



Disponible en ligne sur www.sciencedirect.com

ScienceDirect

et également disponible sur www.em-consulte.com



Éducation thérapeutique

Musculation à haute intensité et paralysie cérébrale : utopie ou révolution ?

High-intensity resistance training in cerebral palsy: Utopia or revolution?

D. Guedin ^{a,*}, J. Gaveau ^c

^a Dispositif sensoriel et moteur des pupilles de l'enseignement public centre Bourgogne Franche-Comté, 9, rue du Fort-de-la-Motte-Giron, 21000 Dijon, France

^b Institut motricité cérébrale, 217, rue Saint-Charles, 75015 Paris, France

^c Inserm U1093-CAPS, UFR des sciences du sport, université Bourgogne Franche-Comté, 21000 Dijon, France



INFO ARTICLE

Historique de l'article :
Disponible sur Internet le 30 avril 2019

Mots clés :
Paralysie cérébrale
Musculation à haute intensité
Exercices de rééducation
Qualité de vie

Keywords:
Cerebral palsy
High intensity strength training
Rehabilitation exercises
Quality of life

R É S U M É

Objectif. – Le but de notre intervention est de tester si des protocoles de musculation à haute intensité (protocoles courts et intenses : 20 minutes, deux fois par semaine ; sans machine de musculation) améliorent l'indépendance fonctionnelle et la qualité de vie des personnes atteintes de paralysie cérébrale.

Méthode. – Dix-huit enfants (11 garçons, sept filles, âgés de huit à 20 ans) atteints de paralysie cérébrale poursuivent leurs séances de kinésithérapie. Le groupe expérimental bénéficie de 20 minutes de musculation à haute intensité pendant la rééducation et cela deux fois par semaine pendant trois mois. Le groupe témoin poursuit sa prise en charge classique. Avant et après le protocole deux séances de tests ont visé à mesurer : la force et l'endurance musculaire (maximum de répétitions en 30 s pour quatre mouvements ; maximum de temps maintenus pour quatre positions), la vitesse de marche (test des six minutes marche), la motricité fonctionnelle globale (échelle EMFG item D et E) et la qualité de vie (échelle Kidscreen 27).

Résultats. – Après trois mois d'entraînement, le groupe musculation a significativement augmenté ses performances (force, endurance, fonction) par rapport au groupe témoin et une tendance similaire a été observée sur la qualité de vie.

Conclusion. – Cette étude sur des sujets atteints de paralysie cérébrale montre l'efficacité de courts protocoles de musculation à haute intensité. Vingt minutes de renforcement musculaire à haute intensité, deux fois par semaine, sans contrainte de dispositif, semblent être une stratégie efficace et réaliste pour améliorer la force, l'endurance, la fonction motrice, et la qualité de vie.

© 2019 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

* Auteur correspondant.

Adresses e-mail : david.guedin@gmail.com (D. Guedin), jeremie.gaveau@u-bourgogne.fr (J. Gaveau).

A B S T R A C T

Aim. – Our study aimed at testing whether high intensity strength training protocols (20 minutes duration, twice a week, without exercise machine) improve functional independence and quality of life in cerebral palsy patients.

Method. – Eighteen children (eleven boys, seven girls, aged eight to twenty years old) suffering from cerebral palsy and receiving physical therapy interventions. The experimental group received 20 minutes of high intensity strength training twice a week (during the physical therapy session) for three months. The control group receives classical physical therapy intervention. Before and after the protocol, two test sessions measured: muscle force and muscle endurance (maximum number of repetitions in 30 s, four exercises; maintain isometric positions for a maximal duration, four positions), walking speed (six minutes walking test), functional motor abilities (EMFG scale item D and E) and quality of life (Kidscreen 27 scale).

Results. – The group receiving high intensity strength training significantly improved his performance (force, endurance and function) compared to the control group. A similar trend was observed for the quality of life although differences did not reach significance.

Conclusion. – This study shows that patients suffering from cerebral palsy can benefit from short high intensity strength training protocols. Twenty minutes of such an intervention, twice a week, without any exercise machine, seems to be an effective and realistic strategy to improve force, endurance, motor function and quality of life.

© 2019 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

1. Introduction

Les muscles des personnes atteintes de paralysie cérébrale (PC) sont plus faibles que ceux de sujets témoins [1–4]. Cette diminution de force maximale volontaire se traduit par une baisse de performance lors de tâches fonctionnelles quotidiennes mais aussi par la sollicitation d'un plus grand pourcentage de force maximale volontaire lors de ces mêmes activités quotidiennes [5,6]. En plus de leurs troubles moteurs et posturaux, ces personnes présentent donc une fatigue musculaire accrue diminuant leur qualité de vie [7].

