Impact physiologique du port d'une charge lourde lors d'un effort soutenu : l'affaire est-elle dans le sac ?

L. Wilhelm[a, b], P. Fabries[a], L. Boudin[a, b], R. Dubourg[c], F. Zagnoli[a, d], F. Canini[a, e], E. Sagui[a, f]

a École du Val-de-Grâce, 1 place Alphonse Laveran – 75230 Paris Cedex 05.
b Hôpital d'instruction des armées Sainte-Anne, BP 20545 – 83800 Toulon Cedex 9.
c Antenne médicale de Castelnaudary, Quartier Capitaine Danjou – 11452 Castelnaudary.
d Hôpital d'instruction des armées Clermont-Tonnerre, Rue colonel Fontferrier – 29200 Brest.
e Institut de recherche biomédicale des armées, BP 73 – 91223 Bretigny-sur-Orge Cedex.
f Hôpital d'instruction des armées Alphonse Laveran BP 60149 – 13384 Marseille Cedex 13.

Résumé

Introduction : des exercices calibrés de haute intensité associés au port d'une charge sont répétés et servent d'évaluation chez les militaires. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'influence du port d'une charge lourde sur la réponse physiologique de l'organisme lors d'un effort soutenu. Matériels et méthodes : dans cette étude prospective, les sujets effectuaient leur première marche course de 8 km avec ou sans sac de 11 kg. Les taux salivaires de cortisol, d'α-amylase salivaire, la fréquence cardiaque, l'anxiété et l'estime de soi ont été évaluées avant et/ou pendant et/ou après l'effort. Résultats : quatre-vingt-un sujets ont été inclus sur 4 sessions : 1 session sans sac et 3 sessions avec sac. Le taux d'α-amylase augmentait avec l'effort mais de façon plus marquée dans le groupe avec sac (p = 0,02). Dans le groupe avec sac à dos, la performance était meilleure pour un taux salivaire de cortisol et d'α-amylase bas. En analyse multivariée, seul un taux d'α-amylase bas avant l'effort était associé à une meilleure performance. Discussion : les modifications de l'α-amylase pourraient avoir deux origines : à contrainte inégale l'α-amylase serait un marqueur de contrainte physiologique ; à contrainte égale un taux d'α-amylase bas pourrait traduire une inhibition du système nerveux sympathique lié à l'entraînement.

Mots-clés : α-amylase. Charge lourde. Contrainte physiologique. Cortisol. Sommeil.

Abstract

THE PHYSIOLOGICAL IMPACT OF CARRYING HEAVY LOADS DURING SUSTAINED EFFORTS.

Introduction: high intensity exercises are repeated and used as evaluation for military personnel. The objective of this study is to assess impact of carrying heavy loads in physiological response during a sustained effort. Material and Methods: a monocentric prospective study was realized. Participants did their first 8 km walk/run with or without an 11 kg rucksack. Salivary cortisol, α-amylase rates, heart rates and anxiety were measured before starting and/or during effort and/or right after finishing the exercise. Results: eighty one subjects were included in the study, during 4 sessions: 1 session with no rucksack and 3 sessions with rucksacks. Alpha-amylase rates rose during effort. In the group with rucksacks, the performance did not depend on sleep time or anxiety, but was better for low salivary cortisol and α-amylase rates. In the multivariate analysis, only a low α-amylase rate before effort was associated with a better performance. Discussion: the α-amylase modifications could have two origins: with unequal constraints, here carrying heavy loads, the α-amylase could be a physiological constraint marker; with an equal constraint, an α-amylase low rate could betray a sympathetic nervous system inhibition due to training.

Keywords: α-amylase. Cortisol. Heavy load. Physiological constraint. Sleep.

Introduction

Durant une activité physique de haute intensité, le sportif soumet son organisme à d'importantes contraintes qui en modifient la réponse physiologique (1).

La manière dont un sujet gère son exercice en termes de durée et d'intensité, est étroitement régulée, et chaque sportif adapte son rythme à la performance assignée (2). Au-delà d'un certain niveau, l'activité physique de haute intensité est vécue comme un stress qui suit la définition classique décrite par Selye : une phase d'alarme suivie d'une phase de résistance et enfin, d'une phase de récupération ou d'épuisement selon la durée et l'intensité de l'exercice (3, 4).

Les répercussions biologiques de l'exercice dépendent des contraintes mécaniques et du stress induit par cet exercice. L'α-amylase et le cortisol salivaire sont des marqueurs de stress (5, 6) qui s'élèvent durant un exercice physique via, respectivement l'augmentation de l'activité sympathique (7) et l'activation de l'axe hypothalamo-hypophyso-cortcosurrénalien (8). L'exercice augmente la concentration de l'α-amylase et du cortisol salivaire d'autant plus qu'il s'agit d'un exercice d'intensité supérieure à 70 % de la VO_2 max (8, 9).

