaté par un seul exercice standardisé. Bien que le niveau de codification des techniques et des déplacements en karaté assure un degré de reproductibilité élevé (Imamura *et coll.* 1999), les variables (caractère, intensité et durée d'exercice) caractérisant les situations d'entraînement ne sont pas stéréotypées.

Il n'existe pas de tests spécifiques valides en karaté permettant d'estimer les propriétés mécaniques musculaires à partir de déplacements horizontaux. Par ailleurs, aucun test susceptible de rendre compte de la demande énergétique particulière du karaté n'est disponible à ce jour. Les résultats des différentes études suggèrent que les besoins énergétiques sollicitent les processus aérobie et anaérobies. Les pratiquants semblent être régulièrement placés en situation d'entraînement mixte au cours de la majeure partie des exercices traditionnels réalisés en karaté.

2^{ème} Partie

La 2^{ème} partie est le compte rendu de 2 études publiées. Pour obtenir l'ensemble des résultats se référer à ces publications.

- Intensité relative et durée des différentes phases d'une compétition de karaté.
Science et Motricité 2000, n°41, pages 95-97.
- Ammoniaque et lactate plasmatiques accumulés en combat de karaté.
Science et Motricité 2003, n°49, pages 83-95.

La demande énergétique en karaté a été étudiée principalement au cours d'exercices variés d'entraînement ou simulant la compétition. En situation réelle de combat de compétition, la cinétique de la fréquence cardiaque associée aux valeurs relativement élevées de lactate sanguin accumulé suggérait une contribution importante du métabolisme anaérobie dans l'apport énergétique.

Une première étude préliminaire a été réalisée dans le but de modéliser le combat de compétition. Par conséquent, parmi les paramètres de l'exercice, nous avons identifié ceux qui présentaient d'importantes variations interindividuelles.

Une deuxième étude préliminaire a été réalisée dans le but de préciser la contribution du métabolisme anaérobie dans la production énergétique lors d'un combat de karaté en situation de compétition.

I - Intensité relative et durée des différentes phases d'une compétition de karaté

En situation de compétition, l'objectif du karatéka est de frapper le premier en utilisant des combinaisons techniques particulières, exécutées avec les membres inférieurs et supérieurs.

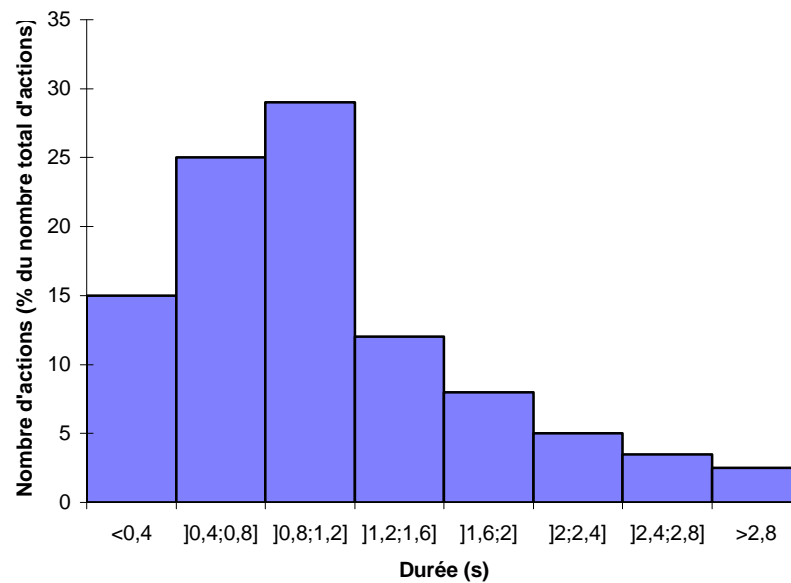


Figure 1 – Répartition des déplacements et techniques explosifs selon leur durée.

Par conséquent la vitesse des déplacements corporels et segmentaires est un élément crucial de la performance dans le karaté moderne.

Lors d'un combat de compétition, la réalisation des déplacements et l'exécution des techniques étaient caractérisées par une durée moyenne inférieure à 1,6 s pour 80% d'entre elles (Fig. 1). Le combat d'une durée de 3 min a pu être modélisé par un exercice intermittent dont la durée d'assaut effective représentait 62% du temps de combat. Une phase de récupération passive ($8,8 \text{ s} \pm 3,2 \text{ s}$) suivait chaque assaut ($13,6 \text{ s} \pm 3,2 \text{ s}$) constitué d'activités motrices explosives et d'activités de déplacements modérés (Fig. 2). Le résultat majeur de cette étude était que les paramètres de l'exercice, particulièrement la durée totale du combat, le nombre total et la durée de chaque assaut n'étaient pas stéréotypés.



Figure 2- Illustration des trois comportements caractéristiques rencontrés lors d'un combat de compétition. *a* une phase de repos passif, *b* une phase de déplacement et *c* une phase d'action explosive.

II - Etude des concentrations d'ammoniaque et de lactate plasmatique accumulées en combat de compétition de karaté

Les valeurs relativement élevées de lactate sanguin relevées dans la littérature, à l'issue d'un combat de compétition, témoignaient de la participation de la glycolyse dans la fourniture énergétique et permettaient de soupçonner celle de la voie de la myokinase.

Le but de cette étude était de préciser la contrainte énergétique d'un combat de karaté par l'analyse de deux marqueurs sanguins du métabolisme anaérobie, le lactate et l'ammoniaque. Huit spécialistes ($23,8 \pm 2,2$ ans ; $69,6 \pm 9,7$ kg) de haut niveau ont participé à cette étude réalisée au cours d'un tournoi international que nous avons organisé à Besançon.

