

ÉVALUATION BIOMÉCANIQUE ET PHYSIOLOGIQUE DE QUATRE VÊTEMENTS INDIVIDUELS DE PROTECTION

VACHON FRÉDÉRIC

Université du Québec à Montréal, Département de kinanthropologie, Case postale 8888,
Succursale Centre-Ville, Montréal, Québec, Canada, H3C 3P8

MARCHAND DENIS ET TAILLEFER FRANÇOIS

Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec, Canada

MASSAD RAFAT

Association pour la santé et la sécurité au travail, secteur affaires sociales (ASSTSAS)

Résumé

Le but de cette étude était de déterminer les raisons qui limitent l'utilisation du vêtement individuel de protection contre le feu (VIP) chez les techniciens ambulanciers. Six participants(es) expérimentés(es) devaient exécuter différentes tâches représentatives du travail. Plusieurs variables physiologiques et psychophysiques furent mesurées pour définir les avantages et les désavantages des différents VIP. L'analyse de la variance (ANOVA) a été utilisée pour démontrer les différences significatives entre les modèles évalués. En regroupant les VIP par styles (une pièce vs deux pièces), le travail musculaire du deltoïde antérieur droit s'avère supérieur ($p < 0,05$) pour les VIP une pièce. L'indice de récupération de Brouha indique que le modèle version Trois-Rivières (une pièce) permet une récupération plus rapide à la suite d'un effort cardio-vasculaire. Les résultats suggèrent aussi que les modèles une pièce sont significativement plus faciles à endosser ($p < 0,05$). Sur l'ensemble des tests, les résultats suggèrent que les modèles une pièce représentent une alternative intéressante au modèle deux pièces standard.

Mots clés : Vêtements individuels de protection, biomécanique, physiologie.

BIOMECHANICS AND PHYSIOLOGICAL EVALUATIONS OF FOUR INDIVIDUAL PROTECTION CLOTHES

Abstract

The purpose of this study was to determine the effort required from the emergency technicians in wearing different types of individual fire protective clothes (IPC). The advantages and disadvantages of the various IPC were based on physiological and psychophysical parameters. Six experienced participants simulated different tasks while wearing one of 4 types of IPC. The results of the ANOVA revealed that the one-piece suits demanded lower EMG of the right shoulder compared to the two-pieces suits as well as more rapid recovery resulting from cardiovascular effort as shown by the Brouha test. The psychophysical evaluation indicated ($p < 0.05$) that the one-piece was easier to put on. The various tests were conclusive in favoring the one-piece over the two-piece suits.

Key words : Individual protection clothes, biomechanics, physiology

INTRODUCTION

L'utilisation du vêtement individuel de protection contre le feu (VIP) n'est pas une pratique courante chez les techniciens ambulanciers du Québec (1). Le poids, la rigidité et la valeur isothermique du VIP limitent son utilisation lors des interventions. Tous ces facteurs influencent la perception des utilisateurs qui doivent prendre la décision de le porter ou non lors des interventions sur les accidents de voiture, les lieux d'un incendie et dans les milieux où l'on retrouve des matières dangereuses. Les saisons ont aussi une influence sur son utilisation. En effet, les qualités isothermiques du VIP entraînent un inconfort majeur lors des grandes chaleurs d'été. Le modèle présentement utilisé par l'ensemble des techniciens ambulanciers au Québec est constitué d'une veste et d'un pantalon à bavette. Le revêtement extérieur est en Nomex III et la doublure intérieure est composée d'un écran humidifuge et d'une barrière thermique. Devant l'inconfort important associé à l'utilisation de ce type de VIP, la Coopérative de ambulanciers de la Mauricie a demandé une étude pour valider la pertinence d'utiliser d'autres modèles de VIP. L'objectif de l'étude était de préciser les raisons qui limitent l'utilisation des VIP actuels et d'évaluer les avantages possibles associés à l'utilisation des autres modèles disponibles au Québec. Les résultats devaient permettre de classer les VIP selon les critères choisis et d'identifier les caractéristiques qui permettent d'optimiser le confort de ce type de vêtement.