Les déploiements militaires internationaux imposent des exigences physiologiques considérables pour nos

L. WILHELM, interne des hôpitaux des armées. P. FABRIES, médecin des armées, CMIA Dakar. L. BOUDIN, interne des hôpitaux des armées. R. DUBOURG, médecin en chef. F. ZAGNOLI, médecin chef des services, praticien professeur agrégé du Val-de-Grâce. F. CANINI, médecin en chef, praticien professeur agrégé du Val-de-Grâce. E. SAGUI, médecin en chef, praticien professeur agrégé du Val-de-Grâce.
Correspondance : Madame l'interne des hôpitaux des armées L. WILHELM, Hôpital d'instruction des armées Sainte-Anne, BP 20545 – 83800 Toulon Cedex 9.
E-mail : lauriane_06@hotmail.com

soldats. Des entraînements et des évaluations sportives permettent à la fois de maintenir leur condition physique et de les rendre opérationnels. Les personnels militaires doivent être capables de supporter une charge lourde tout en maintenant leur performance. Ainsi des exercices calibrés de haute intensité, comme une course de 8 km avec un sac à dos de 11 kg à parcourir en moins d'une heure (8 km correspondant à la distance nécessaire pour s'extraire d'une zone dangereuse, et une heure étant la durée maximale acceptable pour s'extraire après une action) sont répétés et servent d'évaluation chez les militaires, pour les maintenir dans les meilleures conditions physiques (10). Dans de telles conditions, bien que la puissance et l'endurance musculaire soient maintenues, le port d'une charge lourde accentue les traumatismes musculo-squelettiques et altère ainsi la capacité physique des soldats, en augmentant le risque de blessure (11). Il semble donc intéressant d'évaluer si le port d'une charge lourde lors de l'exercice accentue réellement le stress engendré par cet exercice, et apporte ainsi une plus-value dans l'entraînement opérationnel des militaires, l'impact du port d'une charge n'ayant jamais été étudié dans un exercice de haute intensité.

Quel est donc l'impact du port d'une charge lourde lors d'un exercice intense sur les variables biologiques du stress ?

Matériels et méthodes

Description de l'étude

Il s'agit d'une étude monocentrique prospective qui s'est déroulée sur quatre sessions de 72 heures au sein du quatrième Régiment Étranger situé à Castelnaudary (Aude). Les sujets inclus de sexe masculin, effectuaient pour la première fois une course à pied de huit kilomètres en tenue militaire avec ou sans sac à dos sur terrain plat. Ils étaient vêtus d'un treillis, de chaussures type rangers, et équipés d'un sac à dos de onze kilomètres selon les sessions (fig. 1). L'entraînement a été mesuré par le questionnaire simplifié d'activité sportive du service de santé (IM362/DEF/DCSSA/AST/AS du 10 février 1997) relative à la catégorisation médico-physiologique en vue de l'entraînement physique militaire et sportif (12).



Figure 1. Sujet équipé.

Critères d'exclusion/consentement

Les patients ayant déjà réalisé cette épreuve, suivant un traitement médicamenteux, ou ayant une pathologie intercurrente, ont été exclus. Les sujets volontaires ont signé un consentement. Cette étude a fait l'objet d'une autorisation du Comité de protection des personnes Ouest VI sous le numéro 2011-A01660-41.

Déroulement de l'étude

Les informations ont été recueillies à plusieurs moments de l'étude (fig. 2).

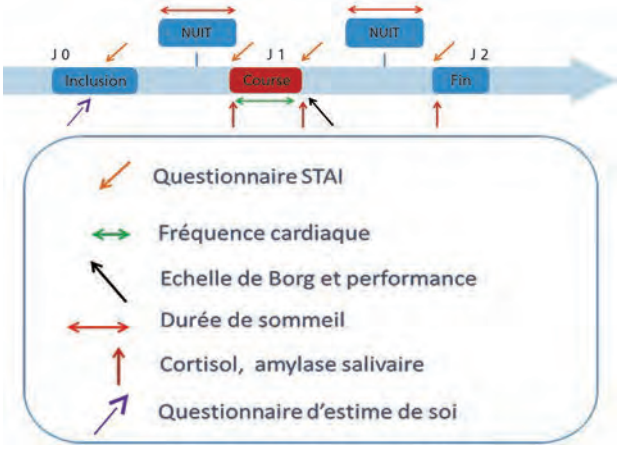


Figure 2. Déroulement de l'étude.

Variables mesurées

Conditions environnementales

Les conditions environnementales ont été relevées au départ et à l'arrivée de l'exercice (température et humidité ambiante).

Données biométriques

La fréquence cardiaque a été enregistrée durant l'épreuve à l'aide d'un cardiofréquence-mètre de terrain (fig. 3) (Camntech Acti-heart©, Oxford, Royaume Uni). Elle a été échantillonnée à 128 Hz c'est-à-dire mesurée 128 fois par seconde. Afin de comparer la fréquence cardiaque entre les sujets pendant l'effort, une standardisation a été réalisée selon la méthode décrite par Vincent (13). Pour chaque sujet, l'ensemble des fréquences cardiaques mesurées ont été réparties en 40 parties égales, la première partie correspondant au premier 1/40 du temps de course réalisé par le sujet, etc. Afin de prendre en compte la corrélation des données intra-individuelles liées aux mesures répétées de la fréquence cardiaque, un modèle mixte a été construit en utilisant la commande « xtreg » sous STATA 9.0, la composante aléatoire du modèle étant le sujet.

Sur la ligne d'arrivée, la performance a été relevée et la pénibilité a été mesurée par l'échelle de Borg en dix points (14) (fig. 4).

