

ORIGINALE ARTICLE

# Place de la réalité virtuelle dans la rééducation de l'épaule: une étude préliminaire

EXERCISE IS MEDICINE



**Tooth Camille<sup>1,2</sup>, Schwartz Cédric<sup>1</sup>, Croisier Jean-Louis<sup>1,2</sup>, Forthomme Bénédicte<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Laboratoire d'Analyse du Mouvement Humain, Université de Liège, Liège, Belgique

<sup>2</sup> Département des Sciences de la Motricité, Université de Liège, Liège, Belgique

## Résumé

Des technologies en tout genre ont fait leur apparition ces dernières années dans le monde de la rééducation. Ludiques et interactifs, les dispositifs de réalité virtuelle permettraient à l'utilisateur de vivre des expériences proches de la réalité (réaliser en temps réel des tâches, anticiper ou réagir à des objets ou à des événements) à moindre coût et de façon beaucoup plus aisée et sécuritaire. L'objectif de cette étude

préliminaire est de présenter les résultats à court terme d'un protocole de rééducation en réalité virtuelle immersive sur les douleurs et la fonctionnalité chez de patients souffrant de troubles musculo-squelettiques de l'épaule. Quatre patients ont pris part à un protocole de 12 semaines de rééducation en réalité virtuelle, à raison de 2 séances par semaine. Des effets positifs en termes de douleur et de fonctionnalité (diminution entre 47 à 64% du score au questionnaire DASH) ont été rapportés au terme du traitement. D'un point de vue musculaire, une amélioration de la force isométrique maximale développée ainsi qu'une diminution des ratios trapèze supérieur/trapèze inférieur et trapèze supérieur/dentelé antérieur ont été observées. Des études futures permettront de confirmer (ou infirmer) l'intérêt de ce type de rééducation par rapport à des méthodes de traitement plus «classiques».

*Mots-clés:* épaule, technologie, rééducation, douleur, scapula.

## Abstracts

Technologies of all kinds have appeared recently in the world of rehabilitation. Playful and interactive, virtual reality devices would allow the user to live experiences close to reality (performing tasks in real time, anticipating or reacting to objects or events) at a lower cost as well as in a much easier and safe way. The objective of this preliminary study is to present the short-term results of an immersive virtual reality rehabilitation protocol on pain and functional in patients with shoulder musculoskeletal disorders. Four patients took part in a 12-week virtual reality rehabilitation protocol, with 2 sessions per week. Positive effects on pain and functionality (decrease from 47 to 64% in the DASH questionnaire score) have been reported at the end of the treatment. Concerning muscle strength and activity, an improvement in the maximum isometric force developed as well as a decrease in the upper trapezius/lower trapezius and upper trapezius/serratus anterior ratios were observed. Future studies will confirm (or invalidate) the value of this type of rehabilitation compared to «classical» treatment methods.

## Introduction

La dyskinésie scapulaire est bien souvent associée aux douleurs d'épaule [1,2]. Même si la présence d'une dyskinésie scapulaire peut être attribuée à de multiples causes (traumatiques, neurologiques, morphologiques etc...) [2–4], la plus fréquente reste la cause musculaire. En effet, un déséquilibre de force ou d'activation musculaire entre les muscles stabilisateurs de la scapula, comme par exemple une augmentation du ratio trapèze supérieur/trapèze inférieur (TS/TI), induit une modification de la cinématique scapulaire, avec pour conséquence une diminution de l'espace sous-acromial [5]. En marge des techniques de rééducation conventionnelles utilisées depuis de nombreuses années par les kinésithérapeutes, des outils technologiques sont apparus dans le domaine rééducatif ces dernières années. La rééducation en réalité virtuelle, immersive (par le biais d'un casque permettant une vision à 360°, avec système sonore intégré) ou non, est définie comme une expérience technologique destinée à simuler des tâches de la vie quotidienne dans un but rééducatif. De plus en plus populaire, elle apparaît toujours plus innovante tant en termes de dispositifs que d'exercices disponibles. Des effets bénéfiques ont été reportés au niveau mobilité et fonction, particulièrement dans le domaine neurologique (accident vasculaire cérébral, infirmité motrice cérébrale etc...) [6–8]. Néanmoins, l'intérêt de cette méthode de

