



Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



Mémoire original

Intérêt d'une application d'auto-rééducation après reconstruction du LCA pendant la période de confinement liée à la pandémie COVID-19[☆]

Evaluation of a smartphone application for self-rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction during a COVID-19 lockdown

Paul-Henri Bauwens^{a,b}, Jean-Marie Fayard^{a,b}, Maxime Tatar^{a,b}, Hichem Abid^{a,b}, Benjamin Freychet^{a,b}, Bertrand Sonnery-Cottet^{a,b}, Mathieu Thauinat^{a,*,b}

^a Centre orthopédique Santy, 24, avenue Paul-Santy, 69008 Lyon, France

^b Hôpital privé Jean-Mermoz, Ramsay-Générale de Santé, Lyon, France

INFO ARTICLE

Historique de l'article :
Reçu le 26 mars 2021
Accepté le 26 août 2021

Mots clés :
Auto-rééducation
Kinésithérapie
COVID-19
Application smartphone

RÉSUMÉ

Introduction. – La rééducation après une intervention chirurgicale est essentielle et conditionne le résultat fonctionnel final. Une application destinée aux patients présentant une lésion du ligament croisé antérieur (LCA) propose un programme d'auto-rééducation (Doct'up, Healing sas, Lyon, France). La pandémie COVID-19 au printemps 2020 a contraint les patients à suspendre leur rééducation postopératoire chez le kinésithérapeute pendant la période de confinement en France.

Hypothèse. – Une application d'auto-rééducation permet de limiter les conséquences de l'absence de rééducation chez le kinésithérapeute.

Matériels et méthodes. – Il s'agit d'une étude cas-témoin à partir de l'analyse rétrospective de données collectées de façon prospective incluant deux groupes de patients opérés d'une ligamentoplastie du LCA. Les patients du premier groupe (« App ») étaient opérés juste avant la période de confinement en mars 2020 en France durant la pandémie de COVID-19 et utilisaient uniquement l'application comme moyen de rééducation pendant le confinement. Un groupe de patient témoin apparié opéré 1 an plus tôt (« Standard ») bénéficiaient d'une kinésithérapie traditionnelle. Les 2 groupes bénéficiaient de la même technique de ligamentoplastie. Le critère de jugement principal était l'apparition d'un flexum à 6 semaines. Les critères de jugement secondaires étaient : le flexum du genou à 3 semaines et 6 mois, le réveil du muscle quadriceps et le verrouillage de l'extension du genou à 3 et 6 semaines et le taux de reprise chirurgicale pour syndrome du cyclope à 6 mois.

Résultats. – Trente-deux patients ont été inclus dans le groupe « App » et 101 patients dans le groupe « Standard ». Après auto-rééducation avec l'application seule, il n'existait pas de différence significative dans les 2 groupes concernant l'apparition d'un flexum à 6 semaines : 9,4 % [28/32] vs 4,6 % [87/101] $p=0,39$. Il existait un meilleur réveil quadriceps (94 % [30/32] vs 73 % [74/101], $p=0,015$) et un meilleur contrôle de l'extension avec cannes (78,1 % [25/32] vs 40,6 % [41/101], $p=0,0002$) à 3 semaines. Il n'y a pas de différence entre les 2 groupes pour les autres critères étudiés (flexum à 3 semaines : 12,5 % [4/32] vs 13,8 % [14/101] ; flexum à 6 mois : 3,2 % [1/32] vs 1 % [1/101], réveil quadriceps à 6 semaines : 97 % [31/32] vs 99 % [100/101] ; verrouillage de l'extension avec cannes à 6 semaines : 96,9 % [31/32] vs 93,1 % [94/101], verrouillage de l'extension sans cannes à 3 semaines : 53,2 % [17/32] vs 47,5 % [48/101] ; verrouillage de l'extension sans cannes à 6 semaines : 93,7 % [30/32] vs 82,2 % [83/101], taux de syndrome du cyclope : 3,1 % [1/32] vs 1 % [1/101]).

Discussion. – Une application d'auto-rééducation après chirurgie du LCA utilisée dans le contexte de confinement imposée par la pandémie COVID-19 permet de limiter les conséquences liées à l'absence de kinésithérapeutes et a montré des résultats équivalents à ceux obtenus après rééducation standard avec

DOI de l'article original : <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2022.103342>.

[☆] Ne pas utiliser, pour citation, la référence française de cet article, mais celle de l'article original paru dans *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, en utilisant le DOI ci-dessus.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : mathieuthaunat@yahoo.fr (M. Thauinat).

