Article original

Dispositif SYNCHRO-TC

Conception et évaluation préliminaire

M.-H. FERRER[(1)], L. PELLEGRIN[(2)], A. CHELLALI[(3)], É. MASSIN[(4)], P. EL KHOURY[(5)], P. AZOUVI[(6)], C. VALLAT-AZOUVI[(7)], B. ALESCIO-LAUTIER[(8)]

(1) Institut de Recherche Biomédicale des Armées, Département Neurosciences et Sciences Cognitives, Unité Neurophysiologie du Stress, Brétigny-sur-Orge
(2) Centre d'Épidémiologie et de Santé Publique des Armées, Département Expertise Numérique en Épidémiologie, Marseille / Équipe 4 : Surveillance Épidémiologique, Microbiologique, Moléculaire et Phylogénomique des Maladies Infectieuses, RITMES UMR 257, Marseille
(1,3) Université d'Évry-Paris-Saclay, Équipe IRA2, Laboratoire IBISC, Évry
(4,7) Hôpital Raymond-Poincaré, UEROS SAMSAH 92-UGECAM IDF, Garches
(5,7) Université Paris 8, Unité de recherche DysCo, Paris
(6) Hôpital Raymond-Poincaré, Service de Médecine Physique et de Réadaptation, Garches
(8) Aix-Marseille Université, Centre National de la Recherche Scientifique, Centre de Recherche en Psychologie et Neurosciences, Marseille

Auteur correspondant : mariehelene.ferrer@gmail.com

Open access DOI
10.17184/eac.9428

Reçu
le 10 février 2025

Accepté
le 12 mai 2025

Publié
le 11 juin 2025

Conflit d'intérêt
Les auteurs ne déclarent pas de conflit d'intérêt.

Résumé :
La révolution numérique a impacté le monde médical en faisant émerger un nouveau domaine : la télésanté ou e-santé.
Ces évolutions transforment la relation patient-praticien et ouvrent des perspectives pour certaines pathologies. La prise en charge des patients Traumatisés cranio-cérébraux (TCC) est difficile en raison de la spécificité de leurs troubles.
Le contexte Covid 19 a complexifié cette situation en espaçant les séances présentielles des patients avec leur thérapeute.
Le dispositif SYNCHRO-TC vise à faciliter et à améliorer la prise en charge des patients TCC par une réhabilitation cognitive personnalisée à domicile. Il s'adresse à la fois aux patients TCC en phase de rééducation/réadaptation, mais également aux patients TCC ayant quitté le processus de suivi et dont la prise en charge à plus long terme permettrait d'améliorer leur capacité à réaliser une activité qu'ils ne sont plus en mesure d'effectuer correctement.
Dans cet article, nous décrivons l'étude préliminaire ayant permis d'étudier la faisabilité de son déploiement sur le terrain et d'évaluer l'observance, l'utilisabilité et l'impact des séances proposées avec le dispositif SYNCHRO-TC sur l'état d'activation de nos participants, soit dix patients souffrant de lésions cérébrales acquises.
Nous évoquons aussi la conception centrée utilisateur de ce dispositif. Celui-ci est composé à la fois d'une application

pour le patient (environnement virtuel simulant un contexte de vie quotidienne), mais aussi d'une application pour le professionnel de santé (interface web de gestion et de suivi des patients). Le dispositif SYNCHRO-TC permet ainsi de proposer aux patients TC le maintien d'une activité cognitive hebdomadaire adaptée à distance sous la supervision du professionnel de santé.
Après conception, nous avons évalué l'observance et l'utilisabilité de notre dispositif en tenant compte de l'état d'activation de dix participants. Tous les patients ont terminé le programme en évaluant favorablement l'utilisabilité de l'application sans mise en tension en fin de séance rééducative. L'évolution constatée de la perception subjective de l'état de vigilance de nos participants pourra orienter nos futurs travaux par l'inclusion de nouveaux indicateurs exploratoires.

Mots-clés : Jeux sérieux. Réalité virtuelle. Rééducation cognitive. Traumatisme crânien. Médecine d'armée.

Abstract:
SYNCHRO-TC DEVICE: DESIGN AND PRELIMINARY EVALUATION

The digital revolution has had an impact on the medical world, giving rise to a new field: telehealth or e-health. These developments are changing the patient-practitioner relationship, and opening up new prospects for certain pathologies. For example, the management of Traumatic brain injury (TBI) patients is complex due to the heterogeneity of their disorders. The COVID-19 pandemic made it even more complicated to handle, spacing out face-to-face sessions between patients and their therapists.
The Synchro-TC system aims to facilitate and improve the care of TBI patients, through personalized cognitive rehabilitation treatment at home. It is aimed at both patients with TBI undergoing rehabilitation treatment and TBI patients who have left the follow-up process while longer-term care was likely to help them regain recovery, i.e., the ability to carry out activities they used perform easily.
In this article, we chose to describe a preliminary study involving ten patients suffering from acquired brain injuries. It helped to determine whether it is possible and realistic to offer patients a user-centered device - The SYNCHRO-TC device - on a larger scale in the field, by assessing its practicality, patient compliance with therapy and impact on the patient activation.
We also discussed the user-centered design of this device.
The device comprises both an application for the patient, i.e. a virtual environment simulating daily life, and an application for the healthcare professional, i.e a web interface for patient management and monitoring and follow-up.

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

The SYNCHRO-TC device thus enables patients with TBI to remotely maintain an adapted weekly cognitive activity under the supervision of their healthcare professional.
In addition to design, we evaluated patient compliance and usability of our device, taking into account the state of activation of ten participants. Every participant completed the program, giving positive feedback on the application and its usability, and showing no tension at the end of the rehabilitation session. Upon analysing the subjective perception of our participants' state of vigilance over time, new exploratory indicators may well be included into further research.

Keywords: Serious games. Virtual reality. Cognitive rehabilitation. Traumatic brain injury. Military medicine.

