Facteurs de risque d'événements traumatiques au cours des épreuves chronométrées de course en montagne avec sac à dos : étude épidémiologique analytique prospective au cours de la période estivale 2014

E. Montaigu[a], C. Lebleu[b], A. Buzens[b], E. Fontaine[b], N. Hourt[c], L. Havé[a], R. Kedzierewicz[b]

a HIA Desgenettes, 108 boulevard Pinel – 69275 Lyon Cedex 03.
b Antenne médicale de Barby/13e BCA, Quartier Roc Noir, route de Barby, BP 01 – 73235 Saint-Alban-Leysse.
c Antenne médicale de Cran Gevrier/27e BCA, Quartier Tom Morel, 8 avenue du Capitaine Anjot – 74962 Cran Gevrier.

Résumé

L'objectif principal de ce travail était d'identifier les facteurs de risques associés aux événements traumatiques (chute et/ou torsion de cheville) au cours des épreuves militaires réglementaires de course en montagne. Une étude épidémiologique cas témoins à recrutement incident a été réalisée au cours de l'été 2014. Un total de 165 participants aux épreuves finales du brevet d'alpinisme militaire a été recruté. Aucun facteur de risque des chutes lors de ces épreuves n'a été retrouvé. Un antécédent d'entorse de la cheville de moins de quinze jours a constitué un facteur de risque de récidive au cours de l'épreuve (OR = 7,9 ; IC 95 % [1,7-50], p = 3.10^{-3}). La présence d'au moins une ampoule podale au départ a été un facteur de risque de torsion de cheville (OR = 4 ; IC à 95 % [1,8-9], p = 2.10^{-4}). Le fait d'être endurant (plus de 3 100 m au test Cooper) a constitué un facteur protecteur (OR = 0,4 ; IC 95 % [0,2-0,9], p = 0,02). Les résultats n'ont pas permis de mettre en évidence qu'une altération de la proprioception évaluée par un test chronométré en appui monopodal était prédictive d'événements traumatiques lors de la course en montagne. En conclusion, ces résultats permettent de fournir de nouveaux arguments pour conseiller le commandement afin de limiter les événements traumatiques au cours des épreuves militaires de course en montagne et permettent de suggérer de nouvelles pistes de recherche.

Mots-clés : Ampoule. Entorse de la cheville. Étude cas témoins. Proprioception.

Abstract

RISK FACTORS OF TRAUMATIC EVENTS OCCURRING DURING MILITARY MOUNTAIN TRAIL RUNNING TESTS WITH LOADED BACKPACKS: A PROSPECTIVE EPIDEMIOLOGIC STUDY DURING THE SUMMER OF 2014.

The main goal of the this work was to identify the risk factors of traumatic events (falls and/or ankle sprains) occurring during military mountain trail running tests with loaded backpacks. A case control study was performed during the 2014 summer season. A total of 165 participants were recruited during the final tests of the French military alpine mountaineering training courses. No risk factor of falls was found. A recent history of ankle sprain (less than 15 days) was a strong risk factor of a new sprain during the test (OR = 7.9; 95% CI [1.7-50], p = $3\ 10^{-3}$). The presence of at least one foot blister was also a risk factor of ankle sprain (OR = 4; 95% CI [1.8-9], p = $2\ 10^{-4}$). The participants with a result greater than 3100 m (according to the Cooper test) were less likely to have a sprained ankle (OR = 0.4; 95% CI [0.2-0.9], p = 0.02). This study did not show that an altered proprioception evaluated by a single leg stance test is predictive of a traumatic event during mountain running tests. To conclude, results from this study show new evidence to better advise the chain of command so as to reduce traumatic events during military mountain trail running tests and to propose further research.

Keywords: Ankle sprain. Blister. Case control study. Proprioception.

Introduction

Les conflits récents ou actuels se déroulant en zone montagneuse sont nombreux : Afghanistan, Cachemire, Caucase, Yémen (frontière avec l'Arabie Saoudite), Kurdistan (dont le nord de l'Irak), Mali (massif du Tigharghar),… L'obstacle représenté par les reliefs rencontrés impose souvent un combat débarqué. À

E. MONTAIGU, interne des hôpitaux des armées. A. C. LEBLEU, médecin en chef, praticien confirmé. A. BUZENS, médecin principal. E. FONTAINE, médecin. N. HOURT, médecin principal. L. HAVÉ, médecin principal. R. KEDZIEREWICZ, médecin principal.
Le Groupe de recherche des infirmiers et médecins militaires des Alpes (GRIMMA).
Correspondance : Monsieur le médecin principal R. KEDZIEREWICZ, Antenne médicale de Barby/13e BCA, Quartier Roc Noir, route de Barby, BP 01 – 73235 Saint-Alban-Leysse.
E-mail : romainkedze@hotmail.com ou romain.kedzierewicz@intradef.gouv.fr

l'âpreté du milieu, il faut ajouter le poids des armes et des effets de protection balistique, une visibilité parfois limitée ou modifiée par les optiques de vision nocturne, autant de facteurs qui peuvent expliquer l'importance de la proprioception pour maintenir l'équilibre et prévenir la chute ou la torsion de cheville. Ainsi, l'entraînement au combat en montagne nous semble une nécessité pour se préparer à ces contraintes. C'est la vocation des soldats de montagne de s'y préparer, les épreuves comme le Brevet d'alpinisme militaire (BAM) validant cet entraînement.

Or l'entraînement physique dans les troupes de montagne est la source d'indisponibilités et d'arrêts de travail suite à des événements micro ou macro traumatiques (données non publiées du registre de traumatologie en montagne du Centre médical des armées (CMA) des Alpes). Les blessures émaillant la préparation physique du militaire sont, de ce point de vue, contreproductives et difficilement tolérables ; comment ne pas transformer un parcours de santé en parcours du combattant (blessure, rééducation, reprise progressive, récidive ou rechute,…) ?

L'objectif principal de ce travail est d'identifier les facteurs de risque associés aux événements traumatiques (chute et/ou torsion de cheville) au cours des épreuves militaires de course en montagne (BAM). L'identification de ces facteurs de risque devrait permettre d'améliorer le conseil au commandement et envisager de nouveaux axes de recherche afin de limiter le fardeau que constituent les événements traumatiques, particulièrement ceux occasionnés par l'entraînement des militaires.

Matériel et méthode

Nous avons réalisé une étude épidémiologique analytique cas témoin à recrutement incident.

La population source a été définie par tous les militaires participant aux épreuves finales du BAM organisées par les 13e et 27e Bataillons de chasseurs alpins (BCA) de juillet à octobre 2014.

Critères d'inclusion, d'exclusion et variables étudiées

Les critères d'inclusion pour les cas étaient : être un militaire engagé sur une épreuve finale du BAM et avoir subi au moins une chute (nécessité de poser au moins une main au sol pour se relever) ou une torsion de cheville au cours de l'épreuve. Les critères d'exclusion étaient : être mineur, une femme enceinte, un incapable majeur, plus de 10 % de questions non renseignées dans le questionnaire.

Les témoins ont été représentés par l'intégralité des militaires engagés sur les mêmes épreuves que les cas mais n'ayant pas subi de chute ou de torsion de cheville. Les critères d'exclusion des témoins étaient identiques aux cas.

Les caractéristiques et expositions des sujets au cours de ces épreuves sont résumées dans le tableau I.

Tableau I. Facteurs de risque de torsion de cheville ou chute étudiés.