rééducation dans le traitement des troubles musculo-squelettiques a été très peu débattu dans la littérature. En ce qui concerne l'épaule, Pekyavas et al. [9] ont comparé les effets d'un programme de réalité virtuelle (dispositif non-immersif) (Nintendo Wii, Kyoto, Japon) avec ceux d'un programme d'exercices à domicile chez 30 patients souffrant d'un conflit sous-acromial. Les résultats ont montré une amélioration plus nette en termes de fonctionnalité (mesurée au moyen du questionnaire «Shoulder Pain and Disability Index») et de sensibilité aux tests de provocation (Neer, scapular retraction test, scapular assistance test) dans le groupe ayant suivi une rééducation en réalité virtuelle par rapport au groupe contrôle. Néanmoins, l'intérêt et l'efficacité de ce type de rééducation doit encore largement être démontré, et davantage encore en ce qui concerne les systèmes immersifs dont l'éventuelle plus-value reste encore à explorer. Dès lors, l'objectif de cette étude préliminaire était de présenter les premiers résultats d'un protocole de rééducation en réalité virtuelle immersive sur les douleurs, la fonctionnalité et la force chez des patients souffrant de troubles musculo-squelettiques au niveau de l'épaule. De façon parallèle, l'impact de ce type de traitement sur l'activité musculaire péri-scapulaire a également été exploré.

## Matériel et méthodes

### 1) Participants

Quatre patients (âge moyen:  $27.7 \pm 11.7$  ans) ont pris part au protocole expérimental qui leur a été proposé (3 femmes et 1 homme). Ils décrivaient des douleurs d'épaule, d'origine non-traumatique, présentes depuis plus de 6 mois. Ces douleurs étaient associées à une dyskinésie scapulaire (mise en évidence au repos et lors de mouvements du bras au moyen des critères de McClure et al.) [12]. Néanmoins, ils étaient tous encore capables de travailler et/ou de maintenir une activité sportive malgré ces douleurs. Des tests de conflit (Neer, Yocum, Hawkins) ainsi que des tests tendineux (Jobe, Patte, Lift off, Palm-up) ont été réalisés afin d'apprécier le niveau de sensibilité de la coiffe chez ces patients. Au moins trois tests parmi ceux décrits préalablement étaient positifs chez chacun d'entre eux. Le «scapular assistance test» ainsi que le «scapular retraction test» étaient également tous deux positifs chez les quatre patients, attestant d'une influence de la scapula sur la symptomatologie du patient. Les données recueillies pour chaque patient en début de traitement figurent dans le *Tableau 1*.

Le protocole a été validé par le Comité d'Ethique Hospitalo-Facultaire de l'Université de Liège (Belgique). Tous les participants ont été informés concernant la nature et le déroulement des tests préalablement au début du protocole.

|                     | Patient 1  | Patient 2 | Patient 3  | Patient 4                            |
|---------------------|------------|-----------|------------|--------------------------------------|
| Age                 | 45 ans     | 20 ans    | 21 ans     | 25 ans                               |
| Travail             | Secrétaire | Etudiante | Etudiante  | Manutentionnaire                     |
| Sport               | Fitness    | Handball  | Volleyball | Natation                             |
| Antécédents épaule  | NON        | NON       | NON        | OUI (Tendinopathie du supra-épineux) |
| Durée des symptômes | 8 mois     | 1.5 ans   | 2 ans      | 9 mois                               |
| Testing Clinique    | J:+        | J:+       | J:+        | J:+                                  |
|                     | P0:+       | P0:-      | P0:-       | P0:+                                 |
|                     | P90:+      | P90:+     | P90:+      | P90:-                                |
|                     | L:-        | L:-       | L:+        | L:+                                  |
|                     | P:+        | P:+       | P:+        | P:-                                  |