La température tympanique a été mesurée au départ et à l'arrivée de l'exercice (thermomètre électronique

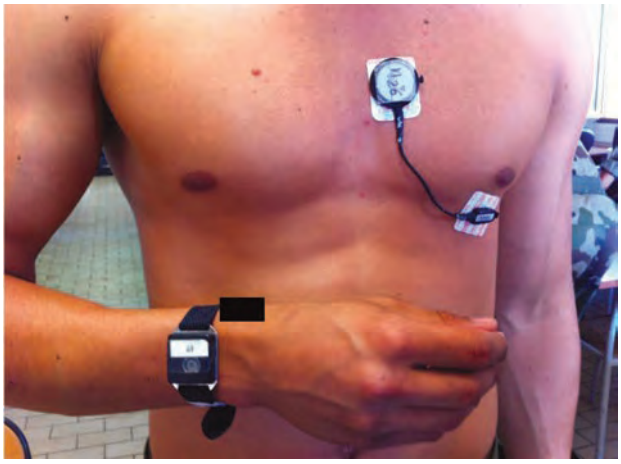


Figure 3. Sujet équipé du cardio fréquence mètre de terrain.

(Génius li, COVEDIEN©)). En raison de contraintes techniques, une grande partie des résultats ont été erronés et ne seront pas présentés.

Questionnaires d'anxiété et d'estime de soi

L'anxiété a été mesurée par le questionnaire d'anxiété de Spielberger (STAI) (15) qui comprend deux parties : une partie « trait » remplie lors de la visite d'inclusion et une partie « état », remplie à quatre reprises : la veille, avant, après et le lendemain de l'exercice. Un niveau supérieur ou égal à 47 est considéré comme un haut niveau d'anxiété pour le STAI trait et 41 pour le STAI état (16) (annexe 1).

L'estime de soi a été mesurée par le questionnaire de Rosenberg (17). Ce questionnaire comprend dix questions, chacune pouvant être cotées de 1 à 4. La somme totale est la somme des dix questions et varie de 10 à 40. Un score supérieur ou égal 34 correspond à une estime de soi de forte à très forte (annexe 2).

Sommeil

La durée du sommeil a été mesurée par actimétrie de tronc et auto-questionnaire.

Données biologiques

Les prélèvements salivaires de cortisol et d'α-amylase ont été réalisés avant le départ, à l'arrivée (fig. 5) et le lendemain de l'épreuve avec des salivettes (salivettes, Sarstedt, Rommelsdorf, Germany).

La salive a été congelée immédiatement après le recueil en attente de dosage à l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA) (antenne La Tronche). Les taux de cortisol et d'α-amylase ont été analysés dans un second temps grâce aux kits Cortisol salivaire (Salimetrics®, State College, PA, USA), Kit A-amylase pour Roche Hitachi (Cobas®, Roche-diagnostic, Suisse).

Analyse statistique

Toutes les données ont été recueillies sous Excel 2010 (Microsoft®, Redmond, WA, USA), et analysées sous Stata 11 (College Station, Texas 77845 USA) et SAS 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Dans un premier temps, les variables ont été étudiées une à une, et la normalité des variables quantitatives a été recherchée par le test de Shapiro-Wilk qui ne devait pas être significatif. Le cas échéant une transformation logarithmique a été réalisée afin de normaliser une variable de distribution non gaussienne. Si la normalisation était impossible, la variable a été laissée telle quelle. Dans un deuxième temps, les variables ont été comparées deux à deux. La comparaison de deux variables qualitatives a été réalisée



Figure 4. Présentation du questionnaire de Borg sur la ligne d'arrivée.



Figure 5. Recueil de salive sur la ligne d'arrivée.

par le test de Chi, ou le test de Fisher si les conditions d'application du test de Chi² n'étaient pas réunies. La comparaison d'une variable quantitative de distribution normale à une variable qualitative a été faite par le test t de Student, ou une analyse de variance si le nombre de classes de la variable qualitative était supérieur à deux. La comparaison d'une variable quantitative de distribution non normale à une variable qualitative a été faite par le test de Mann Whitney Wilcoxon, ou de Kruskal-Wallis si le nombre de classes de la variable qualitative était supérieur à deux. Dans un troisième temps une analyse multivariée a été réalisée par régression linéaire. Le risque d'erreur de première espèce a été fixé à 0,05.

Résultats

De juin 2012 à mars 2013, 81 sujets ont été inclus. L'âge moyen était de 23,7±3,9 années. Comme le montre le tableau I, la température, l'humidité ambiante et l'heure du début d'épreuve étaient différentes selon les sessions. L'âge et l'indice de masse corporelle (IMC) n'étaient pas significativement différents entre les sessions. Le poids moyen était de 72±7,8 kg. Le niveau d'entraînement était identique selon les quatre sessions. Les sujets sans sac ont couru plus rapidement que les sujets avec sac (45'3''±4'40'' minutes *versus* 38'±3' minutes) (p < 0,001). Malgré des données manquantes sur l'entraînement des sujets de la session 2, à niveau d'entraînement et pénibilité (mesuré par l'échelle de Borg) identiques, dans le groupe avec sac à dos les sujets de la session 1 ont été moins performants que ceux des autres sessions.

Tableau I. Caractéristiques des sessions.

	Sac de 11 kg			
	Oui			Non
	Session 1	Session 2	Session 3	Session 4
Date	Juin 2012	Juillet 2012	Mars 2013	Octobre 2012
Température	19 °C	13 °C	5 °C	12 °C
Humidité relative	83 %	83 %	93 %	79 %
Heure de départ	6h35	6h30	8h00	8h00
Nombre de sujets	21	20	20	20
Âge	23,9±3,7	23,1±3,6	25,3±4	22,5±3,9
IMC	23,5±2	23,2±1,3	23,4±1,9	23,5±1,6

Anxiété et estime de soi

Le niveau de stress STAI trait entre les quatre groupes était le même (tab. II). Deux sujets avaient un niveau d'anxiété trait à 47, les deux provenant de la session 1.

