Article original

Profils de température corporelle au cours d'un exercice physique intense chez des militaires ayant présenté un coup de chaleur d'exercice

S. BEIGHAU[(1)], A. JOUVION[(2)], D. CORNET[(3)], R.-C. BERTHELOT[(4)], F. BELOT DE SAINT-LÉGER[(5)], E. SAGUI[(6)]

(1) Hôpital d'Instruction des Armées Laveran, Marseille / École du Val-de-Grâce, Paris
(2) Hôpital d'Instruction des Armées Laveran, Marseille
(3) Hôpital d'Instruction des Armées Laveran, Marseille
(4) Groupement de Soutien de la Base de Défense Marseille-Aubagne
(5) Hôpital d'Instruction des Armées Laveran, Marseille / École du Val-de-Grâce, Paris
(6) Hôpital d'Instruction des Armées Laveran, Marseille / École du Val-de-Grâce, Paris / Université Aix Marseille, CNRS, Marseille

Auteur correspondant : sophie.beighau@hotmail.fr

Open access DOI
10.17184/eac.7802

Reçu
le 1er février 2016

Accepté
le 15 mai 2023

Publié
le 5 juin 2023

Conflit d'intérêt
Les auteurs ne déclarent pas de conflit d'intérêt.

Résumé :

Le Coup de Chaleur d'Exercice (CCE) est défini par la survenue de signes d'encéphalopathie variés, en contexte hyperthermique supérieur à 40 °C, au cours ou au décours d'un exercice physique intense et prolongé.
Sa physiopathologie, imparfaitement comprise, aboutit à une ascension incontrôlée de la température corporelle (T_{co}).
Chez le sujet ayant présenté un CCE, une défaillance des mécanismes de contrôle de la T_{co} pourrait être en cause, soit par augmentation incontrôlée de la production de chaleur, soit par défaut de dissipation. Toutefois, l'évolution de la T_{co} à l'effort n'a jamais été étudiée chez ces sujets.
L'objectif de notre étude est de décrire l'évolution de la T_{co} au cours d'un effort intense et prolongé, chez des sujets ayant un antécédent de CCE.
Quarante sujets (38 hommes âgés de $28{,}4 \pm 4{,}9$ ans avec un indice de masse corporelle à $24{,}9 \pm 2{,}4\,kg/m^2$) ayant déjà présenté un CCE ont effectué une marche-course de huit kilomètres en tenue de combat. Un monitorage continu de la T_{co} et de la fréquence cardiaque (FC) était réalisé respectivement par une capsule thermique ingérée et un cardiofréquencemètre. La consommation maximale en oxygène (VO_2max) était mesurée la veille de la course. La performance moyenne était de $44{,}6 \pm 6{,}6$ minutes, sous les conditions environnemen-

tales suivantes : température ambiante 17,1 ± 4 °C et hygrométrie 71,1 ± 13,9 %. Aucun trouble neurologique n'avait été observé. Le pourcentage moyen du temps de course où la FC mesurée de chaque sujet était inférieure à la FC du premier seuil ventilatoire était de 0,75 % [minimum-maximum : 0–2 %]. La T_{co} maximale était de 39,9 ± 0,5 °C.
Trois profils ont été identifiés :
(1) une montée en température lente, inférieure à 39 °C à la 20e minute de course, sans phase de plateau ; (2) une montée en température rapide, supérieure ou égale à 39 °C à la 20e minute, suivie d'un plateau ; (3) une montée en température rapide, supérieure à 39 °C à la 20e minute, sans phase de plateau, atteignant des valeurs de T_{co} supérieures à 40 °C.
Les sujets ayant un antécédent de CCE présentent différents profils de T_{co} à l'exercice maximal. Une montée rapide de la T_{co} sans plateau (profil 3) pourrait représenter un modèle de thermolyse altérée et un facteur prédictif de récidive de CCE. Cependant, un suivi longitudinal est nécessaire pour affirmer cette hypothèse. Une T_{co} supérieure ou égale à 40,1 °C en fin de course serait un outil fiable et accessible sur le terrain pour dépister ces sujets à risque.

Mots-clés : Coup de chaleur d'exercice. Index de contrainte physiologique. Température corporelle. Thermorégulation. Médecine d'armée.

Abstract:

THERMOKINETIC DURING EFFORT
IN SOLDIERS HAVING SUFFERED FROM EXERTIONAL HEAT STROKE

Exertional heat stroke (EHS) is defined as the onset of various signs of encephalopathy, in hyperthermic context above 40° C, during or just after intense and prolonged exercise. Its pathophysiology, imperfectly understood, leads to the uncontrolled increase in the core body temperature (T_{co}). Among subjects who suffered from EHS, a dysfunction of T_{co} control mechanisms could be involved, either through an uncontrolled increase in the production of heat, or through lack of dissipation. However, evolution of T_{co} during exercise has never been studied in these subjects. The aim of our study is to describe the evolution of T_{co} increase during intense and prolonged effort, among military subjects with an history of EHS. Forty subjects (38 males, age 28.4 ± 4.9 years, body mass index 24.9 ± 2.4kg/m^2) with an history of EHS performed an eight kilometers run in full combat gear. Continuous monitoring of T_{co} and heart rate (HR) was carried out using respectively an ingestible temperature sensor and a heart rate monitor. The maximum oxygen uptake (VO_2max) was measured the day before the run.
The average performance was 44.6 ± 6.6 minutes, achieved

under the following climatic conditions: ambient temperature $17.1 \pm 4.0°$ C, hygrometry $71.1 \pm 13.9\%$. No neurological disorder was observed. The average percentage of race time during which measured HR of each subject was inferior to first ventilatory threshold HR was 0.75% [minimum-maximum: 0–2%]. The maximum T_{co} was $39.9 \pm 0.5°$ C. Three profiles were identified: (1) slow T_{co} increase, less than 39° C after 20 minutes of running, with no plateau; (2) rapid T_{co} increase, higher than or equal to 39° C after 20 minutes, followed by a plateau; and (3) rapid T_{co} increase, higher than 39 °C after 20 minutes, with no plateau and reaching T_{co} values higher than 40° C. Subjects with an history of EHS exhibit different T_{co} profiles during a maximum exercise. A rapid T_{co} increase with no plateau (profile 3) could represent an altered thermolysis model and be a risk factor for EHS recurrence. However, longitudinal studies are needed to certify this hypothesis. A T_{co} higher than or equal to 40.1° C at the end of the race would be a reliable and accessible tool to identify on field these risk subjects.

Keywords: Core body temperature. Physiological strain index. Exertional heat stroke. Thermoregulation. Military medicine.

Introduction

Le Coup de Chaleur d'Exercice (CCE) est défini par des troubles neurologiques variés allant de la confusion au coma, dans un contexte hyperthermique supérieur à 40 °C, survenant au cours ou au décours immédiat d'un exercice physique intense et prolongé (1). Il s'agit d'une pathologie grave et fréquente en milieu militaire dont les activités opérationnelles s'inscrivent souvent dans un environnement climatique contraignant. Le médecin militaire, dans sa dimension de médecin du travail, doit faire face à la problématique de la récidive du CCE et de l'expertise militaire par l'évaluation de l'aptitude à la reprise opérationnelle des soldats : il est important qu'il puisse identifier, parmi les militaires ayant fait un CCE, ceux qui sont les plus susceptibles d'en faire un deuxième, afin de les soustraire à leurs contraintes opérationnelles. La plupart des lignes directrices concernant le retour des athlètes à la compétition ou la reprise du service pour les militaires sont des recommandations « de bon sens », telles que le caractère asymptomatique du sujet, la normalisation des paramètres biologiques et une réintroduction progressive et prudente des activités physiques (2).

