



HAL
open science

Propriétés métrologiques de l'application MyJump 2 pour mesurer les variables d'un Drop Jump : une revue systématique avec méta-analyse

Léo Veyan

► **To cite this version:**

Léo Veyan. Propriétés métrologiques de l'application MyJump 2 pour mesurer les variables d'un Drop Jump : une revue systématique avec méta-analyse. Sciences du Vivant [q-bio]. 2024. dumas-04782939

HAL Id: dumas-04782939

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04782939v1>

Submitted on 14 Nov 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ
ÉCOLE DES SCIENCES DE LA RÉADAPTATION
FORMATION EN MASSO-KINÉSITHÉRAPIE**

**PROPRIETES METROLOGIQUES DE
L'APPLICATION MYJUMP 2 POUR
MESURER LES VARIABLES D'UN DROP
JUMP : UNE REVUE SYSTEMATIQUE AVEC
META-ANALYSE**

VEYAN Léo

Directeur de mémoire : M. BLACHÈRE Adrien

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de mémoire, Adrien Blachère. Au-delà de son aide précieuse dans l'élaboration de ce mémoire, il m'a permis de développer une vision personnelle de la kinésithérapie ainsi que d'apprendre à construire mon raisonnement.

La réalisation d'un travail comme celui-ci, fruit d'une année de dur labeur et de quatre années d'études nécessite un équilibre de vie parfait pour parvenir à ses fins.

Pour cela, je tiens à remercier mes parents, Lionel et Magali et mes grands-parents, René et Ginette, pour leur soutien quotidien, à la fois moral et financier. Merci également à mes amis qui m'ont permis de m'évader et de penser à autre chose qu'aux cours, examens et au mémoire évidemment.

Merci à toutes les personnes qui ont contribué de loin ou de près à la conception, l'écriture, la correction de ce mémoire. Que ce soit des professeurs de l'IFMK de Marseille, des masseurs-kinésithérapeutes, médecins et préparateurs physiques rencontrés au gré de mes stages ou contactés par mail.

Enfin, je remercie tous les professionnels de la santé et du sport qui partagent gracieusement leurs connaissances et leurs travaux et qui sont pour moi une grande source d'inspiration.

Liste des abréviations

- ◆ **C.-à.-d.** : c'est-à-dire
- ◆ **CCI** : coefficient de corrélation intraclasse
- ◆ **CMJ** : Counter Movement Jump
- ◆ **COD** : *change ment of direction* (changement de direction)
- ◆ **CTDJ** : Combination Technique Drop Jump
- ◆ **CV** : coefficient de variation
- ◆ **DJ** : Drop Jump
- ◆ **EE** : énergie élastique
- ◆ **CEP** : composante élastiques parallèle
- ◆ **CES** : composante élastique série
- ◆ **EMG** : électromyographique
- ◆ **FE** : force explosive
- ◆ **FM** : force maximale
- ◆ **FNM** : fuseaux neuro-musculaires
- ◆ **FP** : fléchisseurs plantaires
- ◆ **FR** : force réactive
- ◆ **HC** : hauteur de chute
- ◆ **HCH** : hauteur du contre-haut
- ◆ **HS** : hauteur de saut
- ◆ **IC** : intervalle de confiance
- ◆ **LCA** : ligament croisé antérieur
- ◆ **LSI** : *limb symmetry index* (indice de symétrie du membre inférieur)
- ◆ **MI** : membre(s) inférieur(s)
- ◆ **MK** : masseur-kinésithérapeute
- ◆ **MS** : membre(s) supérieur(s)
- ◆ **OFR** : *on field rehabilitation* (rééducation sur le terrain : réathlétisation)
- ◆ **OLP** : Ordinary Least Products
- ◆ **OTG** : organe tendineux de Golgi
- ◆ **PDV** : phase de vol
- ◆ **PF** : plateformes de force
- ◆ **RFD** : rate of force development
- ◆ **RSI** : *reactive strength index* (indice de force réactive)
- ◆ **RTP** : *return to performance* (retour à la performance)
- ◆ **RTS** : *return to sport* (retour au sport)
- ◆ **SD** : *standard deviation* (écart-type)
- ◆ **SJ** : Squat Jump
- ◆ **SLDJ** : Single Leg Drop Jump
- ◆ **SSC** : *stretch-shortening cycle* (cycle étirement-raccourcissement)
- ◆ **TCS** : temps de contact au sol
- ◆ **TDV** : temps de vol
- ◆ **UM** : unités motrices

Table des illustrations

Figures :

Figure 1 : équation pour obtenir une hauteur de saut (h_{max}) à partir de l'accélération de la pesanteur ($g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$) et du temps de vol t_v	2
Figure 2 : analyse d'un Drop Jump avec MyJump 2	3
Figure 3 : affichage des données récoltées sur le Drop Jump avec MyJump 2	4
Figure 4 : les phases du SSC (exemple pour le segment cheville).....	5
Figure 5 : les 3 composantes de la contraction musculaire selon le modèle de Hill [16].....	5
Figure 6 : Relation tension-longueur du sarcomère selon l'activité [46] / MG : medialis gastrocnemius (gastrocnémien médial) ; VL : vastus lateralis (vaste latéral).....	8
Figure 7 : courbe force vitesse "complète" [48]	8
Figure 8 : Classification du SSC (lent ou rapide) selon l'activité.....	12
Figure 9 : les différentes qualités de la force musculaire [76][82]	14
Figure 10 : Influence de la raideur musculaire sur la déformation du tendon au cours du SSC [17]	15
Figure 11 : l'indice de force réactive (RSI) [8]	18
Figure 12 : valeurs normatives du RSI [113]	20
Figure 13 : phases du Drop Jump ¹⁵	23
Figure 14 : parts de travail (positif et négatif) des principales articulations du MI dans la performance de DJ (encadrés en rouge) [138]	26
Figure 15 : sollicitation des articulations au cours du CMJ (à gauche) et du DJ (à droite) - pp.52-53 [44].....	27
Figure 16 : activité musculaire des muscles fléchisseurs plantaires et extenseurs de genou au cours du DJ (représenté par les bâtons noirs sur le diagramme) [137].....	27
Figure 17 : comportement des fibres musculaires du vaste externe selon l'intensité du DJ réalisé, p.51 [44].....	28
Figure 18 : comportement du complexe musculo-tendineux du triceps sural et du quadriceps au cours d'un DJ, p.52 [44].....	28
Figure 19 : Processus du retour au sport [144].....	29
Figure 20 : Diagramme de flux	40
Figure 21 : forest plot concernant la validité par critère concurrente de MyJump 2 pour mesurer le RSI d'un DJ (30 cm).....	53

Tableaux :

Tableau I : Mots clés de la recherche bibliographique selon l'acronyme PICO	34
Tableau II : équation de recherche utilisée selon la base de donnée investiguée et résultats obtenus.....	35
Tableau III : liste des études incluses	41
Tableau IV : résumé de l'évaluation du risque de biais des études évaluant la fiabilité via la grille QAREL	42
Tableau V : résumé de l'évaluation du risque de biais des études évaluant la validité via la grille QUADAS-2.....	44
Tableau VI : résultats de l'étude de Haynes et al. concernant la fiabilité.....	46
Tableau VII : résultats de l'étude de Montalvo et al. concernant la fiabilité	47
Tableau VIII : résumé des résultats de l'étude de Rogers et al. concernant la fiabilité.....	47
Tableau IX : résultats de l'étude de Haynes et al. concernant la validité	49
Tableau X : résultats de l'étude de Montalvo et al. concernant la validité	50
Tableau XI : résumé des résultats de l'étude de Rogers et al. concernant la validité	51
Tableau XII : résumé des résultats de l'étude de Whiteley et al. concernant la validité.....	52

Table des annexes

Annexe 1 : PRISMA checklist	
Annexe 2 : critères d'inclusion et d'exclusion mis en place selon l'étape du processus de sélection des études.....	
Annexe 3 : version française de la Quality Assessment of Diagnostic Reliability (QAREL) [150].	
Annexe 4 : version française de la Quality Scale for Diagnostic Accuracy Study (QUADAS-2) [151]	
Annexe 5 : liste des études exclues lors de la lecture de l'abstract et du texte intégral et leur motif d'exclusion	
Annexe 6 : caractéristiques des études incluses	
Annexe 7 : tableau des données brutes (HS, TCS et RSI) des participants des études incluses....	
Annexe 8 : tableaux d'interprétation des résultats selon les seuils spécifiques aux tests statistiques utilisés	
Annexe 9 : résumé de l'évaluation des niveaux de preuve des études incluses avec le système GRADE [156]	
Annexe 10 : résumé de l'évaluation des niveaux de preuve des études incluses avec la grille AMSTAR-2 [157]	
Annexe 11 : évaluation de la qualité méthodologique de cette revue de littérature à l'aide de la ROBIS tool.....	

Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Préambule	1
1.2	L'application MyJump 2	2
1.2.1	Présentation	2
1.2.2	Calcul des variables d'un Drop Jump	2
1.2.2.1	Modalités de prise de la vidéo	3
1.2.2.2	Analyse de la vidéo	3
1.2.2.3	Données récoltées	3
1.3	La pliométrie	4
1.3.1	Définitions	4
1.3.2	Le SSC	4
1.3.2.1	Phase de pré-étirement en excentrique	5
1.3.2.2	Phase d'amortissement, ou « time to rebound »	6
1.3.2.3	Phase de raccourcissement concentrique	6
1.3.3	Les mécanismes en jeu dans le SSC	7
1.3.3.1	Le modèle physiologique	7
1.3.3.2	Le modèle mécanique	10
1.3.3.3	Le modèle neurophysiologique	10
1.3.4	Caractéristiques du SSC	11
1.4	La force réactive	13
1.4.1	Définitions	13
1.4.2	Les qualités sous-jacentes à la force réactive	15
1.4.2.1	Propriétés musculaires et tendineuses	15
1.4.2.2	Force et raideur musculaire	16
1.4.2.3	Pré-activation musculaire	16
1.4.2.4	Rate of force development (RFD)	17
1.4.2.5	Coordination neuro-musculaire	17
1.4.3	Indice de force réactive	18
1.4.3.1	Associations entre RSI et qualités physiques	19
1.4.3.2	RSI, hauteur de saut et temps de contact au sol	19
1.4.3.3	Valeurs normatives de RSI	20
1.4.3.4	Outils de mesure du RSI	21
1.5	Drop Jump	22
1.5.1	Définition	22
1.5.2	Modalités d'exécution	22
1.5.2.1	Les conditions préalables au test	22
1.5.2.2	Les phases du DJ	22
1.5.2.3	Précautions à prendre	24
1.5.3	Hauteur de chute	24
1.5.4	Consignes verbales	25
1.5.5	Biomécanique	26
1.5.6	Variantes de DJ	29

1.6	Objectifs et intérêts de la revue de littérature :.....	29
2	Méthode	31
2.1	Critères d'éligibilité des études pour cette revue :.....	31
2.1.1	Schéma d'étude :.....	31
2.1.2	Population :.....	31
2.1.3	Outil de mesure :.....	31
2.1.4	Concept mesuré :.....	32
2.1.5	Comparateur :	32
2.1.6	Propriétés métrologiques :.....	32
2.2	Méthodologie de recherche des études :.....	33
2.2.1	Sources documentaires investiguées :.....	33
2.2.2	Équation de recherche :.....	34
2.3	Méthodologie d'extraction et d'analyse des données :.....	35
2.3.1	Méthode de sélection des études :.....	35
2.3.2	Évaluation de la qualité méthodologique :	36
2.3.3	Méthode d'extraction des données :.....	37
2.3.4	Méthode de synthèse des résultats :.....	37
3	Résultats	40
3.1	Description des études.....	40
3.1.1	Processus de sélection des études.....	40
3.1.2	Études exclues	41
3.1.3	Études incluses.....	41
3.2	Analyse qualitative	41
3.2.1	Risque de biais des études évaluant la fiabilité.....	41
3.2.2	Risque de biais des études évaluant la validité	44
3.2.3	Présentation des résultats : la fiabilité	46
3.2.3.1	<i>Haynes et al.</i>	46
3.2.3.2	<i>Montalvo et al.</i>	46
3.2.3.3	<i>Rogers et al.</i>	47
3.2.4	Présentation des résultats : la validité.....	49
3.2.4.1	<i>Haynes et al.</i> :.....	49
3.2.4.2	<i>Montalvo et al.</i> :.....	50
3.2.4.3	<i>Rogers et al.</i> :	51
3.2.4.4	<i>Whiteley et al.</i> :	52
3.2.5	Analyse quantitative.....	52
3.2.5.1	Résultats concernant la validité par critère concourante.....	52
4	Discussion.....	54
4.1	Analyse des principaux résultats	54
4.1.1	La fiabilité.....	54
4.1.2	La validité.....	56
4.2	Mise en perspective des résultats avec la littérature	59
4.3	Qualité des preuves	60

4.4	Applicabilité des résultats en pratique clinique	61
4.4.1	Utilisation potentielle de MyJump 2 : la prévention	62
4.4.2	Utilisation potentielle de MyJump 2 : l'examen clinique, l'investigation	62
4.4.3	Utilisation potentielle de MyJump 2 : le traitement et la validation de critères 63	
4.4.4	Interprétation des données.....	64
4.4.5	Recommandations d'utilisation en pratique clinique	65
4.5	Biais potentiels de cette revue	66
5	Conclusion	67
5.1	Implication pour la pratique clinique	67
5.2	Implication pour la recherche	68
6	Liens d'intérêt et financement	68
7	Liens supplémentaires	68
8	Bibliographie	69
9	Annexes.....	

1 Introduction

1.1 Préambule :

En début de troisième année d'étude, j'arrivais dans une période charnière de mon parcours d'étudiant, à la croisée des chemins entre ce que j'avais déjà accompli, compris, appris ou découvert et toutes les questions qui subsistaient encore en moi. À ce moment-là, je commençais à m'intéresser au travail pliométrique et à la réathlétisation. Autant de notions vagues pour moi qu'il fallait que j'investigues. En effet, de ce que j'avais pu observer et pratiquer en stage, dans le champ de la traumatologie du sport, il me paraissait essentiel de travailler certains paramètres clés de la rééducation (ex : renforcement musculaire, travail de mobilité articulaire, du contrôle moteur etc.). Cependant, je quittais toujours le stage avant que la rééducation du patient ne s'intensifie, avant son retour au sport et sur le terrain. Il y avait tout un ensemble d'éléments que je n'avais pas, il me manquait en réalité tout un pan de la rééducation. J'entendais ou lisais régulièrement qu'il est essentiel d'intensifier progressivement la rééducation du patient et de s'approcher des contraintes que son sport lui impose. Cela me paraissait plutôt clair et cohérent mais je n'avais aucune idée de comment le travailler concrètement en kinésithérapie ni des mécanismes physiologiques que cela impliquerait.

En octobre 2022, j'ai visionné un Webinaire qui, sans le savoir à ce moment-là, contribuera largement au choix de mon sujet de mémoire. Il s'agissait de la Masterclass Pied/Cheville présentée par Julien Astouric avec les interventions de François Fourchet, Romain Tourillon et Massamba M'Baye. La dernière partie s'intéressait à la composante verticale dans l'évaluation et la rééducation du membre inférieur en traumatologie. Massamba M'Baye introduisait la notion de force réactive qu'il définissait comme la capacité à absorber puis restituer de l'énergie. Il expliquait l'importance d'avoir une bonne force réactive (pour la cheville dans cette Masterclass), ce qu'un déficit de celle-ci pouvait impliquer, comment l'évaluer avec des plateformes de force et enfin comment la travailler. Je venais déjà de combler une partie, certes infime, de ce pan manquant entre la rééducation et le retour à la performance du patient. Il fallait désormais que j'investigues ces notions de pliométrie, de force réactive.

Je me suis alors souvenu que j'avais visionné quelques mois auparavant une vidéo de Jean Benoit Morin présentant l'application MyJump 2 qui permet de mesurer des hauteurs de saut entre autres. Ma première question a été : est-ce que cette application peut être une alternative aux plateformes de force pour évaluer la force réactive d'un patient ?

1.2 L'application MyJump 2 :

1.2.1 Présentation :

Elle a été développée par Carlos Balsalobre, scientifique du sport espagnol, et ses collaborateurs en 2015. L'application possède de nombreuses fonctionnalités :

- ◆ Mesurer les variables d'un saut vertical parmi le Counter Movement Jump (CMJ), le Squat Jump (SJ), le CMJ free arms et le Drop Jump (DJ). Les variables en question pour le DJ sont la hauteur de saut (HS), le temps de contact au sol (TCS) et l'indice de force réactive (RSI) ;
- ◆ Mesurer la longueur d'un saut horizontal ;
- ◆ Calculer un profil force-vitesse ;
- ◆ Réaliser un test d'asymétrie (sur un DJ) entre les deux membres inférieurs (MI) ;
- ◆ Mesurer les variables de sauts répétés (ex : maximum de CMJ en 15 secondes).

La principale force de l'application est de pouvoir calculer la hauteur de saut vertical d'un individu uniquement sur la base d'une vidéo à l'aide de la caméra haute vitesse d'un smartphone ou d'une tablette. Elle utilise pour cela l'analyse image par image de la vidéo (240 images par seconde) pour calculer le temps de vol (TDV) puis la HS.

Le processeur de l'application utilise l'équation suivante [1] :

$$h_{MAX} = \frac{1}{8} \times g \times t_v^2$$

Figure 1 : équation pour obtenir une hauteur de saut (hmax) à partir de l'accélération de la pesanteur (g = 9,81 m.s-2) et du temps de vol t_v

L'application est conçue pour fonctionner sous IOS ou Android. Elle est présentée comme un outil au fonctionnement intuitif, facile d'utilisation et ne demandant pas de formation¹.

Sur les sites de vente on peut lire que l'application qui est « validée scientifiquement » sur le *Journal of Strength & Conditioning Research* et le *Journal of Sports Sciences* serait aussi fiable que des plateformes de force (PF) vendues elles, beaucoup plus chères¹.

1.2.2 Calcul des variables d'un Drop Jump :

Prenons à présent l'exemple du DJ et intéressons-nous au calcul de ses variables à l'aide de l'application.

¹ <https://apps.apple.com/ci/app/my-jump-2/id1148617550> - Consulté le 23/11/2023 à 20h52 heure de Paris

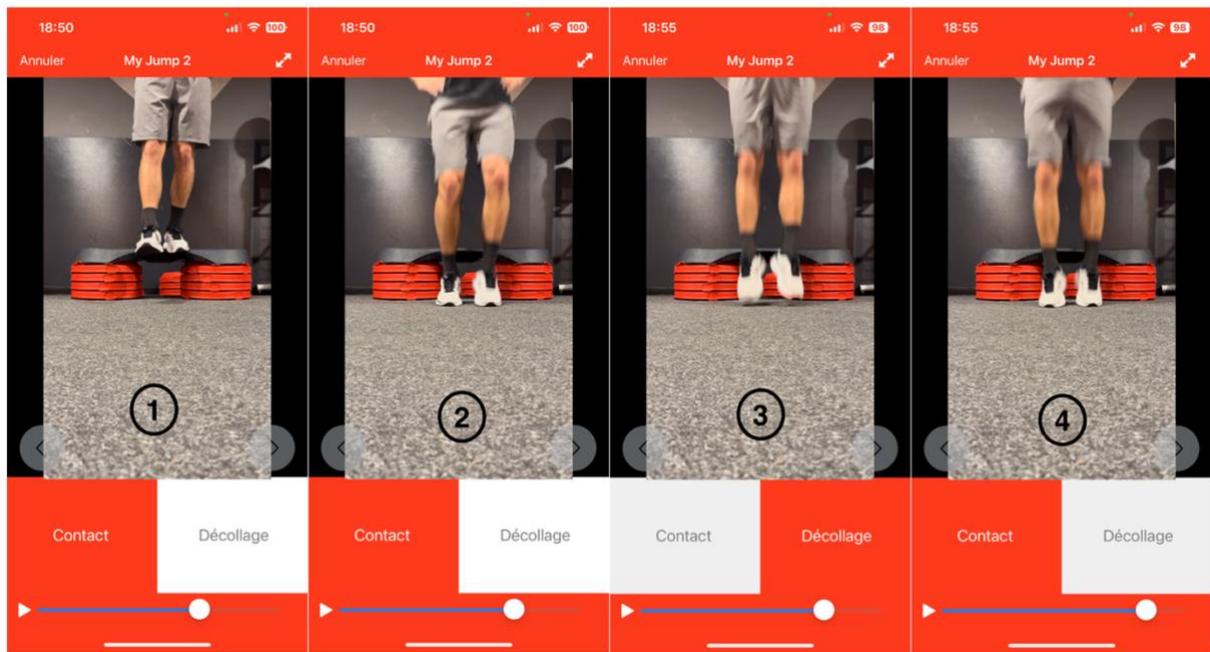


Figure 2 : analyse d'un Drop Jump avec MyJump 2

1.2.2.1 Modalités de prise de la vidéo :

Le sujet à évaluer est en position de départ sur un contre-haut (step, marche etc.). Jean Benoit Morin préconise que l'évaluateur se place face au sujet, à une distance de 1 mètre environ, le téléphone est tenu droit, en contact avec le sol par sa base dans le but d'être au plus près des pieds quand ces derniers vont toucher puis se décoller du sol². On demande ensuite au sujet de se laisser tomber puis de sauter le plus haut possible et le plus rapidement possible, c'est à dire en passant le moins de temps possible au sol (image 1, figure 2).

1.2.2.2 Analyse de la vidéo :

La fréquence d'échantillonnage de la caméra du smartphone (240 images par seconde) permet donc de découper la vidéo par images et de les faire défiler à l'aide des flèches (avant/après) situées en bas de l'écran.

Il s'agit ensuite de sélectionner manuellement « contact » dès qu'un pied entre en contact avec le sol (image 2, figure 2). Il faut ensuite sélectionner « décollage » dès que les deux pieds ne touchent plus le sol (il est à noter qu'au moment où le sujet quitte le sol, les chaussures sont souvent floues, Jean Benoit Morin le considère comme un repère) (image 3, figure 2). Puis, il s'agit de sélectionner « contact » lorsque qu'un pied entre à nouveau en contact avec le sol (image 4, figure 2). Enfin, il faut entrer la hauteur du contre-haut duquel le sujet a sauté (30 cm dans notre exemple).

1.2.2.3 Données récoltées :

À la fin de l'analyse de la vidéo, voici les données qui s'affichent à l'écran (confère figure 3) : HS (cm) calculée à partir du TDV ; TDV (ms) ; TCS (ms) ; Rigidité (kN/m) ; RSI.

² Tuto Profil Force-Vitesse ft Jean Benoit Morin : https://www.youtube.com/watch?v=N5_40EvQu4o&t=911s – Consulté le 22/11/2023 à 20h56 heure de Paris



Figure 3 : affichage des données récoltées sur le Drop Jump avec MyJump 2

L'icône présente en-dessous des résultats permet de partager ces derniers. Il est ainsi possible de les envoyer directement par mail à l'individu, à son médecin ou autre après l'évaluation réalisée.

L'intérêt de l'application est de pouvoir faire sauter de nombreux individus, de conserver les vidéos dans un album sur le smartphone/la tablette et de pouvoir les analyser ensuite au moment voulu.

L'application MyJump 2 est ainsi un moyen de mesurer les capacités pliométriques d'un individu.

1.3 La pliométrie :

1.3.1 Définitions :

Yuri Verkhoshansky définit la pliométrie comme étant un mouvement qui implique « *une action balistique rapidement interrompue par une contraction musculaire excentrique et explosive isométrique suivie immédiatement par un rappel concentrique puissant, médié par le recrutement du réflexe myotatique d'étirement et amplifié par la libération d'énergie élastique stockée dans les tissus conjonctifs du complexe muscle-tendon* » [2].

Verkhoshansky juge tout mouvement comme étant pliométrique si ce dernier « *comporte une action d'atterrissage et de décollage toutes deux exécutées en un temps rapide, inférieur à 0,25 secondes* » [2][3][4].

La pliométrie et l'entraînement pliométrique en général, utilise des mouvements brefs et puissants faisant recours à un pré-étirement ou à un contre-mouvement suivi rapidement d'un raccourcissement. Au cours d'un mouvement pliométrique, il y a un cycle étirement-raccourcissement, plus communément appelé en anglais *Stretch-Shortening-Cycle* (SSC) [5][6][7].

1.3.2 Le SSC :

Le SSC est défini comme une action musculaire cyclique rapide par laquelle le muscle subit une contraction excentrique, suivie d'une courte période de transition avant la contraction concentrique (couplage excentrique-concentrique). Cela permet une production de force plus importante que si le muscle se contractait en concentrique seulement [8][9]. Il s'agit d'une véritable fonction musculaire,

parfois appelée « action inverse » du muscle [10]. Le mécanisme du SSC est souvent comparé à celui du ressort, qui sautera d'autant plus haut lorsqu'il est soumis à une grande force et une grande vitesse de compression, c'est le taux de charge [11][12][13].

D'après *Davies et al.*, le SSC se divise en trois phases [14]:

- ◆ Phase de pré-étirement en excentrique (*images A-B sur la figure 4*)
- ◆ Phase d'amortissement, ou « time to rebound » (*image C*)
- ◆ Phase de raccourcissement en concentrique (*images D-E*)



Figure 1. Phases of the Stretch-Shortening Cycle (SSC)

Figure 4 : les phases du SSC³ (exemple pour le segment cheville)

1.3.2.1 Phase de pré-étirement en excentrique :

Elle est décrite comme la phase de préparation, de potentialisation ou encore de contre-mouvement. On y observe un étirement des trois composantes du muscle strié décrites par Hill (confère *figure 5*) : la composante contractile représentée par les myofibrilles et les ponts actine-myosine, la composante élastique (non-contractile) parallèle (CEP) représentée par les enveloppes du muscle (ex : aponévrose), la composante élastique série (CES) représentée par le tendon [15].

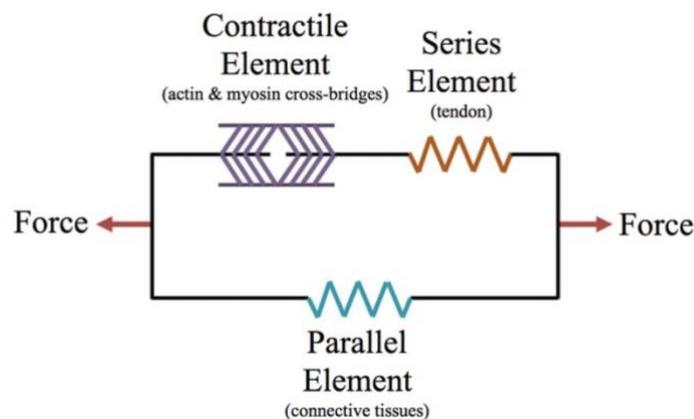


Figure 5 : les 3 composantes de la contraction musculaire selon le modèle de Hill [16]

L'étirement des fibres musculaires est cependant à relativiser. En effet, selon le muscle, le niveau de l'individu, la charge encaissée, il a été montré que les fibres musculaires pouvaient garder une longueur quasiment constante au cours de la phase de pré-étirement [17].

L'efficacité de la phase de pré-étirement dépend de trois paramètres : l'amplitude, la vitesse et la durée de l'étirement [18][19]. Chacun des trois paramètres impactera significativement la quantité

³ <https://www.scienceforsport.com/stretch-shortening-cycle> - Consulté le 17/12 à 9h34 heure de Paris

d'énergie élastique (EE) stockée durant cette phase. Cette phase va permettre de potentialiser la troisième phase du SSC en améliorant la contraction concentrique par une augmentation de la production de force [18][20][21][22]. En effet, *Bobbert et al.* ont montré que des athlètes sautaient 2 à 4 cm plus haut au cours d'un CMJ comparé à un SJ [23]. Le CMJ ayant recours à un contre-mouvement et à un pré-étirement qui augmentent le taux de charge, alors que le SJ s'effectue d'une position statique sans pré-étirement.

1.3.2.2 Phase d'amortissement, ou « time to rebound » :

Elle se définit comme une phase de transition, caractérisée par un délai électromécanique dû à l'arrêt du travail négatif en excentrique et le début de la contraction concentrique [24][25].

D'un point de vue physiologique et neurologique, ce délai est dû à :

- ◆ L'atteinte du taux maximum de stimulation musculaire par le système nerveux central ;
- ◆ La propagation du potentiel d'action le long du sarcolemme ;
- ◆ Au temps de libération du calcium et à la formation des ponts d'actine-myosine ;
- ◆ L'interaction entre les composantes contractiles (myofibrilles) et les CES (tendon) ;
- ◆ La « *toe region* » des tendons : aussi illustrée comme le « mou au sein du tendon », il s'agit en fait du temps nécessaire pour créer une tension maximale au sein du tendon qui permettra de transmettre le maximum de force au segment osseux au cours de la phase concentrique [15].

Le terme délai nous renvoi également à la notion de temps. En effet, au plus la phase d'amortissement est courte, c'est à dire au plus la transition excentrique-concentrique est rapide, au plus le mouvement pliométrique, le SSC, sera puissant car l'EE stockée est ainsi utilisée de manière optimale.

Si cette phase est trop longue, l'EE stockée lors de la phase précédente risque d'être dissipée sous forme de chaleur et le réflexe myotatique risque de ne pas être activé, il en résultera une contraction concentrique moins efficace [24]. En effet, il a été montré que l'ampleur de la potentialisation diminuait lorsque le délai de la transition excentrique-concentrique augmentait [26].

Les deux paramètres qui contribuent le plus à la rapidité et à l'efficacité du SSC sont la vitesse d'étirement qui doit être la plus rapide possible, et le délai de transition excentrique-concentrique qui doit être le plus court possible [27].

D'un point de vue musculaire et d'après la définition de Yuri Verkoshansky, cette phase serait caractérisée par une contraction musculaire explosive isométrique [2]. C'est d'ailleurs lors de cette phase que le pic de force est atteint, ou du moins est très proche d'être atteint au cours d'un CMJ selon les travaux de *Bobbert et al.* [27].

Une phase essentielle dans le SSC qui fait qu'un des premiers objectifs de l'entraînement pliométrique est de réduire sa durée dans le but d'améliorer l'efficacité du mouvement [14].

1.3.2.3 Phase de raccourcissement concentrique :

Il s'agit de la dernière phase du mouvement pliométrique, on l'appelle aussi « phase d'accélération positive » [5]. C'est une phase de performance caractérisée par la production de puissance finale [14]. Elle est aussi définie comme une phase « facilitée » du SSC, en référence à la potentialisation acquise des deux phases précédentes qui permettent d'améliorer son efficacité, notamment par l'utilisation des propriétés élastiques de la CES étirée (ex : tendon) [24][28][29].

L'EE précédemment stockée par la CES est libérée, on parle « d'action catapulte » [30]. Les fibres musculaires se raccourcissent certes, mais très légèrement. En effet, le raccourcissement du complexe muscle-tendon observé au cours de cette phase étant majoritairement dû au tendon qui retrouve sa longueur initiale [31].

1.3.3 Les mécanismes en jeu dans le SSC :

Au cours des trois phases du SSC, de nombreux mécanismes sont mis en jeu. Parmi eux : le stockage de l'EE, les processus neurologiques involontaires, l'état actif, les caractéristiques de tension-longueur du muscle, la tension pré-active et la coordination motrice [12][23][32][33][34][35][36][37][38][39][40][41].

Il est couramment admis que les trois mécanismes qui contribuent et affectent le plus le SSC sont le stockage de l'EE, les processus neurologiques involontaires et l'état actif [42]. *Davies et al.* parlent de modèle physiologique, mécanique et neurophysiologique [14].

1.3.3.1 Le modèle physiologique :

Il est représenté par l'état actif qui est la période au cours de laquelle la force peut être développée avant la phase concentrique. Le muscle est dans un « haut état d'activité » [8]. Ce mécanisme concerne ainsi davantage la composante contractile du muscle.

Premièrement, il a été démontré que les mouvements qui impliquent des phases excentrique et d'amortissement plus longues laissent davantage de temps pour la formation de ponts actine-myosine ce qui augmente les moments articulaires et par conséquent la force développée en concentrique [37]. En effet, augmenter la force produite (ex : par une augmentation de la vitesse d'étirement) ainsi que le temps pour développer cette force lors des deux premières phases du SSC, conduit à une augmentation de l'impulsion lors de la dernière phase (impulsion = force x temps) [43]. Cette notion est paradoxale puisque si on s'intéresse au SSC lors de l'appui en course à pied par exemple, le TCS est court. Toutefois, le fait qu'il y ait une phase de pré-étirement avant la phase concentrique permet d'augmenter le temps pour développer de la force, c'est relatif puisque nous parlons de quelques millisecondes en plus, mais cela reste plus de temps que si le mouvement était purement concentrique.

Lorsqu'on évoque le rôle de la composante contractile dans le SSC, il paraît indispensable d'évoquer la courbe tension-longueur du sarcomère et la courbe force-vitesse soit les deux principes fondamentaux de la contraction musculaire [44]. Concernant la relation tension-longueur, il a été montré que la longueur des muscles au repos est légèrement inférieure à leur longueur optimale, celle qui produira le plus de force [45]. Un léger étirement permettrait d'atteindre celle-ci. Or, lors du SSC, le muscle est étiré (parfois très peu) lors de la première phase. *Fukunaga et al.* ont ainsi montré que les activités de saut étaient globalement sur le haut de la courbe, c'est-à-dire que les sarcomères atteignent sur ces mouvements la longueur pour laquelle l'interaction entre les ponts d'actine et de myosine est maximale (tension maximale), celle qui correspond à une force développée maximale [46] (confère *figure 6*).

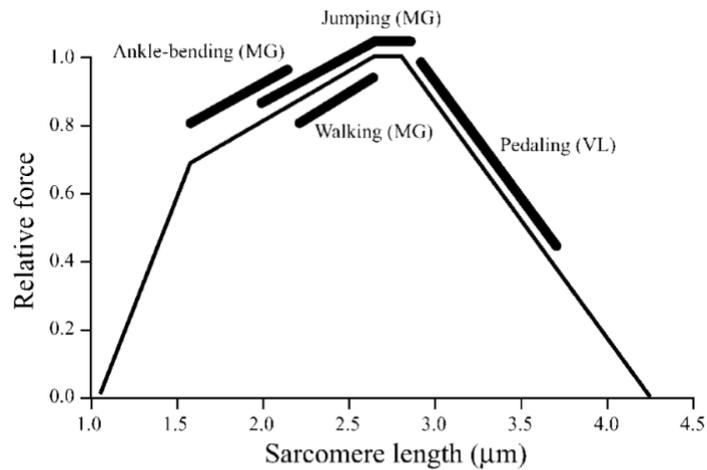


Figure 7. Length-force relation of sarcomere during ankle bending (8), jumping (10), walking (2), and pedaling (11).

Figure 6 : Relation tension-longueur du sarcomère selon l'activité [46] / MG : medialis gastrocnemius (gastrocnémien médial) ; VL : vastus lateralis (vaste latéral)

Concernant la courbe force-vitesse, il est démontré qu'au plus la vitesse du mouvement augmente, au moins il y a de temps pour générer des accrochages pontiques et donc au moins il y aura de force musculaire produite [47]. Cependant, le modèle de base considère seulement la force produite en fonction de la vitesse pour une contraction concentrique. Or, nous savons que lors d'un SSC rapide, il y a d'abord un mouvement de pré-étirement à haute vitesse avant la phase concentrique. Ainsi, si l'on s'intéresse à la courbe force-vitesse, dite « complète », on s'aperçoit que la force produite par le muscle peut atteindre 150% de la tension maximale isométrique malgré des vitesses (négatives) très élevées [48] (confère figure 7 – partie gauche de la courbe). C'est dans cette zone de la courbe que les muscles vont travailler au cours de la première phase du SSC, sous un régime de contraction excentrique. Lors de la phase de raccourcissement, il a été proposé que la contraction musculaire concentrique, s'effectue à une vitesse (positive) moins élevée, permettant là aussi une grande production de force qui conduira à amorcer la restitution de l'énergie stockée lors de la phase de pré-étirement [49].

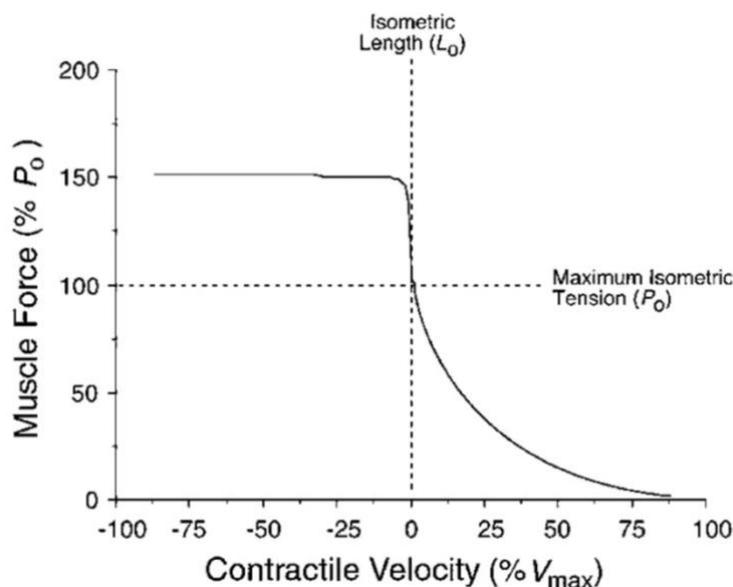


Figure 7 : courbe force vitesse "complète" [48]

Ces deux principes de la contraction musculaire vont conditionner la production de puissance au cours du SSC [47].

De plus, les travaux d'Elftman stipulent que la production de force par le muscle est organisée selon une hiérarchie [50]. En effet, la contraction excentrique produit le plus de force et est observée au cours de la première phase du SSC, elle est suivie par la contraction isométrique durant la deuxième phase puis la contraction concentrique qui produit le moins de force est observée au cours de la dernière phase. Toutefois, les forces et les moments articulaires les plus importants sont souvent observés lors de la phase concentrique [8]. La raison est que les contractions excentrique puis isométrique des phases de pré-étirement et d'amortissement permettent de développer la majorité de la force restituée ensuite lors de la phase concentrique [50]. Nous avons ainsi les trois modes de contraction musculaire au sein même du SSC qui s'enchaînent selon un ordre décroissant en fonction des forces qu'ils produisent, tout cela dans le but de potentialiser la phase suivante et par conséquent l'efficacité du SSC.

Des précisions ont cependant été ajoutées à cette théorie⁴. En effet, dans la mesure où il a été montré que la longueur des fibres musculaires pouvait dans certains cas rester globalement constante pendant quasiment toute la durée du SSC (ex : course à vitesse maximale), nous serions tentés de dire que le régime de contraction musculaire représenté ici est l'isométrique [31][51]. Toutefois, il y aura rarement de contraction isométrique pure au cours du SSC. Nous parlerons alors de contraction isométrique dite de retenu, de maintien ou *yielding isometrics*, qui s'approche de la contraction excentrique, plutôt observée lors de la première phase du SSC (pré-étirement). Au cours des phases d'amortissement et de raccourcissement, nous pourrions observer une contraction isométrique dite de poussée ou *isometrics overcoming*, qui s'approche de la contraction concentrique [52].