Introduction

Les conflits de haute intensité, comme le conflit russo-ukrainien, génèrent de nombreux blessés traumatiques pour lesquels la phase de réadaptation ne doit pas être négligée (1). Ce besoin de services de réadaptation appropriés et de suivi post-traitement immédiat est valable pour les militaires, mais aussi pour les civils impactés (2).
Parmi les traumatismes, l'incidence du Traumatisme cranio-cérébral (TCC) reste non négligeable. Lors des conflits en Irak et en Afghanistan, les lésions dues au souffle d'engins explosifs improvisés ont causé des traumatismes légers (mTBI), traumatismes peu dépistés et peu reconnus (3). Ayant pour objectif d'avoir une meilleure compréhension du mécanisme et des séquelles à long terme des TCC pour aider à orienter l'aide humanitaire aux personnes touchées par la guerre en Ukraine, Zhang *et al.* (4) ont modélisé l'utilisation hypothétique d'armes thermobariques à Odessa, en Ukraine. Ils estiment que la détonation d'une salve de roquettes thermobariques est susceptible d'affecter environ 272 personnes avec des lésions cérébrales traumatiques liées aux effets de souffle (blast). Cette pathologie reste donc d'intérêt majeur. Outre les dommages à court terme, les patients souffrant de TCC peuvent présenter des symptômes à long terme, qui entraînent des coûts financiers et des conséquences sociales importantes.
Les déficits cognitifs font partie des séquelles les plus communes (5). Les déficits d'attention sont plus fréquemment constatés au cours des deux premières années suivant la blessure. Cela inclut des temps de réaction augmentés, une vitesse de traitement de l'information réduite, des difficultés de concentration ou des difficultés à faire plus d'une chose à la fois. Les troubles de la mémoire y sont couramment associés (6).
Les déficits des fonctions exécutives, aussi fréquemment rencontrés, peuvent englober une incapacité à planifier ou à développer des objectifs, à initier des comportements, à résoudre des problèmes, à anticiper les conséquences des actions, à suivre les progrès vers les objectifs, à raisonner, à élaborer des stratégies, à diriger l'attention vers des informations pertinentes pour les objectifs et à gérer le temps et l'espace (7).
Cette combinaison de déficits, souvent intriqués et complexes, constitue un « handicap invisible » qui complique la prise en charge sanitaire et médico-sociale et perdure dans

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

le temps (8,9). La spécificité du TCC est ainsi l'une des difficultés les plus importantes dans la recherche de thérapies efficaces pour sa prise en charge (10).
En 1987, Kurlychek et Levin (11) ont mentionné deux types de stratégies rééducatives : l'entraînement des fonctions cognitives (mémoire, attention, fonctions exécutives) qui peuvent être transférées à différents comportements de la vie quotidienne et l'entraînement aux compétences spécifiques à un domaine (jeu de rôle, par exemple lors de l'achat d'un ticket de métro) qui améliorent la performance de tâches très spécifiques. Dans le premier cas, il a été démontré que les compétences de base s'amélioraient au cours de la rééducation. Dans le second cas, il a été démontré que l'entraînement de compétences spécifiques améliorait la vie quotidienne (12).
Les technologies récentes de l'ère de l'Internet et des appareils connectés peuvent aider les chercheurs à proposer des séances réalisables depuis le domicile du patient tout en étant supervisées par un professionnel de santé. Celui-ci peut ainsi adapter les séances aux besoins de rééducation du patient, même si sa situation géographique est éloignée du lieu où se trouve le patient. Montero *et al.* (13) soulignent l'intérêt potentiel de l'E-Learning, notamment en termes de disponibilité y compris pour les patients éloignés d'un centre de rééducation. De plus, ils soulignent que les programmes de rééducation informatisés sont particulièrement bien acceptés par les plus jeunes et augmentent la motivation des patients. Dans cette optique, le projet SYNCHRO-TC vise à concevoir un dispositif innovant permettant de proposer une rééducation cognitive à distance au profit de patients traumatisés crâniens s'appuyant sur les technologies en lien avec le Web et la réalité virtuelle.
Nous détaillons ci-après l'étude préliminaire ayant permis d'étudier la faisabilité de son déploiement sur le terrain et d'évaluer l'observance, l'utilisabilité et l'impact des séances proposées avec le dispositif SYNCHRO-TC sur l'état d'activation de nos participants, soit dix patients souffrant de lésions cérébrales acquises. Nous évoquons aussi la conception centrée utilisateur de ce dispositif.

1 Méthode

1.1 Participants

Dix patients adultes cérébrolésés entre 18 et 60 ans ont accepté de participer à cette étude visant à évaluer la faisabilité d'une rééducation à distance *via* le dispositif SYNCHRO-TC et son utilisabilité par des patients TCC. Par ailleurs, ces patients étaient suivis par leur thérapeute qui réalisaient régulièrement des évaluations de l'évolution de leur état cognitif dans le cadre de leurs soins courants. Ces patients avaient tous un ordinateur à domicile compatible avec l'application (PC) et disposaient d'une connexion Internet. Ils avaient aussi potentiellement accès à une application pour la réalisation de séances en visioconférence (Zoom ou Jitsi meet).
Les critères de non-inclusion de notre étude étaient les suivants : les patients ayant des crises d'épilepsie non stabilisées sous traitement depuis plus de trois mois, les patients ayant déjà eu des antécédents psychiatriques avérés ayant nécessité une hospitalisation, les patients étant déjà inclus au sein d'un protocole de recherche en rééducation cognitive, les patients ayant une amnésie post-traumatique persistante ainsi que les patients sous tutelle. Le Comité d'éthique de la recherche (CER) de l'Université Paris-Saclay a validé le protocole expérimental (CER-Paris-Saclay-2022-083). L'étude a respecté les normes éthiques requises ; tous les participants ont donné leur consentement avant de participer à cette étude.

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

1.2 Conception centrée utilisateur du prototype

Une approche centrée sur l'utilisateur a été adoptée incluant deux populations : les patients souffrant d'un traumatisme crânien ou lésions cérébrales acquises non dégénératives en cours de réadaptation et les professionnels de la santé.
Lors du cycle de développement d'un produit informatique, la conception centrée utilisateur consiste à identifier, grâce à des méthodes spécifiques issues de l'ergonomie, les besoins, attentes et caractéristiques propres des utilisateurs finaux (14,15).
Elle s'articule autour du concept d'utilisabilité qui se définit comme « le degré selon lequel un produit peut être utilisé, par des utilisateurs identifiés, pour atteindre des buts définis avec efficacité, efficience et satisfaction, dans un contexte d'utilisation spécifié » (16,17).