Il existait un effet session sur le niveau d'anxiété état avant et après la course avec un plus haut niveau d'anxiété dans la session 1 par rapport aux autres groupes. Dans les groupes 2, 3 et 4, le niveau d'anxiété état avant et après la course n'était pas significativement différent. Un niveau d'anxiété état supérieur ou égal à 41, qui reste modéré, était atteint pour cinq personnes avant la course, dont trois dans le groupe 1 et aucun dans le groupe sans sac. Le lendemain de la course la mesure de l'anxiété état était basse, un seul sujet dans la session 4 avait un score ≥ 41.

Soixante-deux pourcents des sujets avaient une estime de soi forte à très forte selon l'échelle de Rosenberg indépendamment des sessions. Dans le groupe avec sac à dos, les sujets avec une haute estime d'eux-mêmes selon Rosenberg étaient les moins stressés avant la course (31 [26-36] *versus* 25 [22-30], p = 0,02) et après la course (28 [23-33,5] *versus* 23 [21-28], p = 0,007). Cette différence persistait sur le niveau d'anxiété STAI trait (p = 0,027).

Fréquence cardiaque

La fréquence cardiaque n'était pas significativement différente entre les groupes (p = 0,13). La fréquence cardiaque à l'effort se décomposait en trois parties

Tableau II. Anxiété et performance (Légende : STAI : state trait anxiety inventory, # Kruskall-Wallis test).

	Sac de 11 kg					
	Oui			Non	p	
	Session 1	Session 2	Session 3	Session 4	Session 1 à 3	Session 1-3 vs 4
Entraînement	16,0±0,6	pas de données	16,2±0,3	16,1±0,5	0,66	0,58
Performance	49±4	43±4	44±5	38±3	0,0003	
Échelle Borg	5 [2-7]	4,5 [3-7]	5 [3-7]	5 [3-7]	0,96#	0,99#
STAI trait	33±7	33±5	30±7	28,5±5	0,31	0,07
STAI état						
Jour avant	27 [24-31]	29 [26,5-35,5]	26,5 [20,35]	22,5 [20,5-28]	0,27#	0,01#
Avant la course	31,5 [27-38]	28,5 [24,5-31]	22,5 [20,5-32,5]	22,5 [20,5-25]	0,01#	
Après la course	29 [28-32]	24 [21,5-27]	23 [21-25]	25 [21-27]	<0,001#	
Lendemain	27 [24-31]	25 [25-27]	22 [20-29]	23 [22-27]	0,03#	

(fig. 6) : il existait une ascension de la fréquence cardiaque jusqu'à la cinquième minute puis une stabilisation en plateau et une accélération finale dans les trois dernières minutes.

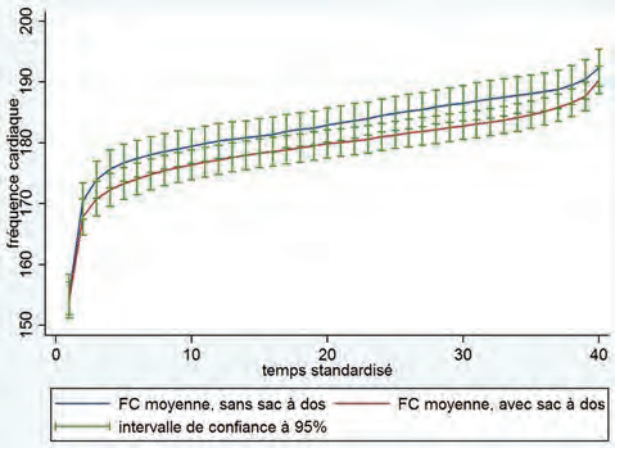


Figure 6. Évolution de la fréquence cardiaque pendant l'effort.

Sommeil

La durée de sommeil était statistiquement différente dans les quatre groupes, le groupe 1 étant celui qui avait le moins dormi avant l'effort, le groupe 2 après l'effort. Ceux qui ont le mieux dormi sont le groupe 4 avant effort et le groupe 3 après effort (tab. III).

Alpha-amylase

Le taux d'α-amylase était le même entre les quatre groupes avant l'effort quelle que soit la durée de sommeil (tab. IV). L'α-amylase était moins importante après et le lendemain de l'effort dans le groupe sans sac, avec un retour à l'état de base. Les sujets avec les taux d'α-amylase les plus élevés avant l'effort avaient la moins bonne performance (p = 0,025). Les sujets les moins anxieux (STAI trait) ont des taux d'α-amylase les plus bas avant l'effort (p = 0,045). L'α-amylase était indépendante de l'estime de soi.

Cortisol

Il existait un effet session pour les taux de cortisol dans le groupe avec sac à dos (tab. V). Les groupes 1 et 2 avaient des niveaux de cortisol salivaire plus élevés avant et après la course. Le niveau de cortisol, avant la course, n'était pas lié à l'estime de soi. Les sujets du groupe avec sac qui dormaient plus de six heures avaient le taux de cortisol le plus bas (0,453 [0,324-0,533] µg/dL vs 0,734 [0,539-1,041] µg/dL, p = 0,03). Cette différence persistait après prise en compte de l'anxiété trait ou état en analyse multivariée (p = 0,0003 et p = 0,0006). Dans le groupe avec sac, les niveaux de cortisol et d'α-amylase n'étaient pas corrélés avant la course. En revanche, ces deux variables étaient corrélées après la course (p = 0,01, r = 0,34). L'anxiété trait n'est pas corrélée aux taux de cortisol avant la course (p = 0,71).