Dans la suite de ce travail, par soucis de simplification, nous parlerons de phase de pré-étirement en excentrique, de phase d'amortissement en isométrique et de phase de raccourcissement en concentrique. Il s'agira cependant de garder en tête que les frontières entre ces différents régimes de contraction au cours du SSC sont parfois difficiles à définir et qu'il est possible que les fibres musculaires travaillent plus ou moins à longueur constante selon de nombreux paramètres (confère *partie 1.5.5*).

En ce qui concerne la typologie des fibres musculaires et des unités motrices (UM) recrutées lors du SSC, une organisation hiérarchique est également impliquée, on parle de principe de taille [53]. Les fibres lentes (type I) seront recrutées pour des efforts de basse intensité, les fibres rapides (type IIa) seront recrutées entre 30 et 80% de l'intensité maximale. À partir de 70-80% de l'intensité maximale, les fibres rapides (types IIa et IIb) sont recrutées. Tout dépend donc de l'intensité imposée et mise dans le mouvement pliométrique. En revanche, si l'objectif est de potentialiser l'efficacité du SSC il est conseillé de maximiser l'intention et l'intensité du mouvement pliométrique (> 80% de l'intensité maximale). Cela permettra un meilleur recrutement des fibres rapides et une augmentation de la puissance produite. En effet, les fibres rapides sont celles qui répondent le mieux à des grandes vitesses d'étirement mais de faible amplitude [19][24][54][55].

De nombreux auteurs considèrent aujourd'hui que l'état actif est le mécanisme qui contribue le plus à l'efficacité du SSC en permettant une plus grande accumulation de force avant l'impulsion concentrique [23][37][42][43].

⁴ Podcast Move More (Rémi Rivet et Alexis Beck) : <https://open.spotify.com/show/3693XnsiW2XNSpoWdt1Fzc> - Consulté le 27/11 à 8h33 heure de Paris

1.3.3.2 *Le modèle mécanique :*

Il repose sur le fait que les muscles ont pour fonction, quel que soit l'activité, de décélérer et d'absorber les chocs. Ceci étant permis par leurs propriétés élastiques [56].

Cette propriété est commune aux trois composantes du muscle strié décrites par Hill [15].

Le concept d'EE peut-être illustré par une bande élastique. Lorsque cette bande est étirée, il y a une accumulation d'énergie qui est stockée, puis lorsque la bande retrouve sa forme initiale alors l'énergie est libérée. La quantité d'EE stockée est proportionnelle à la force appliquée pour déformer la bande [54].

Il est communément admis que le tendon est le site de stockage principal de l'EE, au cours des phases de pré-étirement et d'amortissement [57][58]. Pour une efficacité optimale du SSC, il est nécessaire que le muscle se contracte et se rigidifie avant la frappe du sol (pré-activation) puis reste actif lors des deux premières phases du SSC. Cela permettra d'augmenter les forces transmises au tendon et d'offrir à celui-ci un point d'appui pour qu'il se déforme de façon optimale dans le but de maximiser la quantité d'EE stockée.

La contraction concentrique du muscle, pourtant déjà dans un « haut état d'activité », permettra de restituer cette EE lors de la dernière phase du SSC au cours de laquelle le tendon retrouvera sa longueur initiale [42].

Cependant, le stockage de l'EE notamment au sein du tendon est limité en durée. En effet, la demi-vie de l'EE est de 850 millisecondes (ms) [59]. Si le temps entre son stockage et sa restitution est trop long, l'EE est dissipée ce qui nous rappelle l'importance d'une phase d'amortissement rapide, c'est à dire une transition excentrique-concentrique la plus courte possible [24].

Le modèle mécanique constitue un mécanisme clé pour la performance du SSC. En effet, les athlètes élités pratiquant des sports qui sollicitent la puissance et l'endurance des MI possèdent une meilleure capacité à stocker l'EE [60][61].

Albert et al. considèrent que la CES représentée principalement par le tendon compte pour 70-75 % de la force concentrique produite au cours d'un SSC [62]. Cela diffère toutefois du point de vue des auteurs qui considèrent le modèle physiologique comme étant le plus important pour la production de force observée lors de la dernière phase du SSC [23][37][42][43].

1.3.3.3 *Le modèle neurophysiologique :*

On observe au cours du SSC une augmentation de l'excitabilité des récepteurs proprioceptifs, principalement due à l'étirement lors de la phase excentrique [14]. La sollicitation de ces récepteurs met alors en jeu des réflexes neurologiques.

Parmi ces récepteurs : les fuseaux neuro-musculaires (FNM) situés dans les fibres intrafusales et innervés par les motoneurones gammas [63][64]. Les neurones qui y sont connectés déchargent lorsque l'étirement excentrique atteint une vitesse qui pourrait potentiellement endommager le complexe muscle-tendon. S'en suit alors une boucle réflexe qui stimule la contraction du muscle étiré, c'est le réflexe d'étirement ou réflexe myotatique. L'intensité du signal afférent envoyé à la moelle épinière dépend de la vitesse de l'étirement. Au plus elle augmente, au plus l'intensité du signal sera importante et au plus contraction résultante sera conséquente.

L'organe tendineux de Golgi (OTG) est un autre récepteur proprioceptif qui module l'action des FNM par un rôle inverse. L'OTG est situé dans les fibres extrafusales et est innervé par les motoneurones alphas [63]. Il réagit aux changements de tension dans le muscle : lorsque les forces de contraction atteignent un point où le complexe muscle-tendon risque d'être endommagé, les neurones connectés à l'OTG déchargent et entraînent une boucle réflexe qui inhibe les motoneurones des muscles étirés, c'est le réflexe d'allongement ou réflexe myotatique inverse [65]. Ainsi, la sollicitation de l'OTG conduit à une diminution de la production de force lors de la phase concentrique et à une diminution de l'efficacité du SSC [42].

Un SSC et par conséquent un mouvement pliométrique efficace, c'est donc augmenter l'excitabilité des FNM tout en désensibilisant l'OTG [66][67]. On parle de coordination neuro-musculaire.

La mise en jeu du système neurologique, principalement au cours de la phase de pré-étirement, permet ainsi une potentialisation neuronale traduite par une augmentation du recrutement des motoneurones au cours de la phase de raccourcissement [43].

1.3.4 Caractéristiques du SSC :

Nous avons vu que tout mouvement pliométrique implique un SSC [5][6][7].

Ainsi, la pliométrie désigne un mouvement, une façon de se mouvoir mais également une façon de s'entraîner (l'entraînement pliométrique) tandis que le SSC désigne le mécanisme (dont nous avons décrit les 3 phases) qui est impliqué dans le mouvement pliométrique.

Il convient de préciser que le SSC n'intervient pas seulement dans les sauts ou les rebonds, il est présent dans toute forme de mouvement humain au cours duquel un membre change de direction⁵. Ainsi, la marche, un changement de direction dans la rue, la course à pied, un abaissement puis une élévation du membre supérieur sont toutes des actions de la vie quotidienne qui mettent en jeu le SSC.

En revanche nous sommes d'accord pour dire que ces actions-là ne s'effectuent pas aux mêmes vitesses et par conséquent que les vitesses des SSC sont également différentes.

C'est pourquoi Schmidbleicher suggère que le SSC se divise en réalité en deux : le SSC lent et le SSC rapide [4]. Le SSC rapide est caractérisé par un temps de contraction ≤ 250 ms. On note un faible déplacement angulaire des hanches, genoux et chevilles. Le SSC lent implique lui un temps de contraction plus long (> 250 ms) et des déplacements angulaires plus importants des articulations du MI [8].

Cette différence de temps de contraction s'explique par une vitesse d'étirement plus rapide et une transition excentrique-concentrique plus courte pour le SSC rapide [27]. La phase excentrique plus longue dans le SSC lent laisserait en revanche davantage de temps au muscle pour développer de la force, ce qui en fait un facteur de performance [37][68]. Cependant, les deux premières phases étant plus longues dans le SSC lent, cela laisse à penser que l'efficacité de la troisième phase sera moins potentialisée que dans le SSC rapide. En effet, *Flanagan et al.* émettent un doute quant à la sollicitation du réflexe myotatique et à la contribution de l'EE dans le SSC lent de façon aussi active que dans le SSC rapide [69].

⁵ <https://www.scienceforsport.com/stretch-shortening-cycle/> - Consulté le 9/12/2023 à 11h57 heure de Paris

Il a ainsi été émis l'hypothèse que les SSC lent et rapide ne sollicitent pas les mêmes fonctions des muscles et reposent sur des mécanismes biomécaniques distincts, affectant alors la performance de manières différentes [69].

Avec 250 ms comme seuil pour différencier le SSC rapide du SSC lent, nous nous rapprochons de la définition de Verkhoshansky [2][3][4]. En revanche, si ce dernier utilise le même temps pour définir un mouvement pliométrique, il se réfère au TCS. Toutefois, comme il est difficile de mesurer le temps de contraction exact au cours d'une action (ex : un saut) pour chaque articulation du MI (hanche, genou et cheville), il a été proposé d'estimer celui-ci en se basant sur le TCS [70][71].

Un mouvement pliométrique implique donc forcément un SSC mais est-ce que tout mouvement impliquant un SSC est un mouvement pliométrique ?

Un mouvement au cours duquel on observe un SSC rapide, c'est à dire avec temps de contraction et un TCS ≤ 250 ms, est un mouvement pliométrique [4]. En revanche, un mouvement impliquant un SSC lent, c'est à dire avec un temps de contraction et un TCS > 250 ms ne peut être considéré comme un mouvement pliométrique. Ci-dessous, un tableau de classification des mouvements selon les caractéristiques de leur SSC (lent ou rapide) (confère *figure 8*).

Exercise	Ground contact time	SSC Classification
Race walking (10)	270-300	Slow
Sprinting (11)	80-90	Fast
Countermovement jump (CMJ) (12)	500	Slow
Depth Jump (20-60cm) (2,3)	130-300	Fast / Slow
Long Jump (13)	140-170	Fast
Multiple Hurdle Jumps (5)	150	Fast

Figure 8 : Classification du SSC (lent ou rapide) selon l'activité⁶

Dans l'entraînement pliométrique, il est commun d'utiliser des sauts de manière à améliorer les capacités pliométriques de l'individu/de l'athlète [8]. En revanche, il paraît essentiel de noter que tous les sauts, tous les mouvements ne solliciteront pas le SSC rapide, pourtant cela devrait être le but recherché lors de ce type d'entraînement.

Ainsi, le sprint, les sauts de haies répétés, les sauts type *pogo*, le *lay-up* au basketball (TCS de 218 ms en moyenne) sont des mouvements ayant recours au SSC rapide [72]. À l'inverse, les *box jumps* par exemple, concourent à l'utilisation du SSC lent [8].

Intéressons-nous désormais à trois sauts verticaux que l'on peut évaluer avec MyJump 2.

⁶ <https://www.scienceforsport.com/stretch-shortening-cycle/> - Consulté le 9/12/2023 à 11h57 heure de Paris

Le CMJ s'effectue à partir d'une triple flexion des MI (contre-mouvement), immédiatement suivie d'une triple extension des MI⁷. D'après la *figure 8*, le CMJ n'est donc pas un mouvement pliométrique, en raison de son temps de contraction/TCS au cours du SSC (500 ms en moyenne et donc > 250 ms) [73].

Le SJ est un saut qui s'effectue dans une position de départ à environ 90° de flexion de hanches et de genoux, les mains sur les hanches. C'est un mouvement concentrique pur, sans contre-mouvement qui ne concourt donc pas à l'utilisation du SSC, ce n'est pas un mouvement pliométrique [74].

Le DJ est un saut qui s'effectue après une chute d'un contre haut (confère *partie 1.5.1*). Il a recours au SSC rapide, c'est un mouvement pliométrique⁸.

Cela aura une forte implication dans la construction des séances de rééducation et de réathlétisation. En effet, il est nécessaire de respecter le principe de spécificité conceptualisé par Verkhoshansky au cours d'un exercice [2]. C'est à dire que cet exercice doit s'approcher au maximum des sollicitations biomécaniques et physiologiques d'une tâche motrice donnée, caractéristique de la discipline pratiquée par l'individu⁹.

Ainsi, comme le font remarquer *Flanagan et al.*, un entraînement du SSC lent ne sera pas aussi bénéfique pour l'individu qui s'appuie sur un SSC rapide dans sa discipline qu'un entraînement du SSC rapide lui-même [8]. Il s'agit donc de répondre aux besoins spécifiques des patients par l'identification des spécificités que leur discipline requiert, notamment les caractéristiques du SSC impliqué.

Il n'y a pas de bon ou de mauvais mouvement à inclure dans une séance de rééducation/réathlétisation, tout est bon à prendre mais tout dépend du contexte, de l'objectif et des spécificités du patient.

Dans le cadre de ce travail nous nous intéresserons uniquement au SSC rapide qui est reflété par la force réactive [8].

1.4 La force réactive

1.4.1 Définitions :

Historiquement, la force réactive (FR) répond en premier lieu à un besoin des entraîneurs d'évaluer les capacités qu'ont leurs athlètes à utiliser le SSC rapide ainsi que les caractéristiques de celui-ci [75]. Elle est donc le reflet des capacités pliométriques d'un individu¹⁰.

La FR est une qualité physique qui se définit comme la capacité d'un individu à subir une charge d'étirement et à passer rapidement et efficacement d'une contraction musculaire excentrique à une contraction musculaire concentrique¹¹ [76]. Le terme *réactive* nous renvoi bien au fait que la force est ici produite en réponse, en réaction à un élément qui est l'étirement.

⁷ <https://www.sci-sport.com/lexique/cmj.php> - Consulté le 12/12/2023 à 10h46 heure de Paris

⁸ <https://www.scienceforsport.com/a-strength-power-training-decision-tree/> - Consulté le 9/12/2023 à 18h25 heure de Paris

⁹ <https://www.sci-sport.com/dossiers/reflexion-sur-les-concepts-de-specificite-et-d-entrainement-fonctionnel-008.php> - Consulté le 9/12/2023 à 18h28 heure de Paris

¹⁰ <https://www.outputsports.com/blog/guide-to-reactive-strength-index> - Consulté le 9/12/2023 à 18h34 heure de Paris

¹¹ <https://www.scienceforsport.com/incremental-dj-rsi-test/> - Consulté le 9/12/2023 à 18h37 heure de Paris

Nous pouvons considérer la FR comme la capacité qu'a un individu à absorber et restituer de l'énergie¹².

Elle reflète également la capacité qu'a un individu à développer un maximum de force en un minimum de temps, ce qui pourrait alors s'apparenter à de la force explosive (FE) [10]. En effet, FR et FE entretiennent une relation étroite et la distinction mérite d'être faite. Pour ces deux qualités, la capacité à générer le plus rapidement possible une grande quantité de force est essentielle et s'exprime au travers du taux de développement de la force ou *Rate of force development* (RFD) [77]. Cette production de force s'effectue au cours du SSC (rapide) avec un TCS très court (≤ 250 ms), à des vitesses déjà très élevées pour la FR ce qui n'est pas nécessairement le cas de la FE [78][79]. La FE peut très bien s'exprimer à l'arrêt, sur une accélération par exemple. Il y a plus une notion d'accélération de la force pour l'explosivité, de variation brusque de la quantité de mouvement comme le définissent Quièvre et Miller¹³, sans forcément passer par un SSC [80][81]. En résumé, il y a une part d'explosivité dans la FR, mais elle s'exprime au cours d'un SSC ce qui en fait sa spécificité.

La FR est un paramètre à part entière de la force, qui a été introduit par *Young et al.* et l'Institut Australien du sport, elle fait partie de la Strength Qualities Assessment Test (SQAT), une batterie de test pour évaluer la force [75]. McGuigan et Newton l'intègrent eux aussi dans leur classification des différentes qualités de force (confère *figure 9*) [76][82].

Different strength qualities <small>Francisco Tavares Adapted from McGuigan et al. (2013) and Newton et al. (2002)</small>	
Maximum strength	
Power $P=F \times V$	High Load
	Low Load
Rate of force development	
Reactive strength	

Table 1 – Different strength qualities and definitions. Adapted from McGuigan et al. (2013) and Newton et al. (2002)

Figure 9 : les différentes qualités de la force musculaire [76][82]

¹² <https://www.youtube.com/watch?v=lrR9ohqon-o&t=6469s> – Masterclass pied/cheville (partie 3 avec Massamba M'baye) - Consulté le 9/12/2023 à 18h46 heure de Paris

¹³ <https://insep.hal.science/hal-01915646> - Consulté le 18/12/2023 à 11h36 heure de Paris

1.4.2 Les qualités sous-jacentes à la force réactive :

Ces qualités sont requises pour maximiser l'efficacité des mécanismes en jeu dans le SSC (confère *partie 1.3.3*).

1.4.2.1 Propriétés musculaires et tendineuses :

Le tendon est considéré comme le site clé de l'absorption et de la restitution d'énergie au cours du SSC [42]. Cette propriété est permise par sa déformation au cours de la phase de pré-étirement. Il a longtemps été admis que la raideur tendineuse, c'est-à-dire (c.-à-d.) la capacité qu'à un tendon à résister à l'étirement lorsqu'une force lui est appliquée, contribuait en majorité à la performance du SSC. Cependant, plus un tendon est raide, moins il s'allonge et moins il y aura d'EE stockée [57]. De plus, au plus le tendon est raide, au plus le raccourcissement de la phase concentrique sera dû à l'activité des fibres musculaires, ce qui à haute vitesse, sera peu efficace (confère *figure 7*) [58].

Il a en fait été proposé que la raideur musculaire (c.-à-d. la capacité qu'à un muscle à résister à l'étirement lorsqu'une force lui est appliquée) contribuerait davantage à la performance du SSC que la raideur tendineuse [42]. En effet, moins le muscle se laisse étirer, plus le tendon est lui étiré et une plus grande EE sera ainsi stockée puis libérée [3] (confère *figure 10*).

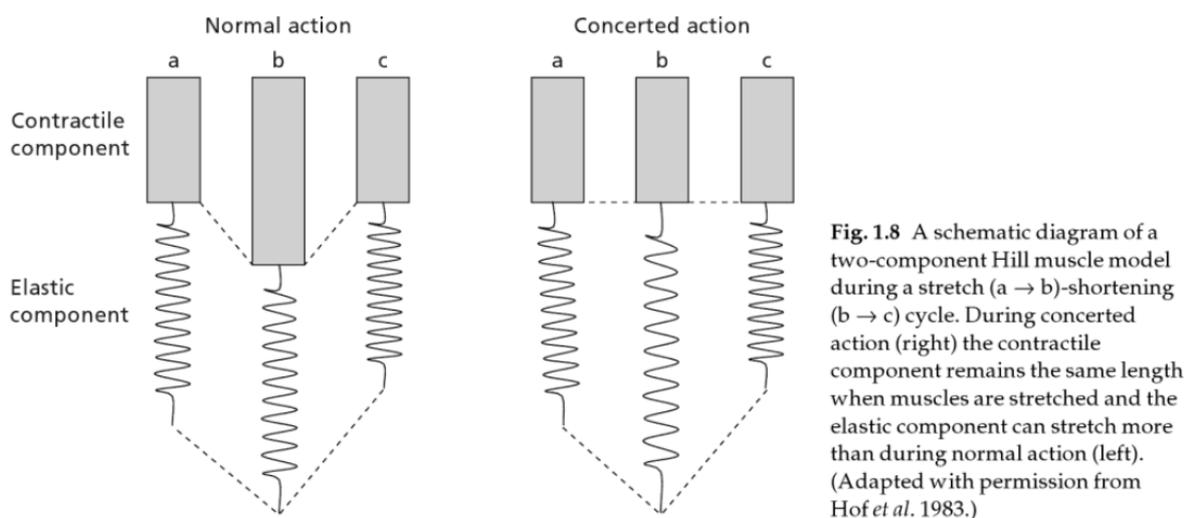


Figure 10 : Influence de la raideur musculaire sur la déformation du tendon au cours du SSC [17]

Il a été admis qu'au cours de la phase de pré-étirement, et ce jusqu'au début de la phase concentrique, une plus grande quantité de force était produite lorsque le tendon s'allongeait alors que la longueur des fibres musculaires restait elle globalement constante [83].

La raideur musculaire contribue à la raideur articulaire (c.-à-d. la capacité qu'à une articulation à résister à un changement d'angle lorsqu'une force est appliquée). Il a été montré que les individus qui avaient une meilleure raideur articulaire de la cheville avaient les TCS les plus courts à la fois sur des DJ et en course à pied, à toutes les vitesses [84][85]. Une meilleure raideur articulaire, grâce notamment à une meilleure raideur musculaire, permettrait alors d'améliorer la FR.

Même si les fibres musculaires semblent moins se déformer que les fibres tendineuses au cours du SSC, il n'en demeure pas moins que la raideur tendineuse reste essentielle pour produire de la FR (confère *partie 1.3.2.2 - toe region*) [15]. Le ratio raideur musculaire/raideur tendineuse dépend de la localisation anatomique (le tendon d'Achille se déforme jusqu'à 10,3%, le tibial antérieur jusqu'à 3,1%), des charges imposées et donc de la discipline pratiquée (les sprinters ont une raideur très importante du tendon d'Achille) [42][85][86][87].

En résumé, il est admis que les fibres musculaires agissent comme des générateurs de force tandis que le tendon agit comme un redistributeur et un amplificateur d'énergie [49].

Les deux sont corrélés et entretiennent une relation étroite, notamment par leur organisation en série et la jonction myotendineuse. Il a été montré qu'une augmentation de la force musculaire (et de la raideur musculaire) s'accompagnait également d'une augmentation de la raideur tendineuse [88].

1.4.2.2 Force et raideur musculaire :

La puissance produite au cours de la dernière phase du SSC dépend largement de la charge acceptée au cours des deux premières phases du SSC [77].

La raideur musculaire est définie par une augmentation du nombre de ponts actine-myosine et donc une augmentation de la force développée [88]. Nous avons vu que la force développée en concentrique dépendait inévitablement de la force développée en excentrique juste avant [21].

Ainsi, au plus l'individu est capable de développer une grande quantité de force en excentrique au cours de la phase de pré-étirement, au plus il tolérera une grande charge d'étirement, c'est à dire qu'il sera capable de se « rigidifier », de raidir ses muscles [89]. Cette capacité à générer de la force en excentrique permet d'augmenter l'accélération négative (l'élan) et ainsi de maximiser les mécanismes du SSC (EE stockée/libérée, réflexe myotatique) et par la même occasion la FR [90].

À l'inverse, un individu qui n'est pas capable de générer des hauts niveaux de force en excentrique au cours de la phase de pré-étirement va « s'écraser », il ne pourra pas s'opposer à la charge imposée. Il en résultera une incapacité à utiliser le SSC de manière efficiente voir une incapacité à utiliser le SSC rapide si son TCS est très trop long [91].

Si l'on voit plus loin, une meilleure force excentrique permet donc une meilleure raideur musculaire lors du contact au sol, qui en offrant un point d'appui au tendon, va permettre d'atteindre plus vite la tension maximale au sein de celui-ci et donc de diminuer le TCS et ainsi améliorer la FR [15].

1.4.2.3 Pré-activation musculaire :

La pré-activation musculaire se définit comme l'excitation des motoneurones, et *in fine* des UM, avant l'action [8].

C'est une qualité essentielle à la FR, elle va permettre d'augmenter la raideur musculaire au moment du contact au sol et ainsi potentialiser l'efficacité de la contraction excentrique au cours de la phase de pré-étirement [79][92]. Elle va aussi concourir à augmenter la force concentrique au cours de la dernière phase du SCC [12]. La pré-activation permet également de diminuer le temps de latence du réflexe myotatique [93].

Il a été montré qu'au plus la hauteur du DJ augmente, au plus la pré-activation augmente en parallèle [94].

1.4.2.4 *Rate of force development (RFD) :*

Même si elles sont différentes et nous l'avons vu, la FR requiert toutefois une certaine part d'explosivité pour s'exprimer pleinement. En effet, d'après la définition de Verkhoshansky, on observe au cours de la phase d'amortissement « une contraction explosive isométrique » [2]. Dès lors, le RFD semblerait être corrélé à l'efficacité du SSC rapide, à la FR.

Il a été montré que le SSC rapide, comporte un RFD plus élevé que le SSC lent [95]. Or, un RFD élevé permet d'augmenter la puissance de sortie [96].

Nous l'avons vu, la potentialisation de la phase de raccourcissement dépend pleinement du délai observé au cours de la phase d'amortissement. Plus ce dernier est long, moins la dernière phase du SSC sera potentialisée [77].

De nombreux paramètres entrent en compte dans ce délai (confère *partie 1.3.2.2*). Parmi eux, la durée de la contraction musculaire isométrique et le temps mis pour atteindre la tension maximale au sein du tendon. Dans cette mesure, au plus l'individu sera capable de générer un haut niveau de force dans un intervalle de temps le plus court possible (c.-à-d. un RFD élevé), au plus le délai de la phase d'amortissement sera court et au plus la phase concentrique sera potentialisée. La contraction musculaire explosive isométrique permettra d'initier rapidement la libération d'EE stockée par le tendon.

Si le RFD est élevé c'est que le temps de développement de la force est court mais aussi que la force générée est importante. Ainsi, en plus d'être rapide, la transmission de force sera conséquente.

Enfin, même si d'autres mécanismes concourent à générer une grande quantité de force rapidement au cours du SSC rapide, il convient de rattacher le RFD à la spécificité de ce genre de mouvement. En effet, que ce soit des sauts, des sprints, des changements de direction, la force est appliquée au sol sur des TCS très courts (≤ 250 ms).

1.4.2.5 *Coordination neuro-musculaire :*

Au même titre que la pré-activation, le réflexe myotatique initié par l'excitation des FNM permet aussi d'augmenter la raideur musculaire [79].

Nous l'avons vu dans la *partie 1.3.3.3*, l'excitabilité des FNM est médiée par les OTG qui initient le réflexe myotatique inverse lorsque la HS ou la charge excentrique imposée est trop importante. Ils ont un rôle de protecteur du complexe muscle-tendon.

Le réflexe myotatique inverse résulte en une inhibition des muscles étirés réduisant ainsi la raideur musculaire lors du contact au sol et par la même occasion l'efficacité du SSC [41][42][65]. Selon *Flanagan et al.*, le plateau puis la diminution de FR observés lorsque les contraintes augmentent seraient dus aux OTG [8].

Nous pouvons voir le phénomène de la manière suivante : le réflexe myotatique est activé lorsque l'unité muscle-tendon s'étire et le réflexe myotatique inverse est activé lorsque cette unité s'étire trop [97].

Les OTG sont stimulés et la raideur musculaire diminuée chez des individus peu habitués à l'intensité des mouvements pliométriques [79]. Cependant, il existe une certaine plasticité de ce réflexe puisque l'entraînement pliométrique permet de désensibiliser les OTG au cours de la phase de pré-étirement et ainsi d'améliorer la performance du SSC rapide [40].

Selon Cometti, les facteurs nerveux contribuent également à la performance du SSC rapide et sous-tendent la FR. Ils sont au nombre de trois : le recrutement spatial des UM, la fréquence des impulsions ou recrutement temporel des UM, et la synchronisation des UM [44].

1.4.3 Indice de force réactive :

La FR peut être évaluée avec l'indice de force réactive ou *reactive strength index* en anglais (RSI) [82]. Le RSI reflète la capacité d'un individu à utiliser efficacement le SSC rapide ainsi que ses capacités pliométriques de manière globale [98][99].

Le RSI répond à deux questions :

- ◆ À quelle hauteur l'individu saute ?
- ◆ À quelle vitesse l'individu saute ?

Le RSI est en effet le rapport de la HS (en mètres) divisé par le TCS (en secondes). Il est également possible de le calculer en divisant le TDV (en secondes) par le TCS (en secondes) [75][100]. Certains auteurs considèrent que c'est aussi un RSI, d'autres l'appellent le *reactive strength ratio* (RSR) [101]. Même si les deux méthodes ont dans tous les cas montré une corrélation presque parfaite, il est quand même conseillé d'utiliser l'une ou l'autre si l'on souhaite comparer un individu dans le temps et de ne pas les comparer entre eux [102]. Il est à noter que l'application MyJump 2 divise le TDV (et non la HS) par le TCS. Les développeurs appellent tout de même RSI le ratio obtenu.

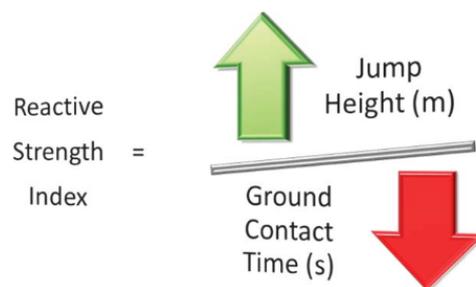


Figure 1. Formula for calculating the RSI. Reactive strength index can be increased by increasing jump height, decreasing ground contact time, or both.

Figure 11 : l'indice de force réactive (RSI) [8]

La *figure 11* illustre bien le fait que le RSI est un ratio et qu'il nécessite une parfaite harmonie entre ses deux variables pour être maximisé. En effet, le RSI peut être amélioré en augmentant la HS ou en diminuant le TCS. L'idéal est que l'individu mette les deux en place de manière synchrone et pas un

au détriment de l'autre. Cette relation entre la HS et le TCS fait que le RSI est sensible aux changements de production de force d'un individu [103].

1.4.3.1 Associations entre RSI et qualités physiques :

La récente méta-analyse de *Jarvis et al.* révèle que la force maximale (FM) est modérément associée au RSI ($r = 0.356$ [95% IC = 0.209–0.504]) [104]. Certains auteurs remettent en question l'association de la FM et de la FR [102]. En effet, il faut en moyenne 300 ms pour développer sa FM [77]. Or la plupart des sports impliquent un SSC rapide (saut, sprint, changement de direction etc.) avec des TCS très courts (≤ 250 ms) et au cours desquels il y aura finalement peu de temps pour développer sa FM. De plus nous l'avons vu avec la courbe du profil force-vitesse (confère *figure 7*), il est difficile de produire des grandes quantités de force à haute vitesse. Ainsi, la contribution de la FM au développement de la FR serait moindre, lorsqu'on la compare aux propriétés élastiques du muscle notamment [106].

Mais la relation entre FM et FR est complexe. En effet et nous l'avons vu, si on décompose le SSC, il apparaît nécessaire que les muscles soient forts (en excentrique et en isométrique), qu'ils soient « raides », pour s'opposer à la déformation du tendon et ainsi lui offrir un « point d'appui » pour que ce dernier puisse stocker et restituer l'énergie. Dans ce cas-là, une grande FM semble ainsi être essentielle pour que les qualités élastiques du muscle s'expriment pleinement et que la FR soit maximisée.

L'endurance en course à pied est modérément associée au RSI ($r = 0.401$ [95% IC = 0.173–0.629]) [104]. Il a également été montré que la force de la relation augmentait avec la vitesse de course, ce qui suggère que le SSC rapide en particulier par la contribution de l'EE, serait essentiel dans l'amélioration de l'économie de course [107][108].

La vitesse (le temps) de changement de direction (COD) est fortement corrélée au RSI ($r = -0.565$ [95% IC = -0.726 to -0.404]). Cela suggère que les individus avec un meilleur RSI auront une plus grande vitesse de COD. Par ailleurs, il a été montré qu'au plus l'angle du COD était aigu, au plus la force de la relation était importante [105]. En effet, au plus l'angle du COD est aigu, au plus le SSC rapide pourra être potentialisé pour augmenter la vitesse du COD (phases de freinage puis d'accélération). En revanche, au plus l'angle du COD est obtus, au plus la vitesse du COD dépend de la vitesse de course car la courbe est peu importante [109].

Le RSI est aussi largement corrélé à l'agilité défensive ($r = 0.731$, $p < 0.001$), offensive ($r = 0.625$, $p = 0.004$) et permettrait de monitorer la fatigue neuro-musculaire chez les footballeurs [110][111].

1.4.3.2 RSI, hauteur de saut et temps de contact au sol :

Buckman et Watson qualifient le RSI d'un « reflet global de la force réactive »¹⁴, sans toutefois le critiquer. Cependant, il est important de préciser qu'il est possible à partir de ce dernier d'analyser plus précisément les stratégies utilisées par l'individu ainsi que la qualité des phases du SSC qui sous-tendent sa FR.

Néanmoins pour cela, *Healy et al.* recommandent de s'attarder à la fois sur la HS et le TCS et non seulement sur le RSI lorsqu'on évalue un individu ou que l'on compare ses mesures dans le temps [101].

¹⁴ <https://simplifaster.com/articles/reactive-strength-ratio-evaluating-monitoring-plyometrics/> - Consulté le 17/12 à 11h15 heure de Paris

L'analyse du TCS permet en premier lieu de distinguer le SSC (rapide ≤ 250 ms ou lent > 250 ms). Il répond également au principe de spécificité de la discipline (ex : TCS de l'ordre de 250 ms chez le marathonien contre 90-100 ms pour le sprinter).

Massamba M'baye considère lui que le TCS est le reflet de la capacité d'absorption de l'athlète¹² (confère *note de bas de page, page 14*), soit la capacité à gérer la charge excentrique au cours des deux premières phases du SSC. C'est-à-dire qu'au plus le TCS de l'individu sera long, au plus ce dernier aura du mal à absorber, gérer la charge excentrique.

En ce qui concerne la HS, elle est représentative des capacités de production de puissance de l'athlète [112].

1.4.3.3 Valeurs normatives de RSI :

De façon à pouvoir interpréter le RSI d'un individu et en raison du manque de données disponibles à ce sujet, *Flanagan et al.* ont proposé un guide de valeurs normatives de cet indice [113]. Ce dernier a été construit au travers des mesures qu'ils avaient obtenu dans différents sports, croisées avec les données trouvées dans la littérature (confère *figure 12*).

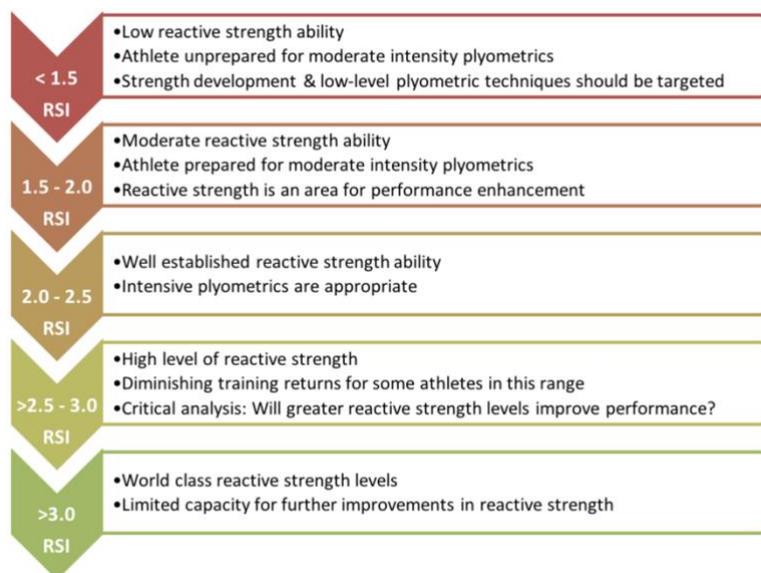


Figure 12 : valeurs normatives du RSI [113]

Pour chaque valeur est décrit le niveau pliométrique de l'individu et les axes à travailler, de manière globale :

- ◆ **RSI < 1,5** : faible capacité de FR, l'individu n'est pas préparé à des mouvements pliométriques d'intensité modérée, le développement de la force et des techniques débutantes de pliométrie doivent être ciblés.
- ◆ **1,5 \leq RSI < 2,0** : capacité de FR modérée, l'individu est prêt pour des mouvements pliométriques d'intensité modérée, le développement de la FR doit être ciblé.
- ◆ **2,0 \leq RSI < 2,5** : bonne capacité de FR, l'individu est prêt pour des mouvements pliométriques intensifs.

- ◆ **2,5 ≤ RSI < 3,0** : très bonne capacité de FR, peu d'intérêt de l'entraînement pliométrique pour ces individus.
- ◆ **RSI > 3,0** : excellente capacité de FR, amélioration de la FR désormais limitée.

Les données de ce guide sont à interpréter avec précaution. En effet, le RSI de individu dépend évidemment de nombreux paramètres (statut du niveau, sport pratiqué¹⁵, hauteur du saut, niveau de fatigue etc.). Il paraît ainsi pertinent et davantage représentatif de se construire son propre guide avec les mesures d'un même individu (comparaison dans le temps), ou de plusieurs individus d'une même équipe par exemple (comparaison entre eux).

Cependant, même si la qualité de preuves de ce guide peut être remise en question, il offre tout de même, à titre informatif, un certain ordre de grandeur du RSI selon les capacités pliométriques de l'individu.

1.4.3.4 Outils de mesure du RSI :

Il existe de nombreux outils capables de mesurer la HS, le TCS et le RSI d'un saut vertical. Les plateformes de force (PF) sont pour cela considérées comme le gold standard [114][115].

Ci-dessous, quelques exemples d'outils utilisables pour mesurer ces paramètres :

L'Opto Jump® (Microgate, Bolzano, Italy), basé sur un système de cellules photo-électriques a montré une excellente validité comparé aux PF pour mesurer la HS [116].

Le tapis de contact, type Tapis de Bosco® a démontré qu'il était valide et fiable pour mesurer le TCS d'un DJ [117].

Plus récemment, le Push Band 2.0 une unité de mesure inertielle plus communément appelée accéléromètre, a démontré une très bonne validité pour mesurer le RSI sur un DJ en comparaison aux PF [118].

Toutefois, en plus d'être onéreux (quelques milliers d'euros pour une PF) ces outils demandent une certaine expérience pour les utiliser de manière optimale. De plus, leur installation et leur paramétrage peuvent vite se montrer chronophage en pratique.

C'est pourquoi Carlos Balsalobre et ses collaborateurs ont créé l'application MyJump 2, une sorte de laboratoire de poche pour mesurer la HS, le TCS et la FR au travers du RSI à l'aide d'un smartphone ou d'une tablette.

Avec l'application, le RSI peut être mesuré sur un DJ qui est considéré comme le saut de référence pour évaluer la FR [119].

¹⁵ <https://www.outputsports.com/blog/guide-to-reactive-strength-index> - Consulté le 9/12/2023 à 18h34 heure de Paris

1.5 Drop Jump :

1.5.1 Définition :

Le DJ est un saut bipodal dit « réactif », qui consiste à se laisser tomber d'une plateforme surélevée, à absorber la chute au sol et à se propulser immédiatement vers le haut pour effectuer un saut vertical maximal suivi d'une réception finale. Le DJ mobilise la FR des MI caractérisée par un développement très bref de puissance en excentrique puis en concentrique, c'est à dire en utilisant le SSC rapide (< 250 ms)^{16 17}.

C'est également un test standardisé qui évalue la capacité d'un individu à utiliser le SSC rapide [120][121][122][123]. Son exécution doit respecter des modalités précises et définies de manière à ce qu'il soit valide, fiable et reproductible.

