

Pliométrie en milieu aquatique versus au sol : influence sur la performance du saut

Influence of aquatic versus land plyometric training on vertical jumping performance

ALEXANDRE DUPERREX (PT) ^{1*}, ALEXANDRE GUIGNARD (PT) ^{2*}, KENNY GUEX (PT, PhD) ³

1 Cabinet de physiothérapie Simic, Prilly

2 Centre Médical d'Epalinges, Epalinges

3 Filière physiothérapie, Haute Ecole de Santé Vaud (HESAV)/Haute Ecole Spécialisée de Suisse Occidentale (HES-SO), Lausanne, Suisse

* Ces auteurs ont contribué de manière équivalente à la réalisation de cet article »

Les auteurs attestent ne pas avoir de conflits d'intérêts dans la réalisation de ce travail

Keywords

Plyometric, aquatic plyometric, water, ground, vertical jump

Mots clés

Pliométrie, pliométrie aquatique, eau, sol, saut vertical

Abstract

Introduction : Plyometric exercises are functional, and frequently used for sports patients' reeducation to increase power, strength and explosivity. Repeated jumps are usually used for the lower limbs, generating high levels of stress on the musculoskeletal system. The aquatic environment is a way to decrease this stress. However, the water properties change the parameters of plyometric exercise. This research aimed to understand whether the vertical jumping performances of a healthy adult are different after an aquatic plyometric exercise protocol compared to a similar protocol on land..

Methods: This is a quantitative and narrative literature review. The databases PEDro, PubMed, Cinahl and Embase were consulted until June 2015. Moreover, an additional research was conducted on Google Scholar and in the studies mentioned in selected articles' bibliographies. The evaluation of the articles' quality was done with the *Joanna Briggs Institute* tools.

Results: The five selected studies showed a comparable jump height after aquatic and on-land plyometric interventions. Af-

Résumé

Introduction : L'exercice pliométrique est communément utilisé dans le sport et la réhabilitation pour améliorer la puissance, la force et l'explosivité. Sa pratique sous forme de sauts répétés pour les membres inférieurs impose de grandes contraintes au système musculo-squelettique. L'environnement aquatique permet de réduire ces contraintes. Cependant, les propriétés de l'eau modifient les paramètres de l'exercice. L'objectif de cette revue de la littérature était donc de déterminer si la hauteur de saut vertical évoluait différemment à la suite d'un programme d'entraînement pliométriques réalisés dans l'eau versus au sol chez l'adulte sain.

Méthodes : Cette étude est une revue quantitative et narrative de la littérature. Les bases de données PEDro, PubMed, Cinahl et Embase ont été consultées jusqu'en juin 2015. Une recherche complémentaire a ensuite été effectuée sur Google Scholar et à partir des références bibliographiques des articles sélectionnés. L'évaluation de la qualité des articles a été réalisée à l'aide de la grille du *Joanna Briggs Institute*.

ter the interventions in water, three articles showed a significant difference ranging from 4.5 to 13.5 cm. After the interventions on land, four articles showed a significant difference ranging from 2.0 to 13.0 cm.

Conclusion : A water program decreases the impact force while resulting in an increase in jump height comparable with that of an on-land program. The results of this review highlight the advantages of this method for reeducation.

Résultats : Les cinq études retenues dans cette revue, ont reporté des hauteurs de saut comparables après leurs interventions pliométriques dans l'eau et au sol. Suite à l'intervention dans l'eau, trois études ont retrouvé des améliorations significatives allant de 4.5 à 13.5 cm. Suite à l'intervention au sol, quatre études ont montré des augmentations significatives de la hauteur comprise entre 2.0 et 13.0 cm.

Conclusion : Un programme dans l'eau permet de diminuer les forces d'impact tout en obtenant un gain de hauteur de saut comparable à celui obtenu sur sol. Les résultats de cette revue appuient donc l'intérêt de cette méthode dans la rééducation.



