

Evolution du profil physiologique des gymnastes durant les 40 dernières années. (revue de littérature)

Monèm Jemni, Françoise Friemel, William Sands, Alan Mikesky

Catalog Data

Jemni, M., Friemel, F., Sands, W., and Mikesky, A. (2001). Evolution du profil physiologique des gymnastes durant les 40 dernières années. (revue de littérature). **Can. J. Appl. Physiol.** 26(4): 356-370. ©2001 Canadian Society for Exercise Physiology.

Key words: maximal anaerobic power, maximal oxygen uptake, heart rate, blood lactate, energetic cost

Mots-clés: puissance maximale anaérobie, consommation maximale d'oxygène, fréquence cardiaque, lactatémie, dépense énergétique

Résumé/Abstract

Les auteurs exposent l'évolution du profil physiologique et en particulier bioénergétique des gymnastes depuis les années 70. Les gymnastes deviennent des athlètes de plus en plus puissants sur le plan anaérobie. La puissance maximale anaérobie mesurée à l'aide du test de Wingate chez des gymnastes masculins de haut niveau se situe de nos jours entre 12 et 14 W.kg⁻¹. Celle des gymnastes féminines est entre 10 à 12 W.kg⁻¹. Par ailleurs, ils conservent une faible aptitude aérobie mais suffisante pour leur pratique malgré l'augmentation du nombre d'heures d'entraînement.

Les valeurs du pic de fréquence cardiaque observées au cours des exercices gymniques ont suivi l'évolution des exigences techniques et acrobatiques de plus en plus difficiles. Elles passent de 135 - 151 batt.min⁻¹ au début des années 70 à plus de 190 batt.min⁻¹ de nos jours. Les valeurs de lactatémie montrent que la glycolyse anaérobie est de plus en plus sollicitée avec une disparité entre les agrès. Cela est confirmé par les résultats des études

M. Jemni and W. Sands are with the Human Performance Laboratory at California Lutheran University, ###, CA. F. Friemel is with the Département de Physiologie, Faculté de Médecine, Université Paris 12. A. Mikesky is with the Human Performance and Biomechanics Laboratory at the University of Indiana, Indianapolis, IN.

de la dépense énergétique montrant que la demande énergétique de la gymnastique artistique moderne est de plus en plus importante.

Authors illustrate the evolution of the physiological profile of gymnasts over the past 40 years. Gymnasts are demonstrating increased anaerobic power. Maximal power output measured by the Wingate test in high level male gymnasts is currently between 12 and 14 W · kg⁻¹. Female gymnasts show maximal power between 10 and 12 W · kg⁻¹. In spite of an increase in the number of training hours, they have a low aerobic aptitude. It is still adequate and sufficient for their practice.

Maximal heart rate values measured during gymnastic exercises have mirrored technical and acrobatic demands of increasing difficulty. Currently, exercise heart rates exceed 190 beat · min⁻¹ as compared to 135 to 151 beat · min⁻¹ in the seventies. Measurement of higher blood lactate values suggests that anaerobic glycolysis has increased in importance. Glycolytic contributions differ between apparatuses. Data from energy cost studies demonstrate that gymnastics energy demands are greater now than in the seventies.

Introduction

Les variables associées à la performance, en gymnastique, chez les filles et les garçons, ont été précisées par Bale et Goodway (1990) et par Salmela (1982). Les gymnastes masculins atteignent généralement le pic de performance vers l'âge de 20 ans. Ils sont caractérisés par une musculature très développée surtout au niveau du train supérieur, une puissance et une force importantes par rapport à leur poids qui est assez faible. La gymnastique féminine, quant à elle, est restée jusqu'aux années 70 dominée par des gymnastes de même tranche d'âge. Pendant cette période, l'aspect chorégraphique était beaucoup plus valorisé. De nos jours les gymnastes féminines sont plus jeunes, plus légères, plus courtes et plus ectomorphes. Ces nouvelles caractéristiques physiques sont beaucoup plus adaptées aux exigences biomécaniques de la performance acrobatique. D'autres études ont montré le retard de développement osseux associé à la pratique de ce sport surtout chez les filles (Alexander, 1991; Alexander, Boreskie, et Law, 1987; Bale et Goodway 1990; Case, Fleck, et Koehler, 1980; Claessens et al., 1992; Erosy, 1991). Les qualités physiques nécessaires pour la réussite dans cette activité de haute technicité, aussi bien chez les filles que chez les garçons, sont de nos jours bien précisées : la puissance, la force, la vitesse, la souplesse et la coordination (Bale et Goodway, 1990; Salmela, 1982).

Le but de cette étude bibliographique est de faire le point sur l'évolution du profil physiologique et en particulier bioénergétique des gymnastes depuis les années 70. Les thèmes abordés sont : les résultats de l'exploration des métabolismes aérobie et anaérobie, la réponse cardiaque et métabolique au cours de l'effort gymnique ainsi que la dépense énergétique.

La gymnastique artistique de compétition est un combiné d'exercices physiques très variés, dont la plupart sont exécutés aux agrès. La gymnastique artistique masculine comporte 6 agrès : sol, cheval-arçons, anneaux, saut de cheval, barres parallèles et barre fixe. La gymnastique artistique féminine comporte 4 agrès : saut de cheval, barres asymétriques, poutre et sol.

Le tableau 1 montre la durée moyenne des exercices réalisés lors de chaque épreuve aux championnats du monde de 1999 en Chine.

Tableau 1 Durée moyenne (et écart-type) en secondes des exercices de gymnastique féminine et masculine lors des championnats du monde de 1999

Agrès masculins	durée	Agrès féminins	durée
Sol	61 (4)	Saut de cheval	5 (0.5)
Cheval-arçons	32 (6)	Barres asymétriques	40 (5)
Anneaux	31 (5)	Poutre	66 (5)
Saut de cheval	6 (0.5)	Sol	79 (0.5)
Barres parallèles	41 (5)		
Barre fixe	37 (7)		

Résultats de l'exploration du métabolisme aérobie

Les valeurs qui ont été relevées chez des gymnastes de classe internationale et rapportées par Montpetit en 1976 montrent que le $\dot{V}O_2$ max des gymnastes masculins de haut niveau s'inscrivait autour d'une moyenne de 50.0 ml.kg⁻¹.min⁻¹. Soit 46.2 ml.kg⁻¹.min⁻¹ chez des Roumains, 51.6 ml.kg⁻¹.min⁻¹ chez des Américains et 60.0 ml.kg⁻¹.min⁻¹ chez des Suédois.

