

Reproductibilité et suivi longitudinal de facteurs de risques de blessures en ski alpin junior : étude pilote

Reproducibility and longitudinal follow-up of risk factors for injuries in junior alpine skiing: pilot study

CAROLINE PRINCE (PT, MSc)^{1,2}, PIERRE SAMOZINO (PhD)¹, PASCAL EDOUARD (MD, PhD)^{3,4}

- 1 Laboratoire Interuniversitaire de Biologie de la Motricité, (EA 7424), Univ Savoie Mont Blanc, 73000 Chambéry, France
- 2 Société Française des Masseurs Kinésithérapeute du Sport, SFMKS, France
- 3 Unité de médecine du sport, Service de physiologie clinique et de l'exercice, CHU de Saint-Etienne, 42055 Saint-Etienne, France
- 4 Laboratoire Interuniversitaire de Biologie de la Motricité (EA 7424), Université de Lyon, Université Jean-Monnet, 42100 Saint-Etienne, France

Les auteurs attestent ne pas avoir de sources de financement et déclarent n'avoir aucun conflits d'intérêts dans la réalisation de ce travail.

Article reçu en mars 2019; accepté en octobre 2019.

Keywords

Alpine ski, injury prevention, longitudinal follow-up.

Mots clés

Ski alpin, prévention des blessures, suivi longitudinal.

Abstract

Introduction: Musculoskeletal monitoring is sometimes used in the framework of injury prevention and to identify subjects at risk of injuries. The objective was to determine a «variation profile» musculoskeletal parameters that are potentially involved in the occurrence of injuries in young alpine skiers.

Method: Five elite alpine skiers (17.6±0.5 years old) completed monthly assessments during the 2017-2018 season. These evaluations targeted, using specific tests, the dynamic postural performance of the lower limb, the extensibility of the hamstrings, and the ankle dorsiflexion. The analysis consisted of 1) an evaluation of the reproducibility of the tests during a test-retest to establish the standard measurement error (SEM %) and the minimum detectable change (MDC %) and 2) an individual and temporal quantification of parameters' variation by comparing the variation with the measurement error and minimum detectable change.

Résumé

Introduction: Le «suivi musculo-squelettique» est parfois utilisé dans une logique de prévention des blessures pour identifier les sujets à risque de blessures. L'objectif de ce travail était d'établir un profil de variabilité individuelle de paramètres musculo-squelettique potentiellement impliqués dans la survenue de blessures chez le jeune skieur alpin.

Méthode: Cinq skieuses alpines élite (17,6±0,5 ans) ont réalisé des évaluations mensuelles au cours de la saison 2017-2018. Ces évaluations ciblaient la performance posturale dynamique du membre inférieur, l'extensibilité des muscles ischio-jambiers, et la dorsiflexion de cheville par des tests spécifiques. L'analyse a consisté en 1) une évaluation de la reproductibilité des tests établissant l'erreur de mesure standard (SEm%) et le changement minimum détectable (MDC%), 2) une quantification de la variation individuelle et temporelle des paramètres avec comparaison de cette variation avec l'erreur de mesure.

Results: Relative reproducibility was high for all tests. The SEM% ranged from 0.9% to 2.7% and the MDC% ranged from 2.5% to 7.5%. The majority of the monthly measurement changes were greater than the MDC% and the variations were different between subjects.

Discussion et conclusion: Musculoskeletal parameters potentially involved in the occurrence of injuries in young alpine skiers varied individually and temporally over the season with greater variations than those related to measurement error. This pilot study facilitated the implementation of an initial methodology useful for the identification and monitoring of athletes at risk of injury.

Résultats: La reproductibilité relative était haute pour l'ensemble des tests. Les SEM% variaient de 0,9% à 2,7% et les MDC% de 2,5% à 7,5%. La majorité des variations de mesures étaient supérieures aux MDC% et étaient différentes entre sujets.

Discussion et conclusion: Les paramètres musculo-squelettique potentiellement impliqués dans la survenue de blessures chez le jeune skieur alpin varient individuellement et temporellement au cours d'une saison avec des variations plus importantes que celles liées à l'erreur de mesure. Cette étude pilote met en place une première partie de méthodologie, utile à l'identification et au suivi des athlètes à risques de blessure.



1. Introduction

Les évaluations dites de « suivi » musculo-squelettique réalisées auprès de population de sportifs sont parfois utilisées dans une logique de prévention des blessures pour identifier les sujets à risque de blessures. Chez le jeune skieur alpin de compétition, jusqu'à 75% des blessures concernaient le membre inférieur⁽¹⁻³⁾, ainsi les screening musculo-squelettique des membres inférieurs sont fréquemment utilisés^(4,5). Ces screening ont permis, par exemple, de mettre en évidence que les sujets ayant une asymétrie de force entre les muscles fléchisseurs et extenseurs du tronc⁽⁴⁾ et une asymétrie de performance droite-gauche de plus de 10 cm lors de la réalisation d'un one leg hop test⁽⁵⁾ pourraient être considérés plus à risque de lésion du ligament croisé antérieur (LCA).

