

■ Le dossier – Dysproprioception

Proprioception et dysproprioception : de la physiologie au tableau clinique

RÉSUMÉ : La proprioception est un sens intéroceptif qui joue un rôle essentiel dans le couplage perception-action, qui nous permet d'interagir avec notre environnement. Le couplage perception-action permet d'anticiper les actions, et permet aussi la mise en place des modèles internes nécessaires à l'automatisation des apprentissages, tels que le contrôle moteur, le langage ou la lecture. Le couplage perception-action permet la mise en évidence d'erreurs, de les corriger et de mettre en place un nouveau modèle interne nécessaire aux futures anticipations. L'examen clinique de la proprioception évalue la distribution du tonus musculaire, la stabilité spatiale, et l'intégration multi-sensorielle. La dysfonction proprioceptive est définie par une altération dans ces trois domaines. Il existe trois formes cliniques : douloureuse (musculaire), pseudo-vertigineuse (spatiale), et cognitive (perceptive). Sa prise en charge implique souvent la proprioception oculaire.



L.-M. VIRLET

Université de Lille, CNRS, UMR 9193 – SCALab
Sciences cognitives et sciences affectives, LILLE.

■ Physiologie de la proprioception

La proprioception est un sens méconnu et diffus découvert par Sherrington au début du xx^e siècle. C'est un sens intéroceptif qui permet d'interroger et de connaître l'état du corps nécessaire à la création d'un référentiel spatial, à la connaissance de la direction et de la vitesse des mouvements des segments corporels dans l'espace, à la régulation du tonus musculaire et à la construction du schéma corporel.

La proprioception participe au codage de l'orientation de tous les organes sensoriels extéroceptifs. En effet, à quoi me sert de voir si je ne sais pas où se trouve ce que je vois. Tous les sens extéroceptifs dépendent de la proprioception qui serait le sens premier [1].

Mais surtout, la proprioception participe aux mécanismes d'automatisation sensori-motrice, nécessaires aux apprentissages, par son implication dans les cinq étapes de la perception et de l'automatisation du couplage perception-action [2].

La proprioception utilise des mécanorécepteurs répartis dans tout l'organisme, dont les fuseaux neuromusculaires dans les muscles, les organes tendineux de Golgi à la jonction musculo-tendineuse, et les corpuscules de Pacini et de Ruffini au niveau des ligaments et des capsules articulaires. Pour les muscles oculaires, les organes tendineux sont les palissades de Dogiel.

Il existe deux types de voies nerveuses de la proprioception, consciente et inconsciente. La voie consciente se projette sur le cortex sensitif primaire, selon une somatotopie très précise proportionnelle à l'importance fonctionnelle et au nombre de mécanorécepteurs. Les voies inconscientes se projettent sur le cervelet par une voie directe (faisceau spinocérébelleux dorsal), et par une voie indirecte (faisceau spinocérébelleux ventral croisé de Gowers).

La proprioception ne fonctionne **jamais de façon isolée mais toujours en couple, avec trois modèles intriqués** assurant

un lien permanent entre extéroception et intéroception.

● **Localement** : elle est couplée à une surface sensible adjacente, et la fonction proprioceptive est ainsi indissociable de l'information donnée par l'organe sensoriel lui-même [3]. En pratique clinique, on utilise essentiellement quatre couples :

- rétine et muscles oculaires ;
- muqueuse buccale antérieure et certains muscles de l'oralité ;
- oreille interne et muscles sous-occipitaux ;
- surface plantaire et proprioception des capsules articulaires du pied. Notez que les informations proprioceptives oculaires et celles provenant du couple oral empruntent toutes deux la voie trigémينية.

● **À distance** : les chaînes musculaires lient *sensoriellement* des muscles copérant pour la même action et les organes sensoriels extéroceptifs qui y sont liés. Il existe un couplage entre la proprioception oculaire et cervicale pour le codage spatial : ainsi une modification proprioceptive expérimentale au niveau des muscles oculaires droits supérieurs, des muscles trapèzes et des extenseurs des membres inférieurs donnent la même illusion de déplacement du regard [4]. Ce couplage à distance s'ajoute au couplage local entre la rétine (glissement rétinien de l'image) et la proprioception des muscles droits supérieurs.