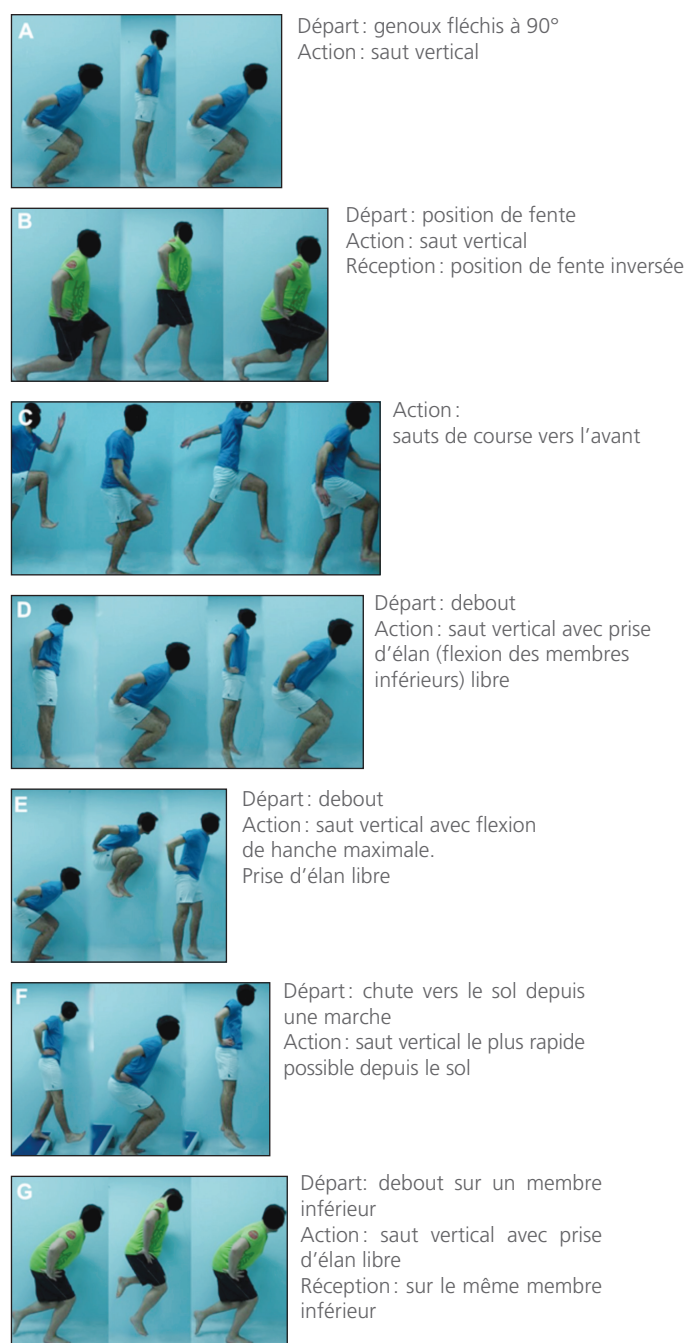
Introduction

La pliométrie est un exercice explosif communément utilisé en rééducation qui se caractérise par un cycle étirement-raccourcissement composé d'une phase de charge (c'est-à-dire d'une contraction excentrique), d'une courte phase de couplage (c'est-à-dire d'une contraction quasi isométrique) et d'une phase de propulsion (c'est-à-dire d'une contraction concentrique) (1, 2). L'ensemble étant réalisé sur une durée de ~0.25 s (3). La phase de charge est primordiale, car c'est durant cette dernière que sont mises en tension les composantes en série du muscle et que l'on retrouve le réflexe myotatique ainsi que la potentiation musculaire. Pour autant que la phase de couplage soit courte (c'est-à-dire 15-25 ms), ces phénomènes ont pour effet d'augmenter la force lors de la phase de propulsion (1, 4).

Un entraînement pliométrique augmente la puissance, la force et le volume musculaire (3,5). Il améliore également la coordination inter- et intra-musculaire (3). D'un point de vue fonctionnel, cela se traduit par des effets bénéfiques sur la vitesse de course lors du sprint, sur l'économie de course, ainsi que sur l'agilité et la hauteur de saut vertical (3,6,7). L'évolution de cette dernière est d'ailleurs communément utilisée pour évaluer l'efficacité d'un entraînement pliométrique (2,8). Elle peut être évaluée lors d'un counter-movement jump (CMJ) ou lors d'un squat jump (SJ) de manière fiable à l'aide d'un test de Sargent, du Vertec ou d'une plateforme de force (9-12).

Classiquement, la pliométrie des membres inférieurs s'effectue sous forme de sauts répétés. Il existe une multitude d'exercices mono- et pluri-articulaires qui peuvent être effectués en appui bi- ou mono-podal, avec ou sans déplacement (Figure 1). L'agencement de ces différents paramètres ayant une influence directe sur l'intensité de l'exercice.

Généralement, les physiothérapeutes ont recours à la pliométrie pour préparer le retour sur le terrain des patients pratiquant un sport, comme à la suite d'une rupture du ligament croisé antérieur (13, 14). Dans le protocole du Centre Hospitalier Universitaire Vaudois (CHUV) par exemple, les exercices pliométriques débutent dès la 7^e semaine post-opératoire en piscine et dès la 9^e semaine au sol (15). Ce délai de neuf semaines avant de commencer les sauts au sol est justifié par le fait que la pliométrie est une activité intensive qui soumet le système musculo-sque-



> Figure 1: exemples d'exercices de pliométrie: A) squat jump, B) split squat jump, C) bounding, D) counter-movement jump, E) tuck jump, F) depth jump, G) single leg hop

létique à de fortes contraintes. Ainsi, avant de débiter avec de la pliométrie, il faut s'assurer du bon contrôle neuromusculaire et de la bonne force musculaire du patient ⁽¹⁾. La réalisation d'un mouvement de squat en maintenant une bonne posture, une flexion modérée du tronc et un alignement correct des genoux permet de s'assurer de ces deux points ⁽¹⁶⁾.

Effectuer des exercices pliométriques en milieu aquatique permet de réduire les impacts sur le système musculo-squelettique. En effet, la poussée d'Archimède diminue le poids apparent et donc la force de réaction au sol ⁽¹⁷⁻¹⁹⁾. Ainsi, plus le niveau d'eau est élevé, moins la force d'impact est élevée. Elle est par exemple quasiment réduite de moitié avec une hauteur d'eau au niveau du processus xiphoïde (Figure 2) ⁽¹⁴⁾. Il n'est ainsi pas étonnant de n'observer aucune augmentation du taux de créatine phospho-kinase dans le sang suite à une séance de pliométrie effectuée dans l'eau, alors que ce dernier augmente suite à une séance similaire effectuée à sec ⁽²⁰⁾. La créatine phospho-kinase étant un marqueur inflammatoire produit en réponse à des dommages musculaires ⁽²¹⁾, il n'est dès lors pas surprenant de retrouver moins de douleurs musculaires 48 h après une séance de pliométrie réalisée dans l'eau versus au sol ⁽⁷⁾. En plus de diminuer les impacts, la résistance hydrodynamique diminue la vitesse des membres en mouvement ^(7, 22). Ensemble, ces propriétés diminuent les contraintes de charge et de vitesse et permettent donc d'introduire progressivement la pliométrie tout en diminuant le risque de douleurs ou de blessures ⁽²³⁾. Cependant, une diminution des contraintes de charge et de vitesse lors de la phase excentrique pourrait aussi diminuer l'efficacité de l'exercice puisque c'est lors de cette phase du cycle étirement-raccourcissement que l'on retrouve les différents mécanismes d'augmentation de la force ^(1, 2, 4).

A ce jour, et à notre connaissance, aucune revue de la littérature n'a exploré l'influence du milieu aquatique sur l'efficacité d'un programme d'exercices pliométriques. L'objectif de cette revue de

la littérature était donc de déterminer si la hauteur de saut vertical évoluait différemment à la suite d'un programme d'entraînements pliométriques réalisés dans l'eau versus au sol chez l'adulte sain. Au regard des propriétés de l'eau (c'est-à-dire la poussée d'Archimède et la résistance hydrodynamique), l'hypothèse était émise que la pliométrie dans l'eau serait moins efficace que la pliométrie au sol pour améliorer la hauteur de saut vertical.

