

Faculté des sciences de la motricité

**Création de normes sur un test de
dextérité manuelle en version
virtuelle chez des enfants et jeunes
adultes sains âgés de 12 à 19 ans**

Auteur : Etienne Princen et Gaëlle Thibou

Promoteur(s) : Bleyenheuft Yannick

Co-promotrice : Rosselli Zélie

Année académique 2023-2024

Master en kinésithérapie et réadaptation [60.0] - KINE2M

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons exprimer notre sincère reconnaissance à plusieurs personnes qui ont rendu possible la réalisation de ce mémoire :

À notre promotrice, le Professeur Yannick Bleyenheuft, pour sa précieuse guidance, ses conseils éclairés et le temps qu'elle a généreusement consacré à l'élaboration de ce travail. Son engagement et ses critiques constructives ont été d'une aide précieuse pour mener à bien ce projet.

À notre co-promotrice, Zélie Rosselli, pour son implication exemplaire, sa disponibilité constante et son suivi attentif tout au long de cette aventure. Son soutien actif et ses précieux conseils ont grandement facilité la progression et la qualité de ce travail.

Nous exprimons également notre profonde gratitude envers nos familles, dont le soutien indéfectible sur le plan émotionnel a été d'une importance capitale pour nous.

Enfin, nos remerciements les plus sincères vont à tous les participants qui ont généreusement accepté de prendre part à notre étude. Leur contribution précieuse a enrichi notre recherche et nous leur sommes infiniment reconnaissants.

ABSTRACT

Introduction

Les troubles neurologiques chez l'adulte comme chez l'enfant sont de plus en plus reconnus comme des causes majeures d'invalidité dans le monde. En effet, la principale cause d'incapacité physique chez l'enfant est la Paralyse Cérébrale (PC) tandis que chez l'adulte, il s'agit de l'Accident Vasculaire Cérébral (AVC). Une altération de la dextérité manuelle y est souvent associée. Différentes thérapies sont envisageables pour la dextérité manuelle tel que HABIT-ILE. Mais l'accessibilité à cette thérapie est limitée. C'est pour cela que HABIT-ILE sous forme de télé-rééducation a été développée. Le Box and Block Test (BBT) et le Nine Hole Peg Test (NHPT) permettent d'évaluer la dextérité manuelle grossière et fine. Afin de permettre d'évaluer les patients lors de la télé-rééducation via le REAtouch Lite[®], des versions virtuelles ont été développées qui sont le Box and Block Test virtuel (BBTv) et le Box and Block Test virtuel Prises fines (BBTv-Pf). L'objectif de cette étude est de créer des normes pour les versions virtuelles des tests pour la dextérité manuelle.

Méthode

Un total de 80 participants ont été recrutés. Les filles étaient 41 et les garçons 39 et l'âge variait entre 12 et 19 ans. Les deux tests classiques ainsi que les deux test virtuels ont été systématiquement réalisés par les participants. L'ordre des tests était défini en fonction du numéro de passage. Les statistiques descriptives pour chaque test ont été analysées individuellement pour en obtenir les moyennes. Afin d'évaluer la concordance entre les tests standards et leurs versions virtuelles, les coefficients de corrélations intraclasse (ICC) ont été utilisés. Pour approfondir l'analyse, l'utilisation d'un modèle mixte a été privilégiée afin d'évaluer les influences de l'âge et du genre sur les scores obtenus aux BBTv. Pour l'effet de la latéralité, un test t apparié a été réalisé.

Résultats

Les résultats concernant l'étude ont montré qu'il y avait une concordance significative entre le BBT et le BBTv ($p < 0,001$) et non significative pour le NHPT et le BBTv-Pf ($p > 0,9$). Les deux facteurs ayant un effet significatif sur le résultat sont l'âge ($p < 0,001$) où les scores ont tendance à augmenter chaque année, ainsi que la latéralité ($p < 0,001$) où la main dominante obtient des scores plus élevés. Le genre ainsi que l'interaction âge et genre n'ont pas d'impact significatif ($p > 0,05$). Les normes ont donc été réalisées en fonction de l'âge ainsi que de la latéralité.

Conclusion

Les normes obtenues pour le BBTv reflètent de manière significative l'évaluation de la dextérité manuelle grossière. Concernant le BBTv-PF, les scores obtenus peuvent également être corrélés à la dextérité manuelle mais n'est pas spécifique à la dextérité manuelle fine.

Table des matières

I. ABRÉVIATIONS.....	9
II. INTRODUCTION.....	10
III. MATÉRIEL ET MÉTHODE	14
3.1. Participants.....	14
3.2. Procédure.....	15
3.2.1. Mesure de la dextérité manuelle.....	15
3.3. Analyses statistiques.....	20
IV. RESULTATS.....	22
4.1. Caractéristiques de l'échantillon.	22
4.2. Corrélations Intra-Classes (ICC).....	22
4.3. Normes	26
4.4. Effets de différents facteurs.....	27
4.4.1. Effet de l'âge.....	27
4.4.2. Effet du genre.....	29
4.4.3. Interaction de l'âge et du genre.....	29
4.4.4. Effet de la Latéralité	29
4.5. Pourcentage d'erreur.....	30
V. DISCUSSION	32
VI. CONCLUSION	38
VII. ANNEXES.....	39
VIII. RÉFÉRENCES.....	40

I. ABRÉVIATIONS

PC : Paralyse Cérébrale

AVC : Accident Vasculaire Cérébral

CIMT : Constraint Induced Movement Therapy

HABIT : Hand and Arm Bimanual Intensive Therapy

HABIT-ILE : Hand-Arm Bimanual Intensive Therapy Including Lower Extremities

MACS : Manual Ability Classification System

BBTv : Box and Blocks Test virtuel

BBTv-Pf : Box and Blocks Test virtuel à Prises Fines

FSM : Faculté des Sciences de la Motricité

NHPT : Nine Hole Peg Test

ICC : Coefficients de Corrélacion Intraclasse

MD : Main Dominante

MND : Main Non Dominante

II. INTRODUCTION

Les troubles neurologiques chez l'adulte comme chez l'enfant sont de plus en plus reconnus comme des causes majeures de décès et d'invalidité dans le monde (1). En effet, la principale cause d'incapacité physique chez l'enfant est la Paralysie Cérébrale (PC) tandis que chez l'adulte, il s'agit de l'Accident Vasculaire Cérébral (AVC) (2). Concernant la PC, l'incidence moyenne est de 2,11 cas pour 1000 naissances dans les pays développés avec une mortalité qui varie selon le handicap moteur et cognitif (3-5). Pour l'AVC, l'incidence va varier de 95 à 290/100 000 par an, avec une fatalité s'élevant de 13 à 35% à un mois en moyenne par an depuis le début du 20^{ème} siècle en Europe (6, 7). L'AVC est également la deuxième cause de décès dans le monde ainsi que la troisième cause d'incapacité et de mortalité combiné (8).

La PC est une atteinte motrice résultant d'une lésion cérébrale non progressive survenant sur un cerveau immature avant l'âge de 2 ans (3). Il existe trois types de PC : la spastique (la plus fréquente (75 à 90%), liée à une lésion pyramidale), l'athétosique et l'ataxique (9). Les principaux facteurs de risques de la PC sont la prématurité ainsi que le faible poids de naissance (<1500g). Les conséquences de cette atteinte sont principalement des symptômes moteurs (limitation du développement des mouvements), mais également, pour certains d'entre eux des symptômes non moteurs tels que des douleurs (75 %), des déficits intellectuels (50 %), des troubles du langage (25 %), de l'épilepsie (25 %), des troubles du comportement et du sommeil (20-25 %) (10). Cela résulte en une diminution de la participation sociale et de la réalisation de certaines activités de la vie quotidienne, impactant ainsi l'autonomie de ces patients. Les enfants atteints de PC participent moins fréquemment à divers aspects de la vie quotidienne et à diverses activités de groupe comparativement aux enfants sains de leur âge. Si la participation aux relations est moins perturbée, celle à l'école, lors des soins personnels et lors des déplacements l'est tout particulièrement (11). Pour aider les patients à devenir plus indépendants, le traitement comprend généralement des séances de kinésithérapie, le port d'orthèses et des injections de toxines botuliques (12). Ces traitements sont déterminants pour diminuer le niveau de handicap et améliorer la qualité de vie (13) et d'ainsi augmenter leur participation sociale. En ce qui concerne l'AVC, il s'agit d'un syndrome caractérisé par une altération de la

fonction cérébrale, se manifestant rapidement sans autre cause apparente que celle d'origine vasculaire (14). La gravité du syndrome peut varier, allant d'un rétablissement complet et rapide à un rétablissement incomplet, voire à une invalidité grave (15). Tout comme la PC, après un AVC, les patients présentent de nombreux symptômes qui peuvent devenir chroniques. Ils ont souvent une hémiparésie qui peut entraîner une incapacité partielle ou totale à utiliser le membre supérieur et inférieur (16), une perte d'autonomie dans la marche (17), une douleur chronique (18), une altération des sensations (19), une négligence visuospatiale (20) et de la spasticité (21). Ces conséquences à long terme, en particulier la déficience motrice, peuvent entraîner des difficultés dans les activités quotidiennes et une baisse de la qualité de vie (22, 23).