Performance

La performance n'était pas liée au niveau d'estime de soi et au niveau d'anxiété STAI trait chez les sujets avec sac à dos (respectivement p = 0,58 et p = 0,73). Dans le groupe avec sac à dos, les sujets de la session 1 ont couru plus lentement que les deux autres sessions alors que le niveau d'entraînement, le niveau d'anxiété trait et la pénibilité étaient identiques entre les trois groupes.

Dans le groupe avec sac à dos, la meilleure performance était associée à un niveau de cortisol et d'α-amylase salivaire bas avant la course (p = 0,03 et p = 0,02 respectivement), et ne dépendait ni de la durée de sommeil avant la course (p = 0,16) ni du niveau d'anxiété trait ou état (p = 0,72 et p = 0,66). En analyse multivariée, la meilleure performance était seulement associée à un niveau d'α-amylase bas avant la course (p = 0,01).

Tableau III. Étude de la durée de sommeil (Légende : # Kruskall-Wallis test).

	Sac de 11 kg					
	Oui			Non	p	
	Session 1	Session 2	Session 3	Session 4	Session 1 à 3	Session 1-3 vs 4
Nuit avant effort						
Durée de sommeil (min)	4h52 [4h29-5h02]	5h43 [5h28-5h59]	6h43 [6h21-6h52]	7h26 [7h15-7h34]	<0,0001#	
Heure de coucher	22h44 [22h28-22h55]	22h32 [22h13-22h51]	22h48 [22h41-23h12]	22h29 [22h21-22h39]	0,05#	0,02
Heure de réveil	3h45	4h22	5h32	6h00		
Nuit après l'effort						
Durée de sommeil (min)	6h29 [6h18-6h43]	6h14 [5h33- 6h17]	7h16 [7h06-7h20]	6h27 [5h39-7h14]	<0,0001	
Heure de coucher	22h26 [22h12-22h36]	23h14 [23h11-23h18]	22h19 [22h14-22h22]	23h32 [22h46-0h07]	<0,0001	
Heure de réveil	5h04	5h31	5h31	6h02		

Tableau IV. A-amylase salivaire (Légende :# Kruskall-Wallis test).

	Sac de 11 kg					
	Oui			Non	p	
	Session 1	Session 2	Session 3	Session 4	Session 1 à 3	Session 1-3 vs 4
A-amylase salivaire (IU/l)						
Avant la course	68,007 [41,715-152,857]	57,861 [40,949-72,419]	92,989 [53,844-117,347]	70,654 [42,169-113,702]	0.16#	0.31#
Après la course	867,350 [400,713-1,419,690]	921,855 [463,893-2,130,170]	804,595 [489,295-1,220,400]	592,824 [345,624-837,530]	0.98#	0.02#
Lendemain	102,088 [62,008-156,816]		144,254 [125,000-164,480]	69,041 [26,685-102,638]	0.35#	0.01#

Tableau V. Cortisol salivaire (Légende : # Kruskall-Wallis test).

	Sac de 11 kg					
	Oui			Non	p	
	Session 1	Session 2	Session 3	Session 4	Session 1 à 3	Session 1-3 vs 4
Cortisol salivaire (µg/dl)						
Avant la course	0,723 [0,591-0,916]	0,739 [0,479-1,097]	0,353 [0,319-0,499]	0,399 [0,312-0,471]	0,0004	
Après la course	1,443 [1,024-1,701]	1,305 [1,076-1,651]	0,730 [0,547-1,008]	0,763 [0,547-0,936]	0,0013	
Lendemain	0,220 [0,183-0,255]	0,415 [0,361-0,480]	0,162 [0,115-0,243]	0,432 [0,347-0,502]	<0,0001#	

Discussion

Le port d'une charge lourde à l'effort était associé à une augmentation de l'α-amylase mais non du cortisol salivaire après et le lendemain de l'effort, traduisant une activité sympathique accrue et persistante. Bien que constituant tous les deux des marqueurs du système nerveux autonome leur activation à l'effort semblait dépendre de facteurs différents.

Toutefois, il existait deux biais majeurs dans cette étude. Le premier concernait la méthodologie de l'étude avec la répartition des sessions. En effet, le groupe sans sac à dos représentait à lui seul une session. Il aurait fallu prendre dans chaque session des sujets qui couraient avec sac à dos ou sans sac. Sur le plan logistique, il était impossible de faire autrement. En effet les sujets étant militaires, l'épreuve sportive leur était imposée dans le cadre de la formation pour laquelle ils s'étaient engagés. Loin d'une étude expérimentale, notre étude collait au plus près de la réalité. Le deuxième biais concernait l'effet session : dans le groupe avec sac à dos il existait un effet session sur les durées de sommeil, donc sur les taux de cortisol.

Alpha-amylase

La libération de l'α-amylase est régie par l'activation du système nerveux autonome (7). La mesure de l'α-amylase salivaire serait un indicateur non invasif de stress psychologique (18). Chatterton, et al. ont montré que les sujets se préparant pour un saut en parachute avaient un taux d'α-amylase plus élevé que ceux du groupe contrôle qui n'avait pas sauté avec une augmentation de l'α-amylase par rapport aux valeurs de base (19). Dans notre étude, les sujets étant en formation militaire constante, ils étaient soumis à un stress quotidien et par conséquent le taux d'α-amylase de base n'a pas pu être obtenu. La différence entre l'α-amylase de base et celle mesurée juste avant un effort peut être expliquée par un phénomène d'anticipation (20). Dans notre étude, la différence de performance chez les sujets du groupe avec sac n'était pas expliquée par l'anticipation de l'activation sympathique puisque l'α-amylase était identique dans tous les groupes avant l'effort. Dans notre étude l'α-amylase et le STAI trait et état dans les trois dernières sessions étaient identiques avant effort suggérant l'absence de lien entre anxiété et α-amylase.