Méthodes

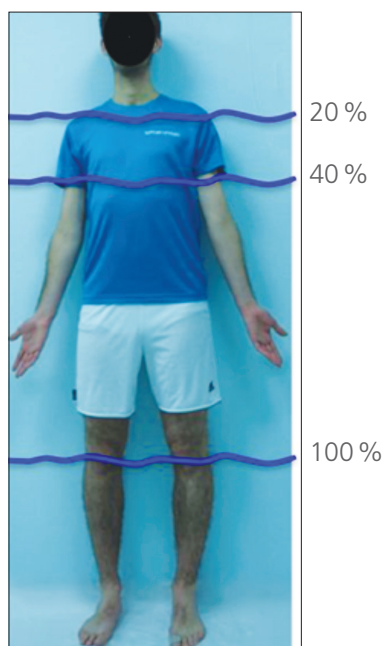
Cette étude est une revue quantitative et narrative de la littérature.

Stratégie de recherche

Les bases de données PEDro, PubMed, Cinahl et Embase ont été consultées jusqu'en juin 2015. Une recherche complémentaire a ensuite été effectuée sur Google Scholar et en consultant les références bibliographiques des articles sélectionnés. L'élaboration des équations de recherche, a été faite à partir d'une liste de mots clés correspondants aux types d'exercice et aux environnements en lien avec la question de recherche. A partir de ces mots clés, une recherche de mots descripteurs (c'est-à-dire Mesh pour PubMed, thésaurus pour Cinahl, et Emtree pour Embase) a été effectuée. Lorsqu'il n'existait pas de mot descripteur, les mots clés ont été utilisés. Pour élaborer l'équation de recherche, les termes ont été liés par les opérateurs booléens AND et OR (Tableau 1).

Critères de sélection des articles

Pour être incluses dans cette revue, les études devaient comparer un groupe effectuant un programme de pliométrie dans l'eau avec un groupe effectuant un programme similaire au sol. Les hauteurs des sauts verticaux pré- et post-intervention devaient figurer dans les résultats. Les sujets devaient être adultes



> Figure 2: poids apparent selon le niveau d'eau

Bases de données	Mots descripteurs ou mots clés		Equations de recherche
	Types d'exercices	Environnements	
PEDro	plyometric	aquatic	aquatic plyometric
PubMed	«plyometric exercise»[Mesh]; jump*; «stretch-shortening cycle»; ssc; «stretch-shortening exercise»; «vertical jump»	«swimming pools»[Mesh]; aquatic; «water exercise»	(«plyometric exercise»[Mesh] OR jump* OR «stretch-shortening cycle» OR «stretch-shortening exercise» OR ssc) AND («swimming pools»[Mesh] OR aquatic OR «water exercise» AND («vertical jump»))
Cinahl	MH plyometrics; MH jumping; MH aquatic exercise; stretch shortening; ssc; aquatic plyom*	water; land	(water) AND (land) AND (MH plyometrics OR MH jumping OR MH aquatic exercise OR stretch shortening OR ssc OR aquatic plyom*)
Embase	«plyometrics»/exp; «stretch-shortening»; «ssc»; «jumping»/exp	«swimming pool»/exp; «aquatic exercise»/exp; «aquatic plyometric»	(«plyometrics»/exp OR «stretch-shortening» OR «ssc» OR «jumping»/exp) AND («swimming pool»/exp OR «aquatic exercise»/exp OR «aquatic plyometric»)
Google Scholar	plyometric; vertical jump performance	aquatic; land	aquatic plyometric AND land plyometric AND vertical jump performance

> Tableau 1: classification des descripteurs ou mots clés et des équations de recherche utilisées pour chaque base de données

et être exempts de pathologie ou de blessure. La langue utilisée devait être l'anglais ou le français. La date d'édition de l'étude n'avait pas d'influence sur les critères de sélection. Finalement, la qualité des articles a été évaluée à l'aide de la grille d'analyse du *Joanna Briggs Institute* (JBI) ⁽²⁴⁾. Cette dernière permet notamment d'évaluer différents designs d'études quantitatives telles que les études de type *randomised control trial* (RCT) ou pseudo-RCT (c'est-à-dire utilisation d'une méthode d'allocation alternative ou d'une autre méthode non-aléatoire). L'utilisation de la grille avait pour but d'évaluer la qualité des études et de mettre en avant les différents biais possibles tels que le biais de sélection, le biais de performance, le biais d'attribution et le biais de détection ⁽²⁴⁾. Il est à noter que le point « *Were participants blinded to treatment allocation?* » de la grille n'était pas applicable aux études trouvées pour cette revue.

Récolte des données et analyse

Lors de l'extraction des données, les moyennes et écart-types des hauteurs de saut pré- et post-intervention ont été converties en centimètre (cm). Dans une étude ⁽²⁵⁾, les résultats étaient présentés uniquement sous forme de diagramme. Les valeurs ont donc été extraites manuellement à l'aide d'une règle millimétrique. Par la suite, les résultats ont été présentés sous forme de pourcentages d'amélioration de la hauteur de saut entre avant et après l'intervention.

Dans les études, les profondeurs d'eau étaient présentées soit sous la forme d'une hauteur en cm, soit sous la forme d'un repère anatomique (p.ex. processus xiphoïde). Afin de faciliter la lecture des résultats, toutes les profondeurs en cm ont été

converties sous la forme de repères anatomiques. Pour faire la conversion, la profondeur de l'eau a été divisée par la taille moyenne des participants afin d'obtenir le pourcentage d'immersion. Ce dernier a permis d'estimer à quel niveau anatomique se situait l'eau ⁽¹⁸⁾.

Résultats

Résultats de la recherche

La recherche a permis d'identifier 277 articles dans les différentes bases de données et deux dans les bibliographies des articles. Suite à l'application des critères d'inclusion et d'exclusion et du retrait des doublons, six articles ont été retenus ^(7, 25-29). L'évaluation de la qualité de ces derniers a permis de supprimer une étude car les items 1 et 6 manquaient de précision avec des abandons conséquents de sujets et une manipulation des groupes intervention et contrôle ⁽²⁹⁾. Ainsi, cinq articles ont été retenus : trois RCT ⁽²⁵⁻²⁷⁾ et deux de type randomisé sans groupe contrôle ^(7, 28).

