



DEPARTEMENT DES SCIENCES DU SPORT

Laboratoire de Biomécanique et Physiologie

**Comparaison
de 3 séances d'entraînement – type chez des gymnastes espoirs.
Confrontation avec l'évaluation du métabolisme réalisé en laboratoire**

J.M. Le Chevalier*

M. Origas[§], J.F. Stein^{§§}, F. Fraisse^{§§§}, F.L. Barbieri^{}, P. Mermet^{**}, B. H.Thoulé^{**}, C.
Colombo^{**}, F. Friemel^{§§§}, M. Jemni^{§§§}**

Publications liées au projet

Projet subventionné par le Ministère de la Jeunesse et des Sports

Travail effectué par

**Laboratoire de Biomécanique et Physiologie - l'INSEP *
Fédération Française de Gymnastique ****

En collaboration avec

**Département de la formation - l'INSEP[§]
Laboratoire « Mouvement Action et Performance » - INSEP^{§§}
Département Médical - INSEP^{§§§}
Association Départementale pour le développement de la Médecine du Sport - §§§§**

ANNEE 2000

**AS
F2**

LEC

DEPARTEMENT DES SCIENCES DU SPORT

Laboratoire de Biomécanique et Physiologie

Publications liées au projet

Comparaison
de 3 séances d'entraînement – type chez des gymnastes espoirs.

Confrontation avec l'évaluation du métabolisme réalisé en laboratoire

- Profil physiologique des gymnastes espoirs masculins. Gym,Technic. Octobre-Décembre (1998) 25 : 23 – 27
- Profil physiologique des gymnastes espoirs. Journées Sciences du Sport « Eclairage sur la performance sportive et son environnement » Entretiens de l'INSEP. (15 – 16 octobre 1998)
- Comparaison de 3 séances d'entraînement - type chez des gymnastes espoirs. Confrontation avec les valeurs du métabolisme en laboratoire. Gym,Technic. (1999) 27 : 24 – 31
- Contribution à l'étude de la charge de l'entraînement en gymnastique chez des gymnastes espoirs. 2èmes Journées Internationales d'études de l'Association Française de Recherche en Activités Gymniques et Acrobatiques (A.F.R.A.G.A.) – Rennes (2-4 mai 2000)

(L'original reproduit est de mauvaise qualité)

Profil physiologique des gymnastes espoirs masculins

L'article présente les résultats des gymnastes masculins du Pôle France INSEP, acquis lors de leur évaluation en laboratoire. Les travaux ont été réalisés dans le cadre du Réseau Inter-établissements du ministère de la Jeunesse et des Sports, en accord avec la FFG et avec la participation de l'ADDMS de Créteil.

J.-M. LE CHEVALIER¹, M. ORIGAS², S. SZCZESNY³, F. FRAISSE³, J.-F. STEIN¹, L. BARBIÉRI⁴, P. MERMET⁴, B. THOULÉ⁴, C. COLOMBO⁵, F. FRIEMEL⁶, M. JEMNI⁶ ont collaboré au projet. L'objectif général de ce travail a été l'étude des contraintes énergétiques imposées par des séances-types d'entraînement choisies par les entraîneurs.

¹ Laboratoire de biomécanique et de physiologie, Département des sciences du sport

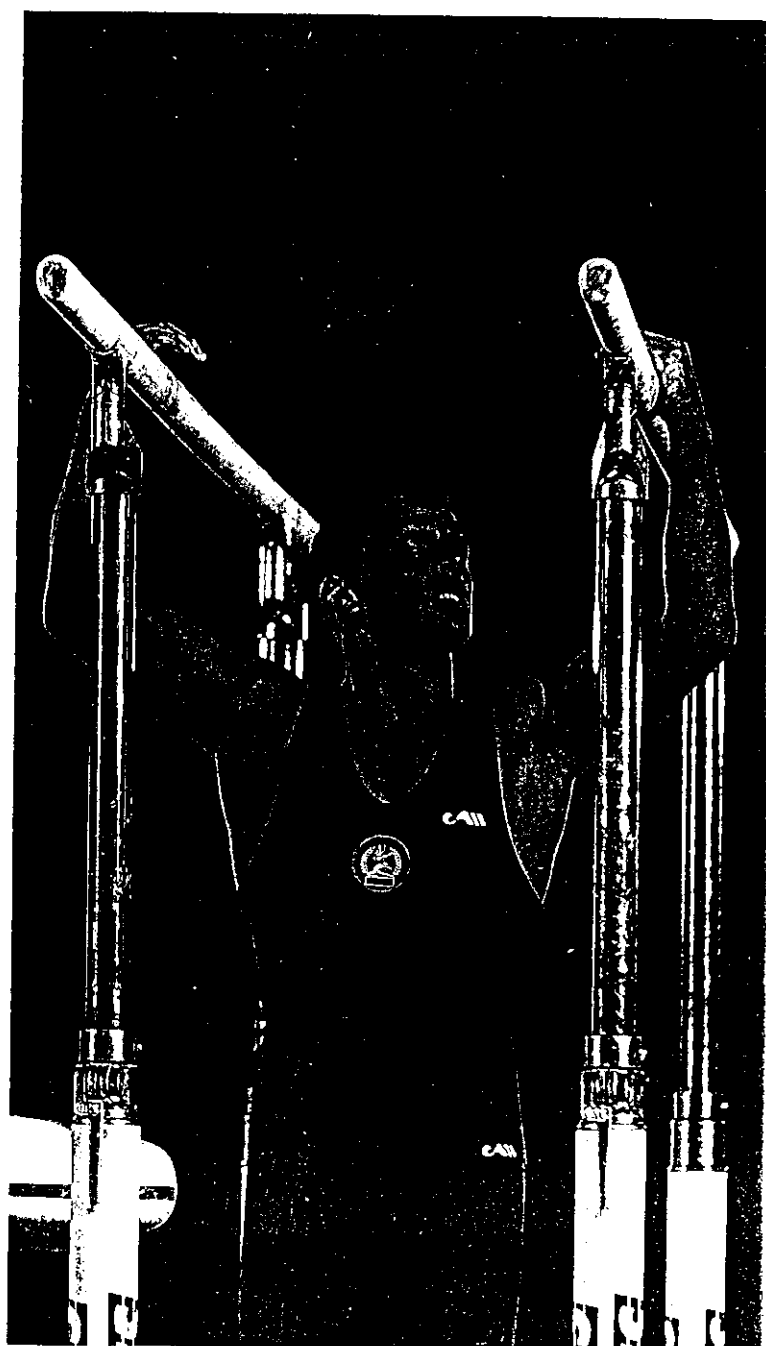
² Département de la formation,

³ Département médical,

⁴ Centre d'entraînement de l'INSEP, INSEP 11 avenue du Tremblay 75012 Paris.

⁵ CREPS de Lorraine 54270 Essey Les Nancy.

⁶ Association départementale pour le développement de la médecine du sport, 2 rue Tirard 94000 Créteil.



Samuel DUMONT (FRA)

Introduction

En gymnastique sportive, l'apprentissage et le contrôle des difficultés techniques requièrent un niveau élevé de capacités physiques, surtout chez les jeunes gens. Ainsi un gymnaste doit-il être fort et rapide, donc puissant. Il lui faut également être endurant dans la mesure où, lorsque l'on accède à la compétition de haut niveau, les entraînements deviennent plus longs et fréquents.

Par conséquent, la réussite du gymnaste est pour partie subordonnée à des capacités physiques d'ordre énergétique.

Pour des raisons d'ordre méthodologique, autant que de sécurité, il n'est pas possible aujourd'hui de mesurer directement l'énergie dépensée par les sportifs à l'entraînement, quand il s'agit d'un sport acrobatique tel que la gymnastique. C'est pourquoi, sans doute, peu d'études sont disponibles dans ce domaine et l'on se réfère encore volontiers aux travaux de Montpetit (13). Cependant, ces derniers, fondés essentiellement sur le temps de travail passé par les gymnastes aux différents agrès et sur l'étude de la fréquence cardiaque, ne renseignent que partiellement et indirectement sur les contraintes énergétiques d'un sport qui, de surcroît, a connu des évolutions, tant au plan du règlement qu'à celui des pratiques d'entraînement.

Plus récemment, une étude plus exhaustive a été réalisée par Ganzin (6), mais elle concernait exclusivement la gymnastique féminine, qui se distingue notablement de la gymnastique masculine en raison de la différence des agrès imposés.

Un premier objectif de l'étude a été d'établir un profil de l'aptitude physique de jeunes gymnastes espoirs masculins. A cette fin, leurs principales caractéristiques biométriques ont été relevées et les capacités aérobie et anaérobies des membres supérieurs et inférieurs ont été évaluées au laboratoire.

Un deuxième objectif a consisté à estimer les contraintes d'ordre énergétique liées à trois séances-types

d'entraînement. Pour ce faire, nous avons enregistré la fréquence cardiaque pendant ces séances et mesuré la lactatémie pendant les périodes de récupération afin de comparer ces paramètres aux mêmes paramètres mesurés au laboratoire au cours d'épreuves standardisées.

Nous présentons, dans une première partie, les résultats relatifs aux aptitudes physiologiques évaluées au laboratoire.

Méthodes

Population

L'évaluation pratiquée en laboratoire a porté sur une population de neuf gymnastes espoirs masculins en stage à l'INSEP, qui s'entraînaient en moyenne deux fois deux heures par jour pendant six jours de la semaine. Leurs principales caractéristiques biométriques sont présentées dans le tableau 1.

Évaluation des capacités énergétiques

ÉPREUVES AÉROBIES

La consommation maximale d'oxygène des membres inférieurs ($\text{VO}_2 \text{ max}$) a été déterminée au moyen d'une épreuve progressive discontinue, réalisée sur tapis roulant dont la pente était fixée à 3%. Chaque palier était séparé d'un intervalle de repos de 30 secondes. Après un échauffement de 4 minutes à 8 km.h^{-1} , la vitesse était augmentée de 2 km.h^{-1} par paliers de 3 minutes jusqu'à ce que le coefficient respiratoire (QR) s'approche de 1. Au-delà, l'incrément de la vitesse était ramenée à 1 km.h^{-1} et la durée des paliers réduite à 2 minutes.

La consommation maximale d'oxygène pour les bras ($\text{VO}_2 \text{ pic bras}$) a été estimée au moyen d'une épreuve progressive continue sur un ergo-

cycle adapté pour les bras de type Monark. Succédant à un échauffement de 4 minutes à 40 W, les charges étaient augmentées de 24 W toutes les 2 minutes, sans interruption, jusqu'à l'épuisement du gymnaste. La fréquence de pédalage était fixée à $80 \text{ tours.min}^{-1}$.

Un prélèvement sanguin a été effectué au lobe de l'oreille à la fin de chacun des paliers des deux épreuves afin d'estimer le seuil anaérobie (OBLA, Sjodin et Jacob, 1981).

Les épreuves étaient interrompues lorsque le VO_2 atteignait un plateau, ou lorsque le sujet était épuisé c'est-à-dire incapable de terminer un palier malgré les encouragements des opérateurs.

Les paramètres respiratoires, ventilation, fractions d' O_2 et de CO_2 de l'air expiré, ont été mesurés en continu au moyen d'une chaîne de mesure informatisée de type CPX Medical Graphics, version CPX/D (St Paul, Minnesota USA).

La fréquence cardiaque (FC) a été enregistrée en continu pendant le déroulement des épreuves et la récupération.

Le dosage des lactates a été effectué au moyen d'un analyseur de lactate type Microzym-L (Sétric Génie Industriel).

ÉPREUVES ANAÉROBIES

Les aptitudes anaérobies ont été déterminées, pour les jambes et pour les bras, au moyen d'une épreuve de charge-vitesse (22) et du test de Wingate (2), en utilisant des ergocycles de type Monark.

L'épreuve de charge-vitesse pour les jambes comprenait 4 à 5 exercices de sprint de 5 secondes contre des forces de freinage de 2, 4, 6, 8 et parfois 10 kg, séparés d'une période de récupération de 5 minutes.

Pour les bras, les forces de freinage imposées étaient de 1, 2, 3, 4 et parfois 5 kg.

Plus la force (F) appliquée sur la jante est élevée, moins grande est la vitesse (V) atteinte et inversement. Les données acquises au cours de ce test ont donc permis de déterminer la relation force-vitesse, égale à :

$$V = V_0 (1 - F/F_0)$$

où V_0 est la vitesse correspondant à une force nulle et F_0 à la force correspondant à une vitesse nulle. Cette relation étant linéaire, la puissance maximale anaérobie des gymnastes a été calculée à partir de l'équation :

$$P_{\max} = 0.25.F_0.V_0.$$

La force de freinage choisie pour effectuer le test de Wingate correspondait à $\frac{1}{2} F_0$, estimée à partir de la relation force-vitesse.

Au terme des épreuves aérobies et des tests de Wingate, des échantillons sanguins ont été prélevés aux 5^e et 10^e minutes de la récupération afin de suivre l'évolution de la lactatémie. La fréquence cardiaque a également été enregistrée pendant les épreuves et au cours de la récupération.