Dans notre étude l'α-amylase salivaire a été augmentée après l'effort dans les deux groupes mais avec une absence de retour à la normale le lendemain de l'effort dans le groupe avec sac à dos. L'effort physique à des intensités supérieures à 70 % de VO_2max augmente l'α-amylase salivaire reflétant l'activité sympathique (9). L'α-amylase se normalise 3 heures après l'effort (21, 22). Le port d'une charge lourde activerait le système nerveux sympathique au-delà de

24 heures. Cette activation sympathique persistante peut être expliquée par le port de charge lourde et non par l'anxiété état le lendemain de l'effort. Aucun des sujets, à part un seul dans le groupe sans sac, n'avait un score pathologique.

Le port d'une charge lourde à l'effort entraîne un ajustement de la vitesse de course. La fréquence cardiaque entre les groupes n'était pas différente tout au long de l'effort indiquant que ce paramètre était moins sensible que l'α-amylase pour mesurer la contrainte induite par le port d'une charge lourde.

Les lactates augmentant avec l'intensité de l'exercice (23), ils n'ont pas été pris comme marqueur de l'intensité de l'exercice car ils sont originaires de la glycolyse et leur taux est corrélé à l'α-amylase salivaire (24).

Cortisol

Dans notre étude, nous avons mesuré le cortisol salivaire, plus simple à mettre en place, qui est un reflet des niveaux de cortisol plasmatique (25, 26).

Il existe une augmentation du cortisol pour des exercices de longue durée et de haute intensité, supérieur à 70 % VO_2max (27), ce que nous avons observé dans notre étude.

Le cortisol augmente avec le stress psychologique (19) mais nous n'avons pas montré de relation entre stress et anxiété pour les mêmes raisons que celles évoquées pour l'α-amylase. Ces résultats ont été confirmés dans notre étude en particulier pour la session 1 qui avait les taux de cortisol les plus hauts et les performances les moins bonnes. Pourtant, les sujets avaient les mêmes caractéristiques ; cet effet session pourrait être expliqué à la fois par les différences de commandement de l'encadrement militaire qui ont influencé plusieurs paramètres dont la durée de sommeil et l'anxiété état des individus.

La sécrétion de cortisol obéit à un cycle nycthéméral, sous l'influence de l'horloge circadienne avec un pic dans les 30 minutes suivant le réveil (28). La privation de sommeil atténue le rythme circadien du cortisol avec une augmentation du cortisol dans la journée (29). Nos données sont en accord avec ces résultats : les sujets de la session 3 avec sac et la session 4 sans sac avaient des durées de sommeil supérieures à 6 h et des taux de cortisol plus bas que les autres sessions. Il semblerait donc que la différence entre les sessions soit davantage attribuable à la durée de sommeil qu'au port d'une charge lourde.

Minetto, et al. ont montré que les taux de cortisol étaient différents en fonction du niveau d'entraînement des sujets (30). Or, l'entraînement étant le même pour tous les groupes, la différence sur le cortisol avant l'effort n'était pas liée à l'entraînement physique mais à la durée de sommeil.

Comme cela a été rapporté par Filaire, et al. (31), les sujets du groupe avec sac à dos les plus rapide avaient les taux du cortisol les plus bas avant et après la course. Toutefois, l'étude de Filaire ne prend pas en compte la durée de sommeil avant l'épreuve sportive. Dans notre étude, la performance était liée au niveau de cortisol avant l'effort, mais ce dernier dépendait de la durée de sommeil la nuit avant l'effort. Toutefois, la relation cortisol, durée de sommeil et performance disparaissait en analyse multivariée, la performance n'étant expliquée que par le taux d'α-amylase salivaire avant l'effort. Une des hypothèses proposées serait l'inhibition de l'activité sympathique par l'entraînement physique, un taux d'α-amylase bas avant l'effort indiquant un bon niveau d'entraînement. Pour valider cette hypothèse, il faudrait d'abord attribuer aléatoirement le port du sac au sein de chaque session puis mesurer précisément la capacité physique de chaque individu par la consommation maximale d'oxygène par minute (VO_2max) afin de la corréler à l'α-amylase salivaire.

Conclusion

Le cortisol et l'α-amylase salivaire sont deux marqueurs activés par le système nerveux autonome et augmentent lors d'un stress et/ou d'un effort. Toutefois les modifications de l'α-amylase ont deux origines : à contrainte inégale, ici le port d'une charge lourde, l'α-amylase est un marqueur de contrainte physiologique ; à contrainte égale un taux d'α-amylase bas pourrait traduire une inhibition du système nerveux sympathique lié à l'entraînement.

Les auteurs ne déclarent pas de conflit d'intérêt concernant les données présentées dans cet article.

Annexe 1. Questionnaire d'auto-évaluation de Spielberger.

Consignes du questionnaire 1 : un certain nombre de phrases que l'on utilise pour se décrire sont données ci-dessous. Lisez chaque phrase, puis cochez, parmi les quatre possibilités, celle qui correspond le mieux à ce que vous ressentez. **À L'INSTANT, JUSTE EN CE MOMENT.** Répondez aussi franchement et spontanément que possible. Il n'y a pas réponses « justes » ou « fausses », « bonnes » ou « mauvaises ». Ne passez pas trop de temps sur l'une ou l'autre de ces propositions et indiquez la réponse qui décrit le mieux vos sentiments actuels.

