

Prévention en sport : quels outils ?

C. Schwartz, J.-F. Kaux, B. Forthomme, J.-L. Croisier

Laboratoire d'Analyse du Mouvement Humain, Université de Liège, Liège, Belgique

Running title :

Prevention: which tools?

Résumé

Le suivi du risque lésionnel des sportifs implique l'utilisation d'outils validés. Sous le terme d'outils, nous privilégierons la notion de protocole d'évaluation qui englobe des dimensions variées tel que les outils de mesures, les conditions de passation du test, l'expertise des opérateurs ... C'est en effet la somme de ces aspects qui déterminera, in fine, la qualité d'un test. Les protocoles d'évaluation impliquent au préalable l'identification de facteurs de risque puis l'évaluation du caractère prédictif de ces facteurs de risque. En outre, le protocole utilisé devra être reproductible entre les sessions pour permettre un suivi longitudinal du sportif mais aussi, si possible, entre les opérateurs et entre les centres d'évaluation. Le développement d'outils de prévention représente donc un travail considérable mais absolument nécessaire pour s'assurer de l'efficacité de la prise en charge des sportifs.

Mots-clés : *Prévention lésionnelle, protocoles, outils de mesure, choix.*

Summary

The prediction of the injury risk in sport practitioners requires validated tools. We will define the notion of “tools” as “screening tests” as it includes various dimensions such as the measuring devices, the test conditions, the expertise of the operators... It will be, indeed, the addition of these different factors, which will determine the overall quality of a test. Screening protocols for injury first require the identification of risk factors and, in second time, the predictive value of these risk factors. Furthermore, the chosen screening protocols should be reproducible between sessions to allow a follow-up of the athlete and, if possible, reproducible between operators and between evaluation centers. The development of screening tools requires a large amount of work but is essential to ensure an efficient management of the injury risk of sport practitioners.

Keywords: *Injury prevention, protocols, measurement systems, choice.*

Introduction

La blessure est un des principaux risques de la pratique sportive. Si ces risques existent depuis toujours, la prise de conscience de la nécessité de travailler sur leur prévention est plus récente. Les raisons en sont probablement multiples mais nous pouvons citer la professionnalisation de certains sports (football, basketball, ...) créant des enjeux financiers liés à l'incapacité de pratiquer ainsi que l'importance donnée au sport en tant qu'outil de santé public.

Plutôt que des paramètres subjectifs, l'approche scientifique actuelle est de baser le processus de prévention sur des paramètres quantifiables dont la pertinence aura été validée. Cette approche quantitative nécessite l'utilisation d'outils de quotation et/ou de mesure dans le cadre de protocoles stricts de plus en plus courante. Bahr et al. (1) indique que trois étapes sont nécessaires au développement d'un protocole de prévention des blessures : 1) démontrer une relation forte entre la mesure du test et la blessure, 2) établir la nature prédictive du test et 3) s'assurer qu'une intervention de prévention spécifique aux sportifs à risque leur sera plus bénéfique qu'au reste de la population.

Par ailleurs, si la prévention s'est longtemps basée sur des valeurs applicables de manière relativement indifférenciée à l'ensemble de la population, la tendance actuelle est d'individualiser la notion de risque à l'individu. Le but étant évidemment d'être plus pertinent dans l'évaluation du risque et par conséquent plus efficace dans la prise en charge de celui-ci.

Cette approche plus spécifique nécessite l'obtention d'informations / de mesures propres à l'individu et est une raison supplémentaire à la mise en place d'évaluations individuelles dans le contexte de la prévention lésionnelle.

Objectifs

La diversité des pratiques sportives et des facteurs de risque associés rend difficile une revue exhaustive des outils utiles à l'objectivation du risque lésionnel. Sous le terme « outils » se retrouve de nombreuses notions : il s'agit autant d'outils méthodologiques (protocoles de test), d'outils physiques (instruments de mesure), d'outils mathématiques (statistique, traitement du signal). Il est cependant à noter les relations existantes entre ces dimensions : l'utilisation d'outils mathématiques impliquent l'utilisation préalable d'outils de mesure de la même manière que l'utilisation d'un outil de mesure s'inscrira dans un protocole d'évaluation. Afin d'intégrer l'ensemble des échelles précédemment citées, il semble donc plus pertinent d'appréhender la notion d'outil comme étant celle d'un protocole. Si ce document présentera certains outils, il s'attachera principalement à fournir des clés au lecteur pour l'aider à identifier les outils les plus adéquats dans le cadre de sa pratique en se concentrant sur les deux premières étapes du processus décrit par Bahr et al. (1). Le document de Delvaux et al. intitulé « La prévention des blessures sportives : modèles théoriques et éléments-clés d'une stratégie efficace » de ce même volume décrira, en autres, plus en détail l'étape 3.