Dans l'Armée israélienne, tous les militaires qui ont présenté un CCE doivent réaliser, pour statuer sur leur aptitude, un test de tolérance à la chaleur (*Heat Tolerance Test,* HTT), également recommandé par l'*American College of Sports Medicine* (3). Ce test est une marche sur un tapis roulant, à faible vélocité (5 km/h), pendant 120 minutes, sous des conditions environnementales difficiles fixées en chambre climatique, à 40 °C

de température ambiante et 40 % d'hygrométrie (4). Au cours de ce test HTT, un index représentant la contrainte physiologique à l'effort, le PSI (*Physiological Strain Index*), inventé par Moran, est calculé comme suit (5) :

$$\text{PSI brut} = 5\,(T_{cot} - T_{co0}).\,(39{,}5 - T_{co0})^{-1} + 5\,(FC_t - FC_0).\,(180 - FC_0)^{-1}$$

Il est composite entre la fréquence cardiaque (FC) et la température corporelle (T_{co}), avec des seuils maximaux fixés respectivement à 180 battements par minute (bpm) et 39,5 °C. Moran *et al.* ont montré que, parmi les sujets ayant un antécédent de CCE, cet indice PSI était significativement supérieur chez les sujets intolérants à la chaleur (6). Autrement dit, les Israéliens ont à leur portée un indice permettant d'identifier, parmi les sujets qui ont un antécédent de CCE, les sujets à plus haut risque de récidive.

Dans l'Armée française, ce test HTT n'est pas applicable puisque la plupart des CCE de nos soldats a lieu, non pas en ambiance chaude et sèche, mais dans des conditions climatiques plus douces, et non pas sur un effort long d'intensité modérée, mais au cours d'exercices courts et intenses (7). Ainsi, un nouveau protocole d'expertise est proposé en conditions réelles, au cours duquel un PSI modifié est calculé avec des seuils maximaux de T_{co} et FC plus élevés, puisque l'effort demandé est supérieur à celui de l'HTT.

L'hypothèse de notre étude est basée sur un raisonnement analogique : de la même façon que, dans le test HTT, le PSI est un marqueur qui permet d'identifier les sujets à haut risque de récidive, nous supposons que la T_{co} permettrait, elle aussi, de définir des profils de sujets à haut risque en conditions réelles sur le terrain.

En effet, d'un point de vue thermophysiologique, le CCE est l'aboutissement d'une ascension incontrôlée de la température corporelle (8). Tout exercice physique s'accompagne d'une hyperthermie par production de chaleur métabolique, proportionnelle à l'intensité de l'exercice (9). Chez le sujet sain, les mécanismes thermophysiologiques de compensation à l'effort ont fait l'objet de plusieurs études. Davies *et al.*, par exemple, ont décrit qu'au cours d'un effort calibré de 60 minutes, la T_{co} suivait une augmentation au cours des 30 premières minutes puis une phase de plateau (10). Noakes *et al.*, ont montré que la T_{co} maximale atteinte lors d'un marathon était de 40,5 °C (11). Chez le sujet ayant présenté un CCE, une défaillance des mécanismes de contrôle de la T_{co} pourrait être en cause, soit par augmentation incontrôlée de la production de chaleur, soit par défaut de dissipation. Toutefois, l'évolution de la T_{co} à l'effort n'a jamais été étudiée chez les sujets ayant présenté un CCE.

L'objectif de notre étude est donc, d'une part, d'évaluer si le PSI est un indice d'évaluation du risque de récidive applicable à notre protocole en conditions réelles, d'autre part de décrire l'évolution de la T_{co} lors d'un effort maximal chez des sujets ayant un antécédent de CCE.

1 Matériels et méthodes

Le protocole a fait l'objet d'une autorisation du Comité de Protection des Personnes « Marseille-Méditerranée II » sous la référence : 2013-A01627-38.

Cette étude descriptive monocentrique, menée de juin 2014 à décembre 2015, a permis d'inclure 40 sujets sur 14 sessions.

1.1 Population cible

Les participants ont été recrutés dans les unités de l'Armée française et adressés par les médecins militaires au service de neurologie de l'Hôpital d'Instruction des Armées (HIA) Laveran à Marseille, centre national de référence pour l'expertise du CCE dans les armées. Des militaires volontaires de 18 à 40 ans ayant présenté un CCE – et jugés médicalement aptes à réaliser une épreuve de mesure de la consommation maximale en oxygène (VO_2max) ainsi qu'une course à pied de huit kilomètres – étaient inclus dans notre étude. Les critères de non-inclusion tenaient compte des contre-indications à l'ingestion d'une capsule thermique : pathologies digestives, port de dispositif électronique implantable ou examen radiologique programmé avant l'élimination de la capsule. Les patients présentant un indice de masse corporelle (IMC) supérieur ou égal à $30\,kg/m^2$ n'étaient pas inclus car ce seuil définit l'obésité selon l'Organisation Mondiale de la Santé (12) et l'exposition d'un sujet obèse à un effort maximal pouvait être associé à un sur-risque inacceptable.

1.2 Organisation de l'étude

Chaque session se déroulait sur trois jours (figure 1).



Fig. 1 : Déroulement d'une session

HIA : Hôpital d'Instruction des Armées
AP-HM : Assistance Publique-Hôpitaux de Marseille – PSI : Physiological Strain Index

Le premier jour permettait l'accueil des participants à l'HIA Laveran, l'information du protocole et le recueil du consentement. Les données anamnestiques et cliniques relevées figurent en annexe. Parmi elles, le niveau de sport allégué était évalué par le questionnaire d'activité sportive du service de santé des armées. Les biométries recueillies étaient le poids, la taille et la mesure des quatre plis cutanés par le compas d'Harpenden, permettant de calculer les masses grasse et maigre selon Durnin et Womersley (13). Pour évaluer le profil psychologique, l'anxiété était déterminée par l'auto-questionnaire *Spielberger State-Trait Anxiety Inventory* (STAI) (14), comprenant deux modalités : l'anxiété-Etat (STAI-E), correspondant à l'anxiété à un moment donné et l'anxiété-Trait (STAI-T), correspondant à l'anxiété comme trait de caractère. Dans l'Armée française, les seuils pathologiques étaient définis à 41 pour le STAI-E et 47 pour le STAI-T (15).

Le deuxième jour, la VO_2max était mesurée *via* un protocole incrémental, sur ergocycle (Lode Excalibur, Lode BV, Groningen, Pays-Bas), dans le service de médecine du sport de l'Hôpital Salvator (Assistance Publique-Hôpitaux de Marseille). Après un échauffement de 40 W pendant quatre minutes, la charge de travail était augmentée de 10 W toutes les 30 secondes jusqu'à épuisement du sujet. Cette épreuve avait pour objectif d'évaluer le niveau d'entraînement des sujets. Une capsule thermique à usage unique était ensuite ingérée dans la soirée (CoreTemp HQ Inc., Palmetto, Florida, USA) (figure 2) pour un monitorage continu, fiable et reproductible de la T_{co} pendant la course (16). Ce système a démontré une excellente corrélation avec la température centrale.