Facteurs de risque étudiés	évaluation	observation
Facteurs socio biométriques		
Âge	Moyenne (années)	
Indice de masse corporelle	Moyenne (kg/m^2)	= poids / taille^2
Sexe	Homme ou femme	
Grade	Officier ou autre	
Niveau sportif		
Nombre d'heures de sport par semaine	Moyenne (heures)	
Distance parcourue au test Cooper	Moyenne (mètres) Cooper > 3 100 mètres	
Temps mis pour faire la marche course	Moyenne (minutes)	
Antécédents		
Entorse du genou	Oui ou non	Latéralité et année
Rupture du ligament croisé antérieur		
Fracture du fémur		
Fracture tibia péroné		
Lombalgies		
Sciatalgies		
Entorse de cheville		Latéralité et ancienneté de la dernière entorse (moins de 15 jours, 15 à 30 jours, 4 à 6 semaines, 6 semaines à 3 mois, plus de 3 mois), réalisation de rééducation (oui ou non) et nombre de séances
Au moment du départ		
Existence d'ampoules	Oui ou non	Latéralité, localisation sur le pied (talon, avant pied interne, avant pied externe, autre)
Proprioception		
Avant départ	Temps en secondes (moyenne)	
Au sommet	Indice de 1 à 5 (moyenne)	
À l'arrivée	Proportion d'indice1 et 5	
Temps de parcours		
Temps de montée	Moyenne (minutes)	
Temps de descente	Descente ≤ 50 minutes	
Temps total	Descente > 70 minutes	
Autres facteurs		
Hypoglycémie	Oui ou non	« faim au point de se sentir mal »
Fatigue	Échelle qualitative ordonnée discrète (0 à 10)	

L'épreuve du brevet d'alpinisme militaire

Il s'agit de l'épreuve qui vient clôturer trois semaines de formation montagne initiale dans l'armée française. Elle comprend une épreuve chronométrée sur différents parcours homologués par le bureau montagne de l'état-major de la 27e Brigade d'infanterie de montagne (BIM). Le dénivelé positif est d'environ 1 400 m, la projection d'environ 10 km. L'épreuve se réalise en tenue montagne avec des chaussures d'alpinisme, un sac de 14 kg au départ dont un Fusil d'assaut de la manufacture d'arme de Saint Étienne (FAMAS). Les bâtons sont autorisés. Les épreuves de cramponnage, d'escalade et de rappel peuvent être réalisées dans le même temps ou avoir été validées préalablement. La course se fait, pour des raisons de sécurité, par binôme. Le parcours est balisé et il est interdit de sortir du chemin (zone protégée, sécurité).

Test de proprioception

Le test choisi pour cette étude était volontairement un test simple, de terrain, ne nécessitant pas de matériel particulier. Il a été réalisé avant le départ, au sommet et à l'arrivée de la course. Il se réalise sans sac à dos, sans arme, en appui monopodal (pied dominant : « pied avec lequel vous êtes le plus à l'aise pour donner un coup de pied dans un ballon ») avec une jambe repliée

contre le genou controlatéral et les mains sur la taille. Le chronomètre est déclenché dès que la position est atteinte et que le patient ferme les yeux. Il est arrêté en cas de sautillement, de déplacement du pied au sol, d'une perte de contact entre le pied et le genou, d'ouverture des yeux. Le test était réalisé trois fois de suite et seul le meilleur résultat était conservé. En cas de maintien de la position plus de 30 secondes, le chronomètre était arrêté et il n'était pas besoin de renouveler le test considérant que le temps maximum était atteint (indice de proprioception égal à 5). Le tableau II établit la correspondance entre le temps mis pour faire le test et l'indice de proprioception en fonction du sexe et de l'âge.

Tableau II. Correspondance entre le temps en secondes (s) mis pour faire le test de proprioception et son indice en fonction du sexe et de l'âge.

Indice de proprioception	Hommes		Femmes	
	20 à 29 ans	30 à 39 ans	20 à 29 ans	30 à 39 ans
5	> 30 s	> 27 s	> 26 s	> 22 s
4	27 à 30 s	24 à 27 s	24 à 26 s	19 à 22 s
3	21 à 26 s	18 à 23 s	18 à 23 s	15 à 18 s
2	17 à 20 s	14 à 17 s	15 à 17 s	12 à 14 s
1	< 17 s	< 14 s	< 15 s	< 12 s

Il faut noter que ce test se réalise normalement pieds nus mais que pour des raisons de praticabilité évidente sur le terrain, il a été réalisé en gardant les chaussures. Une zone plate, si possible à l'abri du vent, était choisie au départ, au sommet et à l'arrivée afin de réaliser le test dans les meilleures conditions possibles. Il avait été convenu avec les « bureaux montagne » des bataillons que le temps passé au sommet pour réaliser le test ne devait pas excéder trois minutes afin que les militaires restent dans « l'esprit » de l'épreuve chronométrée. Le test était réalisé soit par des personnels médicaux ou paramédicaux dédiés, soit en binôme après apprentissage au départ et sous la surveillance d'un personnel santé.

Questionnaire

Le questionnaire était constitué de 4 tableaux à renseigner et 41 questions, 9 avant départ, 25 concernant les événements au cours de la course et 7 à remplir par le personnel de santé à l'arrivée en cas d'événement traumatique au cours de l'épreuve. Les questions étaient ouvertes, fermées de type oui non, à choix multiples ou utilisant une échelle qualitative ordonnée discrète à onze modalités (fatigue).

Le questionnaire était distribué avant le départ à chaque participant ainsi qu'un stylo par binôme. Une information sur les objectifs de l'étude et la présence d'un médecin à l'arrivée était délivrée par un investigateur qui détaillait également comment réaliser le test de proprioception. Puis chaque binôme réalisait une première série de tests de proprioception tels que décrits précédemment, remplissait le tableau correspondant aux résultats du test sur le questionnaire et se présentait au départ. Là, un personnel vérifiait que chaque participant détenait bien son questionnaire et notait l'heure de départ. Au sommet, au moins deux personnels de santé étaient présents afin de noter l'heure d'arrivée et de départ du sommet, vérifier que le test était correctement réalisé et renseigner le questionnaire. À l'arrivée, tous les militaires qui avaient subi un événement traumatique au cours de l'épreuve, en particulier une chute ou une torsion de cheville, ressenti une douleur ou une gêne, avaient reçu pour consigne de consulter le médecin présent. Le temps d'arrivée, les résultats du test de proprioception et ceux de la consultation étaient renseignés sur le questionnaire. Celui-ci était collecté par un auxiliaire sanitaire.

Base de données, traitement des données manquantes

Une base de données anonymes a été constituée à l'aide du logiciel Microsoft® Excel® 2008 pour Mac version 12.3.6.

Les données manquantes concernant les heures d'arrivée et de départ au sommet ont été calculées d'après le temps total mis pour faire l'épreuve et le ratio entre le temps de montée et de descente observé sur l'ensemble des cas et des témoins. Les autres données manquantes n'ont pas été déterminées *a posteriori*. Quand il y avait plus de 10 % de questions non remplies, le questionnaire était exclu.

Éthique

Les informations sur l'étude et sur la liberté d'y participer ou non étaient rappelées avant chaque départ. Il était également rappelé par écrit, en haut de chaque questionnaire, que son renseignement témoignait du « libre accord à la création d'une base de données, de son analyse statistique et à la publication des résultats de l'étude ».

Les recommandations de déontologie et de bonnes pratiques en épidémiologie (1) rappellent que, dans le cadre d'une étude épidémiologique utilisant un questionnaire, « si l'information concernant l'étude est obtenue au moyen d'un questionnaire et qu'une information adéquate a été donnée au sujet enquêté, il s'agit d'un consentement « simple » et il n'est pas nécessaire de demander un consentement écrit, car répondre au questionnaire implique le consentement ».

Enfin, cette étude s'est placée en dehors du champ des contraintes relatives à la recherche biomédicale telles que définies dans le Code de la santé publique, Livre I^{er}, Titre II.