Différentes méthodes peuvent être utilisées de façon combinée (observations, questionnaires, entretiens, tris de cartes, scénarii d'usages avec ou sans *personas*, etc.) afin de déterminer les éléments clefs d'usage du système pour maximiser l'expérience vécue (ou « expérience utilisateur ») dans une situation d'interaction en optimisant son acceptation et son appropriation (18).

Pour concevoir un dispositif de rééducation pertinent, il a été nécessaire d'identifier les caractéristiques et les attentes des profils cibles ainsi que le contexte dans lequel l'usage du système était prévu. Dans le cas présent, il s'agit d'une situation dans laquelle des professionnels de santé (neuropsychologues, orthophonistes) et des patients travaillent ensemble lors d'une séance de rééducation cognitive. Pour cela, la démarche s'est articulée en trois étapes successives, utilisant chacune différentes méthodes.

La première étape a consisté en une analyse ciblée décrivant les composantes de l'activité de rééducation et ses différents intervenants par le biais d'entretiens et d'observations de terrain (19). Les entretiens ont permis d'en savoir plus sur la manière dont le professionnel appréhende son travail et sur le type d'outils qu'il utilise (travail prescrit). Les observations ont permis de distinguer les différences avec l'entretien et d'apprécier la dynamique entre le professionnel et le(s) patient(s) (travail réel).

La seconde étape a consisté en une co-conception prospective des fonctionnalités et interfaces du système avec les futurs utilisateurs à l'aide d'un atelier d'idéation, d'un tri de cartes et de maquettage (19). Les spécifications fonctionnelles de la future plateforme ont ainsi été établies, incluant les interfaces et les interactions attendues à la fois pour l'application « patient » et l'application « professionnel de santé ».

Les indicateurs nécessaires au professionnel pour le suivi de son patient ont aussi été définis. Par exemple, l'étape de l'inventaire suppose que le patient choisisse correctement parmi l'ensemble des objets à sa disposition les objets utiles à la réalisation de la mission, sans en oublier ou en prendre des inutiles. Il est donc important de tracer : les objets utiles pris, les objets inutiles pris, les objets utiles oubliés, le temps mis pour réaliser la tâche. Cette étape a été le support de conception des maquettes reprenant les fonctionnalités et les éléments d'interfaces identifiés.

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*,
Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

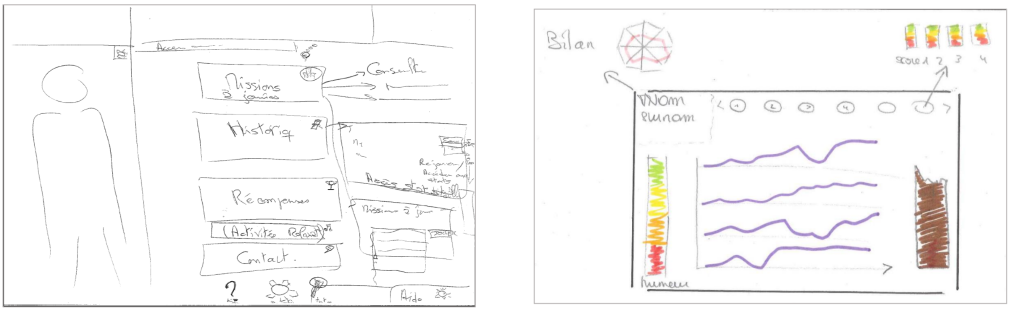


FIG. 1 : Exemple de productions issues des ateliers d'idéation.
À gauche : esquisse réalisée par un patient. À droite : esquisse réalisée par un professionnel

La troisième étape a consisté à réaliser une évaluation selon des critères ergonomiques prédéfinis afin de déceler les principaux problèmes d'utilisabilité sur un prototype (20). Ces tests ont consisté à faire dérouler un scénario d'usage comprenant différentes actions à effectuer au cours d'une séance de rééducation en rapport avec les problèmes identifiés précédemment (paramétrages et démarrage, déroulement de différentes séquences d'actions, etc.). L'ergonome observait les comportements d'interactions du participant en lui demandant de décrire ses actions à voix haute et enregistrait les parcours d'interface par le biais d'un logiciel spécialisé. Ces parcours ont ensuite été analysés sur la base des éléments critiques identifiés lors de l'inspection ergonomique, complétés par les verbatims des participants. L'ensemble a permis sur les critères préalablement définis de déterminer les niveaux de criticité associés, permettant ainsi de prioriser les actions correctrices à effectuer sur le prototype initial.

Cette évaluation nous a donc permis d'identifier les points à améliorer et à les corriger au sein du prototype afin d'aboutir à une première version stabilisée du dispositif SYNCHRO-TC. Le dispositif SYNCHRO-TC, conçu à l'issue de ce processus, comprend deux applications :

1. une application « patient » : simulateur virtuel non immersif accessible sur PC *via* une connexion Internet ;
2. une application « professionnel de santé » : plateforme Web de suivi de l'utilisation de l'application patient.

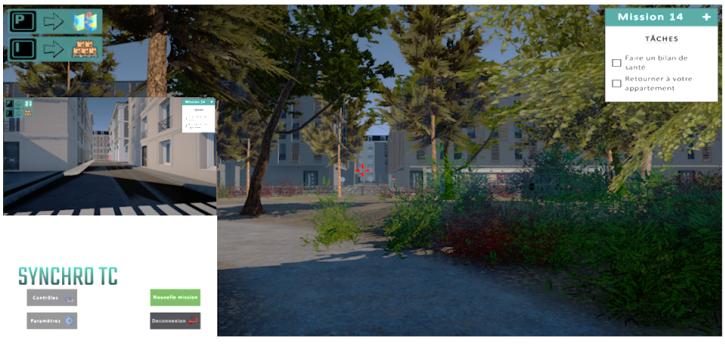


FIG. 2 : Exemples d'interfaces du dispositif SYNCHRO-TC

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

1.3 Matériels et mesures

Les matériels utilisés sont :

- un ordinateur (PC personnel du participant à son domicile) avec une connexion Internet, des interactions clavier/souris classiques à travers la manipulation d'un environnement 3D non immersif et des widgets graphiques (menus, boutons, etc.) affichés sur l'écran ;
- un ordinateur de bureau avec une connexion Internet (PC professionnel du personnel de santé, pour le suivi du patient) ;
- deux téléphones (un pour le patient et un pour le professionnel de santé).

