

LES APPORTS DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE À LA PRISE EN CHARGE DES DÉFICIENCES COGNITIVES

Dans la perspective de l'étude et du traitement des dysfonctionnements de la cognition, chercheurs et thérapeutes se sont saisis, dès le début des années 1990, des possibilités offertes par les concepts et les technologies de la réalité virtuelle. Ces technologies offrent en effet à l'être humain de nouveaux espaces d'interaction et d'expression dans lesquels il peut être immergé, dans des conditions de plus en plus diversifiées allant de systèmes lourds permettant une immersion multi-sensorielle (tel que CAVE®) à des supports utilisés dans la vie quotidienne accessibles à des coûts de plus en plus bas (console Wii). Elles permettent une exploration multiparamétrique de l'activité de l'utilisateur, et ainsi la compréhension de sa performance dans des tâches simulées ayant du sens. Le champ de la santé et du handicap est un domaine d'application prometteur dans lequel l'intégration de ces technologies soulève de nombreuses questions tant au niveau de la compréhension du fonctionnement humain, de la simulation des tâches et des univers virtuels qu'au niveau de l'interfaçage du participant avec le monde virtuel. Les travaux menés dans ce domaine sont donc marqués par une forte interdisciplinarité, avec des compétences tant humaines et sociales que cliniques et technologiques.

Par **Evelyne KLINGER** *

* Équipe Interactions Numériques Santé Handicap (INSH), ESIEA, Laval. – evelyne.klinger@esiea.fr

Après une présentation du contexte général applicatif, nous exposerons les arguments qui soutiennent l'usage de la réalité virtuelle dans la prise en charge des déficiences cognitives, puis nous présenterons un exemple illustratif (le VAP-S) et nous conclurons sur quelques perspectives.

LE CONTEXTE GÉNÉRAL

Les affections neurologiques sont une cause majeure d'incapacités et de handicaps fonctionnels durables dont les enjeux humains, économiques et sociaux sont considérables. Elles peuvent impacter de façon variée les différents champs de la cognition, c'est-à-dire les fonctions du traitement de l'information de haut niveau, comme l'attention, la communication, la mémoire ou encore les fonctions exécutives. Elles entraînent un dysfonctionnement cognitif se caractérisant par un fonctionnement en dessous de niveaux normatifs attendus ou par une perte de capacités dans l'un quelconque des domaines du champ cognitif. La rééducation cognitive est définie comme le processus qui permet d'accroître ou d'améliorer la capacité d'un individu à traiter et à utiliser l'information entrante de façon à lui permettre un fonctionnement amélioré dans les activités de la vie quotidienne (AVQ) (SOHLBERG et MATEER, 1989). Elle se réfère à un ensemble d'interventions destinées à améliorer le fonctionnement cognitif et la participation dans les activités, ou encore dans les occupations, qui peuvent être affectées par des difficultés dans un ou plusieurs domaines cognitifs (CICERONE et *al.*, 2011). Les occupations représentent des AVQ qui sont importantes pour l'individu, car elles structurent sa vie quotidienne et contribuent à sa santé et à son bien-être (BAUM et CHRISTIANSEN, 2005).

Vers le milieu des années 1990, les thérapeutes ont perçu les potentiels de la réalité virtuelle dans la prise en charge des affections neurologiques. Ils ont estimé que ses technologies permettraient de remédier aux faiblesses des approches analytiques (manque de généralisation et déficit de transfert des acquis vers le monde réel) et des approches fonctionnelles (fragilité du sur-entraînement sans amélioration des composantes cognitives sous-jacentes) (RIZZO, 2002). Les travaux menés jusqu'à ce jour dans ce contexte s'appuient également sur les démarches conceptuelles concernant la prise en charge du handicap, comme la classification internationale des fonctionnements et de la santé (ANDRÉ et *al.*, 2006 ; KLINGER et JOSEPH, 2008) ou le modèle de la performance occupationnelle, qui intègre un focus sur la performance dans les activités (CHRISTIANSEN et BAUM, 1997). Ces travaux concernent trois objectifs majeurs : l'étude scientifique des mécanismes cognitifs, l'évaluation et la rééducation des fonctions cognitives, et par conséquent des patients.