Fig. 2 : Capsule thermique ingérée

Le troisième jour, les sujets réalisaient une marche-course contrôle, sur une même piste de huit kilomètres du camp de Carpiagne (Bouches-du-Rhône), dans la même tenue de combat. Les conditions environnementales (température et hygrométrie ambiantes) devaient définir un index Humidex (17) inférieur ou égal à 31 après correction, comme indiqué en annexe 4. La FC était enregistrée par un cardiofréquencemètre (T31 Polar transmitter, Polar Electro, Kempele, Finlande).

Afin d'éviter une sous-maximalité de l'épreuve, les sujets avaient pour consigne de courir aussi vite que possible, sans se mettre en danger, et la marche-course, dont le temps de performance était transmis à la hiérarchie, était qualifiante d'un point de vue de l'évaluation militaire.

1.3 Mesure de la contrainte physiologique

La T_{co} et la FC, enregistrées toutes les 20 secondes, ont permis de calculer un PSI modifié en changeant les seuils maximaux de T_{co} et FC attendus en fin de course, fixés respectivement à 41,5 °C et 220 bpm, en accord avec les données maximales à l'effort de la littérature (18,19).

$$\text{PSI modifié} = 5\,(T_{cot} - T_{co0}).\,(41{,}5 - T_{co0})^{-1} + 5\,(FC_t - FC_0).\,(220 - FC_0)^{-1}$$

1.4 Analyse statistique

Toutes les données ont été recueillies sous Excel 2011, version 14.4.0 (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 échant 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. Les variables continues de distribution normale ont été présentées par la moyenne ± écart-type. Les variables non gaussiennes ont été présentées par la médiane et l'intervalle interquartile 25 – 75 %.

Dans un deuxième temps, les variables ont été comparées deux à deux. La comparaison de deux variables qualitatives a été réalisée par le test de Chi-carré (χ^2) ou le test de Fisher si les conditions d'application du test de Chi-carré 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.

Enfin, une courbe *Receiver Operating Characteristic* dite ROC a été utilisée afin d'évaluer la performance de la T_{co} et du PSI modifié maximal comme outil prédictif de dépistage en pratique des sujets supposés à haut risque de récidive de CCE.

Le risque d'erreur de première espèce a été fixé à 0,05.

2 Résultats

2.1 Démographie et antécédent de CCE

Parmi les 40 sujets (38 hommes, âgés de 28,4 ± 4,9 ans), 70 % étaient des militaires de l'armée de Terre et 72,5 % des militaires du rang.

Vingt-cinq pour cent des CCE qu'avaient présentés les sujets étaient survenus en opérations extérieures et majoritairement, au cours ou décours d'une marche-course (41 %). Les facteurs précipitants, prodromes et symptômes à la phase d'état sont décrits dans le tableau 1.

Lors de leur prise en charge sur le terrain, la T_{co} initiale était de 40,3 ± 0,9 °C, la pression artérielle systolique de 108 ± 23 mmHg, la diastolique de 67 ± 15 mmHg et la FC de 150 ± 29 bpm.

Tab. 1 : Description des CCE.

	Nombre de cas (%)
Facteurs précipitants	
Privation de sommeil (<5h)	12 (31,6 %)
Jeûne	12 (30 %)
Médicaments	7 (17,9 %)
Alcoolisation la veille du CCE	4 (10 %)
Gastro-entérite aigüe ou infection ORL	3 (7,7 %)
Substance stimulante	3 (7,5 %)
Compléments hyperprotéinés	2 (5 %)
Prodromes	29 (76,3 %)
Perte de connaissance, coma	30 (75 %)
Amnésie/ « trou noir »	26 (66,7 %)
Marche titubante	21 (65,6 %)
Sudations abondantes	20 (57,1 %)
Soif intense	19 (50 %)
Asthénie intense	17 (47,2 %)
Altération du champ visuel	13 (41,9 %)
Tête vide	9 (25 %)
Agressivité, irritabilité	5 (13,9 %)
Absence de sudation	4 (11,4 %)
Céphalées	4 (11,1 %)
Nausées	3 (8,1 %)
Vomissement	2 (5,4 %)
Symptômes à la phase d'état	
Perte de connaissance, coma	30 (76,9%)
Confusion, obnubilation	27 (75%)
Agressivité, irritabilité	16 (43,2%)
Vomissement	15 (41,7)
Convulsion	4 (10,5%)

2.2 Niveau de sport, allégué et mesuré

La distance habituelle au test de Cooper rapportée par les sujets était de 3 019 $\pm$ 292 mètres et le temps habituel à la marche-course de 39,7 $\pm$ 4,2 minutes.
Les sujets disaient avoir fait du sport plusieurs fois par semaine au cours des cinq dernières années dans 92,5 % des cas et avoir pratiqué en moyenne entre quatre à six heures de sport hebdomadaires au cours des douze derniers mois. La VO_2max mesurée sur ergocycle le deuxième jour de l'exploration était de 43,9 $\pm$ 7,5 ml.kg.min^{-1}.

2.3 Biométrie et évaluation psychologique

L'IMC moyen était de 24,9 $\pm$ 2,4 kg/m^2. Dix-sept sujets avaient un IMC supérieur à 25 kg/m^2. La masse grasse était de 15,4 $\pm$ 5 kg soit 19,7 $\pm$ 5,2 % de la masse corporelle.

Le STAI-E et STAI-T étaient respectivement à 32,5 $\pm$ 11,6 et à 36 $\pm$ 8,5. Onze sujets étaient définis comme anxieux sur la STAI-E, *versus* cinq sujets sur la STAI-T.

2.4 Marche-course d'évaluation

Les conditions environnementales étaient les suivantes : température ambiante de $17{,}1 \pm 4\,°C$ et hygrométrie de $71{,}1 \pm 13{,}9\,\%$. L'index Humidex était à un niveau de risque faible à chaque session. La performance moyenne était de $44{,}6 \pm 6{,}6$ minutes. Aucun trouble neurologique n'avait été observé.

2.4.1 Évolution de la T_{co} pendant la marche-course contrôle

La T_{co} maximale était de $39{,}9 \pm 0{,}5\,°C$ et excédait $40\,°C$ dans $37{,}5\,\%$ des cas.
Trois profils différents de thermorégulation ont été identifiés (figure 3) : le profil 1, en vert ($n = 16$, $42\,\%$), défini par une montée en température lente, inférieure à $39\,°C$ à la 20e minute de course, sans phase de plateau. L'ascension thermique entre la 20e et la 30e minute restait inférieure à $0{,}5\,°C$. La T_{co} maximale était de $39{,}6 \pm 0{,}4\,°C$ et n'excédait pas $40{,}1\,°C$. Le profil 2, en bleu ($n = 13$, $34\,\%$), était défini par une montée en température rapide, supérieure ou égale à $39\,°C$ à la 20e minute, suivie d'un plateau. L'ascension thermique entre la 20e et la 30e minute de course était inférieure à $0{,}5\,°C$. La T_{co} maximale était de $39{,}8 \pm 0{,}3\,°C$ et n'excédait pas $40{,}4\,°C$. Les valeurs maximales de T_{co}, observées en fin de course, n'étaient pas significativement différentes des valeurs du profil 1. Le profil 3, en rouge ($n = 9$, $24\,\%$), était défini par une montée en température rapide, supérieure à $39\,°C$ à la 20e minute, sans phase de plateau. L'ascension thermique entre la 20e et la 30e minute de course était supérieure ou égale à $0{,}5\,°C$. La T_{co} maximale était de $40{,}6 \pm 0{,}4\,°C$ avec un sujet atteignant $41{,}1\,°C$, sans aucun trouble neurologique. Les valeurs maximales de T_{co} du profil 3, observées en fin de course, étaient significativement supérieures aux valeurs des profils 1 et 2 ($p < 0{,}0001$).