MASSE GRASSE

Le pourcentage de masse grasse a été déterminé à partir de la mesure de plis cutanés, en utilisant les équations de Durnin et Rahaman (4) et de Siri (17).

STATISTIQUES

Une analyse de variance à un facteur à mesures répétées suivie d'un test post-hoc a été effectuée pour comparer les lactatémies et les fréquences cardiaques, d'une part entre les diverses épreuves, et d'autre part entre les différents moments des mesures et prélèvements.

Une étude des corrélations a également été effectuée pour ces variables.

Le seuil de significativité a été fixé à $p \leq 0,05$.

Résultats et discussion

ANTHROPOMÉTRIE (TAB. 1)

TAB. 1. Caractéristiques anthropométriques des gymnastes qui ont participé aux épreuves de laboratoire

n = 9	Age (ans)	Taille (cm)	Poids (kg)	% M.grasse	I. Risser
moyenne	18,6 ± 1,2	169,3 ± 6,3	65,3 ± 4,4	8,5 ± 1,4	4,3 ± 0,5
max - min	21 - 17	182 - 160	73 - 57	11 - 7,1	5 - 4

Les gymnastes de l'INSEP sont en moyenne plus petits (169 cm), mais ils possèdent un poids similaire (65,3 kg), comparativement à des populations de référence française (16), belge (14) ou suisse (10).

Les mensurations de gymnastes de haut niveau relevées par Claessens et al. (3) révèlent que la taille de ces gymnastes se situait entre 166,6 cm (Amsterdam 1928) et 169,3 cm (Montréal 1976) et que leur poids était compris entre 61,6 kg (Santiago 1977) et 65,5 kg (Mexico 1968). Les mensurations de nos gymnastes se situent dans la partie supérieure de ces fourchettes et, si l'on retire les valeurs de celui d'entre eux qui était le plus grand et le plus lourd (182 cm, 73 kg), on se retrouve même, avec 167,8 cm ± 4,5 et 64,4 kg ± 3,6, au milieu des fourchettes. Dans une étude de synthèse, Bale et Goodway (1990) rapportent également des valeurs similaires (168 cm, 66,5 kg).

L'accroissement des mensurations dit « séculaire » (5-20), qui caractérise la population des pays développés ne semble donc s'appliquer que très modérément aux gymnastes, parmi lesquels figurent les espoirs gymnastes français.

Le pourcentage de masse grasse, estimé en moyenne à 8,51%, est proche des valeurs des gymnastes étudiés par Claessens et al. (3) lors des championnats de Rotterdam (8,4%) et par Jost-Relyveld et Sempé en 1982 (9-16) à l'occasion des championnats d'Europe Juniors (8,1%). Notons que chez deux de nos gymnastes ce pourcentage, estimé à 10 et 11%, était relativement élevé.

Les espoirs en formation à l'INSEP ne se distinguent donc pas des autres gymnastes de l'élite mondiale au plan de leurs caractéristiques biométriques. La permanence dans ces mensurations suggère qu'il s'agit de l'un des prérequis importants pour faire partie de l'élite en gymnastique.

Cependant, malgré cette relative homogénéité, il existe des différences morphologiques notables entre les individus qui composent le groupe. Ces différences expliquent peut-être que certains d'entre eux réussissent plus particulièrement à un agrès donné. Les caractéristiques biomécaniques liées aux mensurations paraissent donc aussi devoir être prises en compte en gymnastique. Il en est de même en ce qui concerne le pourcentage de masse grasse qui, excessif, pénalise incontestablement les gymnastes.

Notons encore que la radiographie du bassin (indice de Risser) (15) a permis de montrer que chez les 6 plus jeunes gymnastes (17 à 19 ans), la maturation osseuse n'était pas encore complètement achevée et qu'ils présentaient, selon ce critère, un léger retard par rapport à leur âge chronologique.

APTITUDE AÉROBIE (TAB. 2)

TAB. 2

1^{re} partie du tableau. Valeurs maximales de paramètres mesurés à l'issue des épreuves progressives sur tapis roulant et ergocycle.

	Jambes	Bras
VO ₂ max (ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹)	53,1 ± 3,2	39,0 ± 5,7
Vitesse (km.h ⁻¹)	14,3 ± 0,9	
Puissance (W)		142 ± 24,8
FC max (bat.min ⁻¹)	191 ± 8	170 ± 4
Seuil 4 mM (%VO ₂ max)	84,4 ± 3,8	74,3 ± 3,6
P max anaéro (W.kg ⁻¹)	16,1 ± 0,7	10,8 ± 1,4
P max Wingate (W.kg ⁻¹)	14,1 ± 0,7	9,6 ± 0,6
P moy Wingate (W.kg ⁻¹)	10,1 ± 0,8	7,0 ± 0,5
FC max (bat.min ⁻¹)	171 ± 11	175 ± 9

2^e partie. Puissance maximale anaérobie (Panaéro), et puissances maximale et moyenne ainsi que la fréquence cardiaque maximale mesurées au test de Wingate.

Avec une valeur moyenne de 53,1 ± 3,2 ml.min⁻¹.kg⁻¹, le VO₂ max des espoirs gymnastes de l'INSEP s'inscrit dans la fourchette des chiffres relevés chez des gymnastes de classe internationale et rapportés par Montpetit (1976), soit des valeurs de 46,2 ml.min⁻¹.kg⁻¹ (Roumains) et de 60 ml.min⁻¹.kg⁻¹ (Suédois).

Le VO_2 max des gymnastes américains évalués par cet auteur était alors de $51,6 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

On dispose de peu de données relatives à la consommation maximale d'oxygène des bras (VO_2 pic bras). Aussi est-il difficile de commenter ces résultats.

Selon une étude de Horwill et al. (8), le VO_2 pic bras de lutteurs élités est plus élevé que celui de nos gymnastes ($43,7 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \pm 4,6$ versus $39 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \pm 5,7$), avec un rapport VO_2 pic bras/jambe également plus élevé (86% versus 73%). Chez des haltérophiles, ce rapport est de 78% et atteint 87% chez des canoéistes (18), alors qu'il est de 70% environ dans une population de référence. Toutefois, il existe de grandes disparités entre les gymnastes concernant ces rapports (de 0,60 à 0,87) et on ne met pas en évidence de corrélation significative entre les valeurs des puissances aérobies des jambes et celles des bras ($r = 0,40$). Ces écarts, de même que les valeurs mesurées chez les canoéistes et les haltérophiles, peuvent être expliqués par des différences liées à l'aptitude aérobie des muscles, mais aussi par la capacité des sujets à mobiliser une plus ou moins grande masse musculaire (membres supérieurs et participation de muscles du tronc) pendant les tests.

Les FC maximales mesurées pendant l'épreuve de VO_2 max (jambes) sont toujours supérieures aux FC maximales mesurées pendant l'épreuve de VO_2 pic bras : on met en évidence une corrélation significative entre FC max bras et VO_2 pic bras ($r = 0,73$, $p < 0,05$). Cela suggère que VO_2 pic bras demeure limité par des facteurs locaux plutôt que par des facteurs généraux dans cette population, malgré l'importance des masses musculaires engagées au cours de l'exercice.

Le seuil anaérobie déterminé lors de l'épreuve sur tapis roulant se situe à 84,4% de VO_2 max, suggérant que ces gymnastes sont endurants, ce qui paraît normal eu égard à leur entraînement biquotidien. Toutefois, leur jeune âge pourrait également être la cause de ce seuil retardé, mais cette

éventualité est peu probable en raison des valeurs de lactatémie mesurées à la suite des tests aérobies et anaérobies.

En revanche, Marcinik et al. (12) ont montré qu'un entraînement de la force pouvait avoir comme effet de retarder l'apparition du seuil lactique.

APTITUDES ANAÉROBIES (TAB.2)

Concernant la valeur moyenne de la puissance maximale des membres inférieurs ($16 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$) mesurée au test force-vitesse, les gymnastes se placent parmi les athlètes dotés d'une puissance maximale anaérobie plutôt appréciable.

Ainsi, comparativement à des données expérimentales acquises suivant un protocole similaire, ils se situent légèrement au-dessous de sprinters évalués à $17 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ par Granier et al. (1995), proches des $15,8 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ d'un groupe de volleyeurs de niveau régional (Driss, 1998) et des $15,8 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ d'haltérophiles en stage à l'INSEP (11) mais nettement au-dessus des $13,75 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ des lutteurs du pôle INSEP.

Pour les bras, la valeur moyenne atteinte par les gymnastes au test force-vitesse est de $10,85 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$, comparable aux $10,42 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ réalisés par les volleyeurs testés par Driss (1998). Les valeurs mesurées à ce test (dans des conditions légèrement différentes) par Vandewalle et al. (21) étaient de $12,95 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ chez des kayakistes, $10,31 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ chez des handballeurs, $11,16 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ chez des boxeurs, $9,52 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ chez des joueurs de tennis et $8,42 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ chez des sujets sédentaires.

Ces résultats permettent d'établir que les gymnastes font partie des athlètes qui possèdent une puissance anaérobie alactique des jambes et des bras élevée.

Le rapport des puissances entre bras et jambes est de 0,67, dans notre étude et de 0,66 dans celle de Driss. Si l'on considère les valeurs du pic de puissance estimées grâce au test de Wingate, le rapport est de 0,69 dans notre étude et de 0,75 dans celle de Horwill et al. (8) effectuée avec des lutteurs de haut niveau.

Le test n'ayant pas été réalisé en suivant exactement le même protocole (forces de freinage différentes), il est difficile de procéder aux comparaisons des valeurs de puissance obtenues par les différents athlètes. Néanmoins, il est probable que le rapport élevé observé Horwill est la conséquence d'une faiblesse relative des membres inférieurs plutôt que d'une puissance des bras élevée.

Les résultats obtenus au test de force-vitesse par les lutteurs du pôle INSEP, $13,75 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$, vont également dans ce sens. Les gymnastes sont donc, suivant cette optique, plus « équilibrés ».

De même que pour les aptitudes aérobies, il n'existe pas de corrélation significative entre les valeurs des puissances anaérobies des jambes et celles des bras ($r = 0,30$). À l'image de ce que l'on observe pour l'aptitude aérobie, les plus puissants des jambes ne sont donc pas automatiquement les plus puissants des bras et réciproquement.

L'évolution des valeurs de la lactatémie et de la fréquence cardiaque pendant la récupération est présentée au tableau 3.

TAB.3. Évolution de la fréquence cardiaque (bat.min⁻¹) et de la lactatémie (mM) aux 2^e, 5^e, et 10^e minutes de la récupération lors des différentes épreuves de laboratoire

	Épreuves aérobies		Épreuves anaérobies	
	Jambes	Bras	Jambes	Bras
FC fin	191 ± 8	170 ± 4	171 ± 11	175 ± 9
FC + 2	124 ± 12	112 ± 17	122 ± 11	117 ± 9
FC + 5	108 ± 9	92 ± 16	105 ± 9	104 ± 9
FC + 10	101 ± 9	89 ± 11	101 ± 8	100 ± 10
La + 2	8,3 ± 1,3	8,4 ± 1,7	9,8 ± 1,3	10,7 ± 1,1
La + 5	8,2 ± 1,9	7,8 ± 1,8	11,4 ± 1,6	12,9 ± 1,3
La + 10	6,4 ± 1,8	6,4 ± 0,2	9,9 ± 1,5	10,5 ± 1,5

La lactatémie maximale est mesurée à la 2^e minute de la récupération des tests aérobies et décroît ensuite. On ne note pas de différence significative entre la lactatémie des jambes et celle des bras. Après les tests de Wingate (jambes et bras), la lactatémie maximale est mesurée vers la 5^e minute de la récupération. Elle est significativement plus élevée que la lactatémie mesurée aux 2^e et 10^e minutes. La lactatémie des jambes est toujours supérieure à celle des bras et la différence est significative.

Conclusion

Les caractéristiques biométriques des gymnastes espoirs de l'INSEP sont similaires à celles des gymnastes de l'élite mondiale de ces dernières années. La permanence de ces caractéristiques suggère qu'il s'agit de l'un des prérequis importants pour faire partie de l'élite en gymnastique et que, suivant ce critère, ils ont été convenablement sélectionnés. Toutefois, il faudrait pour affirmer que les mensurations de

l'élite mondiale actuellement en activité viennent confirmer ces résultats. Les performances accomplies aux tests anaérobies, concernant les bras et les jambes, permettent de situer les gymnastes parmi les athlètes les plus puissants.

Il existe de grandes disparités entre les individus concernant les rapports bras-jambe, qu'il s'agisse des aptitudes aérobies ou anaérobies. Il conviendrait de vérifier s'il existe des relations entre ces caractéristiques individuelles et les réalisations gymniques ou, plus précisément, la réussite à un agrès particulier. Cette étude a permis d'établir un profil physiologique des jeunes gymnastes en formation à l'INSEP et devrait constituer une référence pour analyser les données issues de 3 séances d'entraînement, dont nous présenterons les résultats prochainement.

