

# Nouveaux outils d'évaluation du mouvement chez l'enfant avec handicap moteur

Dre LENA CARCREFF<sup>a</sup>, Pr STÉPHANE ARMAND<sup>a</sup>, Dre ALICE BONNEFOY-MAZURE<sup>a</sup>, Dr GERALDO DE COULON<sup>b</sup> et Pr CHRISTOPHER J. NEWMAN<sup>c</sup>

Rev Med Suisse 2022; 18: 336-9 | DOI : 10.53738/REVMED.2022.18.770.336

Jusqu'à récemment l'analyse du mouvement chez l'enfant avec handicap moteur s'est principalement appuyée sur des mesures détaillées effectuées en laboratoire à l'aide de systèmes opto-électroniques. Le développement de nouveaux outils de mesure s'appuie sur des dispositifs grand public, tels que les caméras vidéo associées à de l'intelligence artificielle ou les capteurs inertiels. Ces outils ont permis d'étendre le champ d'exploration du mouvement de ces enfants hors des laboratoires traditionnels d'analyse du mouvement pour s'intéresser à leurs mouvements dans la vie quotidienne. Par la complémentarité de ces mesures (et outils associés), dont l'utilisation est appelée à se démocratiser, une compréhension plus exhaustive des troubles moteurs de l'enfant et de ses impacts permettra d'optimiser leur prise en charge thérapeutique.

## New tools for movement assessment in children with motor disabilities

*Until recently, movement analysis of children with motor disabilities has mainly relied on in-lab measurements using optoelectronic systems. The development of new tools is mainly inspired from mainstream devices, such as video cameras associated with artificial intelligence or inertial sensors. These tools have extended the assessment of movement in these children beyond traditional movement analysis laboratories, to take an interest in their movements in everyday life. Through the complementarity of these measurements (and associated tools), which the use of is becoming mainstream, a more exhaustive understanding of children's motor disorders and their impacts will allow clinicians to optimize their therapeutic management.*

## INTRODUCTION

Les handicaps moteurs incluent un ensemble d'atteintes neurologiques, neuromusculaires et orthopédiques qui affectent la motricité et la mobilité, limitant ainsi l'autonomie au quotidien. Du fait d'un flou conceptuel sur la notion de handicap moteur et de l'absence de consensus sur les critères d'inclusion, il n'existe pas de données épidémiologiques exhaustives chez l'enfant. La paralysie cérébrale, handicap

moteur le plus fréquent dans cette catégorie d'âge, a une prévalence néonatale de l'ordre de 2 pour 1000 naissances vivantes.<sup>1</sup>

La prise en charge du trouble moteur, qui vise à améliorer l'activité motrice et à augmenter les opportunités de participation au quotidien, s'appuie en grande partie sur la compréhension des troubles fonctionnels de l'enfant et donc sur une observation objective et détaillée de ses mouvements. L'analyse quantifiée de la motricité permet ainsi de poser un diagnostic fonctionnel, d'orienter les décisions de traitement (par exemple, méthodes de thérapies motrices, traitements de la spasticité, chirurgie orthopédique) et fournit un outil de suivi objectif en mesurant les effets des interventions prescrites. L'étude du mouvement revêt un rôle majeur dans la recherche sur les handicaps moteurs chez l'enfant, autant dans la compréhension des mécanismes physiopathologiques sous-tendant ces troubles que pour les études interventionnelles. Les développements récents dans les outils d'analyse du mouvement permettent de plus en plus aisément d'obtenir une vision holistique des troubles moteurs en associant aux outils d'analyse en environnement clinique des outils d'analyse portables qui permettent l'exploration du mouvement dans l'environnement et la vie quotidienne.