Consignes du questionnaire 2 : un certain nombre de phrases que l'on utilise pour se décrire sont données ci-dessous. Lisez chaque phrase, puis cochez, parmi les quatre possibilités, celle qui correspond le mieux à ce que vous ressentez **GÉNÉRALEMENT**. Répondez aussi franchement et spontanément que possible. Il n'y a pas réponses « justes » ou « fausses », « bonnes » ou « mauvaises ». Ne passez pas trop de temps sur l'une ou l'autre de ces propositions et indiquez la réponse qui décrit le mieux vos sentiments **HABITUELS.**

Questionnaire 1 et 2

	Non	Plutôt non	Plutôt oui	Oui
1. Je me sens calme				
2. Je me sens en sécurité, sans inquiétude, en sûreté				
3. Je suis tendu(e), crispé(e)				
4. Je me sens surmené(e)				
5. Je me sens tranquille, bien dans ma peau				
6. Je me sens ému(e), bouleversé(e), contrarié(e)				
7. L'idée de malheurs éventuels me tracasse en ce moment				
8. Je me sens content(e)				
9. Je me sens effrayé(e)				
10. Je me sens à mon aise (je me sens bien)				
11. Je sens que j'ai confiance en moi				
12. Je me sens nerveux (nerveuse), irritable				
13. J'ai la frousse, la trouille (j'ai peur)				
14. Je me sens indécis(e)				
15. Je suis décontracté(e), détendu(e)				
16. Je suis satisfait(e)				
17. Je suis inquiet, soucieux (inquiète, soucieuse)				
18. Je ne sais plus où j'en suis, je me sens déconcerté(e), dérouté(e)				
19. Je me sens solide, posé(e), pondéré(e), réfléchi(e)				
20. Je me sens de bonne humeur, aimable				
21. Je me sens nerveux (nerveuse), agité(e)				
22. Je me sens content(e) de moi				
23. Je voudrais être aussi heureux (heureuse) que les autres				
24. J'ai un sentiment d'échec				
25. Je me sens reposé(e)				
26. J'ai tout mon sang-froid				
27. J'ai l'impression que les difficultés s'accumulent à un tel point que je ne peux plus les surmonter				
28. Je m'inquiète à propos de choses sans importance				
29. Je me sens heureux (heureuse)				
30. J'ai des pensées qui me perturbent				
31. Je manque de confiance en moi				
32. Je me sens sans inquiétude, en sécurité, en sûreté				
33. Je prends facilement des décisions				
34. Je me sens incompétent(e), pas à la hauteur				
35. Je suis satisfait(e)				
36. Des idées sans importance trottent dans ma tête, me dérangent				
37. Je prends les décisions tellement à cœur que je les oublie difficilement				
38. Je suis une personne posée, solide, stable				
39. Je deviens tendu(e) et agité(e) quand je réfléchis à mes soucis				

Annexe 2. Questionnaire d'auto-évaluation de l'estime de soi.

QUESTIONNAIRE Date : ..... / ..... / .....

Prénom : ..... Age : ..... ans Femme O / Homme O

CONSIGNES – *Dans ce questionnaire, vous trouverez 10 phrases qui expriment des sentiments, des opinions ou des réactions. Lisez attentivement chacune de ces phrases. Pour chacune des caractéristiques ou descriptions suivantes,* ***indiquez à quel point chacune est vraie*** *pour vous* ***en encerclant le chiffre approprié****:* ***Tout à fait en désaccord (1), Plutôt en désaccord (2), Plutôt en accord (3), Tout à fait en accord (4).*** *Efforcez-vous de répondre à toutes les phrases. Sachez qu'aucune réponse n'est juste, elle doit avant tout personnelle.*

	Tout à fait en désaccord	Plutôt en désaccord	Plutôt en accord	Tout à fait en accord
1. Je pense que je suis une personne de valeur, au moins égal(e) à n'importe qui d'autre----------	-1-	-2-	--3--	---4---
2. Je pense que je possède un certain nombre de belles qualités----------	-1-	-2-	--3--	---4---
3. Tout bien considéré, je suis porté(e) à me considérer comme un(e) raté(e)----------	-1-	-2-	--3--	---4---
4. Je suis capable de faire les choses aussi bien que la majorité des gens----------	-1-	-2-	--3--	---4---
5. Je sens peu de raisons d'être fier(e) de moi----------	-1-	-2-	--3--	---4---
6. J'ai une attitude positive vis-à-vis de moi-même----------	-1-	-2-	--3--	---4---
7. Dans l'ensemble, je suis satisfait(e) de moi----------	-1-	-2-	--3--	---4---
8. J'aimerais avoir plus de respect pour moi-même----------	-1-	-2-	--3--	---4---
9. Parfois je me sens vraiment inutile----------	-1-	-2-	--3--	---4---
10. Il m'arrive de penser que je suis un(e) bon(ne) à rien--------	-1-	-2-	--3--	---4---