<https://doi.org/10.1016/j.rcot.2022.06.001>

1877-0517/© 2022 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

un recul de 6 mois postopératoire. L'étude montre que l'auto-rééducation après chirurgie du genou est utile en postopératoire après chirurgie du LCA et pourrait être généralisée en complément des protocoles habituellement utilisés chez le kinésithérapeute.

Niveau de preuve. – IV ; Étude rétrospective monocentrique de cohorte.

© 2022 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

1. Abréviations

LCA ligament croisé antérieur

2. Introduction

La rééducation après une intervention chirurgicale est essentielle et conditionne le résultat fonctionnel final, elle reste néanmoins sujet à controverse [1–4]. La rééducation implique plusieurs professionnels de santé tels que les kinésithérapeutes, les chirurgiens orthopédistes ou les médecins du sport. Elle permet une réduction des phénomènes inflammatoires, une récupération des amplitudes articulaires, notamment en luttant contre le flexum, et un réveil du quadriceps et verrouillage en charge [5]. Le développement numérique d'applications médicales pour les smartphones connaît un véritable essor [6–9]. L'apparition d'applications pour smartphones dédiées à la médecine, a influencé les pratiques médicales. Notamment, en rendant le patient acteur de son propre parcours de soin et en lui proposant des programmes personnalisés et adaptés à ses besoins [10,11]. Ces diverses applications permettent l'éducation du patient, l'évaluation clinique, la formation médicale, le suivi médical et l'entraînement chirurgical [12–14]. Dans ce contexte, une nouvelle application Doct'up® (Healing sas Lyon, France) est destinée aux patients présentant une lésion du ligament croisé antérieur opéré (LCA). L'application propose un programme d'auto-rééducation pré- et postopératoire dès les premiers jours et en supplément des séances réalisées avec le kinésithérapeute via un code gratuit donné au patient par le chirurgien. Le 17 mars 2020, le gouvernement français a imposé un confinement total, en raison de la pandémie de COVID-19, imposant l'arrêt total des activités médicales et paramédicales non urgentes et donc l'arrêt de la kinésithérapie pour les patients déjà opérés [15]. Ainsi privés de kinésithérapeute, certains patients opérés dans le même centre juste avant cette date n'avaient comme seul moyen de rééducation que cette application mobile.

L'objectif de l'étude est de comparer l'évolution clinique d'une série de patients opérés juste avant le confinement qui se sont auto-rééduqués en utilisant uniquement l'application (groupe « App ») à une série de patients opérés et suivis dans des circonstances sanitaires classiques et avant la mise en place de l'application (groupe « standard »). Notre hypothèse est qu'une application d'auto-rééducation permet de limiter les conséquences de l'absence de rééducation chez le kinésithérapeute imposée pendant la période de confinement liée à la pandémie COVID-19.

3. Matériels et méthodes

3.1. Patients

Nous avons réalisé une analyse rétrospective comparative monocentrique de données collectées de façon prospective incluant deux groupes de patients. Le groupe « App » était constitué de patients ayant utilisé l'application mobile comme moyen de rééducation et bénéficiés de moins de 4 séances de kinésithérapie standard, pendant le confinement en raison de la pandémie

de COVID-19 en 2020 opéré entre le 3 février et le 13 mars 2020. Les critères d'inclusion de l'étude étaient : un traitement chirurgical de type ligamentoplastie du LCA aux ischiojambiers avec ou sans ténodèse latérale [16,17] et, avec ou sans réparation méniscale simple [18], avec un appui total autorisé en postopératoire immédiats opérés par deux chirurgiens et revus par un même médecin rééducateur à 3 et 6 semaines postopératoire. Les critères d'exclusion étaient : l'âge inférieur à 18 ans et une chirurgie multi-ligamentaire ou bilatérale ou un antécédent de chirurgie du LCA du même côté ou du côté controlatéral. Un groupe témoin a été constitué en analysant les patients opérés pendant la même période 1 an auparavant par les mêmes chirurgiens et suivis par le même médecin rééducateur et appariés en âge, sexe, niveau sportif, et de technique chirurgicale, ayant bénéficié d'une kinésithérapie traditionnelle en 2019 avant la mise en place de l'application.