● **Au niveau central** : par le couplage perception-action de la perception et de l'automatisation [5] qui comporte cinq étapes :

- l'**intégration multisensorielle** en fonction de l'action en cours sous la dépendance de l'état de stress et des capacités attentionnelles [6]. Les conséquences de l'intégration multisensorielle sont perceptives, d'ordre spatial et influencent le contrôle tonique ;
- l'**anticipation et la prédiction sensorimotrice** d'après les données intégrées et les modèles internes ;

– la **décision** qui lance les commandes de l'action vers les effecteurs et les copies d'efférence vers le cervelet ;

– le **contrôle** au niveau du cervelet de l'action prédite de la copie d'efférence et l'action réalisée par le *biofeedback* pour déterminer les erreurs et leurs corrections ;

– l'**adaptation des modèles internes et leur mémorisation** à long terme lors du sommeil paradoxal.

Lorsqu'une action est automatisée, la proprioception ne joue plus alors qu'un rôle de correcteur d'erreur. Ainsi par exemple, dans des conditions normales, la proprioception oculaire n'est pas utilisée pour la localisation visuelle. Elle est cependant contrôlée en permanence pour être incorporée dans l'estimation de la position de l'œil lorsqu'une discordance avec la copie d'efférence de la commande motrice est détectée [7].

La sensibilité extrême des capteurs proprioceptifs et leur intégration dans un système multi modulaire ayant des entrées multifocales fait que sa régulation suit un **mode dynamique non linéaire** [8]. Il n'y a donc pas de **proportionnalité entre une modification proprioceptive et l'effet obtenu**. Une modification très faible et raisonnée (par exemple un prisme de $0,25\Delta$) peut ainsi avoir une conséquence très forte sur le

tonus à distance. Parce qu'il s'agit d'un système dynamique, et non pas linéaire, la conséquence d'une modification, même minimale, doit être **contrôlée immédiatement**.

“La sensibilité proprioceptive pourrait être un sens premier indispensable à l'émergence de la conscience de soi en tant qu'être capable d'action. De sorte que nos actions, connues de nous, seraient à même de donner du sens à nos cinq autres sens dont elles déterminent la maturation fonctionnelle, l'exercice et la mise à jour.” Jean-Pierre Roll [1].

Physiopathologie de la dysfonction proprioceptive

Une dysfonction proprioceptive s'accompagne d'altération des différentes étapes du couplage perception-action, avec comme conséquences des troubles d'intégration multisensorielle qui sont au centre des formes cliniques :

- **d'ordre tonique** : une asymétrie de la distribution du tonus musculaire en position de base lors du regard droit devant à la manœuvre de convergence podale (**encadré I**) ;
- **d'ordre spatial** : une instabilité référentielle mise en évidence par la présence de micro-hétérophories verticales labiles (HVL) [9] (**encadré II**) ;



La manœuvre de convergence podale consiste à évaluer la distribution du tonus au niveau des muscles impliqués dans la rotation externe des hanches en base et lors de stimulations. Le sujet est en décubitus le regard droit devant, l'examineur empaume les talons et fait un mouvement de rotation interne lent et puissant jusqu'au blocage, il peut alors déterminer l'état de la distribution tonique.

La distribution tonique lors du regard droit devant est normalement symétrique. En cas de dysfonction proprioceptive, nous retrouvons une asymétrie de la distribution du tonus. La MCP permet de rechercher une altération des réflexes posturaux, ce qui correspond à des réponses inadaptées lors de stimulations codifiées, par exemple en cas de rotation de la tête à gauche, je dois obtenir une augmentation du tonus à droite, si c'est l'inverse, cela correspond à une altération des réflexes posturaux (ARP).

Encadré I : Manœuvre de convergence podale.

Le dossier – Dysproprioception



Recherche la présence d'une hétérophorie verticale labile (HVL) lors de stimuli proprioceptifs codifiés. Elle n'est pas réalisable en cas de réfraction supérieure ou inférieure à 1,5 dioptries. Elle nécessite une lumière très petite (inférieure à 0,7 mm) placée à 3 m du sujet.

La recherche d'un HVL évalue la variation des phories verticales des deux yeux, dans neuf conditions proprioceptives différentes: assis avachi, assis redressé, assis manœuvre de Bielschowsky droite, assis manœuvre de Bielschowsky gauche, assis redressé avec la langue au palais, assis redressé avec la langue en bas qui pousse très légèrement les incisives inférieures, assis redressé avec les lèvres serrées, debout pieds nus, debout sur semelle de mousse calibrée. Chaque variation de phorie lors d'une manœuvre de Bielschowsky, ou une variation de phorie entre deux stimuli proprioceptifs est coté 1. L'IMP est la somme des variations et coté de 0 à 8. Un IMP de 0 correspond à l'absence de variation de phorie. Un IMP de 1 à 8 correspond à la présence d'au moins une variation, qui définit la labilité de la localisation spatiale verticale.