Pour identifier les sujets à risque de lésion, les études précitées utilisaient des évaluations de paramètres musculo-squelettiques réalisées en début de saison (évaluation de présaison). L'objectif étant, en présaison, d'évaluer un paramètre identifié comme potentiel facteur de risque pour un groupe d'athlète. De suivre l'apparition de lésions dans ce groupe pendant une saison, et de comparer la valeur du facteur évalué entre le groupe d'athlètes blessés et non blessés. Ceci afin d'établir des valeurs seuil en dessous desquelles les athlètes seraient considérés à risque de lésion⁽⁶⁾. Cette méthode d'évaluation a cependant été remise en question⁽⁶⁾. En effet, au cours d'une saison sportive, la demande biomécanique et physiologique à laquelle un athlète est soumis varie et des adaptations positives ou négatives peuvent survenir avec l'entraînement ou la compétition. Ainsi, des paramètres tels que la force musculaire, l'endurance, l'équilibre ou la souplesse peuvent évoluer. Les facteurs de risques de blessure, intrinsèquement liés à ces paramètres, sont donc potentiellement touchés par cette variation⁽⁷⁾. Utiliser une valeur unique de ces paramètres par une évaluation de présaison pour dépister (et prédire) les athlètes à risque de blessure au cours de la saison à venir revient donc à ne pas tenir compte de cette potentielle variation temporelle. Au-delà de cet aspect temporel, les valeurs seuils proposées dans ces études^(4,5) sont les mêmes pour l'ensemble du groupe d'athlète. Ceci revient donc à ne pas tenir compte d'une éventuelle variabilité inter-individuelle.

Pour répondre à ces problématiques, en pratique, une surveillance régulière (intra-athlète) de différents facteurs intrin-

sèques à l'athlète a été proposée^(7,8). Cette surveillance qui renseigne sur la condition de l'athlète régulièrement, permettrait: i) de connaître la variation normale et individuelle des facteurs au cours de la saison sportive, et ii) de surveiller une éventuelle modification de ces facteurs en dehors de la variation « normale » ceci en particulier en amont de la blessure^(8,9). Cependant, le faible nombre d'études utilisant et validant les bénéfices de cette approche fait que celle-ci est encore peu utilisée⁽¹⁰⁾, et qu'elle n'a pas, à notre connaissance, été mise en place dans le suivi et l'identification des facteurs de risques de blessures chez le jeune skieur alpin.

Chez le jeune skieur alpin, les lésions du ligament croisé antérieur, les lésions musculaires au niveau des cuisses (muscles quadriceps et ischio-jambiers) et les entorses du ligament collatéral latéral de cheville sont les blessures les plus fréquentes^(1-3,11). Des facteurs potentiellement en lien avec ces lésions ont été identifiés. Ceux-ci pourraient être, la performance posturale dynamique du membre inférieur⁽¹²⁾, la dorsiflexion de cheville⁽¹³⁾ et l'extensibilité des ischio-jambiers⁽¹⁴⁾. En effet, la performance posturale dynamique du membre inférieur évaluée grâce au star excursion balance test (SEBT) a permis de montrer qu'une différence de performance lors du test de plus de 4 cm entre les deux jambes pourrait être considérée comme un facteur prédictif du risque de lésion de LCA⁽¹²⁾. De même, une diminution de la dorsiflexion de cheville évaluée grâce au weight bearing lunge test (WBTL) serait un facteur prédictif du risque d'entorse du ligament latérale de cheville⁽¹³⁾, tandis qu'une diminution de l'extensibilité des muscles ischio-jambiers évaluée grâce au sit and reach test (SRT) serait un facteur prédictif du risque de lésion des muscles ischio-jambiers⁽¹⁴⁾.

Dans ce contexte, l'objectif de ce travail consiste à déterminer un « profil de variation normal » individuel de paramètres potentiellement impliqués dans la survenue de blessures chez le jeune skieur alpin au cours d'une saison. Notre hypothèse était que les paramètres musculo-squelettique, intrinsèques au jeune skieur alpin tels que la performance posturale dynamique du membre inférieur, la dorsiflexion de cheville et l'extensibilité des muscles ischio-jambiers variaient naturellement et de façon individuelle au cours d'une saison, et qu'il était intéressant de suivre cette variation dans le temps afin

d'établir un «profil de variation normal» afin de pouvoir, au-delà de cette étude, repérer les modifications «anormales» et potentiellement prédictives de blessure de ces facteurs de risque.

2. Méthode

Une étude prospective de suivi de jeunes skieuses alpines a été réalisée. Les participantes ont bénéficié tous les mois d'évaluations de la performance posturale dynamique du membre inférieur réalisées au moyen du star excursion balance test modifié (SEBT), de l'extensibilité des muscles ischio-jambiers par le sit and reach test (SRT) et de la dorsiflexion de cheville par le weight bearing lunge test (WBLT).