3.2. L'application « DOCT'UP »

L'application (Fig. 1) se compose de deux volets : un volet préopératoire, avec un système de notifications destinées à accompagner le quotidien du patient jusqu'à l'opération, et un volet postopératoire, avec des exercices sous forme de tutoriels vidéo qui évoluent dans le temps, selon le progrès du patient, la douleur et les gênes éventuelles. Des conseils y sont dispensés et des objectifs fixés jour après jour. Les exercices dispensés les 6 premières semaines sous forme d'une quinzaine de vidéos didactiques insistent sur le réveil quadricipital, le travail de contraction isométrique du quadriceps, la recherche de l'extension en position allongé puis debout, et la rééducation à la marche.

3.3. Évaluation

Les données cliniques ont été analysées pour déterminer une différence à 3 et 6 semaines entre le groupe « Standard » et le groupe « App » concernant la présence d'un flexum, d'un réveil quadricipital et d'un verrouillage en extension avec ou sans cannes. La présence ou non d'un flexum était également colligé à 6 mois, ainsi que le retour au sport (score de Tegner) et le taux de réopération en particulier pour cause de syndrome du cyclope. Le critère de jugement principal était défini comme l'apparition d'un flexum à 6 semaines, les autres critères comme des critères de jugement secondaires.

Le flexum était défini comme la présence d'un déficit d'extension de plus de 5 degrés lors de l'examen clinique au goniomètre. Le réveil du muscle quadricipital était évalué en demandant au patient allongé d'effectuer une série de 5 contractions successives du quadriceps. Enfin le même exercice était demandé pour évaluer la qualité du verrouillage en extension en position debout et avec appui, avec ou sans cannes. Ces éléments étaient évalués par téléconsultation pour 6 patients de la série « App » et par consultation traditionnelle pour la série « Standard » et 26 patients de la série « App ».

3.4. Méthodes statistiques

Les données étaient recueillies au sein d'un tableur Excel® (Microsoft Corporation, Washington, États-Unis) puis analysées

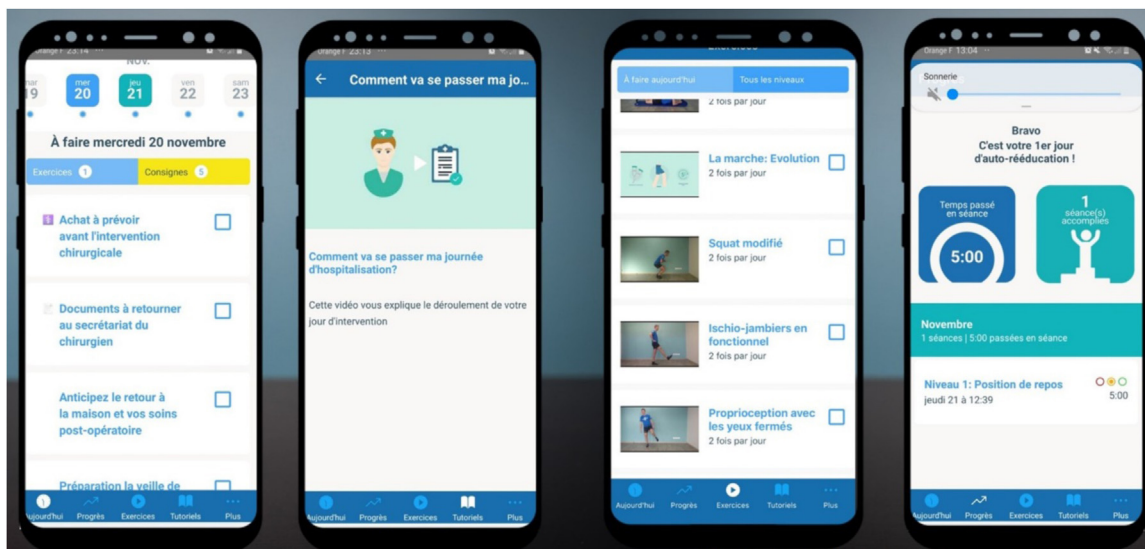


Fig. 1. Application DOCTUP. L'application se compose de deux volets : un volet préopératoire, avec un système de notifications destinées à accompagner le quotidien du patient jusqu'à l'opération, et un volet postopératoire, avec des exercices sous forme de tutoriels vidéo qui évoluent dans le temps. Des conseils y sont dispensés et des objectifs fixés jour après jour. Les exercices dispensés les 6 premières semaines sous forme d'une quinzaine de vidéos didactiques insistent sur le réveil quadriceps, le travail de contraction isométrique du quadriceps, la recherche de l'extension en position allongé puis debout, et la rééducation à la marche.

Tableau 1

Caractéristiques des patients.