Les facteurs de risque

La notion de prévention lésionnelle de manière générale, et dans le sport en particulier, implique l'identification de facteurs de risques. Ce sont ces facteurs de risque qui seront quantifiés afin de mettre en œuvre les mesures préventives adéquates. Les facteurs de risques sont généralement classés selon deux principales catégories : les facteurs intrinsèques et les facteurs extrinsèques. Les facteurs intrinsèques sont directement liés aux caractéristiques propres de l'athlète. Il s'agira, par exemple, de ses capacités musculaires en termes de force, de sa souplesse en termes de raideur articulaire ou encore ses caractéristiques anatomiques. Les facteurs extrinsèques, eux, sont définis comme étant des facteurs liés à l'environnement de l'athlète. Il s'agit de facteurs aussi variés que le type de matériel utilisé, les règles du jeu et le volume d'entraînement ou les caractéristiques physiques d'un adversaire.

Tant parmi les facteurs intrinsèques qu'extrinsèques, certains sont modifiables alors que d'autres ne le sont pas. Parmi les paramètres intrinsèques évoqués auparavant, les caractéristiques de force seront, dans la plupart des cas, modifiables alors que les caractéristiques anatomiques ne le seront pas. De la même manière, parmi les facteurs extrinsèques présentés au paragraphe précédent, le volume d'entraînement pourra être modifié alors que les caractéristiques physiques d'un adversaire ne le seront pas. Il existe des situations intermédiaires comme les règlements sportifs ou les conditions sportives. S'ils ne sont pas modifiables facilement des adaptations sont possibles. En 2012, la Fédération Internationale Ski a modifié le rayon de courbure des skis de slalom géant afin de réduire les

contraintes articulaires des genoux, l'architecture des cockpits de Formule 1 a été modifié en 2018 pour améliorer la protection des pilotes, des matchs, par exemple de tennis, peuvent être reportés en raison des conditions climatiques (trop fortes chaleurs).

Si l'évaluation des critères modifiables semblent une évidence pour réduire le risque chez le sportif, il y a également un intérêt à évaluer les critères non modifiables. Tout d'abord, l'identification de contre-indications peut orienter le type de pratique sportive. L'identification d'insuffisances cardiaques contribue ainsi à réduire les cas de mort-subite. Par ailleurs, certains critères non-modifiables peuvent orienter les tests de prévention vers des populations à risque rendant ainsi le processus de détection plus efficient. Dans une revue de la littérature, Wadén et al. (2) ont ainsi souligné l'influence du genre sur le risque de blessure aux ligaments croisés lors de la pratique du football. L'âge peut également être un critère non-modifiable pertinent pour identifier des populations plus à risque (3).

Identification du contexte lésionnel et des facteurs de risques

a) Identification des principales blessures

Afin de connaître les principales blessures, il est utile de se rapporter aux études épidémiologiques de chaque sport. En fonction des études disponibles, les informations donneront soit des informations globales au sport, mais pourront aussi préciser les principales blessures en fonction de paramètres comme l'âge, le sexe, le niveau de jeu, le poste sur le terrain. Kaux et al. (4) ont ainsi, dans une revue de la littérature, décrit la localisation des

blessures dans les sports olympiques de ballon en salle. Ils notent ainsi que le membre inférieur est la partie du corps la plus fréquemment blessée. La connaissance des principales blessures et des conditions pour lesquelles elles interviennent est utile pour orienter le travail de prévention. Cependant, dans le cadre d'un travail spécifique à chaque athlète, il est nécessaire de s'intéresser aux facteurs de risque. Le risque réel pour l'athlète dépendra à la fois de facteurs extrinsèques (par exemple le poste dans le jeu) et de facteurs intrinsèques (spécificités anatomique, physiologique ...). La position des joueurs sur le terrain peut ainsi influencer sur le risque de blessure, les postes le long du filet étant plus à risque au volleyball (4).