Encadré II: Maddox perceptif (Indice de Maddox Perceptif: IMP).



Les pseudoscotomes déterminent alors que la vision binoculaire est modifiée par un test de Maddox vertical. Elle met en évidence l'apparition de scotomes visuels lors de stimulations auditives de sons monofréquentiels (500 Hz), multifréquentiels (bruit blanc, bruit de classe).

La particularité des scotomes visuels est d'avoir une distribution stochastique. La correction des scotomes visuels induits par les sons semble être la cible ultime de l'intervention proprioceptive pour optimiser l'automatisation de la lecture des enfants dyslexiques.

Encadré III: Pseudoscotomes visuels.

– **d'ordre perceptive**: la présence de scotomes visuels induits par des sons ou des vibrations [10], la présence d'un déficit proprioceptif de la détection des mouvements lents [11] (**encadré III**).

Et pour les autres étapes, la présence de troubles attentionnels [12], d'altération de la prédiction motrice [13], d'altération de la mémoire de travail [14], et d'altération de la mémoire procédurale (modèle interne) à long terme qui se manifeste globalement par une altération des mécanismes d'automatisation, dont l'automatisation de la lecture tel que l'effet de la fréquence des mots de haute fréquence [15].

Tableaux cliniques

Martins Da Cunha avait observé qu'une grande partie des patients douloureux chroniques présentaient des examens complémentaires normaux malgré une symptomatologie complexe. Il proposait que cette symptomatologie clinique complexe soit liée à une dysfonction proprioceptive et visuelle [16]. Sa description initiale comportait la présence potentielle de signes d'ordre musculaire (céphalées, rachialgies, arthralgies, douleurs thoraciques ou abdominales), d'ordre spatial (vertiges, nausées, chutes inexplicables, entorses à répétition) et d'ordre perceptif (diplopie, scotome, vision trouble,

asomatognosie, dysmétrie, sensation de paralysie, paresthésies, troubles spécifiques des apprentissages comme la dyslexie).

Aujourd'hui, le tableau clinique de la dysfonction proprioceptive est décrit à partir du triangle de la dysproprioception, illustrant l'aspect pathologique des trois grandes fonctions de la proprioception (**fig. 1**). Insistons sur le fait qu'après exclusion de toute pathologie organique, le diagnostic de syndrome de dysfonction proprioceptive (SDP) nécessite impérativement la présence de signes subjectifs et objectifs dans ces trois domaines, et ce, jour et nuit.

Selon l'importance des signes dans tel ou tel domaine, on distingue trois grandes formes cliniques:

- forme musculaire: les troubles du contrôle moteur dominant, avec une posture et un tonus asymétrique entraînant des douleurs musculaires diurnes. S'y ajoutent des troubles respiratoires nocturnes à type d'apnées ou de syndrome de haute résistance, qui sont secondaires à une dystonie diaphragmatique;
- forme spatiale ou pseudo-vertigineuse: le patient a beaucoup de difficultés à se situer dans l'espace qui l'entoure, surtout quand il est en mouvement;
- forme cognitive ou perceptive: dominée par les troubles d'intégration multisensorielle. C'est dans cette forme que se trouvent les patients avec troubles d'apprentissage, toujours accompagnés de troubles du sommeil lors du sommeil paradoxal qui permet la consolidation de la mémoire procédurale.

Quand la sensorialité orale est très perturbée, on parle de syndrome de dysperception orale (SDO). L'examen constate des troubles de déglutition, des anomalies orthodontiques et d'importants troubles du sommeil.