	App n = 32	Standard n = 101	Valeur de p
Age			
Moyenne (SD)	28 (10,5)	28 (9,6)	
[Min-Max]	[18–49]	[18–46]	0,86
Sexe, n (%)			
Homme	15 (46,8)	58 (57,4)	
Femme	17 (53,2)	43 (42,6)	0,66
Tegner Pré-op	4,2	4,3	0,7
Suture méniscale			
Oui	9 (28,1)	42 (41,6)	
Non	23 (71,9)	59 (58,4)	0,2
Technique opératoire			
DIDT+TL	24 (75)	80 (79,2)	
DIDT	8 (25)	21 (20,8)	0,6

avec le logiciel JMP Pro 14 (JMP®, Version JMP Pro 14,0, SAS Institute Inc., Cary, NC, 1989–2019). Les comparaisons des variables ont été effectuées à l'aide de tests de Chi² et de Fisher pour les variables qualitatives et test de Student pour les variables quantitatives.

4. Résultats

Trente-deux patients ont été inclus dans le groupe " App " et 101 patients dans le groupe " Standard ". La population est décrite dans le [Tableau 1](#).

Après auto-rééducation avec l'application seule, il n'existait pas de différence significative dans les 2 groupes concernant l'apparition d'un flexum à 6 semaines : 9,4 % [28/32] vs 4,6 % [87/101] $p=0,39$. Il existait un meilleur réveil quadriceps (94 % [30/32] vs 73 % [74/101], $p=0,015$) et un meilleur contrôle de l'extension avec cannes (78,1 % [25/32] vs 40,6 % [41/101], $p=0,0002$) ... 3 semaines ([Tableau 2](#)).

Il n'y a pas de différence entre les 2 groupes pour les autres critères étudiés (flexum à 3 semaines : 12,5 % [4/32] vs 13,8 % [14/101], $p=0,88$; flexum à 6 mois : 3,2 % [1/32] vs 1 % [1/101] : $p=0,4$, réveil quadriceps à 6 semaines : 97 % [31/32] vs 99 % [100/101], $p=0,39$; verrouillage de l'extension avec cannes à 6 semaines : 96,9 % [31/32] vs 93,1 % [94/101], $p=0,68$, verrouillage de l'extension sans cannes à 3 semaines : 53,2 % [17/32] vs 47,5 % [48/101], $p=0,58$;

Tableau 2

Analyse du Flexum du genou à 3 semaines, 6 semaines et 6 mois.

Flexum	App n = 32	Standard n = 101	Valeur de p
3 semaines, n (%)			
Oui	4 (12,5)	14 (13,8)	
Non	28 (87,5)	87 (86,2)	0,88
6 semaines			
Oui	3 (9,4)	5 (4,6)	
Non	29 (90,6)	96 (95,4)	0,39
6 mois			
Oui	1 (3,1)	1 (1)	
Non	31 (96,9)	99 (99) ^a	0,4

^a Le flexum ... 6 mois est, valu, pour 100 patients en raison d'un patient r.-op.r, pour cyclope syndrome.

Tableau 3

Analyse du verrouillage de l'extension du genou ... 3 et 6 semaines.

Verrouillage de l'extension	App n = 32	Standard n = 101	Valeur de p
Avec cannes			
3 semaines, n (%)			
Oui	25 (78,1)	41 (40,6)	
Non	7 (21,9)	60 (59,4)	0,0002
6 semaines, n (%)			
Oui	31 (96,8)	94 (93,1)	
Non	1 (3,2)	7 (6,9)	0,6
Sans cannes			
3 semaines, n (%)			
Oui	17 (53,2)	48 (47,5)	
Non	15 (56,8)	53 (52,5)	0,58
6 semaines, n (%)			
Oui	30 (93,7)	83 (82,2)	
Non	2 (6,3)	18 (17,8)	0,16

verrouillage de l'extension sans cannes à 6 semaines : 93,7 % [30/32] vs 82,2 % [83/101], $p=0,16$, taux de syndrome du cyclope : 3,1 % [1/32] vs 1 % [1/101] : $p=0,4$). Ces résultats sont décrits dans les [Tableaux 3 et 4](#). Concernant les résultats à 6 mois, il n'y avait pas de différence significative concernant le taux de ré-opération, le score de Tegner ou la présence d'un flexum entre les 2 groupes. Un cas de syndrome du cyclope a été diagnostiqué dans chaque groupe mais

Tableau 4

Analyse du réveil du quadriceps à 3 et 6 semaines.

Réveil quadricipital	App n = 32	Standard n = 101	Valeur de p
3 semaines, n (%)			
Oui	30 (94)	74 (73)	0,015
Non	2 (6)	27 (27)	
6 semaines			
Oui	31 (97)	100 (99)	0,39
Non	1 (3)	1 (1)	

Tableau 5

Analyse à 6 mois.