Analyse statistique

L'analyse statistique a été réalisée grâce au logiciel Microsoft® Excel® 2008 pour Mac version 12.3.6. et au site « BiostaTGV » développé par une équipe de l'institut Pierre Louis d'épidémiologie et de santé publique (unité mixte de recherche S 1136 affiliée à l'Institut national de la santé et de la recherche médicale et à l'université Pierre et Marie Curie). Les calculs disponibles sur ce site sont réalisés via le logiciel de statistique R.

Le nombre de sujets à inclure a été calculé en considérant la proprioception comme facteur principal d'étude avec une proportion de 40 % de témoins exposés (indice = 1), un *odds ratio* (OR) minimum détectable égale à trois, un risque α de première espèce à 5 %, une

puissance de 80 %, un test unilatéral et un *ratio* de un cas pour deux témoins si bien qu'il fallait inclure au moins 38 cas et 76 témoins.

Les variables quantitatives ont fait l'objet du calcul d'une moyenne et de son écart type quand cela paraissait pertinent. Les variables qualitatives ont fait l'objet du calcul de proportions assorties des effectifs réellement observés au numérateur et au dénominateur.

Les proportions ont été comparées en utilisant un test du *Chi-2* ou un test exact de Fisher.

Les moyennes ont été comparées grâce à un test non paramétrique de Mann-Whitney.

Pour chaque facteur de risque de l'étude cas témoins ont été calculés les fréquences d'exposition des cas et des témoins ainsi que les OR et leur intervalle de confiance (IC) à 95 % en cas de différence cas témoins statistiquement significative.

Les études de cohorte permettent de déterminer des risques relatifs impartis de leur intervalle de confiance.

Résultats

Un total de 165 participants a été recruté. Aucun participant n'a été exclu. L'âge moyen des militaires recrutés était de 22 ans et 8 mois avec un indice de masse corporel à 23,4 kg/m², un total de 8 femmes (5 %) et 61 officiers (37 %).

La figure 1 présente les proportions d'événements observés dans notre échantillon d'étude.

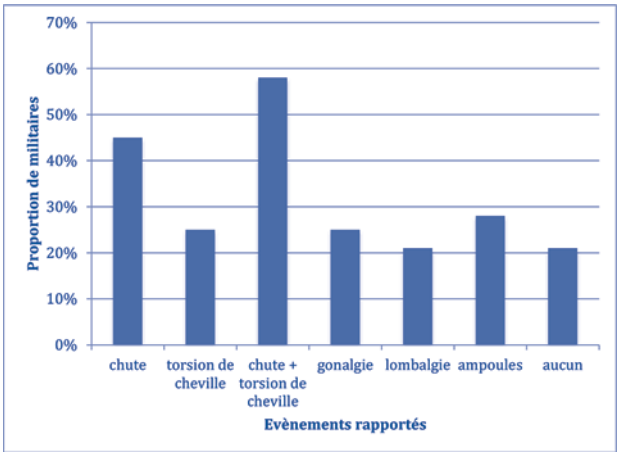


Figure 1. Proportion d'événements rapportés pour 165 militaires suivis lors des épreuves finales du brevet d'alpinisme militaire organisées par les 13e et 27e bataillons de chasseurs alpins lors de la période estivale 2014.

Soixante-quatorze participants (45 %) ont chuté au cours de l'épreuve (fig. 2a). Une torsion de cheville était associée à la chute dans 28 % des cas (21 patients). Seulement 41 % des patients ayant chuté (30 sur 74) ont consulté à l'arrivée (fig. 2b).

Quarante-deux participants (25 %) ont présenté une torsion de cheville au cours de l'épreuve (fig. 2c). La torsion de cheville était bilatérale dans 36 % des cas (15 sur 42). On note que 50 % des patients qui se sont tordu la cheville ont aussi présenté une chute. Seulement 52 % (22 patients) des cas de torsion de cheville ont consulté (fig. 2d).

Finalement, 95 participants sur 165 (58 %) ont présenté un traumatisme (chute et/ou torsion de cheville) au cours de l'épreuve finale du BAM. Parmi les 40 patients qui ont consulté à l'arrivée, 10 diagnostics ont eu un

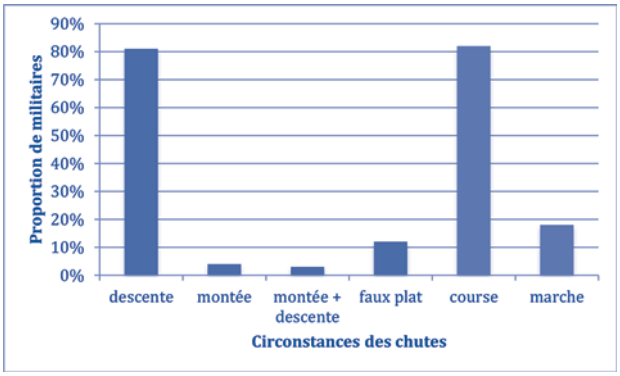


Figure 2a. Circonstances des 74 chutes de militaires suivis lors des épreuves finales du brevet d'alpinisme militaire organisées par les 13e et 27e bataillons de chasseurs alpins lors de la période estivale 2014.

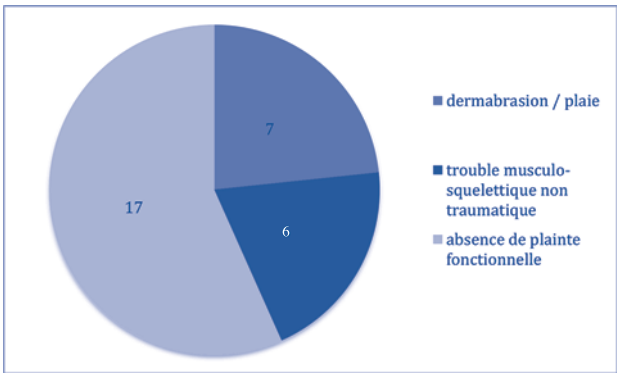


Figure 2b. Diagnostics des patients ayant présenté une chute et consulté à l'arrivée d'une épreuve finale du brevet d'alpinisme militaire organisée par les 13e et 27e bataillons de chasseurs alpins lors de la période estivale 2014.

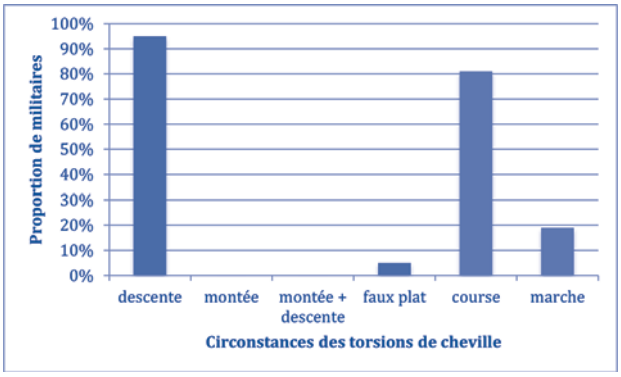


Figure 2c. Circonstances des 42 torsions de cheville de militaires suivis lors des épreuves finales du brevet d'alpinisme militaire organisées par les 13e et 27e bataillons de chasseurs alpins lors de la période estivale 2014.