Qualité et caractéristiques des études incluses

Les résultats de l'évaluation de la qualité des articles sont présentés dans le **Tableau 2**. Pour les cinq études retenues, une réponse positive a pu être attribuée à la majorité des neuf items applicables, ce qui n'était pas le cas pour l'étude de *Shaffer* qui n'a pas été retenue.

Les études sélectionnées incluaient en moyenne des sujets âgés entre 19 ⁽²⁶⁾ et 24 ans ⁽²⁵⁾. Une étude était composée de basket-

Questions de la grille JBI	Arazi ⁽⁶⁾	Jurado Lavanant ⁽²⁸⁾	Ploeg ⁽²⁷⁾	Robinson ⁽⁷⁾	Schaffer ⁽²⁹⁾	Stemm ⁽²⁵⁾
1. Was the assignement to treatment groups Yes truly random ?	Yes	Un.	Yes	Yes	Un.	Yes
2. Were participants blinded to treatment allocation ?	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3. Was allocation to treatment groups concealed from the allocator ?	Un.	Un.	No	Un.	Un.	Un.
4. Were the outcomes of people who withdrew described and included in the analysis ?	NA	NA	Un.	Un.	No	NA
5. Were those assessing outcomes blind to the treatment allocation ?	Un.	No	No	No	No	No
6. Were the control and treatment groups comparable at entry ?	Un.	Yes	Un.	Yes	No	Un.
7. Were groups treated identically other than for the named interventions ?	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
8. Were outcomes measured in the same way for all groups ?	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
9. Were outcomes measured in a reliable way ?	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
10. Was appropriate statistical analysis used ?	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

> Tableau 2 : évaluation de la qualité des articles selon la grille d'analyse du Joanna Briggs Institute ⁽²⁴⁾

Abréviations : NA, *not applicable* ; Un., *unclear*.

teurs semi-professionnels ⁽²⁶⁾, trois de sujets actifs ^(7, 25, 28) et une de personnes non-entraînées ⁽²⁵⁾. Le nombre de sujets allait de 18 ⁽²⁶⁾ à 39 ⁽²⁷⁾ (Tableau 3).

Sur les cinq études obtenues, deux avaient une durée de huit semaines comprenant trois interventions hebdomadaires ^(7, 26) et trois avaient une durée de six semaines avec deux inter-

Auteur	Genre	N	Age	Niveau d'activité physique
Arazi ⁽⁶⁾	Hommes	18	18.8 ± 1.5	Basketteurs semi-professionnels
Jurado Lavanant ⁽²⁸⁾	Non spécifié	24	21.2 ± 2.7	Etudiants en éducation sportive
Ploeg ⁽²⁷⁾	Hommes	16	21.8 ± 2.3	Non-entraînées
	Femmes	23	22.4 ± 3.5	Non-entraînés
Robinson ⁽⁷⁾	Femmes	31	20.2 ± 0.3	Actifs physiquement (≥ 30min, ≥ 3/sem.)
Stemm ⁽²⁵⁾	Hommes	21	24.0 ± 2.5	Actifs physiquement

› Tableau 3 : caractéristiques de la population des études sélectionnées (moyennes ± écarts types)

Sem.	Auteur	Séances /sem.	Sauts /séance	Programme	Pause
1	Robinson ⁽⁷⁾	3	ND	3-5×10-20 10 exercices de sauts	ND
	Arazi ⁽⁶⁾	3	117	3×15 AJ ; 3×8 SM ; 3×8 SJ ; 3×8 SD	1' / 5'
	Jurado Lavanant ⁽²⁸⁾	2	100	10×10 CMJ	1'
	Ploeg ⁽²⁷⁾	2	90	2×15 SSAH ; 2×15 SJR ; 6×5 FCH	ND
	Stemm ⁽²⁵⁾	2	135	3×15 SJ ; 3×15 SH ; 3×15 TJ	1'
2	Robinson	3	ND+	3-5×10-20 10 exercices de sauts	ND
	Arazi	3	132	3×17 AJ ; 3×9 SM ; 3×9 SJ ; 3×9 SD	1' / 5'
	Jurado Lavanant	2	150	10×15 CMJ	1'
	Ploeg	2	120	2×15 SSAH ; 2×15 SLJ ; 6×5 LJB ; 8×3 DLH ; 2×12 LCH	ND
	Stemm	2	135	3×15 SJ ; 3×15 SH ; 3×15 TJ	1'
3	Robinson	3	ND	3-5×10-20 10 exercices de sauts	ND
	Arazi	3	147	3×19 AJ ; 3×10 SM ; 3×10 SJ ; 3×10 SD	1' / 5'
	Jurado Lavanant	2	200	10×20 CMJ	1'
	Ploeg	2	120	2×12 SSAH ; 2×12 SLJ ; 6×4 LJB ; 8×3 DLH ; 2×12 LCH	ND
	Stemm	2	135	3×15 SJ ; 3×15 SH ; 3×15 TJ	1'
4	Robinson	3	ND	3-5×10-20 10 exercices de sauts	ND
	Arazi	3	165	3×22 AJ ; 3×11 SM ; 3×11 SJ ; 3×11 SD	1' / 5'
	Jurado Lavanant	2	250	10×25 CMJ	1'
	Ploeg	2	140	2×12 SLB ; 3×10 SLJ ; 8×4 LJB ; 3×10 LCH ; 4×6 TJ	ND
	Stemm	2	135	3×15 SJ ; 3×15 SH ; 3×15 TJ	1'
5	Robinson	3	ND+	3-5×10-20 10 exercices de sauts	ND
	Arazi	3	132	3×17 AJ ; 3×9 SM ; 3×9 SJ ; 3×9 SD	1' / 5'
	Jurado Lavanant	2	300	10×30 CMJ	5> / 1'
	Ploeg	2	140	2×10 SLB ; 2×10 JB ; 6×3 DLH ; 2×12 LCH ; 6×5 TJ ; 3×10 LJB	ND
	Stemm	2	135	3×15 SJ ; 3×15 SH ; 3×15 TJ	1'
6	Robinson	3	ND	3-5×10-20 10 exercices de sauts	ND
	Arazi	3	147	3×19 AJ ; 3×10 SM ; 3×10 SJ ; 3×10 SD	1' / 5'
	Jurado Lavanant	2	350	10×35 CMJ	1'
	Ploeg	2	120	2×10 JB ; 4×5 DJ ; 6×3 DLH ; 2×10 LCH ; 4×5 TJ ; 2×10 LJSL	ND
	Stemm	2	135	3×15 SJ ; 3×15 SH ; 3×15 TJ	1'
7	Robinson	3	ND	3-5×10-20 10 exercices de sauts	ND
	Arazi	3	165	3×22 AJ ; 3×11 SM ; 3×11 SJ ; 3×11 SD	1' / 5'
8	Robinson	3	ND	3-5×10-20 10 exercices de sauts	ND
	Arazi	3	183	3×25 AJ ; 3×12 SM ; 3×12 SJ ; 3×12 SD	1' / 5'