	App	Standard	Valeur de p
Tegner	3,1	3,1	0,7
Ré-opération			
Oui	0 (0)	2 (2)	1
Non	32 (100)	99 (98)	
Syndrome du Cyclope			
Oui	1 (3,1)	1 (1)	0,4
Non	31 (96,9)	100 (99)	

un seul patient avait été réopéré pour cette raison à 6 mois (dans le groupe "standard"). Ces résultats sont décrits dans le [Tableau 5](#).

5. Discussion

Le principal résultat de cette étude est que les patients auto-rééduqués en utilisant exclusivement l'application ont des résultats au moins équivalents concernant le flexum et le réveil quadricipital à 3 semaines postopératoires. L'utilisation isolée de l'application n'a pas montré d'infériorité concernant les autres critères ... 3 et 6 semaines.

À notre connaissance, il s'agit de la première étude analysant l'intérêt d'une application d'auto-rééducation sur la récupération fonctionnelle après chirurgie du LCA. Des études similaires existent en neurologie pour la rééducation après AVC [19], pour la rééducation rachidienne et la rééducation de l'épaule [20,21], en urologie concernant l'incontinence urinaire de stress [22] et de nombreuses applications existent pour les prothèses totales de hanche et les prothèses totales de genou, mais aucune d'entre elles n'a évalué la qualité de leurs résultats [23–26].

Higgins et al. étudient, dans un essai contrôlé randomisé [27], le besoin de visite en personnel médical et paramédical et la différence de coût pour la société qui en résultent pour les patients ayant bénéficié d'une plastie du LCA et d'un télésuivi grâce à une application dédiée. En moyenne, les patients du groupe "App" ont dépensé 211Y\$ (dollars canadiens) de moins que le groupe conventionnel pendant 6 semaines ($p < 0,0001$) pour les coûts liés au suivi. Les coûts à la charge du système de santé de santé, étaient également nettement inférieurs dans le groupe "App" (157,5Y\$ contre 202,2 \$CAN ; $p < 0,0001$). Il n'y avait pas de différence entre les groupes en ce qui concerne la satisfaction des patients, la commodité ou les taux de complications.

L'un des principaux objectifs de la rééducation dans les premières semaines postopératoires après chirurgie du ligament croisé antérieur est de récupérer l'extension passive et active complète. En effet, l'existence d'un flexum dans les 6 semaines postopératoires après chirurgie du LCA augmente le risque de complications, à court terme avec le risque de survenue d'un syndrome du cyclope [28,29], et à long terme l'apparition de douleurs antérieures et de risque de dégradation de l'articulation fémoro-patellaire [30]. Delaloye et al. ont montré, sur une série de 3633 patients opérés d'une reconstruction du LCA, que le déficit d'extension dans les premières semaines postopératoires est le facteur de risque le plus important de réintervention liée à un

syndrome du cyclope. Un déficit d'extension à 3 semaines postopératoires est associé à un risque 2 fois plus élevé d'avoir un syndrome de cyclope, et 8 fois plus élevé si le déficit d'extension persiste à 6 semaines [28]. Dans cette étude, il n'existe pas de majoration du risque de flexum, d'absence de réveil quadricipital ou de verrouillage en extension avec un protocole de rééducation grâce à une application seule versus une kinésithérapie standard. Ce résultat est en accord avec la littérature qui tend à montrer qu'un protocole d'auto-rééducation bien conduit peut conduire à des résultats équivalents à un protocole supervisé par un kinésithérapeute. Ainsi, Hohmann et al. [11] n'ont pas démontré de différence significative à 12 mois sur les résultats postopératoires d'une plastie du LCA entre un groupe de patients ayant bénéficié d'une kinésithérapie standard versus un groupe de patient ayant bénéficié d'auto-rééducation. De même, Roulet et al. [31] montrent que les patients opérés d'une chirurgie d'une chirurgie type Latarjet avaient significativement moins de douleurs et de meilleures amplitudes articulaires à 1 mois et 3 mois postopératoire s'ils avaient bénéficié d'auto-rééducation. Les résultats sont similaires en neurologie où l'auto-rééducation a démontré son intérêt dans l'amélioration de la préhension du membre supérieur après AVC [32–34].