En 1980 Bergh a trouvé des chiffres un peu inférieurs chez l'élite suédoise avec un $\dot{V}O_2$ max de 51 ml.kg⁻¹.min⁻¹ (Tableau 2). Par ailleurs, Barantsev (1985) a constaté que le $\dot{V}O_2$ max des gymnastes diminue entre l'adolescence et l'âge adulte. Les valeurs moyennes passent de 53.2 ± 6.3 à 12 ans, à 47.2 ± 6.7 ml.kg⁻¹.min⁻¹ à l'âge de 25 ans. Cette diminution est associée à une augmentation du volume et de l'intensité de l'entraînement. Pendant la période pubertaire, les adolescents subissent des transformations corporelles et hormonales associées à une amélioration de la puissance maximale anaérobie (Bedu et al., 1991; Falgairrette, Bedu, Fellmann, Van Praagh, et Coudert, 1991). D'autres études ont montré que l'augmentation de la puissance maximale anaérobie, suite à un entraînement spécifique, provoque une diminution de la puissance du métabolisme aérobie (Sands, 1985). Cependant, il semble que cette relation soit moins flagrante avant la période pubertaire. En effet, la spécificité musculaire est moins marquée chez l'enfant que chez l'adulte (Bar-Or, 1984; Inbar et Bar-Or, 1977). C'est pourquoi, cette période de la puberté constitue pour les entraîneurs de gymnastique un moment d'action très important pour l'apprentissage technique. Ces mêmes études montrent que les enfants qui réalisent de bonnes performances lors d'efforts brefs et intenses possèdent également un $\dot{V}O_2$ max élevé.

Les valeurs de $\dot{V}O_2$ max trouvées par Goswami et Gupta (1998) chez des gymnastes en formation sont légèrement inférieures à celles trouvées chez une population de haut niveau mais restent toujours dans les limites des valeurs attribuées à ces sportifs (Tableau 2). Plus récemment, l'étude de Lechevalier et al. (1999) a permis la mesure de la consommation maximale d'oxygène des membres supérieurs et des membres inférieurs chez les gymnastes français de haut niveau. Le rapport

Tableau 2 Consommation maximale d'oxygène moyenne (et écart—type) en ml.kg⁻¹.min⁻¹ chez des gymnastes

		nombre	niveau	Age (ans)	$\dot{V}O_2$ max (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)
Féminines	Sprynarova, 1969	—	national	—	42.5 (3.7)
	Noble, 1975	3	élite	16–22	61.8 (8.0)
	Montgomery, 1982	29	national	11–13	50.0 (0.9)
Masculins	Bergh, 1980	—	élite	—	51.0
	Barantsev, 1985	—	national	12–13	53.2 (6.3)
				14–15	50.9 (6.2)
				17–25	47.2 (6.7)
	Goswami, 1989	5	national	24.2 (3.1)	49.6 (4.9)
	Lechevalier, 1999	9	élite	17–21	53.1 (3.2)
				39.0 (5.7)*	

*membres supérieurs

de $\dot{V}O_2$ max entre membres supérieurs et membres inférieurs est de 73% (tableau 2). Les valeurs trouvées dans cette étude s'inscrivent dans la fourchette des chiffres qui ont été relevés par Montpetit en 1976.

Les études qui ont exploré le métabolisme aérobie des gymnastes féminines et masculins suggèrent que les gymnastes de haut niveau ont des valeurs de $\dot{V}O_2$ max plus élevées que celles des gymnastes de niveau national (tableau 2). Ainsi, les valeurs de $\dot{V}O_2$ max trouvées par Noble (1975) chez des gymnastes féminines appartenant à l'élite américaine sont nettement supérieures à celles trouvées par Sprynarova et Parizkova (1969) chez des gymnastes tchécoslovaques ou par Montgomery et Beaudin (1982) chez des gymnastes canadiennes de niveau national (tableau 2). Ces valeurs sont inférieures à celles trouvées par Crielaard et Pirnay (1981) chez des sprinters masculins de haut niveau (60.1 ± 5.9 ml.kg⁻¹.min⁻¹) et presque identiques à celles des patineurs artistiques (48.5 ± 6.6 chez les filles et 51.6 ± 4.0 ml.kg⁻¹.min⁻¹ chez les garçons) cités par Roi et al. (1989). Les gymnastes se classent ainsi parmi les sportifs ayant une très faible puissance aérobie ce qui confirme les études de Bergh (1980).

Par ailleurs, Shaghilil (1978) a apporté quelques précisions sur la fonction respiratoire chez les gymnastes. A savoir, la fréquence respiratoire de repos chez ces sportifs peut être inférieure à celle des sédentaires. Celle-ci est de l'ordre de 16 à 18 cycles par minute chez le sédentaire, alors qu'elle est de 12 à 14 chez les gymnastes, mais cela est inconstant.

La ventilation chez les gymnastes est variable, surtout dans certaines situations, telles que l'appui tendu renversé où la respiration devient difficile par l'effet du poids des viscères qui pèsent sur le diaphragme, ce qui augmente la pression intra-thoracique, ralentit la ventilation et produit une congestion du visage. Cependant cela n'est pas dû à une modification du fonctionnement ou des caractéristiques des muscles respiratoires.

Résultats de l'exploration du métabolisme anaérobie

La puissance et la capacité du métabolisme anaérobie peuvent être explorées directement, de manière invasive, à l'aide des biopsies musculaires, ou indirectement, à l'aide d'ergomètres. Actuellement il n'existe aucun ergomètre spécifique pour les gymnastes. L'ergocycle est le plus utilisé pour sa facilité d'emploi. Les épreuves de Force/Vitesse (Vandewalle et al., 1987; Vandewalle et Friemel, 1989) et de Wingate (Bar-Or, Dotan, et Inbar, 1977), par exemple, pénalisent les gymnastes du fait que ces sportifs ne sont pas habitués à réaliser des efforts cycliques comme le pédalage.

Le tableau 3 regroupe les résultats d'études qui ont apprécié le métabolisme anaérobie à l'aide du test de Wingate. Les sujets de l'étude de Heller et al. (1998) et de Lechevalier et al. (1999) sont des gymnastes espoirs et seniors faisant partie de l'élite tchèque ou française. Les résultats de ces deux populations sont comparables.