Ces deux pathologies, l'AVC et la PC, entraînent fréquemment des dysfonctionnements qui provoquent une altération de la dextérité manuelle. La dextérité manuelle se définit comme la capacité à réaliser des mouvements coordonnés de la main et des doigts pour saisir et manipuler des objets. Elle englobe diverses fonctions, telles que les fonctions musculaires, squelettiques et neurologiques, qui permettent d'effectuer des mouvements fins et précis (24). Cette dysfonction de la main est donc un frein pour les activités journalières des enfants et c'est sur celle-ci que le clinicien va se concentrer pour améliorer le quotidien de ces patients (24). Suite à un AVC, la main controlatérale à l'hémisphère cérébral lésé peut présenter des déficits sensorimoteurs, tandis que des problèmes cognitifs peuvent affecter la perception et le contrôle des mouvements du membre supérieur (25). En effet, plus de la moitié des personnes victimes d'AVC peuvent garder des déficits moteurs impactant le membre supérieur atteint, même suite à une réhabilitation conventionnelle (cela comprend donc la dextérité manuelle ainsi que l'utilisation des doigts) (26). En ce qui concerne la PC, la dextérité manuelle constitue, tout comme dans le cas de l'AVC, l'un des principaux dysfonctionnements à traiter. Améliorer cette dextérité permettra d'accroître la capacité à exécuter des activités de la vie quotidienne (27). Dans la population totale des enfants atteints de PC se trouvant entre 4 et 14 ans, environ 60% présentent plus que des troubles mineurs de la fonction de la main (28). Pour regagner la dextérité manuelle et l'autonomie après un AVC ou chez les enfants atteints de paralysie cérébrale, diverses méthodes de rééducation sont disponibles (29), notamment la Thérapie par le Mouvement Induit par la Contrainte (CIMT) (30, 31), la Hand and Arm Bimanual Intensive Therapy (HABIT) (32) pour les membres supérieurs, et la

Hand-Arm Bimanual Intensive Therapy Including Lower Extremities (HABIT-ILE) (33) pour les membres supérieurs et inférieurs.

Avec l'émergence des thérapies à distance, il est de plus en plus crucial d'explorer des moyens d'évaluer les patients de manière virtuelle. Cette transition s'avère particulièrement importante pour des raisons telles que l'accessibilité accrue aux soins de rééducation, la réduction des coûts de déplacement et d'hébergement (34), ainsi que la flexibilité offerte aux patients dans le contexte de contraintes diverses, comme les conditions climatiques ou les périodes d'épidémie.

Dans cette optique, un outil comme le REAtouch Lite ® se présente comme une solution prometteuse (35). Cette tablette interactive, facilement transportable et utilisable à domicile, est conçue spécifiquement pour permettre la réalisation de jeux rééducatifs et d'évaluations à domicile. Elle offre aux patients la possibilité de réaliser une multitude de mouvements spécifiques lors des activités thérapeutiques, tout en bénéficiant d'une stimulation motivante. En permettant une rééducation à distance sous la supervision de thérapeutes formés, cet outil vise à surmonter les barrières géographiques et logistiques qui limitent parfois l'accès des patients à des thérapies intensives et spécialisées. Cette approche ouvre de nouvelles perspectives dans le domaine de la rééducation neurologique, en rendant les soins plus accessibles et en offrant aux patients la possibilité de s'engager activement dans leur processus de guérison, où qu'ils se trouvent.

L'apprentissage moteur lors des thérapies CIMT, HABIT et HABIT-ILE est un processus intrinsèque, sa mesure se fait uniquement à travers l'évaluation des performances par des tests standardisés. Ces évaluations optimisent la planification des traitements tout en évaluant l'efficacité des interventions et les progrès réalisés (36). Il existe plusieurs tests pour évaluer la dextérité manuelle. Au regard de la littérature, deux des plus utilisés sont le BBT et le Nine Hole Peg Test (NHPT) pour évaluer respectivement la dextérité grossière (37) et fine (38) de la main. La validité et la fiabilité de ces évaluations ont été établies dans la littérature scientifique. Concernant la fiabilité test-retest du BBT, il y a une excellente corrélation pour les deux mains. Pour le NHPT, il y a une excellente fiabilité inter examinateurs. Concernant la fiabilité test-retest, celle-ci à un coefficient de corrélation qui varie de modéré à élevé (39). Il existe également une classification, le « Manual Ability

Classification System » (MACS) qui permet de classer la façon dont les enfants utilisent leurs mains pour manipuler des objets de la vie quotidienne (2, 40). La dextérité manuelle grossière peut prédire efficacement les capacités manuelles chez les enfants souffrant de PC. Le score de MACS améliore notre compréhension de la corrélation entre la dextérité manuelle et les limitations d'activités, renforçant ainsi la validité de l'utilisation de systèmes de classification et d'évaluations.

L'objectif de ce mémoire est de créer des normes pour les versions interactives sur tablette du Box and Blocks Test virtuel (BBTv) et du Box and Blocks Test virtuel à Prises Fines (BBTv-Pf) (37, 38), largement utilisés en neurologie pour évaluer la dextérité manuelle grossière et fine. En version interactive sur tablette, deux versions ont été développées dans des mémoires précédents (41, 42) : le BBTv et le BBTv-Pf. Cependant, les versions virtuelles de ces tests ne disposent pas encore de normes établies. Par conséquent, cette étude utilise un échantillon de 80 personnes âgées de 12 à 19 ans pour établir la fiabilité de ces tests par rapport aux versions existantes du BBT et du NHPT. Le but de ce mémoire est de tester et de normer une version virtuelle du BBT, un test fréquemment employé et bien établi en neurologie pour évaluer les adultes et les enfants. En développant cette version virtuelle, l'objectif est de fournir aux professionnels de la santé un outil efficace pour évaluer la dextérité et la fonction motrice des patients, même à distance, contribuant ainsi à une rééducation plus accessible et personnalisée.

III. MATÉRIEL ET MÉTHODE

Cette étude a été approuvée par le Comité d'Éthique Hospitalo-Facultaire Saint-Luc – UCL (N° B4032022000142). Les données de ce mémoire ont été recueillies à la Faculté des Sciences de la Motricité (FSM) à Louvain-la-Neuve. Il s'agit d'une étude prospective interventionnelle qui s'étend de décembre 2023 à mai 2024.

3.1. Participants

Dans cette étude, chaque participant a volontairement choisi de s'impliquer après avoir pris connaissance des détails des tests et de leurs objectifs. Cela incluait une explication approfondie du protocole de l'étude, des différents tests, ainsi que la remise des documents d'information et des formulaires de consentement parental et d'assentiment pour les mineurs et de consentement pour les adultes. Chaque formulaire de consentement parental signé a été approuvé par les deux tuteurs légaux et daté. L'échantillon était composé de 80 individus âgés de 12 à 19 ans. Chaque tranche d'âge comprenait 5 filles et 5 garçons de manière à avoir 10 individus par tranche d'âge. Les participants ont été recrutés à partir de divers endroits tels que des groupes scouts, des centres équestres, des centres sportifs, ainsi que par le biais des réseaux sociaux (Facebook, Instagram...).

Les critères pour inclure ou exclure les participants étaient les suivants :

- Tout individu âgé de 12 à 19 ans au moment du test.
- Ne pas avoir de séquelles pathologiques au niveau des membres supérieurs, que ce soit la main dominante ou non dominante.
- Ne pas présenter de troubles neurologiques.

3.2. Procédure

Afin de déterminer les normes des différentes versions du BBTv et d'évaluer sa fiabilité, les participants réalisaient quatre tests de dextérité manuelle : le BBT classique et sa version virtuelle le BBTv pour l'évaluation de la dextérité manuelle grossière, le NHPT et le BBTv-Pf pour la dextérité manuelle fine. Le BBT et le NHPT sont les deux tests standards existants déjà très utilisés dans la littérature. Les BBTv et BBTv-Pf sont les deux versions virtuelles développées sur le REAtouch Lite ®.

3.2.1. Mesure de la dextérité manuelle

Les quatre tests (BBT, NHPT, BBTv et BBTv-Pf) ont été effectués dans un ordre aléatoire par chaque participant. Huit séquences d'ordre d'administration ont été préparées afin que les participants ne suivent pas toujours le même ordre de passation des quatre tests, ce qui permet d'éviter les biais potentiels liés à la fatigue, à l'apprentissage et à la perte d'attention (Annexe 1). La durée de passage des tests ainsi que le temps de donner les explications et les consignes est approximativement de 30 minutes. Tous ces tests ont été réalisés dans une position standardisée. Le participant doit être assis avec les hanches, les genoux et les chevilles pliés à 90 degrés, les pieds à plat, et la table à hauteur des coudes (Figure 1). Des blocs peuvent être ajoutés sous la chaise et/ou sous ses pieds afin de s'adapter aux différentes tailles des participants et ainsi avoir une position standard.

Figure 1 : position standardisée pour la réalisation des tests



La position standard de réalisation des tests est assise avec les hanches, les genoux et les chevilles du participant pliés à 90 degrés, les pieds à plat, et la table à hauteur des coudes.

a. Dextérité manuelle grossière (BBT)

Le BBT, conçu en 1957 par Jean Hyres et Patricia Buhler, est un test bien établi pour évaluer la dextérité manuelle (43). En 1976, E. Fuchs et P. Buhler (Cromwell) ont apporté des modifications à ce test, et depuis lors, cette version modifiée est couramment utilisée (43) Le BBT consiste en une boîte rectangulaire divisée par une planche en deux compartiments identiques, mesurant chacun 25,5 cm x 25,5 cm. Il comporte 150 cubes de taille 2,5 cm x 2,5 cm (Figure 2). Pendant le test, le participant est invité à déplacer autant de cubes que possible d'un compartiment à l'autre en 60 sec en utilisant une seule main dans la position standardisée. Chaque cube doit être déplacé individuellement, en dépassant du bout des doigts la ligne médiane avant d'être lâché. Une période d'essai de 15 secondes est accordée à chaque participant avant le test proprement dit. La main dominante est testée en premier, suivie du même protocole pour l'autre main (43). Le participant ne peut pas changer de main au cours du test, ni prendre plusieurs cubes à la fois. Cependant, si cela arrive par inattention un seul des blocs transportés sera comptabilisé. Le score final correspond au nombre de blocs transportés d'un compartiment à l'autre en 60 sec.