1.5.2 Modalités d'exécution :

1.5.2.1 Les conditions préalables au test :

Elles sont au nombre de quatre¹⁸ :

- ◆ Choisir un sol dur ;
- ◆ Mettre en place le contre-haut (ex : *jump box* de hauteur à définir, voir *partie 1.5.3*) et marquer la zone de réception ;
- ◆ L'individu doit porter des vêtements de sport et des chaussures avec faible amortissement ;
- ◆ Un repas léger avant le test est possible mais non obligatoire.

1.5.2.2 Les phases du DJ :

L'exécution du DJ peut se diviser en 6 phases, confère *figure 13* [124] :

¹⁶ https://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere/Branchen/Sport/return_to_competition_ankle_sprain.pdf?__blob=publicationFile&v=7 – Consulté le 11/12/2023 à 21h22 heure de Paris

¹⁷ <https://moticon.com/the-drop-jump-test-relevance-application-and-tips-for-athletic-training#ref-10> – Consulté le 11/12/2023 à 21h24 heure de Paris

¹⁸ <https://moticon.com/drop-jump-test> - Consulté le 17/12/2023 à 11h29 heure de Paris

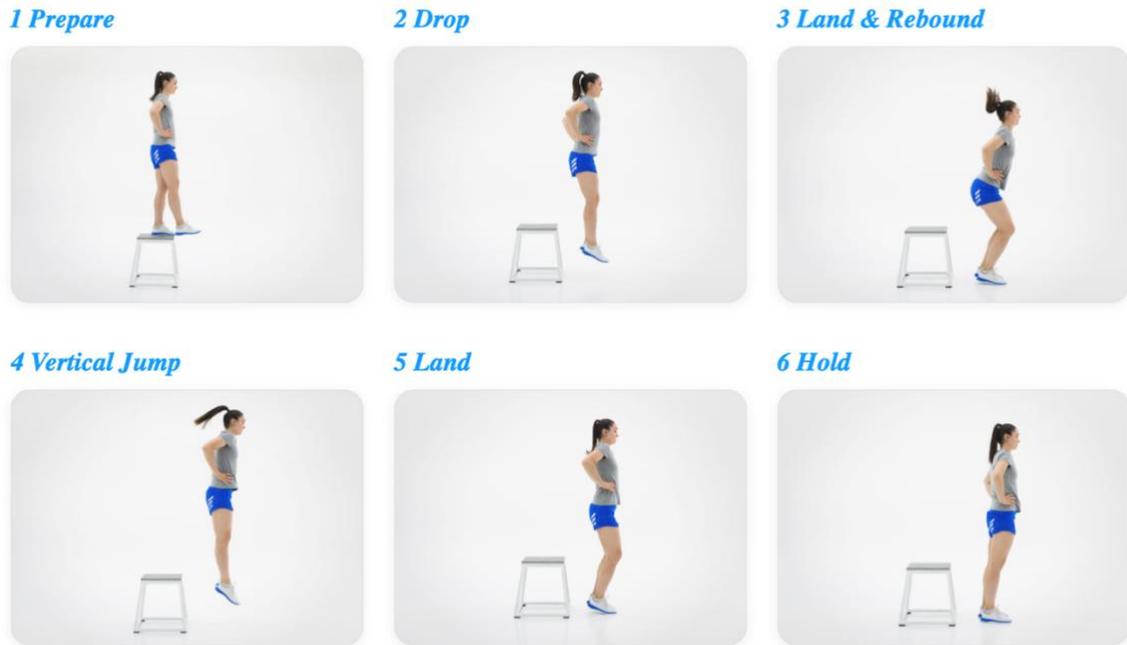


Fig-1: Bilateral Drop Jump movement sequence, performed with hands on the hips.

Figure 13 : phases du Drop Jump ¹⁵

- ◆ Phase 1 – *Prepare* (préparation) : l'individu est en position de départ sur le contre-haut, les pieds écartés de la largeur des épaules. Il est debout et en rectitude, les mains sur les hanches. Il se tient sur le MI de son choix.
- ◆ Phase 2 - *Start* (départ) and *Drop* (chute) : au top départ l'individu initie la chute et se laisse tomber en rectitude du contre-haut en gardant les mains sur les hanches. Il faut veiller à ce qu'il ne saute pas vers l'avant ou qu'il ne fléchisse pas le genou du MI en appui comme pour descendre un escalier.
- ◆ Phase 3 - *Land & rebound* (réception et rebond) : l'individu se réceptionne sur les deux MI, de la manière la plus équilibrée possible et sans que les talons ne frappent le sol. Il veillera à absorber la chute puis à passer ensuite à un saut vertical maximal tout en minimisant son TCS (≤ 0.250 s) [4]. Les mains sont toujours sur les hanches.
- ◆ Phase 4 - *Vertical jump* (saut vertical) : l'individu saute le plus haut possible ;
- ◆ Phase 5 - *Land* (réception) : l'individu se réceptionne sur les deux pieds de manière contrôlée et se stabilise sans rebond.
- ◆ Phase 6 - *Hold* (tenue) : après réception et stabilisation, l'individu tient la position pendant 3 secondes.

Trois sauts sont réalisés, le meilleur est évalué.

1.5.2.3 Précautions à prendre :

Les mains doivent rester sur les hanches pendant toute la durée du saut dans un souci de reproductibilité des tests intra et inter-individuels, le sujet pouvant se servir de ses membres supérieurs (MS) de manière différente à chaque test. De plus, l'utilisation des MS permet d'augmenter la vitesse de décollage de 10%, ce qui n'est pas négligeable [125][126]. Le fait de garder les mains sur les hanches permet ainsi de réduire l'énergie produite par le balancement des MS, le but étant d'isoler un maximum l'évaluation du travail des MI et d'éviter les compensations possibles [124][127].

Une autre précaution à prendre, et qui n'est pas toujours décrite dans les recommandations, concerne la phase de vol (PDV) (à la fin de la phase 3 et pendant la phase 4, confère *figure 13*). Il faudra veiller à ce que l'individu reste bien en rectitude après le décollage, ne fléchissant pas les hanches, les genoux et les chevilles jusqu'à la réception, ce qui pourrait surestimer la mesure du TDV et donc de la HS lorsque l'analyse est faite avec des PF ou avec l'application MyJump 2 [128].

1.5.3 Hauteur de chute :

La hauteur à partir de laquelle le DJ est effectué est un paramètre essentiel à prendre en compte lorsque l'on veut mesurer ou améliorer la FR d'un individu.

Il a été montré qu'au plus la hauteur du DJ était importante (40-60 cm), au plus le stress mécanique imposé aux articulations du MI était grand, ce qui augmentait la demande neuro-musculaire de l'individu pour performer [129].

De plus, il est commun d'observer chez des athlètes que plus la hauteur de chute (HC) du DJ augmente, plus le TCS qui s'en suit augmente également [8]. Cela s'explique en partie par une charge excentrique majorée qui demande plus de temps pour être absorbée. La biomécanique s'en retrouve influencée puisque un TCS plus long est caractérisé par des individus qui se réceptionnent sur les talons et ne parviennent pas à rester sur la pointe des pieds [130].

Or si l'on souhaite mesurer ou améliorer la FR d'un individu, reflet des capacités à utiliser le SSC rapide, il faut que son TCS soit court (≤ 250 ms [4]), qu'il reste sur la pointe des pieds lorsqu'il est au sol et qu'il maximise la rigidité de ses MI en minimisant sa flexion de hanches et de genoux [8].

Il est ainsi essentiel de faire sauter l'individu à la bonne hauteur. C'est-à-dire, une hauteur assez importante pour qu'il puisse absorber assez d'énergie afin de sauter le plus haut possible et à la fois pas trop importante pour que le TCS ne soit pas trop long.

Flanagan et al. parlent d'un seuil qui se situerait autour de 50 cm, hauteur à partir de laquelle l'individu se réceptionne sur les talons, met plus de temps dans sa transition contraction excentrique/contraction concentrique, avec un TCS plus long en définitive [8]. Le mécanisme en jeu devient alors le SSC lent. En revanche, cette observation était faite sur des athlètes. Nous pouvons donc aisément imaginer que sur des patients ayant peu d'expérience de saut, sortant parfois d'une longue rééducation ou alors n'ayant pas sauté depuis longtemps, ce seuil doit être abaissé à une hauteur inférieure.

Bobbert et al. ont remarqué qu'à mesure que la hauteur du DJ augmentait, l'amplitude de mouvement et la puissance de sortie de la cheville diminuaient. Cela suggère que plus la hauteur du DJ augmente, plus la charge de travail relative de la cheville diminue au profit des charges de travail relatives de la hanche et du genou [130]. *Katsuta et al.* considèrent ainsi que le DJ à 15 cm permet de refléter les capacités de la cheville [131].

Pain et al. suggèrent de réaliser le DJ à 30 cm [132], *Bobbert et al.* entre 20 et 40 cm [130]. Retenons une hauteur de chute (HC) de 30 cm, qui est la plus souvent utilisée dans l'évaluation du DJ [1].

McMahon et al. révèlent l'importance de différencier la HC de la hauteur du contre-haut (HCH) [124]. En effet, lorsqu'un individu réalise un DJ, on suppose qu'il se laisse tomber et que sa HC est ainsi égale à la HCH. Cependant, *Geraldo et al.* ont récemment trouvé que la HC différait de 28.6 à 37.4% de la HCH sur des DJ de 20 à 50 cm réalisés par des étudiants sportifs [133]. Cette différence peut être problématique car au final l'individu peut ne pas sauter à la même hauteur entre deux tests malgré une même HCH à chaque fois. Cela pose ainsi des problèmes de reproductibilité du test.

En plus d'affaiblir la reproductibilité du test, une HC différente de la HCH peut également causer un calcul erroné des variables essentiels à l'analyse d'un DJ. Il convient donc d'être particulièrement vigilant lorsque l'individu réalise son DJ, notamment de veiller à ce qu'il se laisse bien tomber sans donner d'impulsion ce qui augmenterait la HC et qu'il se tienne bien en rectitude (avec le pied libre à hauteur du contre haut - confère phase 1 *figure 13*), et non en flexion de genou ce qui diminuerait la HC.

1.5.4 Consignes verbales :

Les consignes verbales données à l'individu sont un point clé dans la bonne réalisation du DJ, qui plus est lorsque l'on souhaite évaluer ou entraîner le SSC rapide.

L'objectif est de prime abord que l'individu ait bien compris les paramètres à prendre en compte pour réaliser correctement un DJ mettant en jeu le SSC rapide. *Flanagan et al.* ont montré que des consignes verbales spécifiques amélioreraient positivement la performance de saut. Les points essentiels sur lesquels le praticien doit insister avant de faire sauter l'individu sont :

- ◆ « Minimisez le temps de contact au sol »
- ◆ « Maximisez la hauteur du saut »
- ◆ « Imaginez que le sol est une surface chaude »
- ◆ « Imaginez que votre jambe est un ressort rigide qui rebondit sur le sol à l'atterrissage »
- ◆ « Pré-tendez les muscles de votre jambe avant l'atterrissage »

D'une façon plus condensée, il pourrait être demandé à l'individu de minimiser son TCS tout en maximisant sa HS : « sautez haut, sautez rapidement » [8].

Il a été montré que la consigne « minimisez le temps de contact » permettait de réduire le TCS et d'augmenter la rigidité du MI globalement et de la cheville plus particulièrement [84]. Or nous savons que la recherche de la rigidité du MI est une condition pour solliciter la FR en maximisant l'utilisation du SSC rapide [8].

Une fois que le praticien s'est assuré que l'individu a bien compris l'ensemble des consignes alors ce dernier peut sauter. Lorsque l'on évalue les variables du DJ d'un individu, il est nécessaire que celui-ci soit à 100% de ses capacités maximales, que l'effort soit maximal pour que soit reflété réellement l'ensemble de son potentiel de FR. Il est pour cela nécessaire de continuer à donner des consignes entre chaque saut testé : « sautez plus haut et un peu plus vite que le saut précédent » [84].

Il a aussi été montré qu'informer les individus de leur HS, de leur TCS et de leur RSI sous forme de feedback à chaque saut, permettait de les encourager à réaliser un effort maximal [8].

Cependant, il a aussi été révélé que donner un feedback à chaque saut pouvait entraîner une dépendance de l'individu, conduisant finalement à une difficulté à améliorer ses performances dans le temps [134]. Cette observation a toutefois été faite sur des séances d'entraînement de la FR répétées, il paraît tout à fait légitime de penser que l'utilisation du feedback sur une seule séance de test ne pourrait qu'améliorer la performance de l'individu et l'encourager à réaliser un effort maximal.

1.5.5 Biomécanique :

Il paraît désormais indispensable de s'intéresser à la biomécanique d'un DJ et notamment à l'analyse de la part de travail des principales articulations du MI (hanche, genou et cheville) sur un tel saut. Cela permet d'avoir une idée précise des articulations qui travaillent et à quelles intensités lorsque nous souhaitons évaluer ou entraîner.

Il s'agit en premier lieu de définir le travail négatif et le travail positif. Le travail négatif est favorisé par l'étirement du tissu conjonctif et des structures élastiques passives au sein de l'unité muscle-tendon, il peut être vu comme l'absorption de forces. Le travail positif provient lui du raccourcissement actif des fascicules musculaires ou de la libération de l'énergie précédemment stockée dans la CES, il peut être vu comme la génération de force [135][136].

Récemment, *Jiaqing Xu et al.* ont rapporté que le genou est l'articulation qui a la plus grande part de travail du MI à la fois dans l'absorption (travail négatif) et dans la restitution (travail positif) sur un DJ de 30 cm [142]. La part de travail de la cheville reste toutefois assez proche de celle du genou et beaucoup plus importante que celle de la hanche, en témoigne la *figure 14* :

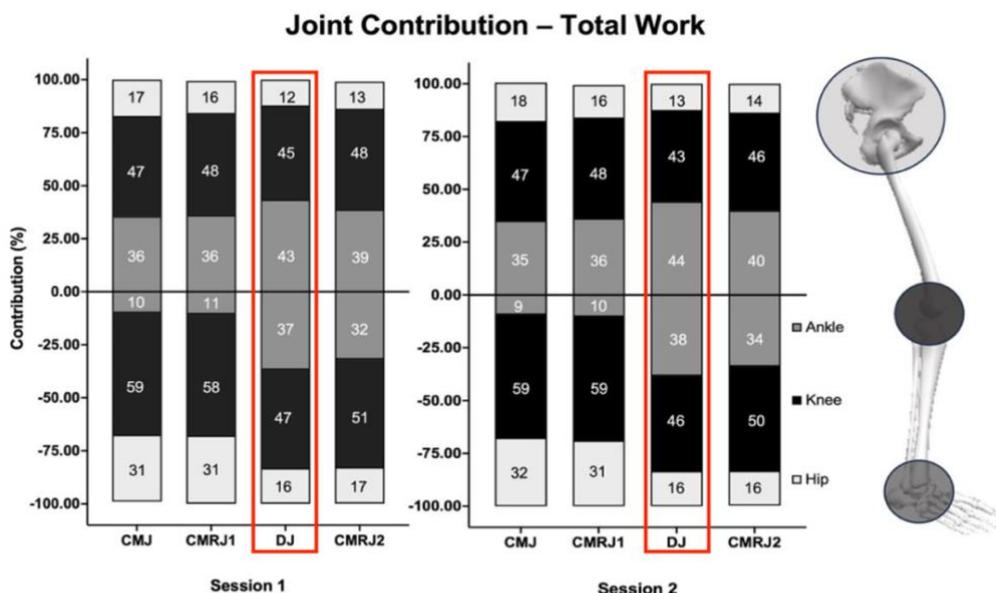


Figure 2. A summary of the individual joint contribution to the total work during three jump actions in both test sessions. The positive values indicate the contribution to the total positive work. The negative values indicate the contribution to the total negative work. The percentage numbers on the figure were rounded.

Figure 14 : parts de travail (positif et négatif) des principales articulations du MI dans la performance de DJ (encadrés en rouge) [138]

Toutefois, les TCS mesurés dans la présente étude étaient pour la majorité supérieurs à 250 ms. Il est donc difficile de déterminer si le SSC rapide était bien le mécanisme en jeu sur ces sauts. Or il est admis

que plus le TCS est court, plus la contribution de la cheville dans le travail total du MI est importante [130][139].

Reprenons à présent notre comparaison entre les différents sauts verticaux évaluables sur MyJump 2 entamée dans la *partie 1.3.4*. Komi a rapporté que le CMJ sollicite davantage le tendon rotulien alors que le DJ sollicite lui principalement le tendon d’Achille [140] (confère *figures 15*). Gilles et Dominique Cometti considèrent ainsi que le CMJ sollicite et évalue principalement « la puissance des cuisses (quadriceps) » alors que le DJ sollicite et évalue « la réactivité et la puissance du mollet » [44].

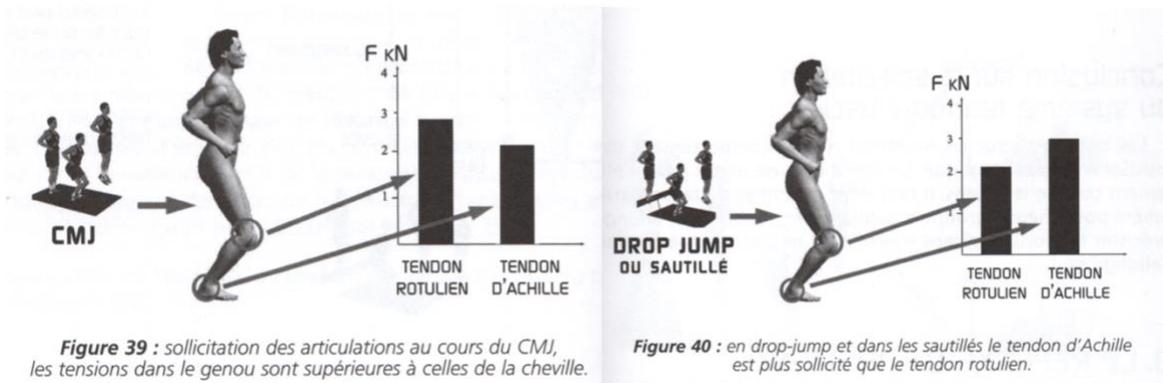


Figure 15 : sollicitation des articulations au cours du CMJ (à gauche) et du DJ (à droite) - pp.52-53 [44]

D’un point de vue musculaire, on relève sur un DJ une plus grande activité EMG des muscles gastrocnémien médial et soléaire (fléchisseurs plantaires) que l’activité EMG des muscles droit fémoral et vaste médial (extenseurs de genou) (confère *figure 16*) [137].

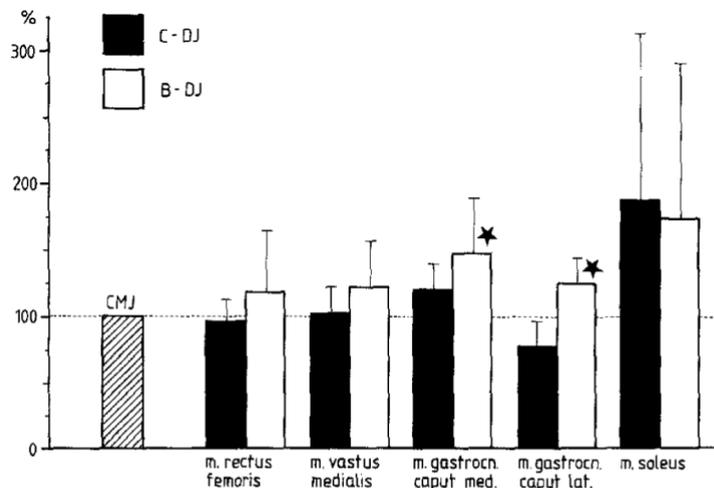


Fig. 4. Mean FWRLPF-EMG of five muscle bellies for drop jumps of the counter group (C-DJ, $n=6$) and bounce group (B-DJ, $n=7$), expressed as a percentage of the mean FWRLPF-EMG during the push-off phase of the counter-movement jump (CMJ). * Difference between jumps statistically significant ($P<0.05$)

Figure 16 : activité musculaire des muscles fléchisseurs plantaires et extenseurs de genou au cours du DJ (représenté par les bâtons noirs sur le diagramme) [137]

Les travaux de Ishikawa et al. ont montré qu'au plus l'intensité du DJ est faible (faible HC) au plus les fibres musculaires du vaste externe s'allongent [94]. À l'inverse, au plus l'intensité du DJ est élevée (HC élevée) au plus les fibres musculaires maintiennent, par leur contraction, une raideur musculaire et s'allongent moins (confère *figure 17*).

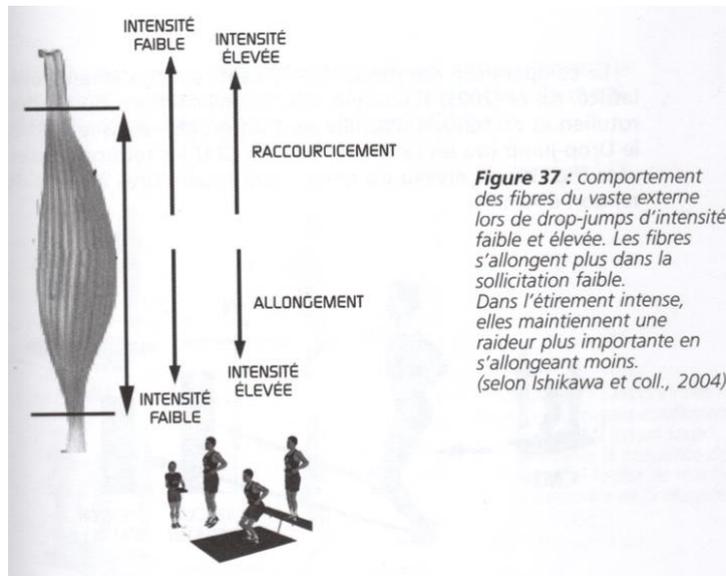


Figure 17 : comportement des fibres musculaires du vaste externe selon l'intensité du DJ réalisé, p.51 [44]

De plus, Komi a montré que les comportements du système muscle-tendon variaient d'un muscle à l'autre et d'une articulation à l'autre sur un DJ [140]. En effet, les fibres musculaires du quadriceps et le tendon rotulien s'allongent tous les deux au cours du saut. En revanche au niveau de la cheville, le triceps sural maintient une contraction isométrique tandis que le tendon d'Achille s'allonge (confère *figure 18*).

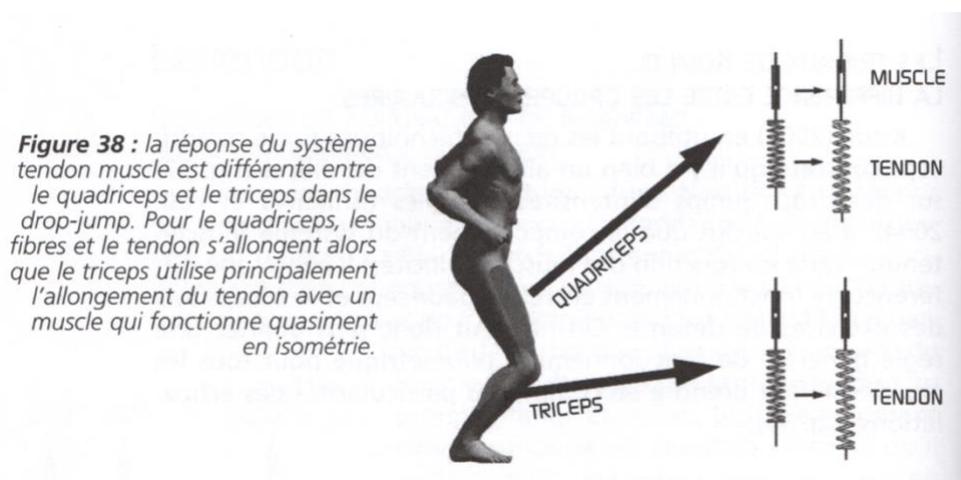


Figure 18 : comportement du complexe musculo-tendineux du triceps sural et du quadriceps au cours d'un DJ, p.52 [44]

1.5.6 Variantes de DJ :

Il est important de songer au fait que malgré des consignes similaires données, les DJ peuvent différer dans leur biomécanique d'un saut à l'autre. C'est pourquoi *Healy et al.*, en décomposant le DJ par une phase de contact (reflétée par le TCS) et une PDV (reflétée par la HS), considèrent qu'il y a en réalité trois techniques de DJ [101].

Le *Bounce Drop Jump*, ou DJ en bondissement, qui vise à minimiser le TCS au détriment de la HS. C'est un saut de faible amplitude articulaire qui sollicite davantage la cheville [137].

Le *Counter Movement Drop Jump*, ou DJ en contre-mouvement, qui vise à maximiser la HS au détriment du TCS. C'est un saut de grande amplitude articulaire où l'individu va descendre très bas pour avoir plus de temps pour développer de la force et ainsi sauter plus haut. Toutefois, ce saut pose question quant à l'utilisation véritable du SSC rapide, en raison de l'augmentation du TCS.

Le *Combination Technique DJ (CTDJ)*, ou DJ avec technique combinée, c'est le DJ « classique » présenté dans la *partie 1.5.2*. Il vise à maximiser la HS tout en minimisant le TCS, donc à trouver une harmonie parfaite entre les deux paramètres, il reflète la FR.

Il est à noter que le DJ peut aussi être réalisé sur un seul MI, c'est le Single Leg Drop Jump (SLDJ).

Le DJ évoqué dans ce travail sera majoritairement le CTDJ, car c'est celui qui est utilisé pour évaluer la FR et le RSI [75].

1.6 Objectifs et intérêts de la revue de littérature :

En traumatologie du sport, il est admis que la rééducation du patient doit être intensifiée à la fin du processus. Le but étant de soumettre progressivement le système neuro-musculaire et musculo-tendineux aux contraintes que l'activité sportive du patient exige. Cette intensification progressive se place à cheval entre la rééducation (*rehabilitation* en anglais) et le retour à la performance (*return to performance* ou RTP en anglais) s'inscrivant ainsi dans un continuum essentiel pour garantir un retour au sport (*return to sport* ou RTS en anglais) satisfaisant du patient (confère *figure 19*). L'évaluation et

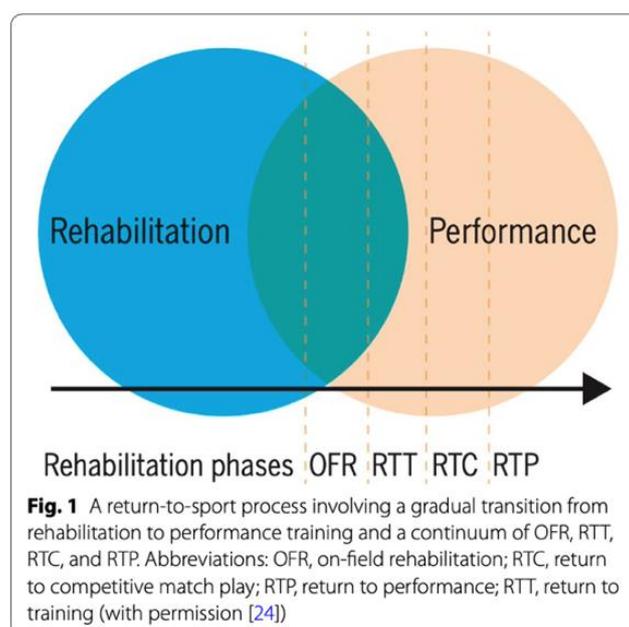


Figure 19 : Processus du retour au sport [144]

le travail des qualités pliométriques du patient se situent à l'intersection des deux cercles représentée par ce que l'on appelle la réathlétisation (*on field rehabilitation* ou *OFR* en anglais sur la *figure 19*) [141]. Le MK a pleinement son rôle à jouer dans ce processus, au même titre que le préparateur physique avec qui il peut collaborer.

En amont puis en parallèle de ce travail qui pourrait être qualifié de fonctionnel, il est primordial que le patient retrouve l'ensemble de ses qualités physiques, notamment les qualités de la force (FM, force d'endurance, FE, FR etc.).

Or, il est souvent considéré que la pliométrie, dont les capacités sont reflétées par la FR, est le lien manquant entre le développement de la force et le retour à la performance du patient [142].

Pourtant la pliométrie, régime de contraction musculaire complexe qui rassemble les trois modes de contraction, s'exprime pleinement dans la plupart des gestes sportifs (sprint, COD, saut etc.) dans la mesure où la nécessité d'absorber et de restituer l'énergie dans des intervalles de temps très courts, y est omniprésente.

Intégrer le développement de la FR dans la rééducation et la réathlétisation c'est répondre à l'objectif d'un retour à la performance certes, mais c'est surtout encadrer un RTS puis un retour au jeu (*return to play*) sécuritaire. En effet, un déficit de FR peut entraîner une sur sollicitation des structures passives pour absorber les contraintes pouvant conduire à des pathologies de surutilisation [77].

Il semble ainsi primordial d'évaluer la FR du patient. Pour ce faire, il existe des outils tels que l'Opto Jump® ou les PF. Toutefois, même si l'utilisation de ces dernières par les masseurs-kinésithérapeutes (MK) tend à se démocratiser à l'heure actuelle, il n'en demeure pas moins qu'elles sont particulièrement onéreuses et demandent une certaine expérience pour ne pas se perdre dans la multitude de données proposées. L'application MyJump 2 pourrait peut-être représenter une alternative, par son fonctionnement intuitif et son faible coût, mais est-elle fiable et valide ?

La récente méta-analyse de *Turan et al.* semble montrer qu'elle l'est mais seulement pour une HS [143]. De plus, les auteurs s'intéressent ici à tous les principaux sauts verticaux (CMJ, DJ, SJ) de manière groupée et non au DJ précisément, qui permet de mesurer la FR.

Dès lors, nous pouvons nous demander : **est-ce que l'application MyJump 2 est fiable et valide pour mesurer les variables (hauteur de saut, temps de contact au sol et indice de force réactive) d'un Drop Jump ?**

2 Méthode

2.1 Critères d'éligibilité des études pour cette revue :

2.1.1 Schéma d'étude :

L'objectif de cette revue de littérature est de déterminer les propriétés métrologiques (fiabilité et validité) de l'application MyJump 2 pour mesurer les variables d'un DJ. Il s'agit donc d'une question diagnostique. D'après la table des niveaux de preuves du Centre d'Evidence-Based Medicine d'Oxford, l'étude « transversale menée en aveugle et utilisant un standard de référence appliqué de manière constante » est le schéma d'étude le plus adapté pour répondre à ce type de question [145].

L'étude transversale est une « étude observationnelle dans laquelle un échantillon de population est étudié à un instant t. Un ensemble de caractéristiques est mesuré au même moment » [146].

Nous incluons uniquement des études observationnelles transversales dans ce travail.

2.1.2 Population :

L'application MyJump 2 est à la base conçue pour évaluer tout type d'individu, elle est par conséquent potentiellement utilisable sur des patients c'est-à-dire des sujets blessés ou ayant été blessés.

Cependant, sa description sur les plateformes de vente met en avant son intérêt pour l'entraînement ou l'optimisation des performances¹ (confère *note de bas de page, page 2*). Ceci est sans doute corrélé au fait qu'elle est aujourd'hui majoritairement utilisée dans le cadre d'évaluation sur des athlètes et par conséquent des individus sains. En effet, son utilisation tend à se démocratiser en préparation physique mais semble tarder à se démocratiser dans le domaine de la kinésithérapie. De plus, la version 2 de l'application étant sortie récemment (2019), nous supposons qu'il n'y ait pas encore un grand nombre d'études menées.

C'est pourquoi nous avons opté pour des critères de population assez larges.

Ainsi, nous incluons uniquement des études évaluant les propriétés métrologiques de l'application sur des sportifs réguliers dans cette revue de littérature.

Par sportif régulier nous entendons aucune restriction de :

- ◆ Sexe (féminin ou masculin)
- ◆ Âge
- ◆ Niveau (amateur ou professionnel)
- ◆ Condition physique (sain ou blessé)
- ◆ Sport pratiqué
- ◆ Aucune expérience requise en matière de sauts, capacités pliométriques

2.1.3 Outil de mesure :

Nous incluons dans cette revue uniquement des études s'intéressant à l'application MyJump 2 (peu importe la mise à jour, de la 1.0 à la 1.0.9 incluse).

Toute étude s'intéressant à la première version de l'application (*MyJump*) disponible de 2015 à 2019 sera exclue.

Par ailleurs, nous incluons dans ce travail uniquement les études dans lesquelles un smartphone ou une tablette de la marque Apple® (fonctionnant sous le système IOS) sont utilisés pour le fonctionnement de l'application. En effet, d'après Jean Benoit Morin¹⁹ : « l'application MyJump 2 ayant été développée par des chercheurs en science du sport et des codeurs amateurs de façon indépendante, l'environnement Apple® assure la stabilité de l'application sur tous les supports de la marque. Cela est davantage plus compliqué sur d'autres systèmes d'exploitation comme Android qui tourne sur plusieurs centaines d'appareils différents ».

Seules les études utilisant au minimum l'iPhone 6® seront incluses. En effet, en dessous de ce modèle les smartphones de la marque capturent des vidéos avec une fréquence de 120 images par seconde. Une performance assez faible selon le concepteur de l'application Carlos Balsalobre, qui pourrait entraîner des erreurs de mesure notamment dans la sélection manuelle du décollage et de l'atterrissage. Un TDV, s'il est surestimé, pourrait conduire à une mesure erronée de la HS car celle-ci dépend du carré du TDV dans la formule [1].

De plus, toujours dans un contexte de caractère récent de l'application, la profession ou la qualité de la personne qui l'utilise pour réaliser les tests dans les études ne constituent pas un critère d'exclusion dans cette revue. En outre, les études dans lesquelles un MK, un préparateur physique, un chercheur ou autre utilise l'application seront incluses et ce quel qu'en soit le niveau d'expérience de celui-ci dans la manipulation de l'outil.

2.1.4 Concept mesuré :

Nous incluons dans cette revue uniquement les études évaluant les variables du DJ.

Parmi ces variables, seules les données des HS, TCS et RSI seront relevées.

2.1.5 Comparateur :

Nous incluons uniquement les études comparant l'application MyJump 2 aux PF considérées comme l'étalon or, en anglais le *Gold Standard* pour la mesure des variables des sauts verticaux [114][115]. Il s'agira de notre standard de référence appliqué de manière constante dans les études transversales incluses.

Toujours vis-à-vis du caractère récent de l'application nous serons peu exigeants et donc aucune restriction ne sera imposée quant au modèle et à la fréquence d'échantillonnage des PF.

2.1.6 Propriétés métrologiques :

Nous incluons les études évaluant la fiabilité et/ou la validité de l'application MyJump 2.

La fiabilité se définit comme : « le degré auquel une mesure est exempte d'erreur de mesure. C'est-à-dire qu'elle représente le degré auquel les scores des patients sont les mêmes lors de mesures répétées sous plusieurs conditions :

¹⁹ <https://jbmorinnet.files.wordpress.com/2018/06/spvie-159-applications-sport.pdf> - Consulté le 18/12/2023 à 17h43 heure de Paris

- ◆ Utiliser différents ensembles d'éléments/items provenant des mêmes évaluations (consistance interne) ;
- ◆ Dans le temps (test-retest) ;
- ◆ Par des personnes/évaluateurs différents à la même occasion (fiabilité inter-observateurs/évaluateurs) ;
- ◆ Par la même personne à des occasions différentes (fiabilité intra-observateurs/évaluateur). » [146]

De plus, certains auteurs parlent de fiabilité absolue et de fiabilité relative. La fiabilité absolue s'intéresse à la précision de l'outil de mesure en lui-même, à la marge d'erreur que l'on peut s'attendre à avoir en l'utilisant. Pour l'évaluer, les mesures sont répétées dans le temps afin de vérifier leur stabilité. Nous parlerons dans ce travail de fiabilité test-retest.

Par ailleurs, il est nécessaire de préciser que la fiabilité test-retest peut être évaluée pour des mesures répétées au sein d'une même session d'évaluation (intra-session), ou pour des mesures répétées et plus éloignées dans le temps, c'est-à-dire au cours de sessions d'évaluation différentes (inter-session).

La fiabilité relative elle « contextualise l'utilisation d'un instrument de mesure et évalue sa capacité à détecter des différences entre des patients » [147]. Nous parlerons dans ce travail de fiabilité intra-évaluateur lorsque la stabilité des mesures pour un seul évaluateur est évaluée et de fiabilité inter-évaluateur lorsque la stabilité des mesures entre plusieurs évaluateurs est évaluée.

Nous incluons uniquement des études évaluant la fiabilité intra et/ou inter-évaluateur et la fiabilité dans le temps (test-retest) en intra et/ou inter-session.

La validité se définit elle comme : « le degré auquel un instrument mesure le construit qu'il est censé mesurer » [146]. Il existe plusieurs types de validité (de contenu, de critère, de construit).

Parmi la validité de critère, on compte la validité de critère concurrente et la validité de critère prédictive. Nous incluons uniquement des études évaluant la validité par critère concurrente de l'application.

La validité par critère concurrente consiste à comparer les résultats d'un test à évaluer (ici les variables du DJ mesurées par MyJump 2) aux résultats de l'étalon-or (ici les PF) [148].

2.2 Méthodologie de recherche des études :

2.2.1 Sources documentaires investiguées :

Les recherches menées dans la réalisation de ce travail ont été conduites sur 4 bases de données électroniques que sont :

- ◆ **PubMed**
- ◆ **Google Scholar**
- ◆ **Cochrane Library**
- ◆ **Science Direct**
- ◆ **Semantic Scholar**

Il est à noter que la base de données PEDro n'a pas été utilisée car elle contient davantage d'essais cliniques randomisés, schéma d'étude qui ne nous intéresse pas au vu de la typologie de notre question de recherche (diagnostique).

De manière à être le plus exhaustif possible dans la sélection d'études qui répondent aux critères d'éligibilité, nous avons opté pour des recherches complémentaires dans la littérature grise :

- ◆ **Références bibliographiques d'articles**
- ◆ **Livres**
- ◆ **Conférences**
- ◆ **Contact d'auteurs et d'experts pour d'éventuelles études non publiées**
- ◆ **Réseaux sociaux : ResearchGate, X**

Les recherches ont été conduites du 26 août 2023 au 14 janvier 2024.

2.2.2 Équation de recherche :

L'utilisation de l'acronyme PICO pour élaborer notre question de recherche, nous a permis de définir les mots clés qui serviront à conduire nos recherches dans les différentes bases de données [149]. Le *tableau I* présente les mots clés, leurs synonymes et leur traduction en anglais qui seront utilisés dans notre équation de recherche.

PICO	Mots clés (français)	Mots clés (anglais)
Population	Sportif régulier	<i>Athlete</i>
Intervention 1. Outil de mesure 2. Concept mesuré	1. MyJump 2 ou application 2. Drop Jump ou saut vertical ou saut Hauteur de saut Temps de contact au sol Indice de force réactive	1. <i>My Jump 2 ou Application ou App</i> 2. <i>Drop Jump ou vertical jump ou jump Jump height Ground contact time ou GCT Reactive strength index ou RSI</i>
Comparateur	Plateformes de force	<i>Force plate Force plates Force platform</i>
Outcome (critère de jugement, ici les propriétés métrologiques)	Validité ou valide Fiabilité ou fiable	<i>Validity ou valid Reliability ou reliable</i>

Tableau I : Mots clés de la recherche bibliographique selon l'acronyme PICO

Il est à noter que les mots clés n'ont pas tous été utilisés dans l'équation de recherche [148].