› Tableau 4 : protocoles d'entraînement pliométriques utilisés par les études sélectionnées

Abréviations: AJ, ankle jump ; CMJ, counter-movement jump ; DJ, depth jump ; DLH, double leg hops ; FCH, front cone hops ; JB, jump to box ; LCH, lateral cone hope ; LJB, lateral jump over barrier ; LJSL, lateral jump single leg ; ND, information non disponible ; SD, skipping drill ; Sem., semaine ; SH, side hops ; SJ, squat jump ; SJR, standing jump and reach ; SLB, single leg bounding ; SLJ, standing long jump ; SM, speed marching ; SSAH, side to side ankle hops ; TJ, tuck jump ; +, augmentation du volume.

ventions hebdomadaires (25, 27, 28). A l'exception de l'étude de *Robinson et al.* (7), les protocoles d'exercices étaient présentés de manière détaillée (Tableau 4).

Quatre hauteurs d'eau différentes ont été utilisées pour réaliser la pliométrie en milieu aquatique: au niveau des genoux dans une étude (25), du processus xiphoïde dans une étude (27), du thorax dans deux études (7, 26) et des clavicules dans une étude (28).

Une étude a évalué l'évolution du SJ mesuré à l'aide d'un test de Sargent (7), trois études ont suivi l'évolution du CMJ mesuré à l'aide du Vertec (25-27) et une étude a évalué l'évolution des deux types de saut à l'aide d'une plateforme de force (28).

Résultat des études

Le Tableau 5 résume les hauteurs de sauts et les pourcentages d'amélioration obtenus dans chaque étude sélectionnée.

L'étude d'*Arazi et al.* (26) a montré une amélioration de 30 % ($p < 0.05$) de la hauteur du CMJ suite à l'intervention dans l'eau et de 29 % ($p < 0.05$) suite à une intervention comparable réalisée au sol, alors que le groupe contrôle ne s'est pas significativement amélioré. Les hauteurs de saut atteintes par les deux groupes interventions après l'intervention n'étaient pas significativement différentes entre elles. Elles étaient, en revanche, significativement supérieures à celle du groupe contrôle.

L'étude de *Jurado Lavanant et al.* (28) n'a pas trouvé d'augmentation significative des hauteurs du CMJ et du SJ suite à l'intervention dans l'eau, mais une amélioration de respectivement 8 % ($p < 0.05$) et 6 % ($p < 0.05$) suite à l'intervention au sol. Cependant, les hauteurs réalisées par les deux groupes après l'intervention n'étaient pas significativement différentes entre elles.

Ploeg et al. (27), n'ont retrouvé aucun changement significatif de la hauteur de saut du CMJ suite à l'intervention dans l'eau, au sol et dans le groupe contrôle. Les hauteurs réalisées par les groupes après l'intervention n'étaient pas significativement différentes entre elles.

L'étude de *Robinson et al.* (7) a montré une amélioration de 34 % ($p < 0.05$) de la hauteur du SJ suite à l'intervention dans l'eau et de 33 % ($p < 0.05$) suite à une intervention comparable réalisée au sol. Les hauteurs de saut atteintes par les deux groupes interventions après l'intervention n'étaient pas significativement différentes entre elles.

Finalement, *Stemm et Jacobson* (25) ont rapporté une amélioration de 7 % ($p < 0.05$) de la hauteur du CMJ suite à l'intervention dans l'eau et de 8 % ($p < 0.05$) suite à une intervention comparable réalisée au sol, alors que le groupe contrôle ne s'est pas significativement amélioré. Les hauteurs de saut atteintes par les deux groupes interventions après l'intervention n'étaient pas significativement différentes entre elles. Elles étaient, en revanche, significativement supérieures à celle du groupe contrôle.

Discussion

Cette revue présente l'évolution de la hauteur de saut obtenue par cinq études ayant toutes comparé une intervention pliométrique réalisée dans l'eau à une intervention comparable réalisée au sol.

Influence du milieu aquatique sur l'entraînement pliométrique

Après intervention, les cinq études retenues dans cette revue, ont reporté des hauteurs de saut comparables entre les groupes pliométrie au sol et dans l'eau (7, 25-28). Suite à l'intervention dans l'eau, trois études ont retrouvé des améliorations significatives allant en moyenne de 4.5 à 13.5 cm (7, 25, 26), alors que suite à l'intervention au sol, quatre études ont montré des augmentations significatives de la hauteur comprises entre 2.0 et 13.0 cm (7, 25, 26, 28). Les deux études ayant obtenu les plus importantes progressions se déroulaient sur huit semaines avec trois séances hebdomadaires (7, 26), ce qui représente au total deux fois plus de séances que les trois autres études et pourraient expliquer les différences de progrès obtenues entre ces études (cf. partie limitations et aspects méthodologiques des études sélectionnées).