Un second objectif essentiel de la rééducation après reconstruction du ligament croisé antérieur en complément de la récupération de l'extension est le réveil quadricipital et l'obtention d'un verrouillage quadricipital en charge qui permet de rétablir un schéma de marche correct. Dans cette étude, il existait un meilleur réveil quadricipital et un meilleur contrôle de l'extension à 3 semaines avec l'auto-rééducation. L'apparition d'une sidération du quadriceps après chirurgie du LCA n'est pas simplement un phénomène isolé lié à la douleur ou l'atrophie musculaire. De nombreux auteurs décrivent son apparition synchrone dans le membre controlatéral [35]. Ce phénomène est maintenant attribué à l'inhibition musculaire arthrognéique (AMI) [36], un processus dans lequel l'échec de la stimulation du quadriceps par le patient est causé par une inhibition neuronale. Les mécanismes de cette inhibition, proviennent d'une altération des seuils moteurs au repos des muscles, de changements de seuils des récepteurs sensoriels articulaires et d'une altération de l'excitabilité du réflexe spinal [37], ainsi que d'une activité corticale anormale [38,39]. La plupart des éléments thérapeutiques disponibles pour lutter contre l'AMI visent à modifier l'excitabilité motrice grâce à des mécanismes désinhibiteurs [40]. Dans ce cadre, l'auto-rééducation répétée plusieurs fois par jour, contrairement à la kinésithérapie standard qui en général est prescrite sous forme de 3 séances hebdomadaire, pourrait avoir un rôle de désinhibition et donc de lutte contre l'inhibition musculaire arthrognéique.

Concernant les résultats à 6 mois, aucun patient du groupe "App" n'a été réopéré pour un syndrome du cyclope ou pour une autre indication. Dans le groupe "Standard", un seul patient a été réopéré pour un syndrome du cyclope à 3,5 mois postopératoire et un autre pour un échec de suture méniscale.

Cette étude comportait cependant certaines limites, tout d'abord par sa nature rétrospective. Deuxièmement, le petit nombre de patient dans le groupe "App" a pu rendre difficile l'analyse statistique des résultats en raison d'une trop faible puissance. De plus, l'inquiétude liée au fait que les patients n'aient pas pu se rendre chez leur kiné pendant la période de confinement a potentiellement augmenté leur motivation leur assiduité pour réaliser les exercices d'auto-rééducation mais cet aspect tend à montrer que l'implication du patient est essentielle pour la récupération postopératoire et que les outils numériques visant à renforcer cette implication ont toute leur place en complément et non en remplacement des protocoles de rééducation classiques supervisés par le kinésithérapeute.

6. Conclusion

L'utilisation isolée d'une application d'auto-rééducation apparaît comme une méthode fiable de rééducation concernant les 6 premières semaines post-ligamentoplastie du LCA. L'utilisation de l'auto-rééducation seule a montré des résultats au moins équivalents sur la récupération précoce du réveil quadriceps, du verrouillage en charge et sur la réopération à 6 mois postopératoire dans le contexte de pandémie de COVID-19 par rapport ... la kinésithérapie standard. Dans le contexte de pandémie COVID-19, l'application a donc permis de limiter les conséquences liées à l'absence de séance de kinésithérapie et pourrait être généralisée, en complément des protocoles habituellement utilisés chez le kinésithérapeute.

Déclaration de liens d'intérêts

M. Thaunat et J.M. Fayard sont co-fondateurs et développeurs de l'application Doct'up.

Financement

L'étude n'a fait l'objet d'aucun financement.

Contributions des auteurs

P.H.B., J.M.F. et M.T. ont apporté une contribution au design de la recherche, à l'acquisition et à la saisie des données, à la préparation du manuscrit. Tous ont lu et validé la version finale soumise.

Remerciements

Nos pensées vont vers Maxime Tatar notre collègue parti trop tôt.

Les auteurs remercient Laurence Bauwens pour la relecture du texte et la vérification des statistiques.