Les équations de recherche présentées dans le *tableau II* sont celles qui nous ont conduit aux résultats les plus pertinents, selon la base de données investiguée :

Base de données	Équation de recherche	Résultats
PubMed*	((My Jump 2) OR (app) OR (application)) AND ((validity) OR (valid) OR (reliable) OR (reliability)) AND ((drop jump) OR (vertical jump) OR (jump)) Un filtre concernant l'année de publication des articles (2019-2023) a été appliqué**	84
Google Scholar***	"My Jump 2" + "validity" OR "reliability" + "drop jump" Le filtre depuis 2019 a été appliqué	220
Cochrane Library	"MyJump 2"	16
Science Direct	("My Jump 2") OR (app) OR (application) AND ((validity) OR (valid) OR (reliable) OR (reliability)) AND ("drop jump") Les filtres « 2019 », « 2020 », « 2021 », « 2022 », « 2023 » et « 2024 » ont été appliqués	85
Semantic Scholar	"My Jump 2" AND validity OR reliability AND "drop jump" Le filtre « depuis 2019 » a été appliqué	40

Tableau II : équation de recherche utilisée selon la base de donnée investiguée et résultats obtenus

* : sur **PubMed**, **Cochrane Library** et **Science Direct** l'opérateur booléen « AND » est utilisé pour lier les mots clés de l'équation de recherche. Tandis que le « OR » est utilisé pour être le plus exhaustif possible lorsqu'un mot clé possède plusieurs synonymes [148].

** : il est à noter que le filtre « depuis 2019 » a été appliqué car la version 2 de l'application est sortie en 2019. Cela nous permettra d'affiner nos recherches.

*** : sur **Google Scholar** (ainsi que sur **Cochrane Library**, **Science Direct** et **Semantic Scholar**) les guillemets permettent d'avoir l'expression exacte du mot clé et le « + » est utilisé pour exiger la présence d'un mot clé, il est équivalent au « AND » des autres bases de données [148].

2.3 Méthodologie d'extraction et d'analyse des données :

2.3.1 Méthode de sélection des études :

Afin de mener à bien ce travail, nous avons suivi les lignes directrices PRISMA pour l'écriture des revues systématiques et des méta-analyses²⁰. La *PRISMA checklist* est disponible en annexe (confère *annexe 1*).

²⁰ <http://www.prisma-statement.org/?AspxAutoDetectCookieSupport=1> – Consulté le 19/12/2023 à 11h16 heure de Paris

Notons qu'aucun protocole n'a été préparé et enregistré préalablement à l'élaboration de cette revue.

Pour cette étape, nous utiliserons les logiciels Zotero (version 6.0.30) et Microsoft Excel (version 365).

L'investigation des différentes bases de données nous a conduit à l'identification de 445 articles qui pourraient potentiellement répondre à notre question de recherche. Dans un premier temps, les doublons seront supprimés car nous avons consulté plusieurs bases de données.

En reprenant les critères d'éligibilité des études (*partie 2.1*), nous avons défini les critères d'inclusion et d'exclusion des articles spécifiques à notre question de recherche. Ces critères guideront le processus de sélection des études qui se déroulera en trois temps :

- ◆ Éligibilité par lecture du titre des articles
- ◆ Éligibilité par lecture du résumé (*abstract* en anglais) des articles
- ◆ Éligibilité par lecture du texte intégral

La sélection des études sera réalisée par un seul et même investigateur.

Un tableau résumant les critères d'inclusion et d'exclusion des articles selon l'étape du processus de sélection est disponible en annexe (confère *annexe 2*).

Si au moins un des critères d'inclusion est présent dans le titre alors l'article en question sera inclus pour l'étape de sélection suivante (lecture du résumé/abstract), de façon à ne pas exclure trop rapidement des études qui répondraient à notre question de recherche. En revanche, dès qu'un critère d'exclusion sera présent dans le titre, alors l'article en question sera exclu.

2.3.2 Évaluation de la qualité méthodologique :

Pour interpréter les résultats d'une étude, il est primordial de les pondérer à la qualité méthodologique de celle-ci.

La qualité méthodologique de la réalisation de l'étude pour répondre à sa question constitue sa validité interne. Son évaluation, qui s'effectue par une lecture critique, vise à s'assurer que les résultats sont fiables/reproductibles et le moins biaisés possible [148]. Un biais est une erreur systématique qui fausse les résultats dans un sens donné²¹. On distingue trois familles de biais : les biais de sélection, les biais de mesure et les biais de confusion²¹.

Un seul et même évaluateur réalisera une lecture critique de chaque étude incluse dans cette revue à l'aide de grilles d'évaluation des risques de biais. Pour ce faire, nous utiliserons :

- ◆ La version française de la Quality Assessment of Diagnostic Reliability (QAREL), pour la fiabilité (confère *annexe 3*) [150]
- ◆ La version française de la Quality Scale for Diagnostic Accuracy Study (QUADAS-2), pour la validité (confère *annexe 4*) [151]

La grille QUAREL permet d'évaluer le risque de biais de l'étude selon 11 items que l'on peut répartir dans 7 domaines : inclusion des sujets, la qualification des évaluateurs, la mise en aveugle des évaluateurs, la randomisation de l'ordre des mesures, la pertinence de l'intervalle de temps entre les mesures répétées, l'application et l'interprétation appropriées des tests et l'analyse

²¹ <http://www.cnci.univ-paris5.fr/medecine/Glossaire-ECN-LCAM.pdf> - Consulté le 15/12/2023 à 17h50 heure de Paris

statistique appropriée des résultats.

La grille QUADAS-2 s'organise en 4 domaines (sélection des patients, test évalué, test de référence, suivi et temporisation) qui comportent à chaque fois plusieurs items à évaluer (oui, non ou incertain). Le risque de biais et l'applicabilité clinique sont ensuite déterminés pour chaque domaine (élevé(e), faible ou incertain(e)).

2.3.3 Méthode d'extraction des données :

À l'issue du processus de sélection et pour chaque étude incluse, un seul et unique investigateur réalisera l'extraction des informations jugées essentielles. Celles-ci seront synthétisées dans un tableau récapitulatif. Il comprendra :

- ◆ Le titre, le nom de l'auteur principal et l'année de publication de l'article
- ◆ Le nombre de participants ainsi que leurs caractéristiques : âge, sexe, sport pratiqué ou non, statut (professionnel ou amateur), expérience en sauts/en pliométrie
- ◆ Hauteur et nombre de DJ évalués
- ◆ Concepts mesurés sur le DJ : HS et/ou TCS et/ou RSI
- ◆ Marque et modèle de l'appareil qui enregistre la vidéo puis l'analyse avec l'application
- ◆ Comparateur utilisé (gold standard) : marque et fréquence d'échantillonnage
- ◆ Schéma d'étude

2.3.4 Méthode de synthèse des résultats :

Une fois extraits, les résultats seront présentés sous la forme d'un tableau à part pour chaque étude incluse.

Les moyennes des données mesurées (données brutes des participants) sur les DJ (HS, TCS, RSI) ainsi que leur écart-type (*standard deviation* (SD)) seront extraites si disponibles.

Les données statistiques relevées seront :

Pour la fiabilité :

- ◆ Les coefficients de corrélation intraclasse (CCI) (fiabilité intra et inter-évaluateur)
- ◆ Le coefficient de variation (CV) pour la fiabilité test-retest (intra et inter-session)

Pour la validité par critère concurrente :

- ◆ Les CCI
- ◆ Les coefficients de corrélation de Pearson ou de Spearman
- ◆ La différence moyenne entre les deux outils de mesure pour les limites d'accord via la méthode de Bland et Altman
- ◆ Pour les méthodes de régression linéaire : la valeur de la pente de régression (*slope*) et la valeur de la constante (*intercept*)
- ◆ Les intervalles de confiance (IC) associés à chacune de ces valeurs
- ◆ La significativité du test statistique (p-value)

Les auteurs des articles seront contactés dans le cas d'éventuelles données manquantes.

L'interprétation des valeurs des CCI pour la fiabilité (intra et inter-évaluateur) et la validité (par critère concourante) sera réalisée à l'aide des seuils établis par *Koo et al.* : $< 0,5$ (médiocre), $0,5 \leq CCI < 0,75$ (moyenne), $0,75 \leq CCI < 0,9$ (bonne) et $\geq 0,90$ (excellente) [152].

Pour la fiabilité test-retest, la valeur du CV sera considérée comme acceptable si elle est inférieure ou égale à 10% et non acceptable le cas échéant. Ainsi, nous nous baserons sur le seuil préconisé par *Cormack et al.* pour les variables biomécaniques [153].

L'interprétation des valeurs des coefficients de Pearson (r) et Spearman (ρ) (pour la validité par critère concourante) sera réalisée à l'aide des seuils établis par *Chan et al.* : $r/\rho = 1$ (corrélation parfaite), $0,8 < r/\rho < 1$ (forte corrélation), $0,3 < r/\rho < 0,6$ (corrélation modérée), $0 < r/\rho < 0,3$ (faible corrélation) [154].

Lorsque les résultats des études seront présentés uniquement sous forme de diagramme ou de graphique, nous les décrirons et les interpréterons visuellement en le mentionnant comme tel. Ces graphiques ou diagramme ne seront pas mis à disposition en annexe dans ce travail par soucis de clarté mais nous invitons le lecteur à se référer aux études concernées s'ils souhaitent y accéder (ou à télécharger le lien de la *partie 7*).

En ce qui concerne les diagrammes de Bland et Altman ainsi que les modèles de régression linéaire, il est important de définir les termes de biais systématique et de biais proportionnel pour les interpréter.

Un biais systématique ou constant est présent lorsque la différence moyenne entre les deux outils de mesure est constamment positive ou négative²². L'outil de mesure sur ou sous-estime donc la variable mesurée, comparé au gold standard. Pour affirmer qu'un biais systématique n'est pas significatif, il faut que l'intervalle de confiance associé à la différence moyenne comprenne la valeur 0 [155].

Un biais proportionnel se traduit par une dépendance entre les différences et les valeurs de mesure²³. Pour affirmer qu'un biais proportionnel n'est pas significatif, il faut que l'intervalle de confiance associé à la pente de régression comprenne la valeur 1.

Enfin, les valeurs statistiques présentées avec un $p < 0,05$ seront considérées comme statistiquement significatives et statistiquement non significatives si $p > 0,05$.

Il est à noter que les outils statistiques utilisés par les auteurs ne seront pas toujours les mêmes selon les études, cela sera discuté par la suite (confère *partie 4*).

Les résultats présentés seront ensuite analysés et mis en perspective avec l'évaluation de la qualité méthodologique des études dont ils sont extraits (confère *partie 3*), cela constituera notre analyse qualitative.

Nous réaliserons également une analyse quantitative, si la comparabilité entre les études est jugée suffisante. Pour cela, nous utiliserons le logiciel JAMOVI (version 2.3.28) et le module MAJOR qui permet de réaliser des méta-analyses et de générer des diagrammes en forêt (c-à-d. des *forest plot*) pour des coefficients de corrélation. Cela nécessitera l'importation des tailles d'effet (CCI), de la taille de l'échantillon et du nom de l'auteur principal de chaque étude concernée. Parmi les réglages, nous opterons pour le « *raw correlation coefficient* » dans le paramètre « *model measures* ». Pour les autres paramètres, nous les laisserons comme réglés initialement, c'est-à-dire par défaut.

²²<https://datatab.fr/tutorial/bland-altman-plot> : consulté le 22/04/2024 à 11h03 heure de Paris

²³<https://help.xlstat.com/fr/6465-quel-outil-de-validation-de-methodes-choisir> : consulté le 22/04/2024 à 11h06 heure de Paris

Par la suite, pour chaque variable mesurée (HS, TCS et RSI) nous évaluerons le niveau de preuve concernant les propriétés métrologiques de l'application. Pour ce faire, nous utiliserons le système Grading of Recommendation Assessment, Development and Evaluation (GRADE) [156].

Enfin, une auto-évaluation de la qualité méthodologique de cette revue de littérature sera réalisée à l'aide des grilles AMSTAR-2 et ROBIS tool [157][158].

3 Résultats

3.1 Description des études

3.1.1 Processus de sélection des études

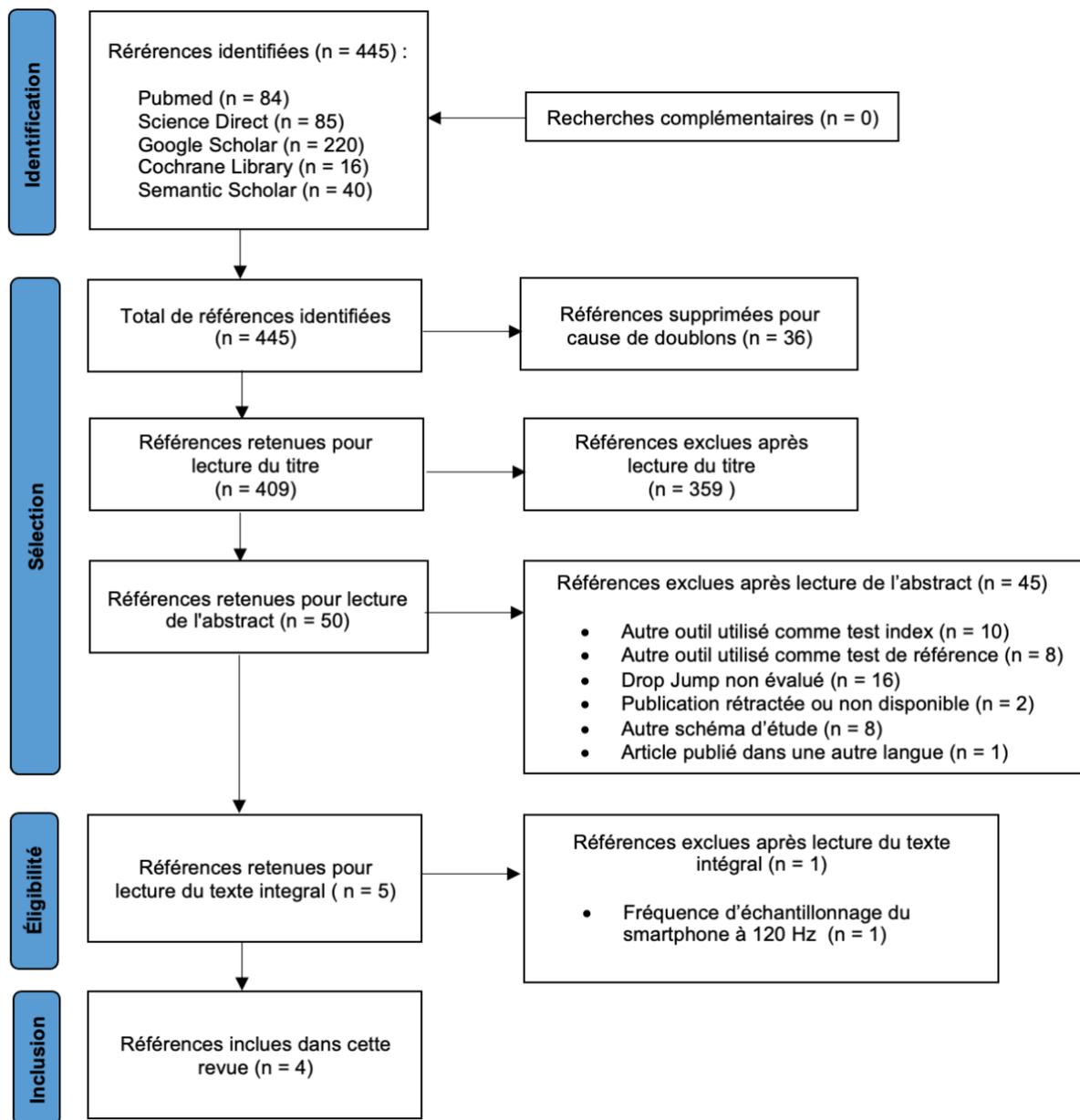


Figure 20 : Diagramme de flux

3.1.2 Études exclues

Le processus de sélection (confère *figure 22*) nous a amenés à exclure dans un premier temps 36 articles pour cause de doublons puis 359 articles après lecture du titre. Par la suite, 45 articles ont été exclus après lecture de l'abstract et enfin, 1 article fut exclu après lecture du texte intégral. Les motifs d'exclusion de ces derniers sont présentés en annexe (confère *annexe 5*).

3.1.3 Études incluses

À l'issue du processus de sélection, 4 études ont été incluses dans cette revue, elles sont présentées dans le *tableau III* et en annexe (confère *annexe 6*).

Auteur principal et année de publication	Titre
Haynes et al. 2019 [216]	The validity and reliability of the My Jump 2 app for measuring the reactive strength index and drop jump performance
Montalvo et al. 2021 [217]	Common vertical jump and reactive strength index measuring devices: A validity and reliability analysis
Rogers et al. 2019 [215]	The Validity and Reliability of the MyJump2 Application to Assess Vertical Jumps in Trained Junior Athletes
Whiteley et al. 2023 [208]	The MyJump App is a Valid Method of Assessing and Classifying Limb Symmetry During Recovery from Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

Tableau III : liste des études incluses

3.2 Analyse qualitative

3.2.1 Risque de biais des études évaluant la fiabilité

La qualité méthodologique des études évaluant la fiabilité de MyJump 2 a été analysée à l'aide de la grille d'évaluation QAREL. Après avoir évalué tous les items de la grille nous avons opté pour une qualification du risque de biais global des études (faible, élevé ou incertain) et non pour un système de score. En effet, le nombre élevé d'items « non adapté » aurait rendu ce score peu pertinent et peu interprétable. Le degrés de sévérité de la notation est le suivant : dès lors qu'une étude dispose d'au moins un « non » dans ses items, le risque de biais global sera jugé « élevé ». Si elle ne dispose pas de « non » mais d'au moins un « incertain » dans ses items, le risque de biais global sera jugé « incertain ». Si elle dispose pas de « non » et d' « incertain » mais seulement de « oui » dans ses items, le risque de biais global sera jugé « faible ». Seule l'étude de *Whiteley et al.* n'évaluait pas la fiabilité. Ci-dessous, le *tableau IV* résume cette évaluation.

Étude	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Risque de biais global
<i>Haynes et al.</i>	NON	INC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	OUI	INC	NA	Élevé
<i>Montalvo et al.</i>	NON	INC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	OUI	NON	OUI	Élevé
<i>Rogers et al.</i>	NON	OUI	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NON	OUI	OUI	Élevé

Abréviations : Q = question, INC = incertain, NA = non adapté

Tableau IV : résumé de l'évaluation du risque de biais des études évaluant la fiabilité via la grille QAREL

En premier lieu, nous jugeons que peu importe la mise en aveugle des résultats (intra ou inter-évaluateur, du gold standard) celle-ci aura peu d'impact sur la qualité méthodologique des études incluses dans ce travail. En effet, dans la mesure où l'évaluation avec MyJump 2 se fait par une sélection d'images, même si l'évaluateur est mis au courant de ses résultats précédents, des résultats d'un autre évaluateur ou des résultats obtenus avec les PF concernant les variables du DJ (HS, TCS et RSI) il y a peu de chances que cela ait un impact sur sa propre évaluation. C'est pourquoi nous marquerons les items des questions 3 à 5 comme non adaptés.

De plus, nous jugeons que les items des questions 6 et 7 de la grille relatifs à la mise en aveugle d'éventuelles informations cliniques ne sont pas pertinents pour les études évaluées dans ce travail. En effet, même si l'évaluateur est mis au courant d'un quelconque éventuel indice clinique concernant un participant, son travail consiste seulement à donner les consignes à ce dernier, à récolter les données obtenues via les PF (pour le test référence) et à sélectionner les trois temps du DJ avec MyJump 2. Nous estimons que même s'il est mis au courant d'un quelconque éventuel indice clinique concernant un participant avant ou au cours de son évaluation, cela n'influencera que trop peu ou pas les résultats des tests. C'est pourquoi nous avons décidé de marquer les items des questions 6 et 7 comme non adaptés.

Concernant l'item de la question 8 relatif à la randomisation de l'ordre d'évaluation nous avons également décidé de le marquer non adapté. En effet, pour toutes les études incluses, le saut est toujours réalisé sur les PF et capturé simultanément par un smartphone ou une tablette. Même si les données sont analysées plus tard avec MyJump 2, le test de référence est réalisé en même temps que le test évalué, il n'est donc pas possible de faire varier l'ordre d'évaluation.

Enfin, l'item de la question 11, relatif à la présence ou non d'une mesure statistique de l'accord entre les évaluateurs, concerne seulement les fiabilités intra et inter-évaluateur objectivées par le CCI (variables continues). Nous l'avons alors marqué « non adapté » pour l'étude de *Haynes et al.* car les auteurs s'intéressent seulement à la fiabilité test-retest (évaluée par le CV).

Concernant la **représentativité de la population**, dans l'étude de *Haynes et al.* l'échantillon est composé d'étudiants de sexe masculin uniquement. Or dans l'introduction, l'accent était mis sur l'intérêt éventuel de l'application pour monitorer des athlètes au sens large, sans restriction de sexe.

C'est pourquoi, de part cette exclusion de sexe inappropriée, il y a un risque élevé que les participants sélectionnés ne correspondent pas entièrement à la population ciblée par les auteurs.

Dans l'étude de *Montalvo et al.* les sujets qui présentaient des déformations rachidiennes et/ou des douleurs articulaires et/ou qui ont subi une ou plusieurs blessure(s) musculosquelettique(s) au cours des 6 derniers mois étaient exclus. Nous jugeons ces exclusions inappropriées dans la mesure où la population ciblée par les auteurs semble être des sportifs sans restriction particulière. Or, dans une population de sportifs on compte forcément bon nombre de scoliozes asymptomatiques, d'entorses de cheville, ou de lésions musculaires récentes par exemple. Il est nécessaire de déterminer si l'application est fiable et valide pour ces individus là également.

Concernant l'étude de *Rogers et al.*, les 11 athlètes juniors qui constituent l'échantillon sont issus de la même équipe, donc potentiellement soumis aux mêmes entraînements et aux mêmes stimuli, ce qui engendre un échantillon restreint et peu représentatif de la variété d'une population de jeunes athlètes.

En ce qui concerne la **représentativité des évaluateurs**, aucune information n'est communiquée dans les études de *Haynes et al.* et *Montalvo et al.* quant à la qualification de ces derniers (profession, expérience etc.) ce qui en fait un risque de biais élevé.

Concernant à présent **l'application et l'interprétation du test**, c'est-à-dire le DJ réalisé, filmé puis analysé avec MyJump 2. L'étude de *Haynes et al.* ne donne aucune information quant aux modalités de réalisation (consignes données, biomécanique du saut) et d'analyse vidéo (règles de sélection d'images) du DJ. Dans l'étude de *Montalvo et al.*, la consigne est donnée aux participants d'atteindre 90° de flexion de genoux lors de la phase de réception avant le rebond. Le risque est dans ce cas-là de modifier la biomécanique naturelle des sujets, d'avoir des TCS trop importants et de ne plus réellement mesurer le SSC rapide par le RSI comme pourtant formulé dans l'objectif des auteurs.

Enfin, concernant la **pertinence de l'intervalle de temps entre les deux mesures**. Dans l'étude de *Rogers et al.* le choix de réaliser les deux mesures à 7 jours d'intervalle pour évaluer la fiabilité test-retest inter-session est peu pertinent selon nous car le DJ est un saut très sensible à la fatigue neuromusculaire [111]. Or, 7 jours d'intervalle entre les deux mesures nous semble être propice à des sources de différences de mesures non-liées à la qualité intrinsèque de l'application.

L'évaluation de la qualité méthodologique des études évaluant la fiabilité a ainsi révélé un risque de biais global élevé pour chacune d'entre elles.

3.2.2 Risque de biais des études évaluant la validité

La qualité méthodologique des études évaluant la validité par critère concurrente de MyJump 2 a été analysée à l'aide de la grille d'évaluation QUADAS-2. Même remarque que pour la fiabilité concernant le système et le degré de sévérité de notation. Ci-dessous, le *tableau V* résume cette évaluation.

Étude	Risque de biais				Préoccupations sur l'applicabilité			Risque de biais global
	Sélection des patients	Test évalué	Test de référence	Suivi	Sélection des patients	Test évalué	Test de référence	
Haynes et al.	☹️	?	?	?	😊	?	?	Élevé
Montalvo et al.	☹️	☹️	☹️	?	😊	☹️	☹️	Élevé
Rogers et al.	☹️	😊	😊	😊	😊	😊	😊	Élevé
Whiteley et al.	☹️	?	?	☹️	😊	?	?	Élevé

Abréviations : 😊 = risque de biais faible, ☹️ = risque de biais élevé, ? = risque de biais incertain

Tableau V : résumé de l'évaluation du risque de biais des études évaluant la validité via la grille QUADAS-2

Concernant le **domaine de sélection des patients**, l'item « un schéma d'étude type cas-témoin a-t-il été évité » sera toujours marqué « oui ». En effet, l'outil évalué (MyJump 2) par les 4 études incluses dans ce travail vise à mesurer une variable continue, sans objectif de dépister une maladie/pathologie ou son absence. Il n'y a donc pas, dans ces études, d'individus malades/blessés et non malades/non blessés qu'il faut dépister.

En ce qui concerne les **domaines du test évalué et du test de référence**, pour les items « les résultats du test évalué ont-ils été interprétés sans avoir connaissance des résultats du test de référence ? » et inversement « les résultats du test de référence ont-ils été interprétés sans avoir connaissance des résultats du test évalué ? », nous avons décidé qu'une réponse « incertaine » ou « non » n'influencerait pas l'évaluation du risque de biais et de la préoccupation sur l'applicabilité. Ce choix porte sur les mêmes raisons évoquées dans la *partie 3.2.1* sur la mise en aveugle des résultats des PF. Dans la même mesure, les résultats obtenus avec l'application et communiqués à l'évaluateur ne permettent pas de biaiser l'évaluation avec les PF puisqu'il doit seulement donner les consignes au sujet puis relever les mesures obtenues. À aucun moment, il peut intervenir directement sur les résultats des tests.

Dans le même domaine, l'item concernant un « éventuel seuil de décision spécifié » ne sera pas pris en compte dans la mesure où nous n'en avons pas dans nos études.

Enfin, concernant le domaine de suivi et de temporisation, l'item « l'intervalle de temps entre la réalisation du test évalué et le test de référence est-il approprié ? » sera toujours marqué « oui » pour les études incluses dans ce travail. En effet, le test évalué et le test de référence sont réalisés en même temps dans la mesure où le saut est à chaque fois effectué sur les PF et capturé simultanément par un smartphone ou une tablette.

Parlons à présent des principaux biais rencontrés dans ces 4 études évaluant la validité de MyJump 2.

Lorsque l'on évalue le risque de biais avec la grille QUADAS-2, il convient de distinguer le degré de risque de biais de l'étude en question de la préoccupation sur l'applicabilité clinique davantage en rapport avec notre question de recherche. C'est pourquoi malgré un risque de biais élevé ou incertain des études concernant la sélection des patients (à cause du mode de recrutement, ou de la représentativité de ces derniers), nous avons jugé la préoccupation quant à l'applicabilité clinique faible pour les 4 études incluses. En effet, nos critères d'inclusion se voulant volontairement assez larges, les populations des études respectent toutes ces derniers (confère *partie 2.1.2*).

Concernant le mode de sélection des participants, aucune information n'est communiquée à ce sujet dans les études de *Haynes et al.*, *Montalvo et al.* ainsi que *Rogers et al.*. La représentativité des populations de ces études ne sera pas évoquée dans cette partie, car elle a déjà été évoquée avant (confère *partie 3.2.1*). Ces éléments conduisent à un risque de biais élevé dans ce domaine, pour les 3 études citées.

Enfin, concernant l'étude de *Whiteley et al.*, la population est ici différente des autres études puisque les participants ont subi une reconstruction du ligament croisé antérieur (LCA). Toutefois, les participants n'ont pas été recrutés de manière aléatoire puisque 51 patients qui consultaient pour un bilan à posteriori de leur intervention ont été consécutivement inclus dans l'étude. De plus, l'échantillon présente 49 hommes pour 2 femmes, ce qui est trop inégalitaire et peu représentatif de la population ciblée.

En ce qui concerne désormais le test évalué, c'est-à-dire le DJ réalisé puis analysé via MyJump 2, aucune information n'est communiquée dans l'étude de *Haynes et al.* (confère *partie 3.2.1*).

Comme évoqué dans la *partie 3.2.1*, en raison des consignes données, l'étude de *Montalvo et al.* hérite d'un risque de biais élevé et d'une préoccupation quant à l'applicabilité clinique élevée.

Dans l'étude de *Whiteley et al.*, il n'est pas précisé s'il est demandé aux sujets de « sauter le plus haut possible et le plus rapidement possible ». Le TCS moyen de l'échantillon est de $365,72 \pm 88,86$ ms (> 250 ms) sur un DJ de 30 cm, ce qui est peut-être à corrélérer au manque de consignes spécifiques données et conduit ainsi à un risque de biais et à une préoccupation sur l'applicabilité clinique incertaines quant à la réalisation et à l'interprétation du test.

Concernant le test de référence, sa réalisation et son interprétation ont été jugées comme sujet à un risque de biais et à une préoccupation quant à l'applicabilité sur la population cible élevés pour l'étude de *Montalvo et al.*, et incertaine pour les études de *Haynes et al.* ainsi que *Whiteley et al.* En cause, la même raison que pour le test évalué : un manque ou des mauvaises consignes liées à la réalisation du DJ. Au final, c'est seulement dans l'étude de *Rogers et al.* que les bonnes consignes ont été données aux participants pour la réalisation du DJ et les modalités d'analyse de la vidéo détaillées également.

Enfin, **concernant le suivi des participants**, aucune précision quant à l'inclusion de tous ces derniers dans l'analyse finale n'a été apportée dans les études de *Haynes et al.* et de *Montalvo et al.* conduisant à un risque de biais incertain. Dans l'étude de *Whiteley et al.*, il n'est pas précisé explicitement si tous les participants sont inclus dans l'analyse finale. Cependant la lecture des tableaux de présentation des résultats révèle que les données du RSI de 73 DJ, de la HS de 78 DJ et du TCS de 82 DJ ont été prises en compte dans l'évaluation de la validité. Le nombre de données devraient être le même, il y a donc des sauts qui n'ont pas été inclus dans l'analyse finale. Seuls les participants de l'étude de *Rogers et al.* ont tous été analysés et inclus dans l'analyse finale.

En conclusion, l'évaluation de la qualité méthodologique des études évaluant la validité a ainsi révélé un risque de biais global élevé pour chacune d'entre elles.

3.2.3 Présentation des résultats : la fiabilité

Les données brutes obtenues par les participants pour la HS, le TCS et le RSI sont présentées dans un tableau en annexe lorsqu'elles sont disponibles et évaluées (confère *annexe 7*).

Nous avons choisi de présenter les résultats par propriété métrologique étudiée (fiabilité et validité) puis par étude.

L'interprétation des résultats selon les différents seuils spécifiques aux tests statistiques utilisés sont disponibles en annexe (confère *annexe 8*).

3.2.3.1 Haynes et al.

Commençons avec l'étude de *Haynes et al.*. Rappelons que le risque de biais de cette étude était jugé élevé concernant la fiabilité.

Les résultats concernant la fiabilité test-retest en intra-session sont présentés dans le *tableau VI*. Notons que les valeurs des CV ont seulement été énoncées dans le texte et que les auteurs nous renvoient à une table présentant les résultats de la fiabilité. Cependant, celle-ci n'est pas disponible en annexe. Ainsi, il manque possiblement des résultats, notamment concernant la HS et le TCS.

Variable évaluée	Fiabilité test-retest intra-session (CV)
RSI (DJ 20 cm)	CV = 6,71 %
RSI (DJ 40 cm)	CV = 10,32 %

Abréviations : RSI = indice de force réactive, DJ = Drop Jump, CV = coefficient de variation

Tableau VI : résultats de l'étude de Haynes et al. concernant la fiabilité

D'après le seuil établi par *Cormack et al.*, la valeur du CV est acceptable ($\leq 10\%$) pour la fiabilité test-retest en intra-session de MyJump 2 dans la mesure du RSI sur un DJ de 20 cm [153]. Sur un DJ de 40 cm, la valeur du CV dépasse très légèrement le seuil d'acceptabilité (CV = 10,32 %). Ainsi, les mesures de RSI de 3 DJ (20 et 40 cm) réalisées consécutivement, au cours de la même session d'évaluation et obtenues par MyJump 2 sont globalement stables dans le temps.

3.2.3.2 Montalvo et al.

L'étude de *Montalvo et al.*, a évalué la fiabilité test-retest intra-session (utilisation du CV et du CCI) pour la HS et le RSI sur les 5 DJ (30 cm) effectués par participant. Le *tableau VII* résume les résultats concernant la fiabilité pour ces 2 variables mesurées. Rappelons que le risque de biais de cette étude était jugé élevé concernant la fiabilité.

Variable évaluée	Fiabilité test-retest intra-session (CV)	Fiabilité test-retest intra-session (CCI)
HS (DJ 30 cm)	CV (95% IC) = 7,10 % (8,46 % - 8,73 %)	CCI (95% IC) = 0,98 (0,97 - 0,99)
RSI (DJ 30 cm)	CV (95% IC) = 12,49 % (8,88 % - 16,09 %)	CCI (95% IC) = 0,97 (0,95 - 0,98)

Abréviations : HS = hauteur de saut, DJ = Drop Jump, CV = coefficient de variation, IC = intervalle de confiance, RSI = reactive strength index

Tableau VII : résultats de l'étude de Montalvo et al. concernant la fiabilité

D'après l'étude de Montalvo et al. , la valeur du CV est acceptable (7,10 % < 10%) pour la fiabilité test-retest en intra-session de MyJump 2 pour la mesure de la HS d'un DJ de 30 cm. Elle est également excellente si l'on s'en réfère au CCI (0,98) et aux seuils de Koo et al. [152]. Ainsi, les mesures de HS de 5 DJ réalisées consécutivement, au cours de la même session d'évaluation et obtenues par MyJump 2 sont stables dans le temps.

En revanche, les mesures du RSI ont un CV (12,49 %) légèrement supérieur au seuil de 10% et donc non acceptable. Ainsi, si les mesures de RSI répétées au cours d'une même session obtenues avec MyJump 2 sont globalement assez stables dans le temps, elles le sont moins que pour la HS. Le CCI (0,97) montre cependant une excellente fiabilité test-retest intra-session.

3.2.3.3 Rogers et al.

L'étude de Rogers et al. a évalué la fiabilité test-retest en intra (5 sauts) et inter-session (la moyenne des 3 meilleurs sauts par participant de chaque session) et la fiabilité intra et inter-évaluateur (sur un échantillon de 22 sauts) de MyJump 2 pour mesurer le RSI de DJ de 30 cm. Le tableau VIII résume les résultats concernant la fiabilité. Rappelons que le risque de biais de cette étude était jugé élevé concernant la fiabilité.

Variable évaluée	Fiabilité test-retest intra-session (session 1)	Fiabilité test-retest intra-session (session 2)	Fiabilité intra-évaluateur
RSI (DJ 30 cm)	CV (95% IC) = 9,8 % (8,1 % - 12,6 %)	CV (95% IC) = 11,6 % (9,6 % - 15,0 %)	CCI = 0,996

Abréviations : RSI = reactive strength index, DJ = Drop Jump, CV = coefficient de variation, IC = intervalle de confiance, CCI = coefficient de corrélation intraclass

Tableau VIII : résumé des résultats de l'étude de Rogers et al. concernant la fiabilité

En ce qui concerne la fiabilité test-retest en intra-session de MyJump 2 pour mesurer le RSI d'un DJ (30 cm), la valeur du CV était acceptable (CV = 9,8 % < 10 %) lors de la première session. En revanche pour la deuxième session, la valeur du CV n'est pas acceptable (CV = 11,6 % > 10 %), malgré le fait qu'elle reste proche du seuil de Cormack et al. [153]. De plus, les bornes de l'IC associé au CV de la deuxième session tendent plus vers une valeur > 10 % et donc non acceptable. Ainsi, les mesures de RSI de 5 DJ réalisés consécutivement, au cours de la même session d'évaluation et obtenues par MyJump 2 sont globalement assez stables dans le temps.

En ce qui concerne la fiabilité test-retest inter-session (confère partie 87 – « liens supplémentaires - figure 3 de l'article). Le CV représente ici la différence de mesure (exprimée en pourcentage) entre la

moyenne des trois meilleurs sauts par participant de la session 1 et la moyenne des trois meilleurs sauts par participant de la session 2. L'IC du CV est visuellement compris entre 10,5 % et 25 % avec un CV moyen à 15 % environ. La valeur CV se situe donc au-dessus du seuil des 10 %, elle n'est pas acceptable selon le seuil de *Cormack et al.* [153]. Les mesures du RSI de DJ obtenues avec MyJump 2 semblent ainsi peu stables entre deux sessions d'évaluation à 7 jours d'intervalle.

Qui plus est, l'intervalle du CCI, est visuellement compris entre 0 et 0,8 avec un CCI moyen à 0,5 , ce qui rend compte, là aussi, d'une fiabilité moyenne de l'application pour mesurer un RSI sur plusieurs sessions (confère *partie 7 – « liens supplémentaires - figure 3 de l'article*).

En ce qui concerne la fiabilité intra-évaluateur (évaluateur expérimenté) (confère *partie 7 – « liens supplémentaires - figure 2 de l'article*). Le RSI moyen mesuré était de 1,09 la première fois (pour l'échantillon de 22 sauts sélectionnés), puis le RSI moyen était de 1,09 également lors de la deuxième évaluation du même échantillon 7 jours après. Il n'y a donc pas de différence significative ($p \geq 0.05$) entre les deux sessions de mesure, la fiabilité intra-évaluateur de MyJump 2 semble être excellente. De plus le CCI (0,996) communiqué dans le texte, va dans le sens d'une fiabilité intra-évaluateur excellente.

Pour la fiabilité inter-évaluateur (entre l'évaluateur expérimenté et l'évaluateur novice), le RSI moyen mesuré par l'évaluateur expérimenté était de 1,09 lors de sa première évaluation et le RSI moyen mesuré par l'évaluateur novice était de 1,06 pour le même échantillon de sauts. La différence entre les deux mesures moyennes obtenues par les évaluateurs est significative ($p < 0.01$), la fiabilité inter-évaluateur semble moins bonne que la fiabilité intra-évaluateur (confère *partie 7 – « liens supplémentaires - figure 2 de l'article*).

3.2.4 Présentation des résultats : la validité

3.2.4.1 Haynes et al. :

Le *tableau IX* résume les résultats de l'étude de *Haynes et al.* concernant la validité par critère concurrente pour les 3 variables mesurées des DJ (20 et 40 cm) : la HS, le TCS et le RSI. Rappelons que le risque de biais de cette étude était jugé élevé concernant la validité.