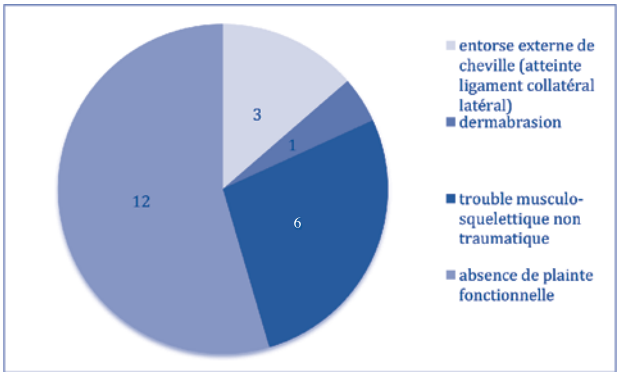


Figure 2d. Diagnostics des patients ayant présenté une torsion de cheville et consulté à l'arrivée d'une épreuve finale du brevet d'alpinisme militaire organisée par les 13e et 27e bataillons de chasseurs alpins lors de la période estivale 2014.

retentissement sur l'aptitude ; seulement 3 avaient une cause réellement traumatique.

Quarante-deux participants (25 %) se sont plaints d'une gonalgie au cours de l'épreuve (fig. 3a). La gonalgie était bilatérale dans 50 % des cas (21 patients). Vingt-six patients (62 %) ont consulté à l'arrivée (fig. 3b).

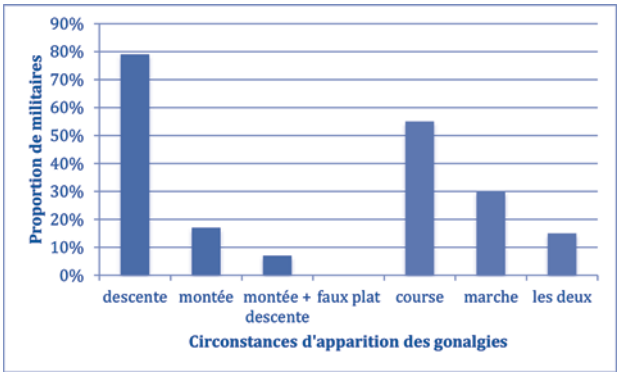


Figure 3a. Circonstances de l'apparition d'une gonalgie chez 42 militaires suivis lors des épreuves finales du brevet d'alpinisme militaire organisées par les 13e et 27e bataillons de chasseurs alpins lors de la période estivale 2014.

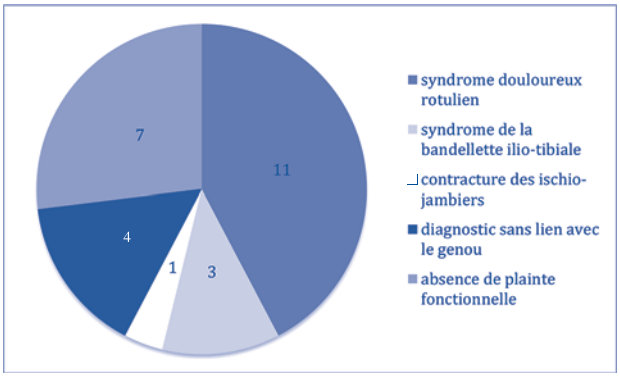


Figure 3b. Diagnostics des patients ayant présenté une gonalgie et consulté à l'arrivée d'une épreuve finale du brevet d'alpinisme militaire organisée par les 13e et 27e bataillons de chasseurs alpins lors de la période estivale 2014.

Trente-quatre participants (21 %) ont rapporté une dorso-lombalgie au cours de l'épreuve (fig. 3c). Quatorze patients (41 %) ont consulté à l'arrivée (fig. 3d).

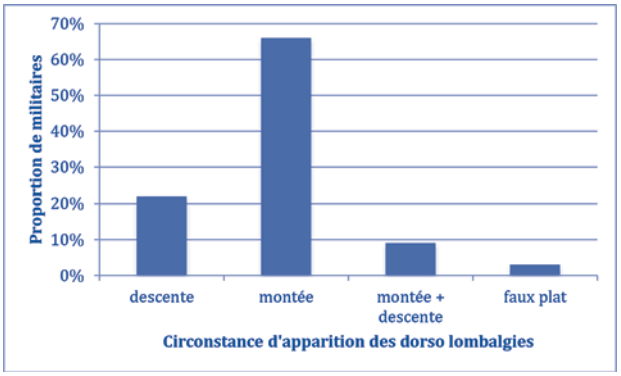


Figure 3c. Circonstances de l'apparition d'une lombo-dorsalgie chez 34 militaires suivis lors des épreuves finales du brevet d'alpinisme militaire organisées par les 13e et 27e bataillons de chasseurs alpins lors de la période estivale 2014.

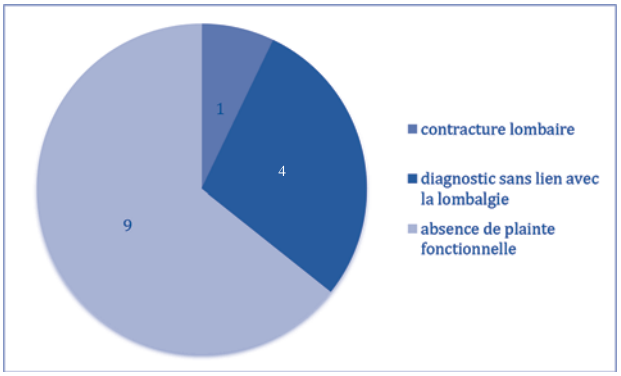


Figure 3d. Diagnostics des patients ayant présenté une dorso-lombalgie et consulté à l'arrivée d'une épreuve finale du brevet d'alpinisme militaire organisée par les 13e et 27e bataillons de chasseurs alpins lors de la période estivale 2014.

In fine, seulement 28 % des participants (47 sur 165) n'ont présenté ni traumatisme ni plainte fonctionnelle au cours de l'épreuve finale du BAM. Ce chiffre tombe à 21 % si l'on ajoute les ampoules (fig. 1).

Les tableaux III et IV présentent les résultats de l'étude cas témoins, les cas correspondants aux patients ayant subi une chute et/ou une torsion de cheville.

Discussion

Cette étude est, à notre connaissance, la première cherchant à identifier les facteurs de risque de traumatismes au cours d'épreuves chronométrées en montagne avec des charges sur le dos.

Aucun facteur de risque des chutes au cours de l'épreuve du BAM n'a été mis en évidence. Par contre, plusieurs facteurs de risque d'une torsion de cheville ont pu être identifiés :

Tableau III. Résultats de l'étude cas témoins ; les cas correspondent aux patients ayant subi une torsion de cheville.