La puissance maximale anaérobie mesurée à l'aide du test de Wingate chez des gymnastes seniors masculins de haut niveau se situe entre 12 et 14 W.kg⁻¹. Celle des gymnastes seniors féminines est entre 10 à 12 W.kg⁻¹. Ces valeurs sont nettement supérieures à celles trouvées par Tharp, Johnson, et Thorland (1984) chez des sprinters de haut niveau féminines et masculins entre 14 et 15 ans ou des nageuses de niveau national estimées à 9.6 ± 0.7 W.kg⁻¹ (Reilly et Bayley, 1988). De même, les valeurs moyennes de puissance maximale anaérobie des membres supérieurs ou inférieurs des gymnastes sont plus élevées que celles des lutteurs américains d'élites rapportées dans l'étude de Horswill et al. (1992), 7.8 ± 1.0 et 10.9 ± 1.2 W.kg⁻¹ respectivement pour les membres supérieurs et inférieurs. Par ailleurs, la puissance maximale des gymnastes est presque égale à celle des volleyeurs de l'équipe nationale canadienne, estimée à 13.3 ± 0.9 W.kg⁻¹ (Smith, Roberts, et Watson, 1992).

Au cours de l'épreuve de Wingate, pendant laquelle le sujet réalise un effort maximal en 30 secondes, on observe des valeurs de fréquence cardiaque maximale assez élevées (environ 180 batt.min⁻¹) et une forte concentration d'acide lactique sanguin. Cette production varie avec l'âge, l'intensité et les caractéristiques de

Tableau 3 Épreuves de Wingate réalisées sur des gymnastes. Valeurs moyennes (et écart-type)

		Age (ans)	P. moyenne (W.kg ⁻¹)	P. maximale (W.kg ⁻¹)	Fc maximale (batt.min ⁻¹)	La maximale (mmol.l ⁻¹)
Féminins	Heller, 1998	>16, n = 6	8.6	10.4 (0.4)	181 (8)	11.6 (1.7)
Masculins	Heller, 1998	>18, n = 5	10.7	13.2 (1.0)	176 (6)	11.2 (1.5)
	Lechevalier, 1999	18.60, n = 9	10.1 (0.8) 7.0 (0.5)*	14.1 (0.7) 9.6 (0.6)*	171 (11) 175 (9)*	11.4 (1.6) 12.9 (1.3)*

n : nombre; P. : puissance ; La : lactatémie ; Fc : fréquence cardiaque; *membres supérieurs

l'entraînement. Une valeur élevée de lactatémie reflète indirectement la maturité du métabolisme anaérobie et l'importance de la glycolyse anaérobie dans la production d'énergie. Les valeurs de lactatémie trouvées dans la littérature dépassent parfois les 15 mmol.l^{-1} chez des sportifs effectuant un sport dit de "résistance." Zouhal et al. (1998), par exemple, ont trouvé une lactatémie de $16.8 \pm 1.8 \text{ mmol.l}^{-1}$ chez des sprinters de 20 ans. La valeur de lactatémie mesurée chez des athlètes d'endurance après une épreuve de Wingate dépasse rarement les 10 mmol.l^{-1} , comme celle des coureurs de demi-fond rapportée dans l'étude de Taunton, Maron, et Wilkonson (1981) et estimée à 8.6 mmol.l^{-1} .

Montgomery et Beaudin (1982) ont trouvé des valeurs de lactatémie de l'ordre de 8.5 mmol/l chez des gymnastes féminines de 11 à 13 ans suite à une épreuve de pédalage (2 à 8 min) contre une force de freinage représentant 6 % de la masse corporelle. Les valeurs de lactatémie trouvées dans la littérature suite à une épreuve de Wingate chez des gymnastes féminines ou masculins sont situées entre 11 et 13 mmol.l^{-1} (Tableau 3).

Par ailleurs, ces mêmes auteurs ont parfois utilisé d'autres épreuves indirectes d'évaluation de la puissance du métabolisme anaérobie, telles que le test de détente verticale réalisé par Sands et al. (1987, 1991) et Heller et al. (1998). Sands a démontré que les gymnastes américaines de 14 ans ainsi que les juniors ont des détentes inférieures à celle des Tchèques du même âge (respectivement: 41 ± 0.4 et $46.7 \pm 5.3 \text{ cm}$ contre 49.2 ± 9.6 et $52.6 \pm 9.4 \text{ cm}$) Cependant, les valeurs de détente verticale chez les gymnastes seniors des deux équipes sont à peu près similaires (47 cm en moyenne).

Lechevalier et al. (1999) ont mis en évidence une puissance maximale très développée chez les gymnastes français masculins de haut niveau grâce à l'épreuve de Force/Vitesse. Il ont aussi précisé la valeur de la puissance maximale anaérobie des membres supérieurs et des membres inférieurs (10.8 ± 1.4 et $16.1 \pm 0.7 \text{ W.kg}^{-1}$ respectivement). En comparant les résultats de ce test avec ceux d'autres populations sportives de même niveau, nous remarquons que les gymnastes sont des sportifs très puissants avec des qualités de vitesse prédominantes (Jemni, Friemel, Lechevalier, et Origas, 1998).

D'un autre côté, comparativement à des données expérimentales acquises en suivant le même protocole de Force/Vitesse, les gymnastes se situent légèrement au-dessous de sprinters de niveau national évalués à 17.0 W.kg^{-1} (Garnier et al., 1995), proches des 15.8 W.kg^{-1} d'un groupe de volleyeurs de niveau régional (Driss, 1999) et largement au-dessus d'un groupe de nageurs masculins de niveau national évalués à $10.1 \pm 1.6 \text{ W.kg}^{-1}$ (Vandewalle et al., 1989).