Les échantillons de sang étaient prélevés dans une veine de l'avant-bras, au repos (après échauffement) et après la fin du premier combat du tournoi à 2, 4, 6, 8 et 10 min de récupération

(via un cathéter). Les valeurs de lactate et d'ammoniaque plasmatiques mesurées aux différents temps de la récupération étaient significativement ($p < 0,001$) supérieures à celles de repos.

Le pic de concentration de lactate ($14,2 \pm 3,1 \text{ mmol.l}^{-1}$; compris entre 11,3 et 20,8 mmol.l^{-1}) suggère une contribution importante de la glycolyse dans la production d'énergie nécessaire au cours du combat. La valeur moyenne était sensiblement supérieure à celle rapportée ($12,4 \pm 3,6 \text{ mmol.l}^{-1}$) par Angulo *et coll.* (1990) et nettement supérieure à celle présentée dans une étude réalisée par la Fédération Française de Karaté en 1996 (*₃). Notre étude a été réalisée dans des conditions réelles de combat de compétition contrairement aux études antérieures. Les différences de concentrations sanguines observées en comparant notre étude à celles de la littérature peuvent être dues à ces conditions particulières d'exercice.

Les cinétiques de récupération du lactate sanguin étaient identiques chez l'ensemble des sujets, contrairement à celles de l'ammoniaque. Du reste, aucune corrélation significative n'a été observée entre les pics de concentration des deux métabolites. Les valeurs d'ammoniaque accumulées en récupération, ainsi que le pic de valeur ($107,2 \pm 25,2 \text{ } \mu\text{mol.l}^{-1}$; rangée de 66 à 135 $\mu\text{mol.l}^{-1}$) présentaient une variation importante selon les sujets. Bien que l'ammoniaque plasmatique ne reflète que partiellement la production musculaire (Medbø et Sejersted 1985 ; Harris et Dudley 1989), les concentrations sanguines marquent l'activation de l'adenylate kinase et de l'AMP desaminase. La production importante d'ammoniaque suppose la diminution de l'ensemble des nucléotides puriques (ATP, ADP, AMP) (Itoh et Ohkuwa 1991) et témoigne d'un déséquilibre entre la production et la consommation d'ATP (Katz *et coll.* 1986).

L'accumulation d'ammoniaque a de ce fait été utilisée comme témoin de la contrainte énergétique imposée par l'exercice sur l'organisme. Dans notre étude, la disparité des concentrations d'ammoniaque relevée selon les sujets souligne une contrainte énergétique variable selon les combats. Ces résultats suggèrent que la contrainte énergétique d'un combat de karaté n'est pas stéréotypée. Le nombre d'assauts, de repos, de techniques, la durée totale du combat, la durée des pauses, la victoire ou la défaite sont autant de facteurs incontrôlables pouvant avoir une incidence sur la contribution du métabolisme anaérobie dans la production énergétique d'un combat.

(*₃) Boillat JY, Chanon R et Benezis C - 1996 - Les dépenses énergétiques en combat de karaté et stratégie de l'entraînement qui en découle. Document FFKAMA.

Toutefois, l'augmentation significative des valeurs d'ammoniaque mesurées en récupération comparées à celles de repos, suggère que le débit énergétique est suffisamment élevé au cours des phases explosives pour solliciter quasiment systématiquement la voie de la myokinase dans la fourniture énergétique.

Contrairement au lactate, l'ammoniaque est toxique pour l'homme (Moussard 1999). Son effet délétère pose un problème dans la récupération après exercice suggérant de développer par l'entraînement l'induction enzymatique qui permet d'éliminer rapidement l'ammoniaque.

III - Conclusion

L'exercice de compétition a été défini comme un exercice intermittent non stéréotypé. Sa reproduction dans le but d'analyser la demande énergétique particulière du karaté semble de ce fait limitée. Par ailleurs, en comparant les résultats de nos études préliminaires à ceux observés dans la littérature, nous suggérons que l'entraînement traditionnel ne reproduit pas les contraintes énergétiques rencontrées lors de l'exercice de compétition. Par conséquent, le spécialiste de haut niveau qui est soumis à une charge d'entraînement importante, est placé dans des situations de pratique très diverses (une phase de combat, un combat, la succession de plusieurs combats, un exercice d'entraînement, un entraînement dans sa totalité). Chacune contribue au développement des aptitudes du spécialiste à répondre aux exigences de la pratique et induit des adaptations mécaniques et physiologiques particulières.

Nous avons émis l'hypothèse selon laquelle ces adaptations caractéristiques peuvent être identifiées au moyen de protocoles standard de laboratoire. Ainsi, les études sous citées avaient pour but d'identifier les variables mécaniques musculaires et physiologiques caractéristiques de spécialistes de karaté et plus particulièrement de mettre en évidence celles qui étaient sensibles au niveau de performance en karaté.

- Comparaison de deux méthodes d'analyse des variables maximales de vitesse, force et puissance dans l'évaluation fonctionnelle en karaté.
Science et Sports 2003, n°18, pages 134-140.
- Application of force-velocity cycle ergometer test and vertical jump tests in the functional assessment of karate competitor.
The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness 2004, n°4, pages 349-355.
- Maximal accumulated oxygen deficit and blood responses of ammonia, lactate and pH after anaerobic test: a comparison between international and national elite karate athletes.
International Journal of Sports Medicine 2006, n°27, pages 810-817.