Facteur		Cas		Témoins		p et odds ratio assorti indice dispersion
		Proportion ou moyenne	Écart type (moyenne) et/ou effectifs	Proportion ou moyenne	Écart type (moyenne) et/ou effectifs	
Facteurs socio biométriques						
Âge (années)		23,6	4 (42)	22,3	3,3 (123)	0,0501
Indice de masse corporelle (kg/m^2)		23,4	1,7 (42)	23	1,7 (123)	0,20
Femmes		5 %	2/42	5 %	6/123	1
Officiers		33 %	14/42	38 %	47/123	0,57
Niveau sportif						
Nombre d'heures de sport par semaine (h)		9,7	5,7 (40)	8,6	3 (115)	0,87
Distance parcourue au Cooper (m)		3051	214 (42)	3129	200 (118)	9.10-3
Cooper > 3100 m		31 %	13/42	53 %	62/118	0,02 0,4 [0,2-0,9]
Temps mis à la marche course (min)		42	6,8 (28)	41	7,6 (82)	0,61
Antécédents						
Entorse du genou		7 %	3/42	11 %	13/123	0,76
Rupture du ligament croisé antérieur du genou		7 %	3/42	2 %	2/121	0,11
Fracture du fémur		0 %	0/42	2 %	2/121	1
Fracture tibia péroné		2 %	1/42	0 %	0/121	0,26
Lombalgies		19 %	8/42	7 %	9/121	0,04 2,9 [0,9-9,2]
Sciatalgies		7 %	3/42	2 %	2/121	0,11
Entorse de cheville		62 %	26/42	49 %	60/123	0,15
Entorse cheville < 3 mois		21 %	9/42	10 %	12/123	0,06
Entorse cheville < 15 jours		17 %	7/42	2 %	3/123	3.10-3 7,9 [1,7-50]
Au moment du départ						
Présence d'ampoules		62 %	26/42	29 %	35/121	2.10^{-4} 4 [1,8-9]
Proprioception						
Départ	temps (s)	17,5	9,5 (38)	19	10 (119)	0,44
	indice moy	2,3	1,7 (38)	2,7	1,8 (119)	0,21
	indice = 1	55 %	21/38	45 %	53/119	0,27
	indice = 5	24 %	9/38	34 %	40/119	0,32
Sommet	temps (s)	9	7,5 (41)	11,4	9,2 (121)	0,14
	indice moy	1,4	1,1 (41)	1,7	1,4 (121)	0,20
	indice = 1	85 %	35/41	76 %	92/121	0,11
	indice = 5	7 %	3/41	15 %	18/121	0,29
Arrivée	temps (s)	12,9	10,4 (40)	14,7	10,1 (122)	0,22
	indice moy	1,9	1,6 (40)	2,1	1,6 (122)	0,30
	indice = 1	73 %	29/40	62 %	76/122	0,26
	indice = 5	18 %	7/40	21 %	26/122	0,66
Temps de parcours						
Montée (min)		140	16,9 (42)	138	15,4 (123)	0,69
Descente		55	9,1 (42)	53	8,3 (123)	0,14
Descente ≤ 50 min		29 %	12/42	40 %	49/123	0,27
Descente > 70 min		10 %	4/42	4 %	5/123	0,23
Total		195	23,3 (42)	192	21,8 (123)	0,39
Autres facteurs						
Hypoglycémie		5 %	2/41	7 %	8/121	0,73
fatigue		6	1,9 (41)	5,6	2 (118)	0,30

Moy : moyen

Tableau IV. Résultats de l'étude cas témoins ; les cas correspondent aux patients ayant subi une chute.

Facteur		Cas		Témoins		p
		Proportion ou moyenne	Écart type (moyenne) et/ou effectifs	Proportion ou moyenne	Écart type (moyenne) et/ou effectifs	
Facteurs socio biométriques						
Âge (années)		22,5	4,3 (74)	22,8	2,7 (91)	0,0507
Indice de masse corporelle (kg/m^2)		23	1,8 (74)	23,2	1,6 (91)	0,47
Femmes		3 %	2/74	7 %	6/91	0,30
Officiers		32 %	24/74	41 %	37/91	0,33
Niveau sportif						
Nombre d'heures de sport par semaine (h)		8,7	3,1 (67)	9	4,4 (88)	0,79
Distance parcourue au Cooper (m)		3114	186 (72)	3104	222 (88)	0,87
Cooper > 3100 m		46 %	33/72	48 %	42/88	0,87
Temps mis à la marche course (min)		40	1,8 (51)	42	2 (59)	0,15
Antécédents						
Entorse du genou		11 %	8/74	9 %	8/91	0,79
Rupture du ligament croisé antérieur du genou		1 %	1/72	4 %	4/91	0,38
Fracture du fémur		1 %	1/72	1 %	1/91	1
Fracture tibia péroné		1 %	1/72	0 %	0/91	0,44
Lombalgies		7 %	5/72	13 %	12/91	0,30
Sciatalgies		3 %	2/72	3 %	3/91	1
Entorse de cheville		49 %	36/74	55 %	50/91	0,44
Entorse cheville < 3 mois		11 %	8/74	14 %	13/91	0,64
Entorse cheville < 15 jours		4 %	3/74	8 %	7/91	0,51
Au moment du départ						
Présence d'ampoules		39 %	29/74	37 %	34/91	0,87
Proprioception						
Départ	temps (s)	18,1	9,6 (68)	19,1	10,1 (89)	0,65
	indice moy	2,5	1,8 (68)	2,7	1,8 (89)	0,4
	indice = 1	51 %	35/68	44 %	39/89	0,42
	indice = 5	29 %	20/68	33 %	29/89	0,73
Sommet	temps (s)	10	8,7 (72)	11,4	8,9 (90)	0,14
	indice moy	1,6	1,3 (72)	1,7	1,4 (90)	0,59
	indice = 1	80 %	58/72	77 %	69/90	0,57
	indice =5	13 %	9/72	24 %	22/90	0,07
Arrivée	temps (s)	13,3	10,3 (72)	15,1	10,1 (90)	0,18
	indice moy	2	1,7 (72)	2	1,6 (90)	0,85
	indice = 1	67 %	48/72	63 %	57/90	0,74
	indice = 5	22 %	16/72	19 %	17/90	0,32
Temps de parcours						
Montée (min)		138	15,5 (74)	139	16 (91)	0,66
Descente		54	8,8 (74)	53	8,3 (91)	0,42
Descente ≤ 50 min		31 %	23/74	42 %	38/91	0,19
Descente > 70 min		8 %	6/74	3 %	3/91	0,3
Total		192	22,4 (74)	193	22,1 (91)	0,98
Autres facteurs						
Hypoglycémie		7 %	5/72	6 %	5/90	0,75
fatigue		5,9	1,9 (70)	5,5	2,1 (89)	0,22

Moy : moyen

– le fait d'avoir un antécédent récent (moins de quinze jours) d'entorse de la cheville ;

– le fait d'avoir au moins une ampoule au départ de l'épreuve.

Par ailleurs, le fait de réaliser une distance supérieure à 3 100 m au test de Cooper constitue un facteur protecteur des torsions de cheville.

Le taux d'événements traumatiques rapportés par les patients au cours des épreuves du BAM évaluées apparaît très élevé : 58 % de torsion de cheville et/ou chute. On peut regretter que seulement 42 % de ces patients aient consulté à l'arrivée malgré la présence d'un médecin et l'incitation faite au départ de consulter si un événement traumatique devait survenir. En même temps, seulement trois diagnostics ayant une cause traumatique ont eu un retentissement en termes d'aptitude. Ainsi, la grande majorité des chutes rapportées n'a probablement été que de simples glissades. De même, les torsions de cheville semblent, dans la grande majorité des cas, ne pas avoir été responsables d'entorses cliniquement confirmées.

On peut faire l'hypothèse que parmi les patients qui n'ont pas consulté, la répartition des lésions doit être, au pire équivalente, probablement pas plus péjorative et au mieux ne retrouver aucun diagnostic impactant l'aptitude. Toutefois, chaque glissade, chaque chute, chaque torsion de cheville revêt un potentiel traumatique qu'il ne faudrait pas complètement sous-estimer. D'ailleurs, 3 patients sur 165 (1,8 %) avec un diagnostic de traumatisme ayant un retentissement opérationnel n'est pas anodin à l'échelle d'un bataillon (18 ‰) : cela représente presque deux groupes de combat. Alors certes, il faut nuancer ce chiffre car l'on ne fait pas des épreuves chronométrées chaque jour et la prise de risque n'est peut-être pas aussi importante chaque jour (2). En même temps, le combat réel peut faire intervenir des phases de sprint ; le poids des différents effets de combat peut largement dépasser les 14 kg des épreuves du BAM ; la vision nocturne, du fait des optiques actuellement en dotation (OB-70) dans les forces conventionnelles, induit une perte du sens du relief et pourrait majorer

le risque d'entorse de cheville lors d'infiltrations nocturnes. Finalement 1,8 % événements traumatiques avec une répercussion opérationnelle au cours d'une épreuve de BAM, cela est majeur, d'autant plus qu'il faut y ajouter les troubles musculo-squelettiques dont l'intensité peut nécessiter une inaptitude temporaire (syndromes douloureux rotuliens, syndromes de la bandelette ilio-tibiale, lombo-sciatalgies,…).