## MÉTHODES CONVENTIONNELLES D'ANALYSE DU MOUVEMENT

Il existe de nombreux outils permettant d'évaluer le mouvement des enfants. Les plus simples sont basés sur des questionnaires standardisés et validés tel que le GOAL (Gait Outcomes Assessment List).<sup>2</sup> Le but est d'estimer le niveau de difficulté à réaliser certaines tâches motrices, l'impact du handicap moteur sur la vie quotidienne, la qualité de vie des patients, mais également leur ressenti face à l'efficacité ou non d'un traitement ou sur l'évolution de leur pathologie. Ces questionnaires sont devenus une composante importante de l'évaluation globale des patients et de leur prise en charge. De façon plus quantitative, un certain nombre de scores peuvent être également utilisés pour déterminer globalement le niveau d'atteinte de la marche (FAQ: Gillette Functional Assessment Questionnaire Walking Scale; FMS: Functional Mobility Scale)<sup>3,4</sup> mais également leur niveau fonctionnel (GMFCS: Gross Motor Function Classification System).<sup>5</sup> L'analyse quantifiée de la marche (AQM) permet, quant à elle, de réaliser une mesure objective des troubles de marche. Cette analyse complexe repose sur l'enregistrement et le couplage d'un grand nombre d'informations permettant de quantifier

<sup>a</sup>Laboratoire de cinésiologie, Hôpitaux universitaires de Genève et Université de Genève, 1211 Genève 14, <sup>b</sup>Service d'orthopédie pédiatrique, Département de la femme, de l'enfant et de l'adolescent, Hôpitaux universitaires de Genève, 1211 Genève 14, <sup>c</sup>Unité de neurologie et neuroréhabilitation pédiatrique, Centre hospitalier universitaire vaudois et Université de Lausanne, 1011 Lausanne  
lena.carcreff@gmail.com | stephane.armand@hcuge.ch | alice.bonnefoymazure@hcuge.ch  
geraldodecoulon@hcuge.ch | christopher.newman@chuv.ch

les mouvements du corps complet dans les trois plans de l'espace (cinématique), les forces, les moments et les puissances mises en jeu au niveau des articulations des membres inférieurs (cinétique) ainsi que l'activité électrique de certains muscles ayant un rôle prépondérant pendant la marche (électromyographie).<sup>6</sup> L'AQM permet donc de caractériser en milieu clinique standardisé (laboratoire de marche) les défauts de marche des patients.

Même si l'AQM permet une identification et une compréhension fine des troubles du mouvement et qu'elle a un apport indéniable pour la prise de décision thérapeutique, elle comporte des limites. En effet, l'AQM nécessite un laboratoire dédié, comportant de nombreux équipements coûteux (caméras optoélectroniques, plateformes de force, électrodes d'électromyographie, équipements informatiques), du personnel qualifié (connaissances scientifiques et techniques), prend un temps important par patient et comporte une certaine erreur de mesure (notamment due au placement des marqueurs sur la peau). Ainsi, toutes ces raisons concourent à rendre l'examen de marche peu accessible au plus grand nombre. Par ailleurs, l'AQM est fondée sur la capacité de marche du patient (évaluation en laboratoire) et ne reflète pas forcément ce que fait réellement le patient dans sa vie quotidienne (performance).

Ainsi, la compréhension et le suivi des troubles du mouvement de l'enfant peuvent encore être améliorés, notamment grâce à de nouvelles méthodes d'évaluation du mouvement.

## NOUVELLES MÉTHODES D'ÉVALUATION DU MOUVEMENT

L'essor des nouvelles technologies qui mesurent le mouvement pour des applications grand public et le développement de l'intelligence artificielle dans tous les domaines de notre société amènent de nouvelles opportunités pour mesurer le mouvement avec une finalité clinique (tableau 1).

### Du jeu vidéo à l'application médicale

Le premier outil d'analyse du mouvement grand public a été développé pour le jeu vidéo par Nintendo en 2007 avec la Wii

Balance Board. Cet outil ressemble à un pèse-personne et permet de mesurer les déplacements du centre de pression. Il peut être utilisé comme une plateforme de forces pour étudier l'équilibre d'un patient ou pour guider la rééducation.<sup>7</sup> La principale limitation de l'utilisation de cet outil en clinique est l'arrêt de la commercialisation par Nintendo.