Figure 2 : BBT classique (Box and Bloc Test)



Le test Box and Blocks évalue la capacité d'une personne à déplacer des blocs d'une boîte à une autre avec une seule main en 60 secondes, mesurant ainsi la dextérité unimanuelle grossière. Sa dimension est de 53,7 cm x 25,4 cm et il est composé de 150 cubes.

b. Dextérité manuelle grossière version virtuelle (BBTv)

Le BBTv se réalise sur le REAtouch Lite ® en utilisant 4 cubes identiques à ceux du BBT classique (Figure 3). L'interface de la tablette comprend une surface tactile de 73 cm x 41 cm, divisée en deux par une réglette de 2 cm de hauteur. Cette surface est protégée par une vitre en plexiglas pour la rendre résistante aux chocs et aux secousses. Pour détecter les interactions et les mouvements sur la tablette, des rayons invisibles se croisent à la limite de l'écran, enregistrant chaque mouvement qui les traverse, détectant ainsi chaque objet déposé sur l'interface. Le déroulement du test est similaire à celui du BBT et se déroule dans la même position standardisée. Cette version possède 2 grandes zones sur l'écran séparées par la réglette au milieu. Dans chacune des deux grandes zones, 4 plus petites zones carrées sont définies précisément (Figure 4). En position de départ, les 4 cubes sont placés du côté de la main testée avec un cube par petite zone carrée. Les participants doivent réaliser le plus de déplacements possibles des cubes d'une grande zone à l'autre, en les déposant sur ces petites zones carrées en 60 secondes (Figure 4). Lorsque les 4 cubes ont été déplacés dans une grande zone, le participant doit, toujours avec la même main, repositionner les 4 cubes sur l'autre zone et ainsi de suite afin de réaliser le plus d'allers-retours possibles. Les cubes doivent être soulevés et non glissés d'un côté à l'autre de l'écran. Le dernier cube déplacé doit être relâché avant de repartir de l'autre côté. Il n'est pas nécessaire de suivre un ordre particulier pour déplacer les cubes ni de placer ceux-ci sur une place définie; chaque cube peut être positionné sur chaque petites zones du moment qu'il n'y a qu'un bloc

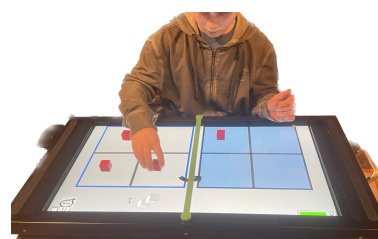
par zone. Le participant bénéficie d'une période d'essai de 16 déplacements de cubes. La main dominante est testée en premier, suivie du même protocole pour l'autre main. Pendant le test, le participant ne peut pas changer de main ni de position assise. Le score final correspond au nombre de blocs transportés d'une grande zone à l'autre en 60 sec. Dans le cadre de l'étude, le nombre d'objets transférés était aussi compté par l'examineur à l'aide d'un clicker pour évaluer le pourcentage d'erreur entre le score affiché par le REAtouch Lite ® et le score réel comptabilisé par l'examineur.

Figure 3: Cubes de couleurs 2,5 cm x 2,5cm



Cubes utilisés lors de la passation du Box and Block Test.

Figure 4 : BBTv sur REAtouch



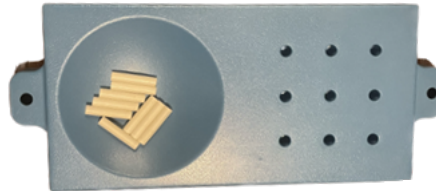
Le BBTv contient 2 grandes zones séparées par une réglette de séparation au milieu (verte). Chacune des 2 zones est découpée en 4 plus petites zones. Pour réaliser le test, 4 blocks sont utilisés, au début chacun des 4 blocks est déposés dans une des 4 zones du côté de la main testée. Puis les participants les transfèrent un par un dans les 4 zones de l'autre côté de la réglette. Il réalise le plus d'allers-retours d'une grande zone à l'autre en 60 sec.

c. Dextérité manuelle fine, test standard (NHPT)

Le NHPT est un test de la dextérité manuelle fine créé en 1971 par Kellor, Frost, Silberberg, Iversen et Cummings (41). Il se compose d'une planche comportant neuf encoches et d'un petit récipient contenant les neuf chevilles (Figure 5). L'objectif du test est d'insérer les neuf chevilles le plus rapidement possible dans les encoches, puis de les retirer une par une pour les replacer dans le récipient. Le participant, assis dans la position standardisée, peut tenir la planche avec la main qui n'est pas testée. Comme pour les autres tests, c'est la main dominante qui est testée en premier, suivie de la main non dominante. Le test est réalisé deux fois successivement pour chaque main, sans période d'essai. Le score enregistré correspond au temps (en secondes) mis par le participant pour mettre les neuf chevilles et les retirer. Le thérapeute procède à l'enregistrement du temps via un chronomètre. Une moyenne des deux essais a ensuite

été réalisée pour les analyses. Pendant le test, le participant doit saisir une seule cheville à la fois et ne peut pas changer de main.

Figure 5 : NHPT

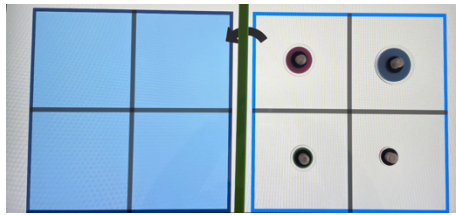


Le Nine Hole Peg Test comprend un plateau perforé avec 9 trous et 9 chevilles.

d. Dextérité manuelle fine, test virtuel (BBTv-Pf)

Le quatrième test, le BBTv-Pf (Figure 6), vise à évaluer la dextérité manuelle fine, et se déroule également sur la tablette interactive (REAtouch Lite ®). La tablette est divisée en deux zones par une réglette, tout comme pour le BBTv. Il se déroule de la même manière que celui-ci, à la différence près qu'au lieu de manipuler des cubes, les participants manipulent des objets qui nécessitent une préhension plus fine (« pions », voir Figure 7). Cela demande aux participants d'être plus précis dans leurs mouvements. Avant de commencer le test, chaque participant effectue 16 déplacements de pions à titre d'essai. Ensuite, le test d'une minute commence avec la main dominante. Une fois le test terminé, la même procédure est répétée avec la main non dominante. Le score correspond également au nombre de pion déplacés en 60 secondes. A la fin du test, le REAtouch Lite ® affiche le score à l'écran. Dans le cadre de l'étude, le nombre d'objets transférés était aussi compté par l'examineur à l'aide d'un clicker pour évaluer le pourcentage d'erreurs entre le score affiché par le REAtouch Lite ® et le score réel comptabilisé par l'examineur.

Figure 6 : BBTv-Pf



Box and Bloc Test virtuel à prises fines séparé en 2 zones. Chaque zone dispose de 4 compartiments dans laquelle un pion sera placé.

Figure 7 : Prises fines pour le BBTv-Pf



Prises fines utilisées lors de la passation du Box and Bloc Test virtuel à prises fines.

3.3. Analyses statistiques

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées avec un niveau de significativité fixé à 0,05 à l'aide du logiciel IBM SPSS Statistics 29.0.

Les statistiques descriptives pour chaque test ont été réalisées individuellement pour en obtenir les moyennes avec la déviation standard, la médiane avec les 1^{ers} et 3^{èmes} quartiles et le minimum et le maximum. Le tout en fonction de chaque tranche d'âge ainsi que de la dominance des mains et du genre. Un pourcentage d'erreurs a été calculé entre les scores obtenus en comptant avec le clicker et celui affiché par le REAtouch Lite ® à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Pourcentage d'erreurs} : \left(\frac{\text{Score REAtouch Lite} - \text{Score clicker}}{\text{Score clicker}} \right) \times 100$$

La valeur supposée étant celle affichée par le REAtouch Lite ® et la valeur réelle étant celle comptabilisée par l'examineur.

Pour évaluer la concordance entre les tests standards et leurs versions virtuelles, les coefficients de corrélation intraclasse (ICC) ont été utilisés. Dans cette étude, l'ICC permet de quantifier la fiabilité des tests virtuels par rapport à leurs homologues standards. Pour interpréter les ICC, nous avons suivi les critères proposés par Shrout

et Fleiss (1979), où un ICC inférieur à 0,40 indique une concordance faible, entre 0,40 et 0,75 indique une concordance modérée à bonne, et supérieur à 0,75 indique une concordance excellente (44).

Pour approfondir l'analyse, l'utilisation d'un modèle mixte a été privilégiée afin d'évaluer les influences de l'âge et du genre sur les scores obtenus aux BBTv. Les effets fixes pris en compte dans ce modèle étaient le genre, l'âge, ainsi que leur interaction (âge x genre), permettant ainsi d'appréhender les effets combinés de ces variables sur les performances aux tests de dextérité manuelle virtuels. De plus, pour explorer plus en détail les différences entre la main dominante et la main non-dominante, un test t de Student apparié (t-test apparié) a été réalisé. Ce test a permis d'examiner de manière significative les différences entre les performances des deux mains chez les participants.

Cette approche méthodologique a offert la possibilité d'explorer de manière exhaustive les influences de l'âge, du genre et de la latéralité sur les performances aux tests de dextérité manuelle, contribuant ainsi à une compréhension plus approfondie des facteurs qui influencent ces compétences chez notre population d'intérêt.

IV. RESULTATS

4.1. Caractéristiques de l'échantillon.

Les statistiques descriptives du groupe étudié sont reprises dans le Tableau 1. En tout, il y avait 80 participants âgés de 12 à 19 ans, avec un âge moyen de 15,5 ans.

En ce qui concerne le genre, il y avait 41 (51,25 %) participantes de sexe féminin et 39 (48,75 %) de sexe masculin. Pour ce qui est de la préférence de la main, la majorité des participants étaient droitiers, comptant 75 (93,8 %), alors que seuls 5 (6,3 %) étaient gauchers.

Tableau 1. Statistiques descriptives de l'échantillon :

Âge (années, mois)	Moyenne	15,5
	Minimum-Maximum	12-19
Genre (n (%))	F	41 (51,25%)
	G	39 (49,75%)
Dominance (n (%))	Droite	75 (93,8%)
	Gauche	5 (6,3%)

F : Fille ; G : Garçon ; n : nombre

4.2. Corrélations Intra-Classes (ICC)

Les corrélations entre les différents tests ont été évaluées à l'aide des ICC. Les résultats concernant ces corrélations sont présentés dans le Tableau 2. L'interprétation des résultats obtenus suite au calcul de l'ICC repose sur un score variant de 0 à 1. Plus le score est élevé, meilleure est la corrélation.

Après examen des scores, il est notable que le BBT présente une bonne corrélation avec le BBTv ($p < 0,05$ et $ICC = 0,587$ pour la main dominante et $0,597$ pour la main non-dominante), ainsi qu'une bonne corrélation avec le BBTv-Pf ($p < 0,05$ et $ICC = 0,545$ pour la main dominante et $0,589$ pour la main non-dominante). Cependant, il n'existe pas de corrélation entre le NHPT et le BBTv-Pf, avec une p valeur $> 0,05$, donc non significatif (Tableau 2).