Les patients pouvant bénéficier des potentiels de ces technologies de la réalité virtuelle sont notamment ceux qui présentent une déficience du système nerveux central (SNC), suite à des causes variées : traumatismes crâniens (TC), accidents vasculaires cérébraux (AVC), troubles cognitifs légers (MCI : *Mild Cognitive Impairments*), pathologies neurodégénératives comme la maladie de Parkinson, la maladie d'Alzheimer, pathologies inflammatoires (sclérose en plaques), pathologies psychiatriques (schizophrénie) ou encore troubles de l'attention/hyperactivité, ou du développement/coordination, chez l'enfant. Par conséquent, des milliers de personnes sont concernées, de tous les âges et à tout moment de leur vie. Parmi les conséquences des déficiences du SNC se rencontre fréquemment l'altération des fonctions exécutives (FE) qui sont définies comme un ensemble de fonctions supérieures nécessaires au contrôle et à la réalisation de tâches complexes, nouvelles ou non automatiques (GODEFROY, 2003). Ce sont des processus de contrôle d'ordre supérieur qui interviennent dans le comportement organisé dirigé vers un but ainsi que dans l'adaptation à des situations nouvelles (LURIA, 1978). L'altération des FE (appelée syndrome dysexécutif) se réfère à tout un ensemble de dysfonctionnements dans le séquençage et l'organisation des comportements incluant des difficultés d'attention, de planification, de résolution de problèmes ou encore de contrôle (SHALLICE et BURGESS, 1991) qui font obstacle au retour des personnes affectées aux activités de leur vie quotidienne ou de leur vie professionnelle.

DES ARGUMENTS PLAIDANT EN FAVEUR DU RECOURS À LA RÉALITÉ VIRTUELLE

L'intérêt de la réalité virtuelle dans la prise en charge des patients présentant des affections neurologiques est supporté par des arguments de divers ordres :

a) En raison de leur déficit cognitif, les patients rencontrent des difficultés pour traiter les multiples informations qui sont présentes dans leur environnement de vie quotidienne.

La réalité virtuelle permet de proposer une simulation des AVQ en contrôlant qualitativement et quantitativement les informations délivrées par le système virtuel (possibilités de simplification et de standardisation) et en les adaptant aux capacités du patient, de façon à éviter les situations d'échec dans l'accomplissement des tâches et à favoriser les tâches d'apprentissage (CHERNI et *al.*, 2012 ; KIZONY et *al.*, 2012). Elle permet également de mettre en avant des paradigmes d'interaction et d'apprentissage efficaces, mais impossibles à proposer dans le monde réel (BROOKS et *al.*, 1999).

b) Les lésions cérébrales entraînent une transformation du comportement des personnes et induisent un



Photo © Amélie Benoist/BSIP

« La réalité virtuelle présente de nombreux avantages pour des patients présentant des affections neurologiques », « Balade à l'EHPAD » est une application de réalité virtuelle qui propose une promenade récréative à vélo dans des univers variés. Cette application est destinée aux personnes âgées et aux personnes souffrant de la maladie d'Alzheimer, EHPAD de Laval (Mayenne), mars 2011.

impact considérable de leurs émotions sur leur comportement, leurs activités et leur participation.

Utilisée dans le cadre de la prise en charge par Thérapie Cognitive et Comportementale (TCC) des affections psychiatriques, la réalité virtuelle a montré qu'elle permet non seulement d'étudier cette transformation du comportement et ce fort impact des émotions, mais également de créer des situations virtuelles dans lesquelles : i) les stimuli émotionnels peuvent être contrôlés dans l'objectif, par exemple, d'un meilleur apprentissage ; ii) le patient est amené à gérer de façon graduée l'impact de ses stimuli émotionnels (KLINGER *et al.*, 2007).

c) Les systèmes d'information couramment utilisés dans la neuropsychologie traditionnelle sont inefficaces. Ils reposent sur des concepts et des méthodes conçus *offline*, c'est-à-dire sans rapport avec les AVQ. La réalité virtuelle permet de questionner les définitions et les modèles dans le domaine de la rééducation cognitive et d'étudier les réorganisations et les stratégies individuelles de compensation. Grâce à un couplage avec des techniques telles que la stimulation ou l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), elle permet une nouvelle approche de la physiopathologie des processus sous-jacents aux incapacités fonctionnelles (JOHANSSON, 2011).

d) Les approches traditionnelles manquent d'objectivité, de sensibilité, de pertinence par rapport à la vie quotidienne et elles ne permettent pas de fournir aisément un retour sur la performance dans l'exercice en cours, sur la progression dans le traitement ou encore sur la récupération effective de capacités.