Le triangle de la proprioception

Il illustre les trois grands domaines dans lesquels intervient fortement la

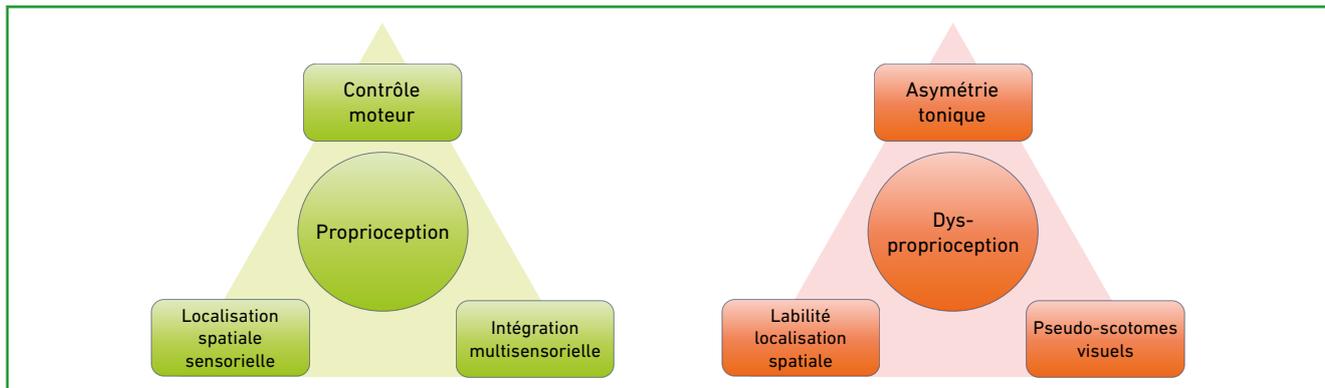


Fig. 1: Triangles de la proprioception et de la dysproprioception.

proprioception et sert de fil conducteur pour l'examen clinique (fig. 1). Ainsi, l'examen clinique de la proprioception va examiner les trois conséquences principales de l'intégration multisensorielle: au niveau du contrôle moteur, au niveau spatial et au niveau perceptif. À noter que le déroulé de l'examen clinique et de la prise en charge proprioceptive suivent l'ordre historique des découvertes (moteur, spatiale, puis perceptif)

et l'ordre d'efficacité de la mise en place de la prise en charge proprioceptive.

■ Recherche clinique du SDP

1. Le questionnaire

Depuis la description *princeps* de Da Cunha [16] (encadré IV) ont été ajoutés les signes correspondant à des troubles

du sommeil. Dans le cas particulier de la dyslexie a été élaboré un questionnaire spécifique (voir chapitre sur la dyslexie).

2. L'inspection

Va rapidement évaluer des signes d'une anomalie du contrôle tonique et de la localisation spatiale en recherchant une attitude scoliotique, une bascule avec ou sans rotation des épaules et du bassin, et un appui plantaire en valgus (fig. 2).

3. L'examen clinique

L'examen va explorer le triangle de la dysproprioception, domaine après domaine. Il est codifié et emprunte des tests qui ont été choisis en raison de leur qualité informative et pour permettre une collaboration interprofessionnelle avec un langage commun.

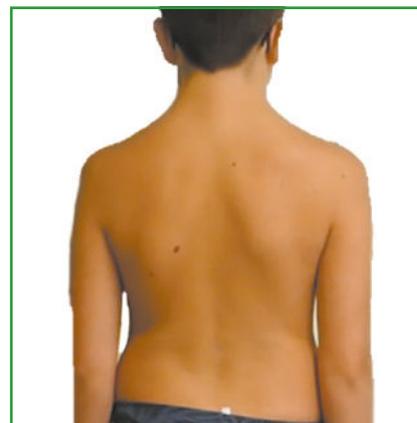


Fig. 2: Inspection.

Signes cardinaux	Manifestations cliniques
Douleurs	Céphalées, douleurs rétro-oculaires, thoraciques ou abdominales, arthralgies, rachialgies
Déséquilibre	Nausées, étourdissement, vertige, chutes inexplicables
Signes ophtalmologiques	Asthénopie, vision trouble, diplopie, scotomes directionnels
Signes de nature proprioceptive	Dysmétrie, somatognosie proprioceptive, erreurs d'appréciation du schéma corporel
Signes non cardinaux	Manifestations cliniques
Articulaires	Syndrome de l'articulation temporo-mandibulaire, torticolis, lumbago, périarthrite, entorses
Neuro-musculaires	Parésies, défaut de contrôle moteur des extrémités
Neuro-vasculaires	Paresthésies des extrémités, phénomène de Raynaud
Cardio-circulatoires	Tachycardie, lipothymie
Respiratoires	Dyspnée, fatigue
ORL	Bourdonnements, surdité
Psychiques	Dyslexie, dysgraphie, agoraphobie, défaut d'orientation, défaut de localisation spatiale et droite-gauche, défaut de concentration, pertes de mémoire, asthénie, anxiété, dépression

Encadré IV: Symptômes princeps du SDP par Da Cunha.