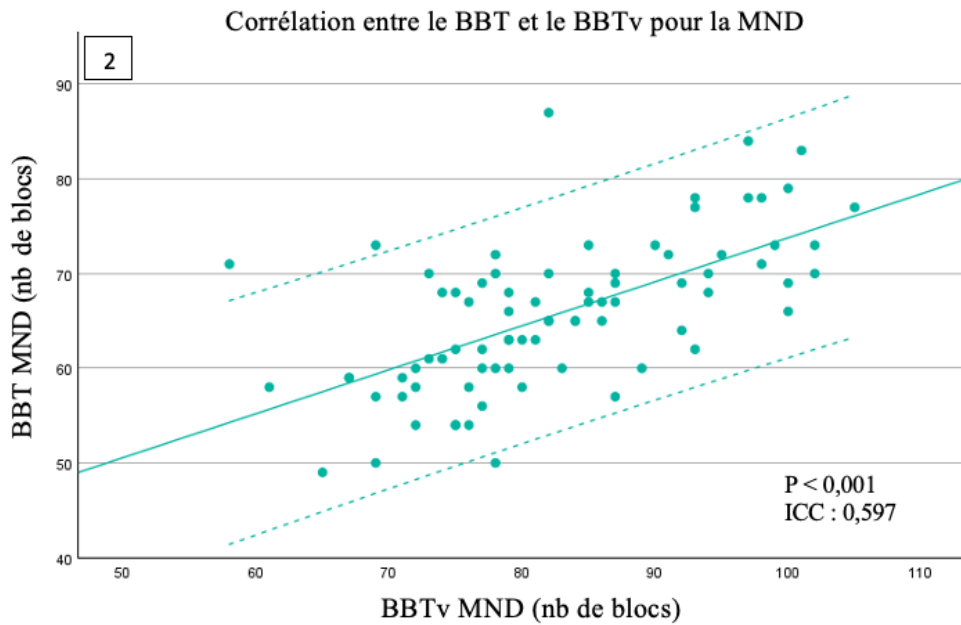
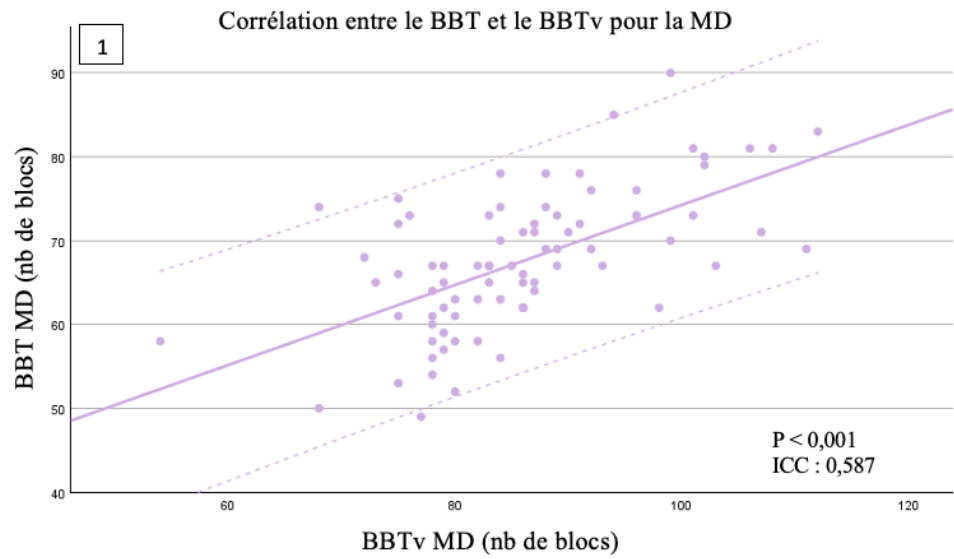
Dans la Figure 8, les corrélations entre le BBT et le BBT v pour chaque main, dominante et non-dominante, sont illustrées. La Figure 9 illustre la corrélation entre le BBT et le BBTv-Pf.

Tableau 2. Coefficient de corrélation intra-classe (ICC) :

	Corrélation intra-classe	p
BBT MD et BBTv MD	0,587	<0,001
BBT MND et BBTv MND	0,597	<0,001
BBT MD et BBTv-Pf MD	0,545	<0,001
BBT MND et BBTv-Pf MND	0,589	<0,001
NHPT MD et BBTv-Pf MD	-0,146	0,903
NHPT MND et BBTv-Pf MND	-0,202	0,965

BBT MD : Box and Block Test Main Dominante ; BBTv MD : Box and Block Test virtuel à prises grossières Main Dominante ; BBT MND : Box and Block Test Main Non Dominante ; BBTv MND : Box and Block Test virtuel à prises grossières Main Non-Dominante ; BBTv-Pf MD : Box and Block Test virtuel à prises fines Main Dominante ; BBTv-Pf MND : Box and Block Test virtuel à prises fines Main Non Dominante ; NHPT MD : Nine Hole Peg Test Main Dominante ; NHPT MND : Nine Hole Peg Test Main Non Dominante

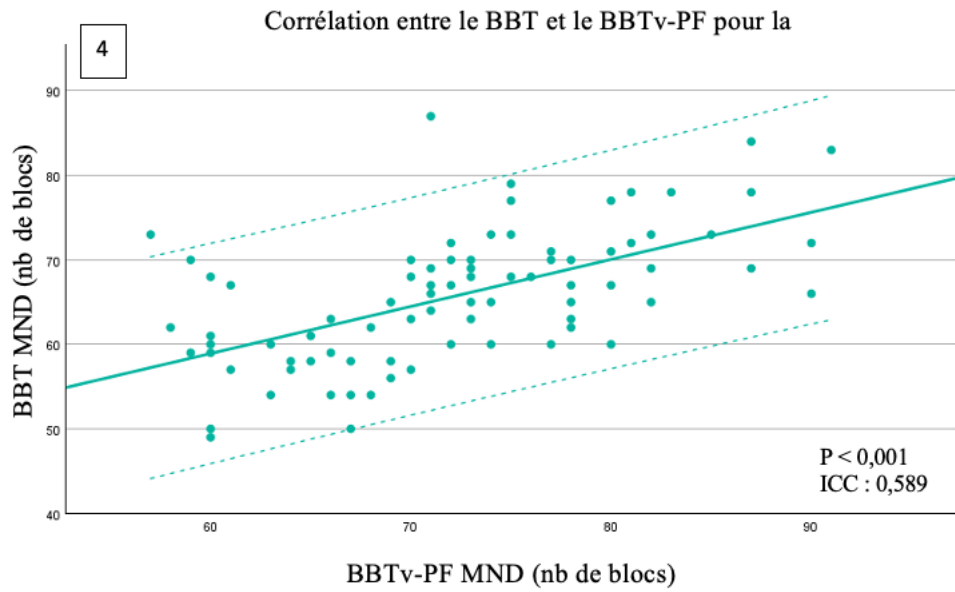
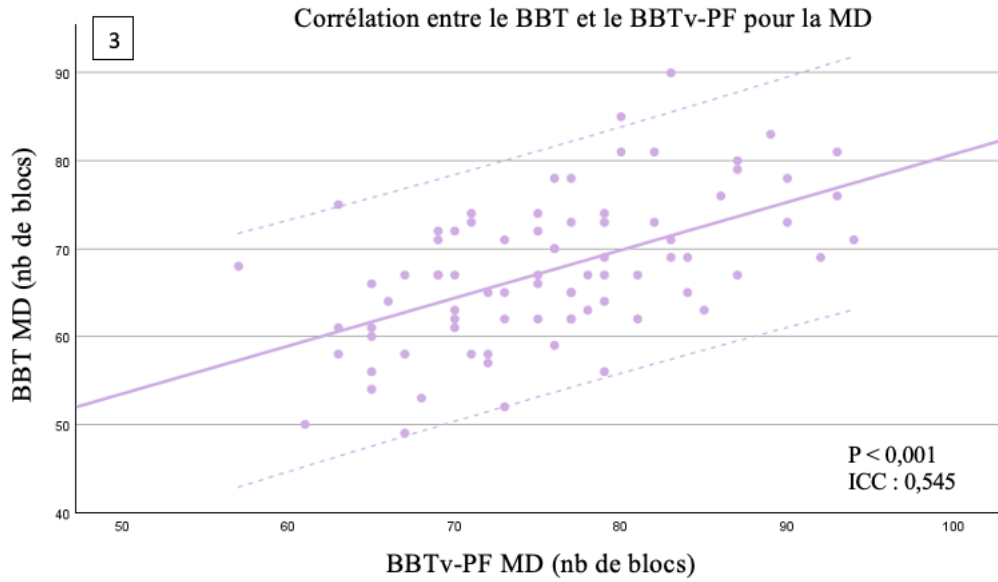
Figure 8 : Corrélation entre le BBT et le BBTv :



- 1 : BBT MD par rapport au BBTv MD ;
- 2 : BBT MND par rapport au BBTv MND ;
- : Main Dominante
- : Main Non-Dominante
- ICC : corrélation intra-classe



Figure 9 : Corrélation entre le BBT et le BBTv-Pf



- 3 : BBT MD avec BBTv-Pf MD ;
- 4 : BBT MND avec BBTv-Pf MND ;
- : Main Dominante
- : Main Non-Dominante
- ICC : corrélation intra-classe



4.3. Normes

Des analyses descriptives ont été effectuées pour chaque groupe d'âge, en utilisant les scores du test REAtouch Lite ®. Les scores obtenus vont permettre d'établir le tableau des normes pour les tests des BBT virtuels, pour les enfants et les jeunes adultes entre 12 et 19 ans.

Le Tableau 3 présente les différentes valeurs du BBTv et du BBTv-Pf pour la main dominante (MD) et la main non dominante (MND), en fonction des tranches d'âge. On y trouve la moyenne, l'écart-type, ainsi que les valeurs minimales et maximales.