La puissance maximale anaérobie des gymnastes n'a commencé à attirer l'attention des scientifiques qu'après plusieurs années d'évolution de ce sport. D'autres aspects étaient prioritaires dans l'investigation de cette activité tels que les blessures articulaires et les problèmes de croissance chez les gymnastes avec plus de 30 % des articles recensés ainsi que les caractéristiques physiques et anthropométriques avec plus de 25 %. La tendance actuelle de ce sport à utiliser les exercices de force a attiré la curiosité de certains scientifiques à partir de la fin des années 80. Malheureusement nous ne disposons pas d'un grand nombre d'articles pour pouvoir comparer les résultats de ces études. Toutefois, la comparaison de la puissance maximale anaérobie des gymnastes—mesurée avec le test de Force/Vitesse—avec des sportifs effectuant des sports dits "de résistance,"

les classe parmi les plus puissants sur un effort de courte durée (Driss, 1999; Garnier et al., 1995; Jemni et al., 1998; Lechevalier et al., 1999; Vandewalle et al., 1989). La comparaison de la capacité maximale anaérobie des gymnastes—mesurée par le test de Wingate—avec celle d'athlètes effectuant des activités de grandes intensités sur une durée de quelques dizaines de secondes les classe au second ou au troisième rang (Heller et al., 1998; Horswill et al., 1992; Lechevalier et al., 1999; Reilly et Bayley, 1988; Smith et al., 1992; Tharp et al., 1984).

La fonction cardiaque chez les gymnastes

LES ADAPTATIONS CARDIO-VASCULAIRES AU COURS DE L'EXERCICE GYMNIQUE

Chez les gymnastes, comme chez d'autres athlètes pratiquant régulièrement une activité physique et sportive, pourrait se produire une hypertrophie du myocarde. Selon Shaghilil (1978), il y a augmentation du volume intracavitaire de l'ordre de 30 % par rapport à un sédentaire. Roskamm (1980), a comparé le volume cardiaque rapporté au poids corporel, des membres des différentes équipes nationales d'Allemagne et d'un certain nombre de sujets non entraînés du même âge. Les haltérophiles ont le volume cardiaque le plus faible (10.8 ml.kg^{-1}), suivis par les sédentaires et les gymnastes (11.7 ml.kg^{-1}). Obert et al. (1997), pour sa part, n'a trouvé aucune différence significative entre des gymnastes prépubères et un groupe témoin de même âge en ce qui concerne les paramètres suivants : diamètre télédiastolique, masse myocardique, fractions d'éjection et de raccourcissement systolique et diastolique, débit cardiaque, fréquence cardiaque et volume d'éjection systolique. Par ailleurs, on sait que la fréquence cardiaque de repos des sportifs est moindre que celle des sédentaires (50 à 60 batt.min^{-1}) en raison de l'augmentation du volume d'éjection systolique.

Selon Shaghilil (1978) la pression artérielle d'un gymnaste au repos ne diffère pas de celle du sédentaire du même âge. A l'approche des championnats, et à la suite de l'élévation de la charge d'entraînement, la pression artérielle s'élève. Pendant cette période se précisent les profils physiques et psychologiques nécessaires pour la compétition. L'anxiété du gymnaste—devenu très sensible durant cette période—pourrait être aussi une des raisons de cette augmentation de la pression artérielle.

Au cours de l'appui tendu renversé et des exercices acrobatiques ou pendant les tours sur la barre fixe, on observe des modifications des volumes vasculaires locaux dues à la force centrifuge ou centripète; mais la vasomotricité permet de conserver un certain équilibre dans la répartition des volumes sanguins. A l'arrêt de ces exercices les volumes sanguins locaux se rétablissent (Shaghilil, 1978).

MESURE DE LA FRÉQUENCE CARDIAQUE AU COURS DE L'EXERCICE GYMNIQUE

Montpetit et Matte (1969) ont mis en évidence une importante baisse de la fréquence cardiaque au cours du maintien de l'appui tendu renversé durant 30 sec. La Fc se stabilise au bout de la 5^{ème} seconde et passe de 120 à 95 batt.min^{-1} . Elle s'accélère après l'arrêt de l'exercice pour enfin se rétablir au niveau initial après 10 sec. Cette diminution s'explique par une augmentation du volume d'éjection systolique, suite

à une augmentation soudaine du retour veineux et l'inverse se produit au retour à la position debout.

Les travaux de Seliger et al. (1970) et de Faria et Phillips (1970) comptent parmi les premières études traitant de la réponse cardiaque au cours des exercices de gymnastique. Grâce à l'électrocardiogramme, Seliger et al. (1970) ont pu apprécier la sollicitation cardiaque durant quelques exercices aux agrès féminins et masculins. La Fc a atteint $148 \text{ batt.min}^{-1}$ à la poutre, 135 aux barres asymétriques et 133 au saut de cheval. Chez les garçons la Fc était un peu plus élevée. Elle a varié entre 151 aux barres parallèles et $139 \text{ batt.min}^{-1}$ au sol. Ces valeurs semblent être très basses, cela s'explique peut être par la nature des exercices simples de la gymnastique de l'époque.

Les travaux de Noble (1975) ont permis l'évaluation de la réponse cardiaque chez des gymnastes féminines en utilisant des électrocardiographes émettant des signaux toutes les 5 secondes. Les valeurs trouvées lors des exercices au sol, à la poutre et aux barres asymétriques sont supérieures à celles trouvées par Seliger. Elles se situent entre 162 et $189 \text{ batt.min}^{-1}$. Les moyennes des valeurs de Fc sur les durées de chaque agrès, sont respectivement 169 ± 6 ; 159 ± 6 et $167 \pm 2 \text{ batt.min}^{-1}$.

En 1976, Montpetit a mis en évidence une réponse cardiaque assez élevée chez des gymnastes masculins réalisant des exercices simples aux agrès. Il a utilisé pour l'enregistrement de la Fc un télé-électrocardiographe. Les valeurs trouvées se situaient entre 130 et $170 \text{ batt.min}^{-1}$. Elles sont plus élevées que celles trouvées par Seliger et al. en 1970 (139 à $151 \text{ batt.min}^{-1}$). Les Fc les plus élevées ont été obtenues à la barre fixe ($170 \pm 2 \text{ batt.min}^{-1}$) puis, en ordre décroissant, aux barres parallèles ($158 \pm 4 \text{ batt.min}^{-1}$), aux anneaux ($149 \pm 5 \text{ batt.min}^{-1}$), au cheval-arçons ($145 \pm 7 \text{ batt.min}^{-1}$) et au saut de cheval ($130 \pm 4 \text{ batt.min}^{-1}$).

Montgomery et Beaudin (1982) ont suivi l'évolution de la Fc le long des 4 routines féminines à l'aide d'un biotachomètre (enregistrement téléométrique). Le pic de Fc était très élevé : $178 \pm 11 \text{ batt.min}^{-1}$. La Fc moyennée sur la durée de chaque épreuve était de $166 \pm 10 \text{ batt.min}^{-1}$.