Pour deux sujets des données étaient manquantes, du fait de problèmes d'enregistrement.

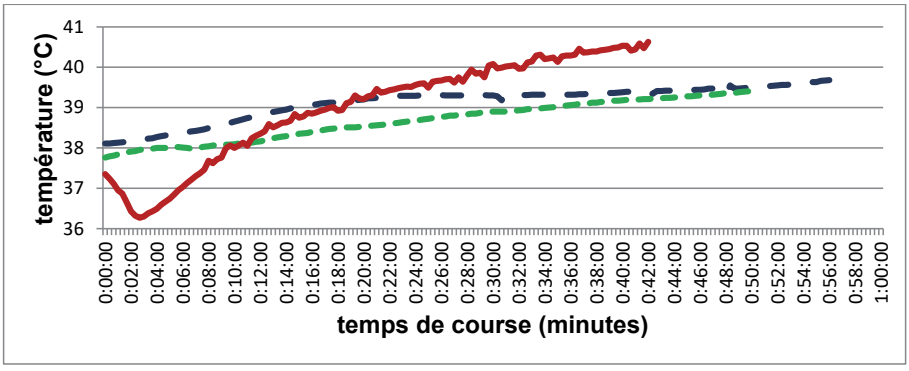


FIG. 3 : Profils de montée en température au cours d'une marche-course chez trois sujets représentatifs

2.4.2 Corrélats physiologiques des différents profils

La température ambiante et l'hygrométrie n'étaient pas différentes parmi les trois profils de thermolyse ($p = 0{,}38$ et $p = 0{,}96$ respectivement) et n'étaient pas associées à la T_{co} maximale ($p = 0{,}13$).

Quel que soit le profil de thermorégulation, les sujets ne présentaient pas de différence significative en terme de masse grasse ($p = 0{,}53$), IMC ($p = 0{,}72$), VO_2max ($p = 0{,}25$), performance à l'effort ($p = 0{,}63$), intensité de l'effort ($p = 0{,}91$) et délai entre leur CCE et l'exploration dans le service ($p = 0{,}77$). Il n'y avait aucun lien statistique entre la T_{co} maximale et la masse grasse ($p = 0{,}12$), l'IMC ($p = 0{,}63$), la VO_2max ($p = 0{,}67$), la performance ($p = 0{,}70$), l'intensité de l'effort ($p = 0{,}17$) et le délai entre CCE et exploration ($p = 0{,}21$). L'anxiété-trait et l'anxiété-état n'étaient pas associées à la performance ($p = 0{,}07$ pour l'anxiété-trait ou état), aux profils thermiques ($p = 0{,}88$; $p = 0{,}60$ et $p = 0{,}76$ respectivement) ou à la T_{co} maximale ($p = 0{,}96$; $p = 0{,}74$ et $p = 0{,}14$ respectivement).

2.4.3 Index de contrainte physiologique

Les PSI maximaux brut et modifié étaient respectivement à $11{,}7 \pm 1{,}7$ et $7{,}3 \pm 0{,}7$. Les figures 4 et 5 montrent l'évolution de la T_{co} et de la FC mesurée au cours de la marche-course chez un même sujet. La figure 6 représente l'évolution de son PSI combiné au cours du même effort.

Le PSI modifié maximal était statistiquement corrélé à la T_{co} maximale ($p < 0{,}001$), à la FC maximale ($p = 0{,}001$) et aux profils thermiques ($p < 0{,}02$) : le profil 3 avait un PSI maximal combiné significativement supérieur ($7{,}8 \pm 0{,}7$) aux PSI des profils 1 et 2 (respectivement $7{,}1 \pm 0{,}7$ et $7{,}1 \pm 0{,}4$). Le PSI modifié maximal n'était corrélé ni à la température ambiante ($p = 0{,}75$), ni à l'hygrométrie ($p = 0{,}11$), ni à l'anxiété-trait ou état ($p = 0{,}47$ et $p = 0{,}55$ respectivement).