**J.-M. LE CHEVALIER,
M. ORIGAS, S. SZCZESNY,
F. FRAISSE, J.-F. STEIN,
L. BARBIÉRI, P. MERMET,
B. THOULÉ, C. COLOMBO,
F. FRIEMEL, M. JEMNI**



Eric CASIMIR (FRA)

Bibliographie

- Bale P, Goodway J (1990). Performance differences associated with the muscular composition of elite sports men. *Int J Sports Med* 11: 114-118.
- Bar-Or O. (1981). Le développement du muscle. Caractéristiques et aptitudes. *Le Sport* 13: 157-172.
- Claessens AL, Veer FM, Stijnen V, Lefevre J, Maes H, Steens G, Beunen G (1991). Anthropometric characteristics of elite male and female gymnasts. *Journal of Sports Sciences* 9: 53-74.
- Durnin J et Rahaman M (1976). The measurement of the amount of fat in the trunk of elite male skidole thickness. *Br J Clin Med* 21: 540-542.
- Fraisse F (1985). Le poids et la composition corporelle. *Vol XVII n°2*: 125-130.
- Ganzin M (1985). Essai de détermination des coûts énergétiques des mouvements effectués chez des gymnastes de moins de 18 ans. Mémoire de BEF.
- Granier P, Mercier B, Mercier J, Anselme F, Préfaut C (1994). Aerobic and anaerobic contribution to maximal performance in sprint and max force exercise. *Int J Appl Physiol* 70: 58-60.
- Horswill CA, Miller JE, Scott JR, Smith CM, Welk G, Van Handel P (1992). Aerobic and anaerobic power and capacity in elite male and female gymnasts. *Int J Sports Med* 13: 558-561.
- Jost-Relyved A et Sempé M (1982). Croissance et maturation chez le jeune sportif. *Revue de Pédiatrie* 28: 247-252.
- König MF, Batra S (1991). Relationship between body fat and performance in volleyball: a large sample study. *Int J Sports Med* 12: 163-167.
- Le Chevalier JM (1992). La morphologie locale. Signification et implications. Thèse de médecine INSEP.
- Marcinik EJ, Potts J, Schlabach G, Will S, Dawson P, Hurley BF (1991). Effects of strength training on anaerobic power and maximal isometric force. *Med Sci Sports Exerc* 23: 436-443.
- Montpetit R (1976). *Biologie du sportif*. Gynécologie. 193-214. *Thèmes*. Paris: L'Édition.
- Ostyn M, Simons J, Beunen G, Renson R, Van Gerven D (1980). Some morphological characteristics of elite male and female gymnasts. *Int J Sports Med* 1: 1-5.
- Risser JC (1978). Morphologie et performance sportive. *Ann Anat* 168: 1-10.
- Sempé M (1982). *Le développement du muscle*. *Le Sport* 13: 157-172.
- Sempé M, Péron G, Roy MP (1974). *Le développement du muscle*. *Le Sport* 13: 157-172.
- Siri (1955). *Le développement du muscle*. *Le Sport* 13: 157-172.
- Tesch P, Piehl K, Wilson G, Karlsson J (1974). *Le développement du muscle*. *Le Sport* 13: 157-172.
- Trygg-Hansa (1974). *Le développement du muscle*. *Le Sport* 13: 157-172.
- Tomkiewicz S (1974). *Le développement du muscle*. *Le Sport* 13: 157-172.
- Vandewalle H, Péres G, Monod H (1981). *Le développement du muscle*. *Le Sport* 13: 157-172.
- Vandewalle H, Péres G, Heller J, Panel J, Monod H (1981). *Le développement du muscle*. *Le Sport* 13: 157-172.

Profil physiologique de gymnastes espoirs

J-M. Le Chevalier ¹, M. Origas ², S. Szczesny ², F. Fraisse ³, J-F. Stein ¹, L. Barbiéri ⁴, P. Mermet ⁴,
B. Thoulé ⁴, C. Colombo ⁵. - Collaboration : F. Friemel ⁶, M. Jemni ⁶

¹ Lab. de Biomécanique et Physiologie - ² Département de la Formation - ³ Département Médical
⁴ Centre National d'entraînement- INSEP, ⁵ CREPS de Lorraine, ⁶ ADDMS

INTRODUCTION

1

En gymnastique sportive, l'apprentissage et le contrôle des difficultés techniques requièrent un niveau élevé de capacités physiques, surtout chez les jeunes gens. Ainsi un gymnaste doit être puissant. Il lui faut également être endurant, dans la mesure où les entraînements au haut niveau sont longs et fréquents. Par conséquent, la réussite du gymnaste est pour partie subordonnée à des capacités physiques d'ordre énergétique.

Un premier objectif de l'étude a été d'établir un profil de l'aptitude physique de jeunes gymnastes espoirs masculins. A cette fin, leurs principales caractéristiques biométriques ont été relevées, et les capacités aérobies et anaérobies de leurs membres supérieurs et inférieurs évaluées au laboratoire. Un deuxième objectif a consisté à estimer les contraintes d'ordre énergétique liées à trois séances-types d'entraînement. Pour ce faire, nous avons enregistré la fréquence cardiaque pendant ces séances et mesuré la lactatémie pendant la récupération, afin de comparer ces paramètres aux mêmes paramètres mesurés au laboratoire au cours d'épreuves standardisées.

Nous présentons ici les résultats relatifs aux aptitudes physiologiques évaluées au laboratoire.

MÉTHODES

Population.

L'évaluation pratiquée en laboratoire a porté sur une population de neuf gymnastes espoirs masculins en stage à l'INSEP, qui s'entraînaient en moyenne deux fois deux heures par jour pendant six jours de la semaine. Leurs principales caractéristiques biométriques apparaissent au tableau 1.

Evaluation des capacités énergétiques

Epreuves aérobies

La consommation maximale d'oxygène des membres inférieurs (VO₂ max) a été déterminée au moyen d'une épreuve progressive discontinue, réalisée sur tapis roulant dont la pente était fixée à 3%. Chaque palier était séparé d'un intervalle de repos de 30 secondes. La consommation maximale d'oxygène pour les bras (VO₂pic bras) a été estimée au moyen d'une épreuve progressive continue sur un ergocycle adapté pour les bras de type Monark. Un prélèvement sanguin a été effectué au lobe de l'oreille à la fin de chacun des paliers des deux épreuves afin d'établir le seuil anaérobie (OBLA, Sjodin et Jacob, 1981). Les paramètres respiratoires des sujets, ventilation, fractions d'O₂ et de CO₂ de l'air expiré, ont été mesurés en continu au moyen d'une chaîne de mesure informatisée de type CPX Medical Graphics, version CPX/D (St Paul, Minnesota USA). La fréquence cardiaque a été enregistrée en continu pendant le déroulement des épreuves et la récupération. Le dosage des lactates a été effectué au moyen d'un analyseur de lactate type Microzym-L (Sétric Génie Industriel).

Epreuves anaérobies

Les aptitudes anaérobies ont été déterminées, pour les jambes et pour les bras, au moyen d'une épreuve de charge-vitesse (Vandewalle et al., 1987) et du test de Wingate (Bar-Or O., 1981), en utilisant des ergocycles de type Monark.

Au terme des épreuves aérobies et des tests de Wingate, des échantillons sanguins ont été prélevés aux 2ème, 5ème et 10ème minutes de la récupération afin de suivre l'évolution de la lactatémie. La fréquence cardiaque a également été notée à ces moments de la récupération.

Le pourcentage de masse grasse a été déterminé à partir de la mesure de 4 plis cutanés, en utilisant les équations de Durnin et Rahaman, puis de Siri (1967).

Statistiques

Une analyse de variance à un facteur et à mesures répétées suivie d'une procédure post-hoc a été effectuée

pour comparer les lactatémies et les fréquences cardiaques, d'une part entre les diverses épreuves, et d'autre part entre les différents moments des mesures et prélèvements. L'étude des corrélations a également été effectuée pour ces variables. Le seuil de significativité a été fixé à $p < 0.05$.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Anthropométrie (tab.1)

n = 9	Age (ans)	Taille (cm)	Poids (kg)	% M.grasse	I. Risser
Moyenne	18.55 ± 1.24	169.33 ± 6.34	65.33 ± 4.42	8.51 ± 1.36	$4.33 \pm .50$
Max - min	21 - 17	182 - 160	73 - 57	11 - 7.1	5 - 4

Tableau 1 : Caractéristiques biométriques des gymnastes qui ont participé aux épreuves de laboratoire.

Les gymnastes de l'INSEP sont en moyenne plus petits (169 cm), mais possèdent un poids similaire (65,3 kg), comparativement à des populations de référence française, belge ou suisse. Les mensurations de gymnastes de haut niveau relevées par Claessens et al. (1991) indiquent que la taille de ces gymnastes se situait entre 166,6 cm (Amsterdam 1928) et 169,3 cm (Montréal 1976) et que leur poids était compris entre 61,6 kg (Santiago 1977) et 65,5 kg (Mexico 1968). Les mensurations de nos gymnastes se situent dans la partie supérieure de ces fourchettes, malgré la présence de l'un d'entre eux plus grand et plus lourd (182 cm, 73 kg). L'accroissement des mensurations dit "séculaire" qui caractérise la population des pays développés ne semble donc s'appliquer que très modérément aux gymnastes, parmi lesquels figurent les espoirs gymnastes français.

Le pourcentage de masse grasse, estimé en moyenne à 8,51%, est proche des valeurs des gymnastes étudiés par Claessens et al. (1991) lors des championnats de Rotterdam (8,4%) et par Jost-Relyveld et Sempé en 1980 à l'occasion des championnats d'Europe Juniors (8.1%).

Les espoirs en formation à l'INSEP ne se distinguent pas des autres gymnastes de l'élite mondiale au plan des caractéristiques anthropométriques que nous avons présentées. La permanence dans ces mensurations paraît indiquer qu'il s'agit de l'un des prérequis importants pour faire partie de l'élite en gymnastique.

Aptitude aérobie (tab. 2)

	Jambes	Bras		Jambes	Bras
VO2 max (ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹)	53.1 ± 3.2	39.0 ± 5.7	P max anaéro (W.kg ⁻¹)	16.1 ± 0.7	10.8 ± 1.4
Vitesse (km.h ⁻¹) /Puissance (W)	14.25 ± 0.87	14.2 ± 24.8	P max Wingate (W.kg ⁻¹)	14.1 ± 0.7	9.6 ± 0.6
FC max (bat.min ⁻¹)	191 ± 8	170 ± 4	P moy Wingate (W.kg ⁻¹)	10.1 ± 0.8	7.0 ± 0.5
Seuil 4 mM (%VO2 max)	84.4 ± 3.8	74.3 ± 3.6	FC max (bat.min ⁻¹)	171 ± 11	175 ± 9

Tableau 2 : A gauche, valeurs maximales de paramètres mesurés à l'issue des épreuves progressives sur tapis roulant et ergocycle. A droite, puissance maximale anaérobie (Panaéro) et puissances maximale et moyenne ainsi que la fréquence cardiaque maximale mesurées au test de Wingate.

Avec une valeur moyenne de 53.08 ± 3.2 ml.min⁻¹.kg⁻¹, le VO2 max des espoirs gymnastes de l'INSEP s'inscrit dans la fourchette des chiffres rapportés par Montpetit (1976), soit des valeurs de 46,2 ml.min⁻¹.kg⁻¹ (Roumains) et de 60 ml.min⁻¹.kg⁻¹ (Suédois) relevées chez des gymnastes de classe internationale.

On dispose de peu de données relatives à la consommation maximale d'oxygène des bras (VO2pic bras). Aussi est-il difficile de commenter nos résultats. Selon une étude de Horwill et al. (1992), le VO2pic bras de lutteurs élites est plus élevé que celui de nos gymnastes (43.7 ml.min⁻¹.kg⁻¹ ± 4.6 versus 39 ml.min⁻¹.kg⁻¹ ± 5.51), avec

un rapport VO₂pic bras/jambe également plus élevé (86% vs 73%). Chez des haltérophiles, ce rapport est de 78% et atteint 87% chez des canoéistes (Tesch et al, 1974), alors qu'il est de 70% environ dans une population de référence. Toutefois, il existe de grandes disparités entre les individus concernant ces rapports (de 0.60 à 0.87) et on ne met pas en évidence de corrélation significative entre les valeurs des puissances aérobies des jambes et celles des bras ($r = 0.40$). Ces écarts peuvent être expliqués par des différences liées à l'aptitude aérobique des muscles, mais aussi par la capacité des sujets à mobiliser une plus ou moins grande masse musculaire (membres supérieurs et participation de muscles du tronc) pendant les tests.