Les approches fondées sur la réalité virtuelle permettent l'étude de l'activité de l'être humain et de son comportement, alors qu'il est impliqué au cœur d'un système incluant le monde virtuel, l'environnement réel, les technologies et les différents acteurs (parmi lesquels, le thérapeute) dans une approche cognitive distribuée. Elles offrent des possibilités d'enregistrement des performances et de quantification simultanée de réponses variées, permettant d'assurer le suivi de l'activité du patient, de re-visualiser sa performance et de suivre sa progression dans le traitement. Du fait de leur rapprochement avec les AVQ, elles sont donc davantage susceptibles de fournir des indications sur les capacités effectives des patients dans la vie quotidienne (KLINGER et JOSEPH, 2008).

e) La rééducation est un processus long et répétitif qui est souvent jugé peu motivant par les patients. Les exercices pratiqués dans les approches classiques n'apportent pas systématiquement d'amélioration dans la vie réelle, du fait du caractère non écologique de nom-

breuses approches de rééducation cognitive, car trop éloignées de la vie quotidienne.

La réalité virtuelle permet d'engager le patient dans des tâches en rapport avec ses besoins, son vécu et son environnement de vie. La variété des tâches envisageables permet de soutenir la motivation du patient dans son activité et dans l'exécution du processus de rééducation (WEISS *et al.*, 2003 ; LANGE *et al.*, 2010). L'interaction des patients avec des humains virtuels permet, par exemple, d'aborder les contextes sensoriels favorisant la cognition sociale ou encore les facteurs sociaux des restrictions de participation (ROBILLARD *et al.*, 2010). Par ailleurs, la littérature commence à faire état de travaux en rééducation cognitive montrant le transfert dans le monde réel d'habiletés résultant d'un entraînement dans le monde virtuel (KIZONY *et al.*, 2012).

UN EXEMPLE ILLUSTRATIF

Dans le contexte de la planification de l'action, qui est une des composantes des fonctions exécutives (FE), et considérant la nécessité de développer un outil utilisable cliniquement et écologiquement valide, Klinger et Marié ont conçu et développé en 2002 le *Virtual Action Planning Supermarket* (VAP-S) (KLINGER, 2006). Le VAP-S a été conçu pour évaluer et entraîner la capacité à planifier, ainsi qu'à effectuer la tâche d'achat d'articles à partir d'une liste de courses.

Le VAP-S est un supermarché virtuel dans lequel a été implémenté un paradigme original similaire au Test des commissions de Martin (MARTIN, 1972) (voir la Figure 1). Le participant est invité à réaliser une tâche de courses comportant un nombre défini d'items, pour laquelle il doit mettre en place des stratégies nouvelles tout en respectant des contraintes imposées (respecter la liste de courses, notamment les produits et leurs catégories, faire le moins de détours que possible, effectuer les achats ou encore sortir du magasin après avoir payé). La recherche d'un article permet d'analyser ses choix stratégiques et notamment ses capacités de planification aussi bien sur les plans spatial et temporel que sémantique, la planification étant un des éléments clés des FE. Pendant les achats (qui



Figure 1 : VAP-S- Vue de l'entrée.

sont effectués en cliquant sur les objets recherchés), diverses variables sont enregistrées, comme les positions et les actions du participant et le temps écoulé. Ces variables sont reprises lors de l'analyse ultérieure afin, par exemple, de visualiser la trajectoire du participant (rejeu) ou encore d'examiner divers paramètres, comme la distance parcourue, la durée de la séance, les arrêts ou encore le séquençage de la tâche effectuée (voir la Figure 2).