Participantes

Les skieuses ont été recrutées au sein du comité Mont Blanc dans la section ski alpin élite. Les critères d'inclusion dans l'étude étaient d'être licencié à la Fédération Française de Ski (FFS) et d'être inscrit au sein du comité Mont Blanc dans la section ski alpin élite pour la période de l'étude. De plus il fallait avoir réalisé les deux sessions d'évaluations permettant l'analyse de la reproductibilité des tests, ainsi qu'avoir réalisé pour chaque test un minimum de trois évaluations au cours de la saison. Le fait d'avoir été blessé aux membres inférieurs ou au rachis dans les 4 mois précédant l'étude constituait un critère d'exclusion. Après avoir été informé des tenants et aboutissants de l'étude, les skieuses (et leurs parents si elles étaient mineures) ont donné leur accord de participation à l'étude par la signature d'un formulaire de consentement. Au final, cinq filles, (âge moyen 17,6 ans \pm 0,54 ans, poids moyen 57,2kg \pm 5,2kg, taille moyenne 164,2 \pm 4,8cm), skieuses alpines de compétition ont pu être admises dans l'étude.

Procédure

Neuf sessions mensuelles d'évaluations ont eu lieu étalées sur la période de décembre 2017 à août 2018, pendant les journées de préparation physique ou de récupération. Chaque session d'évaluations consistait pour les sujets à réaliser un star excursion balance test modifié (SEBT), un sit and reach test (SRT) et un weight bearing lunge test (WBLT). L'évaluation par le SEBT modifié consistait à se positionner en chaussure sur une jambe avec le pied en arrière d'un marquage prédéfini au centre de 3 axes disposés avec 120° d'écart et formant un Y⁽¹⁵⁾. L'objectif étant, tout en gardant les mains sur les hanches, de venir atteindre la distance antérieure, postéro médiale et postéro latérale la plus grande possible avec la pointe de l'autre pied sans perdre l'équilibre, sans enlever les mains des hanches ni décoller le talon de la jambe au sol⁽¹⁵⁾. Les deux membres inférieurs étaient testés alternativement. La valeur maximale atteinte (en centimètres) dans les 3 axes pour les trois essais consécutifs était moyennée puis normalisée par rapport à la longueur entre la pointe de la malléole interne et l'épine iliaque antéro supérieure⁽¹⁵⁾. Le SRT était réalisé tel que décrit dans la littérature⁽¹⁶⁾ et consistait à s'asseoir au sol, avec les jambes tendues, les pieds à 90° de flexion dorsale et en contact avec une plaque. Le sujet posait ses mains




sur une plaque horizontale à 25 cm du sol. On demandait au sujet de réaliser une flexion du tronc la plus importante possible. La valeur maximale (en centimètres) atteinte pour les trois essais était moyennée puis normalisée par rapport à la longueur entre la pointe de la malléole interne et l'épine iliaque antéro supérieure. Le WBLT était réalisé tel que décrit dans la littérature^(17,18) et consistait à placer le sujet debout face à un mur, et lui demander de venir placer sa rotule au contact du mur puis de déplacer son pied en arrière le plus loin possible en gardant un contact rotule-mur et talon-sol. Un appui des mains sur le mur était autorisé. Le sujet auto-évaluait son déplacement maximum. Un observateur vérifiait le contact rotule-mur et talon-sol. La mesure prise au moyen d'un décimètre était la longueur entre le mur et l'avant du 1^{er} orteil, celle-ci était évaluée à 1mm près. Afin de minimiser l'espace et le temps nécessaire lors des évaluations se réalisant sur les temps d'entraînement, les tests (impliquant l'installation de matériel spécifique pour chaque paramètre) étaient réalisés un par un et dans le même ordre pour chaque athlète et à chaque session d'évaluations; ceux-ci sont détaillés dans le [Tableau 1](#). Chaque session était précédée d'un échauffement de 10 minutes de cyclo-ergomètre à une puissance fixée à 100 watts. Chaque test était précédé de quelques minutes d'échauffement spécifique et de 3 essais permettant de se familiariser avec les tests. Chaque test était suivi de quelques minutes de récupération spécifiques. Le star excursion balance test était précédé de 2 minutes de flexions et extensions de genou en station bipodale et d'assouplissements de l'articulation de cheville et de 2 minutes d'assouplissements libres des membres inférieurs et était suivi de 30 secondes de marche sur place. Le sit and reach test était précédé d'une minute d'assouplissement libre du dos et des muscles ischio-jambiers et était suivi d'une série de flexion-extensions actives de jambes pendant 30 secondes. Le weight bearing lunge test était précédé d'une minute d'assouplissement des articulations de cheville et des muscles des jambes et était suivi d'une série de flexions plantaires et dorsales de pieds pendant 30 secondes. Les évaluations ont été réalisées par la même kinésithérapeute tout au long de l'étude. Le [Tableau 1](#) détaille les données relatives à la mise en place de chaque test ainsi que les paramètres d'intérêt mesurés.

Statistiques

Analyse de reproductibilité

Une analyse test-retest a permis de déterminer la reproductibilité des tests. Cette analyse se basait sur les deux sessions d'évaluations réalisées à 48 heures d'intervalles. Ces deux sessions étaient réalisées par la même personne afin de réduire la variabilité inter-observateur, dans les mêmes locaux et aux mêmes heures afin de réduire la variabilité liée aux conditions environnementales. Les durées d'entraînement précédant de 24h les deux évaluations étaient identiques afin de limiter l'influence de l'état de fatigue des sujets sur les évaluations.