J= Jobe; P0= Patte 0°, P90= Patte 90°; L= Lift Off Test; P= Palm-up Test

Tableau 1: Caractéristiques des patients avant le début du traitement

## 2) Intervention

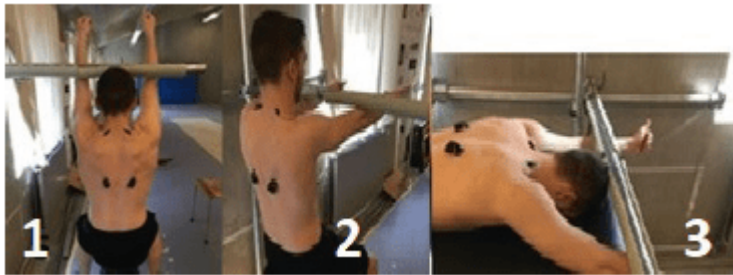
Le protocole rééducatif a été suivi pendant une période de 12 semaines. Les patients se rendaient chez le kinésithérapeute à raison de deux séances par semaine et devaient également réaliser un programme d'exercices à domicile à raison de deux fois par semaine, en dehors des séances. Une bonne compliance a été rapportée tant par rapport aux séances de kinésithérapie (entre 88 et 100%) que par rapport au programme à domicile (entre 80 et 92%). Chaque séance de kinésithérapie avait une durée de 30 minutes et comportait 2 parties: 15 minutes de rééducation en réalité virtuelle (dispositif KineQuantum, Paris, France) et 15 minutes de rééducation «classique» basée sur des exercices démontrés comme efficaces dans la normalisation des ratios trapèze supérieure/trapèze inférieur (TS/TI) et trapèze supérieur/dentelé antérieur (TS/DA) [13–16]. A domicile, les exercices étaient réalisés dans différentes positions (décubitus ventral, latéral ou dorsal) et étaient progressifs en termes d'intensité (augmentation progressive de la charge au cours des semaines) durant les 12 semaines de rééducation. Les premières semaines, le programme incluait majoritairement des exercices de contrôle moteur. En ce qui concerne la rééducation en réalité virtuelle, le niveau d'intensité (augmentation de l'amplitude de mouvement, de la difficulté du jeu, de la précision des mouvements) et la vitesse d'exécution des exercices ont été progressivement augmenté tout au long des 12 semaines également de façon identique pour tous les patients. En cas de douleur ou gêne importante au courant de l'activité, le geste était adapté de manière à ce que le patient puisse le réaliser durant la durée demandée (*Figure 1*).



Figure 1: Illustration de la rééducation en réalité virtuelle

### 3) Evaluations

Différentes variables ont été évaluées chez les patients inclus: l'intensité de la douleur (score sur 10 au moyen de l'échelle visuelle analogique), la fonctionnalité (au moyen du *Disability of Arm, Shoulder and Hand Questionnaire* «DASH»), la force isométrique maximale développée dans 3 positions spécifiques et l'activité électromyographique des muscles stabilisateurs de la scapula (trapèze supérieur, trapèze inférieur et dentelé antérieur) lors d'élévations du bras. L'intensité de la douleur a été évaluée lors de chaque séance de kinésithérapie. Le questionnaire DASH a été complété à trois reprises: avant le début du traitement, après 6 semaines et au terme des 12 semaines de traitement. La force isométrique a été évaluée, avant et après les 12 semaines de rééducation, au moyen d'un dynamomètre manuel (MicroFet2: Hoggan Health Industries, Salt Lake City) dans trois positions différentes: Seated U90°, Seated U125° and Prone-v-thumbs Up) [18] (Figure 2). L'activité électromyographique maximale de ces trois muscles a été enregistrée de façon concomitante à la force isométrique, dans les trois mêmes positions, avant et au terme des 12 semaines de rééducation au moyen d'électrodes de surface (Trigno Standard and Trigno Mini wireless sensors «Delsys, Boston, MA, USA»). Les trois positions précédemment décrites ont été démontrées comme étant reproductibles et comme étant celles qui activent le plus les muscles trapèze supérieur, inférieur et dentelé antérieur [18]. L'activité maximale recueillie a été comparée à celle mesurée durant la réalisation de 10 flexions (plan sagittal) et de 10 abductions (plan frontal) du bras, avec et sans charge afin d'obtenir de mesures exprimées en pourcentage d'activation maximale pour chaque muscle. La charge utilisée durant ces mouvements correspondait à 25% de la force isométrique maximale développée dans la position Seated U90°. Seule la valeur moyenne du signal enregistrée parmi les cinq dernières répétitions de chaque mouvement (avec et sans charge) a été considérée pour l'analyse.