Les patients ont répondu à des questionnaires en ligne à travers la plateforme Limesurvey installée sur le serveur sécurisé du laboratoire IBISC. Chaque patient a reçu un lien par mail (transmis par son thérapeute) et a utilisé le même code alphanumérique qui lui a été communiqué pour se connecter sur cette plateforme. Cette étape a été suivie en visio par le thérapeute pour l'assister et répondre aux questions éventuelles.

Les échelles complétées sont : l'échelle SUS (*System Usability Scale*), l'échelle UEQ (*User Experience Questionnaire*) et l'échelle de Thayer.

1.3.1 Échelle SUS (System Usability Scale)

L'échelle SUS, traduite par Gronier et Baudet (21) permet d'évaluer l'utilisabilité de systèmes interactifs. Elle comprend dix items, formulés sous la forme de phrases affirmatives. Pour chaque phrase, l'utilisateur est invité à se positionner, en exprimant son accord ou son désaccord, à l'aide d'une échelle de Lickert à 5 points (1 = Pas du tout d'accord ; 5 = Tout à fait d'accord).

Sept qualificatifs sont retenus pour interpréter le score d'utilisabilité obtenu :

- 25/100 = La pire qu'on puisse imaginer
- 35,7/100 = Mauvaise
- 50,9/100 = Acceptable
- 71,4/100 = Bonne
- 85,5/100 = Excellente
- 90,9/100 = La meilleure qu'on puisse imaginer

1.3.2 Échelle UEQ (User Experience Questionnaire)

Le Questionnaire de l'Expérience Utilisateur (UEQ), développé par Laugwitz *et al.* (22), est un outil d'évaluation standardisé pour mesurer la satisfaction et l'expérience globale des utilisateurs. Il vise à fournir des données quantitatives sur différents aspects de l'expérience utilisateur, permettant ainsi aux concepteurs de prendre des décisions informées pour améliorer le dispositif.
Grâce à une série de questions posées à des testeurs, il permet d'évaluer la perception des utilisateurs (*via* une cotation allant de - 3 à + 3) vis-à-vis de l'attractivité, la compréhensibilité, l'efficacité, la fiabilité, la stimulation et l'originalité d'un dispositif.

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

1.3.3 Échelle de Thayer

Grâce à l'échelle *Activation Deactivation Adjective Check List* de Thayer (23), nous avons évalué les niveaux subjectifs de vigilance et de tension en début de journée et après chaque simulation. Le modèle d'activation générale de Thayer évoque deux types d'activation : l'activation énergique (vigilance) et l'activation tendue (tension). L'activation énergique s'apparente à la notion de vigilance, au sens physiologique du terme. Quant à la tension, elle correspond à une réaction en réponse à des éléments stressants et correspondrait à l'anxiété.

Cette échelle est composée de 20 adjectifs. Pour chacun d'entre eux, une échelle en 4 points indique leur état, i.e. « Extrêmement d'accord », Assez d'accord », « je ne sais pas », et « Pas d'accord ». Les adjectifs étaient répartis en quatre dimensions :

1. Activation générale (AG) = actif, énergique, dynamique, la pêche, en forme ;
2. Tendance au sommeil (TS) = endormi, fatigué, attentif, somnolent, éveillé ;
3. Hyperactivation (HA) = mal à l'aise, inquiet, énervé, tendu, crispé ;
4. Hypoactivation (GD)= indifférent, calme, détendu, tranquille, silencieux.

1.4 Protocole

Le protocole s'est déroulé en trois phases :

1. une phase préliminaire dédiée à l'inclusion et à la présentation de l'outil ;
2. une phase de rééducation à distance incluant 26 séances de simulation en ligne. Lors de cette phase un(e) psychologue – neuropsychologue a eu un contact téléphonique avec chaque participant de manière hebdomadaire afin de s'assurer du bon déroulement des séances et de pouvoir identifier d'éventuels problèmes rencontrés. Lors des séances 1, 13 et 26, les participants ont rempli une échelle de Thayer en début de séance et en fin de séance.
3. une phase post-simulation au cours de laquelle les échelles SUS et UEQ ont été complétées.

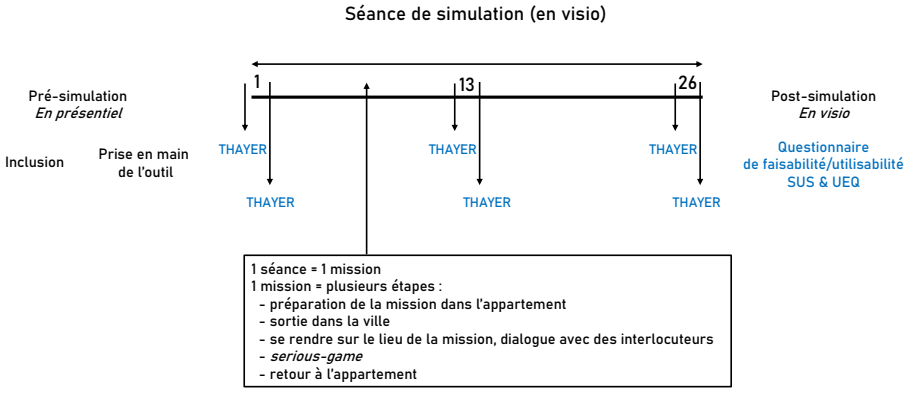


Fig. 3 : Schéma des différentes phases de l'étude

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

1.5 Analyses Statistiques

Les analyses ont été réalisées avec les logiciels Excel & Jamovi 2.3.28.
Elles comprennent des statistiques descriptives (moyenne, écart-type, médiane) et comparatives (Test de Wilcoxon, Test de Friedman & Test de Durbin-Conover).

2 Résultats

Les dix participants ont réalisé l'ensemble des séances qui leur ont été proposées. Six participants sur dix avaient déjà expérimenté des jeux vidéos.

2.1 Utilisabilité

Le score moyen à l'échelle SUS est de 80,75/100 (Med=87,5 ; ET=15,14). Ce score se situe entre les qualificatifs d'une utilisabilité « bonne » à « excellente ».