Variable évaluée	Coefficient de corrélation intraclasse	Coefficient de corrélation de Pearson ou de Spearman	Diagramme de Bland et Altman
HS (DJ 20 cm)	CCI = 0,803	r = 0,812	-
TCS (DJ 20 cm)	CCI = 0,986	r = 0,963	-
RSI (DJ 20 cm)	CCI (95% IC) = 0,954 (0,91 - 0,96), p < 0,001	r = 0,938, p < 0,001	→ Pas de biais systématique significatif → Présence d'un biais proportionnel significatif : plus le RSI augmente plus l'application surestime le RSI
HS (DJ 40 cm)	CCI (95% IC) = 0,958 (0,96 - 0,99), p < 0,001	r = 0,959	-
TCS (DJ 40 cm)	CCI (95% IC) = 0,920 (0,92 - 0,98), p < 0,001	r = 0,981	-
RSI (DJ 40 cm)	CCI (95% IC) = 0,983 (0,97 - 0,99), p < 0,001	r = 0,969, p < 0,001	→ Pas de biais systématique significatif → Pas de biais proportionnel significatif

Abréviations : DJ = Drop Jump, HS = hauteur de saut, TCS = temps de contact au sol, RSI = indice de force réactive, CCI = coefficient de corrélation intraclasse, r = coefficient de corrélation de Pearson ou de Spearman, p = p-value, - = pas de données disponibles

Tableau IX : résultats de l'étude de Haynes et al. concernant la validité

D'après les seuils établis par *Koo et al.* [152], l'application MyJump 2 montre une excellente validité pour mesurer la HS d'un DJ de 40 cm (CCI = 0,958) et une forte corrélation avec la mesure des PF (r = 0,959). Pour le DJ de 20 cm, la validité est bonne (CCI = 0,803) et la corrélation est forte (r = 0,812) avec la mesure des PF.

Concernant la mesure du TCS, la validité de MyJump 2 est excellente et la corrélation forte en comparaison avec les PF, pour les DJ de 20 (CCI = 0,986 ; r = 0,963) et 40 cm (CCI = 0,920 ; r = 0,981).

Enfin, concernant la mesure du RSI. L'application montre une excellente validité et une corrélation forte comparée à la mesure des PF pour les DJ de 20 (CCI = 0,954 ; r = 0,938) et 40 cm (CCI = 0,983 ; r = 0,969). Toutefois, si le diagramme de Bland et Altman ne montre pas de biais systématique et proportionnel significatifs pour le DJ à 40 cm, il montre la présence d'un biais proportionnel significatif pour le DJ à 20 cm. En effet, visuellement d'après le graphique, plus le RSI des sujets est élevé, plus l'application a tendance à surestimer le résultat (confère *partie 8 – « liens supplémentaires - figure 1 de l'article*).

3.2.4.2 Montalvo et al. :

Les résultats de l'étude de *Montalvo et al.* sont résumés dans le *tableau X*. Rappelons que le risque de biais de cette étude était jugé élevé concernant la validité.

Variable évaluée	Coefficient de corrélation intraclasse	Ordinary Least Products regression
HS (DJ 30 cm)	CCI (95% IC) = 0,99 (0,99 - 0,99)	→ Slope (95% IC) = 1,00 (0,97 - 1,06)
		→ Intercept (95% IC) = 0,12 (-1,60 - 0,88)
RSI (DJ 30 cm)	CCI (95% IC) = 0,98 (0,97 - 0,99)	→ Pas de biais systématique et proportionnel significatifs
		→ Slope (95% IC) = 1,00 (0,96 - 1,02)
		→ Intercept (95% IC) = 0,02 (0,00 - 0,07)
		→ Pas de biais systématique et proportionnel significatifs

Abréviations : HS = hauteur de saut, DJ = Drop Jump, CCI = coefficient de corrélation intraclasse, IC = intervalle de confiance, OLP = Ordinary Least Products, RSI = reactive strength index

Tableau X : résultats de l'étude de Montalvo et al. concernant la validité

D'après les résultats de *Montalvo et al.* , l'application MyJump 2 montre une excellente validité pour mesurer la HS (CCI = 0,99) et le RSI (CCI = 0,98) d'un DJ de 30 cm, en comparaison avec les mesures obtenues par les PF.

Qui plus est, MyJump 2 ne montre pas de biais systématique (intervalles de confiance « Intercept » comprennent la valeur 0) et proportionnel (intervalles de confiance « Slope » comprennent la valeur 1) significatifs pour la mesure de la HS et du RSI (confère *partie 8 – « liens supplémentaires - figures 3 et 5 de l'article*).

3.2.4.3 Rogers et al. :

Les résultats de l'étude de *Rogers et al.* sont résumés dans le *tableau XI*. Rappelons que le risque de biais de cette étude était jugé élevé concernant la validité.

Variable évaluée	Coefficient de corrélation intraclasse	Diagramme de Bland et Altman
RSI (DJ 30 cm)	CCI (95% IC) = 0,993 (0,990 - 0,995)	→ Présence d'un biais systématique significatif (Mean bias raw ± SD = 0.06 ± 0.03) → Pas de biais proportionnel significatif

Abréviations : RSI = reactive strength index, DJ = Drop Jump, CCI = coefficient de corrélation intraclasse, IC = intervalle de confiance, SD = standard deviation

Tableau XI : résumé des résultats de l'étude de Rogers et al. concernant la validité

L'application MyJump 2 montre une excellente validité (CCI = 0,993) pour mesurer le RSI d'athlètes sur des DJ de 30 cm en comparaison avec les PF. Cependant, le diagramme de Bland et Altman montre la présence d'un biais systématique faible mais significatif. En effet, la différence moyenne entre les deux outils de mesure est égale à 0,06 (*mean bias raw*) et l'IC associé à cette mesure est visuellement compris entre 0,01 et 0,11, il ne comprend donc pas le 0. MyJump 2 a ainsi très légèrement tendance à surestimer le RSI des sujets comparé aux PF. Visuellement sur les diagrammes de Bland et Altman, il ne semble pas y avoir de biais proportionnel significatif car il n'y a pas de tendance d'évolution de la différence moyenne lorsque les mesures du RSI augmentent ou diminuent (confère *partie 8 – « liens supplémentaires - figure 1 de l'article*).

De plus, une différence peu importante mais significative ($p < 0.01$) est révélée entre la mesure moyenne du RSI obtenue par les PF (1,15), la mesure obtenue par l'évaluateur expérimenté lors de ses deux sessions d'évaluation (1,09) et l'évaluateur novice (1,06) (confère *partie 8 – « liens supplémentaires - figure 2 de l'article*). Cela montre également que la mesure du RSI de l'évaluateur expérimenté est légèrement plus proche de celle des PF que la mesure de l'évaluateur novice. Le choix d'évaluer la validité de cette manière est par ailleurs discuté dans la *partie 4.1.2*.

3.2.4.4 Whiteley et al. :

Les résultats de l'étude de *Whiteley et al.* sont résumés dans le *tableau XII*. Rappelons que le risque de biais de cette étude était jugé élevé concernant la validité.

Variable évaluée et nombre de sauts évalués	Coefficient de corrélation intraclasse
HS (DJ 30 cm) – 78 sauts	CCI (95% IC) = 0,997 (0,958 - 0,999), p <0,001
TCS (DJ 30 cm) – 82 sauts	CCI (95% IC) = 0,893 (0,839 - 0,930), p <0,0001
RSI (DJ 30 cm) – 73 sauts	CCI (95% IC) = 0,993 (0,934 - 0,998), p <0,001

Abréviations : HS = hauteur de saut, DJ = Drop Jump, CCI = coefficient de corrélation intraclasse, IC = intervalle de confiance, p = p-value, TCS = temps de contact au sol

Tableau XII : résumé des résultats de l'étude de Whiteley et al. concernant la validité

D'après l'étude de *Whiteley et al.* MyJump 2 montre donc une excellente validité pour mesurer une HS (CCI = 0,997) et un RSI (CCI = 0,993) et une bonne validité pour mesurer un TCS (CCI = 0,893) sur un DJ de 30 cm.

3.2.5 Analyse quantitative

Les études incluses dans cette revue n'ont pas toujours évalué le même type de fiabilité et lorsqu'elles l'ont fait ce n'était parfois pas pour les mêmes variables (HS, TCS ou RSI), il en est de même pour la validité. De plus, l'étude de *Haynes et al.* a évalué les propriétés métrologiques de l'application sur des DJ de 20 et 40 cm. Ainsi, nous jugeons qu'il n'est pas pertinent d'inclure celle-ci avec les études ayant étudié le DJ de 30 cm dans notre analyse quantitative par soucis de comparabilité. Qui plus est, il est impossible de réaliser une méta-analyse avec seulement trois études sur *JAMOV* (un minimum de trois est requis).

C'est pourquoi nous avons réalisé une seule méta-analyse, pour la validité par critère de concourante de MyJump 2 dans la mesure du RSI de DJ de 30 cm.

3.2.5.1 Résultats concernant la validité par critère concourante

Le *forest plot* concernant la validité par critère concourante de MyJump 2 pour mesurer un RSI est disponible ci-dessous (*figure 21*). Les valeurs sont présentées avec leur IC à 95% et les carrés représentent le poids relatif de chaque étude dans la méta-analyse.

La lecture du *forest plot* nous permet de constater que les IC des trois études se chevauchent, signe d'une faible hétérogénéité visuelle. La valeur du I^2 (18%) confirme cette observation. Étant inférieure à 25%, l'indice d'hétérogénéité statistique dans cette méta-analyse est faible [148]. Le CCI moyen est égal à 0,992 (95% IC = 0,987 - 0,996). D'après cette méta-analyse, la validité de MyJump 2 pour mesurer le RSI d'un DJ de 30 cm est excellente.

Rappelons que l'étude de *Haynes et al.* qui n'a pas été incluse dans cette méta-analyse pour des raisons évoquées plus haut, montre également une excellente validité pour mesurer le RSI d'un DJ de 20 (CCI = 0,954) et 40 cm (CCI = 0,983) et s'inscrit donc dans la lignée de ces résultats.

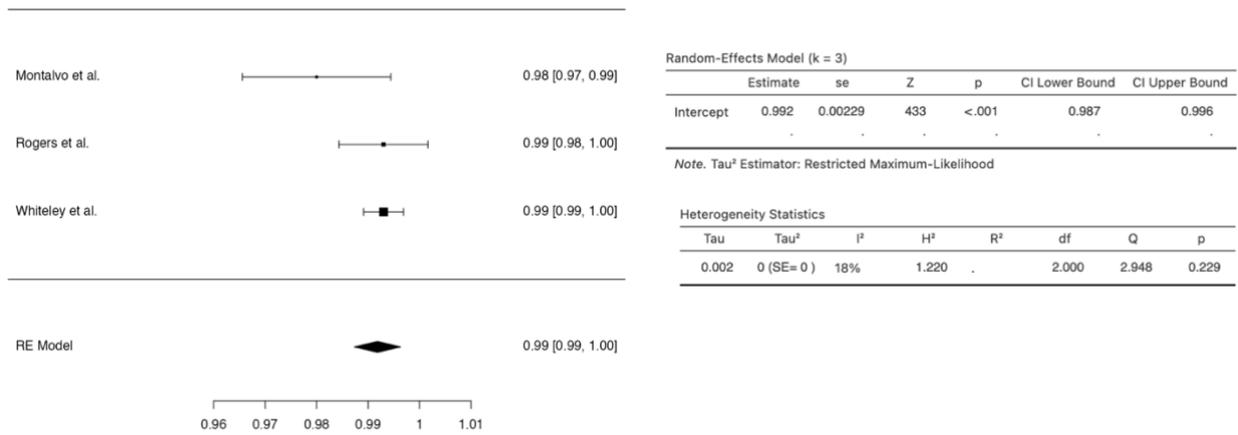


Figure 21 : forest plot concernant la validité par critère concurrente de MyJump 2 pour mesurer le RSI d'un DJ (30 cm)

4 Discussion

L'objectif de cette revue est d'évaluer les propriétés métrologiques de l'application MyJump 2 pour mesurer 3 variables d'un DJ : la HS, le TCS et le RSI. Nous commencerons cette discussion par une synthèse des résultats des études incluses, qui seront ensuite pondérés par la qualité méthodologique, les limites de celles-ci ainsi que le niveau de preuves évalué pour chaque variable. Nous discuterons ensuite de l'applicabilité clinique de l'application pour finir par une évaluation de la qualité méthodologique de cette revue.

4.1 Analyse des principaux résultats

4.1.1 La fiabilité

Un des objectifs de ce travail était d'évaluer la fiabilité test-retest en intra et inter-session, et la fiabilité intra et inter-évaluateur de l'application pour mesurer les variables d'un DJ. Cependant, il convient de rappeler que l'étude de *Haynes et al.* n'a pas communiqué tous ses résultats concernant la fiabilité. L'étude de *Whiteley et al.* n'a pas évalué la fiabilité. Ainsi, trois études incluses dans ce travail ont évalué la fiabilité : *Haynes et al.* (test-retest intra-session), *Montalvo et al.* (test-retest intra-session, intra-évaluateur) et *Rogers et al.* (test-retest intra et inter-session, intra et inter-évaluateur).

En ce qui concerne la HS et pour la fiabilité test-retest intra-session de MyJump 2, seule l'étude de *Montalvo et al.* s'y est intéressée. La valeur du CV est acceptable (<10%) pour un DJ de 30 cm. Ainsi, les mesures de HS obtenues par l'application semblent stables dans le temps, lorsqu'elles sont répétées avec un intervalle de temps très court (1 minute). Pour la fiabilité test-retest inter-session de l'application, la valeur du CV n'est pas acceptable (>10%). Ainsi, les mesures de HS obtenues avec MyJump 2 semblent moyennement stables dans le temps, lorsqu'elles sont répétées avec un intervalle de temps plus long (1 semaine).

Concernant la mesure du RSI et pour la fiabilité test-retest en intra-session de MyJump 2, la valeur du CV est acceptable (< 10%) pour un DJ de 20 cm (*Haynes et al.*). Pour des DJ de 30 et 40 cm, la valeur du CV est globalement non acceptable mais reste proche du seuil d'acceptabilité (au maximum 12,49%) (*Haynes et al.*, *Montalvo et al.*, *Rogers et al.*). Ainsi, les mesures de RSI obtenues par l'application semblent assez stables dans le temps (moins que la HS), lorsqu'elles sont répétées avec un intervalle de temps très court (30 secondes et 1 minute).

La fiabilité de MyJump 2, telle qu'elle soit, **concernant la mesure du TCS** n'a été investiguée par aucune étude présente dans ce travail.

En premier lieu, même si les résultats semblent à l'avantage de l'application concernant la fiabilité, il est nécessaire de les pondérer au fait que seulement trois études, voir qu'une selon le type de fiabilité, sont prises en compte dans cette analyse. Cela offre un premier aperçu mais c'est encore trop peu pour apporter des preuves de poids important.

Dans un second lieu, il est nécessaire de mettre en perspective ces résultats avec la qualité méthodologique et les limites des études incluses dans ce travail. En effet, les populations des trois études évaluant la fiabilité manquent de **représentativité** quant à la population réelle destinée à être testée avec MyJump 2 et formulée par leur question de recherche. Des critères d'exclusion trop restrictifs pour *Montalvo et al.* (déformation rachidienne et/ou des douleurs articulaires et/ou des blessures musculosquelettiques de moins de 6 mois) ainsi que *Haynes et al.* (uniquement des hommes) et des participants tous issus du même club pour *Rogers et al.* Pour ces trois études, les évaluateurs pourraient aussi manquer de représentativité comparé à ceux potentiellement destinés à utiliser

l'application. En effet, aucune information n'est fournie quant à leur profession et seulement *Rogers et al.* précise leur expérience. Cela nous limite ainsi dans l'interprétation des résultats que nous pouvons faire quant à l'applicabilité clinique réelle de MyJump 2 en kinésithérapie. Toutefois, l'application est destinée à tout le monde, sans compétence particulière requise, et le MK possède lui une certaine expertise dans l'analyse du mouvement.

Enfin, l'étude de *Montalvo et al.* présente un risque de biais élevé concernant **l'application et l'interprétation du test évalué**. En effet, il est demandé aux participants d'atteindre 90° de flexion de genou lors de la phase d'atterrissage du DJ, sans leur dire explicitement de « sauter le plus haut possible et le plus vite possible ». Or nous l'avons vu, cette consigne-là est fondamentale et nécessaire lorsque l'on souhaite évaluer la FR, par l'intermédiaire du RSI, sur un DJ classique (le *Combination Technique Drop Jump*). Le saut réalisé dans cette étude s'approche ainsi plus du *Counter Movement Drop Jump*, avec une HS augmentée mais un TCS augmenté également (confère *partie 1.5.6*). Or pour rappel, le RSI reflète l'aptitude d'un individu à absorber le plus rapidement possible l'énergie d'une chute pour se propulser verticalement le plus haut possible. C'est donc l'individu lui-même qui décide de la stratégie biomécanique qu'il emploie (ex : plus ou moins de flexion de genou) pour sauter haut et rapidement. Toutefois, il est possible pour l'évaluateur de varier la biomécanique du DJ selon ce qu'il souhaite évaluer, notamment en fonction des exigences sportives de l'individu. En revanche, ce n'est pas le cas de *Montalvo et al.* ici, qui déclarent avoir pris cette décision davantage pour un soucis de reproductibilité du test. La pertinence du test s'en retrouve ainsi impactée et cela conduit au fait qu'il ne s'agit peut-être pas réellement de la fiabilité de MyJump 2 pour mesurer un RSI qui est évaluée dans ce travail.

Dans l'étude de *Haynes et al.* , aucune information n'est donnée quant aux modalités de réalisation et d'interprétation du DJ.

Poursuivons à présent sur les **outils statistiques** utilisés par les auteurs pour évaluer la fiabilité de l'application. Dans ce domaine-là, l'étude de *Rogers et al.* est certainement celle qui présente le plus de limites. En effet, les auteurs utilisent certes le CV pour évaluer la fiabilité test-retest intra-session qui est recommandé mais ils utilisent également le CCI pour « apporter un critère additionnel » d'après leurs dires, ce qui semble beaucoup moins pertinent en revanche [147]. Pour la fiabilité inter-évaluateur, ils communiquent le résultat en utilisant le coefficient de corrélation de Pearson ou de Spearman (non précisé) alors qu'ils utilisent le CCI (celui qui est recommandé pour ce type fiabilité) pour la HS du CMJ [203].

De plus, *Rogers et al.* évaluent la fiabilité intra et inter-évaluateur avec un échantillon de 22 DJ sur les 110 réalisés sur une même session (2 sessions au total). La raison de ce choix n'a pas été évoquée, peut-être pour un gain de temps évident lors de l'analyse. Les résultats apportés par cette étude auraient certainement eu plus de poids si cette fiabilité avait été évaluée sur les 110 sauts, voir sur l'ensemble des deux sessions d'évaluation (220 sauts).

Afin de présenter leurs résultats concernant la fiabilité intra et inter-évaluateur, *Rogers et al.* ont opté pour un diagramme sur lequel figurent les 22 sauts analysés par les différents évaluateurs à différentes occasions, avec la moyenne du RSI de cet échantillon et son IC à 95% associé. Il est également indiqué le degré de significativité de la différence observée entre les mesures des différents évaluateurs. Selon nous, malgré le fait que ce diagramme soit facilement interprétable visuellement, il aurait été préférable de présenter les résultats de la fiabilité intra et inter-évaluateur en communiquant les CCI avec leurs IC, pourquoi pas sous forme de tableau, comme l'ont fait *Montalvo et al.* . La différence observée entre les mesures étant assez faibles, l'interprétation du CCI avec les seuils de *Koo et al.* aurait été selon nous plus pertinente que d'utiliser des seuils de significativité. De plus, la comparaison entre les études auraient ainsi pu être facilitée.

Dans l'étude de *Haynes et al.* , en plus de ne pas mettre à disposition le tableau des résultats concernant la fiabilité, les auteurs communiquent deux CV (pour la HS et le RSI) sans IC. L'indicateur de dispersion est pourtant essentiel pour avoir une idée de la précision du résultat communiqué.

Dans l'étude de *Montalvo et al.* , le choix d'évaluer la fiabilité test-retest en inter-session de MyJump 2 pour mesurer les variables d'un DJ est sujet à discussion. En effet, nous l'avons vu (confère *partie 1.4.3.1*) le DJ est un saut sensible à la fatigue neuro-musculaire. Dès lors que l'état de fatigue neuro-musculaire d'un athlète peut grandement évoluer en 7 jours, il va de soi que la mesure de HS du DJ évoluera également. Ainsi, la cause de cette différence de mesure entre les sessions n'est peut-être pas entièrement due à un déficit de fiabilité de l'application.

Toujours dans l'étude de *Montalvo et al.* , les auteurs présentent les résultats de la fiabilité test-retest intra-session sous deux formes : la fiabilité absolue (avec le CV) et la fiabilité relative (avec le CCI). Or, nous avons vu dans la *partie 2.1.6* que la fiabilité absolue concernait la fiabilité test-retest et que la fiabilité relative concernait la fiabilité intra ou inter-évaluateur. Toutefois, il n'y a dans cette étude qu'un seul évaluateur, donc il est impossible que la fiabilité inter-évaluateur soit évaluée. De plus, à aucun moment il n'est précisé que l'évaluateur ré-évalue un échantillon de saut, donc la fiabilité intra-évaluateur n'est pas évaluée non plus. La présentation des résultats de la fiabilité absolue avec le CCI semble donc peu pertinente [147]. Il est préférable de s'intéresser à la fiabilité absolue avec le CV.

Enfin, il paraît essentiel de rappeler que le CV dépend énormément de l'expérience de l'individu²⁴. C'est donc un point fort pour les trois études qui s'intéressent à la fiabilité test-retest puisque les participants étaient globalement expérimentés en matière de saut vertical. En effet un athlète expérimenté, aura tendance à être régulier dans ses performances de sauts répétés. Ainsi, d'éventuelles variations des performances observées au cours d'une même session d'évaluation seraient probablement dues à une erreur de mesure de l'outil.

4.1.2 La validité

Un des objectifs de cette revue était d'évaluer la validité par critère concurrente de MyJump 2 pour mesurer les variables d'un DJ, en comparaison avec le gold standard, les PF. Contrairement à la fiabilité, les 4 études incluses dans ce travail l'ont évalué et ont communiqué tous leurs résultats.

En ce qui concerne la mesure de la HS, la validité de MyJump 2 semble être excellente pour un DJ de 30 cm (*Montalvo et al.* , *Rogers et al.*) et de 40 cm (*Haynes et al.*). Pour un DJ de 20 cm, elle semble être bonne (*Haynes et al.*).

Concernant la mesure du TCS, la validité de MyJump 2 semble être excellente pour un DJ de 20 et 40 cm (*Haynes et al.*) et bonne pour un DJ de 30 cm (*Whiteley et al.*).

Enfin, **concernant la mesure du RSI**, la validité de MyJump 2 semble être excellente pour des DJ de 20 (*Haynes et al.*), 30 (*Montalvo et al.* , *Rogers et al.* , *Whiteley et al.*) et 40 cm (*Haynes et al.*). L'application semble toutefois surestimer le résultat comparé aux PF, lorsque le RSI des sujets augmente sur un DJ de 20 cm (*Haynes et al.*).

La méta-analyse révèle une validité excellente de l'application mesurer un RSI sur un DJ de 30 cm (CCI moyen = 0,992 ; 95% IC = 0,987 - 0,996) avec un indice d'hétérogénéité statistique faible ($I^2 = 18\%$).

Il est temps à présent de pondérer ces résultats à la qualité méthodologique et aux limites des études incluses dans ce travail.

²⁴ <https://www.sportsci.org/resource/stats/precision.html> : consulté le 21/04/2024 à 18h00 heure de Paris

Premièrement concernant la **sélection des participants**. Les études de *Haynes et al.*, *Montalvo et al.* et *Rogers et al.* n'apportent aucune précision quant à un éventuel recrutement aléatoire des participants. *Whiteley et al.* n'ont pas recruté l'échantillon de patients de manière aléatoire puisque ces derniers étaient sélectionnés dès leur première séance de consultation, s'ils respectaient les critères d'inclusion, et ce de manière consécutive.

Même remarque que pour la fiabilité (confère *partie 4.1.1*), la population manque de **représentativité** pour chaque étude, par rapport à la population cible destinée à être testée avec l'application et présentée par les auteurs dans leur introduction. De la même manière, l'échantillon de l'étude de *Whiteley et al.* compte 49 hommes et 2 femmes seulement, signe d'un important déséquilibre de sexe. Pour terminer sur ce point, il convient de relever que les auteurs auraient dû, dans l'idéal, évaluer la fiabilité et la validité de l'application sur la population qu'ils avaient préalablement définis dans leur introduction, c'est-à-dire une population d'athlètes au sens large pour la plupart, sans restriction particulière.

Le choix d'inclure l'étude de *Whiteley et al.* dans cette revue est discutable du fait que l'échantillon est ici constitué de patients ayant subi une reconstruction du LCA, une population peu comparable avec les trois autres études au final. Toutefois, la décision d'inclure cette étude respectait nos critères d'inclusion qui se voulaient être volontairement très larges, l'application MyJump 2 étant vendue comme capable de mesurer les performances en saut vertical de quiconque, nous voulions évaluer sa fiabilité et sa validité pour tout le monde.

Au final, la population totale représentée par les quatre études incluses dans cette revue se compose de 87 hommes et 19 femmes avec une moyenne d'âge de 24 ans (106 participants). Un échantillon peu important, qui montre une grande disparité de sexe combiné à un âge moyen relativement jeune, à une expérience pliométrique confirmée et aux multiples exclusions inappropriées (douleurs articulaires, blessure récente etc.). Il convient de se demander si la population destinée à être testée avec MyJump 2 en pratique est réellement représentée dans cette revue. Toutefois, nous jugeons que cette limite n'est pas celle qui influence le plus les résultats.

En ce qui concerne le **test évalué**. Les études de *Haynes et al.* et *Whiteley et al.* manquent d'informations quant aux modalités de réalisation du DJ, notamment du point de vue des consignes données aux participants. C'est peut-être pour cette raison que le TCS moyen est assez élevé ($365,72 \pm 88,86$ ms mesuré par les PF sur un DJ de 30 cm) dans l'étude de *Whiteley et al.*. Il faut toutefois rappeler que la population dans cette étude est constituée de patients opérés du LCA, donc sans doute pas encore disposés à réaliser des performances selon la phase post-opératoire dans laquelle ils se trouvent. Pour *Haynes et al.* en revanche, les TCS moyens sont beaucoup plus courts ($257,18 \pm 60,88$ ms mesuré par les PF sur un DJ de 20 cm et $268,32 \pm 68,19$ ms sur un DJ de 40 cm) et donc plus proches du seuil de 250 ms qui est visé pour mettre en jeu le SSC rapide lorsque l'on souhaite mesurer la FR. Cependant, la population étant constituée de jeunes étudiants sportifs avec une expérience d'au moins un an acquise en entraînement pliométrique, nous jugeons qu'avec les bonnes consignes dispensées, le TCS moyen aurait pu être inférieur au seuil de 250 ms.

Dans l'étude *Montalvo et al.*, il est demandé aux individus de « se laisser tomber de la box, d'atterrir sur les PF puis d'accélérer de manière explosive pour réaliser un saut vertical avec contre-mouvement ». Une consigne qui nous semble peu clair et qui, malgré le fait de suggérer implicitement aux participants de minimiser leur TCS, ne donne aucune information quant à la HS qui doit être maximale. En effet, nous rappelons que lorsque l'on souhaite mesurer la FR sur un DJ, il est nécessaire que le sujet maximise son ratio HS/TCS (confère *partie 1.4.3*). Au final, sur les 4 études évaluant la validité, seule celle de *Rogers et al.* donne la bonne consigne aux participants : « sautez le plus haut possible en minimisant le temps de contact au sol ». Toutefois, il semble pertinent de relever que

Montalvo et al. ainsi que *Rogers et al.* ne présentent pas les données brutes des TCS obtenus par leurs participants. Cela nous auraient donné une indication quant à la bonne réalisation ou non des DJ, toujours en se rapportant au seuil des 250 ms.

Concernant la biomécanique du saut, seule l'étude de *Haynes et al.* ne donne aucune précision quant aux vigilances portées lors de la réalisation du DJ. En effet, nous rappelons qu'il est essentiel que l'individu saute avec les mains sur les hanches pour isoler l'évaluation de la FR des MI, et qu'il réalise une triple extension des MI lors de la PDV jusqu'à l'atterrissage pour ne pas surestimer le TDV et donc la HS. Si *Rogers et al.* se disent toutefois être vigilant sur une éventuelle flexion de genoux lors de la PDV, ils ne mentionnent à aucun moment la cheville dont on sait qu'il faut veiller à ce qu'elle reste en flexion plantaire durant toute la PDV jusqu'à l'atterrissage.

Dans l'étude de *Montalvo et al.*, la remarque est la même que pour la fiabilité (confère *partie 4.1.1*) concernant le DJ avec 90° de flexion de genoux.

Du point de vue de l'analyse de la vidéo du saut avec MyJump 2, là encore, seule l'étude de *Haynes et al.* ne donne aucune information quant aux règles de sélection des images de décollage et d'atterrissage du DJ.

Poursuivons sur les outils utilisés pour enregistrer la vidéo du saut. *Haynes et al.* utilisent un iPhone 6® tandis que *Montalvo et al.* utilisent un iPhone X®. Malgré leur écart de génération, les deux appareils enregistrent tous les deux à 240 images par seconde. *Rogers et al.* ainsi que *Whiteley et al.* utilisent eux un iPad Pro pour enregistrer la vidéo, certainement plus précis car l'écran est plus grand et facilite ainsi la sélection des trois images dans la découpe du DJ. *Haynes et al.* ainsi que *Montalvo et al.* ne donnent aucune information sur la distance entre les PF et l'appareil qui enregistre la vidéo, ni si celui-ci repose sur le sol par sa base ou s'il est tenu par l'évaluateur. *Rogers et al.* déclarent utiliser un trépied qui maintient l'appareil 5 cm au-dessus du sol. Si *Whiteley et al.* ne donnent pas d'informations explicites dans le texte, ils fournissent toutefois une figure qui révèle que l'iPad repose par sa base sur le sol, et que l'évaluateur semble être à plus d'un mètre des PF. Les auteurs n'utilisent donc pas les mêmes caractéristiques de standardisation pour enregistrer la vidéo, source de biais de mesure potentiel. Ces remarques prévalent également pour la fiabilité.

Concernant à présent le **test de référence**, rappelons qu'il s'agit du même que le test évalué puisque le DJ est enregistré en même temps par un smartphone ou une tablette et par les PF. Les mêmes limites et biais concernant les consignes données et la biomécanique du saut s'appliquent également.

Si l'on s'intéresse aux modalités d'analyse du saut avec les PF. Les études de *Haynes et al.*, *Montalvo et al.* précisent explicitement que les PF utilisent le TDV pour calculer la HS comme le fait MyJump 2 ($HS = 1/8 \times g \times TDV^2$, confère *partie 1.2.1*). *Rogers et al.* le suggèrent implicitement en disant que les formules utilisées pour calculer les variables du DJ (HS et RSI) avec les PF sont les mêmes que celles utilisées par MyJump 2. Pour calculer le RSI, *Haynes et al.* précisent explicitement qu'ils utilisent comme l'application la formule TDV/TCS. *Montalvo et al.* ne donnent aucune information quant à la formule utilisée pour calculer le RSI tandis que *Whiteley et al.* ne donnent aucune information quant aux formules utilisées pour calculer HS et RSI.

En ce qui concerne le **suivi des patients**, les études de *Haynes et al.* et *Montalvo et al.* ne fournissent aucune information quant à l'inclusion de tous les participants dans l'analyse finale ou non. Ainsi, il est impossible de savoir combien de sauts et combien de participants sont pris en compte dans les analyses faites à l'aide du CCI, de diagrammes de Bland et Altman ou encore de régressions linéaires. Un détail qui a son importance puisque que connaître le nombre de participants et de sauts inclus dans l'analyse finale c'est aussi obtenir une information sur le poids de la preuve apporté par l'étude. En effet, si pour quelque raison, erreur de mesure ou autre, une étude se retrouve avec 30 sauts pris

en compte dans l'analyse alors qu'une autre en compte 110, le résultat apporté par la première sera de moindre poids, même s'il est excellent, comparé à la seconde.

Dans l'étude de *Whiteley et al.*, il n'y a pas le même nombre de sauts pris en compte dans l'évaluation de la validité de l'application selon la variable mesurée (78 pour la HS, 82 pour le TCS, 73 pour le RSI). Pourtant l'application et les PF fournissent systématiquement les 3 variables lors de l'analyse d'un saut. Le nombre de saut pris en compte dans l'analyse finale devrait donc être le même pour les 3 variables. Aucune raison n'est communiquée quant à ces données manquantes, ce qui en fait un risque de biais pour l'étude.

Enfin, nous finirons sur les **outils statistiques** utilisés par les auteurs pour évaluer la validité par critère concourante de l'application. Dans l'idéal, il est préférable d'utiliser le CCI ou les limites d'accord via la méthode de Bland et Altman lorsque l'on souhaite évaluer la validité par critère d'un outil pour mesurer une variable continue dont l'unité de mesure est la même pour l'outil de mesure en question et pour le gold standard [204]. Les quatre études incluses dans ce travail utilisent le CCI. Toutefois, *Haynes et al.* sont les seuls à ne pas communiquer d'IC associé à leur CCI. De plus, ces derniers utilisent également le coefficient de corrélation de Pearson ou de Spearman, ce qui semble peu pertinent puisque recommandé uniquement si l'unité de mesure entre l'outil évalué et le gold standard n'est pas la même [204]. De plus le coefficient de corrélation de Pearson ou de Spearman a tendance à surestimer la corrélation lorsque l'échantillon est petit (< 15 personnes) comme c'est le cas dans l'étude de *Haynes et al.* (14 participants)²⁵.

Même si l'analyse de corrélation est nécessaire pour évaluer la validité d'un outil, il est recommandé de la compléter par une analyse des limites d'accord, plus approfondie et qui tient compte des biais systématique et proportionnel. *Haynes et al.* ainsi que *Rogers et al.* complètent leur analyse avec des diagrammes de Bland et Altman mais uniquement pour le RSI. Cependant, ces derniers auraient également pu utiliser une régression linéaire, comme l'ont fait *Montalvo et al.* (uniquement pour la HS), qui permet de quantifier objectivement un éventuel biais proportionnel significatif et de ne pas limiter le lecteur à une interprétation purement visuelle par la tendance du nuage de points. *Whiteley et al.* ont eux uniquement utilisé le CCI.

En conclusion, il paraît pertinent de relever que nous ne pouvons pas donner le même poids à tous les biais et à toutes les limites des études incluses dans ce travail. En effet, le manque d'information quant aux modalités de réalisation et d'analyse du saut nous semble être le risque de biais le plus important et le plus à même de faire relativiser les résultats globalement excellents que montrent MyJump 2 concernant la validité.

4.2 Mise en perspective des résultats avec la littérature

Le nombre peu important d'études incluses dans cette revue, concernant la fiabilité et la validité confondues est également sujet à discussion. Cela s'explique sans doute par le caractère récent de l'application (2019) et par la restriction importante de nos critères d'inclusion dans le but de cibler l'évaluation de la FR (DJ uniquement) avec précision (smartphones ou tablettes de 240 Hz). Pour avoir un ordre d'idée, la revue de *Turan et al.* comptait 12 études mais incluait toutes les versions de l'application et tous les différents types de sauts verticaux [143].

La méta-analyse de *Turan et al.* avait également conclu à une excellente fiabilité (CCI moyen = 0,990) et validité (CCI moyen = 0,980) de MyJump 2 pour mesurer une HS. Toutefois, les auteurs avaient inclus dans leur méta-analyse des études évaluant les propriétés métrologiques de l'application pour le CMJ et le DJ confondus. De plus, tous les types de fiabilité étaient inclus dans la même méta-analyse. C'est

²⁵ <https://www.sportsci.org/resource/stats/precision.html> : consulté le 21/04/2024 à 18h00 heure de Paris

sans doute pour ces raisons que l'hétérogénéité des méta-analyses concernant la fiabilité ($I^2 = 98,8 \%$) et la validité ($I^2 = 97,8 \%$) était très élevée.

Notre travail avait pour but d'évaluer les propriétés métrologiques de MyJump 2 pour mesurer les variables d'un DJ. Le même travail aurait pu être réalisé pour le SLDJ qui est tout aussi pertinent pour la pratique clinique. Toutefois, lors de recherches préalables nous avons constaté que très peu d'études s'intéressaient au SLDJ.

L'étude de *Barbalho et al.* prend en compte le SLDJ, en plus du DJ, dans son analyse [205]. Cependant, nous l'avons exclu lors de la lecture du texte intégral car l'évaluation des sauts était réalisée avec un iPhone 6® enregistrant à 120 images par seconde. Les auteurs ont évalué la fonction « Test asymétrie » de MyJump 2 qui donne le pourcentage d'asymétrie entre les deux MI pour le TDV (aussi pour la HS) et pour le TCS mesuré sur deux SLDJ (un sur chaque MI). Pour l'asymétrie du TDV, la corrélation entre l'application et les PF était de 0,983 (excellente validité) et pour l'asymétrie du TCS la corrélation était de 0,880 (bonne validité). Les fiabilités intra et inter-évaluateur étaient excellentes (CCI = 1) pour ces mesures.

L'étude de *Whiteley et al.* a également évalué la validité de l'application pour mesurer les variables d'un SLDJ. La validité est excellente pour la HS (CCI = 0,994), le TCS (CCI = 0,929) et le RSI (CCI = 0,99).

Toutefois, même si l'utilisation du SLDJ dans la pratique clinique est évoquée dans les *parties 4.4.3 à 4.4.6*, nous mettons en garde le lecteur quant au fait qu'à notre connaissance, seulement 2 études se sont intéressées aux propriétés de l'application pour ce saut et que l'évaluation de leur risque de biais n'est pas présentée dans ce travail.

4.3 Qualité des preuves

Afin d'évaluer le niveau de preuves concernant la fiabilité et la validité de chaque variable mesurée avec MyJump 2 nous avons utilisé le système GRADE (Grading of Recommendation Assessment, Development and Evaluation) [156]. Cette évaluation permettra d'éclairer sur le degré de confiance que l'on pourra donner à chaque résultat rapporté dans cette revue.

En premier lieu, notons que les études incluses dans ce travail sont toutes transversales, soit le niveau de preuve le plus élevé pour une étude diagnostique selon la table des niveaux de preuves du Centre d'Evidence-Based Medicine d'Oxford [145]. C'est pourquoi les 4 études de cette revue se voient hériter la note maximale de 4, soit le niveau de preuve le plus élevé également avec le système GRADE. Cette cotation va être modulée à la baisse par la présence de facteurs (risque de biais, évidence indirecte, incohérence, imprécision et biais de publication) qui vont influencer la qualité des preuves. L'évaluation est résumée dans un tableau présenté en annexe (confère *annexe 9*).

Remarquons que le risque de biais est au minimum « sérieux » pour toutes les études, au maximum « très sérieux » lorsque la variable concernée est le RSI et que l'étude de *Montalvo et al.* est concernée (confère les risques de biais sur le test évalué *partie 3.2.1*).

L'évidence indirecte sera toujours marquée « sérieuse » principalement en raison du manque d'information quant aux qualifications des évaluateurs, impactant ainsi le transfert des résultats à l'utilisation de l'application par des MK.