Les FC maximales mesurées à l'épreuve de VO₂ max (jambes) sont toujours supérieures aux FC maximales mesurées à l'épreuve de VO₂pic bras et on met en évidence une corrélation significative entre FC max bras et VO₂pic bras ($r = 0.73$, $p < 0.05$). Cela suggère que VO₂pic bras demeure limité par des facteurs locaux plutôt que généraux dans cette population, malgré les masses musculaires engagées au cours de l'exercice.

Aptitudes anaérobies (tableau 2) :

Concernant les jambes, avec une puissance moyenne de 16 W.kg⁻¹ réalisée au test force-vitesse, les gymnastes se placent parmi les athlètes dotés d'une puissance maximale anaérobie plutôt bonne. Ainsi, comparativement à des données expérimentales acquises suivant un protocole similaire, ils se situent légèrement au-dessous de sprinters évalués à 17 W.kg⁻¹ par Granier et al. (1995), proches des 15.8 W.kg⁻¹ d'un groupe de volleyeurs de niveau régional (Driss, 1998) et des 15.8 W.kg⁻¹ d'haltérophiles en stage à l'INSEP (Le Chevalier, 1998) mais nettement au-dessus des 13.75 W.kg⁻¹ des lutteurs du pôle INSEP.

Pour les bras la valeur moyenne atteinte par les gymnastes au test force-vitesse est de 10.85 W.kg⁻¹, comparable aux 10.42 W.kg⁻¹ réalisés par les volleyeurs testés par Driss (1998). Les valeurs mesurées à ce test (dans des conditions légèrement différentes) par Vandewalle et al. (1983) étaient de 12.95 W.kg⁻¹ chez des kayakistes, 10.31 W.kg⁻¹ chez des handballeurs, 11.16 W.kg⁻¹ chez des boxeurs, 9.52 W.kg⁻¹ chez des joueurs de tennis et 8.42 W.kg⁻¹ chez des sujets sédentaires. Ces résultats permettent de constater que les gymnastes font partie des athlètes qui possèdent une puissance anaérobie alactique élevée et qu'ils se situent nettement au-dessus des sujets sédentaires.

Le rapport des puissances entre bras et jambes est de 0,67, dans notre étude et de 0,66 dans celle de Driss. Si l'on considère les valeurs du pic de puissance estimées grâce au test de Wingate, le rapport est de 0,69 dans notre étude et de 0,75 dans l'étude de Horswill et al. (1992) menée chez des lutteurs de haut niveau. Le test n'ayant pas été réalisé en suivant exactement le même protocole (forces de freinage différentes), il est difficile de procéder aux comparaisons des valeurs de puissance obtenues par les différents athlètes. Cependant, nos gymnastes ont atteint des valeurs nettement supérieures à celles des lutteurs ce qui tendrait à suggérer que ces derniers sont relativement moins puissants des membres inférieurs (les résultats obtenus au test de force-vitesse par les lutteurs du pôle INSEP, 13.75 W.kg⁻¹ vont également dans ce sens), ce que l'on n'observe pas chez les gymnastes qui sont, selon cette optique, plus "équilibrés".

De même que pour les aptitudes aérobies, on n'observe pas une corrélation significative entre les valeurs des puissances anaérobies des jambes et celles des bras ($r = 0.30$). A l'image de ce que l'on observe pour l'aptitude aérobique, les plus puissants des jambes ne sont donc pas automatiquement les plus puissants des bras et réciproquement.

L'évolution des valeurs de la lactatémie et de la fréquence cardiaque pendant la récupération est présentée au tableau 3.

PARAMÈTRES	ÉPREUVES AÉROBIES		ÉPREUVES ANAÉROBIES	
	Jambes	Bras	Jambes	Bras
FC fin	191 ± 8	170 ± 4	171 ± 11	175 ± 9
FC + 2	124 ± 12	112 ± 17	122 ± 11	117 ± 9
FC + 5	108 ± 9	92 ± 16	105 ± 9	104 ± 9
FC + 10	101 ± 9	89 ± 11	101 ± 8	100 ± 10
La + 2	8.3 ± 1.3	8.4 ± 1.7	9.8 ± 1.3	10.7 ± 1.1
La + 5	8.2 ± 1.9	7.8 ± 1.8	11.4 ± 1.6	12.9 ± 1.3
La + 10	6.4 ± 1.8	6.4 ± 2	9.9 ± 1.5	10.5 ± 1.5

Tableau 3 : Evolution de la fréquence cardiaque (bat.min⁻¹) et de la lactatémie (mM) aux 2^e, 5^e, et 10^e minutes de la récupération lors des différentes épreuves de laboratoire.

La lactatémie maximale est mesurée à la 2^e minute de la récupération des tests aérobies et décroît ensuite. On ne note pas de différence significative entre la lactatémie des jambes et celle des bras. Suite aux tests de Wingate la lactatémie maximale est mesurée à la 5^e minute. Elle est significativement plus élevée que la lactatémie mesurée aux 2^e et 10^e minutes. Il existe à chaque fois une différence significative entre la lactatémie des jambes et celle des bras.

CONCLUSION

Les caractéristiques biométriques des gymnastes espoirs de l'INSEP sont similaires à celles des gymnastes de l'élite mondiale. Cette permanence des caractéristiques suggère qu'il s'agit de l'un des prérequis importants pour faire partie de l'élite en gymnastique. Il existe de grandes disparités entre les individus concernant les rapports bras-jambe, qu'il s'agisse des aptitudes aérobies ou anaérobies. Il conviendrait de vérifier s'il existe des relations entre ces caractéristiques individuelles et les réalisations gymniques.

Cette étude a permis d'établir un profil physiologique des jeunes gymnastes en formation à l'INSEP et devrait constituer une référence pour analyser les données issues de 3 séances d'entraînement.

Bibliographie

- Bar-Or O. (1981) Le test anaérobique de Wingate. Caractéristiques et applications. *Symbiose* 13: 157-172.
- Claessens A.L., Veer F.M., Stijnen V., Lefevre J., Maes H., Steens G., Beunen G (1991) Anthropometric characteristics of outstanding male and female gymnasts. *Journal of Sports Sciences*, 9, 53-74.
- Durnin J. et Rahaman M. (1967) The assessment of the amount of fat in the human body from skinfold thickness. *Br. J. Nutr.* 21: 681-689.
- Horswill C.A., Miller J.E., Scott J.R., Smith C.M., Welk G., Van Handel P. (1992) Anaerobic and aerobic power in arms and legs of elite senior wrestlers. *Int. J. Sports Med*
- Tesch P., Piehl K., Wilson G., Karlsson J. (1974) *Kanot, Idrottsfysiologi, Rapport no 13, Trygg-Hansa, Stockholm, 1974.* Traduit du suédois par M. Robin et G. Péres, sous le titre canoé, diffusé par la Fédération française de Canoé-Kayak.
- Vandewalle H., Péres G., Heller., Panel J, 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.
- Montpetit R., (1976), Physiology of gymnastics, in *The advanced Study of Gymnastics*: 183-214. Thomas Publisher U.S.A.

Comparaison de 3 séances d'entraînement-type chez des gymnastes espoirs

Confrontation avec les valeurs du métabolisme enregistrées en laboratoire

*Cette étude fait suite à l'article
« Profil physiologique de gymnastes espoirs », paru dans le numéro 25
de la revue GYM'technic. Elle présente les résultats des gymnastes
masculins du Pôle France INSEP acquis, cette fois, lors de leur évaluation
au gymnase au cours de 3 séances d'entraînement-type.*

*Les travaux ont été réalisés dans le cadre du réseau inter-établissements
du ministère de la Jeunesse et des Sports, en accord avec la FFG
et avec la participation de l'ADDMS de Créteil.*

*J.-M. Le Chevalier, M. Origas, J.-F. Stein, F. Fraisse, L. Barbiéri,
P. Mermet, B. Thoulé, C. Colombo, F. Friemel, M. Jemni
ont collaboré à ce projet.*



Zhao SHENG (CHN)

Introduction

L'entraînement des gymnastes qui font partie de l'élite est souvent biquotidien et comprend des séances d'une durée moyenne de 2 heures. Aussi, même si la gymnastique sportive se caractérise avant tout par ses difficultés techniques, il paraît utile d'être informé de la dépense énergétique occasionnée par ces séances, a fortiori lorsque cette question concerne des espoirs âgés de 17 à 21 ans.

Cependant, l'approche de la dépense énergétique en gymnastique s'avère malaisée, en raison de la brièveté et de l'intensité élevée des exercices. De surcroît, les nombreuses figures acrobatiques ne permettent pas, à l'image d'autres sports comme la course à pied ou le cyclisme, d'équiper les gymnastes d'appareils miniaturisés destinés à mesurer la consommation d'oxygène au cours des prestations gymniques. Comme d'autres auteurs (Montpetit, 1976, Goswami et Gupta, 1998), nous avons donc eu recours à des indicateurs indirects tels que la fréquence cardiaque et la lactatémie pour évaluer le métabolisme énergétique lors de séances d'entraînement.

A notre connaissance, la plupart des travaux destinés à l'étude de la dépense énergétique en gymnastique artistique ont porté, soit sur l'analyse de séances plus ou moins standardisées de travail d'éléments aux différents agrès, soit sur des répétitions de séquences gymniques imposées, analysées séparément. De telles études ne renseignent donc pas, lors du travail d'éléments, sur les contraintes déterminées par l'enchaînement des difficultés et, au cours des séquences d'imposés, sur celles occasionnées par des séances complètes d'entraînement censées refléter des niveaux différents d'exigence au plan énergétique.

Cette étude avait pour objet de confronter les variables mesurées au cours de 3 séances d'entraînement-type, considérées par les entraîneurs comme facile, moyennement difficile, et difficile, aux mêmes variables mesurées au cours de tests effectués en laboratoire et de comparer les 3 séances d'entraînement-type à la lumière de leurs répercussions sur ces variables.

Matériels et méthodes

Population

Seuls 7 des 9 gymnastes espoirs en stage à l'INSEP présents aux épreuves réalisées au laboratoire ont participé à l'ensemble de l'expérimentation, 2 d'entre eux

étant indisponibles pour cause de blessure. Leurs âge, taille et poids étaient respectivement de 18,7 ($\pm 1,3$) ans, 170 (± 6) cm et 66 (± 3) kg.

Évaluation au laboratoire

Au laboratoire, l'évaluation a porté sur l'aptitude aérobie (picVO_2) et l'aptitude anaérobie (test de force-vitesse et test de Wingate) pour les jambes et les bras. La méthodologie et les protocoles des épreuves réalisées ont été décrits à l'occasion d'un rapport précédent (Le Chevalier et al, 1998).

Évaluation des séances d'entraînement

PROTOCOLE DES SÉANCES

Trois séances d'entraînement-type S1, S2 et S3, choisies par les entraîneurs, ont été analysées. Afin de pouvoir comparer ces séances, le temps réservé aux échauffements préliminaires et la période qui sépare le passage d'un agrès au suivant ont été fixés respectivement à 45 et 10 minutes, en référence à ce qui est accordé, en moyenne, lors d'une compétition.

La séance S1, considérée comme facile, était réservée au perfectionnement d'éléments gymniques isolés. Les gymnastes se sont exercés successivement au sol, aux arçons et aux barres parallèles, au cours de séquences de 35 minutes pour chacun de ces agrès, sans qu'il leur soit imposé un nombre de passages précis.

La séance S2, dite de moyenne difficulté, consistait en une simulation de compétition. Celle-ci s'est déroulée suivant l'ordre de rotation olympique, et débutait par le sol.

La séance S3, censée être la plus difficile, conduite selon les mêmes principes généraux que la séance S2, consistait en un « double-complet », en ce sens que l'enchaînement de compétition était doublé. Le temps mis par l'ensemble des gymnastes pour effectuer leur premier passage à l'agrès (de l'ordre de 6 à 7 minutes) tenait lieu de récupération pour effectuer leur second passage.

PARAMETRES ÉTUDIÉS

Les paramètres étudiés pendant les séances d'entraînement ont été la fréquence cardiaque (FC), la lactatémie (La) et un indice de difficulté proposé par Borg (1970), le « rate of perceived exertion » ou RPE.

FC a été enregistrée en continu au moyen d'un Baumann BHL 6000 (Baumann et Haldi, Fleurier, Switzerland) réglé pour effectuer une moyenne des FC toutes les 8 pulsations. Lors des différents passages, la FC maximale (FC max), ainsi que la FC aux 2^e, 5^e et 10^e minutes de la récupération ont été notées, à l'identique de ce qui avait été réalisé au cours des épreuves de laboratoire.

Des prélèvements sanguins ont été effectués au lobe de l'oreille aux 2^e, 5^e et 10^e minutes de la récupération afin de doser les lactates sanguins et suivre leur évolution, suivant également en cela ce qui avait été pratiqué au laboratoire.

La note correspondant à l'indice RPE a été relevée auprès des gymnastes immédiatement à l'issue de leur prestation à chaque agrès. Nous avons également demandé aux gymnastes, avant le début de chaque séance, d'indiquer par une note sur 5 leur estimation de la difficulté de la séance, aux plans psychologique et physique.