### Des caméras «intelligentes»

Le deuxième outil d'analyse du mouvement grand public, également développé pour le jeu, fut la caméra de profondeur (la plus connue étant la Microsoft Kinect mise sur le marché en 2008). Une seule de ces caméras permet de capturer le mouvement en 3D grâce à l'utilisation en temps réel de l'intelligence artificielle (par exemple, Kinect SDK) afin de reconnaître automatiquement des points anatomiques. Cet outil ouvre de nombreuses applications cliniques pour l'analyse du mouvement ou la rééducation: analyse de la posture, de l'équilibre, de la marche ou de tests fonctionnels.<sup>8</sup> Cependant, pour l'analyse de la marche, Springer et Seligmann rapportent que l'algorithme de suivi des points anatomiques par la Kinect est médiocre pour la plupart des variables cinématiques, et que seul le calcul des paramètres spatio-temporels est correct pour une utilisation clinique.<sup>9</sup>

Pour améliorer la précision de la mesure, il est possible de coupler plusieurs caméras avec des résolution et fréquence d'acquisition plus grandes et d'utiliser l'intelligence artificielle pour retrouver les points anatomiques d'une personne (figure 1A). Des solutions commerciales existent, comme Theia Markerless, qui permettent d'avoir une précision similaire à celle obtenue par les systèmes optoélectroniques. Mais pour l'instant, l'analyse a été réalisée uniquement chez des participants asymptomatiques<sup>10</sup> et il n'existe, à notre connaissance, aucune étude publiée avec des patients présentant des troubles de la marche. L'avantage certain de ces systèmes est qu'ils permettent des temps de préparation et d'acquisition rapides (pas besoin d'équipement du patient) sans être sensibles aux placements des marqueurs pouvant varier d'une session à l'autre ou d'un opérateur à l'autre (principale source d'erreur de l'AQM).

Des solutions open sources (par exemple, OpenPose, DeepLabCut) existent, également basées sur plusieurs caméras, et

**TABLEAU 1** Avantages et inconvénients des nouveaux outils de mesure du mouvement

Outils de mesure	Calculs possibles	Utilisation	Précision	Coût	Facilité d'utilisation	Niveau de validation médicale	Exemples de compagnies/logiciels
Optoélectronique	• Spatio-temp. • Cinématique	• Laboratoire	+++	+++	+	+++	• Qalisy • Vicon • BTS • Motion Analysis
Caméra vidéo seule + IA	• Spatio-temp. • Cinématique	• Laboratoire • Vie quotidienne	+	+	+++	+	• Microsoft Kinect • Kinect SDK • OpenPose* • DeepLabCut*
Plusieurs caméras + IA	• Spatio-temp. • Cinématique	• Laboratoire	++	++	+++	++	• Theia Markerless
Capteurs inertiels	• Spatio-temp. • Cinématique	• Laboratoire • Vie quotidienne	++	++	++	++	• GaitUp • APDM

\*Logiciels libres; IA: intelligence artificielle; Spatio-temp.: paramètres spatio-temporels.

montrent de bons résultats pour l'analyse du mouvement dans le plan sagittal pour des participants asymptomatiques.<sup>11</sup> Ces solutions se développent rapidement et sont très prometteuses pour l'avenir de l'analyse du mouvement. Cependant, l'utilisation clinique de ces systèmes, basée sur l'intelligence artificielle, demandera leur validation chez des patients et leur certification médicale, notamment en lien avec la nouvelle réglementation européenne sur les dispositifs médicaux.

### De petits capteurs portables

Nous sommes de nos jours entourés de dispositifs portables permettant la mesure de paramètres physiologiques ou physiques dans notre vie quotidienne. Le meilleur exemple est le téléphone portable ou la montre connectée. Du fait de leurs accessibilité et capacité de mesure en continu, ces appareils ont un grand potentiel pour des applications cliniques et thérapeutiques. Cependant, il est important de savoir que ces outils grand public ne sont que très peu validés contre un standard de mesure. En revanche, il existe de nombreux capteurs ayant été validés par la communauté scientifique. On les appelle des capteurs inertiels et comprennent des accéléromètres, mesurant l'accélération selon un axe, et des gyromètres, évaluant la vitesse de rotation autour d'un axe. Un magnétomètre, mesurant le champ magnétique terrestre, peut également y être ajouté, formant ainsi une «unité de mesure magnéto-inertielle».