Goswami et Gupta (1998) ont étudié la Fc à l'aide de cardiofréquencesmètres (Sports Tester PE-3000) lors de répétitions de mouvements complets aux agrès dans des séances séparées. La moyenne des pics de Fc mesurées sur 5 agrès (sol, arçons, saut, barres parallèles et barre fixe) était de $180 \pm 5 \text{ batt.min}^{-1}$. La Fc moyennée sur la durée de chaque épreuve était de $161 \pm 9 \text{ batt.min}^{-1}$. Ces valeurs sont largement plus élevées que celles trouvées dans les années 70 bien qu'il s'agisse du même niveau de pratique (national). Cela confirme la montée en puissance des éléments gymniques qui deviennent de plus en plus difficiles.

Lechevalier et al. (1999) ont enregistré la réponse cardiaque lors de 3 séances de gymnastique d'intensités différentes au moyen de cardiofréquencesmètres (Bauman BHL 6000). Lors des séances de forte intensité, les gymnastes travaillaient à des Fc proches de leurs Fc max estimées au laboratoire. Au contraire, lors de la séance où l'intensité était faible (travail d'apprentissage d'éléments) les Fc ne correspondaient qu'à 60 % de leur Fc max.

Lors d'une étude récente nous avons étudié la Fc au cours d'une compétition chez des gymnastes de haut niveau (Jemni, Friemel, Lechevalier, et Origas, 2000). La Fc a été enregistrée de façon continue grâce à des cardiofréquencesmètres (Bauman BHL 6000). Les Fc atteintes au cours des mouvements complets étaient relativement élevées : 186 ± 11 au sol, 185 ± 9 à la barre fixe, 185 ± 11 aux arçons,

180 ± 11 aux barres parallèles et 162 ± 14 batt.min⁻¹ au saut de cheval. La moyenne des pics de Fc sur 4 agrès à l'exception du saut et des anneaux est de 179 ± 10 batt.min⁻¹. Cela correspondait à peu près à 95 % de la Fc max atteinte lors d'un test de mesure de $\dot{V}O_2$ max sur tapis roulant. Par contre, la Fc moyennée sur la durée de chaque épreuve était de 166 ± 10 batt.min⁻¹, elle correspondait à 88 % de celle atteinte lors du test de mesure de $\dot{V}O_2$ max. Les pics de Fc ainsi que les Fc moyennes de l'épreuve de saut étaient significativement inférieures à celles des autres épreuves. Il est intéressant de noter que le pic de Fc était atteint à la fin de l'exercice aux 5 agrès. En effet, les mouvements complets présentés par tous les gymnastes se terminaient tous par l'élément technique le plus difficile.

Nous avons démontré que les gymnastes ne travaillaient à une Fc proche de leur Fc max que pendant un laps de temps très bref. En effet, la plage de Fc comprise entre 180 et 190 batt.min⁻¹ ne représentait que 16 ± 9 % de l'ensemble des enregistrements effectués pendant les mouvements complets. Par ailleurs, les Fc moyennes des gymnastes se situaient le plus souvent entre 158 et 170 batt.min⁻¹ avec 28 % des enregistrements. Les plus basses Fc étaient entre 100 et 131 batt.min⁻¹ avec 5 % des enregistrements.

Dans la même étude nous avons déterminé le seuil anaérobie moyen des gymnastes et sa Fc correspondante (171 ± 13 batt.min⁻¹) suite à une épreuve maximale pour la mesure du $\dot{V}O_2$ max sur tapis roulant. En comparant cette valeur avec celle de la fourchette de Fc la plus utilisée par les gymnastes (158 à 170 batt.min⁻¹), nous avons conclu que ces derniers travaillaient le plus souvent dans une marge de Fc située légèrement en dessous de celle correspondant à leur seuil anaérobie. Cette comparaison est à prendre avec précaution car il ne s'agit pas du même type d'effort. Les pics et les faibles valeurs de Fc nous montrent que l'intensité des routines n'est pas stable. Ces conclusions nous aident à préciser la nature de la sollicitation métabolique au cours de cet effort.

Grâce à l'évolution des outils de mesure dans les années 80 (électrocardiographes plus performants, cardiofréquencemètres et autres) les études ont été beaucoup plus facilement réalisables et les résultats sont devenus beaucoup

Tableau 4 Fréquences cardiaques maximales et moyennes (écart-type) mesurées aux agrès

		Fc maximale (batt.min ⁻¹)	Fc moyenne (batt.min ⁻¹)
Féminins	Seliger, 1970	133–148	—
	Noble, 1975	162–189	158–167
	Montgomery, 1982	162–185	152–174
Masculins	Seliger, 1970	139–151	—
	Montpetit, 1976	130–170	—
	Goswami, 1998	180 (5)	161 (9)
	Jemni, 1998	179 (10)	166 (10)
	Lechevalier, 1999	184 (6)	—

plus fiables. Le tableau 4 montre que les valeurs de Fc ont suivi l'évolution des exigences techniques et acrobatiques en hausse depuis les années 70. Les valeurs du pic de Fc aux agrès se situaient entre 135 et 151 batt.min⁻¹ au début des années 70 (Montgomery et Beaudin, 1982; Montpetit 1976; Montpetit et Matte, 1969; Noble, 1975). Elles dépassent de nos jours les 190 batt.min⁻¹ (Jemni et al., 1998, 2000; Lechevalier et al., 1999).

La lactatémie au cours de l'exercice gymnique

Les dosages de lactate permettent d'apprécier indirectement la contribution de la glycolyse anaérobie. Depuis les années 70, les travaux ne cessent de confirmer que le système anaérobie n'est pas sollicité dans sa totalité bien qu'il soit le premier fournisseur d'énergie (Montpetit 1976). Beaudin (1978) a constaté une lactatémie moyenne égale à 2.8 mmol.l⁻¹ après passage aux 4 agrès chez des gymnastes féminins, ce qui représente le tiers de la lactatémie maximale trouvée lors d'un test maximal sur tapis roulant. Les lactatémies relevées après les exercices au sol et aux barres asymétriques étaient plus élevées qu'aux autres agrès (4.4 mmol.l⁻¹). Il a supposé alors que la lactatémie atteindrait probablement 7.9 à 9.0 mmol.l⁻¹ après une séquence d'exercices variés réalisée 6 à 8 fois au cours d'une séance. Cela était peut-être possible en considérant le niveau moyen des gymnastes qui ont été testées (donc des routines faciles). Par ailleurs, des valeurs plus élevées de lactatémie ont été trouvées chez des gymnastes d'un niveau supérieur ne réalisant qu'une seule fois leurs routines (Rodríguez, Marina, et Boucharin, 1999).