**Figure 2:** Positions de réalisation des tests de force et d'activation maximale volontaire. 1= Seated U 125°; 2= Seated U 90°; 3= Prone-v-thumbs Up

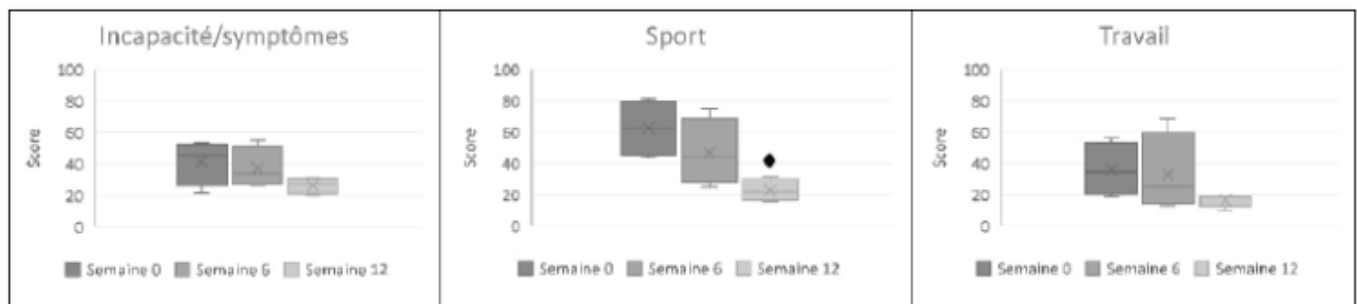
#### *4) Analyse des résultats*

L'analyse statistique a été réalisée au moyen du logiciel SPSS Statistics (IBM, Armonk, New-York, USA). La normalité des variables a été évaluée au moyen d'un test de Shapiro-Wilk. Ensuite, malgré le faible nombre de sujets inclus, l'efficacité du traitement a été évaluée au moyen d'un test des rangs de Wilcoxon pour toutes les variables considérées. Le seuil de signifiante a été défini à  $p < 0.05$  pour l'entièreté des tests statistiques.

## **Résultats**

Au terme des 12 semaines de rééducation, les douleurs rapportées par les patients étaient très nettement inférieures à celles présentes en début de rééducation (diminution de 2,35 unités sur 10 entre le début et la fin du traitement) ( $p=0.012$ ).

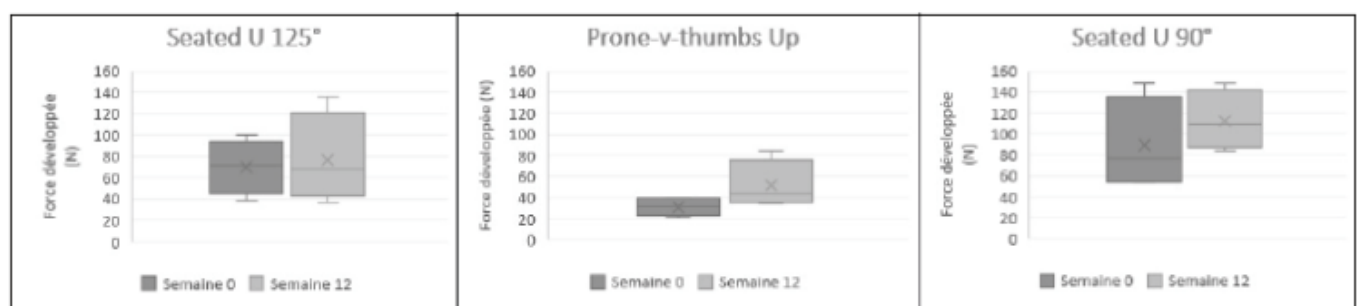
En ce qui concerne les tests cliniques, seul le test de Jobe est resté positif chez un patient en fin de traitement. L'ensemble des autres tests étaient négatifs chez les patients inclus au terme des 12 semaines. Le score fonctionnel (mesuré par le questionnaire DASH) a également été amélioré dans les 3 catégories considérées (incapacité/douleur, sport et travail) suite au traitement. En effet, une diminution de 8.5 à 25% a été observée après 6 semaines tandis qu'une diminution de l'ordre de 47–64% a été notée après 12 semaines. Néanmoins, seule l'amélioration dans la catégorie sport, entre le début et la fin des 12 semaines de traitement, était statistiquement significative ( $p=0.014$ ) (Figure 3).