Afin de motiver les gymnastes, les prestations de la simulation de compétition S2 ont été notées par 2 juges selon le code international de pointage en usage au moment de l'expérimentation.

Analyse statistique

Des analyses de variance avec mesures répétées, et qu'une étude des corrélations ont été utilisées pour effectuer le traitement de ces variables. Le seuil de signification a été fixé à $P < 0,05$.

Résultats et discussion

La fréquence cardiaque

La consommation maximale d'oxygène déterminée sur tapis roulant (pic VO_2 jambes) et la FCmax mesurée à cette occasion sont respectivement de $52,5 \pm \text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ et $190 \pm 8 \text{ bat} \cdot \text{min}^{-1}$.

Les fréquences cardiaques (FC %max), exprimées en pourcentages de la fréquence cardiaque maximale pour chaque agrès et à chaque séance sont présentées dans le tableau 1.

	Sol	Arçons	Anneaux	Saut	B. parallèles	B. fixe
S1 FC (% max)	80,8	91,1			89,0	
S2 FC (% max)	98,0	99,2	98,7	84,1	96,1	98,2
S3 FC (% max)	97,1	100	100	83,5	99,2	100
S1 La+2 (mmol.l ⁻¹)	$1,63 \pm 0,29$	$2,83 \pm 1,79$			$1,57 \pm 0,48$	
S1 La+10 (mmol.l ⁻¹)	$1,07 \pm 0,14$	$1,79 \pm 1,15$			$1,06 \pm 0,29$	
S2 La+2 (mmol.l ⁻¹)	$6,13 \pm 1,00$	$5,46 \pm 0,58$	$5,40 \pm 1,01$	$3,27 \pm 0,68$	$3,63 \pm 0,70$	$4,73 \pm 0,5$
S2 La+10 (mmol.l ⁻¹)	$4,46 \pm 1,11$	$4,10 \pm 0,84$	$4,16 \pm 1,13$	$1,96 \pm 0,48$	$2,60 \pm 0,54$	$3,30 \pm 0,5$
S3 La+2 (mmol.l ⁻¹)	$7,90 \pm 1,16$	$7,54 \pm 0,94$	$6,63 \pm 1,37$	$3,70 \pm 0,44$	$4,14 \pm 0,60$	$4,91 \pm 1,2$
S3 La+10 (mmol.l ⁻¹)	$5,60 \pm 1,04$	$5,51 \pm 0,48$	$4,64 \pm 1,28$	$2,21 \pm 0,37$	$2,81 \pm 0,38$	$3,30 \pm 1,1$
Durée (sec)	$60,90 \pm 3,44$	$30,47 \pm 4,19$	$40,68 \pm 5,05$	$5,16 \pm 2,90$	$31,14 \pm 6,22$	$36,50 \pm 6,5$
Note / 10	$8,50 \pm 0,56$	$7,59 \pm 1,27$	$7,90 \pm 0,78$	$8,57 \pm 1,43$	$7,91 \pm 1,04$	$7,50 \pm 0,8$

Tableau 1. Fréquences cardiaques exprimées en pourcentages de la fréquence cardiaque maximale (FC % max) et lactatémies (La) mesurées aux 2^e et 10^e minutes de la récupération, pour chaque agrès, à chaque séance. Durées moyennes des exercices et notes obtenues lors de la séance de simulation de compétition.

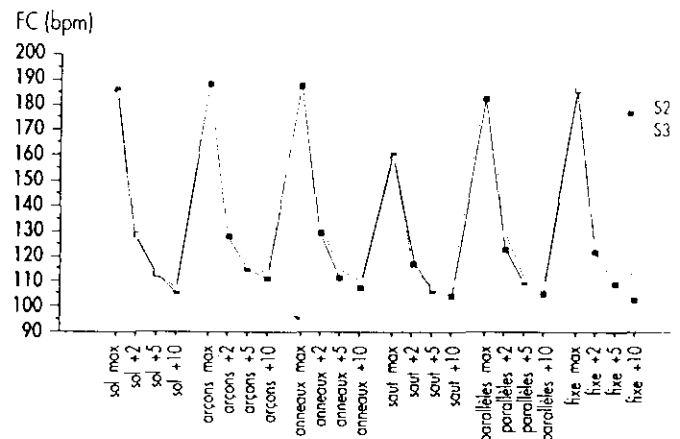
	Sol	Arçons	Anneaux	B. parallèles	B. fixe
FC (% max)	90,8	85,6	86,9	86,6	90,6
La (mmol.l ⁻¹)	$7,11 \pm 1,17$	$5,18 \pm 0,20$	$6,77 \pm 0,56$	$6,23 \pm 0,91$	$5,97 \pm 0,86$
Durée (sec)	$61,7 \pm 3,13$	$21,5 \pm 3,20$	$44,8 \pm 2,90$	$30,7 \pm 4,40$	$31,4 \pm 1,64$
Note / 10	$6,67 \pm 0,56$	$6,72 \pm 0,90$	$6,82 \pm 0,41$	$6,93 \pm 1,60$	$6,67 \pm 0,56$

Tableau 2. Fréquences cardiaques en pourcentage de la fréquence cardiaque maximale (FC % max), lactatémies (La), durées des exercices et notes obtenues lors du premier passage à leurs imposés par les gymnastes dans l'étude de Goswami et Gupta (1998).

Lors de la séance S2, les FC max atteintes sont très proches de FC max estimée au laboratoire, excepté au saut de cheval. Des FC comparables, plus élevées mais non significativement différentes sont notées au cours de la séance S3 (Fig.1). Les FC max de la séance S1 sont significativement plus basses ($P < 0,001$). Les FC moyennes des séances S2 et S3 sont très proches (respectivement 122 ± 7 et 124 ± 8 bat.min⁻¹, soit 65% de FCmax) et plus élevées que celles de la séance S1 (114 ± 10 bat.min⁻¹, soit 60% de FCmax). Les seules corrélations significatives mises en évidence entre les FC max enregistrées au gymnase et au laboratoire aux différents tests concernent FC max mesurée à pic VO₂ jambes avec, d'une part, FC max aux arçons et, d'autre part, FC max la barre fixe lors de la séance S2 (respectivement $r = 0,81$ et $0,77$), résultat qui ne se retrouve pas à la séance S3.

La relation bien connue qui existe entre FC et la consommation d'oxygène (VO₂) établie au laboratoire (Astrand, 1980) pendant une épreuve de mesure de consommation d'oxygène (pic VO₂) est souvent utilisée pour estimer la dépense d'énergie pendant le déroulement de certaines activités sportives, qu'il s'agisse d'entraînement ou de compétition. Toutefois, cette relation n'est valide que lorsque la puissance des exercices n'excède pas la puissance maximale aérobie (PMA) et que ces derniers sont réalisés en condition d'état stable.

Fig.1. Évolution de la fréquence cardiaque (FC) au cours des séances S2 (compétition) et S3 (double compétition)



Récemment, Bernard et al. (1996) ont établi que les relations individuelles FC-VO₂ peuvent être utilisées en situation transitoire (donc instables) d'exercice, mais cette possibilité ne concerne que des exercices dont la puissance demeure inférieure à la PMA. Or, en gymnastique, les exercices se caractérisent par leur brièveté et par leur intensité élevée, nettement supérieure à la PMA. Il n'est donc pas possible de recourir à la relation FC-VO₂, ni de rapporter telle ou telle plage de FC (telle que la zone de transition aérobie-anaérobie) à une quelconque dépense d'énergie lors des réalisations gymniques. Sans compter que d'autres facteurs, tels que le stress, sont également susceptibles d'influencer la FC. L'enregistrement de la FC a donc été exclusivement réalisé pour comparer la réponse cardiaque aux différents agrès et lors des différentes séances d'entraînement, les enregistrements effectués au laboratoire tenant lieu de référence.

On constate qu'aux séances S2 et S3, les FCmax ne sont pas significativement différentes de la FCmax mesurée au laboratoire lors de l'estimation de pic VO₂ sur tapis roulant. En revanche, ces FC sont significativement plus élevées que celles des autres épreuves de laboratoire, pourtant très contraignantes énergétiquement, ainsi que de celles atteintes au cours de la séance d'entraînement S1.

Est-ce dû au stress, ou à la nature particulière des exercices réalisés au cours des différentes séances ?

On ne peut ignorer un effet de stress. En effet, la séance S2 pouvait être considérée comme une véritable compétition, dans la mesure où les gymnastes avaient un public (des étudiants et les opérateurs), étaient filmés, applaudis et jugés en fin de prestation. On ne peut pas non plus exclure cet effet de stress au cours de la séance S3, la différence essentielle avec la séance S2 tenant au doublement des passages. Toutefois un effet de stress n'explique peut-être pas en totalité ces valeurs élevées de FC.



Florent MARÉ (FRA)

Éric CASIMIR (FRA)



En effet, les résultats de plusieurs études tendent à indiquer que lorsque l'entraînement consiste à réaliser des enchaînements d'éléments, libres ou imposés, la FC demeure au-dessous de la FC max. Ainsi, lors de la réalisation d'exercices imposés de niveau junior, d'une durée moyenne inférieure à 30 secondes, Montpetit (1976) observe que les FC max atteignent à peine 160 bat.min⁻¹. De même, Goswami et Gupta (1998) rapportent que la FC de leurs sujets, 5 gymnastes de bon niveau, reste comprise entre 170 et 180 bat.min⁻¹, soit entre 86 et 91% de leur FCmax (Tab.2), lorsqu'ils sont soumis à des exercices imposés dont la durée est proche de celle des exercices de compétition. Pourtant, les gymnastes étaient encouragés, jugés et notés lors de cette expérimentation, ce qui pouvait constituer un facteur de stress. Il est à noter que même au bout de 3 répétitions de ces exercices imposés, séparées d'environ 3 minutes de repos, leur FC de fin d'exercice restait comprise entre 88 et 94% de leur FC max.

Pour sa part, Martin (1995) note qu'au cours d'un travail d'éléments, 3 gymnastes d'un niveau de Nationale 3 atteignent une FC qui correspond à 91% de leur FCmax. Ces données concordent avec les nôtres, puisque les FC observées à l'issue des exercices de la séance S1 se situent, selon les agrès, entre 80 et 91% de leur FC max. L'auteur avait également observé que lorsque ses gymnastes étaient confrontés à une simulation de compétition, les FC atteignaient des valeurs plus élevées, de l'ordre de 93% de leur FC max.

En gymnastique, de nombreux facteurs autres qu'énergétiques ou psychologiques sont susceptibles d'interférer sur la FC, tels que les positions du corps et de la tête, le travail musculaire des bras ou des jambes en condition statique ou dynamique... Mais ces facteurs sont tous retrouvés aux différents exercices, à un moindre degré peut-être au saut de cheval. En revanche, la durée des exercices ne semble pas déterminante puisque l'on observe des FC max comparables, par exemple aux barres parallèles et au sol, dont les durées sont en moyenne respectivement de 31 et 61 secondes, aussi bien dans l'étude de Goswami et Gupta que dans la nôtre (Tab.1 et 2).

Une différence avérée de FCmax entre des entraînements qui simulent des exercices de compétition et des enchaînements imposés pourrait donc signifier que ces deux types de situation possèdent des caractéristiques distinctes, qu'il est cependant difficile d'interpréter. A moins que la différence ne tienne au niveau de notre population d'espoirs, meilleur que celui des gymnastes des études citées. Ainsi, la moyenne des notes attribuées à nos espoirs était de 7.9 contre 6.8 pour les gymnastes de l'étude de Goswami et Gupta (Tab.1 et 2). Suivant cette hypothèse, ils seraient capables de réaliser, en situation de compétition, des combinaisons d'éléments plus difficiles et, de ce fait, plus exigeantes aux plans énergétique et psychologique.

Quoi qu'il en soit, la variable FC s'avère finalement de peu d'intérêt pour établir une discrimination fine entre les séances, dès lors que le niveau des difficultés s'élève, puisque les FC approchent de leur maximum, indépendamment de la durée des exercices. En effet, on ne décèle pas de différences entre la séance de simulation de compétition S2 et la séance S3 qui représente pourtant le double de travail, que l'on considère la FC max, la FC de récupération ou la FC moyenne. Les FC de ces 2 séances apparaissent toutefois significativement plus élevées de S1 en ce qui concerne la FCmax et de la FC moyenne.

La lactatémie

Les lactatémies mesurées aux 2^e et 10^e minutes de la récupération, pour chaque agrès et à chaque séance sont présentées au tableau 1 et à la figure 2. Au cours de la séance S2 la lactatémie la plus élevée est mesurée au sol. Elle décroît jusqu'au saut de cheval, où elle est significativement la plus basse ($P < 0,001$), puis s'élève à nouveau, de façon significative jusqu'à la barre fixe ($P < 0,05$).