Tableau 3. Nombres de blocs déplacés en 1 minute dans les BBTv à prises grossières et fines :

Âge	n	BBTv				BBTv-Pf			
		Score Main Dominante		Score Main Non -Dominante		Score Main Non -Dominante		Score Main Non -Dominante	
		\bar{x} (\pm SD)	Min Max	\bar{x} (\pm SD)	Min Max	\bar{x} (\pm SD)	Min Max	\bar{x} (\pm SD)	Min Max
12	10	79,6 (\pm 11,77)	54 93	77,8 (\pm 12,28)	58 92	72,7 (\pm 4,94)	63 77	69,5 (\pm 7,47)	58 81
13	10	84,6 (\pm 8,43)	75 106	79,6 (\pm 6,69)	69 93	75,8 (\pm 5,81)	69 84	68,7 (\pm 6,99)	60 82
14	10	81,2 (\pm 5,75)	72 90	78,6 (\pm 8,43)	71 94	70,4 (\pm 7,14)	57 79	68,1 (\pm 8,24)	59 80
15	10	84,4 (\pm 11,27)	68 108	79,3 (\pm 9,52)	65 99	73,90 (\pm 9,16)	61 93	70,8 (\pm 7,71)	60 85
16	10	85,2 (\pm 8,93)	75 107	82,4 (\pm 9,8)	69 102	78,5 (\pm 9,45)	63 94	73,1 (\pm 8,96)	57 90
17	10	89,3 (\pm 9,74)	78 102	85,3 (\pm 10,22)	72 100	77,6 (\pm 6,99)	65 87	74,1 (\pm 7,59)	63 87
18	10	90,6 (\pm 9,06)	75 103	88,5 (\pm 11,64)	67 102	76,9 (\pm 8,76)	63 87	75,1 (\pm 6,06)	66 82
19	10	92,3 (\pm 13,22)	73 112	89,6 (\pm 11,26)	73 105	80,3 (\pm 10,46)	66 93	78,2 (\pm 10,52)	59 91
Total	80	85,9 (\pm 10,44)	54 112	82,64 (\pm 10,6)	58 105	75,76 (\pm 8,27)	57 94	72,2 (\pm 8,37)	57 91

BBTv : Box and Block Test virtuel à prises grossières ; BBTv-Pf : Box and Block Test virtuel à prises fines ; n : nombre de participant ; min : minimum ; max : maximum ; \bar{x} : moyenne ; SD : écart-type

4.4. Effets de différents facteurs

4.4.1. Effet de l'âge

Pour investiguer l'effet de l'âge sur les scores obtenus, un modèle mixte a été utilisé (45). Pour le BBTv, les scores augmentent en fonction de l'âge ($p < 0,001$). Une estimation de la pente de cet effet sur le score est calculée, ce qui permet d'interpréter la variation des scores selon les tranches d'âge. Pour la MD, cette estimation est de +2,463, et pour la MND, elle est de +2,515 pour chaque année de plus, ce qui signifie que chaque année le score aura tendance à augmenter de cette estimation obtenue. Les résultats détaillés pour le BBTv sont présentés dans le Tableau 4 et les boîtes à moustache de chaque tranche d'âge sont observables à la Figure 10.

Concernant le BBTv-Pf, les scores ont également tendance à augmenter avec l'âge, mais cette augmentation est moins prononcée d'année en année. En utilisant le modèle mixte pour ce test, l'estimation de l'évolution est de +1,529 pour la MD ($p < 0,05$) et de +1,625 pour la MND ($p < 0,001$). Les résultats détaillés pour le BBTv-Pf sont disponibles dans le Tableau 5 et les boîtes à moustache de chaque tranche d'âge est observable à la Figure 11.

Tableau 4. Estimation des effets de l'âge sûr le BBTv :

	Estimation	p *
Main dominante	2,463	< 0,001
Main non-dominante	2,515	< 0,001

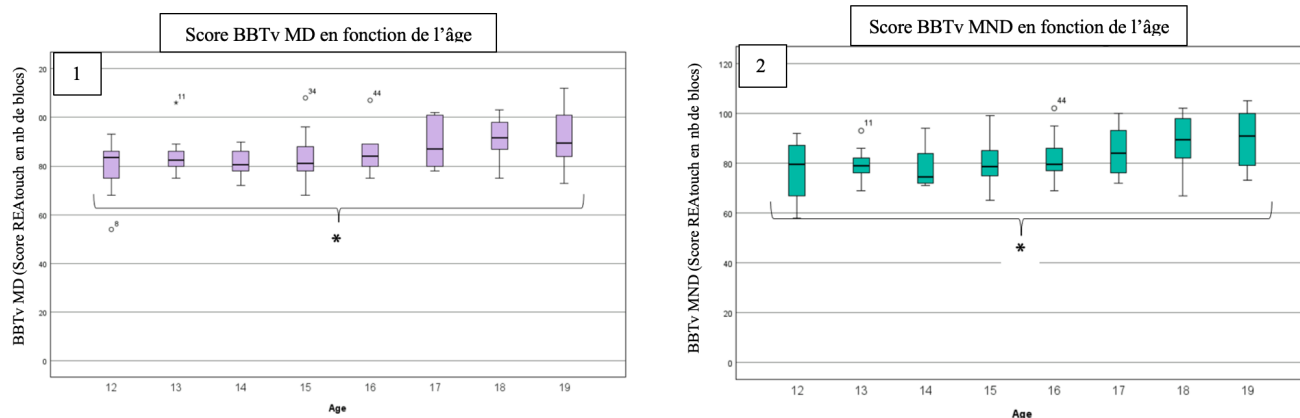
BBTv : Box and Block Test virtuel à prises grossière ; *p-value <0,05

Tableau 5. Estimation des effets de l'âge sûr le BBTv-Pf :

	Estimation	p *
Main dominante	1,529	0,009
Main non-dominante	1,625	< 0,001

BBTv-Pf : Box and Block Test virtuel à prises fines ; *p-value <0,05

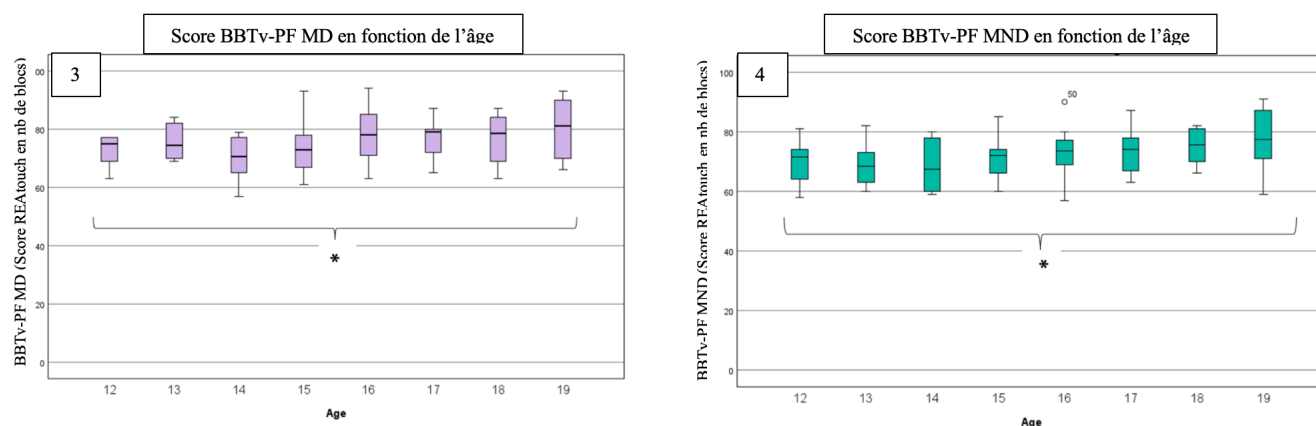
Figure 10 : Effet de l'âge sur le score du BBTv :



1 : BBTv MD ; 2 : BBTv MND ; * p-value <0,05 ; ● : Main Dominante ; ● : Main Non-Dominante

Entre 12 et 19 ans le score a tendance à évoluer positivement, en moyenne le nombre de blocs déplacés sera augmenté de 2,46 pour la MD et de 2,51 pour la MND chaque année de vie.

Figure 11 : Effet de l'âge sur le score du BBTv-Pf :



3 : BBTv-Pf MD ; 4 : BBTv-Pf MND ; * p-value <0,05 ; ● : Main Dominante ; ● : Main Non-Dominante

Entre 12 et 19 ans le score a tendance à évoluer positivement, en moyenne le nombre de blocs déplacés sera augmenté de 1,53 pour la MD et de 1,62 pour la MND chaque année de vie.

4.4.2. Effet du genre

Un modèle mixte a été employé afin d'explorer l'effet du genre sur les scores aux BBT virtuels. Les p-valeurs obtenues pour chaque main dans le BBTv ($p > 0,05$ pour la MD et la MND), ainsi que pour le BBTv-Pf ($p > 0,05$ pour la MD et la MND), ne sont pas significatives selon un seuil fixé à 0,05. Cela indique que le genre n'a pas d'impact significatif sur les scores obtenus dans ces deux tests entre 12 et 19 ans.

4.4.3. Interaction de l'âge et du genre

L'interaction entre l'âge et le genre a également été calculée, celle-ci compare les scores de chaque tranches d'âge tout en tenant compte du genre. Néanmoins aucune différence significative n'a été observée. Les p-valeurs sont supérieures à 0,05 pour le BBTv-et pour le BBTv-Pf, pour la MD et la MND.

4.4.4. Effet de la Latéralité

En utilisant des tests t de Student appariés (t-test apparié), l'effet de la latéralité sur les scores au BBTv a été évaluée. Pour les tests BBTv et BBTv-Pf, une différence significative a été observée, comme indiqué dans le Tableau 6, avec un seuil de significativité fixé à $< 0,05$.

Pour le BBTv, la p-valeur est $< 0,001$, avec une différence moyenne de 3,263 entre la main dominante et la main non-dominante.

Pour le BBTv-Pf, la p-valeur est également $< 0,001$, avec une différence moyenne de 3,563 entre chaque main et un écart-type de 4,95.