L'incohérence sera toujours marquée « sérieuse » par défaut, lorsque qu'une seule étude est prise en compte dans l'évaluation du niveau de preuves de l'application pour mesurer une variable. Lorsqu'au

minimum deux études étaient concernées, l'hétérogénéité des résultats étaient globalement faibles c'est pourquoi nous avons noté une incohérence « non détectée » dans ces cas-là.

Concernant l'imprécision, elle a été marquée comme « sérieuse » seulement pour la fiabilité test-retest inter-session de MyJump 2 dans la mesure du RSI. Des IC assez larges associés au CV et au CCI en sont la cause.

Aucun biais de publication n'a été détecté pour toutes les études car nous avons investigué 5 bases de données complétées par des recherches complémentaires, dans la littérature grise notamment, et par le contact d'experts. Notons que nous n'avons pas réalisé de funnel plot pour identifier ce type de biais car nous avons trop peu d'étude pour permettre une interprétation pertinente de celui-ci.

En conclusion, il s'agit de remarquer que le niveau de preuves concernant la fiabilité est faible ou très faible, mais une seule étude est comptabilisée la plupart du temps. Pour la validité en revanche, les preuves ont plus de poids car les échantillons sont plus importants avec au minimum deux études concernées. Le niveau de preuves est faible pour mesurer une HS et un TCS et très faible pour mesurer un RSI.

L'évaluation du niveau de preuves avec le système GRADE n'est pas une fin en soi pour recommander ou non l'utilisation d'un outil de mesure. En effet, nous ne pourrions jamais réellement savoir à quel point ces biais impactent les résultats globalement excellents qu'à obtenu MyJump 2. C'est pourquoi il s'agit à présent de mettre en perspective les cotations obtenues par l'application avec les différents coûts humains et financiers incombés à la fois au patient et au thérapeute lors de l'utilisation de MyJump 2.

Dès lors, il convient d'apprécier que l'application MyJump 2 est peu onéreuse (17,99 euros au 16/04/2024), lorsqu'on la compare au prix du gold standard pour ce genre de mesure, à savoir les PF (entre 7000 et 10000 euros selon le modèle). D'après cette revue, elle mesure des HS, TCS et RSI assez proches des PF (à pondérer au risque de biais, confère *parties 3.2.1 et 3.2.2*). De plus, elle ne requiert que l'utilisation d'un smartphone ou d'une tablette (peu encombrant), et présente un fonctionnement assez intuitif, même pour une personne peu expérimentée en analyse du mouvement. L'analyse des sauts avec MyJump 2 demande certes, un peu plus de temps qu'avec les PF, mais a pour avantage de présenter les résultats de manière simple (4 variables seulement, la rigidité n'ayant pas été évoquée dans ce travail), à l'inverse des PF qui présente une multitude de données. MyJump 2 peut donc suffire initialement avant de passer aux PF dans un souci de perfectionnement et d'amélioration de son expertise en matière d'analyse de saut.

Ainsi, malgré le fait que la population, les évaluateurs et les modalités de réalisation et d'analyse du DJ dans cette revue manquent de représentativité quant à l'utilisation potentielle de l'application sur le terrain (confère *parties 4.1.1 et 4.1.2*) nous pensons que les MK auraient tort de se passer de l'utilisation de MyJump 2 dans leur pratique à l'heure actuelle. L'applicabilité clinique qu'offre l'application est importante, et s'inscrit parfaitement dans l'ère du temps et des dernières recherches (confère *partie 4.4*).

4.4 Applicabilité des résultats en pratique clinique

Nous évoquons dans cette partie les trois grands domaines d'utilisation de MyJump 2 dans la pratique du MK.

4.4.1 Utilisation potentielle de MyJump 2 : la prévention

Une première possibilité d'utilisation de l'application concerne le domaine de la prévention. En effet, l'application peut se montrer utile pour objectiver l'état de fatigue neuro-musculaire d'un patient [111]. Une mesure qui peut être mise en place lorsque la rééducation s'intensifie, en début de réathlétisation lors d'une blessure au MI par exemple. L'augmentation des contraintes lors de cette phase (ex : entraînement pliométrique, reprise de la course, des COD et des sprints) nécessite de monitorer l'état de fatigue du patient afin de trouver l'harmonie parfaite entre la création d'adaptations physiologiques et l'évitement d'une surcharge, le tout en restant progressif²⁶. Même si travailler sous fatigue peut être une option, il est nécessaire de garder à l'esprit que la fatigue neuro-musculaire est un des facteurs de risque de blessure musculosquelettique [206].

Pour ce faire, l'évaluation du RSI sur un DJ de 30 cm pourrait être un bon moyen d'évaluer la fatigue neuro-musculaire d'un patient, qui plus est en se rapprochant des contraintes des activités qu'il retrouve dans la rééducation (SSC rapide sur sprint, COD etc.). De plus, le saut vertical est le test qui produit le moins de fatigue comparé à des sprints ou à des tests de force [207]. Le changement minimal détectable (MDC) de 0,09 rapporté par *Whiteley et al.* pourrait être utilisé pour définir un changement significatif du RSI, c'est-à-dire un changement propre à la performance de l'individu et non à une erreur de mesure [208].

Le DJ est encore peu décrit dans la littérature pour monitorer l'état de fatigue neuro-musculaire d'individu, contrairement au CMJ [209]. De plus, cette évaluation doit être complétée par une évaluation subjective de l'état de fatigue, par le biais de questionnaires notamment.

4.4.2 Utilisation potentielle de MyJump 2 : l'examen clinique, l'investigation

L'évaluation de la FR avec MyJump 2 peut également se montrer utile dans l'examen clinique. Enda King considère l'examen clinique comme l'établissement du profil d'un patient : quelles sont ses forces, quelles sont ses faiblesses ? Le but ? Concevoir un plan de rééducation orienté sur les déficits individuels du patient²⁷. En effet, devant une même pathologie ou une même présentation clinique, les raisons du développement des symptômes sont propres à chaque patient.

Prenons à présent l'exemple de la cheville, dont nous avons déjà évoqué la part de travail au cours d'un DJ (confère *partie 1.5.5*). Kelly a montré que le complexe pied-cheville était responsable, à lui seul, de plus de 50 % de l'absorption et de la génération des forces en course à pied [210]. Une fonction notamment permise par les qualités de FR du complexe musculo-tendineux des fléchisseurs plantaires (FP) [211]. Dès lors, une réduction de la production de force par le segment cheville conduirait en partie à une augmentation de la charge induite sur les articulations du genou et de la hanche, moins enclins à absorber les contraintes, et in fine à une surcharge des structures passives (os, ligaments etc.) [206].

À terme, comme le souligne Massamba M'baye, ce déficit peut causer l'apparition de pathologies de surutilisation, notamment dans la région du genou (syndrome de la bandelette ilio-tibiale, tendinopathie rotulienne, syndrome fémoro-patellaire etc.) (confère *note de bas de page*¹², *page 14*).

Au niveau de la hanche, la question se pose quant à la pubalgie. En effet, celle-ci est principalement due à une surcharge, en termes de contraintes, de la partie antérieure du bassin causant une irritabilité des tissus situés dans cette région²⁷. La recherche d'un éventuel déficit de FR des FP pourrait faire partie intégrante de l'examen clinique de la pubalgie.

²⁶ <https://www.scienceforsport.com/monitoring-fatigue/> : consulté le 25/04/2024 à 14h43 heure de Paris

²⁷ <https://www.sportsmith.co/articles/managing-and-monitoring-hip-and-groin-injuries/> : consulté le 25/04/2024 15h12 heure de Paris

Ainsi, devant ces pathologies-là, fréquemment rencontrées dans la pratique du MK, nous ne pouvons que recommander l'évaluation de la FR des FP par la mesure du RSI, notamment avec MyJump 2 (confère *partie 4.3.5*). L'utilisation du *Bounce DJ* permettra de cibler davantage la cheville et le single leg *Bounce DJ* permettra de déceler d'éventuelles asymétries inter-membres.

Cependant, nous mettons en garde le lecteur quant au fait que l'utilisation de l'application pour mesurer la FR lors de l'examen clinique est une investigation complémentaire mais ne doit en aucun cas se substituer aux différents tests cliniques, notamment aux tests de force (dynamomètre manuel, isocinétique etc.). Elle peut faire partie intégrante du bilan et ainsi affiner le diagnostic.

4.4.3 Utilisation potentielle de MyJump 2 : le traitement et la validation de critères

Prenons pour cette partie l'exemple du genou et de la reconstruction du LCA, pathologie pour laquelle le patient doit retrouver l'ensemble de ses capacités musculaires, notamment celle à absorber et restituer les contraintes de manière optimale si son activité sportive l'oblige.

Il a été montré que le RSI est le paramètre le plus altéré chez une population ayant subi une reconstruction du LCA, 6 mois après l'opération²⁸. De plus, le RSI est une des dernières qualités à retrouver après une telle opération, en comparaison avec la force, la HS, la distance (horizontale) de saut et la performance des COD [208].

Jean Benoit Morin et Aurélien Broussal-Derval déclarent que lors de la réathlétisation il est essentiel de ne pas s'intéresser qu'à la FM. En effet, malgré le fait de présenter une excellente symétrie inter-membre en terme de FM, il est possible qu'un individu mette plus de temps à développer cette force du côté blessé. Or, dans les sports explosifs (ex : rugby, basket-ball, handball etc.) le temps du contact au sol décisif tourne en moyenne autour de 200 ms. Les muscles doivent être capables de se contracter, d'absorber les contraintes et de stabiliser les articulations à haute vitesse, notamment en utilisant le SSC rapide. Plus qu'une question de performance c'est donc une question de sécurité²⁹.

Il est ainsi essentiel de travailler et d'évaluer la FR dans la rééducation d'une reconstruction du LCA³⁰. Notons que l'évaluation des variables de performance d'un DJ (HS, TCS et RSI) peut également se faire lors de la rééducation préopératoire afin d'obtenir des valeurs de référence. En l'absence de PF, MyJump 2 peut être une alternative.

D'après Roula Kotsifaki, les tests de force musculaire et de sauts unipodaux sont aujourd'hui la pierre angulaire des critères de RTS après une reconstruction du LCA³¹. Un indice de symétrie entre les deux membres (le LSI pour *limb symmetry index*) supérieur ou égal à 90 % est recommandé sur les variables biomécaniques pour envisager un RTS sécuritaire. Qui plus est, MyJump 2 a révélé une sensibilité et une spécificité de 1 (sur un échantillon de 135 mesures et en comparaison avec les PF), lorsque le critère pour un test positif était de « ne pas réussir à atteindre un LSI supérieur à 90 % » [208]. C'est pourquoi la mesure du RSI et du LSI sur un SLDJ avec l'application, en complément d'autres mesures, peut faire partie de la prise de décision du RTS lorsque le thérapeute ne dispose pas de PF.

Par ailleurs, il a récemment été évoqué que les tests de sauts horizontaux avec mesure de la distance, sont peu révélateurs de la fonction du genou, et donc de ses déficits potentiels, contrairement aux

²⁸ <https://www.klyf.fr/mediatek-rsi/> : consulté le 25/04/2024 à 15h23 heure de Paris

²⁹ Webinaire « PUISSANCE » - Aurélien Broussal-Derval avec Jean Benoit Morin – Visionné le 24/05/2023

³⁰ <https://www.sportsmith.co/articles/essential-guide-to-testing-and-profiling-an-athlete-during-rehabilitation-and-return-to-play-after-aclr/> : Consulté le 10/04/2024 à 15h38 heure de Paris

³¹ <https://journal.aspetar.com/en/journals/volume-12-targeted-topic-sports-medicine-in-padel/criteria-based-rehabilitation-and-return-to-sport-testing-after-anterior-cruciate-ligament-reconstruction> : Consulté le 10/04/2024 à 15h40 heure de Paris

sauts verticaux [212]. En effet, le part de travail du genou lors de la phase de propulsion sur un single leg hop est de 12 % (les 88 % restants étant répartis entre la hanche et la cheville) [213]. Ainsi, lors de la rééducation et au moment du RTS, le RSI et la HS sur un SLDJ sont cliniquement considérées comme des variables plus sensibles et sujettes à une meilleure identification des déficits potentiels entre les deux MI que des distances mesurées sur un single leg hop test. Dans la lignée de ces observations, *King et al.* ont révélé que la HS et le RSI sur un SLDJ sont les dernières variables de performance à retrouver avec une asymétrie moyenne de 20-30% entre les deux MI (RSI et HS), 9 mois après une reconstruction du LCA, alors que le Single leg Hop Test montre un LSI minimum de 90% [214].

Toutefois, la part de travail du genou est de 65 % lors de la phase d'absorption sur un Single leg Hop Test. C'est pourquoi les tests de sauts horizontaux ne doivent pas être remplacés mais complétés par les tests de sauts verticaux.

4.4.4 Interprétation des données

Dans cette partie nous abordons l'interprétation des données obtenues après l'analyse d'un DJ, notamment dans le but d'en dégager des axes de traitement.

Commençons par une remarque intéressante de Roula Kotsifaki. Après une reconstruction du LCA, malgré un déficit de force concentrique quasiment comblé (LSI > 90 %), un patient peut tout de même présenter des déficits pour des variables mesurées sur des mouvements plus fonctionnels, comme le le DJ (confère *note de bas de page*³¹, *page 64*). D'où l'intérêt de mesurer ces variables.

Rappelons que l'analyse d'un DJ avec MyJump 2 permet in fine d'obtenir la HS, le TCS, le RSI et la rigidité (non évoquée dans ce travail) d'un patient. Nous l'avons vu dans la *partie 1.4.3.2*, il est indispensable de s'intéresser à la HS et au TCS et non seulement au RSI. En effet, un déficit de l'un ou de l'autre mettra en lumière les phases du SSC moins efficaces et dictera ainsi les axes de traitement prioritaires.

Rappelons que la HS est le reflet des capacités de production de puissance d'un individu [112]. Dès lors, si l'on objective un déficit de HS sur un DJ, notamment d'un MI par rapport à l'autre (sur un SLDJ), nous pouvons supposer que l'efficacité de la fin de la phase d'amortissement et la phase de raccourcissement concentrique n'est pas optimale (confère *partie 1.3.2*). Un des axes de traitement à prioriser sera le travail de la puissance musculaire. Or, la puissance est le produit de la force multipliée par la vitesse. Dans le but de déterminer le ou les paramètres à travailler, la réalisation d'un profil force vitesse sur un SJ est une option (MyJump 2 offre cette possibilité). Sinon, prenons l'exemple d'un cas où les déficits de force d'un patient seraient comblés ou quasiment comblés, le travail de la vitesse est donc pertinent pour améliorer la HS et in fine le RSI. Pour cela, un travail de saut en survitesse avec l'aide d'élastiques est une possibilité.

Dans le but d'être spécifique aux phases d'amortissement et de raccourcissement concentrique, un travail isométrique de type « *overcoming* » peut également se montrer pertinent, en restant vigilant à ce que le patient cherche à produire le maximum de force le plus rapidement possible (maximiser le RFD). En effet, nous rappelons qu'une « contraction explosive isométrique » se produit au cours de la phase d'amortissement d'après Verkhoshansky et que plus cette phase est courte, plus la restitution d'énergie et l'efficacité du SSC est optimisée (confère *partie 1.3.2.2*). L'isométrie « *overcoming* » peut être travaillée sur un mouvement comme le *Isometric Mid-Tigh Pull* qui s'approche de la phase de propulsion de par la triple extension des MI.

À présent, rappelons que le TCS est le reflet de la capacité qu'à un individu à absorber les contraintes, à gérer la charge excentrique (confère *partie 1.4.3.3*). Dès lors, si l'on objective un TCS jugé trop long

sur un DJ, notamment d'un MI par rapport à l'autre (sur un SLDJ), nous pouvons supposer que l'efficacité de la phase de pré-étirement en excentrique et le début de la phase d'amortissement n'est pas optimale (confère *partie 1.3.2*). Un des axes de traitement à prioriser sera le travail de l'absorption.

Pour cela, il est possible de mettre en place un travail de saut en se focalisant uniquement sur la phase de réception, en demandant au patient de se concentrer sur l'absorption des contraintes. En progression, l'utilisation de lestes peut être pertinent. Par exemple, il est possible de faire réaliser au patient un DJ avec un *medecine ball* et de lui demander de lâcher ce-dernier lorsqu'il atterri au sol, juste avant de se propulser.

Toujours dans le but d'être spécifique à la phase de pré-étirement majoritairement, un travail isométrique de type « *yielding* » peut également se montrer pertinent.

L'analyse des HS et des TCS permet donc de cibler les phases et les mécanismes potentiellement moins efficaces du SSC rapide. Le but étant évidemment de les réintégrer in fine au service d'un mouvement pliométrique entier, c'est-à-dire comprenant une phase d'absorption puis une phase de restitution des forces.

Nous avons parlé de l'analyse des données du DJ obtenues avec MyJump 2. Toutefois, de manière subjective mais tout aussi importante, il est possible d'analyser la biomécanique des sauts, notamment du SLDJ, avec l'application. En effet, l'utilisation des flèches sur l'écran pour faire défiler les images du saut à 240 images par seconde peut être utile pour déceler un valgus dynamique, apprécier une inclinaison du tronc, un effondrement de l'arche médiale du pied etc. et cela d'une façon plus ou moins dynamique.

Enfin, l'avantage de MyJump 2 est de pouvoir ré-évaluer régulièrement et assez rapidement le patient afin de quantifier une éventuelle progression ou non et/ou de définir de nouveaux axes de travail.

4.4.5 Recommandations d'utilisation en pratique clinique

Dans cette partie, nous abordons de manière concrète nos recommandations d'utilisation de MyJump 2 dans la pratique clinique du MK.

En premier lieu, il s'agit de choisir le type de DJ que l'on va utiliser selon ce que l'on souhaite évaluer. Lorsque l'on souhaite mesurer la FR ou d'autres variables de la cheville et des FP, nous recommandons l'utilisation d'un DJ proche du *Bounce DJ* (confère *partie 1.5.6*). On demandera au patient de ne quasiment pas fléchir les genoux et d'absorber/se propulser uniquement avec les chevilles.

En revanche, lorsque l'on souhaite évaluer la FR ou d'autres variables de manière plus globale, c'est-à-dire en incluant le genou, nous recommandons l'utilisation du DJ évoqué dans ce travail, le *CTDJ*, en tolérant donc une certaine flexion de genou pour absorber/se propulser.

Nous rappelons que plus la flexion de genou est augmentée, plus le TCS est augmenté. Il s'agit donc d'un paramètre modulable en fonction des spécificités que requiert la discipline sportive du patient.

Toutefois, si la FR est évaluée, il faudra veiller à ce que le patient trouve un bon compromis entre sa HS et son TCS, sans compromettre l'un au détriment de l'autre en gardant en tête le seuil des 250 ms évoqué dans l'introduction (confère *partie 1.4.1*).

Nous recommandons d'avoir recours au DJ (avec les deux MI) si l'on souhaite avoir un aperçu global des capacités pliométriques d'un patient. L'utilisation des seuils établis par *Flanagan et al.* (confère

partie 1.4.3.4) permettra d'établir un profil pliométrique du patient et de définir des axes de travail en adéquation avec celui-ci. En revanche, si l'on souhaite réaliser une comparaison inter-membre et quantifier une éventuelle asymétrie, nous recommandons évidemment l'utilisation du SLDJ. L'option « test d'asymétrie » pourra être utilisée sur MyJump 2 pour obtenir le pourcentage de différence entre les deux membres pour chaque variable.

En ce qui concerne les hauteurs de DJ, nous recommandons de manière globale 30 cm pour un DJ et 15 cm pour un SLDJ [208]. Ces hauteurs sont bien entendus à adapter aux spécificités du patient et de son activité sportive.

En second lieu, nous conseillons au lecteur de se référer aux parties 1.5.1 à 1.5.4 et de suivre les recommandations présentées pour analyser un DJ et mesurer ses variables. La standardisation du test est un élément essentiel à prendre compte pour avoir des mesures reproductibles et proches du concept que l'on cherche à mesurer. Pour l'analyse de la vidéo, nous invitons le lecteur à se référer à la *partie 1.2.2* ou à consulter le tutoriel proposé par l'application.

Si l'on souhaite évaluer la FR, trois essais peuvent être mis en place pour que le patient se familiarise avec le test. Puis, trois sauts peuvent être performer et la moyenne des trois peut être retenue en ce qui concerne la HS, le TCS et/ou le RSI.

Enfin, nous avons vu dans ce travail que la fiabilité de l'application, c'est-à-dire la précision de ses mesures, dépendait notamment de l'expérience de l'évaluateur [215]. C'est pourquoi nous ne pouvons qu'encourager le lecteur à pratiquer dès qu'il le peut pour améliorer la précision de ses mesures dans le temps.

4.5 Biais potentiels de cette revue

Afin d'évaluer la qualité méthodologique de cette revue de littérature, nous avons utilisé la grille AMSTAR-2 en version française [157] ainsi que la grille ROBIS tool [158]. L'utilisation de ces deux grilles nous a permis d'adapter l'évaluation aux spécificités de ce travail. Les résumés de ces évaluations sont disponibles en annexe (confère *annexes 10 et 11*).

Malgré avoir suivi les recommandations PRISMA pour l'élaboration d'une revue de littérature, nous jugeons globalement ce travail comme étant à haut risque de biais.

Tout d'abord, nous n'avons pas enregistré le protocole de la méthode avant de conduire la revue. En ce qui concerne les critères d'inclusion nous avons décidé d'inclure uniquement les études publiées en français et/ou en anglais. Or, un certain nombre d'études, notamment espagnoles et japonaises, furent exclues lors du processus de sélection alors qu'elles auraient pu répondre potentiellement à notre question de recherche.

Nous retiendrons également que cette revue a été menée par une seule et même personne ce qui implique que la sélection des études, l'extraction des données et l'évaluation de leur qualité méthodologique ont été effectuées en solitaire, constituant dès lors un risque de biais élevé.

Concernant l'évaluation de la qualité méthodologique des études incluses, nous constatons que les grilles QAREL et QUADAS-2 couvrent un nombre d'items que nous jugeons suffisant pour les spécificités de notre travail. Toutefois, en raison du grand nombre d'items « non adapté » présent dans nos évaluations, il convient de se demander si ces grilles étaient réellement adaptées aux caractéristiques des études de cette revue. En effet, celles-ci ont été établis pour couvrir et analyser un grand nombre d'études diagnostiques, notamment dans le domaine clinique et médical. C'est

pourquoi certains des items, comme la mise en aveugle des évaluateurs, ne sont pas toujours adaptés pour des études qui s'intéressent à des variables biomécaniques comme c'est le cas dans ce travail.

Concernant l'analyse quantitative des résultats, l'utilisation du logiciel JAMOVl nous a permis de réaliser une méta-analyse pour la validité de MyJump 2 dans la mesure du RSI. Cependant, nous aurions voulu faire de même pour la fiabilité intra-évaluateur et la validité de l'application dans la mesure d'une HS mais cela est impossible à l'aide d'un tel logiciel lorsque seulement deux études sont incluses dans l'analyse. Dès lors, nous reconnaissons notre manque d'expérience et de compétence en matière d'analyse statistique et jugeons que celle-ci aurait sans doute pu être plus appropriée en regard des spécificités des études incluses.

Enfin, les éventuels biais de publication n'ont pas été recherchés.

Toutefois, ces biais sont à mettre en perspective au fait que cette revue de littérature a été réalisée dans le cadre d'un mémoire de dernière année d'étude de kinésithérapie par un étudiant qui n'avait jamais été confronté à l'élaboration d'un tel travail.

5 Conclusion

5.1 Implication pour la pratique clinique

Au vu des résultats, et comme évoqué dans les *parties 4.3 et 4.4*, nous recommandons l'utilisation de MyJump 2 dans la pratique clinique, pour mesurer une HS, un TCS et un RSI sur un DJ. En effet, nous avons vu que les mesures obtenues avec l'application se rapprochaient très fortement de celles obtenues avec les PF. Dès lors, MyJump 2 nous semble être une alternative plausible aux PF, lorsque l'on ne dispose pas de celles-ci. Son faible coût et son fonctionnement intuitif sont des atouts majeurs.

Néanmoins, nous rappelons au lecteur les deux paramètres qui nous semblent être les clés d'une bonne évaluation avec MyJump 2. Le premier concerne la standardisation du saut qui doit être obligatoire pour obtenir une mesure reproductible proche du concept que l'on souhaite mesurer. Cela passera par des consignes spécifiques et constantes données au patient ainsi qu'une phase d'apprentissage du saut. La deuxième concerne l'analyse du saut avec l'application pour laquelle nous conseillons d'utiliser les recommandations faites par les développeurs de MyJump 2 en ce qui concerne les critères de choix d'image (atterrissage et décollage). Ceux-ci dicteront la précision des mesures, qui s'améliorera avec la pratique. C'est pourquoi nous recommandons de pratiquer régulièrement, dès lors qu'une évaluation des capacités pliométriques d'un patient est jugée pertinente.

Par ailleurs, l'utilisation de MyJump 2 s'inscrit parfaitement dans les profonds remaniements, positifs, que connaît actuellement notre profession de MK. En effet, si l'on prend l'exemple de l'entorse de cheville, le MK est autorisé à dispenser ses actes en accès direct, sans prescription médicale s'il exerce dans une structure de soins coordonnés (ex : maison de santé professionnelle) depuis la loi du 19 mai 2023³². La commission mixte paritaire a élaboré un texte concernant cette loi. Dans l'article 2 de celui-ci³³, il est mentionné qu'en plus du bilan initial, « un compte rendu des soins réalisés par le MK doit être systématiquement transmis au médecin traitant du patient ». Ainsi, si l'utilisation de MyJump 2 est peu concernée par l'évaluation du patient en aigüe, elle a sa place en fin de rééducation pour évaluer puis transmettre au médecin des valeurs objectives des capacités pliométriques du patient. L'utilisation d'outils de mesure fiables et valides pour objectiver la progression d'un patient donne du crédit au MK, justifiant alors ses responsabilités nouvelles.

³²https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/article_jo/JORFARTI000047996080#:~:text=La%20loi%20du%2019%20mai,médicale%20préalable%2C%20dans%20certaines%20structures : consulté le 14/04/2024 à 14h09 heure de Paris

³³ <https://www.senat.fr/leg/pp122-510.html> : consulté le 14/04/2024 à 14h03 heure de Paris

5.2 Implication pour la recherche

Comme nous avons pu le voir, la littérature s'intéressant aux propriétés métrologiques de MyJump 2 pour mesurer les variables d'un DJ est encore assez pauvre. Elle l'est encore plus en ce qui concerne les tests d'asymétrie avec le SLDJ, dont l'applicabilité clinique en MK pourrait être conséquente. C'est pourquoi, il y a une nécessité de conduire de nouvelles études évaluant les propriétés métrologiques de l'application. Cependant, l'accent devra désormais être mis sur la représentativité des évaluateurs (MK comme évaluateurs), de la population testée et sur la précision des consignes dispensées aux participants. La validité et la fiabilité de MyJump 2 devra également être évaluée pour les smartphones fonctionnant sous Android.

6 Liens d'intérêt et financement

Nous déclarons ne pas avoir de conflit d'intérêt et ne pas avoir reçu de financement pour l'élaboration de cette revue.

7 Liens supplémentaires

Ci-dessous un fichier qui donne accès à certaines données des études incluses dans cette revue (diagrammes de Bland et Altman, modèle de régression linéaire etc.). Veuillez cliquer pour télécharger.

<https://drive.google.com/drive/folders/1Q5d9jxDcX9YbCkGKu4PjHyrVpsCE-gRg?usp=sharing>

8 Bibliographie

- [1] Balsalobre-Fernández C, Glaister M, Lockey RA. The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *J Sports Sci* 2015;33:1574–9. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.996184>.
- [2] Verkhoshansky Y, Siff M, M. Y. Supertraining (sixth edition - expended version). 2009.
- [3] Komi P V. Stretch-Shortening Cycle in : *Strength and Power in Sport*. Oxford-E. 1992.
- [4] Schmidtbleicher D. Training for power events in : *Strength and Power in Sport*. Oxford-E. 1992.
- [5] Chu D., Panariello R. Jumping into plyometrics : Sport specific plyometrics : Baseball pitching. *Nat Strength Cond Assn J* 1989;11:81–5.
- [6] Ebben WP, Simenz C, Jensen RL. Evaluation of plyometric intensity using electromyography. *J Strength Cond Res* 2008;22:861–8. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E31816A834B>.
- [7] Potach D, Chu D., Earle R., T.R B. Plyometric training in : *Essentials of Strength Training and Conditioning*. Champaign. 2000.
- [8] Flanagan EP, Comyns TM. The use of contact time and the reactive strength index to optimize fast stretch-shortening cycle training. *Strength Cond J* 2008;30:32–8. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e318187e25b>.
- [9] Lloyd RS, Oliver JL, Hughes MG, Williams CA. The effects of 4-weeks of plyometric training on reactive strength index and leg stiffness in male youths. *J Strength Cond Res* 2012;26:2812–9. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E318242D2EC>.
- [10] Zatsiorsky V, Kraemer W. *Science and Practice of Strength Training* Zatsiorsky VM and Kraemer WJ. *Science and Practice of Strength Training*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2006. pp. 28–39. [Link]. *Human Kine*. 2006.
- [11] Aura O, Viitasalo JT. Biomechanical Characteristics of Jumping. *Int J Sport Biomech* 1989;5:89–98. <https://doi.org/10.1123/IJSB.5.1.89>.
- [12] McBride JM, McCaulley GO, Cormie P. Influence of preactivity and eccentric muscle activity on concentric performance during vertical jumping. *J Strength Cond Res* 2008;22:750–7. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E31816A83EF>.
- [13] McCaulley GO, Cormie P, Cavill MJ, Nuzzo JL, Urbiztondo ZG, McBride JM. Mechanical efficiency during repetitive vertical jumping. *Eur J Appl Physiol* 2007;101:115–23. <https://doi.org/10.1007/S00421-007-0480-1>.
- [14] Davies G, Riemann BL, Manske R. Current Concepts of Plyometric Exercise. *Int J Sports Phys Ther* 2015;10:760–86.
- [15] Hill A V. The Heat of Shortening and the Dynamic Constants of Muscle. *Proc R Soc B Biol Sci* 1938;126:136–95. <https://doi.org/10.1098/RSPB.1938.0050>.
- [16] Battista NA, Strickland WC, Miller LA. IB2d: a Python and MATLAB implementation of the immersed boundary method. *Bioinspiration and Biomimetics* 2016;12. <https://doi.org/10.1088/1748-3190/aa5e08>.
- [17] Komi P V., Masaki I. *Olympic Textbook of Science in Sport*. Blackwell. 2009.
- [18] Asmussen E, Bonde-Petersen F. Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiol Scand* 1974;91:385–92. <https://doi.org/10.1111/J.1748-1716.1974.TB05693.X>.
- [19] Friden J, Seger J, Sjostrom M, Ekblom B. Adaptive response in human skeletal muscle subjected to prolonged eccentric training. *Int J Sports Med* 1983;4:177–83. <https://doi.org/10.1055/S-2008-1026031>.
- [20] Eldred E. Functional implications of dynamic and static components of the spindle response to stretch. *Am J Phys Med* 1967;46:129–40.
- [21] Cavagna GA, Dusman B, Margaria R. Positive work done by a previously stretched muscle. *J Appl Physiol* 1968;24:21–32. <https://doi.org/10.1152/JAPPL.1968.24.1.21>.
- [22] Pv K, Bosco C. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med Sci Sports* 1978.

- [23] Bobbert MF, Casius LJR. Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development? *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:440–6. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000155389.34538.97>.
- [24] Davies G, Matheson J. Shoulder plyometrics. *Sport Med Arthrosc* 2001;1–18.
- [25] Cavanagh PR, Komi P V. Electromechanical delay in human skeletal muscle under concentric and eccentric contractions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1979;42:159–63. <https://doi.org/10.1007/BF00431022>.
- [26] Wilson GJ, Wood GA, Elliott BC. Optimal stiffness of series elastic component in a stretch-shorten cycle activity. *J Appl Physiol* 1991;70:825–33. <https://doi.org/10.1152/JAPPL.1991.70.2.825>.
- [27] Bobbert MF, Huijing PA, Schenau GJVI. Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med Sci Sports Exerc* 1987;19:332–8. <https://doi.org/10.1249/00005768-198708000-00003>.
- [28] Komi P V., Komi P V., Buskirk ER. Effect of eccentric and concentric muscle conditioning on tension and electrical activity of human muscle. *Ergonomics* 1972;15:417–34. <https://doi.org/10.1080/00140137208924444>.
- [29] Komi P V. Neuromuscular performance. Factors influencing force and speed production. *Scand J Sport Sci* 1979;1.
- [30] Hof AL, Geelen BA, Van den Berg J. Calf muscle moment, work and efficiency in level walking; role of series elasticity. *J Biomech* 1983;16:523–37. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(83\)90067-2](https://doi.org/10.1016/0021-9290(83)90067-2).
- [31] Kawakami Y, Muraoka T, Ito S, Kanehisa H, Fukunaga T. In vivo muscle fibre behaviour during counter-movement exercise in humans reveals a significant role for tendon elasticity. *J Physiol* 2002;540:635. <https://doi.org/10.1113/JPHYSIOL.2001.013459>.
- [32] Potteiger JA, Lockwood RH, Haub MD, Dolezal BA, Almuzaini KS, Schroeder JM, et al. Muscle Power and Fiber Characteristics Following 8 Weeks of Plyometric Training. *J Strength Cond Res* 1999;13:275–9.
- [33] Spurrs RW, Murphy AJ, Watsford ML. The effect of plyometric training on distance running performance. *Eur J Appl Physiol* 2003;89:1–7. <https://doi.org/10.1007/S00421-002-0741-Y>.
- [34] Myer GD, Ford KR, Brent JL, Hewett TE. The effects of plyometric vs. dynamic stabilization and balance training on power, balance, and landing force in female athletes. *J Strength Cond Res* 2006;20:345–53. <https://doi.org/10.1519/R-17955.1>.
- [35] BOSCO C, KOMI P V., ITO A. Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiol Scand* 1981;111:135–40. <https://doi.org/10.1111/J.1748-1716.1981.TB06716.X>.
- [36] Bosco C, Montanari G, Ribacchi R, Giovenali P, Latteri F, Iachelli G, et al. Relationship between the efficiency of muscular work during jumping and the energetics of running. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1987;56:138–43. <https://doi.org/10.1007/BF00640636>.
- [37] Bobbert MF, Gerritsen KGM, Litjens MCA, Van Soest AJ. Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Med Sci Sports Exerc* 1996;28:1402–12. <https://doi.org/10.1097/00005768-199611000-00009>.
- [38] Ettema GJ, Huijing PA, de Haan A. The potentiating effect of prestretch on the contractile performance of rat gastrocnemius medialis muscle during subsequent shortening and isometric contractions. *J Exp Biol* 1992;165:121–36. <https://doi.org/10.1242/JEB.165.1.121>.
- [39] Finni T, Ikegaw S, Lepola V, Komi P. In vivo behavior of vastus lateralis muscle during dynamic performances. *Eur J Sport Sci* 2001;1:1–13. <https://doi.org/10.1080/17461390100071101>.
- [40] Kyrölänen H, Komi P V., Kim DH. Effects of power training on neuromuscular performance and mechanical efficiency. *Scand J Med Sci Sports* 1991;1:78–87. <https://doi.org/10.1111/J.1600-0838.1991.TB00275.X>.
- [41] Schmidtbleicher D, Gollhofer A, Frick U. Effects of stretch shortening time training on the performance capability and innervation characteristics of leg extensor muscles 1988;Vol 7-A:185–189.
- [42] Turner AN, Jeffreys I. The stretch-shortening cycle: Proposed mechanisms and methods for enhancement. *Strength Cond J* 2010;32:87–99. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181e928f9>.

- [43] Van Schenau GJ, Bobbert MF, De Haan A. Mechanics and energetics of the stretch-shortening cycle: A stimulating discussion. *J Appl Biomech* 1997;13:484–96. <https://doi.org/10.1123/JAB.13.4.484>.
- [44] Cometti G, Cometti D. La pliométrie - Méthodes, entraînements, exercices. Chiron. 2007.
- [45] Close RI. Dynamic properties of mammalian skeletal muscles. *Physiol Rev* 1972;52:129–97. <https://doi.org/10.1152/PHYSREV.1972.52.1.129>.
- [46] Fukunaga T, Kawakami Y, Kubo K, Kanehisa H. Muscle and tendon interaction during human movements. *Exerc Sport Sci Rev* 2002;30:106–10. <https://doi.org/10.1097/00003677-200207000-00003>.
- [47] Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 1--biological basis of maximal power production. *Sports Med* 2011;41:17–38. <https://doi.org/10.2165/11537690-000000000-00000>.
- [48] Lieber RL. *Skeletal Muscle Structure, Function, and Plasticity*. Lippincott. 2002.
- [49] Fukashiro S, Hay DC, Nagano A. Biomechanical behavior of muscle-tendon complex during dynamic human movements. *J Appl Biomech* 2006;22:131–47. <https://doi.org/10.1123/JAB.22.2.131>.
- [50] Elftman H. Biomechanics of muscle with particular application to studies of gait. *J Bone Joint Surg Am* 1966;48:363–77. <https://doi.org/10.2106/00004623-196648020-00017>.
- [51] Kubo K, Kanehisa H, Takeshita D, Kawakami Y, Fukashiro S, Fukunaga T. In vivo dynamics of human medial gastrocnemius muscle-tendon complex during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiol Scand* 2000;170:127–35. <https://doi.org/10.1046/J.1365-201X.2000.00768.X>.
- [52] Schaefer L V., Bittmann FN. Are there two forms of isometric muscle action? Results of the experimental study support a distinction between a holding and a pushing isometric muscle function. *BMC Sport Sci Med Rehabil* 2017;9. <https://doi.org/10.1186/S13102-017-0075-Z>.
- [53] Henneman E. Relation between size of neurons and their susceptibility to discharge. *Science* 1957;126:1345–7. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.126.3287.1345>.
- [54] Bigland B, Lippold OCJ. The relation between force, velocity and integrated electrical activity in human muscles. *J Physiol* 1954;123:214–24. <https://doi.org/10.1113/JPHYSIOL.1954.SP005044>.
- [55] Nicol C, Avela J, Komi P V. The stretch-shortening cycle : a model to study naturally occurring neuromuscular fatigue. *Sports Med* 2006;36:977–99. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636110-00004>.
- [56] Heiderscheit B, Rucinski T. Biomechanical and physiological basis of closed kinetic chain exercises in the upper extremities. *Orthop Phys Ther Clin N Am* 2000;9:209–18.
- [57] Kubo K, Kawakami Y, Fukunaga T. Influence of elastic properties of tendon structures on jump performance in humans. *J Appl Physiol* 1999;87:2090–6. <https://doi.org/10.1152/JAPPL.1999.87.6.2090>.
- [58] Lichtwark GA, Wilson AM. Is Achilles tendon compliance optimised for maximum muscle efficiency during locomotion? *J Biomech* 2007;40:1768–75. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOMECH.2006.07.025>.
- [59] Wilson GJ, Murphy AJ, Pryor JF. Musculotendinous stiffness: its relationship to eccentric, isometric, and concentric performance. *J Appl Physiol* 1994;76:2714–9. <https://doi.org/10.1152/JAPPL.1994.76.6.2714>.
- [60] Hobara H, Kimura K, Omuro K, Gomi K, Muraoka T, Iso S, et al. Determinants of difference in leg stiffness between endurance- and power-trained athletes. *J Biomech* 2008;41:506–14. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOMECH.2007.10.014>.
- [61] Arampatzis A, Karamanidis K, Morey-Klapsing G, De Monte G, Stafilidis S. Mechanical properties of the triceps surae tendon and aponeurosis in relation to intensity of sport activity. *J Biomech* 2007;40:1946–52. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOMECH.2006.09.005>.
- [62] Albert M. Eccentric muscle training in sports and orthopaedics 1991:157.
- [63] Lephart SM, Pincivero DM, Giraldo JL, Fu FH. The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. *Am J Sports Med* 1997;25:130–7. <https://doi.org/10.1177/036354659702500126>.