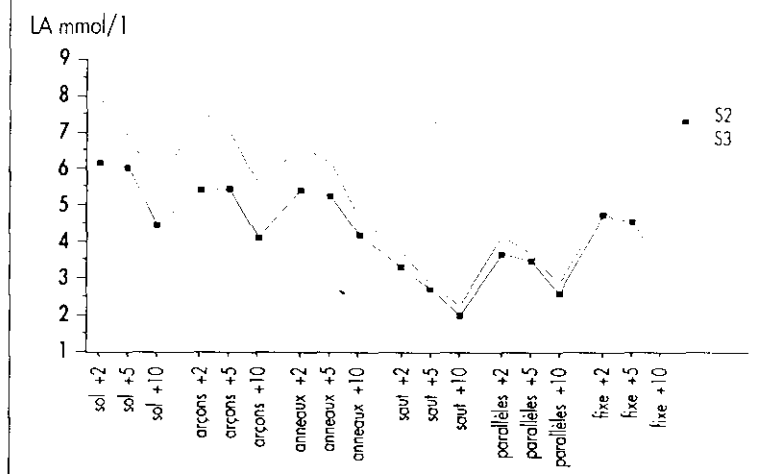
Lors de la séance S3, la cinétique est sensiblement la même. Cependant les lactatémies sont plus élevées et les différences sont significatives avec la séance S2 aux 3 premiers agrès ($P < 0,001$), ce qui suggère un effet cumulatif du doublement des passages.

Comparativement aux séances S2 et S3, les taux de lactates mesurés au cours de la séance S1 sont beaucoup plus faibles ($P < 0,001$). Lors des séances de terrain les valeurs de lactatémie sont significativement plus basses que les valeurs mesurées aux tests de laboratoire et les concentrations évoluent peu entre la 2^e et la 5^e minute, à l'image de ce qui est observé aux épreuves destinées à évaluer la consommation maximale d'oxygène (pic $\dot{V}O_2$) au laboratoire. Il n'est pas mis en évidence de corrélations significatives entre les lactatémies mesurées au gymnase et au laboratoire.

Même si elles restent légèrement inférieures à celles que l'on mesure à l'issue des tests d'aptitude aérobie effectués au laboratoire, les lactatémies mesurées aux 2^e et 5^e minutes après un exercice complet ne sont pas négligeables, excepté à la suite du saut de cheval (Fig.2). Elles sont cependant nettement inférieures à celles que l'on mesure à la fin des tests d'aptitude anaérobie. Au bout de 10 minutes de récupération, elles demeurent encore relativement élevées et nous informent sur la concentration qui précède le passage des gymnastes à l'agrès suivant (Tab.1). Ces concentrations témoignent d'une participation significative du métabolisme anaérobie lactique.

En dépit de protocoles différents, il est possible d'établir des comparaisons avec les résultats de Goswami et Gupta (1998). Après un échauffement semblable à celui de nos gymnastes, leurs sujets avaient à réaliser, à un agrès donné, une répétition de 3 enchaînements imposés séparés de 3 à 4 minutes de repos d'une durée proche de nos exercices de compétition (Tab.2).

Fig.2. Évolution de la lactatémie (LA) au cours des séances S2 (compétition) et S3 (double compétition)



Ainsi ont été étudiés à 24 ou 48 heures d'intervalle tous les agrès, sauf le saut de cheval. Au premier passage, on observe qu'au sol, aux arçons et aux anneaux, bien que légèrement plus élevées, les lactatémies mesurées à l'issue des exercices sont proches des nôtres, mesurées à la 2^e ou à la 5^e minute. En revanche les lactatémies de nos sujets sont franchement plus basses à la barre fixe et aux barres parallèles. Avec des taux de lactates globalement plus élevés qu'à la séance S2, on retrouve un scénario similaire lors de la séance S3 (Fig.2).

Cette cinétique suggère que la plage de temps réservée au saut de cheval permet de baisser significativement la lactatémie. En conséquence, dans la mesure où il subsiste encore un taux de lactate non négligeable au bout de la 10^e minute, l'agrès du début de la compétition est susceptible de jouer un rôle sur les prestations des gymnastes, notamment chez ceux qui ne disposeraient pas d'une réserve anaérobie suffisante. D'autant que, contrairement à la FC, la durée des exercices semble influencer la lactatémie, comme le suggère la corrélation que l'on observe entre ces deux variables dans l'étude de Goswami et Gupta ($r = 0.93$).

Dans la présente étude, sans préjuger de la réussite aux exercices, le taux du lactate sanguin permet incontestablement d'établir une distinction entre les 3 séances, puisqu'il s'avère globalement plus élevé dans la séance S3 que dans la séance S2, dont le niveau est lui-même nettement plus élevé que celui de la séance S1. La lactatémie pourrait donc constituer un indice intéressant du degré de l'implication musculaire nécessaire pour enchaîner des difficultés de niveau élevé en gymnastique masculine. Et cela d'autant plus que l'évolution actuelle du règlement pourrait privilégier l'accumulation des difficultés. Ainsi, on assiste d'ores et déjà à l'allongement de la durée des enchaînements à certains agrès.



Dimitri KARBANENKO (FRA)

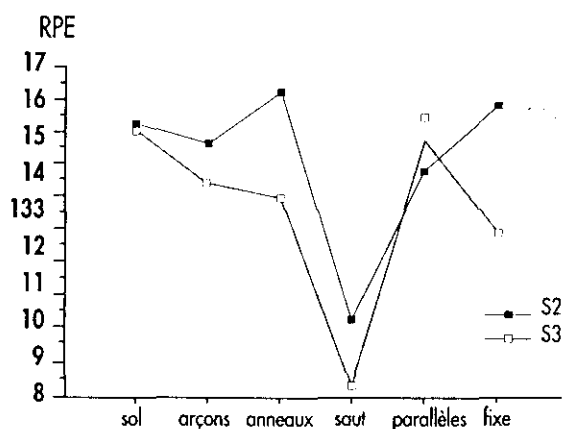
Perception de l'effort

Mis à part le saut de cheval, le RPE ne permet pas de déceler de différences significatives entre les agrès d'une même séance (Fig.3). De la comparaison des séances entre elles, il ressort que l'exécution des anneaux et de la barre fixe au cours de la séance S2 est estimée plus difficile que lors de la séance S3.

De même, le travail au sol et aux parallèles est jugé moins difficile à la séance S1 qu'aux séances S2 et S3. Par ailleurs, on ne note pas de corrélations entre le RPE et les variables FC et La, seulement en ce qui concerne la séance S2, avec la note attribuée par les juges ou encore avec la différence entre cette note et la note maximale possible.

S'agissant de l'appréciation, a priori, des difficultés d'ordre psychologique et physique des séances, les notes attribuées sont, respectivement, pour S1, $2 \pm 0,00$ et $2,7 \pm 0,76$, pour S2, $3,86 \pm 0,69$ et $4 \pm 0,58$ et pour S3, $4,86 \pm 0,38$ et $4 \pm 0,82$. D'où il ressort que S1 est la séance effectivement la plus facile, alors que les séances S2 et S3 ne se distinguent qu'au plan psychologique.

Fig.3. Évolution du « Rate of Perceived Exertion » (RPE) au cours des séances S2 (compétition) et S3 (double compétition)



A l'exception de l'appréciation portée à l'égard du saut de cheval et de la comparaison de la séance S1 avec les deux autres séances, les résultats du RPE paraissent difficiles à interpréter. En effet, selon cet indice, les seules différences significatives entre les séances S2 et S3 concernent les anneaux et la barre fixe, agrès jugés paradoxalement comme plus difficiles lors de la séance S2. Cet indice ne permet pas non plus d'établir, en moyenne, de distinctions entre les différents agrès (le saut de cheval mis à part). Une explication pourrait résider en ceci que, même à ce niveau, les gymnastes présentent des caractéristiques qui les rendent plus à l'aise à certains agrès qu'à d'autres.

De fait, on observe assez fréquemment, pour un agrès donné, de grandes disparités de cotation du RPE autour de la moyenne. Cependant on n'a pas, non plus, mis en évidence de corrélations entre l'agrès de prédilection des gymnastes (signalé par les entraîneurs) et cet indice. Le RPE n'étant corrélé ni à la lactatémie, ni à la FC, ni à la notation effectuée à l'occasion de la séance S2, cet indice ne semble pas approprié pour quantifier l'intensité, sur un plan énergétique, des exercices intenses et brefs qu'impose la gymnastique. Son intérêt est plutôt d'informer sur le degré de pénibilité des exercices perçus par les gymnastes, c'est-à-dire la charge psychologique.

Selon l'appréciation sur 5 points que nous avons demandé aux gymnastes de porter sur les séances avant leur réalisation : S1 se révèle la séance la plus facile psychologiquement et physiquement, les séances S2 et S3 sont, en moyenne, toutes les deux cotées comme difficiles au plan physique, alors qu'au plan psychologique S3 est considérée comme très difficile et S2 seulement comme difficile.

Selon cette échelle, la différence serait donc plus psychologique que physique, ce que suggère également la FC moyenne de ces séances, quasiment identique, mais non la lactatémie de la séance S3, globalement plus élevée que celle de la séance S2.

En définitive, si l'on se tient à ces résultats, les contraintes d'ordre psychologique l'emporteraient sur celles d'ordre physiologique, pour donner lieu à une distinction significative entre les séances S2 et S3.

Conclusion

Au plan physiologique, le saut de cheval apparaît comme un agrès nettement moins contraignant que les autres, susceptible de constituer une plage de temps utile à la récupération pendant une compétition de gymnastique.

- La FC ne semble pas être un indice approprié pour étudier les séances de gymnastique. Cependant, l'éventualité d'une réponse sensiblement différente entre des exercices imposés et des exercices de compétition suggère que ces exercices présentent une certaine spécificité.
- La lactatémie permet de distinguer les séances entre elles, y compris les séances S2 et S3. Cependant, les réponses aux échelles proposées à l'appréciation des gymnastes atténuent la différence de difficulté d'ordre physiologique qui pourrait exister entre ces types de séances. La lactatémie semble néanmoins se présenter comme un indice intéressant, car en rapport semble-t-il, avec la durée et l'intensité des exercices.

Une « réserve » anaérobie paraît donc indispensable aux gymnastes, surtout en considération de l'évolution du règlement que la gymnastique connaît aujourd'hui. On évoque souvent l'intérêt d'un « fond » d'endurance aérobie, y compris chez les sportifs spécialistes d'activités à prédominance anaérobie. Si l'on se fie au critère représenté par le seuil anaérobie, avec un pourcentage de 84% de VO_2 max, les espoirs de l'INSEP peuvent être considérés suffisamment comme endurants. Ce résultat n'est pas véritablement surprenant, eu égard au temps substantiel consacré à l'entraînement. En revanche, la question d'un développement du secteur anaérobie, pris dans une acception large, reste posée.

**J.-M. Le Chevalier¹, M. Origas³,
J.-F. Stein², F. Fraisse⁴,
L. Barbiéri⁵, P. Mermet⁵,
B. Thoulé⁵, C. Colombo⁶,
F. Friemel⁷, M. Jemni⁷**

¹ Laboratoire de biomécanique et de physiologie,
Département des Sciences du Sport.

² Laboratoire mouvement, action et performance,
Département des Sciences du Sport,

³ Département de la formation,

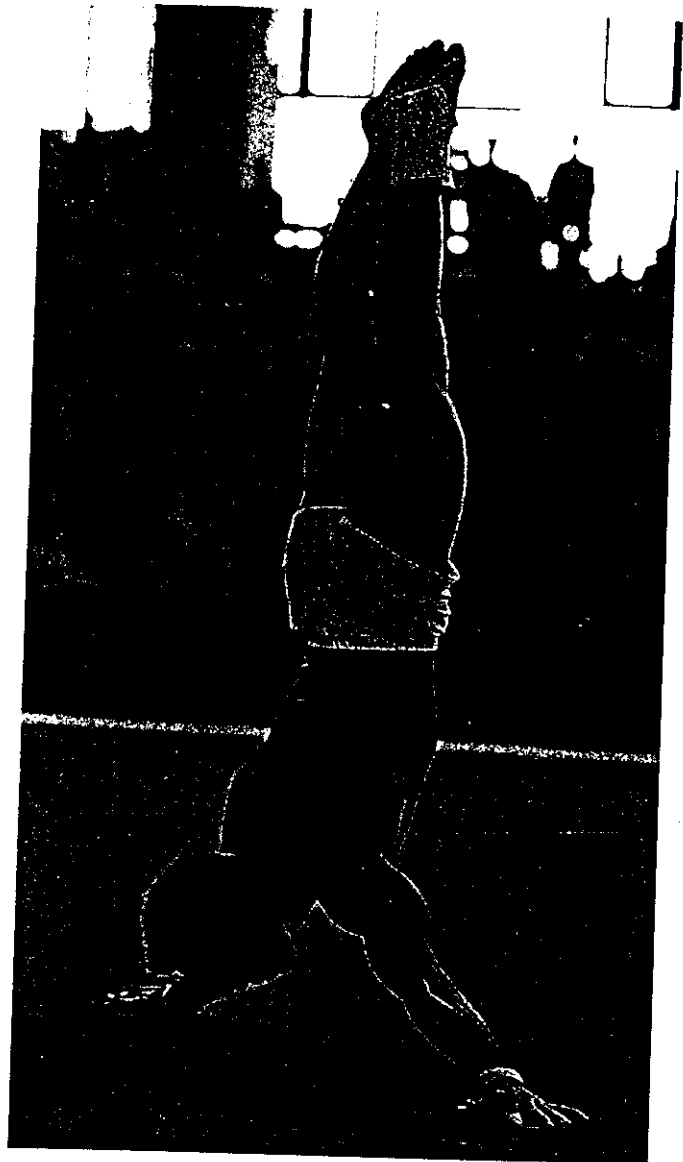
⁴ Département médical,

⁵ Centre d'entraînement. INSEP

11 avenue du Tremblay 75012 Paris.