b) Identification des facteurs de risque

En raison, des nombreux facteurs intervenant dans et en dehors de l'activité sportive des athlètes, l'identification de la (ou des) cause(s) de la blessure peut s'avérer particulièrement complexe. Deux approches principales sont possibles pour déterminer les facteurs de risques : les études prospectives et les études rétrospectives. Les études prospectives consistent à établir le profil des athlètes alors qu'ils ne sont pas blessés puis d'évaluer a posteriori quels étaient les paramètres les plus prédictifs du risque de blessure. Il s'agit donc de suivre pendant une période de temps une cohorte de sujets et d'identifier lesquels se blessent. Le temps de suivi est variable mais dure le plus souvent une ou deux saisons. Pour que les résultats obtenus soit pertinent statistiquement et donc généralisables, ce type d'étude nécessite généralement des populations de grande taille car la prévalence de blessure est souvent (et heureusement) faible. Les études rétrospectives ne s'intéressent qu'à des sujets déjà blessés et tentent par

l'analyse de paramètres d'identifier la cause probable de la blessure. La principale limitation de cette approche est qu'il n'est jamais possible d'être certain que les observations post blessure sont bien la cause de la blessure et non pas sa conséquence. L'absence de certitude de ce lien de causalité fait que ce type d'approche n'est plus recommandé et de moins en moins accepté dans la littérature scientifique. Il conviendra donc, lors de l'identification des facteurs de risques d'un type de blessure, de s'appuyer de préférence sur des études prospectives. Hewett et al. (5) ont étudié les facteurs biomécaniques pouvant être prédictif d'une rupture du ligament croisé antérieur sur une cohorte de 205 sportives féminines dans des sports identifiés comme à risque (football, basketball, volleyball). Cette étude a isolé des indicateurs cinématiques (abduction du genou) et cinétiques (moment d'abduction du genou, forces de réaction au sol).

c) Identification des conditions d'apparition de la blessure

Le risque de blessure varie en fonction des conditions de pratique du sport et des phases de jeu. Il a ainsi été montré que le sportif en compétition a plus de chance de se blesser que lors d'un entraînement classique (4). Ces différences peuvent s'expliquer par l'engagement plus important lors d'une pratique compétitive. Il a aussi été montré que la fatigue pouvait être un facteur majorant le risque de blessure. Certaines phases de jeux vont également être plus à risque. Dans le volleyball, Kaux et al. (4) cite ainsi les phases de blocage et d'attaque comme les phases engendrant le plus de blessure. Ces blessures ont par ailleurs majoritairement lieu suite à un contact que cela soit avec un objet ou un opposant. Si ces conditions sont variables

d'un sport à l'autre et que leur connaissance peut orienter le travail de prévention de l'entourage du sportif, la connaissance de ses conditions devrait aussi orienter le développement des protocoles d'évaluation du risque de blessure chez le sportif. En effet, si les blessures ont principalement lieu dans des conditions déterminées, les évaluations devraient se réaliser dans des conditions semblables, tout en prenant les précautions nécessaires pour éviter que le test soit lui-même à l'origine d'une blessure.

Evaluation de la qualité des protocoles de test

Plusieurs facteurs vont influencer sur le choix d'un test pour évaluer un risque de lésion. Outre des considérations pratiques comme la disponibilité du matériel nécessaire au test, son coût, les compétences humaines, les caractéristiques propres du test doivent également orienter le choix de l'entourage du sportif. Cette section s'intéressera aux notions, entre autres, de spécificité, sensibilité et reproductibilité du test.

a) Sensibilité et spécificité des tests

Les notions de sensibilité et de spécificité d'un test sont des notions classiques pour décrire la pertinence d'un test et plus particulièrement ici dans le cadre de l'évaluation des facteurs de risque. Un test quantifié réalisé suivant un protocole déterminé et des outils spécifiques va fournir un ensemble de mesure à partir desquels un diagnostic/un risque sera déterminé. En raison de la variabilité biologique entre les sujets, des mesures similaires ne correspondent

pas forcément au même risque. Il est important pour l'entourage du sportif d'être capable d'évaluer la validité du risque établi car ses décisions en dépendront.