La perception des utilisateurs évaluée par l'échelle UEQ est globalement positive pour l'ensemble des dimensions étudiées :

- attractivité (Moy = 1,5 ; ET = 1,5 ; Med = 2 ; Min = – 2,1 ; Max =3) ;
- compréhensibilité (Moy = 2,1 ; ET = 0,8 ; Med = 2,2 ; Min = 0,5 ; Max = 3) ;
- efficacité (Moy = 1,3 ; ET = 1,6 ; Med = 1,7 ; Min = -2 ; Max = 3) ;
- fiabilité (Moy = 1,4 ; ET = 1,1 ; Med = 1,7 ; Min = -1 ; Max = 2,7) ;
- stimulation (Moy = 1 ; ET = 1,7 ; Med = 1,6 ; Min = -3 ; Max = 3) ;
- originalité (Moy = 1,4 ; ET = 1,5 ; Med = 1,8 ; Min = -1,25 ; Max = 3).

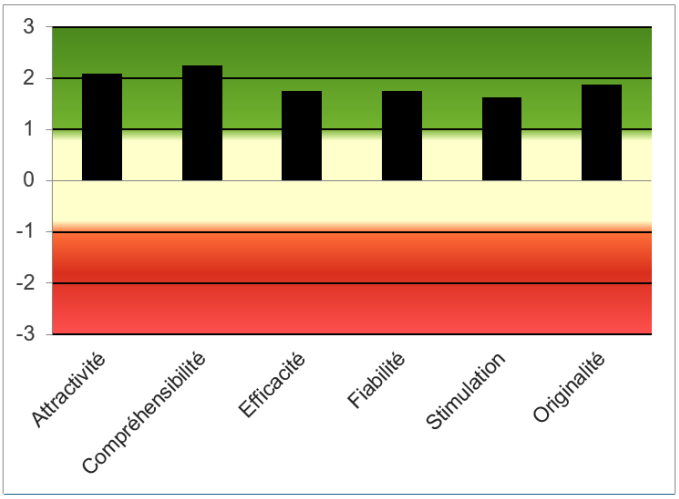


Fig. 4 : Médianes des scores obtenus aux sous-dimensions de l'échelle UEQ

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

2.2 État d'activation

Le niveau d'activation générale préséance n'est pas significativement différent entre les trois séances évaluées. Le niveau d'activation générale postséance est significativement différent entre les trois séances évaluées dans le sens d'une diminution de la séance 1 à 26 ($p = 0{,}035$).

Le niveau de Tendance au Sommeil préséance n'est pas significativement différent entre les trois séances évaluées. Le niveau de Tendance au Sommeil post-séance est significativement différent entre les trois séances évaluées dans le sens d'une augmentation en séance 26 ($p = 0{,}035$).

Les niveaux d'hyperactivation et d'hypoactivation pré et postséance ne sont pas significativement différents entre les trois séances évaluées. Lors de la première séance, les niveaux d'hyperactivation pré et postséance sont significativement différents.

Tab. 1 : Résultats obtenus aux sous-dimensions de l'échelle Thayer

	Séance 1 Moy ± ET Med	Séance 13 Moy ± ET Med	Séance 26 Moy ± ET Med	Test Friedman entre les trois séances	Test Durbin-Conover Séances deux à deux
PRÉ Activation générale	13,7 ± 4,62 13	11,9 ± 2,73 12,5	11,1 ± 3,93 10,5	$p = 0{,}226$	
POST Activation générale	13,8 ± 4,89 14	12,8 ± 4,33 12	11,1 ± 5,04 9,5	$p = 0{,}035$	*S1-S13 : p = 0,074* S1-S26 *: p =* 0,008 S13-S26 *: p =* 0,294
PRE Tendance au sommeil	8,7 ± 2,26 9	9,4 ± 3,75 9	10,4 ± 3,24 10	$p = 0{,}214$	
POST Tendance au sommeil	8,6 ± 3,37 8,5	8,6 ± 4,01 7,5	10,8 ± 2,62 10,5	$p = 0{,}035$	S1-S13 *: p =* 0,895 S1-S26 *: p =* 0,016 S13-S26 *: p =* 0,021
PRÉ Hyperactivation	6,7 ± 1,89* 7	6,4 ± 2,67 5	8 ± 3,40 7	$p = 0{,}187$	
POST Hyperactivation	5,7 ± 2,21* 5	6 ± 1,89 5	7 ± 2,36 6	$p = 0{,}212$	
PRÉ Hypoactivation	14,8 ± 1,62 14,5	13,3 ± 1,83 12,5	13,3 ± 3,06 13	$p = 0{,}368$	
POST Hypoactivation	14,5 ± 2,12 14	13,1 ± 2,64 13	12,5 ± 2,88 13	$p = 0{,}247$	

Notes.
Différence Pré-Post Test Wilcoxon par séance En gras, p ≤ 0,05, En italique, p<0,08
Différence entre les trois séances puis deux à deux En gras, p ≤ 0,05, En italique, p<0,08

3 Discussion

Le dispositif SYNCHRO-TC a été mis au point grâce à un processus itératif qui a placé les futurs utilisateurs (patients et professionnels de santé) au centre de la démarche de conception.

3.1 Observance et utilisabilité

Ainsi, la phase d'analyse de l'existant nous a permis à la fois d'identifier les fonctions cognitives à entraîner, mais aussi à envisager des tâches pertinentes et à souligner les enjeux du débriefing patient-professionnel de santé.
Les ateliers de co-conception ont permis à nos futurs utilisateurs potentiels de s'exprimer,

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

de faire appel à leur imaginaire et de transmettre ces ressources idéatives à l'équipe conceptrice du dispositif SYNCHRO-TC.

Enfin, selon les recommandations en santé de l'HAS « Jamais la première fois sur le patient », nos premiers tests utilisateurs nous ont permis de vérifier l'accessibilité d'usage au domicile et la compréhensibilité de nos interfaces puis d'effectuer les correctifs nécessaires. Ce travail d'analyse, de co-construction et d'évaluation ergonomique est important pour limiter les écueils de conception. Nous avons aussi tenu compte de l'importance des échanges patients-praticiens dans notre évaluation préliminaire. En effet, les patients ont été appelés hebdomadairement pour respecter ce temps d'échanges et leur permettre d'évoquer leurs difficultés, ce qui a pu contribuer à l'observance du programme. Les patients ont été observants, car tous les volontaires ont réalisé l'ensemble des 26 séances d'entraînement qui leur ont été proposées. Le travail initial d'analyse des besoins et des interactions patients-professionnels de santé visait à favoriser le développement d'un dispositif suffisamment motivant pour permettre la répétition des séances et favoriser une bonne observance.