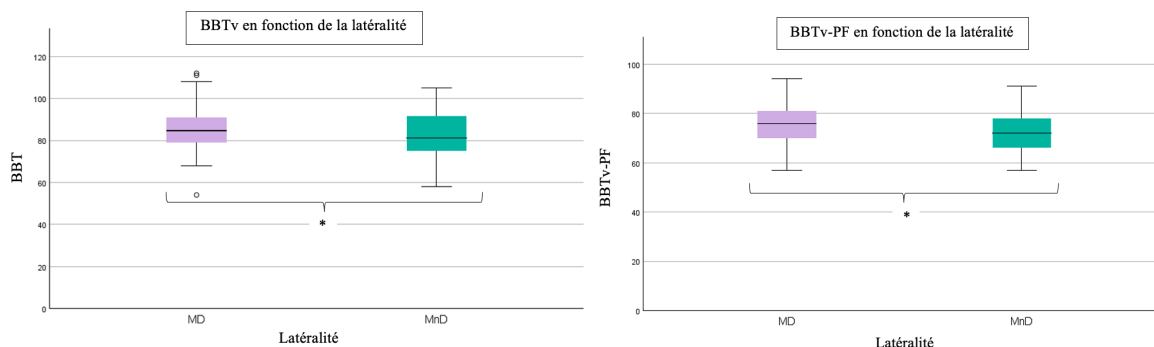
Dans les deux cas, la MD présente des scores supérieurs. La Figure 12 présente les boîtes à moustaches concernant les scores des BBT virtuels en fonction de la latéralité.

Tableau 6. Effets de la latéralité sur les scores des BBT virtuels :

	Différence Moyenne (+/- SD)	p *
BBTv: MD - MND	3,263 (+/- 5,68)	<0,001
BBTv-Pf: MD -MND	3,563 (+/- 4,95)	<0,001

BBTv : Box and Block Test virtuel ; BBTv MD : Box and Block Test virtuel à prises grossières Main Dominante ; BBTv MND : Box and Block Test virtuel à prises grossières Main Non-Dominante ; BBTv-Pf MD : Box and Block Test virtuel à prises fines Main Dominante ; BBTv-Pf MND : Box and Block Test virtuel à prises fines Main Non Dominante ; SD : écart-type ; *p-value <0,05

Figure 12 : Effet de la latéralité sur le score des BBT virtuels :



1 : BBTv ; 2 : BBTv-Pf ; * : p-value <0,05 ; ● : Main Dominante ; ● : Main Non-Dominante

Il est possible d’observer que dans les deux tests la MD est significativement meilleure que la MND. Pour le BBTv la différence moyenne est de 3,26 et pour le BBTv-PF elle est de 3,56.

4.5. Pourcentage d’erreur

Le pourcentage d'erreurs relatif aux scores du REAtouch Lite ® par rapport à ceux du clicker a été calculé en utilisant la formule suivante :

$$\text{Pourcentage d'erreurs : } \left(\frac{\text{Score REAtouch Lite} - \text{Score clicker}}{\text{Score clicker}} \right) \times 100$$

Les pourcentages d'erreurs relevés sont relativement faibles. Pour le BBTv, ils s'élèvent à 0,99% pour la MD et à 0,8% pour la MND. Quant au BBTv-Pf, le pourcentage d'erreurs est encore plus bas, avec 0,17% pour la MD et 0,41% pour la MND.

V. DISCUSSION

Le but de ce mémoire est de créer des normes concernant les BBT virtuels présents sur le dispositif REAtouch Lite ® (le BBTv et le BBTv-Pf) chez des enfants ainsi que chez les jeunes adultes ayant entre 12 et 19 ans.

Tout d'abord, les ICC entre le BBT et sa version virtuelle BBTv sur REAtouch Lite ® pour les MD et les MND sont respectivement de 0,587 et 0,597. Ces ICC indiquent une bonne concordance entre les versions du test, suggérant ainsi une bonne fiabilité du BBTv pour mesurer la dextérité manuelle unilatérale. Bien que les ICC soient élevés (0,6), ils ne sont pas considérés comme excellents mais plutôt comme satisfaisants. Ceci suggère qu'il y aurait encore des améliorations à apporter pour permettre une meilleure concordance entre le BBT et le BBTv.

Plusieurs facteurs pourraient contribuer à améliorer cette concordance vers un niveau excellent :

- **Caractéristiques de sensibilité du comptage :** Lors du calcul du nombre de blocs avec le BBT classique l'erreur de comptage est nulle étant donné que c'est l'examineur qui compte en temps réel le nombre de cubes transférés de l'autre côté. Néanmoins, pour le BBTv il arrive que de temps à autre les capteurs du REAtouch Lite ® ne détectent pas tous les déplacements. Ce qui peut amener à une différence minime, comme les résultats le démontrent. Par exemple, des différences dans la sensibilité des détecteurs de mouvement ou dans les interfaces utilisateurs peuvent causer des variations dans les résultats. Pour améliorer la concordance, nous pourrions également envisager d'améliorer le dispositif de détection pour le BBTv.
- **Réalisation du test :** Il est possible que le BBTv présente des différences subtiles dans sa réalisation par rapport au BBT, ce qui pourrait influencer les performances des participants. Par exemple, bien que les mêmes blocs soient utilisés dans les deux versions, une différence notable réside dans le processus de sélection des blocs : dans le BBT classique il faut aller piocher un bloc qui est mélangé aux autres, il faut aller fouiller pour saisir un bloc et cela peut avoir influencé la performance (46). Cette tâche semble dès lors ajouter un élément de dextérité

manuelle grossière qui n'est pas présent lors du BBTv où il faut simplement sélectionner le cube qui est positionné à un endroit sans avoir à fouiller. De plus, dans le BBT, un nouveau bloc est pris à chaque fois et transféré d'un bac à l'autre toujours dans le même sens (bac du côté de la main testée vers bac du côté de la main non-testée) (43). Tandis que dans le BBTv, les participants effectuent des allers-retours d'un côté à l'autre avec quatre blocs (41, 42). Bien que l'objectif soit similaire dans les deux versions - déplacer le plus grand nombre possible de blocs - cette différence de procédure pourrait affecter la concordance entre les deux tests.

En résumé, bien que les ICC indiquent une bonne concordance entre le BBT et le BBTv sur REAtouch Lite ®, il existe encore des possibilités d'amélioration pour atteindre un niveau de concordance excellent. Notamment en améliorant encore la détection des objets. Cela dit, cette version du BBTv reste très fiable pour mesurer la dextérité manuelle grossière unilatérale.

Ensuite, en ce qui concerne les ICC entre le NHPT et sa version virtuelle BBTv-Pf sur REAtouch Lite ® pour les MD et les MND, ils étaient non significatifs et il y a donc aucune corrélation.

Cette absence de concordance pourrait être expliquée par plusieurs éléments :

- **Matériel utilisé** : Lors de la réalisation des tests, les prises ne sont pas tout à fait identiques. En effet, celles-ci dépendent des caractéristiques intrinsèques à l'objet saisi (taille, poids, texture, forme... etc) qui impactent les forces exercées lors de la préhension et orientent vers un choix spécifique de positionnement de la main (47). Pour le NHPT, des petites chevilles d'un diamètre de 5 mm sont utilisées (39), tandis que pour le BBTv-Pf, ce sont des tiges légèrement plus larges, avec un diamètre de 1,5 cm. Si les objets sont tous cylindriques, la différence de taille entre eux entraîne probablement une préhension différente (47). De plus, les tiges utilisées ne présentent pas le même poids, ce qui pourrait également avoir eu un impact sur les résultats. Dans le NHPT, les tiges sont extrêmement légères, presque sans poids, tandis que dans le BBTv-Pf, les tiges avec les socles pèsent quelques grammes. Il est possible que la disparité de poids entre les objets ait exercé une influence sur leur préhension et sur leur vitesse de déplacement, au point de ne pas observer de concordance entre les deux tests. (48). Dans les deux tests, la prise

adoptée est effectivement de type fine. Néanmoins, diverses formes de préhension fines sont identifiées, comme exposé par Yezhou Yang et al (49). Pour le NHPT, il s'agit plutôt d'une prise « Pinch », tandis que pour le BBTv-Pf, il s'agit d'une prise de type « Tripod » comme décrites par Yezhou Yang et al (49).

- **Système de mesure du test :** Les deux tests visent à évaluer la dextérité manuelle fine, mais leurs systèmes d'évaluation diffèrent. Le NHPT vise à mesurer la rapidité avec laquelle les participants peuvent prendre, placer et remettre les chevilles à leur position initiale le plus rapidement possible (± 20 secondes) (50). En revanche, le BBTv-Pf calcule le nombre maximal de déplacements des prises fines (tiges montées sur un socle) dans un laps de temps donné (1 minute). Ainsi, les valeurs obtenues ne sont pas exprimées dans la même unité : pour le NHPT, le score est en secondes, tandis que pour le BBTv-Pf, il s'agit d'un nombre. Cette différence dans la méthode de scoring aurait pu potentiellement affecter la corrélation entre ces deux tests. Par exemple, si le scoring du NHPT avait été basé sur le rapport entre le nombre de tiges déplacées et le temps, comme décrit dans les études de Jacob-Lloyd et al. ou de Sunderland et al. (51, 52), cela aurait peut-être amélioré la corrélation entre les deux tests de dextérité fine.
- **Réalisation du test :** Le NHPT exige une plus grande précision que le BBTv-Pf. Pour le NHPT, il faut extraire une tige d'un petit récipient contenant les 8 autres tiges (soit 9 au total), ce qui nécessite déjà un haut degré de sélectivité et de précision. Ensuite, chaque tige doit être minutieusement placée dans un trou avant de passer à la suivante, et ce pour chacune des chevilles. Enfin, les tiges doivent être retirées une par une et replacées dans leur position initiale. Ainsi, la réalisation du BBTv-Pf diffère du NHPT sur plusieurs aspects (53). Tout d'abord, il s'agit simplement d'allers-retours avec les tiges de prise déjà orientées vers le haut (et plus larges), rendant la tâche plus aisée. De plus, la zone de placement des objets est plus étendue par rapport aux trous du NHPT. De même, les mouvements effectués par le membre supérieur ont une amplitude supérieure lors de la réalisation du BBTv-Pf, car il faut traverser d'un côté à l'autre, alors que dans le NHPT, ce sont des mouvements de faible amplitude qui demandent une grande précision (54).