La valeur moyenne de lactatémie aux agrès féminins a atteint 4.0 mmol.l⁻¹ dans les années 80 (Montgomery et Beaudin, 1982). Celle-ci correspondait à 52% de celle mesurée suite à une épreuve maximale sur tapis roulant. Goswami et Gupta (1998) et Lechevalier et al. (1999) ont trouvé des valeurs de lactatémie semblables en dépit des protocoles différents réalisés chez des gymnastes masculins, respectivement 6.2 ± 0.7 et 6.2 ± 1.6 mmol.l⁻¹ (moyennées sur 5 agrès à l'exception du saut). Ces dernières études montrent donc que la glycolyse anaérobie est de plus en plus sollicitée avec une disparité entre les agrès. Les travaux de Rodríguez et al. (1999) réalisés sur des gymnastes féminines confirment, comme d'autres études, que l'effort au saut de cheval ne provoque qu'une faible sollicitation de la glycolyse anaérobie (2.5 ± 0.2 mmol.l⁻¹ d'acide lactique) contrairement à l'épreuve du sol (7.9 ± 1.8 mmol.l⁻¹).

Exploration de la dépense énergétique au cours de la pratique de la gymnastique

Les premières études traitant de la dépense énergétique ont été réalisées dans les pays de l'Est dans les années 50 (Blochin, 1965; Krestovnikov, 1951). Les procédures utilisées diffèrent d'un protocole à l'autre. Leur seul souci est de ne pas trop gêner les gymnastes avec le matériel qu'ils portent pour la récolte des gaz expirés. Seliger (1970) a supposé que cette entrave cause une sous-estimation de la dépense énergétique de 10%. L'évolution technologique des moyens de mesure a permis de trouver des résultats de plus en plus précis. Les résultats de ces études ont été très diversifiés mais ils ont tous démontré que la dépense énergétique diffère entre les agrès (Tableaux 5 et 6). En 1981, Hoeger et Fisher ont quantifié la dépense

énergétique chez des gymnastes masculins effectuant des exercices imposés. Les gymnastes évoluaient aux 6 agrès tout en étant équipés d'un matériel permettant la récolte des gaz expirés dans des sacs. A l'arrêt de l'effort les gymnastes retenaient leur souffle pendant quelques secondes le temps pour les techniciens de les équiper avec un autre embout buccal permettant la récolte des gaz expirés pendant la récupération. Les gaz expirés ont été mesurés grâce à un système comprenant un pneumographe MTG et un gazomètre (Parkinson Cowan CD 4). Les résultats ont prouvé que l'agrès le plus coûteux était le sol avec 37 kcal suivi dans l'ordre décroissant par les arçons, les anneaux, la barre fixe, les barres parallèles et le saut de cheval (Tableau 6).

Rodríguez et al. (1999) a pu mesurer la dette d'oxygène chez de jeunes gymnastes féminines durant les premières 30 sec qui suivent les 4 agrès. Les gaz expirés étaient mesurés grâce à un système informatisé comprenant un analyseur

Tableau 5 Dépense énergétique moyenne (et écart-type) aux agrès féminins en ml.kg⁻¹.min⁻¹

	Saut	B. Asymétriques	Poutre	Sol
Seliger (1970)*	16.92 (3.45)	16.52 (3.57)	15.02 (4.91)	—
Noble (1975)**	—	48.33 (6.33)	44.29 (7.54)	49.20 (4.66)
Rodríguez (1999)	34.30 (7.70)	36.60 (4.60)	31.30 (6.10)	40.80 (4.00)

* : Mesures réalisées par calorimétrie indirecte. L'air expiré est récolté dans des sacs Douglas et analysé par le moyen d'un interféromètre Zeiss.

** : valeurs estimées à partir de la relation $Fc / \dot{V}O_2$

Tableau 6 Dépense énergétique moyenne (et écart-type) aux agrès masculins

	Sol	Arçons	Anneaux	Saut	B. Parallèles	Fixe
Seliger (1970)*	20.45	16.44	17.32	—	17.05	18.53
ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹ d'O ₂	(6.25)	(2.51)	(2.71)		(3.58)	(3.36)
Hoeger et Fisher (1981) kcal	37.01	36.58	32.74	25.79	32.32	32.48
Sward (1985)**	10.70	10.80	6.70	10.40	8.60	9.60
Cal.min ⁻¹						

* : Mesures réalisées par calorimétrie indirecte. L'air expiré est récolté dans des sacs Douglas et analysé par le moyen d'un interféromètre Zeiss.

** : Mesures réalisées avec un respiromètre K-M

de gaz (CPXII, Medical Graphics USA). Ils ont estimé ainsi la consommation réelle d'oxygène respective pendant chaque routine. Ils ont confirmé, comme c'est le cas chez les garçons, que l'épreuve du saut de cheval ne provoque qu'une faible consommation d'oxygène ($34.3 \pm 7.7 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) contrairement à l'épreuve du sol ($40.8 \pm 4.0 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$). Les résultats concordent avec les valeurs de lactatémie trouvées suite à chaque agrès malgré qu'elles sont supérieures à celles trouvées par Montgomery et Beaudin (1982) et Montpetit (1976). Cela nous permet de conclure que la demande énergétique de la gymnastique artistique moderne est de plus en plus importante.

Des tentatives de quantification de la dépense énergétique ont été réalisées en se basant sur la relation de régression entre la fréquence cardiaque mesurée au cours de l'effort et la consommation d'oxygène mesurée lors d'une épreuve maximale sur tapis roulant (Noble, 1975). Toutefois, cette relation n'est valide que lorsque les mesures sont réalisées en état stable. En gymnastique, il est difficile de trouver cet état stable vu la courte durée des mouvements et les intensités variables des exercices. Le gymnaste évolue en oscillant entre plusieurs états de contractions isotoniques, isométriques ou pliométriques et de courtes périodes de relâchement. De ce fait, nous nous interrogeons sur l'efficacité de la mesure des paramètres du processus aérobie (échanges gazeux) pour la détermination de la nature de l'effort en gymnastique.