- [64] Riemann BL, Lephart SM. The Sensorimotor System, Part I: The Physiologic Basis of Functional Joint Stability. *J Athl Train* 2002;37:71.
- [65] Brooks G, Fahey T, White T, Baldwin K. *Human Bioenergetics and its Applications*. Mayfield P. 2000.
- [66] Buchwald J. Exteroceptive reflexes and movement. *Am J Phys Med* 1967;46:121–8.
- [67] Astrand P, Rodahl K. *Textbook of Work Physiology*. New York: 1970.
- [68] Walshe AD, Wilson GJ, Ettema GJC. Stretch-shorten cycle compared with isometric preload: contributions to enhanced muscular performance. *J Appl Physiol* 1998;84:97–106. <https://doi.org/10.1152/JAPPL.1998.84.1.97>.
- [69] Flanagan E. An examination of the slow and fast stretch shortening cycle in cross country skiers and runners. In: Menzel H-J, Chagas MH, editors. *Proc. XXV Int. Symp. Biomech. Sport.*, Ouro Preto, Brazil: 2007, p. 51–54.
- [70] Kobsar D, Barden J. Contact time predicts coupling time in slow stretch-shortening cycle jumps. *J Strength Cond Res* 2011;25:pp.51-52.
- [71] Zameziati K, Morin JB, Deiuri E, Telonio A, Belli A. Influence of the contact time on coupling time and a simple method to measure coupling time. *Eur J Appl Physiol* 2006;96:752–6. <https://doi.org/10.1007/S00421-005-0108-2>.
- [72] Miura K, Yamamoto M, Tamaki H, Zushi K. Determinants of the abilities to jump higher and shorten the contact time in a running 1-legged vertical jump in basketball. *J Strength Cond Res* 2010;24:201–6. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E3181BD4C3E>.
- [73] Laffaye G, Wagner P. Eccentric rate of force development determines jumping performance. *Comput Methods Biomech Biomed Engin* 2013;16 Suppl 1:82–3. <https://doi.org/10.1080/10255842.2013.815839>.
- [74] Petrigna L, Karsten B, Marcolin G, Paoli A, D’Antona G, Palma A, et al. A Review of Countermovement and Squat Jump Testing Methods in the Context of Public Health Examination in Adolescence: Reliability and Feasibility of Current Testing Procedures. *Front Physiol* 2019;10. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2019.01384>.
- [75] Young WB. Laboratory strength assessment of athletes. *New Stud Athl* 1995;10:89–96.
- [76] Newton RU, Dugan E. Application of Strength Diagnosis. *Natl Strength Cond Assoc* 2002;24:50–9.
- [77] Goranovic K, Petkovic J, Hadzic R, Joksimovic M. Rate of Force Development and Stretch-Shortening Cycle in Different Jumps in the Elite Volleyball Players. *Int J Morphol* 2022;40:334–8. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022022000200334>.
- [78] Vaczi M, Racz L, Hortobagyi T, Tihanyi J. Dynamic contractility and efficiency impairments in stretch-shortening cycle are stretch-load-dependent after training-induced muscle damage. *J Strength Cond Res* 2013;27:2171–9. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E31827DA32C>.
- [79] Komi P V., Gollhofer A. Stretch reflexes can have an important role in force enhancement during SSC exercise. *J Appl Biomech* 1997;13:451–60. <https://doi.org/10.1123/JAB.13.4.451>.
- [80] Weineck J. L’allenamento ottimale. *Calzetti e Mariucci* 2001:309-310 377-378.
- [81] Stone M. Explosive Exercises and Training. *NSCA J* 1993;15:7–14.
- [82] Flanagan EP, Harrison AJ. Muscle dynamics differences between legs in healthy adults. *J Strength Cond Res* 2007;21:67–72. <https://doi.org/10.1519/00124278-200702000-00013>.
- [83] Kurokawa S, Fukunaga T, Nagano A, Fukashiro S. Interaction between fascicles and tendinous structures during counter movement jumping investigated in vivo. *J Appl Physiol* 2003;95:2306–14. <https://doi.org/10.1152/JAPPLPHYSIOL.00219.2003>.
- [84] Arampatzis A, Schade F, Walsh M, Brüggemann GP. Influence of leg stiffness and its effect on myodynamic jumping performance. *J Electromyogr Kinesiol* 2001;11:355–64. [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(01\)00009-8](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(01)00009-8).
- [85] Kuitunen S, Komi P V., Kyröläinen H. Knee and ankle joint stiffness in sprint running. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:166–73. <https://doi.org/10.1097/00005768-200201000-00025>.
- [86] Lichtwark GA, Wilson AM. In vivo mechanical properties of the human Achilles tendon during one-legged hopping. *J Exp Biol* 2005;208:4715–25. <https://doi.org/10.1242/JEB.01950>.

- [87] Maganaris CN, Paul JP. In vivo human tendinous tissue stretch upon maximum muscle force generation. *J Biomech* 2000;33:1453–9. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(00\)00099-3](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(00)00099-3).
- [88] Maganaris CN, Paul JP. In vivo human tendinous tissue stretch upon maximum muscle force generation. *J Biomech* 2000;33:1453–9. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(00\)00099-3](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(00)00099-3).
- [89] Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Changes in the eccentric phase contribute to improved stretch-shorten cycle performance after training. *Med Sci Sports Exerc* 2010;42:1731–44. <https://doi.org/10.1249/MSS.0B013E3181D392E8>.
- [90] Wilson JM, Flanagan EP. The role of elastic energy in activities with high force and power requirements: a brief review. *J Strength Cond Res* 2008;22:1705–15. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E31817AE4A7>.
- [91] Haff GG, Nimphius S. Training principles for power. *Strength Cond J* 2012;34:2–12. <https://doi.org/10.1519/SSC.0B013E31826DB467>.
- [92] Kyröläinen H, Avela J, Komi P V. Changes in muscle activity with increasing running speed. *J Sports Sci* 2005;23:1101–9. <https://doi.org/10.1080/02640410400021575>.
- [93] Louder T, Thompson BJ, Bressel E. Association and Agreement between Reactive Strength Index and Reactive Strength Index-Modified Scores. *Sport (Basel, Switzerland)* 2021;9. <https://doi.org/10.3390/SPORTS9070097>.
- [94] Ishikawa M, Komi P V. Effects of different dropping intensities on fascicle and tendinous tissue behavior during stretch-shortening cycle exercise. *J Appl Physiol* 2004;96:848–52. <https://doi.org/10.1152/JAPPLPHYSIOL.00948.2003>.
- [95] Kawamori N, Rossi SJ, Justice BD, Haff EE, Pistilli EE, O’Bryant HS, et al. Peak force and rate of force development during isometric and dynamic mid-thigh clean pulls performed at various intensities. *J Strength Cond Res* 2006;20:483–91. <https://doi.org/10.1519/18025.1>.
- [96] Taber C, Bellon C, Abbott H, Bingham GE. Roles of maximal strength and rate of force development in maximizing muscular power. *Strength Cond J* 2016;38:71–8. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000193>.
- [97] McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance* 2010:1038.
- [98] McClymont D. The use of the reactive strength index as an indicator of plyometric training conditions. *Sci. Footb. V Proc. Fifth World Congr. Sport. Sci. Football., Lisbon, Portugal: n.d., p. 408–416.*
- [99] Markwick WJ, Bird SP, Tufano JJ, Seitz LB, Haff GG. The intraday reliability of the Reactive Strength Index calculated from a drop jump in professional men’s basketball. *Int J Sports Physiol Perform* 2015;10:482–8. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2014-0265>.
- [100] Healy R, Kenny IC, Harrison AJ. Assessing Reactive Strength Measures in Jumping and Hopping Using the Optojump™ System. *J Hum Kinet* 2016;54:23. <https://doi.org/10.1515/HUKIN-2016-0032>.
- [101] Healy R, Kenny IC, Harrison AJ. Reactive Strength Index: A Poor Indicator of Reactive Strength? *Int J Sports Physiol Perform* 2018;13:802–9. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2017-0511>.
- [102] Martinez DB. THE USE OF REACTIVE STRENGTH INDEX, REACTIVE STRENGTH INDEX MODIFIED, AND FLIGHT TIME: CONTRACTION TIME AS MONITORING TOOLS. *J Aust Strength Cond* 2016;24:37–41.
- [103] Taylor KL, Hopkins WG, Chapman DW, Cronin JB. The Influence of Training Phase on Error of Measurement in Jump Performance. *Int J Sports Physiol Perform* 2016;11:235–9. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2015-0115>.
- [104] Jarvis P, Turner A, Read P, Bishop C. Reactive Strength Index and its Associations with Measures of Physical and Sports Performance: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Med* 2022;52:301–30. <https://doi.org/10.1007/S40279-021-01566-Y>.
- [105] Young WB, James ; R, Montgomery ; I. Is muscle power related to running speed with changed of direction? *J Sports Med Phys Fitness* 2002;42.
- [106] Stone MH, Stone M, Sands WA. *Principles and Practice of Resistance Training. Princ Pract Resist Train* 2007. <https://doi.org/10.5040/9781492596875>.
- [107] Anderson T. Biomechanics and running economy. *Sports Med* 1996;22:76–89. <https://doi.org/10.2165/00007256-199622020-00003>.

- [108] Jiménez-Reyes P, Samozino P, García-Ramos A, Cuadrado-Peñafiel V, Brughelli M, Morin JB. Relationship between vertical and horizontal force-velocity-power profiles in various sports and levels of practice. *PeerJ* 2018;2018. <https://doi.org/10.7717/PEERJ.5937/SUPP-1>.
- [109] Dos'Santos T, Thomas C, Comfort P, Jones PA. The Effect of Angle and Velocity on Change of Direction Biomechanics: An Angle-Velocity Trade-Off. *Sports Med* 2018;48:2235–53. <https://doi.org/10.1007/S40279-018-0968-3>.
- [110] Young WB, Murray MP. Reliability of a Field Test of Defending and Attacking Agility in Australian Football and Relationships to Reactive Strength. *J Strength Cond Res* 2017;31:509–16. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001498>.
- [111] Tampa DH, Buccaneers B. Drop Jump as an indicator of Neuromuscular fatigue in soccer players 2009.
- [112] Carlock JM, Smith SL, Hartman MJ, Morris RT, Ciroslan DA, Pierce KC, et al. The relationship between vertical jump power estimates and weightlifting ability: a field-test approach. *J Strength Cond Res* 2004;18:534–9. <https://doi.org/10.1519/R-13213.1>.
- [113] Flanagan E. The Reactive Strength Index Revisited. 2021.
- [114] Menzel HJ, Chagas MH, Szmuchowski LA, Araujo SR, Campos CE, Giannetti MR. Usefulness of the Jump-and-Reach Test in Assessment of Vertical Jump Performance. <Http://DxDoiOrg/102466/Pms1101150-158> 2010;110:150–8. <https://doi.org/10.2466/PMS.110.1.150-158>.
- [115] Hatze H. Validity and Reliability of Methods for Testing Vertical Jumping Performance. *J Appl Biomech* 1998;14:127–40. <https://doi.org/10.1123/JAB.14.2.127>.
- [116] Glatthorn JF, Gouge S, Nussbaumer S, Stauffacher S, Impellizzeri FM, Maffiuletti NA. Validity and reliability of Optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *J Strength Cond Res* 2011;25:556–60. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E3181CCB18D>.
- [117] Tenelsen F, Brueckner D, Muehlbauer T, Hagen M. Validity and Reliability of an Electronic Contact Mat for Drop Jump Assessment in Physically Active Adults. *Sport (Basel, Switzerland)* 2019;7. <https://doi.org/10.3390/SPORTS7050114>.
- [118] Montalvo S, Gonzalez MP, Dietze-Hermosa MS, Eggleston JD, Dorgo S. Common Vertical Jump and Reactive Strength Index Measuring Devices: A Validity and Reliability Analysis. *J Strength Cond Res* 2021;35:1234–43. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003988>.
- [119] Cardinale M, Newton R (Robert U., Nosaka K. *Strength and conditioning : biological principles and practical applications* 2011:461.
- [120] Reiser RF, Rocheford EC, Armstrong CJ. Building a better understanding of basic mechanical principles through analysis of the vertical jump. *Strength Cond J* 2006;28:70–80. <https://doi.org/10.1519/00126548-200608000-00012>.
- [121] Pedley JS, Lloyd RS, Read P, Moore IS, Oliver JL. Drop jump: A technical model for scientific application. *Strength Cond J* 2017;39:36–44. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000331>.
- [122] Nigg BM, MacIntosh BR, Mester J. Storage and release of elastic energy in the locomotor system and the stretch-shorten cycle. *Biomech. Biol. Mov. Human Kine*, 2000, p. P.19-30.
- [123] Goodwin JE, Jeffreys I. *Plyometric Training : Theory and Practice*. *Strength Cond Sport Perform* 2021:314–41. <https://doi.org/10.4324/9780429330988-19>.
- [124] McMahon JJ, Lake JP, Stratford C, Comfort P. A Proposed Method for Evaluating Drop Jump Performance with One Force Platform. *Biomechanics* 2021;1:178–89. <https://doi.org/10.3390/biomechanics1020015>.
- [125] Luhtanen P, Komi P V. Segmental contribution to forces in vertical jump. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1978;38:181–8. <https://doi.org/10.1007/BF00430076>.
- [126] Harman EA, Rosenstein MT, Frykman PN, Rosenstein RM, Kraemer WJ, Harman E, et al. Estimation of human power output from maximal vertical jump and body mass. *AppsDticMilEA Harman, MT Rosenstein, PN Frykman, RM Rosenstein, WJ KraemerNatick Army Res Inst Environ Med 1988•appsDticMil n.d.*
- [127] Laffaye G, Bardy B, Tiair R. Upper-limb motion and drop jump: effect of expertise. *J Sports Med Phys Fitness* 2006;46:238–47.

- [128] Nuzzo JL, Anning JH, Scharfenberg JM. The reliability of three devices used for measuring vertical jump height. *J Strength Cond Res* 2011;25:2580–90. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E3181FEE650>.
- [129] Young W, Pryor J, Wilson G. Effect of instructions on characteristics of countermovement and drop jump performance. *J Strength Cond Res* 1995;9:232–6.
- [130] Bobbert MF, Huijing PA, Schenau GJVI. Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Med Sci Sport Exerc* 1987;19:339–46. <https://doi.org/10.1249/00005768-198708000-00004>.
- [131] Katsuta S, Matsui S, Takamatsu K, Ito A, Isaka T, Kanehisa H, et al. Study on plyometric reactive muscle training. Second report. Tokyo: 1988.
- [132] Pain MTG. Considerations for single and double leg drop jumps: Bilateral deficit, standardizing drop height, and equalizing training load. *J Appl Biomech* 2014;30:722–7. <https://doi.org/10.1123/jab.2014-0035>.
- [133] De Fátima Geraldo G, Da Glória S, Bredt T, Menzel H-JK, Henrique Da Cunha G, Caçado P, et al. Drop height is influenced by box height but not by individual stature during drop jumps. *J Phys Educ* 2019;30:e-3078. <https://doi.org/10.4025/jphyseduc.v30i1.3078>.
- [134] Salmoni AW, Schmidt RA, Walter CB. Knowledge of results and motor learning: a review and critical reappraisal. *Psychol Bull* 1984;95:355–86. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.95.3.355>.
- [135] Biewener A, Roberts T. Muscle and Tendon Contributions to Force, Work, and Elastic Energy Savings: A Comparative Perspective. *Exerc Sport Sci Rev* 2000.
- [136] Alexander RMN. Tendon elasticity and muscle function. *Comp Biochem Physiol - A Mol Integr Physiol* 2002;133:1001–11. [https://doi.org/10.1016/S1095-6433\(02\)00143-5](https://doi.org/10.1016/S1095-6433(02)00143-5).
- [137] Bobbert MF, Mackay M, Schinkelshoek D, Huijing PA, van Ingen Schenau GJ. Biomechanical analysis of drop and countermovement jumps. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1986;54:566–73. <https://doi.org/10.1007/BF00943342>.
- [138] Xu J, Turner A, Comyns TM, Harry JR, Chavda S, Bishop C. Countermovement Rebound Jump: A Comparison of Joint Work and Joint Contribution to the Countermovement and Drop Jump Tests. *Appl Sci* 2023, Vol 13, Page 10680 2023;13:10680. <https://doi.org/10.3390/APP131910680>.
- [139] Zushi A, Yoshida T, Zushi K, Kariyama Y, Ogata M. Characteristics of three lower limb joint kinetics affecting rebound jump performance. *PLoS One* 2022;17:e0268339. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0268339>.
- [140] Komi PV. *Stretch-shortening Cycle in : Strength and Power in Sport*. Oxford : B. 2003.
- [141] Buckthorpe M, Frizziero A, Roi GS. Update on functional recovery process for the injured athlete: return to sport continuum redefined. *Br J Sports Med* 2019;53:265–7. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2018-099341>.
- [142] Couco A, Tyler T. Plyometric training and drills. In: Andrews J, Harrelson G, Wilk K, editors. *Phys. Rehabil. Inj. Athlete*. 4th ed. Elsevier, Philadelphia: 2012.
- [143] Turan M, Ulupinar S, Ozbay S, Gençoglu C, Savas B, Ince I. Validity and reliability of “ My Jump app ” to assess vertical jump performance : A meta-analytic review. *Res Sq* 2022;1–16.
- [144] Buckthorpe M, Villa F Della, Villa S Della, Roi GS. On-field Rehabilitation Part 1: 4 Pillars of High-Quality On-field Rehabilitation Are Restoring Movement Quality, Physical Conditioning, Restoring Sport-Specific Skills, and Progressively Developing Chronic Training Load. *J Orthop Sports Phys Ther* 2019;49:565–9. <https://doi.org/10.2519/JOSPT.2019.8954>.
- [145] Durieux N, Pasleau F, Howick J. *Oxford Centre for Evidence-Based Medicine 2011 Levels of Evidence - Traduction française* 2012.
- [146] Mokkink LB, Terwee CB, Patrick DL, Alonso J, Stratford PW, Knol DL, et al. The COSMIN study reached international consensus on taxonomy, terminology, and definitions of measurement properties for health-related patient-reported outcomes. *J Clin Epidemiol* 2010;63:737–45. <https://doi.org/10.1016/J.JCLINEPI.2010.02.006>.
- [147] VAUCHER P. Fiabilité d’un test, d’une mesure ou d’une procédure d’évaluation. *Mains Libres* 2017:49–55.

- [148] Pallot A. Evidence Based Practice en rééducation: Démarche pour une pratique raisonnée. Elsevier H. 2019.
- [149] Richardson WS, Wilson MC, Nishikawa J, Hayward RS. The well-built clinical question: a key to evidence-based decisions. *ACP J Club* 1995;123. <https://doi.org/10.7326/ACPJC-1995-123-3-A12>.
- [150] Pallot A, Rostagno S. QAREL: French translation of the methodological quality scale for diagnostic reliability study. *Kinesithérapie* 2021;21:8–9. <https://doi.org/10.1016/J.KINE.2019.12.048>.
- [151] Rostagno S, Pallot A. QUADAS-2 : traduction française de l'échelle de qualité méthodologique pour les études diagnostiques de validité. *Kinésithérapie, La Rev* 2021;21:10–2. <https://doi.org/10.1016/J.KINE.2019.12.049>.
- [152] Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med* 2016;15:155–63. <https://doi.org/10.1016/J.JCM.2016.02.012>.
- [153] Cormack SJ, Newton RU, McGuigan MR, Doyle TLA. Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *Int J Sports Physiol Perform* 2008;3:131–44. <https://doi.org/10.1123/ijsp.3.2.131>.
- [154] Chan YH. Biostatistics 104: Correlational Analysis. *Singapore Med J* 2003;44:614–9.
- [155] Giavarina D. Understanding Bland Altman analysis. *Biochem Med (Zagreb)* 2015;25:141–51. <https://doi.org/10.11613/BM.2015.015>.
- [156] Guyatt GH, Oxman AD, Vist GE, Kunz R, Falck-Ytter Y, Alonso-Coello P, et al. GRADE: an emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ* 2008;336:924–6. <https://doi.org/10.1136/bmj.39489.470347.AD>.
- [157] Pallot A, Rostagno S. AMSTAR-2 : traduction française de l'échelle de qualité méthodologique pour les revues de littérature systématiques. *Kinésithérapie, La Revue* 2021;21:13–4. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2019.12.050>.
- [158] Whiting P, Savović J, Higgins JPT, Caldwell DM, Reeves BC, Shea B, et al. ROBIS: A new tool to assess risk of bias in systematic reviews was developed. *J Clin Epidemiol* 2016;69:225–34. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2015.06.005>.
- [159] Alias MF, Hasan H, Miswan MS, Man DD. Inter-Rater Reliability and Intra-Rater Reliability Testing of My Jump 2 Mobile Application in Measuring Countermovement Jump. *Journal of Human Movement and Sports Sciences* 2021;9:1319–23.
- [160] Atkins L, Coyle C, Moody J, Ramirez-Campillo R, Byrne PJ. Intra-Day and Inter-Day Reliability and Usefulness of Performance, Kinetic and Kinematic Variables during Drop Jumping in Hurling Players. *Biomechanics* 2024;4:1–13.
- [161] Bishop C, Jarvis P, Turner A, Balsalobre-Fernandez C. Validity and Reliability of Strategy Metrics to Assess Countermovement Jump Performance using the Newly Developed My Jump Lab Smartphone Application. *J Hum Kinet* 2022;83:185–95. <https://doi.org/10.2478/hukin-2022-0098>.
- [162] Bogataj Š, Pajek M, Andrašić S, Trajković N. Concurrent validity and reliability of my jump 2 app for measuring vertical jump height in recreationally active adults. *Applied Sciences* 2020;10:3805.
- [163] Bogataj Š, Pajek M, Hadžić V, Andrašić S, Padulo J, Trajković N. Validity, Reliability, and Usefulness of My Jump 2 App for Measuring Vertical Jump in Primary School Children. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17:3708. <https://doi.org/10.3390/ijerph17103708>.
- [164] Brovero D. The Reliability of Countermovement Jump Variables when Measured Using a Cell Phone App. PhD Thesis. Ithaca College, 2020.
- [165] Celik. Force-Time Analysis of the Drop Jump: Reliability of Jump Measures and Calculation Methods for Measuring Jump Height 2023.
- [166] Chow GC-C, Kong Y-H, Pun W-Y. The Concurrent Validity and Test-Retest Reliability of Possible Remote Assessments for Measuring Countermovement Jump: My Jump 2, HomeCourt & Takei Vertical Jump Meter. *Applied Sciences* 2023;13:2142. <https://doi.org/10.3390/app13042142>.
- [167] Coswig V, Silva ADACE, Barbalho M, Faria FRD, Nogueira CD, Borges M, et al. Assessing the Validity of the MyJump2 App for Measuring Different Jumps in Professional Cerebral Palsy Football

- Players: An Experimental Study. *JMIR Mhealth Uhealth* 2019;7:e11099. <https://doi.org/10.2196/11099>.
- [168] Dow M, Aguinaldo A, Matthews J, Ogren A. Concurrent validity and reliability of mobile applications in measuring vertical jump performance n.d.
- [169] Faiz Alias. Inter-Rater Reliability and Intra-Rater Reliability Testing of My Jump 2 Mobile Application in Measuring Countermovement Jump 2021.
- [170] Feitosa Fonseca FL, Burigo de Sá JN, Martins VC, Moreira LF, Marques de Oliveira SS, Volotao AN. WITHDRAWN: Correlation between a contact platform and a mobile app in vertical jumping height evaluation. *Physical Therapy in Sport* 2020;45:e5. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2020.04.023>.
- [171] Garcia-Masso. Reliability of a new analysis to compute time to stabilization following a single leg drop jump landing in children 2019.
- [172] Gençoğlu C, Ulupınar S, Özbay S, Turan M, Savaş BÇ, Asan S, et al. Validity and reliability of “My Jump app” to assess vertical jump performance: a meta-analytic review. *Sci Rep* 2023;13:20137. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46935-x>.
- [173] Hawkey & Dolby. Assessing the validity and reliability of the My Jump 2 app, contact mat and optical system at measuring vertical countermovement jump performance 2019.
- [174] Janicijevic D, Sarabon N, Pérez-Castilla A, Smajla D, Fernández-Revelles A, García-Ramos A. Single-leg mechanical performance and inter-leg asymmetries during bilateral countermovement jumps: A comparison of different calculation methods. *Gait Posture* 2022;96:47–52. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2022.05.012>.
- [175] Javier Robles-Palazon. Reliability, validity, and maturation-related differences of frontal and sagittal plane landing kinematic measures during drop jump and tuck jump screening tests in male youth soccer players 2021.
- [176] Jimenez-Olmedo JM, Pueo B, Mossi JM, Villalon-Gasch L. Reliability of My Jump 2 Derived from Crouching and Standing Observation Heights. *Int J Environ Res Public Health* 2022;19:9854. <https://doi.org/10.3390/ijerph19169854>.
- [177] Kantouris N, Kantouris R, Kolokythas I, Pagkoutos S, Lioutas D, Baxevanis K, et al. Validity and reliability of the My Jump 2 application for measuring the vertical jump height in young, male basketball players. *Αβεταληση Καιοτα Κοιοτανømegav\acuteiotaα* 2021;1.
- [178] Kingston B, Murray A, Norte GE, Glaviano NR. Validity and reliability of 2-dimensional trunk, hip, and knee frontal plane kinematics during single-leg squat, drop jump, and single-leg hop in females with patellofemoral pain. *Physical Therapy in Sport* 2020;45:181–7. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2020.07.006>.
- [179] KÖKLÜ Ö, ALPTEKİN A, KORKMAZ H. Comparison of Various Devices Used in the Evaluation of Vertical Jump Height. *Pamukkale Journal of Sport Sciences* 2023;14:408–18.
- [180] Kotsifaki R, Sideris V, King E, Bahr R, Whiteley R. Performance and symmetry measures during vertical jump testing at return to sport after ACL reconstruction. *British Journal of Sports Medicine* 2023.
- [181] Kozinc Ž, Pleša J. Discrepancy Among Different Methods for Vertical Jump Height Determination and Its Implications for Field-Based Testing: A Narrative Review. *Measurement in Physical Education and Exercise Science* 2023;27:248–56. <https://doi.org/10.1080/1091367X.2022.2163398>.
- [182] Krolo A, Gilic B, Foretic N, Pojskic H, Hammami R, Spasic M, et al. Agility Testing in Youth Football (Soccer) Players; Evaluating Reliability, Validity, and Correlates of Newly Developed Testing Protocols. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17:294. <https://doi.org/10.3390/ijerph17010294>.
- [183] Lokas I, Vasilj M, Skender S, Vučetić V, Mihaldinec H, Dzapo H. Video-Based Jump Height Estimation in Athletic Performance Testing. 2023 IEEE International Workshop on Sport, Technology and Research (STAR), IEEE; 2023, p. 39–44.
- [184] Manoj Rajakaruna P, Dempsey A, Learmonth Y. Inter-session, intra-rater and inter-rater reliability of single-leg drop jump landing tasks using the SLESS and compared to the double-leg drop jump landing tasks using the LESS. *Journal of Science and Medicine in Sport* 2023;26:S174. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2023.08.085>.

- [185] Marques JB, Auliffe SM, Thomson A, Sideris V, Santiago P, Read PJ. The use of wearable technology as an assessment tool to identify between-limb differences during functional tasks following ACL reconstruction. A scoping review. *Physical Therapy in Sport* 2022;55:1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2022.01.004>.
- [186] Meléndez-Gallardo J, Hernández-García F. Low-Cost Device For Vertical Jump Measurement In Sports Training n.d.
- [187] Montoro-Bombú R, Field A, Santos AC, Rama L. Validity and reliability of the Output sport device for assessing drop jump performance. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 2022;10:1015526.
- [188] Peart DJ, Balsalobre-Fernández C, Shaw MP. Use of Mobile Applications to Collect Data in Sport, Health, and Exercise Science: A Narrative Review. *J Strength Cond Res* 2019;33:1167–77. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002344>.
- [189] Plakoutsis G, Zapantis D, Panagiotopoulou E-M, Paraskevopoulos E, Moutzouri M, Koumantakis GA, et al. Reliability and Validity of the Portable KForce Plates for Measuring Countermovement Jump (CMJ). *Applied Sciences* 2023;13:11200.
- [190] Pueo B, Hopkins WG, Penichet-Tomas A, Jimenez-Olmedo JM. Accuracy of flight time and countermovement-jump height estimated from videos at different frame rates with MyJump. *Biol Sport* 2023;40:595–601. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2023.118023>.
- [191] Pueo B, Penichet-Tomas A, Jimenez-Olmedo JM. Validity, reliability and usefulness of smartphone and kinovea motion analysis software for direct measurement of vertical jump height. *Physiol Behav* 2020;227:113144. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.113144>.
- [192] Robles-Palazón FJ, Ruiz-Pérez I, Oliver JL, Ayala F, Sainz de Baranda P. Reliability, validity, and maturation-related differences of frontal and sagittal plane landing kinematic measures during drop jump and tuck jump screening tests in male youth soccer players. *Physical Therapy in Sport* 2021;50:206–16. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.05.009>.
- [193] Setzkorn M, Portillo AR, VanRavenhorst-Bell HA. PILOT STUDY: VERTICAL JUMP COMPARISON BETWEEN VERTEC, DARI MOTION CAPTURE, AND MY JUMP 2 APP. *International Journal of Exercise Science: Conference Proceedings*, vol. 11, 2021, p. 7.
- [194] Sharp AP, Cronin JB, Neville J. Using smartphones for jump diagnostics: A brief review of the validity and reliability of the my jump app. *Strength & Conditioning Journal* 2019;41:96–107.
- [195] Shaw MP, Satchell LP, Thompson S, Harper ET, Balsalobre-Fernández C, Peart DJ. Smartphone and Tablet Software Apps to Collect Data in Sport and Exercise Settings: Cross-sectional International Survey. *JMIR Mhealth Uhealth* 2021;9:e21763. <https://doi.org/10.2196/21763>.
- [196] Silva R, Rico-Gonzalez M, Lima R, Akyildiz Z, Pino-Ortega J, Clemente FM. Validity and reliability of mobile applications for assessing strength, power, velocity, and change-of-direction: A systematic review. *Sensors* 2021;21:2623.
- [192] Robles-Palazón FJ, Ruiz-Pérez I, Oliver JL, Ayala F, Sainz de Baranda P. Reliability, validity, and maturation-related differences of frontal and sagittal plane landing kinematic measures during drop jump and tuck jump screening tests in male youth soccer players. *Physical Therapy in Sport* 2021;50:206–16. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.05.009>.
- [193] Setzkorn M, Portillo AR, VanRavenhorst-Bell HA. PILOT STUDY: VERTICAL JUMP COMPARISON BETWEEN VERTEC, DARI MOTION CAPTURE, AND MY JUMP 2 APP. *International Journal of Exercise Science: Conference Proceedings*, vol. 11, 2021, p. 7.
- [194] Sharp AP, Cronin JB, Neville J. Using smartphones for jump diagnostics: A brief review of the validity and reliability of the my jump app. *Strength & Conditioning Journal* 2019;41:96–107.
- [195] Shaw MP, Satchell LP, Thompson S, Harper ET, Balsalobre-Fernández C, Peart DJ. Smartphone and Tablet Software Apps to Collect Data in Sport and Exercise Settings: Cross-sectional International Survey. *JMIR Mhealth Uhealth* 2021;9:e21763. <https://doi.org/10.2196/21763>.
- [196] Silva R, Rico-Gonzalez M, Lima R, Akyildiz Z, Pino-Ortega J, Clemente FM. Validity and reliability of mobile applications for assessing strength, power, velocity, and change-of-direction: A systematic review. *Sensors* 2021;21:2623.
- [197] Soares D, Rodrigues C, Lourenço J, Dias A. Validity and reliability of My Jump 2 app for jump

performance in Judo players. *The Open Sports Sciences Journal* 2023;16.

- [198] Song W, Mao X, Chen C, Wang Z, Qu K, Yang M, et al. Reliability and validity of My Jump 2 application to measure lower limb vertical stiffness of college students. *Chinese Journal of Tissue Engineering Research* 2024;28:172.
- [199] Tallis J, Morris RO, Duncan MJ, Eyre EL, Guimaraes-Ferreira L. Agreement between Force Platform and Smartphone Application-Derived Measures of Vertical Jump Height in Youth Grassroots Soccer Players. *Sports* 2023;11:117.
- [200] Vieira A, Ribeiro GL, Macedo V, de Araújo Rocha Junior V, Baptista R de S, Gonçalves C, et al. Evidence of validity and reliability of Jumbo 2 and MyJump 2 for estimating vertical jump variables. *PeerJ* 2023;11:e14558. <https://doi.org/10.7717/peerj.14558>.
- [201] Wirtz S, Julian R, Schmale R, Eils E. Concurrent Validity and Reliability of In-Field Vertical Jump Performance Measures on Sand Surfaces. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2022;10–1519.
- [202] Xu J, Turner A, Comfort P, Harry JR, McMahon JJ, Chavda S, et al. A Systematic Review of the Different Calculation Methods for Measuring Jump Height During the Countermovement and Drop Jump Tests. *Sports Med* 2023;53:1055–72. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01828-x>.
- [203] Gwet K. *Handbook of inter-rater reliability*. Gaithersburg: 2014.
- [204] de Wet H, Mokkink L. *Measurement in Medicine*. Cambridge University Press; 2011.
- [205] Barbalho M, Kleiner AFR, Callegari B, De Lima RC, Da Silva Souza G, De Athayde Costa E Silva A, et al. Assessing Interlimb Jump Asymmetry in Young Soccer Players: The My Jump 2 App. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 2021;16:19–27. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0981>.
- [206] Sanno M, Willwacher S, Epro G, Brüggemann G-P. Positive Work Contribution Shifts from Distal to Proximal Joints during a Prolonged Run. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2018;50:2507. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001707>.
- [207] Twist C, Highton J. Monitoring Fatigue and Recovery in Rugby League Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 2013;8:467–74. <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.5.467>.
- [208] Whiteley I, Sideris V, Kotsifaki R, King E, Whiteley R. The MyJump App is a Valid Method of Assessing and Classifying Limb Symmetry During Recovery from Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Int J Sports Phys Ther* 2023;18:1156–65. <https://doi.org/10.26603/001c.88005>.
- [209] Alba-Jiménez C, Moreno-Doutres D, Peña J. Trends Assessing Neuromuscular Fatigue in Team Sports: A Narrative Review. *Sports (Basel)* 2022;10:33. <https://doi.org/10.3390/sports10030033>.
- [210] Kelly LA, Cresswell AG, Farris DJ. The energetic behaviour of the human foot across a range of running speeds. *Sci Rep* 2018;8:10576. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28946-1>.
- [211] Albracht K, Arampatzis A. Exercise-induced changes in triceps surae tendon stiffness and muscle strength affect running economy in humans. *Eur J Appl Physiol* 2013;113:1605–15. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2585-4>.
- [212] Kotsifaki A, Korakakis V, Graham-Smith P, Sideris V, Whiteley R. Vertical and Horizontal Hop Performance: Contributions of the Hip, Knee, and Ankle. *Sports Health* 2021;13:128–35. <https://doi.org/10.1177/1941738120976363>.
- [213] Kotsifaki A, Whiteley R, Van Rossom S, Korakakis V, Bahr R, Sideris V, et al. Single leg hop for distance symmetry masks lower limb biomechanics: time to discuss hop distance as decision criterion for return to sport after ACL reconstruction? *Br J Sports Med* 2022;56:249–56. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103677>.
- [214] King E, Richter C, Franklyn-Miller A, Wadey R, Moran R, Strike S. Back to Normal Symmetry? Biomechanical Variables Remain More Asymmetrical Than Normal During Jump and Change-of-Direction Testing 9 Months After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med* 2019;47:1175–85. <https://doi.org/10.1177/0363546519830656>.
- [215] Rogers SA, Hassmén P, Hunter A, Alcock A, Crewe ST, Strauts JA, et al. The Validity and Reliability of the *MyJump2* Application to Assess Vertical Jumps in Trained Junior Athletes. *Measurement in Physical Education and Exercise Science* 2019;23:69–77. <https://doi.org/10.1080/1091367X.2018.1517088>.

[216] Haynes T, Bishop C, Antrobus M, Brazier J. The validity and reliability of the My Jump 2 app for measuring the reactive strength index and drop jump performance. *J Sports Med Phys Fitness* 2019;59:253–8. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.08195-1>.

[217] Montalvo S, Gonzalez MP, Dietze-Hermosa MS, Eggleston JD, Dorgo S. Common vertical jump and reactive strength index measuring devices: A validity and reliability analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2021;35:1234–43.