Lors de l'évaluation du risque de blessure d'un sportif plusieurs type d'erreurs peuvent apparaître. Le premier est que le test détermine, à tort, l'absence du risque de blessure. La conséquence ici serait l'absence de prise en charge spécifique du sportif et par conséquent un maintien du risque de blessure au niveau basal. Il s'agit ici de **faux négatifs**. Le second est que le test détermine, à tort, un risque de blessure. La conséquence ici serait la mise en place d'une prise en charge spécifique inutile. Si cette prise en charge ne devrait, a priori, pas induire un risque majoré, elle aura pour conséquence de limiter le temps disponible du sportif pour d'autres activités (renforcement musculaire, travail technique ou tactique ...) qui lui serait plus profitable dans un objectif de performance (que le cadre soit compétitif ou de loisir). Il s'agit ici de **vrais négatifs**.

La qualité du test reposera sur une bonne sensibilité et une bonne spécificité. La **sensibilité** du test représente la proportion de sportifs étant vraiment à risque de blessure qui sont correctement identifiés par le test. La **spécificité** du test représente quant à elle la proportion de sportifs n'étant pas à risque qui sont correctement identifiés comme étant peu à risque par le test. Même si les notions de sensibilité et de spécificité sont un bon indicateur de la qualité du test, elles ne sont pas suffisantes pour évaluer la pertinence du test lors d'une utilisation pratique. En effet, la personne recevant le résultat d'un test aura une réponse positive ou négative (dans le cas d'un test binaire) sans connaître le nombre de faux positifs (ou de faux

négatifs) qui vont polluer l'interprétation du résultat. L'utilisateur du test est intéressé par la **valeur prédictive positive** (proportion de vrais positifs dans les résultats positifs) et **négative** (proportion de vrais négatifs dans les tests négatifs). Il est pour cela nécessaire de prendre en compte la prévalence de la blessure pour interpréter correctement le résultat d'un test. Ainsi plus la prévalence de la blessure baisse, plus la valeur prédictive d'un test va également diminuer. Une explication plus détaillée et illustrée de ces concepts est disponible dans l'article de Loong (6). Un test sera d'autant plus pertinent qu'il sera appliqué sur une population que l'on saura déjà à être risque. Ce constat peut sembler contradictoire car l'identification du risque est aussi de l'objectif premier du test. En pratique, c'est la combinaison de l'identification de plusieurs facteurs de risque qui permettra généralement d'évaluer un réel risque chez le sportif.

A titre d'illustration, prenons l'exemple du Landing Error Scoring System (7) qui est un outil de screening pour la prévention des blessures du ligament croisé antérieur. La sensibilité du test est de 86% et la spécificité de 64% dans la population étudiée de jeunes joueurs de football. Cependant en raison de la très faible prévalence des blessures du ligament croisé antérieur, la valeur prédictive positive est de seulement 1,4% (à contrario la valeur prédictive négative est de 99,8%). Cet exemple illustre comment un test, même avec une bonne sensibilité, aura une pertinence limitée si utilisé dans un groupe où la prévalence de blessure est faible.

Jusqu'à présent nous partions de l'hypothèse que le test fournissait une réponse binaire (« sans risque » vs. « à risque »). Dans la pratique, la plupart des tests vont fournir des résultats

sous forme d'une mesure continue. Il est donc nécessaire de proposer un seuil au-dessus (ou en dessous) duquel, le sportif pourra être classifié comme « à risque ». La fonction d'efficacité du récepteur (plus connu sous le terme anglais « receiver operating characteristic curve »), est un outil permettant d'évaluer l'efficacité d'un seuil et donc orienter le choix de celui-ci (8).

Les indicateurs d'un test (dont la sensibilité et la spécificité) ne sont valables uniquement que pour les conditions dans lesquelles elles ont été estimées. Cela implique que l'utilisateur du test devra être attentif à la population ayant servi à l'étude, le protocole précis utilisé lors de la réalisation du test et en particulier le matériel utilisé pour réaliser les mesures. A titre exemple, un des critères pour classer un déséquilibre musculaire des ischio-jambiers dans l'étude de Croisier et al (9) est la valeur du ratio concentrique. Cette valeur, précise l'étude, n'est pas la même suivant la marque du matériel utilisé.

b) Reproductibilité des tests

La reproductibilité d'un outil (que cela soit un système de mesure ou un protocole) d'évaluation est primordial pour le suivi longitudinal d'un sportif. Le suivi longitudinal permettra d'identifier des évolutions dans les caractéristiques du sportif et potentiellement l'apparition de facteurs de risques (prévention primaire) mais aussi d'évaluer l'efficacité d'une prise en charge après une première blessure afin d'offrir au sportif un retour sur le terrain à la fois le plus précoce mais aussi le plus sécuritaire (prévention secondaire). L'évaluation de la reproductibilité d'un test permet en effet d'évaluer si les mesures répétées d'une activité

identique produisent les mêmes résultats. Moins le test sera reproductible, moins l'évaluateur sera capable de faire la distinction entre des variations liées à des modifications chez le sportif et des modifications liées uniquement à la mesure.