Montpetit (1976) a comparé les Fc enregistrées au cours de 4 épreuves avec celles mesurées au cours d'une épreuve maximale sur tapis roulant. Il a estimé que la contribution des processus aérobie à la réalisation de ces exercices pouvait être de 20 % et celle des processus anaérobies de 80 %. Il a ainsi conclu que pour réaliser ces exercices, un gymnaste n'utilise que 35 % de sa puissance maximale aérobie mesurée sur tapis roulant.

Conclusion

Cette revue de littérature nous montre l'évolution du profil physiologique des gymnastes. L'évolution des exercices de gymnastique aux agrès se manifeste par l'observation de plus en plus de mouvements de grande difficulté sollicitant aussi bien une grande force, une grande vitesse et une haute technicité. Cette évolution oblige les gymnastes à acquérir une grande puissance anaérobie. Parallèlement nous avons remarqué une amélioration des techniques et des outils de mesure des différents paramètres physiologiques grâce à l'évolution technologique. Il n'y a malheureusement pas suffisamment de données concernant la puissance maximale anaérobie des gymnastes pendant les années 70 et 80 pour pouvoir les comparer avec celles mesurées de nos jours. Toutefois, la comparaison avec d'autres sports dits "anaérobies" les place parmi les sportifs les plus puissants. Par contre, on ne remarque pas d'augmentation des valeurs de $\dot{V}O_2 \text{ max}$ à travers les années malgré un volume d'entraînement beaucoup plus important de nos jours.

La mesure de la Fc ne suffit pas toujours à juger de l'intensité de l'effort en gymnastique. Pour mieux apprécier la participation de la glycolyse anaérobie dans la production de l'énergie, il est utile de faire appel à des techniques beaucoup plus élaborées telles que les biopsies musculaires, les dosages de lactates ou l'analyse des échanges gazeux.

Références

- Alexander, M.J.L. (1991). A comparison of physiological characteristics of elite and subelite rhythmic gymnasts. **J. Human Movement Studies**. 20: 49-56.
- Alexander, M.J.L., Boreskie, S. R., and Law, S. (1987). Heart rate response and time motion analysis of rhythmic sportive gymnasts. **J. Human Movement Studies** 13: 473-489.
- Bale, P., and Goodway, J. (1990). Performance variables associated with the competitive gymnast. **Sports Med.** 10: 139-145.
- Barantsev, S.A. (1985). Do gymnasts need to develop aerobic capacity? **Gymnastika** 2: 14-17.
- Bar-Or, O. (1984). The growth and development of children's physiologic and perceptual responses to exercise. In: J. Ilmarinen, and I. Vaelimaeki (Eds.), **Children and Sport: Paediatric Work Physiology**, pp. 3-17. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Bar-Or, O., Dotan, R., and Inbar, O. (1977). A 30 s all-out ergometric test. Its reliability and validity for anaerobic capacity [Abstract]. **Isr. J. Med. Sci.** 13: 326-327.
- Beaudin, P.A. (1978). Prédications de la performance en gymnastique au moyen de l'analyse d'une sélection de variable physiques, physiologiques et anthropométriques. **Thèse**. Montréal: Mc Gill University.
- Bedu, M., Fellmann, N., Spielvogel, H., Falgairrette, G., Van Praagh, E., and Coudert, J. (1991). Force-velocity and 30s Wingate tests in boys at high and low altitudes. **J. Appl. Physiol.** 70: 1031-1037.
- Bergh, U. (1980). Entraînement de la puissance aérobie. In: P.O. Astrand and K. Rodahl. (Eds.), **Précis de physiologie de l'exercice musculaire** (2nd ed.), pp. 303-308. Paris: Masson.
- Bloch, I.P. (1965). Energeticeskaja (gazoobmenu) upraznenij sportivnoj gimnastiki u muzsin. **Teor. Prakt. Fiz. Kult.** 28: 32.
- Case, S., Fleck, S., and Koehler, P. (1980). Physiological and performance-characteristics of the 1979 US MRG team. **International Gymnast.** 22: 10-11.
- Claessens, A.L., Malina, R.M., Lefevre, J., Beunen, G., Stijnen, V., Maes, H., and Veer, F.M. (1992). Growth and menarcheal status of elite female gymnasts. **Med. Sci. Sports Exerc.** 24: 755-763.
- Crielaard, J.M., and Pirnay, F. (1981). Anaerobic and aerobic power of top athletes. **Eur. J. Appl. Physiol.** 47: 295-300.
- Driss, T. (1999). Etude de la puissance maximale anaérobie chez l'homme. **Thèse**. Université Paris 6.
- Erosy, G. (1991). Dietary status and anthropometrics assessment of child gymnasts. **J. Sports Med. Phys. Fitness.** 31: 577-580.
- Falgairrette, G., Bedu, M., Fellmann, N., Van Praagh, E., and Coudert, J. (1991). Bio-energetic profile in 144 boys aged from 6 to 15 years with special reference to sexual maturation. **Eur. J. Appl. Physiol.** 62: 151-156.
- Faria, I.E., and Phillips, A. (1970). A study of telemetered cardiac response of young boys and girls during gymnastic participation. **J. Sports Med.** 10: 145-160.
- Garnier, P., Mercier, B., Mercier, J., Anselme, F., and Préfaut, C. (1995). Aerobic and anaerobic contribution to Wingate test performance in sprint and middle-distance runners. **Eur. J. Appl. Physiol.** 70: 58-65.
- Goswami, A., and Gupta, S. (1998). Cardiovascular stress and lactate formation during gymnastic routines. **J. Sports Med. Physical Fitness** 38: 317-322.