**Figure 3:** Score obtenu au *Disability of the Arm, Shoulder and Hand* questionnaire avant le traitement, à 6 semaines et à la fin du traitement dans les 3 catégories suivantes: incapacité/symptômes, sport et travail.

◆ = changement significatif entre le début et la fin du traitement

Une augmentation de la force isométrique maximale a également été observée dans les trois différentes positions au terme des 12 semaines de rééducation, mais dans des proportions variables en fonction des sujets. En effet, pour la position Seated U 90°, cette augmentation variait entre 1% et 41% selon les sujets. Quant aux autres positions, l'augmentation variait entre 3% et 27% pour le Seated U 125° et entre 27% et 53% pour la position Prone-v-thumbs Up. Lorsque l'on considère la moyenne des sujets, l'augmentation la plus importante a été notée dans la position «Prone-v-thumbs up» (39%) mais sans atteindre le seuil de signifiante ( $p > 0.05$ ) (Figure 4).



**Figure 4:** Force isométrique maximale développée (en Newton) mesurée les trois positions (Seated U90°, Seated U125° and Prone-v-thumbs Up) avant (semaine 0) et après le traitement (semaine 12).

Enfin, en ce qui concerne l'activité des muscles stabilisateurs de la scapula, une diminution des deux ratios (TS/TI et TS/DA) a été observée au terme de la rééducation. Le *Tableau 2* reprend les valeurs médianes des ratios pour les différents mouvements considérés. Lors de la flexion avec charge, une diminution entre 37% a été observée au niveau du ratio TS/TI. Lors de l'abduction, cette diminution était de l'ordre de 14% lorsque le mouvement est réalisé avec charge et de l'ordre de 22% lorsqu'il est réalisé sans charge. Enfin, concernant le ratio TS/DA, sa diminution a atteint 28% en flexion. En abduction, elle était comprise entre 6 et 37%.

|                      | TS/TI | TS/SA |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Phase ascendante     | S0    |       |      | S12  |      |      | S0   |      |      | S12  |      |      |
|                      | Med   | Q1    | Q3   | Med  | Q1   | Q3   | Med  | Q1   | Q3   | Med  | Q1   | Q3   |
| Abduction sans poids | 1.21  | 0.99  | 1.37 | 1.25 | 1.07 | 1.99 | 1.27 | 0.87 | 1.69 | 0.99 | 0.68 | 1.29 |
| Abduction avec poids | 1.25  | 1.07  | 1.59 | 1.08 | 0.93 | 1.43 | 1.01 | 0.87 | 1.24 | 0.95 | 0.75 | 1.25 |
| Flexion sans poids   | 1.43  | 0.75  | 1.67 | 1.44 | 1.24 | 1.92 | 1.09 | 0.88 | 1.29 | 0.96 | 0.85 | 1.84 |
| Flexion avec poids   | 1.16  | 0.85  | 1.47 | 1.23 | 1.10 | 1.55 | 1.05 | 0.74 | 1.16 | 1.04 | 0.73 | 1.34 |
| Phase descendante    | S0    |       |      | S12  |      |      | S0   |      |      | S12  |      |      |
|                      | Med   | Q1    | Q3   | Med  | Q1   | Q3   | Med  | Q1   | Q3   | Med  | Q1   | Q3   |
| Abduction sans poids | 1.95  | 1.43  | 2.08 | 1.53 | 1.06 | 1.91 | 2.15 | 1.90 | 3.01 | 1.36 | 0.87 | 2.24 |
| Abduction avec poids | 1.61  | 1.24  | 1.81 | 2.02 | 1.55 | 2.11 | 1.44 | 1.19 | 1.75 | 1.66 | 1.21 | 1.95 |
| Flexion sans poids   | 1.47  | 1.12  | 1.73 | 1.72 | 1.00 | 1.92 | 1.79 | 1.37 | 1.94 | 1.37 | 1.20 | 1.47 |
| Flexion avec poids   | 1.49  | 0.87  | 1.77 | 0.94 | 0.75 | 1.41 | 1.73 | 1.11 | 2.32 | 1.25 | 0.97 | 1.42 |

Tableau 2: Valeurs médianes des ratios trapèze supérieur/trapèze inférieur (TS/TI) et trapèze supérieur/serratus anterior (TS/SA) avant (S0) et après les 12 semaines de traitement (S12)