9 Annexes

Annexe 1 : PRISMA checklist

Section and Topic	Item #	Checklist Item	Location where item is reported
TITLE			
Title	1	Identify the report as a systematic review.	Titre
ABSTRACT			
Abstract	2	See the PRISMA 2020 for Abstracts checklist.	4ème de couverture
INTRODUCTION			
Rationale	3	Describe the rationale for the review in the context of existing knowledge.	pp. 1-30
Objectives	4	Provide an explicit statement of the objective(s) or question(s) the review addresses.	p. 30
METHODS			
Eligibility criteria	5	Specify the inclusion and exclusion criteria for the review and how studies were grouped for the syntheses.	pp. 31-33
Information sources	6	Specify all databases, registers, websites, organisations, reference lists and other sources searched or consulted to identify studies. Specify the date when each source was last searched or consulted.	pp. 33-34
Search strategy	7	Present the full search strategies for all databases, registers and websites, including any filters and limits used.	p. 33-35
Selection process	8	Specify the methods used to decide whether a study met the inclusion criteria of the review, including how many reviewers screened each record and each report retrieved, whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	pp. 35-36 et annexe 2
Data collection process	9	Specify the methods used to collect data from reports, including how many reviewers collected data from each report, whether they worked independently, any processes for obtaining or confirming data from study investigators, and if applicable, details of automation tools used in the process.	p. 37
Data items	10a	List and define all outcomes for which data were sought. Specify whether all results that were compatible with each outcome domain in each study were sought (e.g. for all measures, time points, analyses), and if not, the methods used to decide which results to collect.	pp. 36-37
	10b	List and define all other variables for which data were sought (e.g. participant and intervention characteristics, funding sources). Describe any assumptions made about any missing or unclear information.	pp. 36-37
Study risk of bias assessment	11	Specify the methods used to assess risk of bias in the included studies, including details of the tool(s) used, how many reviewers assessed each study and whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	pp. 36-37
Effect measures	12	Specify for each outcome the effect measure(s) (e.g. risk ratio, mean difference) used in the synthesis or presentation of results.	pp. 37-38
Synthesis methods	13a	Describe the processes used to decide which studies were eligible for each synthesis (e.g. tabulating the study intervention characteristics and comparing against the planned groups for each synthesis (item #5)).	pp. 35-36 et annexe 2
	13b	Describe any methods required to prepare the data for presentation or synthesis, such as handling of missing summary statistics, or data conversions.	pp. 37-38
	13c	Describe any methods used to tabulate or visually display results of individual studies and syntheses.	p. 37
	13d	Describe any methods used to synthesize results and provide a rationale for the choice(s). If meta-analysis was performed, describe the model(s), method(s) to identify the presence and extent of statistical heterogeneity, and software package(s) used.	p. 38
	13e	Describe any methods used to explore possible causes of heterogeneity among study results (e.g. subgroup analysis, meta-regression).	-
	13f	Describe any sensitivity analyses conducted to assess robustness of the synthesized results.	-
Reporting bias assessment	14	Describe any methods used to assess risk of bias due to missing results in a synthesis (arising from reporting biases).	-
Certainty assessment	15	Describe any methods used to assess certainty (or confidence) in the body of evidence for an outcome.	p. 39
RESULTS			
Study selection	16a	Describe the results of the search and selection process, from the number of records identified in the search to the number of studies included in the	p. 40
		review, ideally using a flow diagram.	
	16b	Cite studies that might appear to meet the inclusion criteria, but which were excluded, and explain why they were excluded.	Annexe 5
Study characteristics	17	Cite each included study and present its characteristics.	Annexe 6
Risk of bias in studies	18	Present assessments of risk of bias for each included study.	pp. 41-45
Results of individual studies	19	For all outcomes, present, for each study: (a) summary statistics for each group (where appropriate) and (b) an effect estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval), ideally using structured tables or plots.	pp. 46-52
Results of syntheses	20a	For each synthesis, briefly summarise the characteristics and risk of bias among contributing studies.	pp. 41-45 et annexe 6
	20b	Present results of all statistical syntheses conducted. If meta-analysis was done, present for each the summary estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval) and measures of statistical heterogeneity. If comparing groups, describe the direction of the effect.	pp. 52-53
	20c	Present results of all investigations of possible causes of heterogeneity among study results.	-
	20d	Present results of all sensitivity analyses conducted to assess the robustness of the synthesized results.	-
Reporting biases	21	Present assessments of risk of bias due to missing results (arising from reporting biases) for each synthesis assessed.	pp. 41-45
Certainty of evidence	22	Present assessments of certainty (or confidence) in the body of evidence for each outcome assessed.	pp. 60-61 et annexe 9
DISCUSSION			
Discussion	23a	Provide a general interpretation of the results in the context of other evidence.	pp. 59-60
	23b	Discuss any limitations of the evidence included in the review.	pp. 54-61 et annexe 9
	23c	Discuss any limitations of the review processes used.	p. 66-67 et annexes 10/11
	23d	Discuss implications of the results for practice, policy, and future research.	pp. 61-68
OTHER INFORMATION			
Registration and protocol	24a	Provide registration information for the review, including register name and registration number, or state that the review was not registered.	p. 36
	24b	Indicate where the review protocol can be accessed, or state that a protocol was not prepared.	p. 36
	24c	Describe and explain any amendments to information provided at registration or in the protocol.	-
Support	25	Describe sources of financial or non-financial support for the review, and the role of the funders or sponsors in the review.	p. 68
Competing interests	26	Declare any competing interests of review authors.	p. 68
Availability of data, code and other materials	27	Report which of the following are publicly available and where they can be found: template data collection forms; data extracted from included studies; data used for all analyses; analytic code; any other materials used in the review.	p. 68

From: Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71
For more information, visit: <http://www.prisma-statement.org/>

Annexe 2 : critères d'inclusion et d'exclusion mis en place selon l'étape du processus de sélection des études

Étape de sélection	Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
Lecture du titre	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Application MyJump 2 ou MyJump app mentionné ◆ Évaluation ou mesure d'un saut vertical 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Autre application mobile (ex : What'sMyVert) ◆ Évaluation ou mesure d'un saut horizontal ◆ Effet d'exercice(s), d'un entraînement sur les performances de saut
Lecture du résumé ou <i>abstract</i>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Version 2 de l'application ◆ Concepts mesurés : hauteur de saut et/ou temps de contact au sol et/ou index de force réactive (RSI) ◆ Saut vertical évalué : Drop Jump ◆ Comparateur : plateformes de force en comparaison (gold standard) ◆ Propriétés métrologiques étudiées : validité et/ou fiabilité ◆ Validité par critère concourante ◆ Articles publiés en Français ou en Anglais 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Version 1 de l'application ◆ Autre(s) concept(s) mesuré(s) seulement : puissance moyenne, rigidité etc. ◆ Drop Jump non évalué, seulement d'autres sauts verticaux (CMJ, SJ etc.) ◆ Autre outil utilisé comme comparateur (ex : Opto Jump) ◆ Aucune propriété métrologique (validité et/ou fiabilité) étudiée ou rapportée ◆ Étude s'intéressant à l'effet d'exercice(s), d'un entraînement sur les performances d'un saut vertical ◆ Articles publiés dans une autre langue
Lecture du texte intégral	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Appareil fonctionnant sous IOS pour l'analyse vidéo ◆ Fréquence d'échantillonnage de l'appareil : 240 images par seconde ◆ Étude transversale 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Appareil fonctionnant sous un autre système d'exploitation (ex : Android) ◆ Fréquence d'échantillonnage de l'appareil à 120 images par seconde ◆ Revue systématique ◆ Autre schéma d'étude (ex : étude de cas)

Quality Assessment of diagnostic Reliability (QAREL)

Items	oui	non	incertain	NA
1. Le test a-t-il été évalué avec un échantillon de sujets représentatifs (de la population sur laquelle les auteurs ont l'intention d'appliquer les résultats) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2. Le test a-t-il été évalué par des évaluateurs représentatifs (de ceux sur qui les auteurs ont l'intention d'appliquer les résultats) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3. Les évaluateurs étaient-ils en aveugle par rapport aux résultats des autres évaluateurs au cours de l'étude ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Les évaluateurs étaient-ils en aveugle par rapport à leur propre résultat évalué précédemment ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Les évaluateurs étaient-ils en aveugle du gold standard de la variable évaluée ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Les évaluateurs étaient-ils en aveugle par rapport à une quelconque information clinique fournie intentionnellement dans la procédure du test ou dans le cadre du protocole de l'étude ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Les évaluateurs étaient-ils en aveugle par rapport à d'éventuels indices qui ne faisaient pas partie du test ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8. L'ordre d'évaluation a-t-il varié ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. L'intervalle de temps entre les mesures répétées était-il compatible avec la stabilité (ou stabilité théorique) de la variable mesurée ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10. Le test a-t-il été appliqué correctement et interprété de manière appropriée ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11. Est-ce qu'une mesure statistique de l'accord entre les évaluateurs a été utilisée ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Source (traduction libre): Lucas NP, Macaskill P, Irwig I, Bogduk N. The development of a quality appraisal tool for studies of diagnostic reliability. *Journal of Clinical Epidemiology*, 2010; 63: 854-861.

QUADAS-2

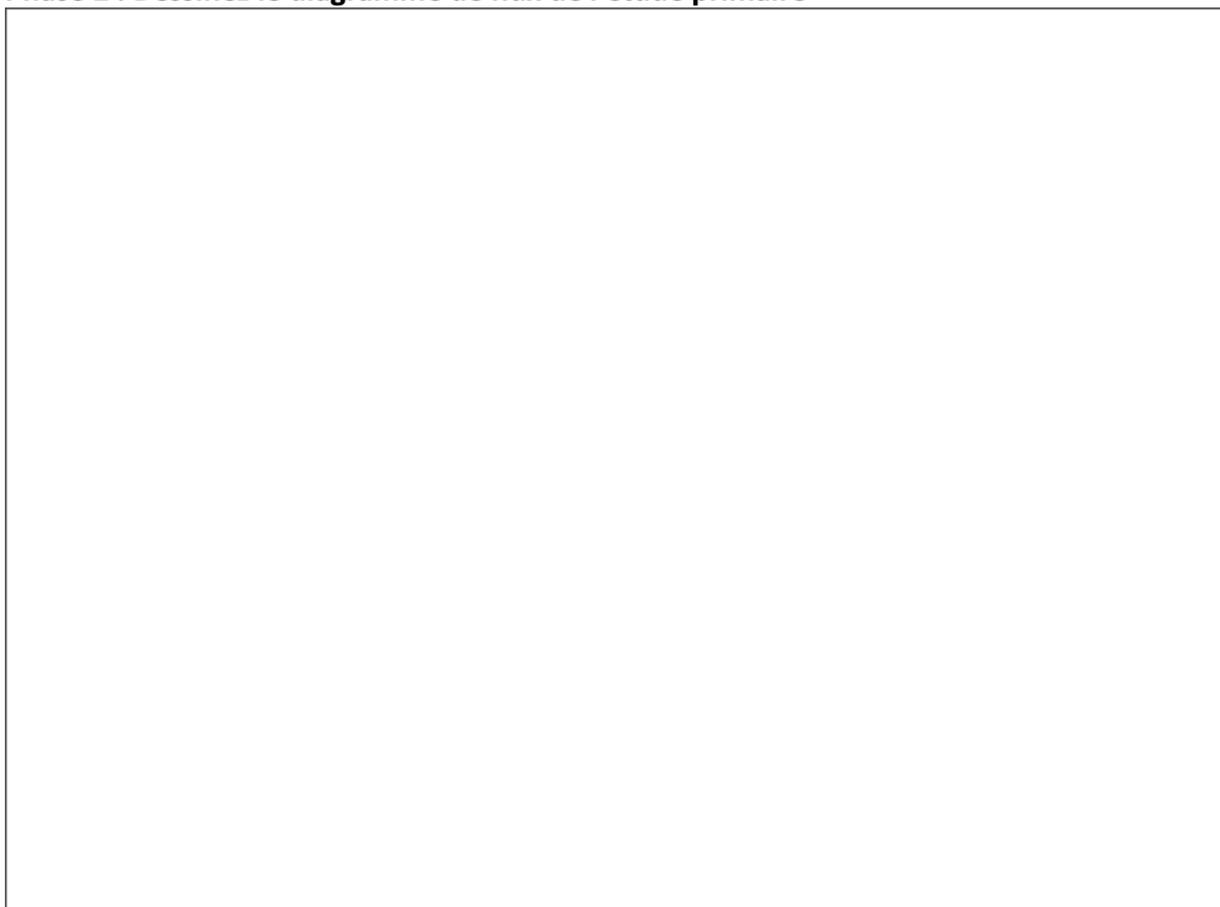
Phase 1 : Posez la question clinique :

Patients (contexte, motif de consultation, tableau clinique, tests précédemment réalisés) :

Test(s) évalué(s) :

Test de référence et condition cible :

Phase 2 : Dessinez le diagramme de flux de l'étude primaire



Phase 3 : Risque de biais and jugement sur l'applicabilité

La QUADAS-2 est organisée en 4 domaines qui sont chacun évalués en terme de risque de biais et d'applicabilité clinique de la question de recherche (telle que définie plus haut). Chaque domaine comprend une série de questions qui permettent de porter un jugement sur le risque de biais et l'applicabilité clinique.

DOMAINE 1 : SELECTION DES PATIENTS

A. Risque de biais

Décrivez la méthode de sélection des patients :

- | | |
|--|-------------------|
| ❖ Un échantillon de patients a-t-il été recruté de manière aléatoire ? | Oui/Non/Incertain |
| ❖ Un schéma d'étude type cas-témoin a-t-il été évité ? | Oui/Non/Incertain |
| ❖ L'étude a-t-elle évité des exclusions inappropriées ? | Oui/Non/Incertain |

La sélection des patients a-t-elle pu introduire un biais ?

RISQUE : FAIBLE/ELEVÉ/INCERTAIN

B. Préoccupations sur l'applicabilité

Décrivez les patients inclus (...) :

Il y a-t-il un risque que les patients sélectionnés ne correspondent pas à la question de recherche ?

PREOCCUPATION : FAIBLE/ELEVEE/INCERTAINE

DOMAINE 2 : TEST EVALUE

Si plus d'un test est évalué, veuillez répondre à ces questions pour chaque test

A. Risque de biais

Décrivez le test évalué, comment il a été réalisé et interprété :

- | | |
|---|-------------------|
| ❖ Les résultats du test évalué ont-ils été interprétés sans avoir connaissance des résultats du test de référence ? | Oui/Non/Incertain |
| ❖ Si un seuil de décision a été utilisé, a-t-il été spécifié ? | Oui/Non/Incertain |

La réalisation ou l'interprétation du test a-t-elle pu introduire un biais ?

RISQUE : FAIBLE/ELEVÉ/INCERTAIN

B. Préoccupations sur l'applicabilité

Il y a-t-il une préoccupation quant au fait que le test évalué, dans sa réalisation, interprétation, diffère de la question de recherche ?

PREOCCUPATION : FAIBLE/ELEVEE/INCERTAINE

DOMAINE 3 : TEST DE REFERENCE

A. Risque de biais

Décrivez le test de référence, comment il a été réalisé et interprété :

- ❖ Le test de référence est-il susceptible de correctement identifier la pathologie recherchée ? Oui/Non/Incertain
- ❖ Les résultats du test de référence ont-ils été interprétés sans avoir connaissance des résultats du test évalué ? Oui/Non/Incertain

La réalisation ou l'interprétation du test de référence a-t-elle pu introduire un biais ?

RISQUE : FAIBLE/ELEVÉ/INCERTAIN

B. Préoccupations sur l'applicabilité

Il y a-t-il une préoccupation quant au fait que la pathologie telle qu'elle a été diagnostiquée par le test de référence diffère de celle de la question de recherche ?

PREOCCUPATION : FAIBLE/ELEVEE/INCERTAINE

DOMAINE 3 : SUIVI ET TEMPORISATION

A. Risque de biais

Décrivez tous les patients qui n'ont pas reçu le test évalué et/ou le test de référence ou qui ont été exclus du tableau de contingence 2X2 (confère au diagramme de flux):

Décrivez l'intervalle de temps utilisé et tout traitement mis en place entre le test à évaluer et le test de référence :

- ❖ L'intervalle de temps entre la réalisation du test évalué et le test de référence est-il approprié ? Oui/Non/Incertain
- ❖ Tous les patients ont-ils reçu le test de référence ? Oui/Non/Incertain
- ❖ Tous les patients ont-ils reçu le même test de référence ? Oui/Non/Incertain
- ❖ Tous les patients sont-ils inclus dans l'analyse ? Oui/Non/Incertain

Le suivi des patients a-t-il pu introduire un biais ?

RISQUE : FAIBLE/ELEVÉ/INCERTAIN

Annexe 5 : liste des études exclues lors de la lecture de l'abstract et du texte intégral et leur motif d'exclusion

Auteur principal et année de publication	Motif d'exclusion
Alias et al. 2019 [159]	DJ non évalué
Atkins et al. 2024 [160]	Autre outil évalué
Bishop et al. 2022 [161]	DJ non évalué
Bogataj et al. 2020 (https://doi.org/10.3390/app10113805) [162]	Autre outil utilisé comme test référence
Bogataj et al. 2020 [163] (10.3390/ijerph17103708)	Autre outil utilisé comme test référence
Brovero et al. 2020 [164]	DJ non évalué
Celik et al. 2023 [165]	Autre outil évalué
Chow et al. 2023 [166]	DJ non évalué
Coswig et al. 2019 [167]	DJ non évalué
Dow et al. 2019 [168]	DJ non évalué
Faiz et al. 2021 [169]	DJ non évalué
Feitosa et al. 2020 [170]	Publication rétractée ou non disponible
Garcia-Masso et al. 2019 [171]	Autre outil évalué
Gençoğlu et al. 2023 [172]	Autre schéma d'étude (revue narrative ou systématique, scoping review etc.)
Hawkey et al. 2019 [173]	Publication rétractée ou non disponible
Janicijevic et al. 2022 [174]	Autre outil évalué
Javier Robles-Palazon et al. 2021 [175]	Autre outil évalué
Jimenez-Olmedo et al. 2022 [176]	DJ non évalué
Kantouris et al. 2021 [177]	Autre outil utilisé comme test référence
Kingston et al. 2020 [178]	Autre outil utilisé comme test référence
Köklü et al. 2023 [179]	DJ non évalué
Kotsifaki et al. 2023 [180]	Autre outil évalué
Kozinc et al. 2023 [181]	Autre schéma d'étude (revue narrative ou systématique, scoping review etc.)
Krolo et al. 2020 [182]	DJ non évalué
Lokas et al. 2023 [183]	Autre outil évalué
Manoj Rajakaruna et al. 2023 [184]	Autre outil utilisé comme test référence
Marques et al. 2022 [185]	Autre schéma d'étude (revue narrative ou systématique, scoping review etc.)
Meléndez-Gallardo et al. 2023 [186]	Autre outil utilisé comme test référence
Montoro-Bombú et al. 2022 [187]	Autre outil évalué
Pajek et al. 2020 [163]	Autre outil utilisé comme test référence
Peart et al. 2019 [188]	Autre schéma d'étude (revue narrative ou systématique, scoping review etc.)
Plakoutsis et al. 2023 [189]	Autre outil évalué
Pueo et al. 2023 [190]	DJ non évalué
Pueo et al. 2020 [191]	DJ non évalué
Robles-Palazón et al. 2021 [192]	Autre outil évalué
Setzkorn et al. 2021 [193]	Autre outil utilisé comme test référence
Sharp et al. 2019 [194]	Autre schéma d'étude (revue narrative ou systématique, scoping review etc.)
Shaw et al. 2021 [195]	Autre schéma d'étude (revue narrative ou systématique, scoping review etc.)
Silva et al. 2021 [196]	Autre schéma d'étude (revue narrative ou systématique, scoping review etc.)
Soares et al. 2023 [197]	DJ non évalué
Song et al. 2024 [198]	Article publié dans une autre langue
Tallis et al. 2023 [199]	DJ non évalué
Vieira et al. 2023 [200]	DJ non évalué
Wirtz et al. 2022 [201]	DJ non évalué
Xu et al. 2023 [202]	Autre schéma d'étude (revue narrative ou systématique, scoping review etc.)
Barbalho et al. 2021	Caméra d'un iPhone 6s® enregistrant à 120Hz utilisée pour filmer les DJ

Légende : les cases claires correspondent aux articles exclus lors de la lecture de l'abstract, la case verte correspond à l'article exclu lors de la lecture du texte intégral.

Abréviations : DJ = Drop Jump

Annexe 6 : caractéristiques des études incluses

Étude, auteur et année	Schéma d'étude	Nombre de participants (n) et sexe	Caractéristiques de la population	Hauteur et nombre de Drop Jump évalués	Marque et modèle de l'appareil qui enregistre la vidéo	Marque, modèle et fréquence d'échantillonnage utilisée des plateformes de force (gold standard)	Variables mesurés et présentés	Propriétés métrologiques
Haynes et al. 2019	Étude observationnelle transversale Deux sessions d'évaluation séparées de 7 jours*	n = 14 H = 14	Âge (ans) = 29.5 ± 9.9 Taille (m) = 178 ± 10 Masse (kg) = 81.4 ± 14.1 Étudiants en science du sport (minimum un an d'expérience en entraînement de saut)	3 DJ (20 cm) - 1 ^{ère} session 3 DJ (40 cm) - 2 ^{ème} session	iPhone 6 (Apple Inc., Cupertino, CA, USA)	Force Platform FP8 (Hurlab, Finland) - 1200 Hz	HS TCS RSI	Fiabilité test-retest Validité par critère concourante
Montalvo et al. 2021	Étude observationnelle transversale	n = 30 H = 17 F = 13	Âge (ans) = 23,37 ans +- 1,87 Taille (m) = 1.62 +- 0.29 Masse (kg) = 70.85 +- 17.55 IMC (kg·m ⁻²) = 24.92 +- 4.47 Sportifs amateurs avec une expérience acquise en entraînement pliométrique	5 DJ (30 cm)	iPhone X (Apple Inc., Cupertino, CA, USA)	AMTI OR6-7100 (Advanced Mechanical Technology, Inc., Watertown, MA) -1000 Hz	HS RSI	Fiabilité test-retest (intra-session) Validité par critère concourante

Rogers et al. 2019	Étude observationnelle transversale Deux sessions d'évaluation séparées de 7 jours*	n = 11 H = 7 F = 4	Âge (ans) = 15,0 +- 1,4	5 DJ (30 cm)	iPad Pro 9.7" (A1673, Apple Inc., Cupertino, CA, USA)	Kistler force platform (9287C, Kistler Instruments Ltd., Winterthur, Switzerland) - 1200 Hz	RSI	Fiabilité test-retest (intra et inter-session)
			Taille (m) = 1,70 +- 0,11					Fiabilité intra-évaluateur
			Masse (kg) = 70.85 +- 17.55					Fiabilité inter-évaluateur
			IMC (kg·m-2) = 24.92 +- 4.47					Validité par critère concourante
			Athlètes juniors de niveau national					
Whiteley et al. 2023	Étude observationnelle transversale Mesures répétées toutes les 6 semaines**	n = 51 H = 49 F = 2	Âge (ans) = 28.5 ± 8.6	1 DJ (30 cm)	iPad Pro (Apple Inc., Cupertino, CA, USA)	BMS600900-4K (AMTI, Watertown, MA, USA) - 1000 Hz	HS TCS RSI	Validité par critère concourante
			Taille (m) = 1,75 ± 0,87					
			Masse (kg) = 80.7 ± 14.8					
			IMC (kg·m-2) = 26.2 ± 4.7					
			Sportifs professionnels et amateurs ayant subi une reconstruction du ligament croisé antérieur (LCA)					

Abréviations : H = hommes, F = femmes, DJ = Drop Jump, HS = hauteur de saut, TCS = temps de contact au sol, RSI = indice de force réactive

*Même s'il y a deux sessions d'évaluation, les variables sont supposées être constantes au cours de cet intervalle de temps (la potentielle variabilité des mesures serait alors due à l'outil de mesure en lui-même et à sa précision), c'est pourquoi cette étude est qualifiée de transversale.

**Le but de répéter les mesures toutes les 6 semaines chez les participants est d'obtenir un échantillon de sauts assez important pour analyser la validité de l'application. Le but n'est pas de constater l'évolution ou non de la performance des individus dans le temps. C'est donc une étude transversale.

Annexe 7 : tableau des données brutes (HS, TCS et RSI) des participants des études incluses

Étude	Hauteur du DJ	HS	TCS	RSI
<i>Haynes et al.</i>	20 cm	MyJump 2 = 23.79 ± 7.27 cm PF = 23.34 ± 6.24 cm MD = 0.45 ± 4.25 cm NS = 66*	MyJump 2 = 271.34 ± 61.11 ms PF = 257.18 ± 60.88 ms MD = 14.16 ± 10.04 ms NS = 66*	MyJump 2 = 1.68 ± 0.45 PF = 1.77 ± 0.49 MD = 0.09 ± 0.14 NS = 66*
<i>Haynes et al.</i>	40 cm	MyJump 2 = 22.61 ± 5.57 cm PF = 23.29 ± 5.34 cm MD = 0,68 ± 1.59 NS = 66*	MyJump 2 = 281.93 ± 67.84 ms PF = 268.32 ± 68.19 ms MD = 13.61 ± 7.02 ms NS = 66*	MyJump 2 = 1.60 ± 0.49 PF = 1.72 ± 0.55 MD = 0.12 ± 0.10 NS = 66*
<i>Montalvo et al.</i>	30 cm	MyJump 2 = 25.43 +- 8.31 cm PF = 25.79 +- 8.39 NS = 150*	<i>Non évalué</i>	<i>Non disponible</i>
<i>Rogers et al.</i>	30 cm	<i>Non disponible</i>	<i>Non évalué</i>	MyJump 2 = 1.05 ± 0.23 PF = 1.11 ± 0.23 NS = 110
<i>Whiteley et al.</i>	30 cm	MyJump 2 = <i>non disponible</i> PF = 29.29 (-6.16) cm MD (95% IC) = 0.352 (0.285 to 0.418) cm p < 0.001 NS = 78	MyJump 2 = <i>non disponible</i> PF = 365.72 ± 88.86 ms MD (95% IC) = 5.53 (-4.396 to 15.455) ms p < 0,0001 NS = 82	MyJump 2 = <i>non disponible</i> PF = 1.41 (-0.37) MD (95% IC) = 0.031 (0.024 to 0.038) p < 0.001 NS = 73

Abréviations : HS = hauteur de saut, TCS = temps de contact au sol, RSI = indice de force réactive, DJ = Drop Jump, ND = non disponible, PF = plateformes de force, MD = mean deviation, IC = intervalle de confiance, p = p-value, NS = nombre de sauts pris en compte dans l'analyse, * = NS estimé (quand non communiqué dans l'étude)

Annexe 8 : tableaux d'interprétation des résultats selon les seuils spécifiques aux tests statistiques utilisés

Résultats concernant la fiabilité test-retest intra-session de MyJump 2, selon les CV et les seuils de Cormack et al. [153]:

Fiabilité test-retest intra-session (selon les CV)	HS	TCS	RSI
Haynes et al. (DJ 20 cm)	ND	ND	Acceptable
Haynes et al. (DJ 40 cm)	ND	ND	Non acceptable
Montalvo et al. (DJ 30 cm)	Acceptable	ND	Non acceptable
Rogers et al. (DJ 30 cm) session 1	ND	ND	Acceptable
Rogers et al. (DJ 30 cm) session 2	ND	ND	Non acceptable

Abréviations : HS = hauteur de saut, TCS = temps de contact au sol, RSI = indice de force réactive, DJ = Drop Jump, ND = non disponible

Légende : $CV \leq 10\%$ (acceptable) ; $10\% < CV \leq 15\%$ (non acceptable)

Résultats concernant la validité par critère concurrente de MyJump 2, selon les CCI et les seuils de Koo et al. [152] :

Étude	HS	TCS	RSI
Haynes et al. (DJ 20 cm)	Bonne	Excellente	Excellente
Haynes et al. (DJ 40 cm)	Excellente	Excellente	Excellente
Montalvo et al. (DJ 30 cm)	Excellente	ND	Excellente
Rogers et al. (DJ 30 cm)	ND	ND	Excellente
Whiteley et al. (DJ 30 cm)	Excellente	Bonne	Excellente

Abréviations : HS = hauteur de saut, TCS = temps de contact au sol, RSI = indice de force réactive, DJ = Drop Jump, ND = non disponible

Légende : $CCI \geq 0,90$ (excellente) ; $0,75 \leq CCI < 0,9$ (bonne)

Annexe 9 : résumé de l'évaluation des niveaux de preuve des études incluses avec le système GRADE [156]

Variable étudiée	Propriété métrologique	Nombre de participants (nombre d'études)	Facteurs influençant la qualité des preuves					Niveau de preuves
			Risque de biais	Évidence indirecte	Incohérence	Imprécision	Biais de publication	
HS	Fiabilité test-retest intra-session	30 (1)	Sérieux (-1)	Sérieuse (-1)	Sérieuse (-1)	Non détectée	Non détecté	 Très faible
RSI	Fiabilité test-retest intra-session	55 (3)	Très sérieux (-2)	Sérieuse (-1)	Non détectée	Non détectée	Non détecté	 Très faible
RSI	Fiabilité test-retest inter session	11 (1)	Non détecté	Sérieuse (-1)	Sérieuse (-1)	Sérieuse (-1)	Non détecté	 Très faible
RSI	Fiabilité intra-évaluateur	11 (1)	Non détecté	Sérieuse (-1)	Sérieuse (-1)	Non détectée	Non détecté	 Faible
RSI	Fiabilité inter-évaluateur	11 (1)	Non détecté	Sérieuse (-1)	Sérieuse (-1)	Non détectée	Non détecté	 Faible
HS	Validité par critère concurrente	95 (3)	Sérieux (-1)	Sérieuse (-1)	Non détectée	Non détectée	Non détecté	 Faible
TCS	Validité par critère concurrente	65 (2)	Sérieux (-1)	Sérieuse (-1)	Non détectée	Non détectée	Non détecté	 Faible
RSI	Validité par critère concurrente	106 (4)	Très sérieux (-2)	Sérieuse (-1)	Non détectée	Non détectée	Non détecté	 Faible

Abréviations : HS = hauteur de saut, RSI = indice de force réactive, TCS = temps de contact au sol

Tableau I. Traduction française de AMSTAR-2.

Items	Cotation	
1	Est-ce que les questions de recherche et les critères d'inclusion de la revue ont inclus les critères PICO ?	Oui
2	Est-ce que le rapport de la revue contenait une déclaration explicite indiquant que la méthode de la revue a été établie avant de conduire la revue ? Est-ce que le rapport justifiait toute déviation significative par rapport au protocole ?	Non
3	Les auteurs ont-ils expliqué leur choix de schémas d'étude à inclure dans la revue ?	Oui
4	Les auteurs ont-ils utilisé une stratégie de recherche documentaire exhaustive ?	Oui
5	Les auteurs ont-ils effectué en double la sélection des études ?	Non
6	Les auteurs ont-ils effectuée en double l'extraction des données ?	Non
7	Les auteurs ont-ils fourni une liste des études exclues et justifié les exclusions ?	Oui
8	Les auteurs ont-ils décrit les études incluses de manière suffisamment détaillée ?	Oui partiel
9	Les auteurs ont-ils utilisé une technique satisfaisante pour évaluer le risque de biais des études individuelles incluses dans la revue ?	Oui
10	Les auteurs ont-ils indiqué les sources de financement des études incluses dans la revue ?	Oui
11	Si une méta-analyse a été effectuée, les auteurs ont-ils utilisé des méthodes appropriées pour la combinaison statistique des résultats ?	Oui
12	Si une méta-analyse a été effectuée, les auteurs ont-ils évalué l'impact potentiel des risques de biais des études individuelles sur les résultats de la méta-analyse ou d'une autre synthèse des preuves ?	Oui
13	Les auteurs ont-ils pris en compte le risque de biais des études individuelles lors de l'interprétation / de la discussion des résultats de la revue ?	Oui
14	Les auteurs ont-ils fourni une explication satisfaisante pour toute hétérogénéité observée dans les résultats de la revue, et une discussion sur celle-ci ?	Oui
15	S'ils ont réalisé une synthèse quantitative, les auteurs ont-ils mené une évaluation adéquate des biais de publication (biais de petite étude) et ont discuté de son impact probable sur les résultats de la revue ?	Non
16	Les auteurs ont-ils rapporté toute source potentielle de conflit d'intérêts, y compris tout financement reçu pour réaliser la revue ?	Oui

ROBIS: Tool to assess risk of bias in systematic reviews

Phase 1: Assessing relevance (Optional)

ROBIS is designed to assess the risk of bias in reviews with questions relating to interventions, aetiology, diagnosis and prognosis. State your overview/guideline question (target question) and the question being addressed in the review being assessed:

Intervention reviews:

Category	Target question (e.g. overview or guideline)	Review being assessed
Patients/Population(s):		
Intervention(s):		
Comparator(s):		
Outcome(s):		

For aetiology reviews:

Category	Target question (e.g. overview or guideline)	Review being assessed
Patients/Population(s):		
Exposure(s) and comparator(s):		
Outcome(s):		

For DTA reviews:

Category	Target question (e.g. overview or guideline)	Review being assessed
Patients):	Sportif régulier sans restriction (sain/blessé, âge, sexe	Tout type de sportif régulier
Index test(s):	MyJump 2 fonctionnant sous IOS	MyJump 2 fonctionnant sous IOS
Reference standard:	Plateformes de force sans restriction de modèle	Plateformes de force sans restriction de modèle
Target condition:	Tout type de fiabilité et validité par critère concourante	Tout type de fiabilité et validité par critère concourante

For prognostic reviews:

Category	Target question (e.g. overview or guideline)	Review being assessed
Patients:		
Outcome to be predicted:		
Intended use of model:		
Intended moment in time:		

Does the question addressed by the review match the target question?

YES/NO/UNCLEAR

DOMAIN 4: SYNTHESIS AND FINDINGS	
Describe synthesis methods:	
4.1 Did the synthesis include all studies that it should?	Y/PY/PN/N/NI
4.2 Were all pre-defined analyses reported or departures explained?	Y/PY/PN/N/NI
4.3 Was the synthesis appropriate given the nature and similarity in the research questions, study designs and outcomes across included studies?	Y/PY/PN/N/NI
4.4 Was between-study variation (heterogeneity) minimal or addressed in the synthesis?	Y/PY/PN/N/NI
4.5 Were the findings robust, e.g. as demonstrated through funnel plot or sensitivity analyses?	Y/PY/PN/N/NI
4.6 Were biases in primary studies minimal or addressed in the synthesis?	Y/PY/PN/N/NI
Concerns regarding the synthesis and findings	LOW/HIGH/UNCLEAR
Rationale for concern:	Manque d'expérience en analyse statistique a sans doute contraint à l'utilisation d'outils non adaptés

Y=YES, PY=PROBABLY YES, PN=PROBABLY NO, N=NO, NI=NO INFORMATION

Phase 3: Judging risk of bias

Summarize the concerns identified during the Phase 2 assessment:

Domain	Concern	Rationale for concern
1. Concerns regarding specification of study eligibility criteria	HIGH	Le protocole de la méthode n'a pas été enregistré au préalable / La restriction de langue (français et anglais et anglais) est une source de biais importante
2. Concerns regarding methods used to identify and/or select studies	HIGH	Les recherches auraient pu être menées sur d'autres bases de données payantes (Embase, SPORTDiscus etc.) / Nous aurions pu contacter plus d'experts / Restriction de langue (français et anglais) non appropriée / Sélection des études par une seule personne
3. Concerns regarding methods used to collect data and appraise studies	HIGH	Données extraites par une seule personne / QAREL et QUADAS-2 comportent beaucoup d'items « non adapté » pour les études incluses /
4. Concerns regarding the synthesis and findings	HIGH	Manque d'expérience en analyse statistique a sans doute contraint à l'utilisation d'outils non adaptés

RISK OF BIAS IN THE REVIEW	
Describe whether conclusions were supported by the evidence:	
A. Did the interpretation of findings address all of the concerns identified in Domains 1 to 4?	Y/PY/PN/N/NI
B. Was the relevance of identified studies to the review's research question appropriately considered?	Y/PY/PN/N/NI
C. Did the reviewers avoid emphasizing results on the basis of their statistical significance?	Y/PY/PN/N/NI
Risk of bias in the review	RISK: LOW/HIGH/UNCLEAR
Rationale for risk:	

Y=YES, PY=PROBABLY YES, PN=PROBABLY NO, N=NO, NI=NO INFORMATION

19003098 – VEYAN Léo - N°138

Nombre de pages : 96

Directeur de mémoire : M. BLACHÈRE Adrien

Propriétés métrologiques de l'application MyJump 2 pour mesurer les variables d'un Drop Jump : une revue systématique avec méta-analyse

Résumé :

Introduction : En traumatologie du sport, la rééducation du patient doit être intensifiée à la fin du processus. Le développement de la force réactive (FR) par un travail pliométrique est essentiel à ce stade-là. Il est donc nécessaire d'avoir des outils fiables et valides pour évaluer la FR.

Objectif : Cette revue de littérature a pour but d'investiguer la fiabilité (FIA) et la validité (VAL) de l'application MyJump 2 pour mesurer les variables du Drop Jump (DJ).

Méthode : Nos recherches ont été conduites sur 5 bases de données (PubMed, Cochrane, Google Scholar, Semantic Scholar et Science Direct) et dans la littérature grise. Les études (ét.) incluses devaient analyser le DJ avec un appareil IOS enregistrant à 240 Hz et avec des plateformes de force (PF) (gold standard). Elles devaient évaluer au moins un type de FIA et/ou la VAL par critère concurrente.

Résultats : 3 ét. ont été incluses dans l'analyse qualitative concernant la fiabilité. La FIA intra-session de MyJump 2 est excellente (exc.) pour mesurer une hauteur de saut (HS) et globalement bonne pour mesurer un RSI. La FIA inter-session est moyenne pour mesurer un RSI. La FIA intra-évaluateur est exc. pour mesurer un RSI. La FIA inter-évaluateur est moyenne pour mesurer un RSI. 4 ét. ont été incluses dans l'analyse qualitative concernant la VAL. La VAL de MyJump 2 est exc. pour mesurer une HS sur un DJ (30 et 40 cm) et bonne sur un DJ (20 cm). La VAL est bonne pour mesurer un temps de contact au sol sur un DJ (30 cm) et exc. sur un DJ (20 et 40 cm). L'analyse quantitative a révélé une exc. VAL de MyJump 2 pour mesurer le RSI d'un DJ de 30 cm.

Discussion : Ces résultats sont à pondérer aux risques de biais jugés élevés pour toutes les ét. incluses concernant à la fois la FIA et la VAL. Cependant, en raison de son faible coût et de son fonctionnement intuitif, MyJump 2 peut être une alternative aux PF pour le MK afin d'évaluer les capacités pliométriques d'un patient.

Mots-clés : MyJump 2 App, fiabilité, validité, Drop Jump, saut vertical, hauteur de saut, RSI

Metrologic properties of MyJump 2 to measure Drop Jump metrics : a systematic review and meta-analysis

Abstract :

Introduction : In sport traumatology, the patient's rehabilitation needs to be intensified at the end of the process. The development of reactive strength (RS) with plyometric training is a must at this stage of the rehabilitation. Reliable (REL) and valid (VAL) tools are needed to evaluate RS.

Objective : This review aims to investigate the REL and VAL of MyJump 2 application to measure Drop Jump (DJ) metrics.

Method : Research was conducted on 5 databases (PubMed, Cochrane, Google Scholar, Semantic Scholar & Science Direct) and in the grey literature. Studies (st.) had to analyze DJ on an iOS device recording at 240 Hz and with force platforms (FP) (gold standard). They had to assess at least one type of REL and/or the concurrent VAL.

Results : 3 st. were included in the qualitative synthesis for reliability. The intra-session REL of MyJump 2 is excellent (exc.) to measure jump height (JH), generally good to measure reactive strength index (RSI). Inter-session REL is moderate to measure RSI. 4 st. were included in the qualitative synthesis for VAL. The VAL of MyJump 2 to measure JH on a DJ (30 & 40 cm) is exc. and good on a DJ (20 cm). The VAL is good to measure ground contact time (GCT) on a DJ (30cm) and exc. on a DJ (20 & 40 cm). The quantitative synthesis revealed an exc. VAL of MyJump 2 to measure RSI on a DJ (30 cm).

Discussion : These results are to be weighted to the high risk of bias for all st. included concerning both REL and VAL. But, due to its low cost and its intuitive operation, MyJump 2 can be an alternative to the FP for the physiotherapist to evaluate a patient's plyometric abilities.

Keywords : MyJump 2 App, reliability, validity, Drop Jump, vertical jump, jump height, RSI