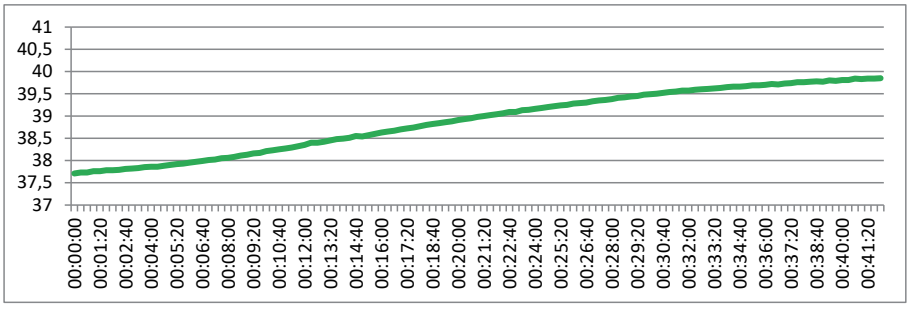


Fig. 4 : Évolution de la température corporelle

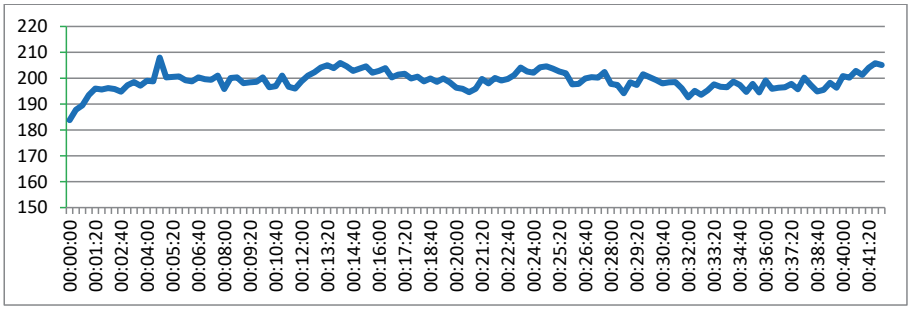


Fig. 5 : Évolution de la fréquence cardiaque

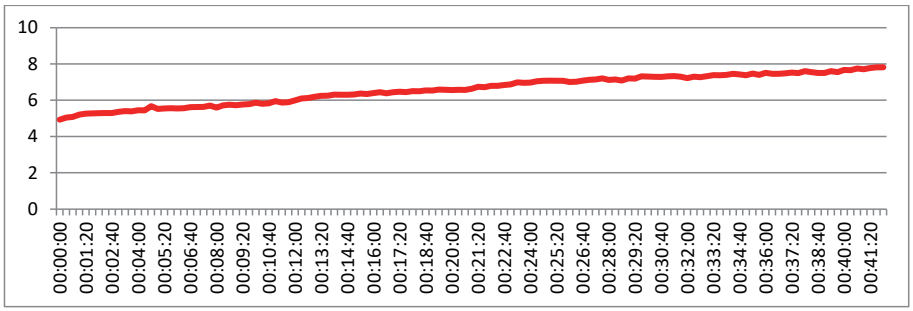


FIG. 6 : Évolution du PSI modifié

2.5 Profil 3 : ses applications en pratique

Le profil 3 se caractérisant, à la fin de la course, par une T_{co} maximale et un PSI modifié maximal plus élevés que ceux observés chez les profils 1 et 2, il est légitime de se poser la question d'un seuil discriminant de T_{co} ou de PSI en fin de course, permettant de classer les sujets dans le profil 3, pour une meilleure utilisation pratique de ces données.

La figure 7 représente les courbes ROC de la T_{co} et du PSI afin d'évaluer la performance de ces deux paramètres comme outils prédictifs d'appartenance au profil 3. Le PSI n'est pas un test discriminant pour déterminer le profil 3. Concernant la T_{co} maximale en fin de course, un seuil de 40,1 °C permet de classer les sujets dans le profil 3 avec une sensibilité de 93 % (intervalle de confiance à 95 % : 78–98 %) et une spécificité de 89 % (57–98 %).

3 Discussion

3.1 Premiers résultats

3.1.1 Les profils de thermorégulation

Cette étude a montré l'existence de différents modèles de montée en température lors d'un effort standardisé et d'intensité maximale, chez des sujets ayant déjà présenté un CCE. Le profil 3 – présent dans 24 % des cas et défini par une T_{co} supérieure à 39 °C après 20 minutes de course et un gain thermique de 0,5 °C les dix minutes suivantes – pourrait constituer une cinétique de montée en température non régulée au cours de l'effort.

La mesure de la T_{co} en fin de course serait un outil de dépistage des sujets à risque appartenant au profil 3, fiable et accessible sur le terrain, à partir du seuil de 40,1 °C, avec une sensibilité de 93 % (intervalle de confiance à 95 % : 78–98 %) et une spécificité de 89 % (57–98 %).

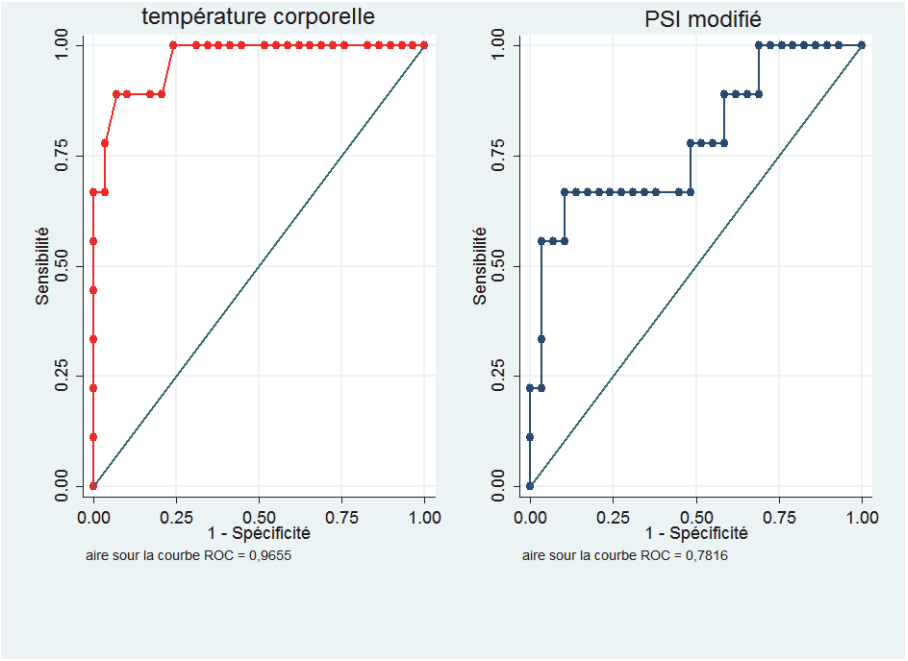


Fig. 7 : Courbes ROC de la température corporelle et du PSI

3.1.2 Rôle des facteurs de risques

Aucun des paramètres susceptibles d'être des facteurs de risques extrinsèques de survenue d'un CCE (biométrie, niveau d'entraînement, température ambiante et hygrométrie) n'était statistiquement significatif quel que soit le profil et la T_{co} maximale. Ce qui renforce l'hypothèse d'une atteinte constitutionnelle et intrinsèque des individus.

3.1.3 Évaluation du PSI et des profils thermiques

Les données du PSI brut maximal, dont l'utilisation est destinée au seul cadre d'un protocole expérimental à dépense énergétique modérée, se situaient hors des seuils habituels dans le contexte de notre exercice. Notre étude en a démontré le caractère non discriminant et non applicable en dehors de son domaine habituel d'utilisation, lors d'un exercice d'intensité maximale.

Le PSI modifié maximal était corrélé à la T_{co} et la FC maximales ainsi qu'aux profils thermiques, ce qui était attendu en raison de la co-linéarité de ces variables.
Bien que le PSI modifié maximal ait été plus élevé chez les sujets du profil 3, il ne représente pas un outil prédictif pertinent de ce profil thermique en pratique.
Le PSI serait, par conséquent, un index de mesure de la contrainte thermique à l'effort, limité à un exercice en conditions contrôlées. Les différents profils de température et la T_{co} maximale mesurée en fin de course seraient, eux, des outils pertinents en conditions réelles.

3.2 Évaluation en condition écologique

3.2.1 Excellent outil d'évaluation avant la reprise opérationnelle

À ce jour, notre protocole d'exploration des CCE est le seul à étudier l'effort en conditions réelles ; il représente ainsi un meilleur outil d'évaluation de l'aptitude avant la reprise opérationnelle, avec une validité externe excellente, puisqu'au sein de l'Armée française, de 2004 à 2006, 82 % des CCE ont eu lieu en France métropolitaine au cours d'un exercice intense, effectué en conditions climatiques douces (température ambiante de 22 °C [17–25 °C] et hygrométrie de 80 % [67–85 %] (7).

3.2.2 Mesures de sécurité associées et identification précoce des sujets à risque

Cette étude a démontré la faisabilité et la sécurité du remplacement de l'épreuve de contrôle où le temps minimal ne devait pas être inférieur à 50 minutes par une marche course réalisée en conditions réelles sans limite inférieure de temps (20). Pour cela, cette épreuve en conditions réelles a été encadrée par plusieurs mesures de sécurité ayant permis une mise en situation la plus réaliste possible : ces mesures sont le contrôle permanent pendant l'épreuve de la T_{co} et de la FC et la médicalisation de l'épreuve. Le contrôle de la T_{co} tout au long de l'effort, *via* la capsule thermique, permet d'identifier les profils de type 3 avant même la fin de la course, et ce, de façon valide et particulièrement adapté aux conditions de terrain, selon Byrne *et al.* (16) ; le contrôle de la FC permet, quant à lui, de déterminer la contrainte cardio-vasculaire liée à l'intensité de l'exercice et aux conditions environnementales.
Les sujets identifiés comme étant « à risque » sont ensuite surveillés pendant la course avec possibilité d'arrêt de l'épreuve. Ainsi, une épreuve de contrôle a pu être remplacée par une épreuve réaliste où l'effort était maximal, ce qui constitue un facteur de renforcement positif pour le sujet (« j'ai pu me remettre en situation à risque sans danger »).