⁶ CREPS de Lorraine 54270 Essey Les Nancy.

⁷ Association départementale pour le développement
de la médecine du sport, 2 rue Tirard 94000 Créteil.



Thierry AYMES (FRA)

Bibliographie

- Grand PO, Rodahl K (1980) *Précis de physiologie de l'exercice musculaire*. Masson, Paris 2^e édit.
- Renard T, Falgairette G, Gavarry O, Berman S, Marconnet P (1996) Intérêt de la fréquence cardiaque pour évaluer la consommation d'oxygène en situation non stable d'exercice et au cours de la récupération. *Science et Sports* 11 : 96-103.
- GAV. (1970) Perceived Exertion as an Indicator of somatic stress. *Scan. J. Rehabilitation Med* 2 : 92-98.
- Swami A, Gupta S (1998) Cardiovascular stress and lactate formation during gymnastic routines. *J Sport Med Phys Fitness* 38 : 317-22.
- Chevalier JM, Origas M, Fraisse F, Stein J.F, Colombo C, Friemel F, Jemni M, Barbiéri L, Mermet P, Thoulé B (1998) Bil physiologique de gymnastes espoirs, *GYM'technic* 25 : 23-27.
- artin C. (1995) Répercussions de l'entraînement sur la fréquence cardiaque de gymnastes seniors masculins. Mémoire pour la Maîtrise STAPS Bordeaux.
- Antpetit R. (1976) Physiology of gymnastics, in *The advanced Study of Gymnastics* : 183-214. Thomas Publisher U.S.A.

Recherches en Activités Gymniques et Acrobatiques

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA CHARGE DE L'ENTRAINEMENT EN GYMNASTIQUE CHEZ DES GYMNASTES ESPOIRS.

¹J.M LE CHEVALIER, ²M ORIGAS, ³J.F STEIN, ⁴F FRAISSE, ⁶F FRIEMEL, ⁶M JEMNI, ⁵L BARBIERI, ⁵P MERMET, ⁵B THOULE, ⁷C COLOMBO.

¹ Laboratoire de biomécanique et de physiologie du Département des Sciences du Sport - ² Département de la formation - ³ Laboratoire action et performances motrices - ⁴ Département médical - ⁵ Centre d'entraînement - INSEP, 11 avenue du Tremblay 75012 Paris.

⁶ A D D M S, 2 rue Tirard 94000 Créteil. - ⁷ C.R.E.P.S. de Lorraine 54270 Essey Les Nancy.

Mots-clés : gymnastique, charge d'entraînement, indices, fréquence cardiaque, lactatémie

Objectif

La charge occasionnée par les séances d'entraînement en gymnastique est difficile à évaluer en raison, d'une part, de la participation prépondérante du métabolisme anaérobie et, d'autre part, de la présence des difficultés de nature acrobatique. L'étude a eu pour but la comparaison de trois séances d'entraînement-type considérées par les entraîneurs comme facile, moyennement difficile et difficile et d'estimer leur degré de difficulté à l'aide de paramètres physiologiques (fréquence cardiaque et lactatémie) et d'indices spécifiques empiriques disponibles dans la littérature.

Méthodes

Sept gymnastes espoirs âgés de 17 à 20 ans en stage permanent à l'INSEP, volontaires, ont participé à l'étude. Leurs caractéristiques physiologiques sont présentées au tableau 1. Ils ont été évalués dans le cadre de leur entraînement quotidien, au gymnase, au cours de 3 séances standardisées (même durée pour l'échauffement et le repos entre chaque passage aux agrès). La séance de moyenne difficulté (S2) correspondait à une simulation de compétition, effectuée selon la rotation olympique : sol (So), arçons (Ar), anneaux (An), saut de cheval (Sc), barres parallèles (Bp) et barre fixe (Bf). La séance difficile (S3) consistait à réaliser la séance S2, mais en doublant le passage à chaque agrès. La séance facile (S1) correspondait à un travail technique d'étude d'éléments effectué à 3 agrès (So, Ar, Bp).

La fréquence cardiaque (FC) a été enregistrée en continu au cours de toutes ces épreuves. La FC et la lactatémie (La) ont été mesurées aux 2^e, 5^e, et 10^e minutes de la récupération consécutive à chaque passage.

La durée des périodes de travail (échauffement spécifique et passages aux agrès) et des périodes de repos entre ces prestations ont été relevées avec précision. De même, le nombre des éléments présentés et leur degré de difficulté (code FIG) ont été filmés et répertoriés afin de calculer des indices de charge et / ou de difficulté des différents entraînements. Les indices retenus sont, d'une part, un indice d'intensité proposé par Montpetit (2) I_1 (temps actif / durée en secondes de l'entraînement X 100) et, d'autre part, deux indices proposés par Gajdos (3) I_2 et I_3 ($Po / t + N$ et $Po / t + Po / N$, où Po correspond au nombre d'éléments effectués corrigés par leur coefficient, t au temps en minutes de l'entraînement et N au nombre de passages pour réaliser les éléments. Lors du calcul des indices, le temps réservé à l'échauffement général n'a pas été comptabilisé).

Une étude des corrélations et une analyse de variance avec mesures répétées ont été utilisées pour le traitement de ces variables.

Résultats

Les FC maximales (FCmax) enregistrées à chaque agrès lors des séances S2 et S3 sont très proches et ne sont pas significativement différentes de la FC max estimée au laboratoire à l'occasion d'une épreuve de VO_2 max (1), excepté au Sc (tab 2). Les FC de la séance S1 sont significativement plus basses. Les FC moyennes, incluant les temps de travail et de repos des séances S2 et S3, sont très proches (respectivement 122 ± 7 et 124 ± 8 bat.min⁻¹) et significativement plus élevées que celle de la séance S1 (114 ± 10 bat.min⁻¹). On ne met pas en évidence de différence significative lors de la récupération de 10 minutes entre S2 et S3.

Les lactatémies consécutives au passage de chaque agrès mesurées lors de S3 sont supérieures à celles de S2, les différences étant significatives pour So, Ar et An (tab 2). Les valeurs de lactatémies mesurées lors de S1 sont nettement plus basses ($P < 0.001$). Lors de la récupération, les lactatémies sont plus élevées, respectivement, en S3, S2 et S1.

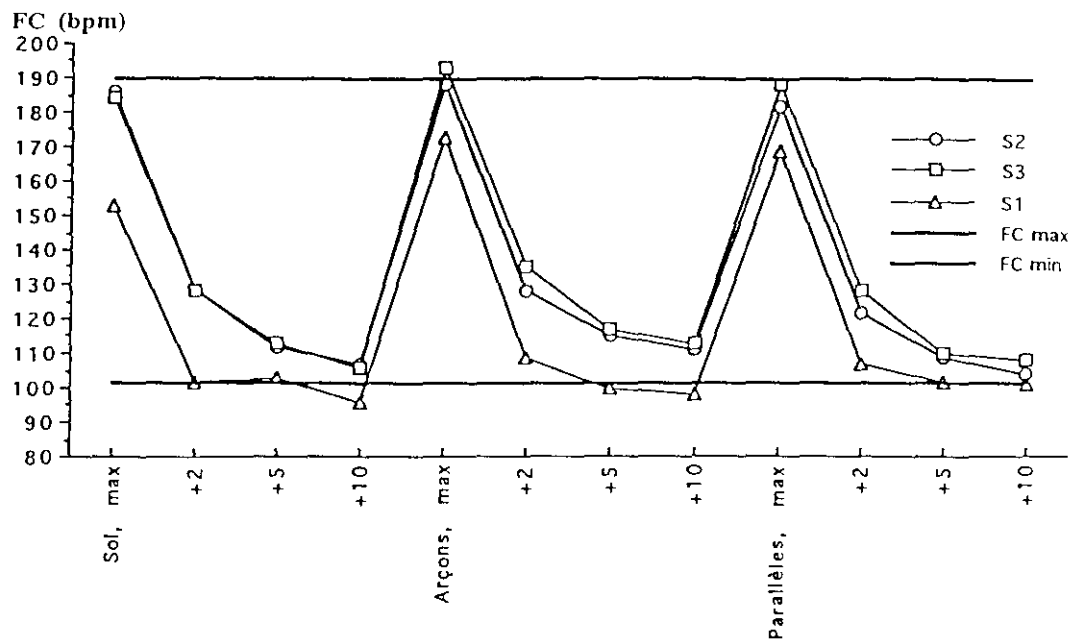


Fig. 1 : Valeurs de la fréquence cardiaque (FC) enregistrée au sol, aux arçons et aux barres parallèles lors des séances S1, S2 et S3. FC max. et FC min. correspondent aux valeurs enregistrées selon le même protocole lors de l'épreuve de VO2 max.

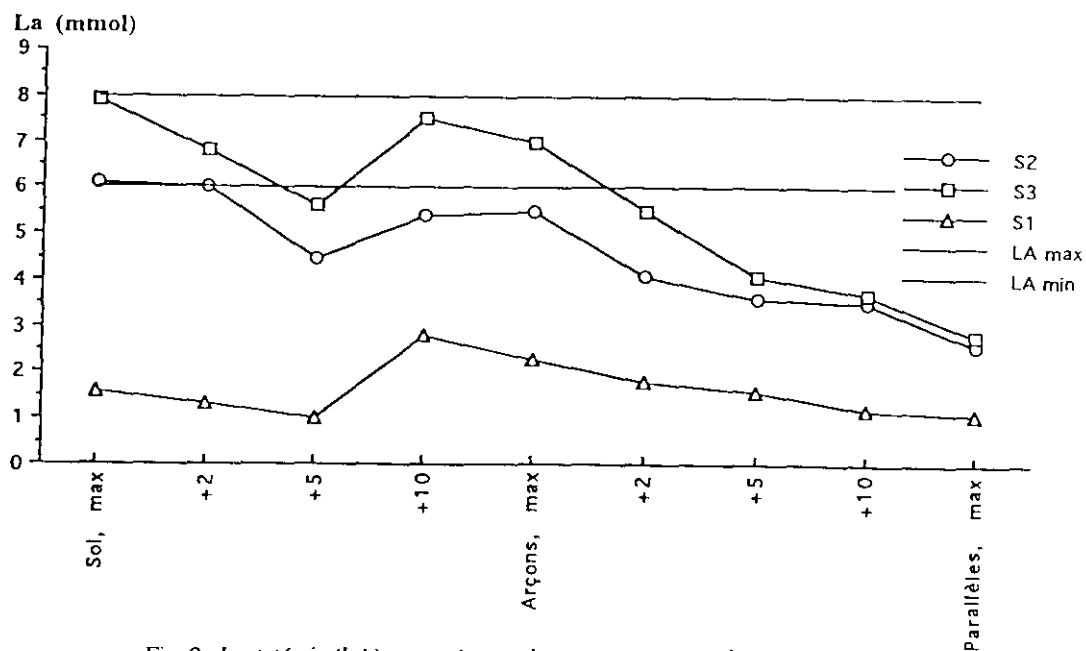


Fig. 2 : Lactatémie (LA) mesurée au sol, aux arçons et aux barres parallèles lors des séances S1, S2 et S3. La max. et La min. correspondent aux valeurs enregistrées selon le même protocole lors de l'épreuve de VO2 max.

La corrélation entre les moyennes des durées en secondes des mouvements et la lactatémie correspondante lors de S2 est significative ($r = 0.85$, $P < 0.05$), résultat qui se confirme si on ajoute les données acquises à S3 ($r = 0.79$, $P < 0.1$).

Les valeurs des indices I1, I2 et I3 sont présentées au tableau 3. On observe que, selon I1, la séance S1, en principe facile, est plus difficile que la séance S2. En revanche, les indices I2 et I3 indiquent une hiérarchie telle que $S3 > S2 > S1$. Cependant, I3 permet d'établir une différence nettement plus marquée entre S1 et S2. Par ailleurs, I2 et I3 sont corrélés ($r = 0.86$, $P < 0.05$) alors qu'ils ne le sont pas avec I1.