Les difficultés rencontrées lors de l'usage de SYNCHRO-TC pourraient impacter cette observance. Mesurer l'utilisabilité nous a permis de comparer le niveau obtenu par notre système comparativement à d'autres dispositifs antérieurement évalués. Le score moyen de 80,75 obtenu à l'échelle SUS est satisfaisant pour cette première version de notre dispositif. D'autres études évaluant différents systèmes de télérééducation retrouvent des valeurs comparables. De Luca *et al.* (24) évaluant un système de télérééducation cognitive au profit de patients TCC mettaient en évidence un score moyen de 68 pour dix patients participants. Bertolucci *et al.* (25) obtenaient un score moyen de 77,08 auprès de six patients. Pour d'autres types de rééducation et d'autres pathologies, une étude (26) impliquant de la téléréadaptation motrice et respiratoire chez des patients souffrant d'un COVID-19 après leur sortie de l'hôpital indique que les scores SUS moyens étaient respectivement de 85,5/100 pour le dispositif d'entraînement respiratoire et de 84,1/100 pour le dispositif d'entraînement moteur.

3.2 Expérience utilisateur et ressentis

Broekhuis *et al.* (27) souligne l'intérêt d'utiliser plusieurs indicateurs d'utilisabilité et non uniquement l'échelle SUS lors de l'évaluation d'un système de télésanté. En effet, recueillir des informations sur la perception que le patient a du système de rééducation à distance et sur ses ressentis pré et post-séance permet de compléter utilement nos tests utilisateurs. Nous avons donc fait le choix de proposer le remplissage de l'échelle UEQ mais aussi de l'échelle Thayer. La première visait à quantifier divers aspects de l'expérience utilisateur. La seconde visait à vérifier qu'une séance de rééducation *via* SYNCHRO-TC ne mettait pas en tension le patient. De plus, les patients se plaignant souvent de problèmes de fatigabilité et de vigilance, elle a aussi permis d'explorer l'évolution de l'axe vigilance au cours du programme.

Nos participants ne soulevaient aucun point rouge à l'échelle UEQ. Ils perçoivent favorablement la compréhensibilité (2,1), moyennement l'attractivité (1,5), la fiabilité (1,4), l'originalité (1,4) l'efficacité (1,3) et plus faiblement la stimulation (1).
Comparativement à d'autres études, notre score de compréhensibilité est très correct. Notre dispositif est cependant améliorable pour faire progresser les différents aspects

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

de l'expérience utilisateur. Par exemple, dans le cadre d'une étude prenant en compte trente-cinq patients souffrant de lésions cérébrales acquises et de déficits d'attention légers à modérés qui ont suivi un programme (VR Traveller) au cours d'une séance de 20 à 30 minutes pendant leur rééducation cognitive, les scores moyens suivants ont été relevés lors du questionnaire d'expérience utilisateur (UEQ) : attractivité (2.10) ; compréhensibilité (1,59) ; efficacité (1,22) ; fiabilité (1,15) ; stimulation (2,09) ; originalité (1,74) (28). Dans une étude pilote visant à évaluer qualitativement l'utilisabilité d'un dispositif pour l'entraînement des fonctions cognitives et motrices (29), les participants ont attribué les scores moyens suivants : attractivité (1,87), compréhensibilité (0,92), efficacité (1,16), fiabilité (1,41), stimulation (1,69), originalité (1,61). Nos résultats reflètent aussi l'hétérogénéité des patients TCC avec des scores variables. Ainsi, pour l'attractivité, l'efficacité et la stimulation, les minima et maxima vont respectivement de - 2,1 à 3, de - 2 à 3 et de - 3 à 3. Les deux exemples ci-dessus de même que celui ci-après évoquent des rééducations proposées en centre de soins. Notre originalité est de proposer un dispositif utilisable à domicile sous la supervision d'un professionnel.

Chen *et al* (30) ont mis en évidence qu'un programme de rééducation expérimental basé sur la réalité virtuelle peut soulager la tension des patients et induire du calme auprès de 15 patients souffrant d'une lésion de la moelle épinière comparativement aux 15 patients du groupe contrôle. Nous constatons une baisse significative de la dimension hyperactivation en fin de séance lors de la première séance. Cette baisse pourrait s'expliquer par une hyperactivation préséance, une mise en tension anticipatrice car les participants n'ont encore jamais réalisé de séance sur le dispositif.
Il s'agit donc d'une nouveauté pour eux. Cette différence prépost n'est pas retrouvée pour les séances 13 et 26. Pour rappel, la dimension hyperactivation reprend les adjectifs suivants : mal à l'aise, inquiet, énervé, tendu, crispé. Nous avons ainsi vérifié que nos séances ne génèrent aucune inquiétude, tension ou crispation. Nos participants ne sont pas mis en tension par nos séances de rééducation. Les niveaux d'activation générale et de tendance au sommeil postséance variaient significativement entre les séances 1, 13 et 26 respectivement dans le sens d'une baisse pour l'un et d'une augmentation pour l'autre. La fatigue est une plainte récurrente des patients TCC (31). Notre entraînement fait possiblement évoluer la perception subjective de nos participants vis-à-vis de leur état de vigilance. Ces niveaux devront être recontrôlés dans une étude ultérieure associée à d'autres indicateurs pour mieux comprendre les mécanismes influençant l'évolution de cette perception.

3.3 Limites et perspectives

Le dispositif SYNCHRO-TC est créé sur la base d'une méthode adaptative, de modèles cognitifs validés pour la population clinique des patients traumatisés crâniens et ciblé sur les difficultés spécifiques de ces patients. Il est actuellement proposé dans un cadre très spécifique, avec un accompagnement des patients dans leur utilisation du système et avec un programme comprenant un nombre important de séances, ce qui explique le faible nombre de participants à cette évaluation préliminaire.
En effet, l'usage d'outils informatiques, sans la présence du thérapeute, n'est à ce jour pas recommandé à un niveau de pratique standard, que ce soit pour les rééducations individuelles ou en groupe (groupe INCOG et INCOG 2.0 (32–35).