Placé devant un écran, le participant explore le supermarché virtuel et réalise la tâche en utilisant, par exemple, les touches du clavier ou la souris. La séance peut comporter différentes phases. Lors de la phase de familiarisation, le participant découvre le supermarché et se familiarise avec les fonctionnalités : interfaces (clavier, souris, manette, kinect), métaphores d'interaction (comment prend-on un produit ? Comment sait-on qu'on l'a pris ?), modes de délivrance de l'information (visuel, audio). La phase d'évaluation est dédiée à la réalisation de la tâche d'évaluation (une liste avec 7 items est utilisée dans toutes les études, ce qui permet d'opérer des comparaisons entre diverses populations de patients) ; le patient dispose de tout son temps pour réaliser au mieux (de son point de vue) la tâche de courses. Lors de la phase d'intervention, le thérapeute propose au patient une liste de courses adaptée à différents objectifs thérapeutiques et aux capacités du patient ; une interface de configuration de la liste de courses permet en effet de travailler différents aspects neuropsychologiques à partir d'exercices multiples.

Le VAP-S permet une observation de l'activité du participant à partir de l'enregistrement de différentes variables et il propose, par défaut, un ensemble d'indicateurs, comme la distance parcourue par le participant, le temps total mis pour réaliser la tâche, le nombre d'actions appropriées réalisées ou encore le temps mis pour payer, qui peut être complété par des indicateurs spécifiques recalculés à partir des enregistrements réalisés en temps réel. Ainsi, selon ses objectifs, le thérapeute peut extraire des informations sur les capacités spatio-temporelles, la vitesse de traitement de l'information ou encore sur la catégorisation des achats effectués. Ces indicateurs permettent de décrire la performance du participant dans l'accomplissement de sa tâche ou encore d'établir des profils de patients.

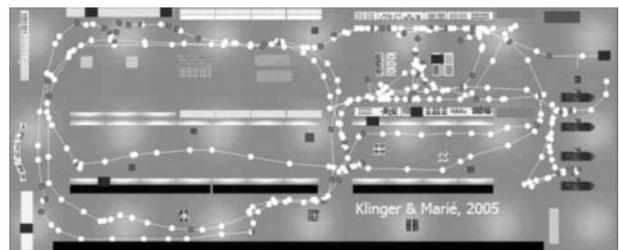


Figure 2 : Trajectoire d'un patient parkinsonien.

La notion de réussite dans une AVQ est complexe (notamment lorsqu'il s'agit d'une tâche consistant à faire des achats). Il suffit, pour en prendre conscience, de considérer la diversité des comportements des sujets sains lorsqu'ils vont faire leurs courses dans un supermarché. Elle est fortement liée à la consigne qui est donnée au participant. Si, par exemple, le thérapeute invite le patient à réaliser toute la liste de courses le plus rapidement possible, les critères de jugement seront l'achat de tous les produits et la rapidité avec laquelle ils auront été achetés. La construction de la liste, les instructions données au patient sont autant de moyens mis à disposition du thérapeute pour faire varier les exercices lors des interventions recourant au VAP-S.

Si le VAP-S a été développé dans le contexte clinique de la maladie de Parkinson (KLINGER et al., 2006), la faisabilité de son utilisation avec des populations de patients souffrant d'autres pathologies a été explorée : lésions cérébrales (JOSMAN et al., 2014), pathologies neurodégénératives (WERNER et al., 2009), ou encore schizophrénie (JOSMAN et al., 2009). Ces études ont permis de comprendre les atouts du VAP-S, et plus généralement ceux des AVQ simulées : quantification précise de la performance, mise en évidence et caractérisation des déficits, possibilité de re-visualiser la performance, aspects ludiques et motivants, mais aussi la transportabilité aisée du système.

Le travail mené avec le VAP-S nous a permis d'identifier de nombreuses problématiques liées aux AVQ simulées (modélisation de la tâche, paramétrage, pertinence, critères de réussite...) et de percevoir la richesse des possibilités que celles-ci pouvaient apporter aux professionnels de la rééducation (usage, appropriation, créativité). Les limites et les besoins identifiés grâce à l'usage de cet outil par les thérapeutes ont permis de concevoir et de réaliser un outil visant la rééducation cognitive personnalisée, AGATHE (outil Adaptable, paramétrable et évolutif pour la Génération d'Applications THÉrapeutiques, www.agathe-rv.net) (KLINGER et al., 2013). Ce travail a été mené en retenant l'approche pluridisciplinaire que nous avons précédemment évoquée, dans le cadre du projet ANR-TecSan AGATHE (2009-2012) qui associe des partenaires de la santé (CHU de Bordeaux-EA4136 et CMRRF de Kerpape), de la recherche (Arts et Métiers ParisTech et ARMINES) et des industriels (Dassault Systèmes et Intempora).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Au-delà des exemples cités, il existe plusieurs outils et de nombreuses applications ayant une visée thérapeutique, notamment en Médecine Physique et de Réadaptation. Cette communauté, qui est très créative, dispose de plateaux techniques et est en quête per-