L'analyse statistique permettait de déterminer: 1) Le coefficient de corrélation intra-classe (ICC) et ses bornes inférieure et supérieure à 95% afin de donner la reproductibilité relative. Un ICC au-delà de 0,90 était considéré comme haut, moyen

Paramètre évalué	Test	Description du Test
Contrôle dynamique du membre inférieur 	Matériel	3 décamètres de 1,10 mètres placés en Y avec 120° d'angle entre chaque décamètres. Un patron A4 sert de guide avec un marquage d'angles pour la pose des décimètres et du pied.
	Procédure	Le sujet est debout sur une jambe, le pied du côté testé est placé sur une marque au sol, les mains sont placées sur les hanches. On demande au sujet d'atteindre la distante antérieure, postéro médiale et postéro latérale la plus grande possible avec le pied dontrolatéral.
	Consigne	«Viens toucher le mèetre dans chaque direction sans décoller le talon, enlever les mains des hances, perdre l'équilibre ou faire un transfert du poids du corps.»
	Evaluation	On prendra la longueur maximale atteinte dans chaque direction. L'évaluation n'est pas validée si le sujet perd l'équilibre, retire les mains des hances ou réalise un transfert du poids du corps. Le sujet réalise 3 essais consécutifs par axe, la valeur maximale des essais est relevée et moyennée.
	Mesure	La mesure est arrondie au centimètre. Les valeurs sont normalisées par rapport à la distance entre l'épine iliaque antéro supérieure et la pointe de la malléole interne.
Extensibilité des muscles ischio jambiers et du rachis 	Matériel	Boîte SRT avec décimètre horizontal et réglette de mesure de déplacement.
	Procédure	Le sujet est assis au sol, jambes tendues, pieds à 90° de flexion dorsale et en contact avec une plaque. le sujet pose ses mains sur une plaque horizontale à 25 cm du sol. On demande au sujet de réaliser une flexion du tronc la plus importate possible.
	Consigne	«Viens chercher à déplacer la réglette le plus loin possible sans fléchir les genoux.»
	Evaluation	La mesure prise au moyen d'un décimètre est la longueur maximale atteinte avec les deux mains sur la plaque horizontale. Le sujet réalise autant d'essai qu'il le souhaite, la mesure maximale des essais est relevée.
	Mesure	La mesure est arrondie au demi-centimètre. Les valeurs sont normalisées par rapport à la distance entre l'épine iliaque antéro supérieure et la pointe de la malléole interne.
Dorsiflexion de cheville 	Matériel	Boîte WBLT avec décimètre horizontal et réglette de mesure de déplacement.
	Procédure	Le sujet est debout face à un mur, on lui demande de venir placer sa rotule au contact du mur puis de déplacer son pied en arrière le plus loin possible en gardant un contact rotule-mur et talon-sol. Un appui des mains sur le mur est autorisé. Le sujet autoévalue son déplacement maximum. Un observateur vérifie le contact rotule-talon et talon-sol.
	Consigne	«Viens chercher à reculer ton pied le plus possible en gardant la rotule et le talon en contact avec le mur et le sol, tu peux toucher le mur avec les mains, l'autre pied reste au sol.»
	Evaluation	La mesure prise au moyen d'un décimètre est la longueur entre le mur et l'avant du 1 ^{er} orteil, celle-ci est évaluée à 1mm près. Le sujet réalise autant d'essai qu'il le souhaite, la mesure maximale des essais est relevée.
	Mesure	La mesure est arrondue au demi-centimètre.

› Tableau 1: Description des tests réalisés

entre 0,80 et 0,90 et bas en dessous de 0,80⁽¹⁹⁾. 2) L'erreur standard de mesure (SEm), qui renseignait sur la reproductibilité absolue des évaluations⁽¹⁹⁾ (plus le SEm était élevé, plus la reproductibilité de la mesure était faible). La SEm était calculée selon les recommandations de Hopkins⁽²⁰⁾ (Eq. 1) et était exprimée en pourcentage des valeurs moyennes mesurées (SEm%). 3) Le changement minimum détectable (MDC), qui permettait d'interpréter les variations mensuelles observées en renseignant l'intervalle dans lequel il était probable (à 95%) que le changement entre deux mesures se trouve. Le MDC était calculé selon les recommandations de Hopkins⁽²⁰⁾ (Eq. 2) puis exprimé en pourcentage (MDC%) en intégrant la valeur SEm% à l'équation 2. Ie. Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel Microsoft Excel et le logiciel de statistique SPSS® (PAWS Statistics 18 Version 18.0.0 (30 juil.2009).

$$SEm = SD_{diff} / \sqrt{n} \quad (Eq. 1)$$

SEm : Erreur standard de mesure

SDdiff : Différence des écarts type entre la session 1 et 2

n : taille de l'échantillon (n = 2 dans le cas d'une analyse de reproductibilité)

$$MDC = \pm z_{0.975} \times \sqrt{n} \times SEm \quad (Eq. 2)$$

MDC : Changement minimum détectable

z 0.975 : statistique de la loi normale pour un niveau de confiance à 95% (t = 1.96)

n : taille de l'échantillon (n = 2 dans le cas d'une analyse de reproductibilité)

SEm : Erreur standard de mesure

Variations temporelles et individuelles

Les moyennes X_i et écarts types pour chaque test et chaque sujet au cours de l'étude ont été calculés.