De nombreuses études ont montré que la musculation permettait d'augmenter la force maximale et l'endurance de force chez ces patients [8–24]. Il a également été montré que la musculation améliore la fonction [13,16,22,24], notamment des paramètres de la marche [11,20,25]. Des effets bénéfiques sur l'estime de soi et sur la qualité de vie des enfants et des parents ont également été rapportés [9,17,26,27]. Même les résultats scolaires semblent progresser [28].

Malgré ces résultats encourageants, le manque d'études à haut niveau de preuve chez cette population ne permet pas de conclure fermement à l'efficacité de cette technique de rééducation [29–33]. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour déterminer les meilleures stratégies envisageables. Le but de notre étude est de déterminer, de façon contrôlée et réaliste, si la pratique de la musculation lors de séances de kinésithérapie permet des gains de force, de performance fonctionnelle et d'estime de soi chez des personnes atteintes de paralysie cérébrale.

En France, la loi du 11 février 2005 dite de « l'égalité des chances » favorise l'inclusion des élèves en situation de handicap [34]. Des modifications d'accompagnement sont

alors nécessaires pour s'adapter à ces nouvelles conditions de rééducation sur les lieux de vie. Deux principales conséquences pour les professionnels de santé découlent de ce changement de paradigme :

- les professionnels sont amenés à se déplacer presque continuellement ; les prises en charge sont plus courtes ; souvent, une partie du temps de transport compte dans la durée d'accompagnement ; le temps dédié à l'enfant est passé d'une heure à 45 minutes, voire 30 minutes ;
- les lieux pour effectuer la prise en charge sont rarement adaptés ; le plus souvent ce sont des salles de classes, l'infirmerie ou bien un bureau.

En réalité, le praticien kinésithérapeute est fortement contraint sur le temps, l'espace et le matériel disponible.

Pour s'adapter à cette nouvelle situation, nous avons opté pour des protocoles de musculation à haute intensité et en *interval training* (*High Intensity Interval Training* [HIIT]). En général, les auteurs conseillent trois séances de musculation par semaine, souvent avec des machines de musculation [23]. Ces préconisations sont difficilement compatibles avec le contexte actuel de rééducation des enfants en situation de handicap scolarisés en classes ordinaires en France. Des séances courtes et sans machines de musculation sont plus réalistes. D'autres modalités de résistance peuvent être exploitées comme le poids de corps, des élastiques, des sangles de suspension ou bien des vestes lestées. Que l'on ait à disposition une machine de musculation ou pas, l'important est que les exercices de musculation soient choisis correctement pour que le gain de force puisse se transférer à la fonction : c'est le même principe que chez les sportifs [35].

Le HIIT est en forte expansion car il est adapté aux situations présentant de fortes contraintes de temps et parce qu'il est associé à des résultats positifs chez des patients souffrant d'affections diverses : diabète [36], maladies cardiovasculaires [37–40], maladies pulmonaires [41], en situation d'obésité [42,43]. Cet entraînement accroît l'endurance [44,45] et la puissance musculaire chez les sédentaires [46]. Il serait même mieux toléré psychologiquement à l'entraînement en endurance [47]. L'originalité de notre étude est de mettre en place des protocoles de musculation à haute intensité, court et ne nécessitant quasiment aucun matériel, pour des personnes atteintes de paralysie cérébrale.

2. Méthode

Dix-huit sujets volontaires atteints de paralysie cérébrale ont participé à cette étude : 11 garçons et sept filles dont l'âge s'étend de huit à 20 ans avec une moyenne de 14,2 ans. Ils ont été recrutés sur la base du volontariat, dans deux Services d'éducation spéciale et de soins à domicile (SESSAD) en Côte d'Or et en Saône et Loire. Les participants étaient cotés à I, II ou III d'après le système de classification de la fonction motrice globale (GMFCS) [48].

Les critères d'inclusion impliquaient que les sujets comprennent les instructions, qu'ils soient capables de réaliser les tests et de suivre le protocole de musculation. Les critères d'exclusion comprenaient une injection de toxine botulinique de moins de trois mois ou prévue lors de l'entraînement, une opération chirurgicale de moins de six mois ou prévue lors de l'entraînement et des contre-indications médicales au suivi des séances de musculation.