3.2.3 Écueil des paramètres non contrôlés

Tous les paramètres suivants ont pu constituer des biais sur les différents profils.

La variabilité des conditions environnementales est un facteur de confusion possible, bien qu'elle soit minime (température ambiante $17{,}1 \pm 4$ °C, hygrométrie $71{,}1 \pm 13{,}9$ %) et bien que tous les types de profils aient été observés au sein de chaque session.
De la même façon, la masse grasse était un paramètre non contrôlé. Cramer *et al.* ont ainsi montré que les variations de T_{co} lors d'un effort de pédalage de 60 minutes en chambre climatique étaient identiques quelle que soit la température ambiante (25 °C *versus* 35 °C) et la masse corporelle (groupe lourd : $91{,}5 \pm 6{,}8$ kg *versus* groupe léger : $67{,}6 \pm 5{,}6$ kg) (21). Une étude en chambre climatique aurait toutefois permis de contrôler les paramètres environnementaux.

De la même façon, la vitesse de course était non contrôlée. La variabilité de la vitesse, mise en jeu par la cognition du sujet aux commandes de son exercice, a pour but d'adapter l'intensité de son effort aux signaux d'alerte en cas de T_{co} critique. Elle fait donc partie intégrante de la thermorégulation. Mais son étude en conditions non contrôlées n'est pertinente qu'à deux conditions : l'épreuve doit être menée de façon intense et l'étude concomitante de la cognition doit être réalisée, afin de corréler

ces observations. Ce dernier point fait défaut à notre étude. En effet, devant des variations importantes de la vitesse, il est essentiel de distinguer le sujet qui ralentit, voire marque un arrêt parce qu'il est à épuisement, et le sujet qui ralentit ou marque un arrêt pour un autre motif (psychologique, etc.). Si la preuve de l'intensité était toujours respectée, cela signifierait que la variation de vitesse a été mise en jeu comme moyen cognitif de contrôle d'une augmentation de T_{co} ; l'évolution de la T_{co} reste alors comparable. Un exercice sur tapis roulant, définissant une vitesse de course tout au long de l'exercice, permettrait de s'affranchir de ces variations de vitesse, mais n'aurait une analyse que partielle des mécanismes de thermorégulation, indépendamment des facteurs cognitivo-comportementaux.

Par ailleurs, il n'est pas possible d'apporter la preuve de maximalité de la marche-course contrôle, même si les sujets étaient encouragés à courir aussi vite que possible.

Ensuite, l'état d'hydratation, par l'évaluation de la consommation de liquide avant ou pendant l'effort, et le calcul du pourcentage de poids corporel perdu, n'a pas été évalué. En effet, le lien entre consommation de liquide et température rectale, étudié par Wynham *et al.*, permettait d'observer que les coureurs qui consommaient des liquides pendant la compétition avaient des températures rectales plus basses en fin de course que ceux qui n'en prenaient pas, impliquant un déficit hydrique moins important (22). Au cours d'un exercice prolongé à la chaleur (course de deux heures sur tapis roulant à 75 % environ de VO_2max, avec une température effective de 24,4 °C), Gisolfi *et al.* ont démontré que l'augmentation de la température rectale était liée au pourcentage de poids corporel perdu et à l'absence de prise de liquide, quels que soient la température et le moment de la prise, avant ou au cours de l'effort. Mais dans cette étude, le premier recueil de température n'était réalisé qu'au bout de 30 minutes de course (23).

3.3 Évaluation du versant psychologique du risque de CCE

Une telle exploration *in vivo* présente l'avantage d'étudier la composante comportementale du contrôle de la T_{co} au cours d'un effort. En effet, quel que soit le profil de thermolyse intrinsèque du sujet, ce dernier reste aux commandes de son propre effort et, par son comportement, il peut mettre en jeu des systèmes de contrôle face à l'augmentation de la T_{co}. L'étude comportementale du sujet (c'est-à-dire la capacité à adapter son action aux signaux d'alerte issus des mécanismes thermophysiologiques intrinsèques) ne peut être dissociée de la compréhension globale des mécanismes de thermorégulation. Dans un but thermolytique et comme moyen de contrôle « naturel » de l'intensité de l'effort, par son comportement, le sujet peut, par exemple, diminuer sa vitesse de course, s'hydrater, se découvrir ; dans un but thermogénique et de puissance, il peut, par exemple, par sa cognition, mettre en jeu des *stimuli* motivationnels liés aux autres candidats intégrés à ses côtés dans l'épreuve. L'évolution de la T_{co} au cours d'un effort serait en cela la conjonction de facteurs physiologiques intrinsèques (où plusieurs profils de thermorégulation ont pu être identifiés) et de facteurs psycho-comportementaux, liés à la cognition. En ce sens, l'étude de la cognition et des comportements adaptatifs représente une nouvelle piste de recherche, qui devra s'appuyer nécessairement sur un exercice en conditions réelles, ces paramètres étant par définition contrôlés lors d'un effort paramétré tel que l'HTT.

Dans notre étude, les dispositions mentales n'ont pas été évaluées, en dehors de l'anxiété-trait ou état. À ce jour, les échelles évaluant les dispositions mentales n'existent pas et, si elles existaient, elles seraient soumises à une variabilité importante dans le temps. La place des facteurs cognitifs et psychologiques, pressentie par le clinicien n'a jamais formellement été explorée et aucun travail n'a esquissé une typologie psychologique particulière parmi les sujets ayant fait un CCE.

3.4 Limitations statistiques

La faible taille de l'échantillon diminue la puissance de notre étude et ne permet de tirer que des conclusions préliminaires. Elle peut être expliquée par la modification récente des normes d'aptitude et du protocole d'exploration des CCE au sein du service de santé des armées, encore méconnue des médecins militaires adressant les sujets. Dans ce contexte, une nette sous-déclaration des CCE est observée vis-vis de la Surveillance Epidémiologique des Armées (50 cas déclarés seulement en 2014, données non publiées). Par ailleurs, le nombre de sujets était limité à quatre par session, pour des raisons de surveillance, et le nombre de sessions limité dans l'année pour des raisons de conditions environnementales (de mai à juin et de septembre à novembre).

3.5 Implications pour l'avenir

Cette étude préliminaire ouvre de nombreuses pistes de réflexion pour les futures directions du travail de compréhension du CCE.

Tout d'abord, il serait pertinent de réaliser ce même exercice, maximal en conditions réelles, en population saine afin d'évaluer si les trois profils identifiés sont des modèles de thermorégulation propres aux sujets ayant présenté un CCE.