MÉTHODOLOGIE

Sujets et tâches

Six techniciens(nes) (3 hommes et 3 femmes) expérimentés(es) ont participé à l'étude. Les sujets devaient réaliser les sept tâches selon un ordre aléatoire. Ces tâches sont décrites au tableau 1.

Tableau 1. Tâches évaluées durant l'étude.

1. Flexion des épaules à 180 degrés.
2. Abduction des bras à 180 degrés
3. Se mettre un genou au sol et effectuer une torsion controlatéral du tronc de chaque côté
4. Flexion et extension du tronc
5. Maintenir une position statique 32 secondes avec les bras fléchis à 90 degrés
6. Monter et descendre les escaliers de trois étages avec un patient en chaise-civière
7. Mettre et enlever le VIP

L'étude a été réalisée avec les quatre VIP disponibles au Québec. Cet échantillon présente deux types de modèle : une pièce et deux pièces. Le tableau 2 présente la description sommaire des quatre modèles utilisés dans cette étude.

Tableau 2. Les quatre modèles de vêtements individuels de protection utilisés dans l'étude.

1. Modèle 1 pièce (CAMBI)
2. Modèle 1 pièce (version Mauricie) en Kermel HTA
3. Modèle 2 pièces (Nouveau Securitex) en Nomex
4. Modèle 2 pièces (Securitex) en Nomex

Évaluation de la demande musculaire

L'électromyographie a été utilisé pour évaluer les contraintes musculaires liées au maintien de la flexion de l'épaule à 90° durant 32 secondes. Afin de standardiser la position des bras dans l'espace, une référence spatiale (trépied) était placé et réglé pour chaque sujet afin de simuler le maintien de la tête d'un blessé avec les bras tendus. Comme deuxième tâche, les sujets devaient effectuer une flexion-extension du tronc les bras le long du corps. Les temps

de descente et de monté étaient contrôlés à 4 temps afin de standardiser la vitesse des essais et pour éliminer en partie l'accumulation d'énergie élastique emmagasinée lors d'une descente réalisée trop rapidement.

L'activité myoélectrique de 4 muscles était mesurée à l'aide d'électrodes de surface bipolaires pré-amplifiées (x35). Les muscles étaient le deltoïde antérieur droit (DAD) et gauche (DAG) qui sont impliqués dans la flexion des épaules et les érecteurs du rachis droit (ERD) et gauche (ERG) qui sont responsables de l'extension sagittale et latérale du tronc. Ces muscles ont été choisis pour leurs implications lors de la tâche évaluée. Les signaux recueillis par les électrodes de surface étaient acheminés vers l'amplificateur biologique (THERAPEUTIC UNLIMITED). Les signaux analogiques étaient recueillis et transformés en valeurs numériques par un convertisseur analogique/numérique (DATA SHUTTLE EXPRESS) et analysés avec le logiciel d'acquisition WORKBENCH (STRAWBERRY TREE INC.). La fréquence d'échantillonnage était fixée à 1000 Hz. Par la suite, les signaux enregistrés étaient rectifiés et filtrés à une fréquence de 6 Hz afin d'obtenir l'enveloppe linéaire du signal (Winter, 1990). De plus, les valeurs EMG étaient transformées en pourcentage d'utilisation musculaire (PUM) à partir des amplitudes EMG maximales obtenues via des contractions isométriques produites par les sujets pour chaque muscle évalué (voir équation 1). Ces tests ont été effectués au début de l'expérimentation afin d'obtenir des résultats déjà normalisés

$$\text{PUM} = \frac{\text{Valeur EMG mesuré durant l'essai expérimental}}{\text{Valeur EMG maximale des tests isométriques}} \times 100 \quad (\text{Équation 1})$$

Les indices physiologiques

La charge de travail cardio-respiratoire fut mesurée pour la montée et la descente de l'escalier avec patient à l'aide d'un cardiofréquencemètre (POLAR X-TRAINER). Les valeurs mesurées étaient présentées en terme de coût cardiaque relatif (voir l'équation 2). L'indice de récupération de Brouha a aussi été utilisée. La simplicité de cette méthode réside dans l'utilisation des fréquences cardiaque de repos et de l'acceptation de celles-ci par rapport à l'arbre de Brouha. Finalement, des mesures de la température centrale moyenne furent prises immédiatement après la descente de l'escalier avec le patient. Les thermomètres buccale étaient placés sous lingual jusqu'à la stabilisation de la température indiquée par un bip sonore.

