

RÉSUMÉ

Introduction

La maladie de Parkinson (MP) est une affection neurodégénérative chronique causée par la perte progressive des neurones dopaminergiques de la substantia nigra du mésencéphale. Dans des conditions normales, ces neurones sont responsables de la production et du stockage de la dopamine, un neurotransmetteur qui agit sur un réseau neuronal complexe régulant l'exécution des mouvements. Ce neurotransmetteur étant responsable de la transmission des informations nécessaires au contrôle correct des mouvements, son déficit affecte principalement la fonction motrice de l'individu, avec des interférences dans les systèmes cognitifs.

La MP est la deuxième maladie neurodégénérative chronique la plus typique chez les personnes âgées (après la maladie d'Alzheimer). chronique la plus fréquente chez les personnes âgées (après la maladie d'Alzheimer). Récemment, la MP est devenue l'une des principales causes d'invalidité dans le monde, et sa prévalence a augmenté plus rapidement que celle de tous les autres troubles neurologiques.

Les principaux symptômes moteurs de la maladie sont : la bradykinésie, qui se manifeste par une lenteur des mouvements ; le tremblement de repos, défini comme un mouvement répétitif d'un membre ou d'une partie du corps, qui se produit lorsqu'il n'est pas en mouvement actif ; la rigidité musculaire, définie comme une augmentation du tonus musculaire lorsque le membre est bougé passivement ; et l'instabilité posturale, une réaction altérée en cas de perturbation de l'équilibre.

Les principaux symptômes non moteurs de la MP sont les troubles du comportement pendant le sommeil, la constipation, la douleur, l'hypotension orthostatique (chute de la tension artérielle), la paresthésie (symptômes sensoriels anormaux, caractérisés par des démangeaisons, des picotements et des brûlures), les troubles de l'érection, la dépression, la somnolence, une faible sensibilité olfactive, des mouvements oculaires rapides et des changements de personnalité. Tous ces symptômes affectent considérablement la qualité de vie des personnes atteintes de la maladie et augmentent leur handicap.

L'outil clinique le plus largement utilisé pour évaluer les patients atteints de la MP est la Movement Disorders Society-Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS). La MDS-UPDRS a été conçue pour suivre l'évolution longitudinale de la maladie et évaluer les caractéristiques motrices et non motrices du patient. Dans cette évaluation, l'examineur analyse visuellement le patient et attribue un score entre 0 (normal) et 4 (sévère) pour indiquer le niveau d'atteinte de la maladie, c'est-à-dire que les scores sont donnés en fonction de la perception visuelle de l'examineur.

Ce type d'évaluation présente des inconvénients, tels que la subjectivité et la dépendance à l'égard d'évaluateurs expérimentés. Ces problèmes peuvent être surmontés grâce à l'utilisation de capteurs inertiels pour les mesures objectives du mouvement, incorporés,

par exemple, dans les dispositifs de contrôle des jeux sérieux (SG), des outils de plus en plus prometteurs pour la réadaptation et l'évaluation du mouvement.

Objectifs

L'objectif de cette étude était de concevoir et de valider un jeu sérieux pour la rééducation et le suivi des personnes atteintes de la maladie de Parkinson (MP) et, à l'aide du système conçu, d'évaluer la bradicinésie et les tremblements, deux symptômes moteurs de la maladie.

Objectifs spécifiques :

- Réaliser une revue de la littérature sur l'utilisation des jeux sérieux pour la réadaptation des personnes atteintes de la MP.
- Élaborer un questionnaire pour l'évaluation multidimensionnelle des personnes atteintes de la MP.
- Concevoir un jeu sérieux qui présente une narration cohérente et compatible avec les modèles mentaux du public cible.
- Définir un protocole de collecte de données auprès de patients atteints de la MP et d'individus sains, permettant de comparer les résultats.
- Évaluer l'utilisabilité du jeu sérieux au stade de la conception à l'aide de l'heuristique Nielsen-Shneiderman et d'approches centrées sur l'utilisateur.
- Évaluer l'accessibilité du jeu sérieux en comparant les performances (scores) des joueurs à chaque phase du jeu.
- Évaluer objectivement la bradykinésie et les tremblements à l'aide des signaux moteurs recueillis.

Pour ce faire, l'étude a été divisée en quatre étapes. Elles seront présentées de manière résumée à la suite.