Ces trois points mettent en évidence différents facteurs susceptibles d'expliquer la discordance entre ces deux tests. Pour améliorer leur corrélation, il pourrait être bénéfique de tendre vers une homogénéisation des caractéristiques des objets utilisés (comme leur taille et leur poids), ainsi que de la précision requise (notamment en ce qui concerne les dimensions des zones de manipulation). De plus, il pourrait être judicieux d'instaurer une tâche similaire à réaliser dans les deux tests, axée non pas sur le déplacement maximal d'objets dans un laps de temps donné, mais plutôt sur la rapidité du déplacement d'un nombre spécifique d'objets. Ce changement permettrait de se rapprocher davantage de la mesure recherchée.

Grâce à la corrélation établie entre les tests virtuels et le BBT classique, l'efficacité du BBTv et du BBTv-Pf dans la mesure de la dextérité manuelle grossière a été démontrée. Cependant, l'aptitude du BBTv-Pf à mesurer la dextérité manuelle fine n'a pas été démontrée, car sa corrélation avec le NHPT n'est pas significative.

Par ailleurs, en examinant les données présentées dans le tableau 3, il est clair que l'âge a une influence sur les performances, avec une tendance à l'amélioration des scores en fonction de l'âge pour les prises grossières (BBTv) et les prises fines (BBTv-Pf). Cette amélioration est plus prononcée pour les prises grossières que pour les prises fines. L'observation des graphiques dans les Figures 10. et 11. révèle un schéma intéressant : une légère diminution des scores vers l'âge de 14 ans, suivie d'une reprise de l'amélioration. La période de l'adolescence est une période de transition physiologique majeure, caractérisée par des changements significatifs dans le développement physique et neurologique (55-57). Les études ont montré que l'adolescence peut influencer la dextérité manuelle, comme observé ici avec une diminution des scores qui peut être attribuée à une diminution temporaire de la coordination motrice pendant le pic de croissance pubertaire (58). Ces capacités motrices se rétablissent et continuent à se développer par la suite (55, 59). Cela suggère que la légère diminution des scores observée dans notre étude à 14 ans peut être expliquée par les changements physiologiques associés à l'adolescence, tels que les fluctuations hormonales et la croissance rapide qui peuvent influencer la dextérité manuelle en impactant la coordination et le contrôle moteur (58).

De plus, lors de la fin de l'enfance ainsi que durant l'adolescence, a lieu la maturation du tractus cortico-spinal, résultant de la réorganisation de la microstructure de la substance blanche (57, 59). Cette évolution continue contribue à l'amélioration de la dextérité manuelle, offrant ainsi une période particulièrement propice pour la rééducation et le développement des compétences motrices (57, 59) . Vers la fin de l'adolescence, on observe souvent une tendance à la stabilisation de l'habileté de la dextérité manuelle, avec une convergence vers les niveaux observés chez les adultes (60). Ces constatations soulignent l'importance des processus neurologiques en jeu pendant l'adolescence dans le développement de la dextérité manuelle, bien que les mécanismes spécifiques restent encore à élucider au regard de la littérature.

En outre, tant pour le BBTv que pour le BBTv-Pf, on peut observer une différence significative dans les résultats obtenus en fonction de la latéralité. Dans les deux cas (tant gaucher que droitier), la main dominante obtient des résultats plus élevés et ce du fait que la dextérité manuelle est plus développée du côté dominant. On observe directement un meilleur contrôle du mouvement ainsi qu'une meilleure planification du mouvement (moins d'hésitation ou de reprise pour réaliser le test correctement) (61).

Enfin, l'analyse du pourcentage d'erreurs du REAtouch Lite ® par rapport au cliquer a révélé une précision élevée de cet outil interactif. Dans l'ensemble, la fiabilité du REAtouch Lite ® a démontré une capacité satisfaisante à enregistrer avec précision les déplacements des blocs ainsi que les prises fines effectuées par les participants. Néanmoins, quelques sources d'erreurs ont été identifiées lors de son utilisation. Les principales anomalies observées étaient liées à la vitesse excessive des mouvements des participants ou à une mauvaise manipulation des blocs sur l'écran tactile. De plus, il a été observé que le port de bracelets trop longs ou de manches pendantes pouvait perturber les capteurs de l'écran interactif, entraînant ainsi des résultats incohérents. Ces observations soulignent l'importance d'une utilisation correcte de l'outil et de conditions environnementales appropriées afin de minimiser les erreurs lors de l'utilisation du REAtouch Lite ®.

En conclusion, malgré ces limitations, cet outil demeure une option prometteuse pour l'évaluation des performances motrices à domicile. Grâce à une méthodologie rigoureuse et une validation approfondie, cette étude a mis en évidence

la nécessité d'assurer la précision et la reproductibilité des mesures de la dextérité manuelle. En établissant des normes claires et validées, les professionnels de la santé ainsi que les chercheurs peuvent tirer profit du REAtouch Lite ® en tant qu'outil fiable pour évaluer et surveiller la dextérité manuelle, contribuant ainsi à l'avancement des soins médicaux et à la recherche en neurologie.

VI. CONCLUSION

Cette étude nous a permis d'établir des normes pour les BBT virtuels à 4 zones sur le REAtouch Lite ® concernant la dextérité manuelle, aussi bien pour les prises grossières que pour les prises fines, pour des sujets âgés de 12 à 19 ans.

Concernant les prises grossières, le BBTv avec les cubes démontre une corrélation significative avec le BBT classique, validant ainsi son utilisation comme mesure fiable de la dextérité manuelle grossière. Cette version s'avère donc valide et fiable.

Cependant, en ce qui concerne le BBTv-Pf, visant à évaluer la dextérité manuelle fine, aucune corrélation avec le NHPT n'a été observée. Pour améliorer la précision de la mesure de la dextérité manuelle fine avec le REAtouch Lite ®, des adaptations au BBTv-Pf pourraient être envisagées afin de le rendre plus conforme à un test spécifiquement orienté vers cette compétence.

Les BBT virtuels sur le REAtouch Lite ® constituent un moyen excellent d'évaluer les patients à domicile, offrant un dispositif fiable et reproductible avec un très faible pourcentage d'erreurs lors du scoring des tests. De plus, cet outil se révèle très utile dans la rééducation des patients neurologiques.

Il serait également pertinent d'établir des normes pour des sujets plus âgés afin d'avoir une représentation complète des normes pour les BBT virtuels.

VII. ANNEXES

Ordre de passation des tests :

Chaque participant a reçu un numéro d'ordre allant de 1 à 8. Ce numéro indique dans quel ordre il va réaliser les tests. Les épreuves vont se succéder dans un ordre différent et aléatoire pour chaque participant. Ce système limite le risque de tronquer les résultats initiaux recherchés en évitant qu'un test en influence un autre.

Ordre de passation des tests	
Ordre 1	BBT → BBT _v -PG → BBT _v -PF → NHPT
Ordre 2	BBT _v -PG → BBT _v -PF → NHPT → BBT
Ordre 3	BBT _v -PF → NHPT → BBT → BBT _v -PG
Ordre 4	NHPT → BBT → BBT _v -PG → BBT _v -PF
Ordre 5	NHPT → BBT _v -PF → BBT _v -PG → BBT
Ordre 6	BBT _v -PF → BBT _v -PG → BBT → NHPT
Ordre 7	BBT _v -PG → BBT → NHPT → BBT _v -PF
Ordre 8	BBT → NHPT → BBT _v -PF → BBT _v -PG

VIII. RÉFÉRENCES

1. Global, regional, and national burden of neurological disorders, 1990-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet Neurol.* 2019;18(5):459-80.
2. Klingels K, Demeyere I, Jaspers E, De Cock P, Molenaers G, Boyd R, Feys H. Upper limb impairments and their impact on activity measures in children with unilateral cerebral palsy. *Eur J Paediatr Neurol.* 2012;16(5):475-84.
3. Novak I, Morgan C, Adde L, Blackman J, Boyd RN, Brunstrom-Hernandez J, et al. Early, Accurate Diagnosis and Early Intervention in Cerebral Palsy: Advances in Diagnosis and Treatment. *JAMA Pediatr.* 2017;171(9):897-907.
4. Cans C. Épidémiologie de la paralysie cérébrale (« cerebral palsy » ou cp). *Motricité Cérébrale : Réadaptation, Neurologie du Développement.* 2005;26(2):51-8.
5. Oskoui M, Coutinho F, Dykeman J, Jetté N, Pringsheim T. An update on the prevalence of cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis. *Dev Med Child Neurol.* 2013;55(6):509-19.
6. Béjot Y, Bailly H, Durier J, Giroud M. Epidemiology of stroke in Europe and trends for the 21st century. *Presse Med.* 2016;45(12 Pt 2):e391-e8.
7. Pablo A, Paulina O, Esteban P, Francisco S, Enrique G, Britam G. After Stroke Movement Impairments: A Review of Current Technologies for Rehabilitation. In: Uner T, editor. *Physical Disabilities.* Rijeka: IntechOpen; 2017. p. Ch. 7.
8. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet Neurol.* 2021;20(10):795-820.
9. Sadowska M, Sarecka-Hujar B, Kopyta I. Cerebral Palsy: Current Opinions on Definition, Epidemiology, Risk Factors, Classification and Treatment Options. *Neuropsychiatr Dis Treat.* 2020;16:1505-18.
10. Novak I, Hines M, Goldsmith S, Barclay R. Clinical prognostic messages from a systematic review on cerebral palsy. *Pediatrics.* 2012;130(5):e1285-312.
11. Parkes J, McCullough N, Madden A. To what extent do children with cerebral palsy participate in everyday life situations? *Health Soc Care Community.* 2010;18(3):304-15.
12. Koman LA, Smith BP, Shilt JS. Cerebral palsy. *Lancet.* 2004;363(9421):1619-31.
13. Lim M, Wong CP. Impact of cerebral palsy on the quality of life in patients and their families. *Neurology Asia.* 2009;14:27-33.
14. Murphy SJ, Werring DJ. Stroke: causes and clinical features. *Medicine (Abingdon).* 2020;48(9):561-6.
15. Warlow CP. Epidemiology of stroke. *Lancet.* 1998;352 Suppl 3:Siii1-4.
16. Hatem SM, Saussez G, Della Faille M, Prist V, Zhang X, Dispa D, Bleyenheuft Y. Rehabilitation of Motor Function after Stroke: A Multiple Systematic Review Focused on Techniques to Stimulate Upper Extremity Recovery. *Front Hum Neurosci.* 2016;10:442.