Le dossier – Dysproprioception

Il demande peu de matériel :

- écran et verre de Maddox ;
- point lumineux positionné à 3 m, calibré en taille et en intensité (0,7 mm et 100 lumens à 2 cm de la source lumineuse) pour obtenir un trait rouge très fin (les points lumineux habituellement utilisés en ophtalmologie ne conviennent pas) ;
- générateur d’impulsions sonores sinusoïdales (mono/multi-fréquentiel, uni/biaural) connecté à un casque isolant des interférences osseuses ;
- prismes d’essai de grand diamètre (0,25Δ à 3Δ) préservant la vision périphérique ;
- table d’examen.

4. Test de la distribution du tonus musculaire

La manœuvre de convergence podale (MCP) permet de renseigner le praticien sur la qualité du contrôle moteur, et elle étudie les réactions toniques des muscles stabilisateurs du bassin lors de la modification d’une information sensorielle extéroceptive ou intéroceptive à distance (**encadré I**).

Ces réactions réflexes ont nécessité une proprioception de qualité pour se mettre en place dans l’enfance et pour rester normales ensuite. Elles sont communes à tous les êtres humains. Quand elles sont absentes ou inversées, on parle d’altération des réflexes posturaux (ARP). Si une stimulation spécifique (par exemple un prisme) ne permet pas de gérer une ARP au moment même de l’examen, alors il faut avoir recours à un praticien de médecine manuelle. La MCP permet également d’évaluer le retentissement nocturne des différents types de respiration et donne des arguments sur la présence ou non de troubles du sommeil.

5. Test de stabilité de la localisation spatiale

Le test de Maddox vertical est utilisé pour évaluer la localisation spatiale visuelle. La caractéristique recher-

chée est la présence d’une labilité des réponses lors de stimulations sensorielles à distance proposées en suivant un protocole précis. Les hétérophories verticales constatées sont de très faible valeur, seulement visibles si on respecte les caractéristiques du point lumineux [9] (**encadré II**).

6. Test d’intégration multisensorielle

Le test d’intégration multisensorielle recherche l’apparition de pertes visuelles induites par des sons monofréquentiels, multifréquentiels et par les bruits de classe. Ces pseudoscotomes visuels peuvent aussi être induits par des vibrations [10] (**encadré III**).

Principes du traitement

Il est possible de modifier localement la proprioception en agissant sur la surface sensible qui lui est associée. Toute action locale aura un retentissement à distance grâce aux chaînes musculaires d’informations proprioceptives qui unissent les capteurs extéroceptifs. Les stimulations sont toujours asymétriques et extrêmement ténues. L’objectif optimal du traitement vise à corriger les troubles de la distribution tonique, de la localisation spatiale, les troubles perceptifs, ainsi que les conséquences nocturnes de la dysproprioception.

1. Prismes

En modifiant la direction des faisceaux lumineux parvenant à la rétine et en profitant du fait que tout décalage rétinien sur un œil provoque des modifications musculaires de l’autre œil (réflexe de fusion), il est possible de modifier très précisément le tonus des muscles oculaires. L’action des prismes peut être modulée en modifiant leur axe ou leur puissance. La modification du tonus modifie le retour proprioceptif et donc l’état proprioceptif global du patient. La puissance des prismes varie de 0,25 à 3 dioptries, au-delà la réponse devient

phasique, passive. (Lire dans ce numéro l’article *Prescription des prismes “actifs” dans les dysfonctions proprioceptives*, de Patrick Quercia.)

2. ALPH

Ces petites surélévations placées à des endroits très précis des incisives, avec une épaisseur de quelques dizaines de microns, modifient les relations entre lèvres, langue et muqueuse orale lors de la déglutition et stimulent spécifiquement les ligaments desmodontaux. Ces mécanorécepteurs ont une sensibilité “exquise” à des variations micrométriques. (Lire dans ce numéro l’article *Interaction entre système visuel et oral : rôle de la proprioception*, d’Alfredo Marino.)

3. Orthèse plantaire

Elles comportent des surépaisseurs de quelques millimètres (0,5 à 3 mm en général) situées à des endroits déterminés précisément en suivant une cartographie des mécanorécepteurs de la surface plantaire. (Lire dans ce numéro l’article *Le podologue dans la prise en charge du syndrome de dysfonction proprioceptive*, de Marc Janin.)

4. Respect de postures ergonomiques

Elles ont été établies à partir des études européennes sur l’ergonomie au travail et ont pour but de minimiser la fatigue musculaire.