Plusieurs dimensions de la reproductibilité sont en général évaluées. La **reproductibilité inter-observateurs** évalue la capacité a plusieurs évaluateurs à obtenir des résultats identiques pour un même sportif dans des conditions identiques. La qualité de cette dimension de la reproductibilité va indiquer si les mesures réalisées par plusieurs évaluateurs sont comparables. Si la reproductibilité est mauvaise, cela implique que des résultats sur un même sportif mais réalisé par deux évaluateurs différents ne seront pas comparables. Il sera nécessaire que le même évaluateur réalise toujours les tests. La **reproductibilité intra-session** évalue la capacité de test à reproduire les mêmes mesures lors d'une même session de test et donc dans des conditions quasi-identiques. La **reproductibilité inter-session**, au contraire de la reproductibilité intra-session, est caractérisé par un temps de séparation plus important entre les deux séances d'évaluation. Les variations potentielles entre les deux sessions étant plus élevées, la reproductibilité inter-session est en général moins bonne que la reproductibilité intra-session. L'objectif de cette dimension de la reproductibilité est de se rapprocher d'une situation de terrain dans laquelle un suivi longitudinal est réalisé. En théorie, le temps séparant les tests lors de l'étude de reproductibilité devrait être équivalent au temps qui sépare, dans la pratique, plusieurs évaluations lors du suivi du sportif. Cependant, cette condition est rarement remplie car l'entraînement et le développement lors de la saison favorise l'apparition de facteurs confondants rendant difficile l'étude de reproductibilité. Les

tests sont ainsi généralement espacés d'une à quelques semaines seulement. Enfin, la **reproductibilité inter-centres** évalue quant à elle l'influence de la localisation du test sur la reproductibilité des mesures.

La reproductibilité est évaluée à l'aide d'outils statistiques (10,11). Les principales composantes de cette reproductibilité sont la reproductibilité absolue et la reproductibilité relative. La reproductibilité absolue va indiquer si, en moyenne, plusieurs évaluations de la même situation fourniront des résultats identiques. La reproductibilité relative indiquera quant à elle si l'ordonnement d'un groupe en fonction des résultats du test restera le même lors de tests suivants. D'une étude de reproductibilité peut être aussi déduite une statistique particulièrement intéressante en clinique ou sur le terrain : **la différence minimale pertinente** (en anglais, « minimal detectable change » ou MDC). Cette statistique indique le seuil à partir duquel il est possible d'estimer que l'évolution observée chez le sportif est réellement dû à une modification du paramètre évalué (caractère anatomique, physique, technique ...) et non pas aux erreurs liées aux limites de la reproductibilité du test. Plus la reproductibilité du test sera mauvaise, plus la différence minimale pertinente sera importante et plus il sera difficile d'observer des variations que l'on pourra attribuer à changement lié au sportif. La mauvaise reproductibilité d'un test peut être due à de nombreuses causes dont le manque de reproductibilité des outils de mesure, un protocole insuffisamment précis, des instructions variables ou insuffisamment spécifiques au sportif, des conditions de test variables (conditions climatiques, heure de journée), un manque de formation du personnel réalisant les tests ...