Les statistiques descriptives révèlent que la grande majorité des événements traumatiques surviennent à la descente (81 % des chutes et 95 % des torsions de cheville) et en courant (82 % des chutes et 81 % des torsions de cheville). Cela est concordant avec l'idée que l'altération de la proprioception pourrait être le facteur causal de ces événements traumatiques. En effet, la proprioception est plus sollicitée à la course qu'à la marche et en descente. La kinesthésie de la cheville semble d'avantage altérée à la descente qu'à la montée (3). Pour autant, les résultats de l'analyse cas témoins ne retrouvent ni le temps de descente, ni l'indice de proprioception comme facteur de risque de traumatisme dans notre série. Ainsi, un temps de descente inférieur ou égal à 50 minutes ne constitue pas un facteur de risque de lésions et un temps de descente supérieur à 70 minutes ne semble pas être un facteur protecteur. Alors, ces résultats sont très relatifs car en réalité, la grande majorité des participants a mis entre 50 et 70 minutes à la descente si bien que les résultats présentés peuvent manquer de puissance. Cela peut aussi être expliqué par le fait que le temps mis à la descente par les cas est potentiellement biaisé, allongé, par la douleur liée à la chute et/ou à la torsion de cheville. Ainsi, on ne peut pas exclure que les cas étaient sur des bases de temps nettement inférieur à 50 minutes en début de descente mais que l'événement traumatique les a par la suite ralentis, et ce de manière indépendante du diagnostic final d'ailleurs. Pour évaluer la course comme réel facteur de risque de traumatisme à la descente en montagne, un autre choix de design aurait été plus approprié, par exemple la comparaison de deux cohortes contrôlées randomisées sur le fait de courir ou pas à la descente. Si un tel design avait été imaginé, il ne permettait d'étudier qu'un seul critère à la fois. En outre, les bureaux montagne se sont opposés à un tel design au cours de l'épreuve finale du BAM. Cette étude pourrait néanmoins être menée lors d'une autre course de préparation à l'épreuve.

Les résultats présentés n'ont pas permis de prouver qu'un indice de proprioception bas au départ était un facteur de risque de traumatisme (ou un indice élevé un facteur protecteur). Si le nombre de sujets à inclure dans l'étude cas témoins a été calculé en utilisant ce facteur de risque comme critère de jugement principal, la puissance n'était que de 80 %. De plus, si nos résultats remettent en cause l'altération de la proprioception comme facteur de risque des chutes ou torsions de cheville au cours des épreuves du BAM, c'est peut-être le test de proprioception lui-même qu'il faut remettre en cause. Ainsi, nous n'avons pas trouvé dans la littérature internationale de validation prospective de ce test clinique simple d'équilibre en appui monopodal et de ses valeurs seuils. Aussi séduisant qu'il puisse paraître en consultation pour suivre les patients lors de la rééducation des entorses de cheville par exemple, nous proposons que de futures recherches s'intéressent d'abord à sa performance en comparaison à un test de référence de l'évaluation de la proprioception, puis, secondairement, à sa pertinence clinique pour le suivi des entorses de cheville ou pour prédire le risque d'entorse en montagne. À côté des questions soulevées par le test sélectionné pour cette étude de terrain, il faut reconnaître que les données de la littérature concernant l'altération de la proprioception comme facteur de risque des entorses de cheville ne sont pas univoques (4-7), probablement du fait qu'un seul test ne suffit souvent pas pour évaluer la proprioception et le risque d'entorse mais que des tests statiques et dynamiques doivent être utilisés (8). De ce point de vue, le « *Star excursion balance test* » (SEBT) (9-12) ou l'« *agility T-test* » (13, 14) apparaissent séduisants. Ils n'ont cependant pas, à notre connaissance, été validés prospectivement pour prédire le risque d'entorse de cheville. D'une manière générale, c'est un peu la critique que l'on peut faire à beaucoup d'études utilisant des tests de proprioception, de stabilité posturale, de kinesthésie, qu'ils soient statiques ou dynamiques : peu d'entre elles cherchent à évaluer la performance de ces tests pour prédire un événement traumatique comme une entorse de cheville. Au total, l'utilité et la pertinence clinique de nombreux tests décrits dans la littérature sont discutables. Pour autant, une méta-analyse récente semble retrouver un intérêt au travail de la proprioception pour prévenir les entorses de cheville, particulièrement en prévention secondaire (15). Les résultats en prévention primaire semblent moins consistants puisque la méta-analyse n'a retrouvé que deux études pour lesquelles les résultats n'étaient pas statistiquement significatifs (15).

Seules les entorses de cheville de moins de quinze jours ont été retrouvées comme facteur de risque de récidive de torsion de cheville lors des épreuves du BAM. Les effectifs de patients avec des entorses datant de plus de quinze jours mais de moins de trois mois sont faibles dans notre série si bien qu'il est difficile d'avoir une idée réelle de leur impact sur le risque d'événement traumatique au cours du BAM. Les données de la littérature semblent confirmer le fait qu'une précédente entorse de cheville soit retrouvée comme un déterminant de récidive, particulièrement en cas de rééducation inappropriée (2, 16-18) ; il faut néanmoins noter la faible qualité des études qui rapportent ces résultats. De manière intéressante, certains auteurs n'ont pas retrouvé d'altération de la stabilité posturale à 3,6 mois d'une entorse de cheville (sans rupture ligamentaire) chez des athlètes pratiquant le hockey par rapport à des volontaires sains (19).

Les autres antécédents traumatiques des membres inférieurs étudiés (entorse du genou, rupture du ligament croisé antérieur, fracture du fémur, du tibia ou de la fibula) n'ont pas été retrouvés comme facteur de risque d'événements traumatiques au cours des épreuves de BAM. La première raison pour expliquer cela est d'abord un manque possible de puissance étant donné la faible proportion de militaires avec de tels antécédents

dans notre échantillon. La seconde explication pourrait être liée au fait que les inaptitudes et la rééducation suite à de tels événements sont mieux respectées qu'après une entorse de cheville trop souvent banalisée.

Nous avons observé une différence entre les cas et les témoins concernant les antécédents de lombalgie mais l'OR associé à ce facteur de risque de torsion de cheville comprend la valeur « un » limitant la portée de ce résultat. L'association entre un antécédent de lombalgie et le risque d'entorse de la cheville n'a pas été étudiée à notre connaissance dans la littérature. On pourrait imaginer que des lombalgies chroniques modifient la statique et aient un retentissement sur la proprioception, augmentant le risque de torsion de cheville en charge et en montagne. Cette hypothèse mérite d'être testée.

La présence d'ampoules est un facteur de risque de torsion de la cheville. À notre connaissance, il n'existe aucune étude faisant le lien entre ampoules et torsion de cheville. Pour autant, cela peut facilement s'expliquer par le fait que les ampoules vont modifier les appuis au sol et donc la stabilité avec pour conséquence une majoration du risque de torsion de cheville. Notons que dans cette étude, la morphologie des pieds n'a pas été étudiée. Il pourrait exister un biais de confusion entre la morphologie des pieds, la présence d'ampoules et le risque de torsion de cheville. Toutefois, un lien entre un certain morphotype de pied et le risque d'entorse de cheville ne semble pas retrouvé dans la littérature (20) même si les données de celle-ci sont limitées.