Afin de déterminer les variations temporelles, le changement minimum détectable (MDC%) obtenu précédemment dé-

terminait pour chaque test et pour chaque athlète le pourcentage minimum au-delà duquel une variation pouvait être considérée comme « vraie » et non potentiellement comme une erreur de mesure⁽¹⁹⁾. Nous avons calculé pour chaque sujet et chaque test la variation absolue (V_{ABS}) de la mesure entre chaque session d'évaluation (Eq. 3). Afin d'analyser une variation des mesures au cours du temps nous avons comparé pour chaque test, la variation absolue entre deux évaluations (V_{ABS}) et le MDC% respectif au test.

$$V_{ABS} = \left[\left(\frac{tn+1-tn}{n} \right) \times 100 \right] - 100 \quad (Eq. 3)$$

V_{ABS} : Variation absolue des mesures

tn, tn+1 : Valeur de la mesure à l'évaluation n, n+1.

Si la variation absolue était supérieure au MDC% alors il existait une variation temporelle du paramètre physiologique évalué entre l'évaluation n et n+1. Afin de réduire les biais potentiels liés aux blessures, les évaluations précédant et suivant une blessure n'étaient pas considérées pour cette partie de l'analyse.

Afin de déterminer si ces variations évoluaient différemment d'un sujet à un autre, une comparaison des variations entre sujet était réalisée. Compte tenu du nombre de sujets inclus, les moyennes et écart-type pour chaque sujet et chaque test étaient comparés par simple analyse descriptive.

3. Résultats

Analyse de reproductibilité

Le Tableau 2 détaille les résultats de cette analyse de reproductibilité. Les ICC variant de 0,91 à 0,99 la reproductibilité relative était considérée comme haute pour l'ensemble des tests. L'erreur standard de mesure (SEm%) variait de 0,9% à 2,7%, et le changement minimum détectable de 2,5% à 7,5% (MDC%).

Paramètres	Test	Re-test	ICC	95% IC Limite basse-haute	SD	SEm %	MDC	MDC%
SRT	18,7	18,6	0,99	0,976-0,999	0,71	2,7	1,4	7,5
WBLT Droit	14,7	14,6	0,98	0,918-0,997	0,42	2	0,8	5,6
WBLT Gauche	14,4	14,6	0,96	0,765-0,993	0,45	2,2	0,9	6,1
SEBT Antérieur Droit	71,4	72,7	0,98	0,878-0,996	2,19	2,2	4,3	6
SEBT Médial Droit	107	105	0,97	0,847-0,995	2,76	1,8	5,4	5,1
SEBT Latéral Droit	98	101	0,97	0,080-0,966	2,22	1,6	4,3	4,4
SEBT Antérieur Gauche	71	73	0,98	0,844-0,996	0,90	0,9	1,8	2,5
SEBT Médial Gauche	108	105	0,98	0,566-0,997	1,81	1,2	3,6	3,3
SEBT Latéral Gauche	98	98	0,91	0,428-0,985	2,07	1,5	4	4,1

› Tableau 2: Résultats de l'analyse de reproductibilité pour chaque test réalisé.

ICC: Coefficient corrélation intra classe; **IC**: Intervalle de confiance; **SD**: écart type; **SEm %**: Pourcentage d'erreur type; **MDC (MDC %)**: (Pourcentage du) changement minimum détectable; **SRT**: *Sit and Reach test*; **WBLT**: *Weight bearing lunge test*; **SEBT**: *Star Excursion Balance Test*. * $p > 0.05$; ** $p > 0.01$

	SRT ($X_1 \pm SD$)	WBLT Droit ($X_1 \pm SD$)	WBLT Gauche ($X_1 \pm SD$)	SEBT droit antérieur ($X_1 \pm SD$)	SEBT droit médial ($X_1 \pm SD$)	SEBT droit latéral ($X_1 \pm SD$)	SEBT gauche antérieur ($X_1 \pm SD$)	SEBT gauche médial ($X_1 \pm SD$)	SEBT gauche latéral ($X_1 \pm SD$)
Sujet 1	20±0,9	20±0,2	20±0,3	79±0,6	112±0,6	96±8,1	79±0	111±0	107±1,25
Sujet 2	3±1,2	18±0,3	18±0,3	20±2,8	97±6,4	95±6,4	71±1,9	98±4,6	90±4,8
Sujet 3	15±2,6	12±0,8	12±0,7	56±4,4	92±5,0	84±7,5	58±2,4	92±2,9	86±4,7
Sujet 4	20±4,8	13±0,7	13±0,4	68±1,6	110±3,3	104±4,6	70±4,0	112±3,9	99±2,6
Sujet 5	15±3,1	17±0,5	17±0,3	68±2,9	102±5,3	100±0,9	69±1,7	105±2,4	97±2,2

Tableau 3: Moyennes et écarts-type des résultats aux tests pour chaque sujet au cours de l'étude.