17. Preston E, Ada L, Dean CM, Stanton R, Waddington G. What is the probability of patients who are nonambulatory after stroke regaining independent walking? A systematic review. *Int J Stroke*. 2011;6(6):531-40.
18. Lundström EA, Rencken RK, van Wyk JH, Coetzee LJ, Bahlmann JC, Reif S, et al. Triptorelin 6-month formulation in the management of patients with locally advanced and metastatic prostate cancer: an open-label, non-comparative, multicentre, phase III study. *Clin Drug Investig*. 2009;29(12):757-65.
19. Hunter SM, Crome P. Hand function and stroke. *Reviews in Clinical Gerontology*. 2002;12(1):68-81.
20. Ringman JM, Saver JL, Woolson RF, Clarke WR, Adams HP. Frequency, risk factors, anatomy, and course of unilateral neglect in an acute stroke cohort. *Neurology*. 2004;63(3):468-74.
21. Welmer AK, Widén Holmqvist L, Sommerfeld DK. Location and severity of spasticity in the first 1-2 weeks and at 3 and 18 months after stroke. *Eur J Neurol*. 2010;17(5):720-5.
22. Kim HJ, Lee JH, Kang N, Cauraugh JH. Visual feedback improves bimanual force control performances at planning and execution levels. *Sci Rep*. 2021;11(1):21149.
23. Winstein CJ, Stein J, Arena R, Bates B, Cherney LR, Cramer SC, et al. Guidelines for Adult Stroke Rehabilitation and Recovery: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. 2016;47(6):e98-e169.
24. Makofske B. Manual Dexterity. In: Kreutzer JS, DeLuca J, Caplan B, editors. *Encyclopedia of Clinical Neuropsychology*. New York, NY: Springer New York; 2011. p. 1522-3.
25. Sunderland A, Bowers MP, Sluman SM, Wilcock DJ, Ardron ME. Impaired dexterity of the ipsilateral hand after stroke and the relationship to cognitive deficit. *Stroke*. 1999;30(5):949-55.
26. Térémetz M, Hamdoun S, Colle F, Gerardin E, Desvilles C, Carment L, et al. Efficacy of interactive manual dexterity training after stroke: a pilot single-blinded randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil*. 2023;20(1):93.
27. Arnould C, Bleyenheuft Y, Thonnard JL. Hand functioning in children with cerebral palsy. *Front Neurol*. 2014;5:48.
28. Arner M, Eliasson AC, Nicklasson S, Sommerstein K, Hägglund G. Hand Function in Cerebral Palsy. Report of 367 Children in a Population-Based Longitudinal Health Care Program. *The Journal of Hand Surgery*. 2008;33(8):1337-47.
29. Pollock A, Farmer SE, Brady MC, Langhorne P, Mead GE, Mehrholz J, van Wijck F. Interventions for improving upper limb function after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*. 2014;2014(11):Cd010820.
30. Bingol H, Kerem Gunel M, Alkan H. The Efficacy of Two Models of Intensive Upper Limb Training on Health-Related Quality of Life in Children with Hemiplegic Cerebral Palsy Mainstreamed in Regular Schools: A Double-Blinded, Randomized Controlled Trial. *Physiother Theory Pract*. 2023;39(1):10-25.
31. Reiss AP, Wolf SL, Hammel EA, McLeod EL, Williams EA. Constraint-Induced Movement Therapy (CIMT): Current Perspectives and Future Directions. *Stroke Res Treat*. 2012;2012:159391.

32. Charles J, Gordon AM. Development of hand-arm bimanual intensive training (HABIT) for improving bimanual coordination in children with hemiplegic cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2006;48(11):931-6.
33. JULIE PARADIS DE-K, RODRIGO ARANEDA, GEOFFROY SAUSSEZ, YANNICK BLEYENHEUFT. Hand-Arm Bimanual Intensive Therapy Including Lower Extremities (HABIT-ILE), cadre de pratique et effets de la thérapie : une revue de la portée. 2022.
34. Bleyenheuft Y, Gordon AM. Hand-arm bimanual intensive therapy including lower extremities (HABIT-ILE) for children with cerebral palsy. *Phys Occup Ther Pediatr.* 2014;34(4):390-403.
35. Saussez G, Bailly R, Araneda R, Paradis J, Ebner-Karestinos D, Klöcker A, et al. Efficacy of integrating a semi-immersive virtual device in the HABIT-ILE intervention for children with unilateral cerebral palsy: a non-inferiority randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil.* 2023;20(1):98.
36. Golubović Š, Slavković S. Manual ability and manual dexterity in children with cerebral palsy. *Hippokratia.* 2014;18(4):310-4.
37. Figueiredo S. Box and Block Test (BBT) INFO AVC: Lisa Zeltzer, MSc OT ; Nicol Korner-Bitensky, PhD OT ; Elissa Sitcoff, BA BSc; 2011 [
38. Poole JL, Burtner PA, Torres TA, McMullen CK, Markham A, Marcum ML, et al. Measuring dexterity in children using the Nine-hole Peg Test. *J Hand Ther.* 2005;18(3):348-51.
39. Mathiowetz V, Weber K, Kashman N, Volland G. Adult Norms for the Nine Hole Peg Test of Finger Dexterity. *Occupational Therapy Journal of Research.* 1985;5:24-38.
40. Compagnone E, Maniglio J, Camposeo S, Vespino T, Losito L, De Rinaldis M, et al. Functional classifications for cerebral palsy: correlations between the gross motor function classification system (GMFCS), the manual ability classification system (MACS) and the communication function classification system (CFCS). *Res Dev Disabil.* 2014;35(11):2651-7.
41. Dée J. Comparaison du Box and Block test avec ou sans utilisation d'une interface virtuelle REAtouch® chez des sujets sains adultes [Master [60] en kinésithérapie et réadaptation]: Université catholique de Louvain (UCL); 2022.
42. Doumate C, Ngueye Sipeuwou CH. Développement et validation d'une version du Box and Block Test en réalité virtuelle non-immersive chez des adultes sains [Master [60] en kinésithérapie et réadaptation]: Université catholique de Louvain (UCL); 2023.
43. Mathiowetz V, Volland G, Kashman N, Weber K. Adult norms for the Box and Block Test of manual dexterity. *Am J Occup Ther.* 1985;39(6):386-91.
44. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med.* 2016;15(2):155-63.
45. Rouanet A, Helmer C, Dartigues JF, Jacqmin-Gadda H. Interpretation of mixed models and marginal models with cohort attrition due to death and drop-out. *Stat Methods Med Res.* 2019;28(2):343-56.
46. Taitano RI, Yough MG, Hanna K, Korol AS, Gritsenko V. Setup for the Quantitative Assessment of Motion and Muscle Activity During a Virtual Modified Box and Block Test. *J Vis Exp.* 2024(203).

47. Jones LA, Lederman SJ. 100Prehension. 2006 [cited 5/15/2024]. In: Human Hand Function [Internet]. Oxford University Press, [cited 5/15/2024]; [0]. Available from: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195173154.003.0006>.
48. Feingold-Polak R, Yelkin A, Edelman S, Shapiro A, Levy-Tzedek S. The effects of an object's height and weight on force calibration and kinematics when post-stroke and healthy individuals reach and grasp. *Sci Rep.* 2021;11(1):20559.
49. Yang Y, Fermüller C, Li Y, Aloimonos Y. Grasp Type Revisited: A Modern Perspective on A Classical Feature for Vision 2015.
50. Delhaye BP, Schiltz F, Barrea A, Thonnard JL, Lefèvre P. Measuring fingerpad deformation during active object manipulation. *J Neurophysiol.* 2021;126(4):1455-64.
51. Jacob-Lloyd HA, Dunn OM, Brain ND, Lamb SE. Effective Measurement of the Functional Progress of Stroke Clients. *British Journal of Occupational Therapy.* 2005;68(6):253-9.
52. Sunderland A, Tinson D, Bradley L, Hewer RL. Arm function after stroke. An evaluation of grip strength as a measure of recovery and a prognostic indicator. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1989;52(11):1267-72.
53. Winges SA, Soechting JF, Flanders M. Multidigit control of contact forces during transport of handheld objects. *J Neurophysiol.* 2007;98(2):851-60.
54. Smith MA, Soechting JF. Modulation of grasping forces during object transport. *J Neurophysiol.* 2005;93(1):137-45.
55. Davies PL, Rose JD. Motor skills of typically developing adolescents: awkwardness or improvement? *Phys Occup Ther Pediatr.* 2000;20(1):19-42.
56. Brown KA, Patel DR, Darmawan D. Participation in sports in relation to adolescent growth and development. *Transl Pediatr.* 2017;6(3):150-9.
57. Dayanidhi S, Hedberg A, Valero-Cuevas FJ, Forssberg H. Developmental improvements in dynamic control of fingertip forces last throughout childhood and into adolescence. *J Neurophysiol.* 2013;110(7):1583-92.
58. Sheehan DP, Lienhard K. Gross Motor Competence and Peak Height Velocity in 10- to 14-Year-Old Canadian Youth: A Longitudinal Study. *Measurement in Physical Education and Exercise Science.* 2019;23(1):89-98.
59. Fuelscher I, Hyde C, Efron D, Silk TJ. Manual dexterity in late childhood is associated with maturation of the corticospinal tract. *NeuroImage.* 2021;226:117583.
60. Skogan AH, Oerbeck B, Christiansen C, Lande HL, Egeland J. Updated developmental norms for fine motor functions as measured by finger tapping speed and the Grooved Pegboard Test. *Developmental Neuropsychology.* 2018;43(7):551-65.
61. Mcsp ICB, Dipcot JA. A Comparison of Dominant and Non-dominant Hand Function in both Right- and Left-Handed Individuals using the Southampton Hand Assessment Procedure (SHAP). *The British Journal of Hand Therapy.* 2003;8(1):4-10.