Les mécanismes qui pourraient expliquer l'évolution comparable entre les deux groupes ne sont pas clairs. Dans l'eau, on

Auteur	Sauts	Eau			Sol			Contrôle		
		Pré-(cm)	Post-(cm)	Delta (%)	Pré-(cm)	Post-(cm)	Delta (%)	Pré-(cm)	Post-(cm)	Delta (%)
Arazi (6)	CMJ	44.3	57.8*†	↗ 30.5	44.3	57.3*†	↗ 29.3	47.6	47.1	↘ 1.1
Jurado Lavanant (28)	CMJ	38.0 ± 7.0	39.0 ± 8.0	↗ 2.6	36.0 ± 6.0	39.0 ± 3.0*	↗ 8.3			
	SJ	36.0 ± 7.0	38.0 ± 7.0	↗ 5.5	35.0 ± 5.0	37.0 ± 3.0*	↗ 5.7			
Ploeg (27)	CMJ	45.7 ± 11.3	46.0 ± 12.8	↗ 0.6	49.4 ± 13.2	48.1 ± 13.9	↘ 2.6	43.9 ± 9.2	46.5 ± 8.5	↗ 5.9
Robinson (7)	SJ	31.9 ± 1.6	42.6 ± 1.9*	↗ 33.5	32.6 ± 1.7	43.2 ± 1.7*	↗ 32.5			
Stemm (25)	CMJ	69.0 ± 3.4	73.5 ± 2.7*†	↗ 6.5	66.8 ± 3.2	72.0 ± 2.8*†	↗ 7.8	62.4 ± 3.4	63.4 ± 2.6	↗ 1.6

› Tableau 5: moyennes ± écarts types des hauteurs de saut vertical pré- et post-intervention

* pour les différences significatives ($p < 0.05$) avec le test pré-intervention,

† pour les différences significatives ($p < 0.05$) avec le groupe contrôle.

peut observer une augmentation du temps total d'un CMJ de ~0.20 s, avec en particulier une augmentation de la durée de la phase excentrique⁽³⁰⁾. Cette augmentation du temps de charge est accompagnée d'une force de réaction au sol diminuée de ~33-54%^(14, 30). Par conséquent, cela diminue la stimulation du cycle-étirement raccourcissement et a donc un effet négatif sur la performance de saut⁽³¹⁾. En revanche, lors de la phase de propulsion dans l'eau, on peut observer une augmentation du pic de force concentrique de ~19-54% par rapport à un saut au sol^(13, 14). On pourrait ainsi émettre l'hypothèse que si, dans l'eau, la phase excentrique contribuerait faiblement à l'amélioration de la hauteur de saut, la phase concentrique y contribuerait de manière importante.

Un autre élément qui pourrait expliquer les améliorations observées à la suite d'un programme pliométrique dans l'eau malgré la diminution du rôle de la phase de charge pourrait être le raccourcissement de la durée de la phase couplage⁽³²⁾. En effet, plus cette phase est courte plus l'utilisation de l'énergie stockée est importante et plus la phase de propulsion est efficace et puissante⁽³³⁾.

Enfin, la réalisation d'un programme pliométrique dans l'eau pourrait avoir un impact positif au niveau du système nerveux. Lors d'un exercice pliométrique la décharge corticale est conséquente dû à l'intensité élevée imposée par l'exercice⁽³⁾. Il est envisagé que, malgré une intensité diminuée due aux propriétés de l'eau, cette décharge corticale ne soit pas diminuée lorsque la pliométrie est réalisée en milieu aquatique. En effet, ce milieu engendre des difficultés à maintenir son équilibre, ce qui entraîne un travail proprioceptif et de coordination plus conséquent⁽³²⁾.

Limitations et aspects méthodologiques des études sélectionnées

La grille d'évaluation de la qualité des articles (Tableau 2) a permis d'attribuer une majorité de réponses positives à l'item 1, ce qui indique un biais de sélection limité. L'item 2 était lui non-applicable puisque le milieu dans lequel les interventions étaient réalisées ne pouvait être caché aux sujets. Un biais de suivi ne peut pas être écarté au regard de la majorité de réponses négatives ou pas claires attribuées aux items 2 à 6. Finalement, une réponse positive a pu être donnée à toutes les études sélectionnées pour les items 8 à 10, ce qui démontre un risque minimum de biais de mesure. En résumé, ces résultats montrent que les études sélectionnées avaient une qualité homogène entre elles et suffisante pour être utilisées.

Les cinq articles sélectionnés avaient tous des programmes pliométriques différents (Tableau 4) rendant la synthèse des résultats difficile. Premièrement, l'intensité des exercices qui est définie par la force de réaction au sol est différente selon les études⁽³⁰⁾. Il est possible d'estimer l'intensité de l'exercice en fonction du type de saut^(16, 27, 32, 34, 35). Si l'on compare les programmes proposés: Ploeg et al.⁽²⁷⁾ avaient le protocole d'exercice le plus intense sans toutefois obtenir une progression significative. Jurado Lavanant et al.⁽²⁸⁾ avaient un protocole d'exercice de faible intensité basé uniquement sur des CMJ⁽³⁵⁾ qui a permis une augmentation significative de la hauteur de saut uniquement au sol. Arazi et al.⁽²⁶⁾ et Stemm et

Jacobson⁽²⁵⁾ utilisaient des exercices d'intensité faible à modérée, qui a entraîné des progrès significatifs dans les deux groupes. Finalement, l'étude de Robinson et al.⁽⁷⁾ ne fournissait pas suffisamment de détails sur ses exercices pour permettre une interprétation de l'intensité qui a permis d'engendrer une amélioration importante dans les deux groupes. À la vue de ces résultats, il semble difficile de pouvoir mettre en avant des niveaux d'intensités plus susceptibles d'améliorer les performances de sauts que d'autres. Ce d'autant plus qu'un autre point a influencé directement l'intensité des exercices: la hauteur de l'eau. En effet, plus le sujet est immergé, plus son poids apparent diminue, ce qui diminue la force d'impact au sol et donc l'intensité de l'exercice. On retrouve, dans cette revue, une immersion allant des genoux⁽²⁵⁾, correspondant à près de 100% du poids apparent⁽¹⁸⁾ aux clavicules⁽²⁸⁾, correspondant à un poids apparent de 20%⁽¹⁸⁾ (Figure 2). Ainsi dans le premier cas, les conditions de force d'impact étaient quasi similaires à celles obtenues au sol, alors que dans le second les conditions de force d'impact étaient fortement diminuées, engendrant ainsi une augmentation importante de la durée de la phase de charge⁽³⁰⁾.