L'exemple suivant montre l'importance d'un protocole précis pour obtenir une bonne reproductibilité. L'activité musculaire est l'un des paramètres qui peut être évalué lors de l'évaluation d'un risque pour le sportif. Concernant l'épaule du sportif de lancer, un équilibre entre l'activité du trapèze supérieur et celle du trapèze inférieur est par exemple nécessaire pour assurer un positionnement correct de la scapula. Schwartz et al. (12) ont montré qu'en fonction de la méthode utilisée pour normaliser la valeur d'activité musculaire, le pic d'activation du trapèze inférieur lors d'une élévation du bras sera estimée soit à 70% soit à 55% de l'activité de ce muscle. L'interprétation des résultats sera ainsi fortement biaisée si le protocole n'est pas correctement défini.

c) Conditions des tests

Les résultats des tests doivent être pertinents vis-à-vis de l'activité réelle du sportif. Si les mesures de terrain peuvent être dans certains cas appropriées, elles présentent cependant certaines limitations en particulier en termes d'outils disponibles. A titre d'exemple, Tubez et al. (13) ont montré comment l'analyse biomécanique d'un service au tennis pouvait aider à émettre des hypothèses concernant le processus lésionnel aux abdominaux d'un sportif de haut-niveau. Si les résultats doivent être pris avec prudence car il s'agissait d'une étude rétrospective, l'analyse réalisée en laboratoire a permis l'obtention de mesures de cinématiques 3D, de forces de réaction au sol (...) qu'il aurait été très difficile d'obtenir sur le terrain.

Le fait de réaliser les tests en laboratoire, ne signifie pas qu'il ne faut pas chercher à se rapprocher, si cela à un intérêt, de la situation de terrain. De nombreux tests pour évaluer le risque de lésion du ligament croisé antérieur se base sur l'analyse de la réception d'un saut. Cependant, une des situations pouvant conduire à une blessure du ligament croisé antérieur est le contact, pendant la phase de vol, avec une autre personne ou un objet, créant une perturbation conduisant à un atterrissage incorrect. Yom et al. (14) ont effectivement démontré des modifications de la cinématique et de la cinétique du sportif lors de l'atterrissage dans ces conditions modifiées. L'introduction d'une perturbation lors de la phase d'envol pourrait ainsi avoir du sens dans le cadre de l'élaboration d'un test. Nous avons également déjà évoqué l'effet de la fatigue sur le risque de lésion. Comme l'ont montré Gokler et al. (15) dans le cadre du Landing Error Score System, la fatigue a un effet important sur le résultat du test. Dans cette étude, des sujets sains évalués comme n'étant pas à risque en condition sans fatigue voyait leur score dépasser le seuil de risque en condition de fatigue. Comme nous l'avons vu, dans le cas d'une blessure avec une prévalence faible, la valeur prédictive positive d'un test sera probablement également très faible. Le fait de choisir un protocole se rapprochant des conditions de blessure (par exemple en condition de fatigue) est une manière d'augmenter la prévalence dans le groupe et donc la valeur prédictive positive du test. Il convient cependant d'être attentif à ne pas blesser le sportif lors du test. Une solution parfois employée est de demander au sportif, avant le test, son appréhension et si celle-ci dépasse un seuil prédéterminé de renoncer à faire passer le test. Dans le test proposé par Askling et al. (16) pour évaluer la flexibilité des ischio jambiers dans un contexte

de retour sur le terrain après blessure, le sportif devait estimer, après des essais sous-maximaux, sa sensation d'insécurité et de douleur sur une échelle visuelle analogique.

Si les tests de laboratoire ont un grand intérêt car ils permettent l'utilisation de matériel plus précis (électromyographie, électrocardiogramme, cinématique 3D, échographie ...) leurs principales limitations sont aussi leur coût, leur disponibilité et leur faisabilité. Il convient donc de voir les tests de terrain et de laboratoire comme complémentaires. Les tests de terrain vont permettre d'effectuer un premier tri parmi l'ensemble de la population de sportif pour pouvoir les orienter, si nécessaire, vers des protocoles d'évaluation plus élaborés. Cette approche en deux temps à d'autant plus de sens qu'elle permet d'augmenter la valeur prédictive positive du test de laboratoire et ainsi fournir un diagnostic plus sûr au sportif et à son entourage.