- Heller, J., Tuma, Z., Dlouha, R., Bunc, V., and Novakova, H. (1998). Anaerobic capacity in elite male and female gymnasts. *Acta Universitatis Carolinae. Kinanthropologica* 34: 75-81.
- Hoeger, W.K., and Fisher, G.A. (1981). Energy costs for men's gymnastic routines. **IG Technical Supplement**. 5: 1-3.
- Horswill, C.A., Miller, J.E., Scott, J.R., Smith, C.M., Welk, G., and Van Handel, P. (1992). Anaerobic and aerobic power in arms and legs of elite senior wrestlers. **Int. J. Sports Med.** 13: 558-561.
- Inbar, O., and Bar-Or, O. (1977). Relationships of anaerobic and aerobic arm and leg capacities to swimming performance of 8-12 years old children. In: R.J. Shephard and H. Lavallée (Eds.), **Frontiers of Physical Activities and Child Health**, pp: 238-292. Québec: Éd. Du Pélican.
- Jemni, M., Friemel, F., Lechevalier, J.M., and Origas, M. (1998). Bioénergétique de la gymnastique de haut niveau. **Science et Motricité**. 35 et 36: 105.
- Jemni, M., Friemel, F., Lechevalier, J.M., and Origas, M. (2000). Heart rate and blood lactate concentration analysis during a high level men's gymnastics competition. **J. Strength Cond. Res.** 14: 389-394.
- Krestovnikov, A.N. (1951) **Ocerki po fisiologii fiziceskich upraznenij**. Moskow: FIS.
- Lechevalier, J.M., Origas, M., Stein, J.F., Fraisse, F., Barbierie, L., Mermet, P., Thoulé, B., Colombo, C., Friemel, F., and Jemni, M. (1999). Comparaison de 3 séances d'entraînement-type chez des gymnastes espoirs: Confrontation avec les valeurs du métabolisme enregistrées en laboratoire. **Gym Technic**. 27: 24-31.
- Montgomery, D.L., and Beaudin, P.A. (1982). Blood lactate and heart rate response of young females during gymnastic routines. **J. Sports Medicine** 22: 358-364.
- Montpetit, R. (1976). Physiology of gymnastics. In: J.H. Salmela (Eds.), **The Advanced Study of Gymnastic**, pp. 183-214. Springfield, IL: C. Thomas Publisher.
- Montpetit, R., and Matte, G. (1969). Réponses cardiaques durant l'exercice de gymnastique. **Kinanthropologie** 1: 211-222.
- Noble, L. (1975). Heart rate and predicted $\dot{V}O_2$ during women's competitive gymnastic routines. **J. Sports Med.** 15: 151-175.
- Obert, P., Stecken, F., Courteix, D., Germain, P., Lecoq, A.M. et Guenon, P. (1997). Adaptations myocardiques chez l'enfant prépubère soumis à un entraînement intensif. Etude comparative entre une population de gymnastes et de nageurs. **Science et Sports** 12: 223-231.
- Reilly, T., and Bayley, K. (1988). The relation between short-term power output and sprint performance of young female swimmers. **J. Human Mov. Stud.** 14: 19-29.
- Rodríguez, F.A., Marina, M., and Boucharin, E. (1999). Physiological demands of women's competitive gymnastic routines. **4th Annual Congress of the European College of Sport Science**. 430. Rome. (abrégé).
- Roi, G., Mevio, M., Occho, G., Gemma, S., and Facchini, R. (1989). Functional assessment of high level Ice-dancing. **J. Sports Med. and Physical Fitness** 2: 198-194.
- Roskamm, H. (1980). Le système de transport de l'oxygène. In: P.O. Astrand and K. Rodahl. (Eds.), **Précis de physiologie de l'exercice musculaire** (2nd ed.), pp. 316-317. Paris: Masson.
- Salmela, J. (1982). Fundamental demands of gymnastics. **SNIPES Journal** 5: 11-18.
- Sands, W. (1985). Conditioning for gymnastics: a dilemma. **Technique** 5: 4-7.

- Sands, W., Eisenman, P., Johnson, S., Paulos, L., Abbott, P., Zerkel, S., and Straker, S. (1987). Getting ready for '88: Research and athlete preparation project-junior elite female gymnasts. **Technique** 7: 12-18.
- Sands, W., Mihesky, A., and Edwards, J. (1991). Physical abilities field tests U.S. gymnastics federation women's national teams. **USGF Sport Science Congress**, pp.39-47. Indianapolis, IN.
- Seliger, V., Budka, I., Buchberger, J., Dosoudil, F., Krupova, J., Libra, M., and Yabe, K. (1970). Métabolisme énergétique au cours des exercices de gymnastique. **Kinanthropologie** 2: 159-169.
- Shaghlil, N. (1978). La gymnastique et son action sur l'appareil circulatoire et respiratoire. **1er Colloque médical international de gymnastique. Fédération Française de Gymnastique**. 145-147. Strasbourg.
- Smith, D.J., Roberts, D., and Watson, B. (1992). Physical, Physiological and performance difference between Canadian national team and universiade volleyball players. **J. Sports Sci.** 10: 131-138.
- Szogy, A., and Cherebetiu, G. (1971). Capacité aérobie maximum chez les sportifs de performance. **Médecine du Sport** 45: 224-234.
- Sprynarova, S., and Parizkova, J. (1969). Comparison of the circulatory and respiratory functional capacity in girl gymnasts and swimmers. **J. Sports Med.** 9: 165-172.
- Sward, S.B. (1985). Energy cost of competitive gymnastic events. **Human performance: Efficiency and improvement in sports, exercise and fitness. Serie: Encyclopedia of physical education, fitness and sports.** 4: 48-51.
- Taunton, J.E., Maron, H., and Wilkonson, J.G. (1981). Anaerobic performance in middle and long distance runners. **Can. J. Appl. Sport Sci.** 6: 109-113.
- Tharp, G., Johnson, D., and Thorland, W. (1984). Measurement of anaerobic power and capacity in elite young track athletes using the Wingate test. **J. Sports Med.** 24: 100-106.
- Vandewalle, H., Peres, G., Heller, J., Panel, J. and Monod, H. (1987). Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer. Correlation with the height of a vertical jump. **Eur. J. Appl. Physiol.** 56: 650-656.
- Vandewalle, H., Peres, G., Sourabié, O., Stouvenel, and Monod, H. (1989). Force-velocity relationship and maximal anaerobic power during cranking exercise in young swimmers. **Int. J. Sports Med.** 13: 439-445.
- Vandewalle, H., and Friemel, F. (1989). Tests d'évaluation de la puissance maximale des métabolismes aérobie et anaérobie. **Science et Sport** 4: 265-279.
- Zouhal, H., Rannou, F., Gratas-Delamarche, A., Monnier, M., Bentue-Ferrer, D., and Delamarche, P. (1998). Adrenal medulla responsiveness to the sympathetic nervous activity in sprinters and untrained subjects during a supramaximal exercise. **Int. J. Sports Med.** 19: 172-176.