Deuxièmement, la durée et la fréquence des séances n'étaient pas comparables. Deux études avaient une durée de huit semaines avec trois séances par semaine^(7, 26) et trois études avaient une durée de six semaines avec deux sessions par semaine^(25, 27, 28). Les deux études ayant obtenu les résultats les plus importants ont donc dispensés deux fois plus de séances que les trois autres études. Ce point pourrait expliquer les différences de progrès importantes entre les études. Cependant, il est intéressant d'observer que, quel que soit la durée des interventions, cette dernière ne semble pas avoir d'influence sur le résultat principal de cette revue, à savoir que les hauteurs de saut mesurées à la suite des interventions étaient comparables entre les groupes ayant réalisé la pliométrie dans l'eau et au sol.

Enfin, le niveau d'activité physique des sujets était hétérogène avec un niveau allant de faible⁽²⁷⁾ à élevé⁽²⁶⁾. Cela a pu générer des différences dans la capacité à pratiquer les exercices de pliométrie. En effet, selon Martel et al.⁽³⁶⁾, les personnes entraînées ont de meilleures adaptations avec moins de travail. Ceci pourrait par exemple expliquer le manque de résultats obtenu par Ploeg et al.⁽²⁷⁾ sur des sujets non-entraînés.

Implications cliniques

La pliométrie est un exercice fonctionnel utile en rééducation pour préparer le retour au sport^(1, 2). On retrouve par exemple ce type d'exercices dans les protocoles de rééducation post-rupture du ligament croisé antérieur⁽¹⁵⁾. Sachant que la pliométrie au sol soumet le système musculo-squelettique à de fortes contraintes, la réaliser en milieu aquatique revêt un intérêt supplémentaire lors de la rééducation. En effet, la poussée d'Archimède permet de diminuer la force de réaction au sol et par conséquent les contraintes sur les membres inférieurs^(14, 17-19, 30). Malgré cette diminution des contraintes imposées aux membres inférieurs, les résultats de cette revue de la littérature ont montré que de réaliser un programme de pliométrie dans l'eau est aussi efficace qu'un programme similaire réalisé au sol pour améliorer la performance au saut vertical.

Le milieu aquatique permet donc d'introduire progressivement des interventions pliométriques efficaces tout en pouvant contrôler l'intensité de l'exercice en modifiant le niveau d'eau. Il permet également de pratiquer des mouvements spécifiques aux sports en minimisant les surcharges articulaires, ce qui pourrait ainsi potentiellement permettre de diminuer le risque de douleurs et d'appréhensions futures.

Les résultats de cette revue suggèrent que pour obtenir des résultats probants, l'intervention doit être suffisamment longue (c'est-à-dire > 6 semaines) et que trois séances par semaines paraissent appropriées. Ceci est en accord avec *de Villarreal et al.* (37), qui proposent une durée de 10 semaines avec un total de plus de 20 sessions pour améliorer la performance de saut.

Enfin, les résultats de cette revue ont été obtenus sur des sujets sains. Il faut donc bien évidemment tenir compte du statut du patient lors de l'utilisation de la pliométrie dans un contexte de rééducation. Ce statut, en plus des objectifs de la séance, déterminera également le choix des exercices. Mais selon *Davies, Riemann et Manske* (33), les exercices suivants sont principalement recommandés pour améliorer la hauteur de saut vertical : le SJ, le split squat jump (SSJ), le bounding, le CMJ, le tuck jump (TJ), le depth jump (DJ) et le single leg jump (SLJ) (Figure 1).

Conclusion

L'objectif de cette revue de la littérature était de déterminer si la hauteur de saut vertical évoluait différemment à la suite d'un programme d'entraînement pliométriques réalisés dans l'eau versus sur sol chez l'adulte sain. Les résultats des cinq recherches sélectionnées ont permis de constater qu'il n'y avait pas, suite aux interventions, de différence significative entre les groupes ayant réalisé la pliométrie dans l'eau et au sol. Plus de la moitié des études ont montré une amélioration significative de la hauteur de saut suite au protocole dans l'eau. De plus, cette amélioration était accompagnée d'une augmentation de la force musculaire (6, 7, 20) et la vitesse de sprint (6, 7).

La pliométrie dans l'eau apparaît donc comme un outil intéressant pour les physiothérapeutes, puisqu'elle permet d'obtenir des résultats similaires à une pratique sur le sol, tout en engendrant significativement moins de contraintes sur le système musculo-squelettique.

Implications pour la pratique

- La pliométrie permet d'augmenter la force, la puissance et améliore la coordination inter- et intra-musculaire
- L'efficacité d'un programme pliométrique peut être évaluée par la hauteur de saut vertical.
- Un programme pliométrique dans l'eau permet une amélioration similaire de hauteur de saut qu'un programme de pliométrie identique au sol.
- Effectuer la pliométrie en milieu aquatique permet de diminuer les contraintes sur le système musculo-squelettique par rapport à la pratique à sec.