Références

- Beard DJ, Dodd CA. Home or supervised rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial. *J Orthop Sports Phys Ther* 1998;27:134–43.
- Delay BS, Smolinski RJ, Wind WM, Bowman DS. Current practices and opinions in ACL reconstruction and rehabilitation: results of a survey of the American Orthopaedic Society for Sports Medicine. *Am J Knee Surg* 2001;14:85–91.
- Beynonn BD, Johnson RJ, Abate JA, Fleming BC, Nichols CE. Treatment of anterior cruciate ligament injuries, part 2. *Am J Sports Med* 2005;33:1751–67.
- van Melick N, van Cingel REH, Brooijmans F, Neeter C, van Tienen T, Hulle-gie W, et al. Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *Br J Sports Med* 2016;50:1506–15.
- Gokeler A, Bisschop M, Benjaminse A, Myer GD, Eppinga P, Otten E. Quadriceps function following ACL reconstruction and rehabilitation: implications for optimisation of current practices. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2014;22:1163–74.
- Reina N, Cognault J, Ollivier M, Dagneaux L, Gauci M-O, Pailhé R. The COrtho app: a mobile clinical and educational tool for orthopedics. *Orthop Traumatol Surg Res* 2018;104:523–7.
- Støve MP, Palsson TS, Hirata RP. Smartphone-based accelerometry is a valid tool for measuring dynamic changes in knee extension range of motion. *Knee* 2018;25:66–72.
- Liao Y, Vakanski A, Xian M, Paul D, Baker R. A review of computational approaches for evaluation of rehabilitation exercises. *Comput Biol Med* 2020;119:103687.
- Milanese S, Gordon S, Buettner P, Flavell C, Ruston S, Coe D, et al. Reliability and concurrent validity of knee angle measurement: smart phone app versus universal goniometer used by experienced and novice clinicians. *Man Ther* 2014;19:569–74.
- Rothgangel A, Kanera I, van den Heuvel R, Wientgen M, Jamin G, Lensen T, et al. Physiotherapists' clinical use and acceptance of a telemonitoring platform during anterior cruciate ligament rehabilitation: a prospective clinical study. *Disabil Rehabil Assist Technol* 2020;1–8.