$$\text{Coût cardiaque relatif} = \frac{\text{FC de travail} - \text{FC de repos}}{(220 - \text{âge}) - \text{FC de repos}} \times 100\% \quad (\text{Équation 2})$$

L'appréciation subjective de la liberté de mouvement et du confort thermique

L'appréciation subjective a été mesurée pour les tâches 1, 2, 3, 4 et 7 qui sont présentées au tableau 1. Après chaque tâche les participants(es) devaient évaluer le confort du VIP sur une échelle de 1 à 10 selon certains critères. La grille d'évaluation psychophysique était composée d'énoncés (ex. « très très libre », « très libre », ...) présentés sur un tableau. Après la réalisation de chaque tâche, les participants(es) devaient indiquer à l'expérimentateur l'énoncé qui correspond le mieux à sa perception du VIP sur ce critère. Les critères utilisés étaient : (1) la liberté de mouvement et (2) le confort thermique. Chaque cote négative pour le critère portant sur la liberté de mouvement devait être justifiée par le participant (par exemple: « les mouvements de flexion à l'épaule sont difficiles »). Après la série de mesures, les sujets étaient invités à participer à une entrevue (10 - 15 minutes). Les questions portaient principalement sur les données professionnelles (formation, ancienneté, expérience, accidents passés...). À cette occasion, les sujets étaient confrontés à leurs

résultats de la journée. Un sujet pouvait selon sa perception de l'ensemble des tests réalisés durant la journée, modifier le classement accordé aux VIP pour chacun des tests.

Analyse statistique des données

L'analyse de la variance (ANOVA) était utilisée pour démontrer les différences significatives entre les quatre (4) modèles évalués et/ou les deux (2) styles de vêtements étudiés. L'ANOVA était appliquée à chacune des variables mesurées. Un niveau de confiance de 95% ($p < 0,05$) fut choisi pour identifier les effets significatifs.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Résultats de l'analyse musculaire.

Le maintien de la posture bras-tendus durant 32 secondes avait pour but de simuler les contraintes associées au maintien de la tête d'un blessé à l'intérieur d'une voiture. L'objectif était de vérifier si l'un des VIP entraînait une charge additionnelle au niveau des muscles responsables (muscles deltoïdes antérieurs droit et gauche) de la flexion de l'épaule. Les résultats correspondent à la moyenne du coût musculaire pour les huit dernières secondes. Celles-ci sont habituellement les plus représentatives de l'apparition de la fatigue. Les résultats démontrent que le modèle 3 (Nouveau Securitex) entraîne un travail musculaire supérieur ($p > 0,05$) pour les fléchisseurs de l'épaule droite par rapport aux modèles 1 et 2 (Cambi et Mauricie).

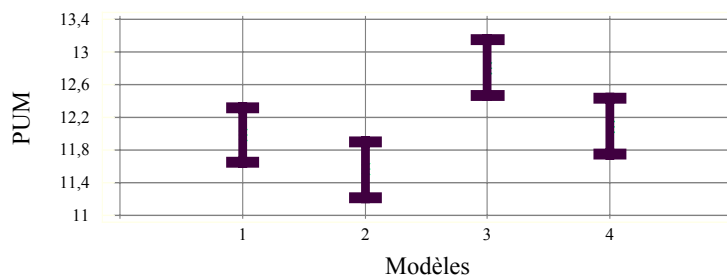


Figure 1. Pourcentage d'utilisation musculaire du deltoïde antérieur droit lors d'un maintien statique d'une flexion de l'épaule.

Lorsque les modèles sont regroupés par style (les modèles une pièce étant représentés par le style 1 et les modèles deux pièces par le style 2), cela permet de présenter les avantages de la conception des modèles une pièce. Les résultats démontrent une différence significative ($p > 0,05$) entre les deux styles au niveau du travail musculaire du deltoïde antérieur droit. Les VIP deux pièces imposent donc une surcharge physiologique supérieure aux muscles fléchisseurs de l'épaule droite. Il est fort probable que cette contrainte soit attribuable au poids des manches chez les VIP deux pièces et à la rigidité des matériaux observée chez le modèle 3 (Nouveau Securitex).