## Discussion

L'objectif de cette étude préliminaire était de présenter les effets à court-terme d'une rééducation en réalité virtuelle immersive chez des patients présentant des douleurs d'épaule, d'origine non-traumatique et en lien avec une dyskinésie scapulaire. Le faible nombre de patients inclus jusqu'à présent dans le protocole ne nous a pas permis de mettre en évidence des différences significatives pour la plupart des variables. Néanmoins, des améliorations nettes en termes de symptomatologie et de fonctionnalité (score DASH) ont été notées au terme des 12 semaines de rééducation. Les différences obtenues sont d'ailleurs supérieures au seuil de signifiante clinique pour ces variables [21–23].

Ces observations sont en accord avec celles de Pkyavas et al. [9], qui ont observé une amélioration au point de vue douleur et fonctionnalité (score SPADI) après 6 semaines de rééducation en réalité virtuelle non-immersive (Wii) chez des patients présentant un conflit sous-acromial.

Une augmentation de la force isométrique a été également observée dans les trois positions testées (Seated U90°, Seated U125° and Prone-v-thumbs up) chez nos patients au terme des 12 semaines de traitement.

Cette augmentation peut être expliquée à la fois par une diminution de la douleur (qui peut avoir un effet inhibiteur sur l'activité musculaire) et par une amélioration du recrutement musculaire scapulaire.

D'ailleurs, des changements en termes de recrutement ont été observés chez nos quatre patients suite au traitement, avec une diminution des ratios TS/TI et TS/SA. Ces résultats sont encourageants compte tenu du fait qu'une augmentation de ces mêmes ratios a été observée à plusieurs reprises chez des patients présentant des douleurs d'épaule, en comparaison à des patients «sains» [24,25]. Cette diminution du ratio TS/TI peut être attribuée à une augmentation de l'activité du trapèze inférieur et/ou à une diminution de celle du trapèze supérieur. Cela coïncide d'ailleurs avec le fait que l'augmentation la plus importante en terme de force isométrique a été notée dans la position «Prone-v-thumbs up» considérée comme la position de testing préférentielle du trapèze inférieur [18,26].

Néanmoins, les effets de ce type de traitement semblent plus importants chez certains patients que chez d'autres. Il semblerait, en effet, que certains patients soient davantage «répondeurs» à ce genre de



rééducation que d'autres. Différentes hypothèses peuvent être formulées dans ce sens. Premièrement, l'âge des patients pourrait avoir une influence sur l'efficacité du traitement. On pourrait, en effet, observer une meilleure adhérence chez de jeunes patients par rapport à des patients plus âgés, moins réceptifs aux nouvelles technologies [27]. Certains patients pourraient davantage avoir confiance en des techniques rééducatives plus analytiques et conventionnelles qu'en ce genre dispositif. Etant donné l'influence de ce type de traitement sur le système nerveux central [28–30], l'importance du phénomène de sensibilisation centrale associé à la pathologie (en lien avec la chronicité) [31] pourrait également avoir une influence certaine sur les effets du traitement. Enfin, les douleurs rapportées par les patients inclus dans cette étude et leur chronicité sont bien souvent d'origine multifactorielle [31–33]. Une approche bio-psycho-sociale et l'évaluation de différents facteurs psycho-sociaux, par le biais de questionnaires, comme par exemple *l'inventaire de sensibilisation centrale* [34,35] notamment, aurait pu permettre de déterminer si les résultats obtenus via ce type de rééducation étaient influencés par les caractéristiques psychologiques et le vécu du patient. De futures expérimentations pourraient d'ailleurs permettre de déterminer des profils de patients pour qui ce type de traitement aurait davantage d'intérêt en terme rééducatif. Bien qu'encourageants, les effets de ce type de traitement ont été uniquement rapportés à court terme et couplés à une rééducation classique. Des études complémentaires seront donc nécessaires pour davantage démontrer l'intérêt de ce type de rééducation et son éventuelle supériorité par rapport à des techniques de traitement plus «classiques».