manente de nouveaux outils pour favoriser le retour à l'autonomie des patients. Il existe également des applications en psychothérapie, dans le contexte des TCC (phobies, stress post-traumatique...) (KLINGER, 2006), mais aussi à des fins de formation (anatomie, gestes chirurgicaux, conduite d'entretiens, préparation à la réalisation d'interventions critiques...).

Au-delà de l'objectif thérapeutique des outils qui ont pu être développés, on note leur impact structurant et dynamisant au sein des services. Leur conception entraîne l'analyse critique des pratiques existantes, ainsi que la recherche de consensus autour des pratiques du fait du caractère collaboratif des projets menés, tandis que leur diffusion dans les établissements induit une mise en valeur des personnels impliqués.

Afin de poursuivre le travail de construction de ces outils de prise en charge des déficiences cognitives, une approche scientifique et systématisée des applications de la réalité virtuelle est nécessaire afin, par exemple, d'envisager l'exploration et la compréhension du fonctionnement humain, et donc des capacités effectives et des limitations ; l'étude de son impact sur les processus de récupération du cerveau lésé ; l'étude des interactions avec des humains virtuels qui permettent également d'aborder certains facteurs sociaux des restrictions de participation, ou encore la formation et l'acquisition de compétences, en ce qui concerne les professionnels. Cette démarche est en cours et nécessite d'être menée en faisant collaborer toutes les compétences nécessaires au passage « de l'idée au produit ».

BIBLIOGRAPHIE

ANDRÉ (J.), PAYSANT (J.) & BEIS (J.), *Classification internationale du fonctionnement, troubles neuropsychologiques et vie quotidienne*, pp. 7-16, 2006.

BAUM (C.M.) & CHRISTIANSEN (C.), "Person-Environment-Occupation-Performance: An occupation-based framework for practice", in *Occupational therapy: Performance, participation, and well-being*, CHRISTIANSEN (C.), BAUM (C.M.) & BASS-HAUGEN (J.) (eds), pp. 242-267, Thorofare, NJ Slack Inc., 2005.

BROOKS (B.M.), ATTREE (E.A.), ROSE (F.D.) & CLIFFORD (B.R.), LEADBETTER AG, *The specificity of memory enhancement during interaction with a virtual environment*, *Memory*, 7(1), pp. 65-78, 1999.

CHERNI (H.), JOSEPH (P.A.) & KLINGER (E.), *Study of the impact of added contextual stimuli on the performance in a complex virtual task among patients with brain injury and controls*, in *Proceedings of the 9th International Conference on Disability, Virtual*