- Hohmann E, Tetsworth K, Bryant A. Physiotherapy-guided versus home-based, unsupervised rehabilitation in isolated anterior cruciate injuries following surgical reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011;19:1158–67.
- Franco OI. Smartphone apps for orthopaedic surgeons. *Clin Orthop Relat Res* 2011;469:2042–8.
- Al-Hadithy N, Gikas PD, Al-Nammari SS. Smartphones in orthopaedics. *Int Orthop* 2012;36:1543–7.
- Popat R, Mohan AT, Branford OA. Current uses of smartphones and apps in orthopaedic surgery. *Br J Hosp Med (Lond)* 2013;74:672–6.
- Srivastav AK, Sharma N, Samuel AJ. Impact of Coronavirus disease-19 (COVID-19) lockdown on physical activity and energy expenditure among physiotherapy professionals and students using web-based open E-survey sent through WhatsApp, Facebook and Instagram messengers. *Clin Epidemiol Glob Health* 2020.
- Sonnery-Cottet B, Barbosa NC, Tuteja S, Daggett M, Kajetanek C, Thaunat M. Minimally invasive anterolateral ligament reconstruction in the setting of anterior cruciate ligament injury. *Arthrosc Tech* 2016;5:e211–5.
- Sonnery-Cottet B, Freychet B, Murphy CG, Pupim BHB, Thaunat M. Anterior cruciate ligament reconstruction and preservation: the Single-Anteromedial Bundle Biological Augmentation (SAMBBA) technique. *Arthrosc Tech* 2014;3:e689–93.
- Thaunat M, Fayard JM, Guimaraes TM, Jan N, Murphy CG, Sonnery-Cottet B. Classification and surgical repair of ramp lesions of the medial meniscus. *Arthrosc Tech* 2016;5:e871–5.
- Rinne P, Mace M, Nakornchai T, Zimmerman K, Fayer S, Sharma P, et al. Democratizing neurorehabilitation: how accessible are low-cost mobile-gaming technologies for self-rehabilitation of arm disability in stroke? *PLoS One* 2016;11:e0163413.
- Choi Y, Nam J, Yang D, Jung W, Lee H-R, Kim SH. Effect of smartphone application-supported self-rehabilitation for frozen shoulder: a prospective randomized control study. *Clin Rehabil* 2019;33:653–60.
- Lee M, Lee SH, Kim T, Yoo H-J, Kim SH, Suh D-W, et al. Feasibility of a smartphone-based exercise program for office workers with neck pain: an individualized approach using a self-classification algorithm. *Arch Phys Med Rehabil* 2017;98:80–7.
- Legendre G, Gonzalves A, Levallant J-M, Fernandez D, Fuchs F, Fernandez H. Impact of at-home self-rehabilitation of the perineum on pelvic floor function in patients with stress urinary incontinence: results from a prospective study using three-dimensional ultrasound. *J Gynecol Obstet Biol Reprod (Paris)* 2016;45:139–46.
- Bahadori S, Wainwright TW, Ahmed OH. Smartphone apps for total hip replacement and total knee replacement surgery patients: a systematic review. *Disabil Rehabil* 2020;42:983–8.
- Alasfour M, Almarwani M. The effect of innovative smartphone application on adherence to a home-based exercise programs for female older adults with knee osteoarthritis in Saudi Arabia: a randomized controlled trial. *Disabil Rehabil* 2020;1–8.
- Harmelink KEM, Zeegers AVCM, Tönis TM, Hullegie W, Nijhuis-van der Sanden MWG, Staal JB. The effectiveness of the use of a digital activity coaching system in addition to a two-week home-based exercise program in patients after total knee arthroplasty: study protocol for a randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord* 2017;18:290.
- Correia FD, Nogueira A, Magalhães I, Guimarães J, Moreira M, Barradas I, et al. Medium-term outcomes of digital versus conventional home-based rehabilitation after total knee arthroplasty: prospective, parallel-group feasibility study. *JMIR Rehabil Assist Technol* 2019;6:e13111.
- Higgins J, Chang J, Hoit G, Chahal J, Dwyer T, Theodoropoulos J. Conventional follow-up versus mobile application home monitoring for postoperative anterior cruciate ligament reconstruction patients: a randomized controlled trial. *Arthroscopy* 2020;36:1906–16.
- Delaloye J-R, Murar J, Vieira TD, Franck F, Pioger C, Helfer L, et al. Knee extension deficit in the early postoperative period predisposes to cyclops syndrome after anterior cruciate ligament reconstruction: a risk factor analysis in 3633 patients from the SANTI Study Group Database. *Am J Sports Med* 2020;48:565–72.
- Pinto FG, Thaunat M, Daggett M, Kajetanek C, Marques T, Guimaraes T, et al. Hamstring contracture after ACL reconstruction is associated with an increased risk of cyclops syndrome. *Orthop J Sports Med* 2017;5:2325967116684121.
- Mayr HO, Brandt CM, Weig T, Koehne M, Bernstein A, Suedkamp NP, et al. Long-term results of arthroscopic arthrolysis for arthrofibrosis after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2017;33:408–14.
- Roulet S, Borel F, Franger G, Liotard J-P, Michelet A, Godenèche A. Immediate self-rehabilitation after open Latarjet procedures enables recovery of preoperative shoulder mobility at 3 months. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2019;27:3979–88.
- Niama Natta DD, Lejeune T, Detrembleur C, Yarou B, Sogbossi ES, Alagnidé E, et al. Effectiveness of a self-rehabilitation program to improve upper-extremity function after stroke in developing countries: a randomized controlled trial. *Ann Phys Rehabil Med* 2020.
- Harris JE, Eng JJ, Miller WC, Dawson AS. A self-administered Graded Repetitive Arm Supplementary Program (GRASP) improves arm function during inpatient stroke rehabilitation: a multi-site randomized controlled trial. *Stroke* 2009;40:2123–8.
- Bonnyaud C, Gallien P, Decavel P, Marque P, Aymard C, Pellas F, et al. Effects of a 6-month self-rehabilitation programme in addition to botulinum toxin injections and conventional physiotherapy on limitations of patients with spastic

- hemiparesis following stroke (ADJU-TOX): protocol study for a randomised controlled, investigator blinded study. *BMJ Open* 2018;8:e020915.
- [35] Urbach D, Nebelung W, Weiler HT, Awiszus F. Bilateral deficit of voluntary quadriceps muscle activation after unilateral ACL tear. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:1691–6.
- [36] Sonnery-Cottet B, Saithna A, Quelard B, Daggett M, Borade A, Ouanezar H, et al. Arthrogenic muscle inhibition after ACL reconstruction: a scoping review of the efficacy of interventions. *Br J Sports Med* 2019;53:289–98.
- [37] Rice DA, McNair PJ. Quadriceps arthrogenic muscle inhibition: neural mechanisms and treatment perspectives. *Semin Arthritis Rheum* 2010;40:250–66.
- [38] Baumeister J, Reinecke K, Schubert M, Weiss M. Altered electrocortical brain activity after ACL reconstruction during force control. *J Orthop Res* 2011;29:1383–9.
- [39] Baumeister J, Reinecke K, Weiss M. Changed cortical activity after anterior cruciate ligament reconstruction in a joint position paradigm: an EEG study. *Scand J Med Sci Sports* 2008;18:473–84.
- [40] Warner B, Kim K-M, Hart JM, Saliba S. Lack of effect of superficial heat to the knee on quadriceps function in individuals with quadriceps inhibition. *J Sport Rehabil* 2013;22:93–9.