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

Cependant, le besoin de dispositif de prise en charge à distance de ces patients est bien présent (36). Ces dispositifs peuvent permettre un suivi à distance, une personnalisation de la prise en charge et un renforcement du nombre de séances proposées en particulier si les patients rencontrent des difficultés pour se rendre au sein de leur centre de soins.
En complément de cette étude préliminaire, une étude d'efficacité permettra à l'avenir de préciser les effets des séances proposées *via* le dispositif SYNCHRO-TC sur l'évolution de la cognition de nos patients.

Conclusion

Le dispositif SYNCHRO-TC permet aujourd'hui de proposer aux patients cérébrolésés le maintien d'une activité cognitive hebdomadaire adaptée à distance sous la supervision du professionnel de santé. Notre démarche de conception centrée utilisateurs a favorisé le développement d'un outil aisément exploitable à domicile.
La bonne observance et la bonne utilisabilité constatées de même que les niveaux d'activation observés encouragent la poursuite de nos travaux.
De futures recherches nous permettront à la fois d'évaluer l'efficacité clinique de notre dispositif *via* des critères neuropsychologiques, mais aussi de mieux comprendre les mécanismes sous-tendant les évolutions cognitives rencontrées.

Remerciements

Nous remercions l'ensemble des personnes ayant contribué à la réussite de ce projet (via des développements, des analyses ergonomiques, des prises vidéos) dont Lucas Herfort, Antoine Guerbert, Quentin Augey, Kevin Ornon, Manuella Jamet, Charlotte Adamo, Anaïs Minet, Claire Deshayes, Victor Passily, Cassandre Simon, Saveria Mattei, Tristan Prudhommeaux, Valentin Debenay, Claire Langle, Remy Lobjois. Nous remercions aussi les participants en bonne santé et les patients qui ont contribué aux tests utilisateurs et à l'étude de faisabilité-utilisabilité.

Remerciements au linguiste relecteur : Pierre-Alexandre Clerc.

Financement

Le développement de la plateforme SYNCHRO-TC a été possible grâce à un cofinancement de l'Agence Nationale de la Recherche et de la Caisse Nationale de Solidarité pour l'Autonomie (ANR-15-CE19-0026).

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

Références bibliographiques

1. Gosling J, Golyk V, Mishra S, Skelton P. We must not neglect rehabilitation in Ukraine. eClinicalMedicine. 2022 ;50 :101537. doi :10.1016/j.eclinm.2022.101537
2. Jain RP, Meteke S, Gaffey MF, Kamali M, Munyuzangabo M, Als D *et al.* Delivering trauma and rehabilitation interventions to women and children in conflict settings : a systematic review. BMJ Global Health. 2020 ;5(S1) :e001980. doi :10.1136/bmjgh-2019-001980
3. Lindberg MA, Moy Martin EM, Marion DW. Military traumatic brain injury : the history, impact, and future. Journal of Neurotrauma. 2022 ;39(17-18) :1133-45. doi :10.1089/neu.2022.0003
4. Zhang JK, Botterbush KS, Bagdady K, Lei CH, Mercier P, Mattei TA. Blast-related traumatic brain injuries secondary to thermobaric explosives : implications for the war in Ukraine. World Neurosurgery. 2022 ;167 :176-183.e4. doi :10.1016/j.wneu.2022.08.046
5. Azouvi P, Arnould A, Dromer E, Vallat-Azouvi C. Neuropsychology of traumatic brain injury : an expert overview. Revue neurologique. 2017 ;173(7-8) :461-72. doi :10.1016/j.neurol.2017.07.002
6. DeLuca J, Schultheis MT, Madigan NK, Christodoulou C, Averill A. Acquisition *versus* retrieval deficits in traumatic brain injury : implications for memory rehabilitation. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. 2000 ;81(10) :1327-33. doi :10.1053/apmr.2000.6970
7. Tate RL. Executive dysfunction and characterological changes after traumatic brain injury : two sides of the same coin ? Cortex. 1999 ;35(1) :39-55. doi :10.1016/s0010-9452(08)70784-6
8. Jourdan C, Bayen E, Vallat-Azouvi C, Ghout I, Darnoux E, Azerad S *et al.* Late functional changes post-severe traumatic brain injury are related to community reentry support : results from the PariS-TBI cohort. Journal of Head Trauma Rehabilitation. 2017 ;32(5) :E26-E34. doi :10.1097/HTR.0000000000000277
9. Ruet A, Jourdan C, Bayen E, Darnoux E, Sahridj D, Ghout I *et al.* Employment outcome four years after a severe traumatic brain injury : results of the Paris severe traumatic brain injury study. Disability and Rehabilitation. 2018 ;40(18) :2200-7. doi :10.1080/09638288.2017.1331382
10. Quatman-Yates CC, Hunter-Giordano A, Shimamura KK, Landel R, Alsalaheen BA, Hanke TA *et al.* Physical therapy evaluation and treatment after concussion/mild traumatic brain injury : clinical practice guidelines linked to the International Classification of Functioning, Disability and Health from the Academy of Orthopaedic Physical Therapy, American Academy of Sports Physical Therapy, Academy of Neurologic Physical Therapy, and Academy of Pediatric Physical Therapy of the American Physical Therapy Association. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy. 2020 ;50(4) :CPG1-CPG73. doi :10.2519/jospt.2020.0301
11. Kurlychek RT, Levin W. Computers in the cognitive rehabilitation of brain-injured persons. Critical Reviews in Medical Informatics. 1987 ;1(3) :241-57.
12. Rohling ML, Faust ME, Beverly B, Demakis G. Effectiveness of cognitive rehabilitation following acquired brain injury : a meta-analytic re-examination of Cicerone *et al.*'s (2000, 2005) systematic reviews. Neuropsychology. 2009 ;23(1) :20-39. doi :10.1037/a0013659
13. Montero F, López-Jaquero V, Navarro E, Sánchez E. Computer-aided relearning activity patterns for people with acquired brain injury. Computers & Education. 2011 ;57(1) :1149-59. doi :10.1016/j.compedu.2010.12.008
14. Nogier JF. UX design et ergonomie des interfaces. 7e éd. Paris (FR) : Dunod ; 2020.
15. Norme ISO 9241-210 :2019. Ergonomie de l'interaction homme-système. Partie 210 : conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs. Disponible : https://www.iso.org/fr/standard/77520.html
16. Norme ISO 9241-11 :2018. Ergonomie de l'interaction homme-système. Partie 11 : utilisabilité — définitions et concepts. Disponible : https://www.iso.org/fr/standard/63500.html
17. Baccino T, Bellino C, Colombi T, Pierrel JM. Mesure de l'utilisabilité des interfaces. Paris (FR) : Hermès Science ; 2005.
18. Brangier É, Barcenilla J. Concevoir un produit facile à utiliser. Paris (FR) : Éditions d'Organisation ; 2003.
19. Adamo C. Conception d'un nouvel outil d'e-rééducation à destination de personnes ayant subi un traumatisme crânien [mémoire de maîtrise]. Aix-Marseille (FR) : Université Aix-Marseille ; 2018.
20. Mattei S. Projet Synchro-TC [mémoire de maîtrise]. Aix-Marseille (FR) : Université Aix-Marseille ; 2022.
21. Gronier G, Baudet A. Psychometric evaluation of the F-SUS : creation and validation of the French version of the system usability scale. International Journal of Human-Computer Interaction. 2021 ;37(16) :1571-82. doi :10.1080/10447318.2021.1898826
22. Laugwitz B, Held T, Schrepp M. Construction and evaluation of a user experience questionnaire. Dans : Symposium of the Austrian HCI and Usability Engineering Group ; 2008 ; Austriche. Berlin (DE) : Springer ; 2008. p.63-76. doi :10.1007/978-3-540-89350-9*6