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Noakes T. Lore of running. Champaign, IL, USA : Oxforf University Press ; 2002.
2. Canini F, Sagui E, Zagnoli F. Système nerveux, stress et coup de chaleur. Médecine et Armées 2012 ; 40 (3) : 225-9.
3. Selye H. The evolution of the stress concept. American Scientist 1973 ; 61 (6) : 692-9.
4. Selye H. Stress and the general adaptation syndrome. British Medical Journal 1950 (june 17) : 1383-92.
5. Dantzer R, Kalin N. Salivary biomarkers of stress : cortisol and alpha-α-amylase. Psychoneuroendocrinology 2009 ; 34 (1) : 1.
6. Papacosta E, Nassis GP. Saliva as a tool for monitoring steroid, peptide and immune markers in sport and exercise science. J Sci Med Sport 2011 ; 14 (5) : 424-34.
7. Nater UM, Rohleder N. Salivary alpha-α-amylase as a non-invasive biomarker for the sympathetic nervous system : current state of research. Psychoneuroendocrinology 2009 ; 34 (4) : 486-96.
8. De Vries WR, Bernards NTM, de Rooij MH, Koppeschaar HPF. Dynamic exercise discloses different time-related responses in stress hormones. Psychosomatic Medicine 2000 ; 62 : 866-72.
9. Koibuchi E, Suzuki Y. Exercise upregulates salivary α-amylase in humans (Review). Exp Ther Med 2014 ; 7 (4) : 773-7.
10. Entraînement Physique Militaire et Sportif. In : 7-1-1 PiP, editor. : État-Major des Armées ; 2011:290.
11. Nindl BC, Castellani JW, Warr BJ, Sharp MA, Henning PC, Spiering BA, et al. Physiological Employment Standards III : physiological challenges and consequences encountered during international military deployments. Eur J Appl Physiol 2013 ; 113 (11) : 2655-72.
12. Melin B, Brion R, Picard J, Pibarot A, Bigard AX, Guezennec CY, et al. Aptitude physique. Évaluation par questionnaire. Médecine et Armées 1998 ; 26 (3) : 207-11.
13. Ratcliff R. Group reaction time distributions and an analysis of distribution statistics. Psychol Bull 1979 ; 86 (3) : 446-61.
14. Borg GA. Perceived exertion. Exerc Sport Sci Rev 1974 ; 2 : 131-53.
15. Spielberger C. Manual for the State-Trait-Anxiety Inventory : STAI (form Y). Palo Alto, CA : Consulting Psychologists Press ; 1983.
16. Bruchon-Schweitzer M, Paulhan I. Inventaire d'anxiété état-trait forme Y (STAI-Y) : Adaptation française ; 1993.
17. Rosenberg M. Conceiving the self. New York ; 1979.
18. Takai N, Yamaguchi M, Aragaki T, Eto K, Uchihashi K, Nishikawa Y. Effect of psychological stress on the salivary cortisol and α-amylase levels in healthy young adults. Archives of Oral Biology 2004 ; 49 : 963-8.
19. Chatterton RT, Jr., Vogelsong KM, Lu YC, Hudgens GA. Hormonal responses to psychological stress in men preparing for skydiving. J Clin Endocrinol Metab 1997 ; 82 (8) : 2503-9.
20. Piacentini MF, Minganti C, Ferragina A, Ammendolia A, Capranica L, Cibelli G. Stress related changes during a half marathon in master endurance athletes. J Sports Med Phys Fitness 2014.
21. Diaz MM, Bocanegra OL, Teixeira RR, Soares SS, Espindola FS. Salivary nitric oxide and alpha-α-amylase as indexes of training intensity and load. Int J Sports Med 2013 ; 34 (1) : 8-13.
22. McKune AJ, Bach CW, Semple SJ, Dyer BJ. Salivary cortisol and alpha-α-amylase responses to repeated bouts of downhill running. Am J Hum Biol 2014 ; 26 (6) : 850-5.
23. Stegmann H, Kindermann W, Schnabel A. Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. Int J Sports Med 1981 ; 2 (3) : 160-5.
24. de Oliveira VN, Bessa A, Lamounier RP, de Santana MG, de Mello MT, Espindola FS. Changes in the salivary biomarkers induced by an effort test. Int J Sports Med 2010 ; 31 (6) : 377-81.
25. Tunn S, Mollmann H, Barth J, Derendorf H, Krieg M. Simultaneous measurement of cortisol in serum and saliva after different forms of cortisol administration. Clin Chem 1992 ; 38 (8 Pt 1) : 1491-4.
26. Cadore E, Lhullier F, Brentano M, Silva E, Ambrosini M, Spinelli R, et al. Correlations between serum and salivary hormonal concentrations in response to resistance exercise. J Sports Sci 2008 ; 26 (10) : 1067-72.
27. Jacks DE, Sowash J, Anning J, McGloughlin T, Andres F. Effect of exercise at three exercise intensities on salivary cortisol. J Strength Cond Res 2002 ; 16 (2) : 286-9.
28. Hucklebridge F, Clow A, Evans P. The relationship between salivary secretory immunoglobulin A and cortisol : neuroendocrine response to awakening and the diurnal cycle. Int J Psychophysiol 1998 ; 31 (1) : 69-76.
29. Minkel J, Moreta M, Muto J, Htaik O, Jones C, Basner M, et al. Sleep deprivation potentiates HPA axis stress reactivity in healthy adults. Health Psychol 2014 ; 33 (11) : 1430-4.
30. Minetto MA, Lanfranco F, Baldi M, Termine A, Kuipers H, Ghigo E, et al. Corticotroph axis sensitivity after exercise : comparison between elite athletes and sedentary subjects. J Endocrinol Invest 2007 ; 30 (3) : 215-23.
31. Filaire E, Alix D, Ferrand C, Verger M. Psychophysiological stress in tennis players during the first single match of a tournament. Psychoneuroendocrinology 2009 ; 34 (1) : 150-7.