En population saine, comme parmi les sujets ayant un antécédent de CCE, nous avons expliqué l'importance d'étudier, à l'avenir, les facteurs cognitivo-comportementaux, de façon concomitante aux analyses présentes de T_{co}. La compréhension globale de ces phénomènes ne pourra se faire qu'au carrefour entre physiologie et cognition.

L'étape suivante sera de réaliser l'étude de l'évolution de la T_{co} en ambiance contrôlée pour la validation de nos résultats préliminaires, afin de s'affranchir des paramètres de confusion possible : conditions environnementales, variation de vitesse de course, hydratation.

Enfin, le profil 3, décrit dans notre étude, pouvant constituer *a priori* un groupe de patients à risque plus élevé de récidive de CCE, un suivi longitudinal des patients est nécessaire pour affirmer cette hypothèse. Il s'effectue par entretien téléphonique du sujet ou son médecin d'unité, avec une fréquence d'appels tous les six mois sur une durée de trois ans.

Conclusion

Les sujets ayant un antécédent de CCE présentent différents profils de montée en température lors d'un effort standardisé d'intensité maximale. Une ascension rapide de la T_{co}, supérieure à 39 °C après 20 minutes de course, sans phase de plateau (profil 3), pourrait constituer un modèle de thermolyse dépassée et, ainsi, un facteur de risque de récidive de CCE ; un suivi longitudinal est nécessaire pour vérifier ce résultat préliminaire. Une T_{co} mesurée à 40,1 °C en fin de course serait un outil fiable et accessible sur le terrain pour dépister ces sujets à risque.

Remerciements

Nous remercions tous les sujets d'avoir participé à notre étude, ainsi que leurs médecins d'unité pour leur implication dans notre travail.

Nous remercions également tous les acteurs de la chaîne logistique : les personnels soignants du service de neurologie et de l'hôpital de jour de l'HIA Laveran pour l'accueil des sujets, ainsi que l'antenne médicale du 1er Régiment Étranger de Cavalerie à Carpiagne pour son soutien santé lors de la marche-course de chaque session.

Remerciements au linguiste relecteur : Mathias Fayolle-Fonseca.

ABRÉVIATIONS

bpm : battements par minute

CCE : Coup de Chaleur d'Exercice

FC : Fréquence Cardiaque

$FC\text{-}SV_1$: Fréquence cardiaque au premier seuil ventilatoire

HIA : Hôpital d'Instruction des Armées

HTT : Heat Tolerance Test

IMC : Indice de Masse Corporelle

PSI : Physiological Strain Index

STAI : Spielberger State-Trait Anxiety Inventory

STAI-E : STAI-état

STAI-T : STAI-trait

T_{co} : Température corporelle

VO_2max : consommation maximale en oxygène

Références bibliographiques

1 - Sagui E, Abriat A, Duron S, Gazzola S, Brégigeon M, Brosset C. Coup de chaleur d'exercice : clinique et diagnostic. Médecine et Armées. 2012 ;40(3) :201-5.

2 - McDermott BP, Casa DJ, Yeargin SW, Ganio MS, Armstrong LE, and Maresh CM. Recovery and return to activity following exertional heat stroke : considerations for the sports medicine staff. J Sport Rehabil. 2007 ;16(3) :163-81. doi : 10.1123/jsr.16.3.163.

3 - O'Connor FG, Casa DJ, Bergeron MF, Carter R, 3rd, Deuster P, Heled Y, Kark J, Leon L, McDermott B, O'Brien K, Roberts WO, and Sawka M. American College of Sports Medicine Roundtable on exertional heat stroke–return to duty/return to play : conference proceedings. Curr Sports Med Rep. 2010 ;9(5) :314-21. doi : 10.1249/JSR.0b013@e@3181f1d183.

4 - Moran DS, Erlich T, and Epstein Y. The heat tolerance test : an efficient screening tool for evaluating susceptibility to heat. J Sport Rehabil. 2007 ;16(3) :215-21. doi : 10.1123/jsr.16.3.215.

5 - Moran DS, Shitzer A, Pandolf KB. A physiological strain index to evaluate heat stress. Am J Physiol. 1998 ;275(1 Pt 2) :R129-34. doi : 10.1152/ajpregu.1998.275.1.R129.

6 - Moran DS, Heled Y, Still L, Laor A, and Shapiro Y. Assessment of heat tolerance for post exertional heat stroke individuals. Medical science monitor : international medical journal of experimental and clinical research. 2004 ;10(6) :CR252-7.

7 - Abriat A, Brosset C, Brégigeon M, and Sagui E. Report of 182 cases of exertional heat stroke in French armed forces. Mil Med. 2014 ;179(3) :309-14. doi : 10.7205/MILMED-D-13-00315.

8 - Sauvet F, Banzet S, Koulman N, Bourdon L. Transferts de chaleur et coup de chaleur d'exercice. Applications à l'hyperthermie d'exercice et au refroidissement. Médecine et Armées. 2012 ;40(3) :241-8.

9 - Gisolfi CV. Temperature regulation during exercise : directions–1983. Med Sci Sports Exerc. 1983 ;15(1) :15-20.

10 - Davies CT. Thermoregulation during exercise in relation to sex and age. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1979 Oct ;42(2) :71-9.

11 - Noakes TD, Myburgh KH, du Plessis J, Lang L, Lambert M, van der Riet C, Schall R. Metabolic rate, not percent dehydration, predicts rectal temperature in marathon runners. Med Sci Sports Exerc. 1991 ;23(4) :443-9.

12 - http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/fr/.

13 - Durnin and J. Womersley (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness : measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 Years. British Journal of Nutrition. 32 :77-97. doi :10.1079/BJN19740060.

14 - Spielberger C. Manual for the State-Trait-Anxiety Inventory : STAI (form Y). Palo Alto (CA) : Consulting Psychologists Press ; 1983.

15 - Trousselard M, Steiler D, Lebreton A, Van Beers P, Drogout C, Denis J, Chennaoui M, and Canini F. Stress Management Based on Trait-Anxiety Levels and Sleep Quality in Middle-Aged Employees Confronted with Psychosocial Chronic Stress. Psychology. 2014 ;5(1) :78-89. doi : 10.4236/psych.2014.51013.

16 - Byrne C, and Lim CL. The ingestible telemetric body core temperature sensor : a review of validity and exercise applications. Br J Sports Med. 2007 ;41(3) :126-33. doi : 10.1136/bjsm.2006.026344.

17 - Entraînement Physique Militaire et Sportif. 7-1-1In : Publication interarmées : État-Major des Armées 2011 :290.

18 - Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. J Am Coll Cardiol. 2001 ;37(1) :153-6. doi : 10.1136/bjsm.2006.026344.

19 - Maron MB, Wagner JA, Horvath SM. Thermoregulatory responses during competitive marathon running. J Appl Physiol. 1977 ;42(6) :909-14.

20 - Instruction n° 11375/DEF/EMA/RH/FORM relative à l'évaluation annuelle de l'entrainement physique militaire et sportif dans les forces armées du 23 octobre 2012.

21 - Cramer MN, and Jay O. Selecting the correct exercise intensity for unbiased comparisons of thermoregulatory responses between groups of different mass and surface area. J Appl Physiol. 2014 ;116(9) :1123-32. doi : 10.1152/japplphysiol.01312.2013.