La fatigue évaluée sur échelle ordinale discrète de zéro à dix, certes non validée, ne ressort pas comme un facteur de risque de chute ou torsion de cheville dans ce travail alors que celle-ci est probablement un déterminant important de l'altération de la proprioception lors de la course en montagne (21). Une étude sur des ultra marathoniens en montagne a en effet permis de mettre en évidence que, plus que la privation de sommeil, la fatigue musculaire était probablement responsable d'une altération du contrôle postural (21). Cette fatigue musculaire était prédominante sur les fléchisseurs plantaires par rapport aux extenseurs, d'où un déséquilibre entre antagonistes expliquant les perturbations posturales antéropostérieures. Ces résultats avaient déjà été montrés par Fourchet, et al. sur des courses moins longues (5h) (22). Enfin, il semblerait que la fatigue occasionnée au niveau des muscles adducteurs et abducteurs de la hanche soit responsable d'une altération du contrôle postural dans le plan sagittal (21, 23, 24).

Nous avions aussi cherché à évaluer l'hypoglycémie (définition clinique) comme facteur de risque traumatique au cours des épreuves de BAM en imaginant qu'elle pourrait être un déterminant « métabolique » de la proprioception et de son altération, mais aucune différence entre les cas et les témoins n'a été retrouvée. Il est possible que ce facteur ne ressorte pas du fait d'un manque de puissance.

La faible proportion de femme dans notre étude cas témoins ne permet pas de faire ressortir le sexe comme un facteur de risque des entorses de la cheville alors que ce facteur semble être retrouvé dans la littérature concernant d'autres sports (25). En même temps, la proportion de femmes dans notre échantillon (5 %) est proche de celui observé dans notre population cible, les troupes de montagne. Nous n'avons pas retrouvé de différence statistiquement significative entre cas et témoins en ce qui concerne l'âge (à la limite de la significativité pour le risque de torsion de cheville) et l'indice de masse corporelle. Ces résultats peuvent en partie être expliqués par la faible hétérogénéité d'âges ou d'IMC observés dans notre série. Néanmoins, il faut reconnaître que, concernant l'IMC, les résultats de précédentes études sont assez hétérogènes (2).

Puisque le poids du sac est standardisé pour les épreuves du BAM, aucune différence n'a été observée entre cas et témoins concernant la charge emportée (résultats non présentés). Néanmoins, on peut se poser la question de l'impact des charges au combat en montagne sur les capacités de proprioception, d'équilibre postural et *in fine* sur le risque de traumatisme des membres inférieurs. La question du poids porté par les militaires n'est pas récente (26). Cependant, les études semblent s'être principalement intéressées au retentissement en termes de fatigue musculaire (27), de biomécanique (28-30) ou de coût métabolique (31, 32) mais, à notre connaissance, il n'existe pas d'étude chez le militaire concernant le retentissement sur la proprioception à proprement parlé ou sur le risque d'entorse de la cheville. Par contre, une étude a confirmé l'intérêt des bâtons sur les articulations des membres inférieurs lors du port de charges à la descente (33).

Le fait d'être particulièrement performant au test de Cooper (plus de 3 100 m) semble être un facteur protecteur du risque de torsion de cheville dans notre étude. Notons que les résultats concernant la marche course ne retrouvent pas de différence statistiquement significative entre les cas et les témoins, mais il y avait beaucoup de données manquantes concernant ce paramètre dans notre recueil de données. Enfin, il n'y avait pas de lien entre le nombre d'heures de sport pratiqué par semaine et le risque de torsion de cheville. Ces résultats pourraient laisser penser qu'un certain type d'entraînement serait plus protecteur qu'un autre : il est probable que passer des heures à soulever de la fonte à la salle de musculation ne préviendra pas le risque de torsion de cheville à l'inverse de la pratique des sports d'endurance. Cette donnée est confirmée par les données de la littérature qui retrouvent notamment un facteur protecteur du niveau d'endurance sur le risque d'entorse de la cheville (4).

Notre étude comporte de multiples limites et tous les biais des études cas témoins. Nous avons à plusieurs reprises signalé la faible puissance de ce travail en raison des faibles effectifs de nos échantillons.

Les biais de sélection sont essentiellement liés à notre population source (population de militaire) qui interdit toute généralisation de ces résultats à la population civile. En outre, l'inclusion de 61 officiers non issus de la BIM constitue un important biais de sélection (notons que les résultats non présentés de l'analyse stratifiée sur le grade ne remettent pas en cause les conclusions). Concernant le reste des militaires, on peut estimer que les biais de

sélection ont été limités par un recrutement exhaustif de tous les participants au BAM dans la période d'étude. Néanmoins, il faut concéder que l'étude n'a concerné que les sites des 13e et 27e BCA et que certains BAM au 27e BCA n'ont pas fait l'objet d'un recueil de données par manque de personnel.

Les biais de classement sont potentiellement nombreux malgré une tentative de présenter des définitions simples pour les cas. On peut regretter que l'on ait analysé tous les cas de torsion de cheville ou de chute et pas des cas sélectionnés en fonction de diagnostics médicaux. Cela limite la pertinence clinique de ce travail, mais cela rend possible une vision d'ensemble qu'il n'aurait pas été possible d'obtenir avec une loupe. On peut aussi imaginer que de simples cas de torsion de cheville auraient été de véritables entorses de cheville avec 20 kg de plus sur le dos ou de nuit avec une limitation du contrôle visuel pour corriger l'équilibre. Les biais de mémorisation ont été limités par un recrutement incident des cas et des témoins et par le fait que les questionnaires ont été renseignés sur place. Si cela est vrai pour les événements qui se sont déroulés au cours de l'épreuve, cela l'est évidemment moins en ce qui concerne les différents antécédents interrogés. Ainsi, il pourrait exister un biais de mémorisation concernant les antécédents ce qui pourrait expliquer que les cas rapportent plus souvent un antécédent d'entorse de cheville que les témoins par exemple.

Aucune étude cas témoins ne peut exclure la présence de biais de confusion. Le recueil de données a essayé d'être relativement exhaustif concernant le nombre de critères étudiés. Cependant, si les bâtons étaient autorisés, ce facteur n'a pas été étudié. Notre expérience sur le parcours témoigne que la grande majorité des patients pour ne pas dire tous utilisent des bâtons. De la même façon, nous n'avons pas procédé à un appariement des cas et de témoins sur le jour de l'épreuve et le parcours utilisé ce qui peut laisser suspecter un effet « tracé » ou un effet lié à la météo (parcours plus glissant en cas de précipitation le jour de l'épreuve par exemple). Enfin, un contrôle *a posteriori* des éventuels biais de confusion aurait pu être réalisé.

Conclusion

En conclusion, cette étude cas témoins permet d'établir des conseils simples et pratiques pour le commandement et les professionnels de santé impliqués dans le suivi des troupes de montage :

– la rééducation des entorses de cheville doit être davantage contrôlée avant de laisser des militaires s'engager sur des courses en montagne ; il sera de ce point de vue intéressant d'évaluer des outils de suivi clinique afin que nous puissions décider de la reprise sportive avec plus d'arguments objectifs ;

– l'hygiène des pieds n'a probablement pas qu'un intérêt fonctionnel ou local (douleur, risque septique) mais est un facteur de risque de torsion de cheville en montagne : la prévention des ampoules doit donc être renforcée ;

– les individus faisant plus de 3 100 m au test Cooper semblent plus protégés que les autres concernant le risque de torsion de cheville en montagne : l'entraînement en endurance doit donc être valorisé et poursuivi.

Ce travail a également permis de remettre en cause la pertinence du test de proprioception en appui monopodal décrit plus haut. Celui-ci devrait bénéficier d'évaluations plus approfondies avant que son utilisation ne puisse être validée en consultation de traumatologie du sport en montagne. Enfin, la discussion a permis d'ouvrir ce travail sur différentes perspectives de recherche concernant l'évaluation du militaire évoluant en montagne.