X_1 : Moyenne; SD: Ecart-type; SRT: *Sit and Reach Test*; WBLT: *Weight Bearing Lunge Test*; SEBT: *Star Excursion Balance Test*

Variations temporelles et individuelles

Concernant les variations temporelles, pour chaque test et pour chaque athlète la majorité des variations de mesures étaient supérieures aux MDC%. L'ensemble de ces résultats, présenté dans le Tableau 3, montre qu'il existe bien pour chaque test et pour chaque athlète une variation des paramètres évalués au cours du temps qui est supérieure au changement minimum détectable de ces tests. Concernant les variations individuelles, une comparaison des moyennes et écart-type entre sujets et par test a permis d'observer que les moyennes étaient différentes d'un sujet à l'autre et que la dispersion des valeurs (i.e. les écarts-types) étaient également différentes et ce pour chaque test. Les valeurs moyennes et écart type sont présentés en fin de manuscrit dans le Tableau 4.

4. Discussion

Nos résultats montrent 1) une reproductibilité haute lors des tests SEBT, du SRT et du WBLT, et 2) une variabilité individuelle et temporelle des paramètres physiologiques pour chaque sujet et pour chaque test.

Paramètres	MDC%	Limites inférieures et supérieures des variations absolues (%)	Variations supérieures aux MDC (%)
SRT	7,5	1,3-17	68
WBLT Droit	5,6	0-15	35
WBLT Gauche	6,1	0,8-10	20
SEBT Antérieur Droit	6	0-24	46
SEBT Médial Droit	5,1	1-14	61
SEBT Latéral Droit	4,4	0-34	54
SEBT Antérieur Gauche	2,5	1,5-12,5	70
SEBT Médial Gauche	3,3	0-12	54
SEBT Latéral Gauche	4,1	0-12	46

Tableau 4: Résultats des changements minimums détectables et des variations absolues pour les paramètres testés.

MDC (MDC%): (Pourcentage du) changement minimum détectable; **SRT**: *Sit and Reach test*; **WBLT**: *Weight bearing lunge test*; **SEBT**: *Star Excursion Balance Test*.

Reproductibilité

Les résultats apportés par l'analyse de reproductibilité renseignent sur les erreurs de mesure liées à l'utilisation de ces tests. Les coefficients de corrélation intra-classes (ICC) pour le *Star Excursion Balance Test* variaient de 0,91 à 0,98 avec un pourcentage d'erreur type (%SEM) entre 0,9 et 2,2, ce qui se rapproche des données de *Plisky et al.* (12) qui rapportaient des ICC de 0,82 à 0,87 avec des pourcentages d'erreur type entre 2,9 et 3,4 au sein d'une population de jeunes basketteurs. Concernant le *Weight Bearing Lunge Test*, les résultats de cette étude rapportent un ICC droit de 0,98 et un ICC gauche de 0,96 avec un pourcentage d'erreur type (%SEM) entre 2,0 et 2,2 et un changement minimum détectable entre 0,8 et 0,9. Ces résultats sont inférieurs à ceux rapportés par *Esmaeili et al.* (10) qui retrouvait des ICC compris entre 0,97 et 0,96 pour ce test. Concernant le *Sit and Reach Test*, les résultats de notre étude rapportent un ICC à 0,99 et des %SEM à 2,7, ce qui se rapproche des données d'*Ayala et al.* (21) et d'*Esmaeili et al.* (10) qui rapportaient respectivement un ICC à 0,92 et un ICC compris entre 0,98 et 0,97 pour ce test. Les indices de reproductibilité absolue et relative retrouvés pour l'ensemble des tests appuient leur fiabilité et l'intérêt de leur utilisation dans le suivi régulier d'athlètes.

Variation individuelle et temporelle

Cette seconde partie d'analyse nous permettait de démontrer l'importance de la variabilité individuelle des paramètres physiologiques au cours du temps et l'utilité de connaître la référence de variation individuelle afin de pouvoir détecter dans un second temps les «variations anormales» des paramètres en question.

Les résultats obtenus dans cette étude ont montré qu'il existait pour chaque test une variation des paramètres évalués au cours du temps supérieure au changement minimum détectable. De plus, ces résultats ont permis d'identifier des différences de variations temporelles entre les sujets au cours de la saison et ce pour chaque paramètre musculo-squelettique testé. Les résultats de cette étude pilote appuient donc la nécessité d'un suivi régulier et individualisé des athlètes afin d'être au plus près de leurs conditions physiques réelle et afin de déterminer la variabilité individuelle normale de facteurs de risque de blessure. Cette étude ne portait pas sur la détermination de seuil de risque de blessures. Cependant, comme *Esmaeili et al.* (10) le suggéraient, l'utilisation des écart-types individuels pour déterminer la normalité des va-

leurs lors de suivis musculo-squelettiques ainsi que pour déterminer les valeurs seuils individuelles pour identifier les individus à risque de blessure pourraient être utilisés dans une logique de poursuite de la méthodologie mise en place dans cette étude.