## Auteur correspondant

Camille Tooth  
Allée des Sports, 1, 4000 Liège (Belgium)  
Tél.: +32 495 36 37 55  
e-Mail: [ctooth@uliege.be](mailto:ctooth@uliege.be)



## Références

1. Warnerr JJ, Micheli LJ, Arslanian LE, Kennedy J, Kennedy R. Scapulothoracic Motion in Normal Shoulders and Shoulders With Glenohumeral Instability and Impingement Syndrome. *Clin Orthop Relat Res.* 1992;(285):191-199.
2. Kibler BW, Sciascia A, Wilkes T. Scapular Dyskinesia and Its Relation to Shoulder Injury. *J Am Acad Orthop Surg.* 2012;20(6):364-72.
3. Cools AMJ, Struyf F, De Mey K, Maenhout A, Castelein B, Cagnie B. Rehabilitation of scapular dyskinesia: from the office worker to the elite overhead athlete. *Br J Sports Med.* 2014;48(8):692-7.
4. Forthomme B, Crielaard J-M, Croisier J-L. Scapular Positioning in Athlete's Shoulder. *Sport Med.* 2008;38(5):369-86.
5. Kibler WB. Scapular Dyskinesia and Its Relation to Shoulder Injury. *J Am Acad Orthop:*364-72.
6. Trombetta M, Bazzanello Henrique PP, Brum MR, Colussi EL, De Marchi ACB, Rieder R. Motion Rehab

- AVE 3D: A VR-based exergame for post-stroke rehabilitation. *Comput Methods Programs Biomed.* 2017;151:15-20.
7. Aminov A, Rogers JM, Middleton S, Caeyenberghs K, Wilson PH. What do randomized controlled trials say about virtual rehabilitation in stroke? A systematic literature review and meta-analysis of upper-limb and cognitive outcomes. *J Neuroeng Rehabil.* 2018;15(1):29.
  8. Park M, Ko M-H, Oh S-W, Lee J-Y, Ham Y, Yi H, et al. Effects of virtual reality-based planar motion exercises on upper extremity function, range of motion, and health-related quality of life: a multicenter, single-blinded, randomized, controlled pilot study. *J Neuroeng Rehabil.* 2019;16(1):122.
  9. Pekyavas NO, Ergun N. Comparison of virtual reality exergaming and home exercise programs in patients with subacromial impingement syndrome and scapular dyskinesis: Short term effect. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2017;51:238-42.
  10. Sveistrup H, McComas J, Thornton M, Marshall S, Finestone H, McCormick A, et al. Experimental studies of virtual reality-delivered compared to conventional exercise programs for rehabilitation. In: *Cyberpsychology and Behavior.* 2003;245-9.
  11. Cui J, Yeh SC, Lee SH. Wearable Sensors Integrated with Virtual Reality: A Self-Guided Healthcare System Measuring Shoulder Joint Mobility for Frozen Shoulder. *J Healthc Eng.* 2019.
  12. McClure P, Tate AR, Kareha S, Irwin D, Zlupko E. A clinical method for identifying scapular dyskinesis, part 1: reliability. *J Athl Train.* 2009;44(2):160-164.
  13. Maenhout A, Van Praet K, Pizzi L, Van Herzeele M, Cools A. Electromyographic analysis of knee push up plus variations: what is the influence of the kinetic chain on scapular muscle activity? *Br J Sports Med.* 2010;44(14):1010-5.
  14. Maenhout A, Benzoor M, Werin M, Cools A. Scapular muscle activity in a variety of plyometric exercises. *J Electromyogr Kinesiol.* 2016;27:39-45.
  15. Uhl TL, Muir TA, Lawson L. Electromyographical assessment of passive, active assistive, and active shoulder rehabilitation exercises. *PM R.* 2010;2(2):132-41.
  16. Cools AM, Borms D, Cottens S, Himpe M, Meersdom S, Cagnie B. Rehabilitation Exercises for Athletes With Biceps Disorders and SLAP Lesions. *Am J Sports Med.* 2014;42(6):1315-22.
  17. Kibler W Ben, Sciascia AD, Uhl TL, Tambay N, Cunningham T. Electromyographic Analysis of Specific Exercises for Scapular Control in Early Phases of Shoulder Rehabilitation. *Am J Sports Med.* 2008;36(9):1789-98.
  18. Schwartz C, Tubez F, Wang F-C, Croisier J-L, Bröls O, Denoël V, et al. Normalizing shoulder EMG: An optimal set of maximum isometric voluntary contraction tests considering reproducibility. *J Electromyogr Kinesiol.* 2017;37:1-8.
  19. Saccol MF, Santos G dos, Oliano HJ. Inter- and intra-examiner reliability of the strength of shoulder rotators in different positions using isometric dynamometry. *Fisioter e Pesqui.* 2017;11(1):8-11.
  20. Forthomme B, Crielaard JM, Croisier JL. Scapular positioning in athlete's shoulder: Particularities, clinical measurements and implications. *Sports Medicine.* 2008;38(5):369-386.
  21. Angst F, Schwyzer HK, Aeschlimann A, Simmen BR, Goldhahn J. Measures of adult shoulder function: Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand Questionnaire (DASH) and Its Short Version (QuickDASH), Shoulder Pain and Disability Index (SPADI), American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES) Society Standardized Shoulder Assessment Form, Constant (Murley) Score (CS), Simple Shoulder Test (SST), Oxford Shoulder Score (OSS), Shoulder Disability Questionnaire. *Arthritis Care Res.* 2011;63.