Remerciements : les auteurs remercient l'ensemble des participants de l'étude particulièrement ceux de l'École spéciale militaire de Saint-Cyr, les bureaux montagne des 13e et 27e BCA, l'ensemble des personnels paramédicaux qui ont participé au recueil de données sur le terrain.

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

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Goldberg M, Chevalier A, Leclerc A, Lesieur S, Ricordeau P, Salmi R, et al. (ADELF Association des épidémiologistes de langues française, ADEREST Association pour le développement des études et recherche en épidémiologie sur la santé au travail, AEEMA Association pour l'étude de l'épidémiologie de maladies animales, EPITER Association pour le développement de l'épidémiologie de terrain). Recommandations de déontologie et bonnes pratiques en épidémiologie. Bordeaux ; 2007.
2. Murphy DF, Connolly DAJ, Beynnon BD. Risk factors for lower extremity injury : a review of the literature. Br J Sports Med. 2003 ; 37 : 13-29.
3. Bottoni G, Heinrich D, Kofler P, Hasler M, Nachbauer W. The effect of uphill and downhill walking on joint position sense. J Sport Rehabil. 2014 [Epub ahead of print].
4. Willems TM, Witvrouw E, Delbaere E, Mahieu N, De Bourdeaudhuij I, De Clercq D. sprains in male subject – a prospective study. Am J Sports Med. 2005 ; 33 : 415-23.
5. Beynnon BD, Renström PA, Alosa DM, Baumhauer JF, Vacek PM. Ankle ligament injury risk factors : a prospective study of college athletes. J Orthop Res. 2001 ; 19 : 213-20.
6. McGuine TA, Greene JJ, Best T, Leverson G. Balance as a predictor of ankle injuries in high school basketball players. Clin J Sport Med. 2000 ; 10 : 239-44.
7. Taimela S, Kujala UM, Osterman K. Intrinsic risk factors and athletic injuries. Sports Med. 1990 ; 9 : 205-15.
8. Clanton TI, Matheny LM, Jarvis HC, Jeronimus AB. Return to play in athletes following ankle injuries. Sports Health. 2012 ; 4 : 471-4.
9. Plisky PJ, Rauh MJ, Kaminski TW, Underwood FB. Star Excursion Balance Test as a predictor of lower injury in high school basketball players. J Orthop Sports Phys Ther. 2006 ; 36 : 911-9.
10. De la Motte S, Arnold BL, Ross SE. Trunk-rotation differences at maximal reach of the Star Excursion Balance Test in participants with chronic ankle instability. J Athl Train 2014 [Epub ahead of print].
11. Bastien M, Moffet H, Bouyer LJ, Perron M, Hébert LJ, Leblond J. Alteration in global motor strategy following lateral ankle sprain. BMC Musculoskelet Disord. 2014 ; 15 : 436.
12. Bastien M, Moffet H, Bouyer LJ, Perron M, Hébert LJ, Leblond J. Concurrent and discriminant validity of the Star Excursion Balance Test for military personnel with lateral ankle sprain. J Sport Rehabil. 2014 ; 23:44-55.
13. Salinerao JJ, Abian-Vicen J, Del Coso J, Gonzalez-Millan C. The influence of ankle dorsiflexion on jumping capacity and the modified agility T-test performance. Eur J Sport Sci. 2014 ; 14 : 137-43.
14. Raya MA, Gailey RS, Gaunaurd IA, Jayne DM, Campbell SM, Gagne E, et al. Comparison of three agility tests with male service members : Edgren Side Step Test, T-Test and Illinois Agility Test. J Rehabil Res Dev. 2013 ; 50 : 951-60
15. Schiftan GS, Ross LA, Hahne AJ. The effectiveness of proprioceptive training in preventing ankle sprains in sporting populations : a systematic review and meta-analysis. J Sci Med Sport. 2014 [Epub ahead of print].
16. Fulton J, Wright K, Kelly M, Zebrosky B, Zanis M, Drvol C, et al. Injury risk is altered by previous injury : a systematic review of the literature and presentation of causative neuromuscular factors. Int J Sports Phys Ther. 2014 ; 9 : 583-95.
17. Malliaropoulos N, Ntessalen M, Papacostas E, Longo UG, Maffulli N. Reinjury after acute lateral ankle sprains in elite track and field athletes. Am J Sports Med. 2009 ; 37 : 1755-61.
18. Pefanis N, Karagounis P, Tsiganos G, Armenis E, Baltopoulos P. Tibiofemoral angle and its relation to ankle sprain occurrence. Foot Ankle Spec. 2009 ; 2 : 271-6.
19. Huurmink A, Fransz DP, Kingam I, Verhagen EA, Van Dieën JH. Postural stability and ankle sprain history in athletes compared to uninjured controls. Clin Biomech. 2014 ; 29 : 183-8.
20. Neal BS, Griffiths IB, Dowling GJ, Murley GS, Munteanu SE, Franettovich Smith MM et al. Foot posture as a risk factor for lower limb overuse injury : a systematic review and meta-analysis. J Foot Ankle Res. 2014 ; 19:55.
21. Degache F, Van Zaen J, Oehen L, Guex K, Trabucchi P, Millet G. Alterations in postural control during the World's most challenging Mountain Ultra-Marathon. PLoS ONE. 2014 ; 9 : e84554.
22. Fourchet F, Millet GP, Tomazin K, Guex K, Nosaka K, Edouard P et al. Effects of a 5-h hilly running on ankle plantar and dorsal flexor force and fatigability. Eur J Appl Physiol. 2012 ; 112 : 2645-52.
23. Gribble PA, Hertel J. Effect of hip and ankle muscle fatigue on unipedal postural control. J Electromyogr Kinesiol. 2004 ; 14 : 641-6.
24. Gribble PA, Hertel J. Effect of lower-extremity muscle fatigue on postural control. Arch Phys Med Rehabil. 2004 ; 85 : 589-92.
25. Doherty C, Delahunt E, Caulfield B, Hertel J, Ryan J, Bleakley C. The incidence and prevalence of ankle sprain injury : a systematic review and meta-analysis of prospective epidemiological studies. Sports Med. 2014 ; 44 : 123-40.
26. Knapik JJ, Reynolds KL, Harman E. Soldier load carriage : historical, physiological, biomechanical, and medical aspects. Mil Med. 2004 ; 169 : 45-56.
27. Wang H, Ozimek E, Leib d, Dugan EL. The effects of load carriage and muscle fatigue on lower-extremity joints mechanics. Res Q Exerc Sport. 2013 ; 84 : 305-12.
28. Caron RR, Wagenaar RC, Lewis CL, Saltzman E, Holt KG. Center of mass trajectory and orientation to ankle and knee in sagittal plane is maintained with forward lean when backpack load changes during treadmill walking. J Biomech. 2013 ; 46 : 70-6.
29. Majumdar D, Pal MS, Majumdar D. Effects of military load carriage on kinematics of gait. Ergonomics. 2010 ; 53 : 782-91.
30. Birell SA, Haslam RA. The effect of military load carriage on 3-D lower limb kinematics and spatiotemporal parameters. Ergonomics. 2009 ; 52 : 1298-304.
31. Mooney LM, Rouse EJ, Herr HM. Autonomous exoskeleton reduces metabolic cost of walking during load carriage. J Neuroeng Rehabil. 2014 ; 11 : 80.
32. Huang TW, Kuo AD. Mechanics and energetics of load carriage during human walking. J Exp Biol. 2014 ; 217 : 605-13.
33. Bohne M, Abendroth-Smith J. Effects of hiking downhill using trekking poles while carrying external loads. Med Sci Sports Exerc. 2007 ; 39 : 177-83.