Limites de cette étude

Nous avons fait le choix d'analyser trois paramètres physiologiques grâce à trois tests. Le choix de ces tests pourrait constituer une limite dans le sens où ils ne renseignent pas exclusivement sur les paramètres physiologiques que nous avons mentionnés. En effet, concernant le *weight bearing lunge test* grâce auquel nous avons souhaité évaluer la dorsiflexion active de cheville, une faible extensibilité des muscles gastrocnémiens ou une raideur de l'articulation talo-crurale aurait pu diminuer la performance à ce test^(22,23). Or, le *weight bearing lunge test* ne permet pas d'en dissocier les causes le rendant difficilement associable à une unique pathologie. Concernant le *sit and reach test*, une faible extensibilité des muscles du rachis aurait pu diminuer le score de ce test et ne pas rendre compte de l'extensibilité réelle des muscles ischio-jambiers^(21,24). De plus, ce test renseignait sur les deux membres inférieurs simultanément⁽²⁴⁾ ne nous permettant pas d'isoler l'extensibilité d'un membre par la comparaison d'un membre avec l'autre. Pour réduire ces limitations, le *Knee Extension Angle test*⁽²⁵⁾ aurait pu être utilisé.

Une seconde limite concernait la spécificité de ces facteurs et tests par rapports aux blessures en ski alpin. Dans cette étude, les 3 tests choisis ne permettaient d'évaluer que le membre inférieur dans sa globalité et ne testaient pas le genou de façon isolée. Or, chez le jeune skieur alpin de compétition jusqu'à 30% des blessures se situent aux membres supérieurs et au rachis^(1-3,11,26) et jusqu'à 40% de ces blessures se situent au genou. Des tests du membre supérieur ou spécifiques du genou auraient pu renseigner sur d'autres facteurs de risque de blessure en ski alpin.

Enfin, cette étude pilote permet, sur les sujets et paramètres musculo-squelettiques testés, de démontrer et de quantifier la variabilité individuelle des paramètres testés. Compte tenu de la durée de l'étude et du faible nombre de sujets testés, cette étude ne nous permet pas de déterminer précisément de « profil de variation » de ces paramètres.

5. Conclusion

Parmi les jeunes skieuses alpines suivies dans cette étude, des paramètres tels que la performance posturale dynamique du membre inférieur, l'extensibilité des muscles ischio-jambiers et la dorsiflexion de cheville variaient de façon individuelle et mensuelle. Cette variation mensuelle n'était pas négligeable puisqu'elle était supérieure à l'erreur de mesure déterminée lors d'une analyse de reproductibilité. La variation individuelle et temporelle des paramètres physiques mise en avant dans ce travail renforce la nécessité d'un suivi individuel et régulier des athlètes dans une logique d'identification d'athlètes à risque de blessure et dans le but de prévenir la survenue de blessures. En effet cette démarche permet d'établir un profil de variation de référence de ces paramètres en situation normale qui s'avèrerait utile dans un second temps afin de repérer les déviations anormales (i.e. supérieurs aux seuils de variation normales) et poten-

tiellement prédictives de blessure. Cette étude pilote appuie la nécessité de poursuivre ce type d'approche méthodologique sur un plus grand échantillon et avec l'évaluation d'autres facteurs potentiellement liés à la survenue de blessure.

Implications pour la pratique

- Les résultats de cette étude pilote appuieraient le fait que les paramètres physiologiques susceptibles d'être des facteurs de risques de blessures varieraient au cours d'une saison sportive. Et la méthode utilisée dans l'identification et le suivi des athlètes à risque de blessure devrait être réalisée au travers d'un suivi longitudinal individuel et régulier de ces athlètes.
- Ce suivi individualisé permettrait d'établir un profil de variation de référence de ces potentiels facteurs de risque afin d'établir des valeurs seuil de risque de blessure à l'échelle individuelle dans un second temps.
- Ce suivi régulier permettrait d'être au plus proche de la condition physique réelle des individus et permettrait le suivi des facteurs de risque afin de détecter les « variations anormales » de ces facteurs permettant de potentiellement de prévenir de la survenue de blessure