Méthodes

Réalisation d'une revue de la littérature sur l'utilisation des jeux sérieux pour la rééducation des personnes atteintes de la maladie de Parkinson

Cette revue a permis de mieux comprendre les technologies les plus récentes destinées à cette application. Les recherches ont été effectuées dans huit bases de données différentes (Web of Science, Scopus, PubMed, Bireme, ScienceDirect, IEEE Digital Library, ACM Digital Library, et Google Scholar), en utilisant les mots-clés "serious game" et "Parkinson". Les variables suivantes ont été évaluées : type de jeu, interface, dispositif, protocole

utilisé pour la rééducation, méthode utilisée pour évaluer l'efficacité du jeu, symptômes traités et application à des patients réels. Au total, 169 études ont été identifiées et 38 ont été sélectionnées.

La revue a révélé que les jeux sérieux existants ne présentent pas de tâches significatives en termes de thérapie, ont une faible rigueur méthodologique, n'étendent pas l'instrument à la pratique clinique, sont complexes et peu personnalisables. En outre, aucune étude n'a utilisé les données des capteurs inertiels enregistrées pendant l'interaction des joueurs avec le système développé pour évaluer objectivement les symptômes moteurs de la maladie de Parkinson.

Il a été possible de conclure qu'un SG destiné aux personnes atteintes de la MP doit être personnalisable, simple et intelligent.

Élaboration et validation d'un questionnaire d'évaluation multidimensionnelle pour les personnes atteintes de la maladie de Parkinson

Le questionnaire, appelé " Questionnaire d'évaluation multidimensionnelle pour les personnes atteintes de la maladie de Parkinson ", a été créé afin de mieux comprendre les besoins réels des patients et d'orienter le développement du jeu sérieux.

L'outil a été développé à partir d'échelles et de questionnaires existants pour l'évaluation des personnes atteintes de la maladie de Parkinson, et est basé sur un formulaire en ligne (créé à l'aide de Google Forms). Sa version initiale comportait 83 questions, auxquelles ont répondu 302 personnes atteintes de la MP. Il a été validé à l'aide de la méthode d'analyse factorielle, qui a suggéré d'exclure 12 variables et de les regrouper en trois groupes : activités de la vie quotidienne, cognition et douleur.

Il a été constaté que les répondants avaient plus de difficultés à conduire et à effectuer des activités nécessitant des mouvements de la main lors de l'exécution de tâches quotidiennes simples, comme tenir un verre ou faire un lacet.

Il a donc été défini que le jeu sérieux à développer devait demander aux utilisateurs d'effectuer des mouvements de la main et du poignet afin de stimuler l'entraînement moteur des mains et des poignets des joueurs.

Développement du jeu sérieux et évaluation de sa facilité d'utilisation et de son accessibilité

Le jeu sérieux s'appelle *RehaBEElitation*, associant le mot "réhabilitation" au mot "abeille" en anglais. Selon l'Organisation des Nations Unies (ONU), les abeilles sont essentielles au maintien et à l'équilibre de l'écosystème mondial. En outre, elles représentent le travail acharné, l'effort et le dévouement, des caractéristiques qui sont largement exigées des personnes atteintes de la maladie de Parkinson tout au long de l'évolution de la maladie. Le but du jeu est de contrôler les mouvements d'une abeille dans un environnement en 3D.

Les tâches de jeu ont été conçues pour imiter les mouvements suivants trouvés dans l'outil de méthode de référence (MDS-UPDRS Partie III) pour l'évaluation des personnes atteintes de MP : ouverture et fermeture de la main, extension et flexion du poignet, adduction et abduction du poignet, tapotement des doigts et supination et pronation de l'avant-bras.

Le jeu comporte quatre phases, chacune représentant une tâche réelle des abeilles:

- Phase 1 : Polliniser les fleurs – L'objectif est de collecter le pollen d'une fleur et d'en polliniser une autre. Les fleurs qui ont du pollen sont indiquées par des arcs jaunes autour d'elles, et celles qui doivent être pollinisées sont indiquées par des arcs verts. Le joueur doit déplacer l'abeille vers une fleur contenant du pollen et fermer la main pour le ramasser. Ensuite, avec la main fermée, le joueur doit déplacer l'abeille vers une fleur qui ne contient pas de pollen et ouvrir la main pour le déposer.
- Phase 2 : Nourrir les larves – L'objectif est de nourrir les larves. Pour déplacer l'abeille de haut en bas, le joueur doit effectuer les mouvements d'extension et de flexion de la main ; pour déplacer l'abeille de gauche à droite, le joueur doit effectuer les mouvements d'adduction et d'abduction. L'abeille ne se déplace sur la scène que si la main du joueur est fermée. Lorsque le joueur place l'abeille devant une larve et qu'il ouvre la main, la larve est nourrie.
- Phase 3 : Collecter le nectar – L'objectif est de collecter le nectar des fleurs. Les fleurs contenant du nectar sont indiquées par des gouttes d'eau. Le joueur doit guider l'abeille vers une fleur qui contient du nectar et effectuer le mouvement de pince pour le récolter.
- Phase 4 : Sécher le nectar – L'objectif est de sécher le nectar pour produire du miel. Le joueur doit déplacer l'abeille vers les alvéoles de la ruche contenant le nectar et effectuer les mouvements de supination et de pronation de l'avant-bras. Les alvéoles contenant le nectar sont indiquées par des reflets lumineux. Les mouvements nécessaires permettent à l'abeille de battre des ailes plus rapidement et de sécher le nectar.