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816

23. Thayer RE. Activation-deactivation adjective check list : current overview and structural analysis. Psychological Reports. 1986 ;58(2) :607-14. doi :10.2466/pr0.1986.58.2.607

24. De Luca R, Maggio MG, Naro A, Portaro S, Cannavò A, Calabrò RS. Can patients with severe traumatic brain injury be trained with cognitive telerehabilitation ? An inpatient feasibility and usability study. Journal of Clinical Neuroscience. 2020 ;79 :246-50. doi :10.1016/j.jocn.2020.07.008

25. Bertolucci F, Fossati L, Agostini B, Malasoma C, Sgandurra G, Del Lucchese B *et al.* Telerehabilitation for cognitive home-based treatment in young traumatic brain injury : a pilot study. European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine. 2024 ;60(3) :420-9. doi :10.23736/S1973-9087.24.08177-7

26. Cerfoglio S, Verme F, Capodaglio P, Rossi P, Cvetkova V, Boldini G *et al.* Motor and respiratory tele-rehabilitation in patients with long COVID-19 after hospital discharge : an interventional study. Life. 2024 ;14(7) :864. doi :10.3390/life14070864

27. Broekhuis M, van Velsen L, Hermens H. Assessing usability of eHealth technology : a comparison of usability benchmarking instruments. International Journal of Medical Informatics. 2019 ;128 :24-31. doi :10.1016/j.ijmedinf.2019.05.001

28. Lorentz L, Simone M, Zimmermann M, Studer B, Suchan B, Althausen A *et al.* Evaluation of a VR prototype for neuropsychological rehabilitation of attentional functions. Virtual Reality. 2023 ;27(1) :187-99. doi :10.1007/s10055-021-00597-0

29. Podhorecka M, Andrzejczak J, Szrajber R, Lacko J, Lipiński P. Virtual reality-based cognitive stimulation using GRYDSEN software as a means to prevent age-related cognitive-mobility disorders : a pilot observational study. Human Technology. 2021 ;17(3) :321-35. doi :10.17011/ht/urn.202110274088

30. Chen CH, Jeng MC, Fung CP, Doong JL, Chuang TY. Psychological benefits of virtual reality for patients in rehabilitation therapy. Journal of Sport Rehabilitation. 2009 ;18(2) :258-68. doi :10.1123/jsr.18.2.258

31. Wright TJ, Elliott TR, Randolph KM, Pyles RB, Masel BE, Urban RJ *et al.* Prevalence of fatigue and cognitive impairment after traumatic brain injury. PLoS ONE. 2024 ;19(3) :e0300910. doi :10.1371/journal.pone.0300910

32. Bayley MT, Janzen S, Harnett A, Bragge P, Togher L, Kua A *et al.* INCOG 2.0 guidelines for cognitive rehabilitation following traumatic brain injury : what's changed from 2014 to now ? Journal of Head Trauma Rehabilitation. 2023 ;38(1) :1-6. doi :10.1097/HTR.0000000000000826

33. Cicerone KD, Goldin Y, Ganci K, Rosenbaum A, Wethe JV, Langenbahn DM *et al.* Evidence-based cognitive rehabilitation : systematic review of the literature from 2009 through 2014. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. 2019 ;100(8) :1515-33. doi :10.1016/j.apmr.2019.02.011

34. Jeffay E, Ponsford J, Harnett A, Janzen S, Patsakos E, Douglas J *et al.* INCOG 2.0 guidelines for cognitive rehabilitation following traumatic brain injury, part III : executive functions. Journal of Head Trauma Rehabilitation. 2023 ;38(1) :52-64. doi :10.1097/HTR.0000000000000834

35. Ponsford J, Velikonja D, Janzen S, Harnett A, McIntyre A, Wiseman-Hakes C *et al.* INCOG 2.0 guidelines for cognitive rehabilitation following traumatic brain injury, part II : attention and information processing speed. Journal of Head Trauma Rehabilitation. 2023 ;38(1) :38-51. doi :10.1097/HTR.0000000000000839

36. Campbell KR, Wilhelm JL, Pettigrew NC, Scanlan KT, Chesnutt JC, King LA. Implementation and adoption of telerehabilitation for treating mild traumatic brain injury. Journal of Neurologic Physical Therapy. 2022 ;46(4) :E1-E10. doi :10.1097/NPT.0000000000000410

Published in : SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES, - (dir.), *Médecine et Armées Vol.51 No.2. Dossier Numérique en santé*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005816, doi : 10.17184/eac.9782813005816