Contacts

Caroline PRINCE, caroline.prince49@gmail.com

Références

1. Ruedl G, Schnitzer M, Kirschner W, Spiegel R, Platzgummer H, Kopp M, et al. Sports injuries and illnesses during the 2015 Winter European Youth Olympic Festival. *British Journal of Sports Medicine*. 2016;50:631–6.
2. Ruedl G, Schobersberger W, Pocecco E, Blank C, Engebretsen L. Sport injuries and illnesses during the first Winter Youth Olympic Games 2012 in Innsbruck, Austria. *British Journal of Sports Medicine*. 2012;46:1030–7.
3. Steffen K, Holm C, Engebretsen L, Sjøberg P, Amundsen O, Holm K, et al. Sports injuries and illnesses in the Lillehammer 2016 Youth Olympic Winter Games. *British Journal of Sports Medicine*. 2017;51:29–35.
4. Raschner C, Platzer H-P, Patterson C, Werner I, Huber R, Hildebrandt C. The relationship between ACL injuries and physical fitness in young competitive ski racers: a 10-year longitudinal study. *British Journal of Sports Medicine*. 2012;46:1065–71.
5. Westin M, Harringe M, Engstrom B, Alricsson M, Werner S. Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injury in Competitive Adolescent Alpine Skiers. *The orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2018 Apr;6(4).
6. Bahr R. Why screening tests to predict injury do not work—and probably never will...: a critical review. *British Journal of Sports Medicine*. 2016 Jul;50(13):776–80.
7. Whiteley R. 'Moneyball' and time to be honest about preseason screening: it is a sham making no inroads on the 1 billion dollar injury costs in baseball. *British Journal of Sports Medicine*. 2016 Jul;50(14).
8. Paul D, Nassis G, Whiteley R, Marques J, Kenneakky D, Chalabi H. Acute responses of soccer match play on hip strength and flexibility measures: potential measure of injury risk. *Journal of Sports Sciences*. 2014;32(13):1318–23.

9. Crow JF, Pearce AJ, Veale JP, VanderWesthuizen D, Coburn PT, Pizzari T. Hip adductor muscle strength is reduced preceding and during the onset of groin pain in elite junior Australian football players. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2010 Mar 1;13(2):202–4.
10. Esmaili A, Stewart A, Hopkins W, Elias G, Lazarus B, Rowell A, et al. Normal Variability of Weekly Musculoskeletal Screening Scores and the Influence of Training Load across an Australian Football League Season. *Frontiers in Physiology*. 2018;9(144):1–10.
11. Hildebrandt C, Raschner C. Traumatic and overuse injuries among elite adolescent alpine skiers: A two-year retrospective analysis. *International Sport Medicine Journal*. 2013;14(4):245–55.
12. Plisky PJ, Rauh MJ, Kaminski TW, Underwood FB. Star Excursion Balance Test as a Predictor of Lower Extremity Injury in High School Basketball Players. Research report. 2006;36(12):9.
13. Pope R, Herbert R, Kirwan J. Effects of ankle dorsiflexion range and pre-exercise calf muscle stretching on injury risk in Army recruits. *Australian Journal of Physiotherapy*. 1998;44(3):165–72.
14. Witvrouw E, Danneels L, Asselman P, D'Have T, Cambier D. Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. A prospective study. *American Journal of Sports Medicine*. 2003 Feb;31(1):41–6.
15. Picot B, Terrier R, Forestier N. Le Star Excursion Balance Test : Mise à jour et recommandations sur son utilisation en pratique. *Mains Libres* 2018 Déc;(4).
16. Hartman JG, Looney M. Norm-reference and criterion-referenced reliability and validity of the back-saver sit-and-reach. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*. 7(2):71–87.
17. Powden CJ, Hoch JM, Hoch MC. Reliability and minimal detectable change of the weight-bearing lunge test: A systematic review. *Musculoskeletal Science & Practice*. 2015 Aug 1;20(4):524–32.
18. Konor MM, Morton S, Eckerson JM, Grindstaff TL. Reliability of three measures of ankle dorsiflexion range of motion. *Int J Sports Phys Ther*. 2012 Jun;7(3):279–87.
19. Atkinson G, Nevill A. Statistical Methods For Assessing Measurement Error (Reliability) in Variables Relevant to Sports Medicine. *Sports Medicine*. 1998;4:217–38.
20. Hopkins W. Measures of Reliability in Sports Medicine and Science. *Sports Med*. 2000;30(1):1–15.
21. Ayala F, Baranda PS de, Croix MDS, Santonja F. Reproducibility and criterion-related validity of the sit and reach test and toe touch test for estimating hamstring flexibility in recreationally active young adults. *Physical Therapy in Sport*. 2012 Nov 1;13(4):219–26.
22. Vicenzino B, Branjerdporn M, Teys P, Phty S, Jordan K. Initial Changes in Posterior Talar Glide and Dorsiflexion of the Ankle After Mobilization With Movement in Individuals with Recurrent Ankle Sprain. Research report. 2006;36(7):8.
23. Rowlett CA, Hanney WJ, Pabian PS, McArthur JH, Rothschild CE, Kolber MJ. Efficacy of instrument-assisted soft tissue mobilization in comparison to gastrocnemius-soleus stretching for dorsiflexion range of motion: A randomized controlled trial. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2018 Feb 20
24. Mayorga-Vega D, Merino-Marban R, Viciano J. Criterion-Related Validity of Sit-and-Reach Tests for Estimating Hamstring and Lumbar Extensibility: a Meta-Analysis. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2014 Jan 20;13(1):1–14.
25. Davis DS, Quinn RO, Whiteman CT, Williams JD, Young CR. Concurrent Validity of Four Clinical Tests Used to Measure Hamstring Flexibility. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2008 Mar;22(2):583.
26. Westin M, Alricsson M, Werner S. Injury profile of competitive alpine skiers: a five-year cohort study. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*. 2012;20:1175–81.