Discussion

Fréquence cardiaque (tab 2 et fig 1)

Que l'on considère les valeurs maximales, celles de la récupération ou les valeurs moyennes de l'ensemble des séances, la fréquence cardiaque ne permet pas d'établir une distinction entre S2 et S3, cette dernière représentant pourtant le double de travail.

Par ailleurs l'élévation très rapide (en 45-60 s) et importante (proche de son maximum) de cette variable à 5 agrès, où la puissance exigée est souvent supérieure à la puissance maximale aérobie (PMA), ne reflète qu'imparfaitement la contribution du métabolisme aérobie. D'autres facteurs, tels que le stress, l'utilisation des bras et les acrobaties ont vraisemblablement une influence non négligeable.

Par conséquent, la fréquence cardiaque s'avère de peu d'intérêt pour établir une discrimination entre des séances relativement difficiles, et ne donne guère d'informations en ce qui concerne la dépense énergétique (4).

Lactatémie (tab 2 et fig 2)

Contrairement à la fréquence cardiaque, la lactatémie permet d'établir une différence entre S2 et S3. En effet, les taux sont plus élevés en S3, qu'il s'agisse des taux mesurés aux 2^{ème}, 5^{ème} ou 10^{ème} minutes de récupération. Les différences sont significatives aux 3 premiers agrès. Les taux de lactate mesurés ne sont pas négligeables, notamment au sol, à S3, où l'on s'approche de la lactatémie atteinte à l'issue de l'épreuve de VO_2 max. L'existence d'une corrélation positive entre la durée des exercices et la lactatémie permet d'objectiver la contribution du métabolisme anaérobie.

Notons que sur la base des valeurs de ces 2 variables, S1 apparaît comme nettement moins contraignante que les 2 autres séances (figure 1 et 2).

Les indices

Si l'on se réfère à l'échelle proposée par Montpetit (1978), l'indice I1, qui représente le pourcentage du temps actif par rapport à la durée de la séance d'entraînement, l'intensité des séances est faible ou très faible. De surcroît, S1 serait selon cet indice plus intense que S2, ce qui est en contradiction avec les indicateurs représentés par la FC et la lactatémie. De fait, cet indice semble beaucoup plus approprié pour les activités à prédominance aérobie, où il est possible d'effectuer de grandes quantités de travail, mais à des puissances modérées, et ne paraît pas pertinent pour les activités qui sollicitent préférentiellement le métabolisme anaérobie.

Les indices I2 et I3 de Gajdos sont, a priori, plus appropriés pour estimer la charge de l'entraînement, dans la mesure où ils prennent en considération la durée effective de la séance et le travail réalisé, en comptabilisant le nombre d'éléments effectués, coefficientés de leur degré de difficulté et pondéré par le nombre de passages réalisés. Toutefois, de ces deux indices, c'est I3 qui permet d'établir la différence la plus nette entre S1 et S2 (tab 3). La cause de cette différence plus prononcée est le poids plus important conféré au facteur "nombre de passages" dans l'indice I3. Toutes choses étant égales par ailleurs, plus le nombre de passages effectués est élevé, moins la séance est difficile, et inversement. Cela est vrai au plan technique, et vraisemblablement au plan métabolique, puisque l'on observe des valeurs de FC et de lactatémie nettement plus faibles en S1 qu'en S2 et S3 (tab. X et Y). Concernant ces 2 dernières séances, I3 est également en accord avec les faibles différences observées concernant les indices métaboliques. Par conséquent, aussi bien selon l'indice I3 que selon les indices biologiques, S3 n'apparaît pas comme une séance beaucoup plus difficile que S2. Il existe donc une cohérence entre I3 et les indices métaboliques puisque la hiérarchie, comme les écarts, sont respectés entre ces différents indicateurs.

Si l'on se réfère aux valeurs moyennes de charge d'entraînement proposées par Gajdos (1980) pour des gymnastes de niveau similaire à ceux de la présente étude, on obtient un indice I3 égal à 16,96, une valeur très proche de celles que l'on calcule pour S3 (15,48) et S2 (13,98). Par conséquent, en terme de charge d'entraînement, on se situe bien dans le cadre des exigences fixées par Gajdos. Cependant, le contenu des séances diffère sensiblement. Alors que dans la séance d'entraînement-type de Gajdos on compte en moyenne 250 éléments pour 83 passages, ce rapport est de 74-16, 110-54 et 126-25 pour respectivement S1, S2 et S3. En d'autres termes, on compte 3 éléments par passage pour S1 lors de la séance de Gajdos, 2 pour S1, 4,5 pour S2 et 5 pour S3. Notons que Montpetit (1978) avait observé que les gymnastes sélectionnés pour les jeux olympiques

de Montréal effectuaient de 6 à 7 éléments par passage. Selon cette observation, 3 et a fortiori 2 éléments par passage apparaissent insuffisants alors que 4,5 et 5 semblent constituer une quantité convenable. Revenons à l'analyse du faible écart qui sépare S2 de S3. L'indice de charge relativement satisfaisant obtenu à S2 s'explique par le nombre de passages très faible et des coefficients de difficulté élevés. Ce type de séance se justifie dans l'optique de simuler et de préparer la compétition. En revanche, S3 organisée sur le même mode que S2 semble moins pertinente en tant que séance d'entraînement, en raison de la quantité insuffisante d'éléments (de l'ordre de 250 préconisé par Gajdos) qui y est réalisée. Cela s'explique en partie par la difficulté d'enchaîner 2 mouvements complets, qui impose des temps de repos plus longs, auxquels il faut ajouter le temps réservé aux rotations, que nous avons fixé à 10 min dans cette étude, à l'image de l'organisation de S2.

En conclusion, l'étude de la charge d'entraînement au travers des variables biologiques et de l'indice I3 de Gajdos confirme l'hypothèse des entraîneurs selon laquelle la séance S1 est la plus facile et S3 la plus difficile. Toutefois, S1 s'avère très facile, alors que S3 ne semble pas représenter une charge beaucoup plus importante que S2.

L'indice I3 de Gajdos paraît approprié pour estimer la charge de l'entraînement en gymnastique. Cependant, pour une valeur identique de l'indice, le rapport nombre d'éléments-passages peut être extrêmement différent. Aussi il conviendrait de préciser ce rapport pour un niveau d'entraînement donné et un objectif visé.

n = 9	Age ans	Taille cm	Poids kg	FCmax bat.min ⁻¹	VO ² max ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹
Moyenne	18,6 ± 1,2	169,3 ± 6,3	65,3 ± 4,4	191 ± 8	53,1 ± 3,2
Max - min	21 - 17	182 - 160	73 - 57	202 - 183	55,6 - 49,7

Tableau 1 : Caractéristiques biométriques et physiologiques des gymnastes

	Indice I1	Indice I2	Indice I3
S1	5,34 ± 0,93	1,44 ± 0,26	7,03 ± 1,17
S2	4,79 ± 0,32	1,53 ± 0,21	13,98 ± 1,72
S3	5,63 ± 0,67	1,80 ± 0,25	15,48 ± 2,44

Moyennes et écarts-types des indices de Montpetit (I1) et Gajdos (I2, I3) pour les séances technique (S1), de simulation de compétition (S2) et de double (S3).

	Sol	Arçons	Anneaux	Saut	Parallèles	B. fixe
S1 FC (% max)	80,8	91,1			89,0	
S2 FC (% max)	98,0	99,2	98,7	84,1	96,1	98,2
S3 FC (% max)	97,1	100	100	83,5	99,2	100
S1La+2(mmol.l ⁻¹)	1,63 ± 0,29	2,83 ± 1,79			1,57 ± 0,48	
S1La+10(mmol.l ⁻¹)	1,07 ± 0,14	1,79 ± 1,15			1,06 ± 0,29	
S2 La+2(mmol.l ⁻¹)	6,13 ± 1,00	5,46 ± 0,58	5,40 ± 1,01	3,27 ± 0,68	3,63 ± 0,70	4,73 ± 0,59
S2 La+10(mmol.l ⁻¹)	4,46 ± 1,11	4,10 ± 0,84	4,16 ± 1,13	1,96 ± 0,48	2,60 ± 0,54	3,30 ± 0,55
S3 La+2(mmol.l ⁻¹)	7,90 ± 1,16	7,54 ± 0,94	6,63 ± 1,37	3,70 ± 0,44	4,14 ± 0,60	4,91 ± 1,25
S3 La+10(mmol.l ⁻¹)	5,60 ± 1,04	5,51 ± 0,48	4,64 ± 1,28	2,21 ± 0,37	2,81 ± 0,38	3,30 ± 1,18

Fréquence cardiaque en pourcentage de la fréquence cardiaque maximale (FC % max) mesurée à l'épreuve de VO² max jambes et La mesurées aux 2 et 10ème minutes de la récupération, pour chaque agrès, à chaque séance. FC et La sont significativement plus bas à S1 qu'à S2 et S3.

Bibliographie

- Le Chevalier JM, Origas M, Fraisse F, Stein J.F, Colombo C, Friemel F, Jenni M, Barbiéri L, Mermet P, Thoulé B (1998) Profil physiologique de gymnastes espoirs, GYM' technic 25 : 23-27.
- Montpetit R, (1978) Aspects physiologiques de l'entraînement en gymnastique sportive, in World identification systems for Gymnast Talent, Montréal, pp 25-31.
- Gajdos, (1980) Préparation et entraînement à la gymnastique sportive, éditions Amphora (1983) pp 103-112
- Le Chevalier JM, Origas M, Fraisse F, Stein J.F, Colombo C, Friemel F, Jenni M, Barbiéri L, Mermet P, Thoulé B (1999) Comparaison de 3 séances d'entraînement-type chez des gymnastes espoirs. Confrontation avec l'évaluation du métabolisme réalisée en laboratoire, GYM' technic 27 : 24-31

Résumé

L'étude est destinée à estimer la charge et / ou la difficulté de l'entraînement en gymnastique sportive masculine. Elle comprend trois volets.

Le premier de ces volets est réservé à l'évaluation des capacités physiques des gymnastes en laboratoire. Il permet d'établir le profil physiologique de gymnastes espoirs et, aussi, de constituer une référence pour analyser les résultats acquis lors du second volet de l'étude.

Ce deuxième volet consiste à comparer trois séances d'entraînement choisies par les entraîneurs considérées comme, respectivement, facile, moyennement difficile et difficile.

Le troisième volet a pour but de mettre à l'épreuve les indices de charge et / ou de difficulté de l'entraînement disponibles dans la littérature.

Cette étude montre que les caractéristiques biométriques et physiologiques des gymnastes espoirs évalués (taille, poids, masse grasse et VO_2 max) sont similaires à celles des gymnastes de l'élite mondiale en activité ces dernières années. La permanence de ces caractéristiques suggère qu'il s'agit de l'un des prérequis importants pour faire partie de l'élite en gymnastique et que, suivant ce critère, ils ont été convenablement sélectionnés. Les performances accomplies aux tests anaérobies, concernant les bras et les jambes, indiquent que les gymnastes se situent parmi les athlètes les plus puissants. On note de grandes disparités entre les individus concernant les rapports bras / jambe, qu'il s'agisse des aptitudes aérobies ou anaérobies. Il conviendrait de vérifier s'il existe des relations entre ces caractéristiques individuelles et les réalisations gymniques ou, plus précisément, la réussite à un agrès particulier.

S'agissant des séances d'entraînement, il apparaît d'abord que lors d'une rotation complète aux différents agrès, l'agrès avec lequel débute la séance revêt une grande importance. Ainsi, le saut de cheval se présente comme un agrès nettement moins contraignant, contrairement aux exercices au sol. Par ailleurs, la fréquence cardiaque ne semble pas être un indice approprié pour étudier et comparer les séances de gymnastique dès que les exercices deviennent difficiles, dans la mesure où elle approche très rapidement de son maximum et ne devient discriminative que pour des séances très faciles. De même, un indice de perception de la difficulté, le "rate of perceived exertion" de Borg, ne permet pas de différencier les séances étudiées. En revanche, la lactatémie permet de distinguer les trois séances les unes des autres et, de plus, semble en rapport avec la durée et l'intensité des exercices. Une "réserve" anaérobie s'avère donc indispensable aux gymnastes, surtout en considération de l'évolution du règlement que la gymnastique connaît aujourd'hui.

Enfin, de tous les indices étudiés (indices proposés par Montpetit et Gajdos) seuls paraissent pertinents, pour la gymnastique, les indices de Gajdos, en particulier l'indice " $Po / t + Po / N$ ", (où Po correspond au nombre d'éléments effectués corrigés par leur coefficient de difficulté, t au temps en minutes de l'entraînement et N au nombre de passages pour réaliser les éléments). En effet, cet indice permet d'établir une distinction entre les trois séances étudiées, en accord avec les informations délivrées par les indices biologiques. Cependant, pour une valeur identique de l'indice, la combinaison du nombre d'éléments et passages peut être extrêmement différente. Aussi il conviendrait de préciser ce rapport pour un niveau d'entraînement donné et un objectif visé.