d) Choix des outils de mesure

Lors du choix des outils de mesure qui sont utilisés au sein d'un protocole, il convient de s'assurer de leurs caractéristiques. En métrologie (science de la mesure), plusieurs notions vont caractériser la qualité du système de mesure. La première caractéristique à évaluer est l'**étendue de mesure** du système que l'on souhaite retenir pour réaliser les évaluations. Par exemple, les forces de réaction au sol ne seront pas les même suivant l'activité réalisée. De la marche à la course, les forces passent d'environ 1,2 fois le poids du corps à près de 2,5 fois le poids du corps (17). Lors de réception de sauts les forces atteignent plus de 10 fois le poids de corps (18). Outre l'étendue des mesures, la **résolution** de l'appareil va indiquer la plus petite

variation que l'appareil va rapporter. Par exemple, si la majorité des goniomètres sont gradués tous les degrés (résolution de 1°), certains ne sont gradués que tous les cinq degrés (résolution de 5°). La **justesse** de la mesure estime l'écart entre la valeur mesurée et la valeur vraie. La **fidélité** de la mesure estime la dispersion des résultats lors de la mesure d'une variable théoriquement constante. Un système de mesure sera dit **exact** s'il est à la fois juste et fidèle. Dans le choix d'un appareil, il convient de choisir l'appareil qui correspondra au mieux aux objectifs et à la précision recherchée. A l'aide du Star Excursion Balance Test, Plisky et al. (19) ont montré que des joueurs masculins de basketball en secondaire avaient trois fois plus de chance de se blesser au membre inférieur si la différence de performance au test excédait 4 cm dans la direction antérieure. Dans ce cas, un système de mesure ayant une résolution sous le millimètre serait par exemple inutilement coûteux et complexe par rapport à l'objectif visé.

Les sportifs sont parfois suivis dans différents centres en même temps ou au cours du temps. Si un suivi longitudinal est important pour observer l'évolution du sportif, il convient d'être prudent lorsqu'il s'agit de comparer des mesures provenant de différents centres même si le paramètre exprimé est identique. En effet, les caractéristiques de l'outil utilisé pour la mesure tel que nous venons de les décrire mais aussi plus généralement le protocole utilisé pour réaliser les tests peuvent différer et ainsi rendre difficile la comparaison des résultats obtenus. Deflandre et al. (20) ont ainsi comparé plusieurs outils pour mesurer le temps d'appui lors de la course. L'ensemble des outils étaient utilisés de manière concomitante et mesuraient donc la même réalité physique. Cependant, en raison des caractéristiques différentes des outils, des différences de 65% ont pu être observées entre certains systèmes. De même, il a été

montré que la comparaison de résultats provenant de machines isocinétiques de marques différentes nécessitait des précautions (21).

Conclusion

Dans le cadre de ce document, nous avons plus souvent parlé de protocole de test plutôt que de système de mesure. La raison est que le système de mesure s'intégrera dans un protocole de test plus général incluant les conditions expérimentales, les instructions données au sportif, l'expertise de l'opérateur (...) et s'est bien la somme de ces variables qui conditionnera, au final, la qualité des mesures dans le cadre de la prévention lésionnelle.

Le choix d'outils dans le cadre de la prévention lésionnelle constituera toujours un compromis entre des impératifs de validité, reproductivité, pertinence et des contraintes de terrain. Si les tests présentent toujours des limitations, il est important pour la personne les utilisant d'en appréhender les limites car celles-ci seront importantes dans la manière d'interpréter les résultats et par conséquent de l'usage qui en sera fait pour le bénéfice du sportif. Il nous semble cependant important de rappeler critères qui nous semble primordiaux et cela quel que soit la technicité du protocole ou du système de mesure choisi : 1/ le protocole doit permettre de répondre à la question posée (prendre en compte par exemple la valeur prédictive positive du test), 2/ le protocole doit être spécifique à la population étudiée (un protocole développé pour un niveau de compétition n'est pas forcément valable pour un autre), 3/ le protocole doit être reproductible (pour effectuer un suivi longitudinal).

La validation d'un protocole demande une énergie et un temps considérable. Il est donc préférable de s'orienter, dans la mesure du possible, vers des tests qui ont déjà été validés et publiés dans la littérature. Cependant, et comme rappelé au début de cette conclusion, une partie des paramètres influant sur la reproductibilité d'un test sont des paramètres locaux dans le sens où il s'agit de paramètres liés au centre réalisant les tests : si l'outil de mesure peut être identique, l'environnement sera différent ainsi que, par exemple, les opérateurs et leur expertise. Il convient donc, dans la mesure du possible, de valider en interne les protocoles qui seront mis en place pour le suivi longitudinal de cohortes de sportifs.