Résultats des indices physiologiques

L'analyse des indices physiologiques n'a pas permis d'identifier qu'un des modèles évalués cause une demande énergétique significativement plus élevée. L'absence de résultats significatifs s'explique peut-être par le fait que la durée de l'épreuve était trop courte et trop intense pour permettre à la fréquence cardiaque de se stabiliser. Une tâche plus longue

n'aurait probablement pas été représentative du travail réel que font les ambulanciers lorsqu'ils transportent un client avec la civière-chaise dans les escaliers. Par conséquent, la tâche était trop intense pour permettre une stabilisation des fréquences cardiaques à la fin du test. Pour certains sujets, les fréquences cardiaques pouvaient atteindre 185 battements par minute à la fin du transport. L'énergie nécessaire à la tâche se voyait donc grandement fournie par les filières anaérobiques (en absence d'oxygène) rendant difficile la stabilisation des fréquences cardiaques. Toutefois, le coût cardiaque relatif le moins élevé a été obtenu avec le port du modèle 2 (Mauricie). Selon la méthode de Brouha, un critère non respecté représente une récupération incomplète du sujet par rapport à la tâche et peut servir d'indice de pénibilité physiologique de la tâche. Selon les résultats, le modèle 2 (Mauricie) rencontre le critère de Brouha 5 fois sur 6 tandis que le modèle 3 (Nouveau Securitex) se contente de 2 fois sur 6. La conception du modèle de Mauricie semble donc permettre une meilleure récupération après l'effort.

L'appréciation subjective de la liberté de mouvement

Les analyses statistiques des tâches consistant à mettre le VIP, mettre un genou au sol avec torsion du tronc, exécuter une abduction et flexion de l'épaule à 180 degrés ne démontrent pas de différences significatives entre les modèles. Le classement réalisé place toutefois le modèle 2 (Mauricie) comme étant le plus facile à mettre selon les techniciens(nes). Des différences significatives sont aussi présentes entre les deux styles de vêtement pour cette tâche. Les résultats laissent voir que les techniciens(nes) ont une préférence pour les vêtements une pièce comparativement aux deux pièces.

CONCLUSION

Les résultats de cette étude démontrent qu'il est difficile de discriminer spécifiquement les différents modèles de vêtements de protection individuelle selon les variables physiologiques et psychophysiques utilisées. Cependant, lorsque les VIP étaient regroupés par style (une pièce versus deux pièces), des résultats plus concluants semblent ressortir de l'étude. Ainsi sur l'ensemble des tests, les résultats suggèrent que les modèles une pièce seraient une alternative intéressante au modèle deux pièces standard. Ces modèles (particulièrement le modèle Mauricie) s'avèrent, selon les techniciens ambulanciers, les plus légers, les plus confortables au niveau thermique et les plus faciles à mettre comparativement aux deux autres modèles. La première impression est toujours importante lors de prise de décision. Si un modèle s'avère difficile à mettre, les sujets arrêteront souvent leur réflexion sur cet indice sans penser à l'aspect sécuritaire du VIP. Les résultats démontrent que le modèle Nouveau Securitex est, selon les indices physiologiques et psychophysiques, le dernier au classement. Celui-ci est perçu comme trop encombrant à enfiler, trop chaud, trop rigide aux niveaux des genoux et des épaules et incommodant aux épaules à cause de boucles de fixation des bretelles. Il faut cependant noter que les VIP Nouveau Securitex utilisés dans l'étude étaient neufs ou très peu portés. Cette situation faisait en sorte que les matériaux (principalement le recouvrement extérieur en Nomex) étaient rigides. En effet, l'usure des matériaux influence la souplesse des VIP, ce qui les rends plus malléables et moins rigides. À ce sujet, le modèle une pièce Mauricie était certainement le plus souple.

RÉFÉRENCES

- (1) Massad, R (1999). Un nouveau vêtement de protection à l'essai. *Objectif Prévention*.22, (4): 26-27.
- (2) Winter, D.A., (1990) : *Biomechanics of human movements* (2nd ed.), John Wiley & Sons, New-York, 201 pages.