5. Exercices respiratoires avant le coucher

Indispensables pour assurer une bonne ventilation pendant toutes les phases du sommeil, ils permettent une récupération attentionnelle et la mise en place de nouveaux circuits cérébraux pendant les phases de sommeil paradoxal qui gèrent la plasticité cérébrale, ce qui correspond à la mise en place de la mémoire procédurale à long terme. Aucune prise en charge proprioceptive n’est réellement durable sans eux.

6. Traitement manuel

Il est nécessaire en complément des autres modalités thérapeutiques chaque fois que les phénomènes d'hypertonie sur les chaînes musculaires résistent à l'emploi de stimulations adaptées. Les endroits d'hypertonie installée sont identifiés lors de l'étude de l'intégration multisensorielle.

■ Conclusion

La proprioception, parent pauvre de la médecine, est un sens complexe qui interagit avec toutes les informations que nous recevons de notre environnement et de notre propre corps. Susceptible de dysfonctionner, elle peut être la cause de signes cliniques très divers et déroutants pour le praticien. La proprioception est au cœur des processus de la perception et de l'automatisation du couplage perception-action nécessaire aux apprentissages. Il existe pourtant un examen clinique codifié pour l'explorer et proposer un traitement adapté.

BIBLIOGRAPHIE

1. ROLL JP. La Proprioception : Un sens premier ? Résonances Européennes du Rachis, 2005, 14(42). https://www.demauroy.net/files_pdf/rer42/rer42-2.pdf.
2. BERNSTEIN NA. *The Co-ordination and Regulation of Movements*, Pergamon Press, 1967.
3. ZHAO Z, AHISSAR E, VICTOR JD *et al*. Inferring visual space from ultra-fine extra-retinal knowledge of gaze position. *Nat Commun*, 2023;14:269.
4. ROLL R, VELAY JL, ROLL JP. Eye and neck proprioceptive messages contribute to the spatial coding of retinal input in visually oriented activities. *Exp Brain Res*, 1991;85:423-431.
5. CENSOR N, SAGI D, COHEN LG. Common mechanisms of human perceptual and motor learning. *Nat Rev Neurosci*, 2012;13:658-664.
6. CAPPE C, ROUILLER EM, BARONE P. Cortical and Thalamic Pathways for Multisensory and Sensorimotor Interplay. In M. M. Murray & M. T. Wallace (Éds.), *The Neural Bases of Multisensory Processes*. CRC Press/Taylor & Francis, 2012. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK92866/>
7. BALSLEV D, MITCHELL AG, FARIA PJM *et al*. Proprioceptive contribution to oculomotor control in humans. *Hum Brain Mapp*, 2022;43:5081-5090.
8. VIRLET L, SPARROW L, BERQUIN P *et al*. Proprioceptive intervention stabilizes the chaos of a non-linear system in dyslexic children. *Int J Psychol*, 2024;59(S1),230-274.
9. QUERCIA P, QUERCIA M, FEISS LJ *et al*. The distinctive vertical heterophoria of dyslexics. *Clin Ophthalmol*, 2015;9:1785-1797.
10. QUERCIA P, POZZO T, MARINO A *et al*. Children with Dyslexia Have Altered Cross-Modal Processing Linked to Binocular Fusion. A Pilot Study. *Clin Ophthalmol*, 2020;14:437-448.
11. LAPREVOTTE J, PAPAXANTHIS C, SALTARELLI S *et al*. Movement detection thresholds reveal proprioceptive impairments in developmental dyslexia. *Sci Rep*, 2021;11:299.
12. QUERCIA P, DEMOUGEOT L, DOS SANTOS M *et al*. Integration of proprioceptive signals and attentional capacity during postural control are impaired but subject to improvement in dyslexic children. *Exp Brain Res*, 2011;209:599-608.
13. VAN DE WALLE DE GHELCKE A, SKOURA X, EDWARDS MG *et al*. Action representation deficits in adolescents with developmental dyslexia. *J Neuropsychol*, 2021;15:215-234.
14. VIEIRA S, QUERCIA P, MICHEL C *et al*. Cognitive demands impair postural control in developmental dyslexia : A negative effect that can be compensated. *Neurosci Lett*, 2009;462:125-129.
15. VIRLET L, SPARROW L, BARELA J *et al*. Proprioceptive intervention improves reading performance in developmental dyslexia : An eye-tracking study. *Res Dev Disabil*, 2024;153:104813.
16. MARTINS DA CUNHA H. Le syndrome de déficience posturale. Son intérêt en ophtalmologie. *J Fr Ophtalmol*, 1986; 9:747-55.

L'auteur a déclaré ne pas avoir de liens d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.