22 - Wyndham, C.H. and N.B. Strydom. The danger of an inadequate water intake during marathon running. S.A. med. J. 1969 ;43 :893-896.

23 - Gisolfi CV, and Copping JR. Thermal effects of prolonged treadmill exercise in the heat. 1974. Med Sci Sports Exerc. 1993 ;25(3) :310-5.

ANNEXE 1 : Données anamnestiques et cliniques recueillies le premier jour

Données générales

- Numéro d'identifiant, donné par l'investigateur, et numéro donné au patient par le système informatique de l'HIA Laveran
- Date de naissance, sexe
- Arme d'appartenance, grade

Données anamnestiques

- Antécédents médicaux et chirurgicaux de chirurgie digestive, maladie inflammatoire de l'intestin, maladie obstructive digestive, port de dispositif électronique implantable
- Latéralité
- Temps habituel à l'épreuve de la marche-course, distance habituelle au test de Cooper
- Tabagisme

Données cliniques

- Poids, taille
- Impédancemétrie (Tanita) : pourcentage de masse grasse et de masse musculaire
- Mesure des plis cutanés par le compas d'Harpenden : bicipital, tricipital, sous-scapulaire et crête iliaque
- Mesure du périmètre abdominal

Données en rapport avec le CCE

- Date
- Lieu (si CCE en opérations extérieures : pays et date du CCE par rapport à l'arrivée dans le pays)
- Facteurs de risque de survenue (alcoolisation, privation de sommeil, jeûne, infection ORL ou digestive, prise de compléments hyperprotéinés, médicaments ou substance stimulante)
- Types d'épreuves [marche-course, marche-commando, marche TAP (Troupes AéroPortées), cross]. Si épreuve sportive programmée : distance par rapport à l'arrivée et délai après l'arrivée.
- Prodromes (amnésie, céphalées, tête vide, agressivité, nausée, vomissement, marche titubante, asthénie intense, altération du champ visuel, sudation abondante, absence de sudation, soif intense)
- Signes à la phase d'état (perte de connaissance, coma, confusion, obnubilation, vomissement, agressivité, convulsion, T_{co} initiale, FC et pression artérielle
- Conséquences initiales, notamment séjour en réanimation
- Créatininémie, taux de prothrombine, ALAT, CPK recueillies au décours

Données en rapport avec la détermination de la VO_2max

- Date épreuve
- FC initiale, maximale théorique, maximale mesurée
- VO_2max (ml/kg/min), puissance maximale (W), vitesse maximale aérobie, volume expiratoire maximal (L/ min), réserve ventilatoire théorique
- Vitesse, puissance et VO_2max obtenues au premier seuil ventilatoire

Données en rapport avec la réalisation de la marche-course

- T_{co} avant l'épreuve
- Température et humidité ambiantes avant l'épreuve, soit index Humidex (+8° C si soleil)
- T_{co} et FC pendant toute la durée de l'épreuve
- Temps réalisé à la marche-course
- PSI à la fin de la marche-course

Questionnaire d'activité sportive du service de santé des armées

- Activité sportive au cours des 5 dernières années
- Si oui, précisez la fréquence : très rarement, 1 ou plusieurs fois par semaine
- Si au moins une fois par semaine, efforts demandés : peu, assez, très importants
- Si sports pratiqués depuis un an : moyenne horaire hebdomadaire, nombre de mois dans l'année

ANNEXE 2 : Questionnaire d'auto-évaluation « STAI »

STAI-E

Un certain nombre de phrases que l'on utilise pour se décrire sont données ci-dessous. Lisez chaque phrase, puis cochez, parmi les 4 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.

		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				

STAI-T

Un certain nombre de phrases que l'on utilise pour se décrire sont données ci-dessous. Lisez chaque phrase, puis cochez, parmi les 4 possibilités, celle qui correspond le mieux à ce que vous ressentez GENERALEMENT.
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.

		Non	Plutôt non	Plutôt oui	Oui
21.	Je me sens de bonne humeur, aimable				
22.	Je me sens nerveux (nerveuse), agité(e)				
23.	Je me sens content(e) de moi				
24.	Je voudrais être aussi heureux (heureuse) que les autres				
25.	J'ai un sentiment d'échec				
26.	Je me sens reposé(e)				
27.	J'ai tout mon sang-froid				
28.	J'ai l'impression que les difficultés s'accumulent à un tel point que je ne peux plus les surmonter				
29.	Je m'inquiète à propos de choses sans importance				
30.	Je me sens heureux (heureuse)				
31.	J'ai des pensées qui me perturbent				
32.	Je manque de confiance en moi				
33.	Je me sens sans inquiétude, en sécurité, en sûreté				
34.	Je prends facilement des décisions				
35.	Je me sens incompétent(e), pas à la hauteur				
36.	Je suis satisfait(e)				
37.	Des idées sans importance trottent dans la tête, me dérangent				
38.	Je prends les décisions tellement à cœur que je les oublie difficilement				
39.	Je suis une personne posée, solide, stable				
40.	Je deviens tendu(e) et agité(e) quand je réfléchie à mes soucis				

ANNEXE 3 : Questionnaire d'auto-évaluation de l'estime de soi

Tout à fait en désaccord	Plutôt en désaccord	Plutôt en accord	Tout à fait en accord
1	2	3	4

1.	Je pense que je suis une personne de valeur, au moins égale 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 à me considérer comme un raté.	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 de moi.	1-2-3-4
6.	J'ai une attitude positive vis-à-vis moi-même.	1-2-3-4
7.	Dans lensemble, je suis satisfait 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 inutle.	1-2-3-4
10.	II m'arrive de penser que je suis un bon à rien.	1-2-3-4

ANNEXE 4 : Abaque des indices de température utilisé dans l'Armée française depuis 2011 : index Humidex

Indice de chaleur : Manuel d'ergonomie des armées

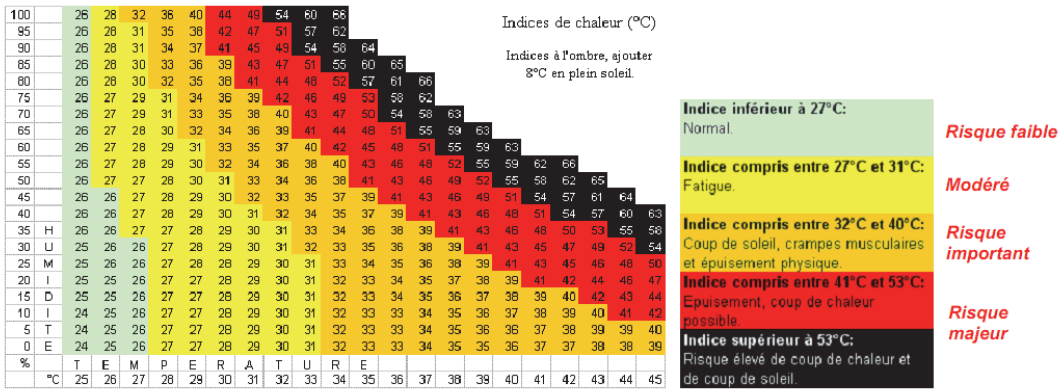


Figure 16 – Index Permissive Exposure Limits d'après Duke – Dobos et Henschel