Les données mesurées avec ces capteurs permettent de calculer les variables de marche usuelles telles que les paramètres spatio-temporels (longueur de pas, cadence, vitesse de marche, etc.) et cinématiques (angles segmentaires et articulaires), en passant notamment par des calculs complexes (figure 1B). Une grande variété de configuration de capteurs a été testée, allant d'un à une vingtaine de capteurs positionnés sur le corps. Par exemple, via un seul capteur porté à la ceinture, il est possible d'estimer le taux global d'activité physique durant une journée, le nombre de pas effectués, la vitesse de marche et l'inclinaison du bassin. Cependant, la précision de ces paramètres peut varier selon la population étudiée, le protocole et les méthodes de traitement des signaux.

Un des grands avantages des capteurs inertiels est qu'ils permettent des évaluations en conditions écologiques et donc de mesurer le niveau de fonction motrice des patients dans leur quotidien. De plus, ces paramètres de performance peuvent être directement comparés à ceux mesurés en laboratoire (capacité). Des études ont été menées à l'Université de Genève, en collaboration avec le CHUV et l'EPFL chez des enfants atteints de paralysie cérébrale confirmant qu'ils montraient des performances de marche diminuées, mais également fortement corrélées à leurs capacités en laboratoire.<sup>12,13</sup> Cela conduit à dire que ces enfants sont quasi systématiquement «meilleurs» en laboratoire, et donc que les diagnostics et décisions de traitement ne devraient pas se baser uniquement sur les capacités mais aussi sur les performances.

### Autres applications émergentes

Au-delà de l'analyse de la marche, ces outils ont considérablement élargi le champ des mouvements explorés. La prédiction des séquelles motrices de la naissance à risque (prématurité, asphyxie néonatale), en associant l'intelligence artificielle à la mesure des mouvements néonataux par captation vidéo ou utilisation de capteurs portables, connaît d'importants développements.<sup>14</sup> La mobilité en fauteuil roulant, l'exploration des mouvements et de l'activité des membres supérieurs ou encore la mesure du sommeil sont autant de domaines dans lesquels l'utilisation de capteurs portables a permis des progrès notables.<sup>15</sup>

### CONCLUSION

La décennie écoulée a connu une explosion de la recherche sur les troubles moteurs de l'enfant et une accélération dans le développement de nouveaux outils de mesure portée par les progrès technologiques tels que la miniaturisation de l'électronique et l'intelligence artificielle. Parallèlement aux développements orientés vers le grand public, la recherche clinique a su intégrer ces outils en s'assurant de leur validité et utilisabilité chez des enfants avec handicap moteur. Toutefois, l'adoption de ces technologies dans la pratique clinique courante rencontre des barrières significatives. La multiplicité

**FIG 1** Nouveaux outils pour l'exploration du mouvement chez l'enfant avec handicap moteur

A: Système basé sur une caméra vidéo et l'intelligence artificielle. B: Système basé sur des capteurs inertiels collés sur les jambes du patient sous son pantalon.



des systèmes, des données scientifiques encore émergentes et un manque de recherche sur leur implémentation clinique sont des freins à la généralisation de leur utilisation. Les réglementations européennes sur les dispositifs médicaux limitent l'intérêt des fournisseurs d'équipement grand public à investir ce qu'ils considèrent comme un marché de niche, freinant la diffusion de ces outils. Il est indispensable que ces systèmes de mesure, dont pourront à terme dépendre des décisions de traitement, bénéficient des meilleurs niveaux de qualité et d'homologation. Il appartient à présent aux acteurs de la prise en charge des enfants avec handicap moteur, en collaboration avec les fournisseurs d'outils d'analyse, d'explorer leur implémentation et d'apporter la preuve de leur utilité dans la pratique clinique pour permettre une réelle démocratisation de l'analyse du mouvement.