- Reality & Associated Technologies, Laval (France), 2012.
- CHRISTIANSEN (C.) & BAUM (C.M.), "Person-Environment Occupational Performance: a conceptual model for practice", in *Occupational therapy: Enabling function and well-being*, CHRISTIANSEN (C.) & BAUM (C.M.) (eds), pp. 47-70, Thorofare, N.J Slack Inc., 1997.
- CICERONE (K.D.), LANGENBAHN (D.M.), BRADEN (C.), MALEC (J.F.), KALMAR (K.), FRAAS (M.), FELICETTI (T.), LAATSCH (L.), HARLEY (J.P.), BERGQUIST (T.), AZULAY (J.), CANTOR (J.) & ASHMAN (T.), "Evidence-based cognitive rehabilitation: updated review of the literature from 2003 through 2008", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 92(4), pp. 519-530, 2011.
- GODEFROY (O.), "Frontal syndrome and disorders of executive functions", *The Journal of Neurology*, 250(1), pp. 1-6, 2003.
- JOHANSSON (B.B.), *Current trends in stroke rehabilitation. A review with focus on brain plasticity*, Acta Neurologica Scandinavica, 123(3), pp. 147-159, 2011.
- JOSMAN (N.), SCHENIRDERMAN (A.E.), KLINGER (E.) & SHEVIL (E.), "Using virtual reality to evaluate executive functioning among persons with schizophrenia: a validity study", *Schizophrenia Research*, 115(2-3), pp. 270-277, 2009.
- JOSMAN (N.), KIZONY (R.), HOF (E.), GOLDENBERG (K.), WEISS (P.L.) & KLINGER (E.), "Using the virtual action planning-supermarket for evaluating executive functions in people with stroke", *The Journal of Stroke & Cerebrovascular Diseases*, 23(5), pp. 879-887, 2014.
- KIZONY (R.), KORMAN (M.), SINOFF (G.), KLINGER (E.) & JOSMAN (N.), *Using a virtual supermarket as a tool for training executive functions in people with mild cognitive impairment*, in Proceedings of the 9th International Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies, Laval (France), 2012.
- KLINGER (E.), *Apports de la réalité virtuelle à la prise en charge des troubles cognitifs et comportementaux*, PhD Thesis in Informatique, ENST, Paris, 228 pages, 2006. http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/16/19/03/PDF/2006_klinger.pdf
- KLINGER (E.), CHEMIN (I.), LEBRETON (S.) & MARIÉ (R.M.), "Virtual Action Planning in Parkinson's Disease: a control study", *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 9(3), pp. 342-347, 2006.
- KLINGER (E.), MAAOUI (C.), MESTRE (D.) & PRUSKI (A.), *EMOTIVE – Emotions: Induction, Measure and Use in Virtual Environments*, in Proceedings of Human 07 Conference, Timimoun (Algérie), 2007.
- KLINGER (E.) & JOSEPH (P.A.), « Rééducation des troubles cognitifs par réalité virtuelle », in *Rééducation instrumentalisée après cérébrolésion vasculaire*, FROGER (J.) & PELISSIER (J.) (eds), pp. 149-165, Paris, Masson, 2008.
- KLINGER (E.), KADRI (A.), SORITA (E.), LE GUIET (J.L.), COIGNARD (P.), FUCHS (P.), LEROY (L.), DU LAC (N.), SERVANT (F.) & JOSEPH (P.A.), *AGATHE: A tool for personalized rehabilitation of cognitive functions based on simulated activities of daily living*, IRBM, 34, pp. 113-118, 2013.
- LANGE (B.S.), REQUEJO (P.), FLYNN (S.M.), RIZZO (A.A.), VALERO-CUEVAS (F.J.), BAKER (L.) & WINSTEIN (C.), *The potential of virtual reality and gaming to assist successful aging with disability*, Phys Med Rehabil Clin N Am, 21(2), pp. 339-356, 2010.
- LURIA (A.R.), *Les fonctions corticales supérieures de l'homme*, Paris, PUF, 570 pages, 1978.
- MARTIN (R.), *Test des commissions (2^{de} édition)*, Bruxelles, Editest, 1972.
- RIZZO (A.A.), "Virtual reality and disability: Emergence and challenge", *Disabil Rehabil*, 24, pp. 567-569, 2002.
- ROBILLARD (G.), BOUCHARD (S.), DUMOULIN (S.), GUITARD (T.) & KLINGER (E.), "Using virtual humans to alleviate social anxiety: preliminary report from a comparative outcome study", *Stud Health Technol Inform*, 154, pp. 57-60, 2010.
- SHALLICE (T.) & BURGESS (P.W.), "Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man", *Brain*, 114, pp. 727-741, 1991.
- SOHLBERG (M.M.) & MATEER (C.A.), *Introduction to cognitive rehabilitation: Theory and Practice*, New York: The Guilford Press, 414 pages, 1989.
- WEISS (P.L.), BIALIK (P.) & KIZONY (R.), "Virtual reality provides leisure time opportunities for young adults with physical and intellectual disabilities", *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 6(3), pp. 335-342, 2003.
- WERNER (P.), RABINOWITZ (S.), KLINGER (E.), KORCZYN (A.D.) & JOSMAN (N.), "Use of the virtual action planning supermarket for the diagnosis of mild cognitive impairment: a preliminary study", *Dement Geriatr Cogn Disord*, 27(4), pp. 301-309, 2009.