Pour permettre la communication entre le jeu et l'environnement réel, une interface homme-machine (IHM) a été développée. Il est constitué d'un gant composé de capteurs inertiels, situés dans un boîtier fixé au gant sur le dos de la main, capables d'estimer l'orientation de la main ; et fil conducteur cousu sur le gant, vers la paume de la main et les doigts, capable d'évaluer les mouvements de tapotement des doigts et d'ouverture et de fermeture de la main.

Le jeu comporte neuf niveaux de difficulté différents, et chaque coup réussi ajoute 10 points au score final. Les caractéristiques qui changent en fonction du niveau de difficulté sont le nombre de cibles que doit atteindre le joueur, la durée maximale de la phase et la

vitesse de déplacement de l'abeille. Les durées des phases dans chaque niveau de difficulté ont été déterminées pour respecter les conditions minimales de jeu et, en même temps, pour défier les joueurs.

La facilité d'utilisation du jeu a été évaluée à l'aide des heuristiques proposées par Nielsen Shneiderman et d'approches centrées sur l'utilisateur (questions, entretiens semi-structurés et analyse de l'interaction entre les utilisateurs et le jeu) ; et l'accessibilité a été évaluée en comparant l'efficacité des joueurs à chaque phase du jeu.

L'évaluation heuristique a pris en compte les 14 heuristiques proposées par Shneiderman, ce qui a permis d'apporter des améliorations au jeu. Les questionnaires et l'entretien semi-structuré ont également contribué à améliorer l'utilisabilité du jeu. L'évaluation de l'accessibilité a révélé que le jeu est accessible, c'est-à-dire qu'il peut être joué à un niveau compétent par des personnes en bonne santé, ainsi que par des personnes atteintes de MP.

Nous concluons que le jeu est compatible avec les modèles mentaux du public cible, ce qui a permis aux utilisateurs d'interagir facilement avec le système développé.

Évaluation objective de la bradykinésie et des tremblements

La bradykinésie est le principal symptôme moteur de la MP, tandis que le tremblement est généralement le premier et le plus gênant des symptômes moteurs de la maladie. Ces deux symptômes ont été évalués objectivement à l'aide des signaux enregistrés par le gant pendant l'interaction des utilisateurs avec le jeu.

Quinze personnes atteintes de la MP (groupe expérimental - GE) et 15 personnes en bonne santé (groupe de contrôle - GC), appariées pour l'âge et le sexe, ont participé à l'étude. Les données ont été collectées à l'état ON et OFF de la médication pour le groupe expérimental.

La bradykinésie a été évaluée en détectant la tendance (mouvement volontaire) des signaux du gyroscope à l'aide de l'Analyse du Spectre Singulier (Singular Spectrum Analysis – SSA), une méthode de décomposition des séries temporelles. Le temps de réponse et la vitesse angulaire des participants pendant le jeu *RehaBEElitation* ont ensuite été estimés. Dans la plupart des phases, les participants du GC ont obtenu les meilleurs résultats pour le temps de réponse et la vitesse angulaire, suivis par les participants du GE à l'état ON et du GE à l'état OFF.

Les tremblements ont été détectés en supprimant la tendance du signal original et ont été évalués en estimant les caractéristiques des signaux du gyroscope qui décrivent précisément ce symptôme (valeur absolue moyenne, moyenne quadratique et densité spectrale de puissance). En général, les participants du GE à l'état OFF présentaient plus de tremblements que ceux à l'état ON.

Il a été conclu que le jeu sérieux *RehaBEElitation* est un outil alternatif pour évaluer de manière objective et ludique la bradykinésie et les tremblements chez les personnes atteintes de la maladie de Parkinson.