**Conflit d'intérêts:** Les auteurs n'ont déclaré aucun conflit d'intérêts en relation avec cet article.

### IMPLICATIONS PRATIQUES

- L'analyse du mouvement permet de guider la prise en charge du handicap moteur chez l'enfant
- Les développements technologiques récents ont permis d'élargir les champs d'application de l'analyse du mouvement hors des laboratoires
- La complémentarité des outils d'analyse traditionnels et des outils émergents permettra d'obtenir une évaluation plus exhaustive de la motricité des enfants
- Les progrès technologiques et la validation clinique permettront à terme une démocratisation de l'utilisation de l'analyse du mouvement en pratique clinique

1 \*Colver A, Fairhurst C, Pharoah POD. Cerebral Palsy. *Lancet* 2014;383:1240-9. DOI: 10.1016/S0140-6736(13)61835-8.

2 \*Thomason P, Tan A, Donnan A, et al. The Gait Outcomes Assessment List (GOAL): Validation of a New Assessment of Gait Function for Children with Cerebral Palsy. *Dev Med Child Neurol* 2018;60:618-23.

3 Ammann-Reiffer C, Bastiaenen CHG, de Bie RA, van Hedel HJA. Measurement Properties of Gait-Related Outcomes in Youth with Neuromuscular Diagnoses: A Systematic Review. *Phys Ther* 2014;94:1067-82.

4 Harvey AR, Morris ME, Graham HK, Wolfe R, Baker R. Reliability of the Functional Mobility Scale for Children with Cerebral Palsy. *Phys Occup Ther Pediatr* 2010;30:139-49.

5 Palisano R, Rosenbaum P, Walter S,

et al. Development and Reliability of a System to Classify Gross Motor Function in Children with Cerebral Palsy. *Dev Med Child Neurol* 1997;39:214-23.

6 \*\*Armand S, Bonnefoy-Mazure A, Hoffmeyer P, De Coulon G. Analyse quantifiée de la marche : mode d'emploi. *Rev Med Suisse* 2015;11:1916-20.

7 Montoro-Cárdenas D, Cortés-Pérez I, Zagalaz-Anula N, et al. Nintendo Wii Balance Board Therapy for Postural Control in Children with Cerebral Palsy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Dev Med Child Neurol* 2021;63:1262-75.

8 \*\*Clark RA, Mentiplay BF, Hough E, Pua YH. Three-Dimensional Cameras and Skeleton Pose Tracking for Physical Function Assessment: A Review of Uses, Validity, Current Developments and Kinect Alternatives. *Gait Posture* 2019;68:193-200. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2018.11.029.

9 Springer S, Seligmann GY. Validity of the Kinect for Gait Assessment: A Focused Review. *Sensors (Basel)* 2016;16:194.

10 \*Kanko RM, Laende EK, Davis EM, Selbie WS, Deluzio KJ. Concurrent Assessment of Gait Kinematics Using Marker-Based and Markerless Motion Capture. *J Biomech* 2021;127:110665. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2021.110665.

11 Stenum J, Rossi C, Roemmich RT. Two-Dimensional Video-Based Analysis of Human Gait Using Pose Estimation. *PLoS Comput Biol* 2021;17:e1008935. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1008935.

12 Carcreff L, Gerber CN, Paraschiv-Ionescu A, et al. Comparison of Gait Characteristics between Clinical and Daily Life Settings in Children with Cerebral Palsy. *Sci Rep* 2020;10:2091.

13 \*Carcreff L, Gerber CN, Paraschiv-Io-

nescu A, et al. Walking Speed of Children and Adolescents with Cerebral Palsy: Laboratory versus Daily Life. *Front Bioeng Biotechnol* 2020;8:812.

14 Irshad MT, Nisar MA, Gouverneur P, Rapp M, Grzegorzec M. AI Approaches towards Precht's Assessment of General Movements: A Systematic Literature Review. *Sensors (Basel)* 2020;20:5321.

15 Rast FM, Labruyère R. Systematic Review on the Application of Wearable Inertial Sensors to Quantify Everyday Life Motor Activity in People with Mobility Impairments. *J Neuroeng Rehabil* 2020;17:148. DOI: 10.1186/s12984-020-00779-y.

\* à lire

\*\* à lire absolutement