Bibliographie

1. Bahr R. Why screening tests to predict injury do not work and probably never will....a critical review. *Br J Sports Med*. 2016;50(13):776–80.
2. Waldén M, Hägglung M, Werner J, Ekstrand J. The epidemiology of anterior cruciate ligament injury in football (soccer): a review of the literature from a gender-related perspective. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc*. 2011;19:3–10.
3. Clayton RAE, Court-brown CM. The epidemiology of musculoskeletal tendinous and ligamentous injuries. 2008;1338–44.
4. Kaux JF, Roberjot M, Delvaux F, Lehance C, Croisier JL, Stevens L, et al. Traumatologie des sports olympiques de ballon en salle. Partie 3 : le volley-ball et comparaison des trois sports. *J Traumatol du Sport*. 2017;34(4):217–22.
5. Hewett T, Myer G, Ford K. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes A prospective study. *Am J Sports Med* [Internet]. 2005 [cited 2014 May 16];45229:492–501. Available from: <http://ajs.sagepub.com/content/33/4/492.short>
6. Loong T. Clinical review Understanding sensitivity and specificity with the right. 2003;327(September).
7. Padua DA, DiStefano LJ, Beutler AI, De La Motte SJ, DiStefano MJ, Marshall SW. The landing error scoring system as a screening tool for an anterior cruciate ligament injury-prevention program in elite-youth soccer athletes. *J Athl Train*. 2015;50(6):589–95.
8. Akobeng AK. Understanding diagnostic tests 3 : receiver operating characteristic curves. *Acta Pædiatrica*. 2007;96:644–7.

9. Croisier J-L, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret J-M. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. *Am J Sports Med* [Internet]. 2008;36(8):1469–75.
10. Bartlett JW, Frost C. Reliability, repeatability and reproducibility: Analysis of measurement errors in continuous variables. *Ultrasound Obstet Gynecol*. 2008;31(4):466–75.
11. Atkinson G, Nevill A. Statistical Methods for Assessing Measurement Error (Reliability) in Variables Relevant to Sports Medicine. *Sport Med*. 1998;26(4):217–38.
12. Schwartz C, Tubez F, Wang F-C, Croisier J-L, Bröls O, Denoël V, et al. Normalizing shoulder EMG: an optimal set of maximum isometric voluntary contraction tests considering reproducibility. *J Electromyogr Kinesiol*. 2017.
13. Tubez F, Forthomme B, Croisier J-L, Cordonnier C, Bröls O, Denoël V, et al. Biomechanical analysis of abdominal injury in tennis serves. A case report. *J Sport Sci Med*. 2015;14(2):402–12.
14. Yom JP, Simpson KJ, Arnett SW, Brown CN. The effects of a lateral in-flight perturbation on lower extremity biomechanics during drop landings. *J Appl Biomech*. 2014;30(5):655–62.
15. Gokeler A, Eppinga P, Dijkstra PU, Welling W, Padua DA, Otten E, et al. Effect of fatigue on landing performance assessed with the landing error scoring system (less) in patients after ACL reconstruction. A pilot study. *Int J Sports Phys Ther*. 2014;9(3):302–11.
16. Askling CM, Nilsson J, Thorstensson A. A new hamstring test to complement the common clinical examination before return to sport after injury. *Knee Surg Sport*

- Traumatol Arthrosc. 2010;18:1798–803.
17. Keller T, Weisberger AM, Ray J, Hasan S, Shiavi R, Spengler DM. Relationship between vertical ground reaction force and speed during walking , slow jogging , and running. Clin Biomech. 1996;5:253–9.
 18. McNair P, Prapavessis H. Normative Data of Vertical Ground Reaction Forces During Landing from a Jump. J Sci Med Sport. 1999;2(1):86–8.
 19. Plisky P, Rauh M, Kaminski TW, Underwood FB. Star Excursion Balance Test as a Predictor of Lower Extremity Injury in High School. J Orthop Sport Phys Ther. 2004;36(12):911–9.
 20. Deflandre, Dorian and Bury, Thierry and Schwartz, Cédric and Croisier J-L and others. A Comparison of 3D Methods for Identifying the Stance Phase in Treadmill Running for Both Rearfoot and Forefoot Runners. J Sports Sci. 2016;4:124–31.
 21. Paulus J, Radrizzi L, Pauls J, Krécké R, Crielaard J, Croisier J. Isokinetic evaluation of knee: what about compatibility between different dynamometers. In: Annals of Physical and Rehabilitation Medicine. 2015. p. e159.