22. Beaton DE, Davis AM, Hudak P, Mcconnell S. The DASH (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand) Outcome Measure: What do we know about it now? *Br J Hand Ther.* 2001;6(4):109-118.
23. Myles PS, Myles DB, Galagher W, Boyd D, Chew C, MacDonald N, et al. Measuring acute postoperative pain using the visual analog scale: The minimal clinically important difference and patient acceptable symptom state. *Br J Anaesth.* 2017;118(3):424-429.
24. Huang T-S, Ou H-L, Huang C-Y, Lin J-J. Specific kinematics and associated muscle activation in individuals with scapular dyskinesis. *J Shoulder Elb Surg.* 2015; 24(8):1227-34.
25. Ahn S-H, Kwon O-Y, Choung S-D, Kim S-H, Jeon I-C. Comparison of Muscle Activity Ratio of Upper Trapezius to Serratus Anterior During Shoulder Elevation Between Subjects With and Without Pain Experienced in Upper Trapezius. *Phys Ther Korea.* 2014;21(2):67-73.
26. Kendall F, McCreary E, Provance P, Rodgers M, Romani William. *Muscles: Testing and Function, with Posture and Pain.* 5th Edition. 2014.
27. Olson KE, O'Brien MA, Rogers WA, Charness N. Diffusion of technology: Frequency of use for younger and older adults. *Ageing Int.* 2011;36(1):123-45.
28. Parsons TD, Trost Z. Virtual reality graded exposure therapy as treatment for pain-related fear and disability in chronic pain. Vol. 68, *Intelligent Systems Reference Library.* 2014. 523-546.
29. Rose T, Nam CS, Chen KB. Immersion of virtual reality for rehabilitation – Review. *Appl Ergon.* 2018;69:153-61.
30. Slobounov SM, Ray W, Johnson B, Slobounov E, Newell KM. Modulation of cortical activity in 2D versus 3D virtual reality environments: An EEG study. *Int J Psychophysiol.* 2015;95(3):254-60.
31. Latremoliere A, Woolf CJ. Central Sensitization: A Generator of Pain Hypersensitivity by Central Neural Plasticity. *Journal of Pain.* 2009; 10:895-926.
32. George SZ, Parr JJ, Wallace MR, Wu SS, Borsa PA, Dai Y, et al. Biopsychosocial influence on exercise-induced injury: genetic and psychological combinations are predictive of shoulder pain phenotypes. *J Pain.* 2014;15(1).
33. Darnall BD, Carr DB, Schatman ME. Ethics forum: Pain psychology and the biopsychosocial model of pain treatment: Ethical imperatives and social responsibility. *Pain Medicine;* 2017;1413-5.
34. Neblett R, Hartzell MM, Cohen H, Mayer TG, Williams M, Choi YH, et al. Ability of the central sensitization inventory to identify central sensitivity syndromes in an outpatient chronic pain sample. *Clin J Pain.* 2015;31(4):323-32.
35. Mayer TG, Neblett R, Cohen H, Howard KJ, Choi YH, Williams MJ, et al. The Development and Psychometric Validation of the Central Sensitization Inventory. *Pain Pract.* 2012;12(4):276-85.