Contact

Alexandre Duperrex
Cabinet de physiothérapie Simic
Chemin du Viaduc 1
1008 Prilly
+41 79 407 53 66

dups_086@hotmail.com

Références

1. Chmielewski TL, Myer GD, Kauffman D, Tillman SM. Plyometric exercise in the rehabilitation of athletes: physiological responses and clinical application. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2006;36(5):308-19.
2. Cometti G, Cometti D. La pliométrie : méthodes, entraînement et exercices. Paris: Chiron; 2012. 299 p. p.
3. Markovic G, Mikulic P. Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Med.* 2010;40(10):859-95.
4. Bosco C, Komi PV, Ito A. Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiol Scand.* 1981;111(2):135-40.
5. Lehnert M, Hulka K, Maly T, Fohler J, Zahalka F. The effects of a 6 week plyometric training programme on explosive strength and agility in professional basketball players. *Acta Gymnica.* 2013;43(4):7-15.
6. Arazi H, Asadi A. The effect of aquatic and land plyometric training on strength, sprint, and balance in young basketball players. *Journal of Human Sport and Exercise.* 2011;6(1):101-11.
7. Robinson LE, Devor ST, Merrick MA, Buckworth J. The effects of land vs. aquatic plyometrics on power, torque, velocity, and muscle soreness in women. *J Strength Cond Res.* 2004;18(1):84-91.
8. Markovic G. Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. *Br J Sports Med.* 2007;41(6):349-55; discussion 55.
9. Munro BH, Aroian KJ. Statistical methods for health care research. 5th ed. Philadelphia: Lippincott William & Wilkins; 2005. 494 p. + p.
10. Nuzzo JL, Anning JH, Scharfenberg JM. The reliability of three devices used for measuring vertical jump height. *J Strength Cond Res.* 2011;25(9):2580-90.
11. Buckthorpe M, Morris J, Folland JP. Validity of vertical jump measurement devices. *J Sports Sci.* 2012;30(1):63-9.
12. Markovic G, Dizdar D, Jukic I, Cardinale M. Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *J Strength Cond Res.* 2004;18(3):551-5.
13. Colado JC, Garcia-Masso X, Gonzalez LM, Triplett NT, Mayo C, Merce J. Two-leg squat jumps in water: an effective alternative to dry land jumps. *Int J Sports Med.* 2010;31(2):118-22.
14. Triplett NT, Colado JC, Benavent J, Alakhdar Y, Madera J, Gonzalez LM, et al. Concentric and impact forces of single-leg jumps in an aquatic environment versus on land. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(9):1790-6.
15. locomoteur Ddla. Guide de prise en charge après reconstruction du Ligament Croisé Antérieur (LCA) du genou. Lausanne: CHUV; 2015.
16. Chu DA, Myer GD. Plyometrics. Champaign: Human Kinetics; 2013. 242 p. p.

17. Becker BE. Aquatic therapy: scientific foundations and clinical rehabilitation applications. *PM & R : the journal of injury, function, and rehabilitation*. 2009;1(9):859-72.
18. Collot S, Griveaux H. Principes physiques en balnéothérapie. *Kinésithérapie, la revue*. 2007;7(70):21-7.
19. Wicker A. Sport-specific aquatic rehabilitation. *Curr Sports Med Rep*. 2011;10(2):62-3.
20. Shiran MY, Kordi MR, Ziaee V, Ravasi AA, Mansournia MA. The Effect of Aquatic and Land Plyometric Training on Physical Performance and Muscular Enzymes in Male Wrestlers. *Res J Biol Sci*. 2008;3(5):457-61.
21. Tofas T, Jamurtas AZ, Fatouros I, Nikolaidis MG, Koutedakis Y, Sinouris EA, et al. Plyometric exercise increases serum indices of muscle damage and collagen breakdown. *J Strength Cond Res*. 2008;22(2):490-6.
22. Miyama M, Nosaka K. Protection against muscle damage following fifty drop jumps conferred by ten drop jumps. *J Strength Cond Res*. 2007;21(4):1087-92.
23. Irvin JE, Johnson AA. Aquatic dynamics: A sport specific supplemental physical conditioning program. *The Journal of Aquatic Physical Therapy*. 2000;8:10-2.
24. Lockwood C, Sfetcu R, Oh EG. Synthesizing quantitative evidence. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2011. 76 p. p.
25. Stemm JD, Jacobson BH. Comparison of land- and aquatic-based plyometric training on vertical jump performance. *J Strength Cond Res*. 2007;21(2):568-71.
26. Arazi H, Coetzee B, Asadi A. Comparative effect of land- and Aquatic-based plyometric training on jumping ability and Agility of young basketball players. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*. 2012;34(2):1-14.
27. Ploeg AH, Miller MG, Holcomb WR, O'Donoghue J, Berry DC, Dibbet TJ. The Effects of High Volume Aquatic Plyometric Training on Vertical Jump, Muscle Power, and Torque International Journal of Aquatic Research and Education. 2010;4(1):39-48.
28. Jurado Lavanant A, Fernández García JC, Alvero Cruz JR. Entraînement pliométrique aquatique. *Sci Sports*. 2013;28(2):88-93.
29. Schaffer JD. The effects of a six-week land-based and aquatic-based plyometric training program on power, peak torque, agility, and muscle soreness. Morgantown, West Virginia: West Virginia University 2007.
30. Ebben W, Flanagan E, Sansom J, Petushek E, Jensen R. Ground reaction forces of variations of plyometric exercises on hard surfaces, padded surfaces and in water. 28 International Conference On Biomechanics In Sports; 19-23 July; Marquette, Michigan, USA2010.
31. Ebben WE, Blackard DQ, Jensen RL. Quantification of Medicine Ball Vertical Impact Forces: Estimating Effective Training Loads. *J Strength Cond Res*. 1999;13(3):271-4.
32. Miller MG, Berry DC, Bullard S, Gilders R. Comparisons of Land-Based and Aquatic-Based Plyometric Programs During an 8-Week Training Period *J Sport Rehabil*. 2002;11(4):268-83.
33. Davies G, Riemann BL, Manske R. Current Concepts of Plyometric Exercise. *International journal of sports physical therapy*. 2015;10(6):760-86.
34. Miller MG, Berry DC, Gilders R, Bullard S. Recommendations for Implementing an Aquatic Plyometric Program. *Strength Cond J*. 2001;23(6):28-35.
35. Donoghue OA, Shimojo H, Takagi H. Impact forces of plyometric exercises performed on land and in water. *Sports health*. 2011;3(3):303-9.
36. Martel GF, Harmer ML, Logan JM, Parker CB. Aquatic plyometric training increases vertical jump in female volleyball players. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37(10):1814-9.
37. de Villarreal ES, Kellis E, Kraemer WJ, Izquierdo M. Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: a meta-analysis. *J Strength Cond Res*. 2009;23(2):495-506.