Deux groupes de neuf sujets ont été formés. Pour des raisons pratiques, les enfants suivis par le SESSAD de Dijon ont suivi le protocole de musculation alors que les enfants du SESSAD 71 ont formé le groupe témoin. Le groupe témoin poursuivait ses séances de kinésithérapie classiques, composées d'exercices sollicitant la motricité globale et des étirements.

3. Tests

Les tests devaient être réalisables sans matériels spécifiques et sans infrastructure particulière.

Le choix s'est arrêté sur des tests fonctionnels, c'est-à-dire qui évaluent des groupes musculaires. Les sujets devaient faire le maximum de répétitions en 30 s ou bien maintenir une position statique le plus longtemps possible (gainage uniquement).

3.1. Assis-debout à partir d'une chaise (A-d)

Ce test permet d'évaluer la force [49–51] et l'endurance [52] musculaire des membres inférieurs. Il est essentiel d'évaluer ces qualités musculaires dans cette population. En effet, ces performances musculaires sont nécessaires pour réaliser des transferts (exemple : passer du lit au fauteuil roulant) ou pour marcher.

3.2. Pompes (Pmp)

Cet exercice fonctionnel est idéal pour évaluer la force des triceps brachiaux et des pectoraux [52–55]. Ce mouvement de « poussée » se retrouve dans les déplacements en fauteuil roulant manuel et lors de différents transferts (exemple : passage fauteuil roulant-toilettes).

3.3. Tirages (Tir)

Cet exercice fonctionnel est idéal pour évaluer la force des fléchisseurs de bras et des grands dorsaux [56,57]. Ce mouvement est antagoniste aux pompes. Son évaluation permet d'évaluer si la « balance musculaire » est équilibrée.

3.4. Relever de sol, « burpees » (Brp)

Cet exercice a été développé par M. Burpee vers 1939 pour sa thèse en physiologie [58]. Il souhaitait un mouvement complet qui permette d'évaluer la condition physique d'une personne lambda. Depuis, cet exercice a été largement repris pour les entraînements de l'armée, puis en salles de sport. Pour notre population, il est intéressant pour deux raisons. D'une part pour apprécier la condition physique ; d'autre part pour estimer la fonction : est-ce que nos sujets sont capables de se relever aisément du sol après une chute par exemple ?

3.5. Gainage

Comme décrit précédemment, la paralysie cérébrale est associée à un trouble de la posture et du mouvement. Dès l'état de repos, les sujets présentent ainsi des déficits de maintien du tronc plus ou moins importants selon leur degré de handicap : tendance à l'effondrement du tronc, voire scoliose [59]. Les tests de gainage permettent d'évaluer si le sujet est capable de se redresser volontairement. Cette évaluation de la stabilité du tronc est également importante car si elle est de bonne qualité, elle profitera à la performance motrice : cela favoriserait une plus grande production de force dans les membres inférieurs et supérieurs [60,61]. Pour tous les tests de gainage suivants, les sujets devaient maintenir la position statique le plus longtemps possible. Le temps est noté en secondes :

- gainage de face (G-f) ;
- gainage en latérocubitus à droite ;
- gainage en latérocubitus à gauche (G-l-d et G-l-g) ;
- test de Sorensen (Sor) [62].

3.6. Test des 6 minutes marche (6 mm)

C'est un test simple et fiable. Ce test sous-maximal reflète les capacités fonctionnelles. Il correspond à une activité « naturelle » que l'on retrouve dans la vie de tous les jours [63–65]. Il est largement utilisé dans le domaine de la paralysie cérébrale [66–68].

3.7. Évaluation motrice fonctionnelle globale (EMFG)

Item D (station debout) et E (marche, course et saut) [69–72].

3.8. [73–77]”, 5,0,2,0,280pt,240pt,0mm,0mm>L'échelle de qualité de vie « Kidscreen 27 » [73–77]

Cette échelle a été choisie pour deux raisons :

- sa spécificité aux enfants et adolescent (8–18 ans) atteints de paralysie cérébrale ;
- son temps de passage qui est relativement court (environ 10–15 minutes) avec une fiabilité reconnue.

Cette échelle est composée de cinq items (Tableaux 1 et 2).

Le passage des tests s'est fait en deux temps dans l'ordre décrit ci-après. Première séance : Assis-debout-pompes-tirage-burpees-gainage face-gainage latérocubitus à droite-gainage latérocubitus à gauche-Sorensen. Entre chaque test, le sujet bénéficiait de deux minutes de repos. Remise du questionnaire de qualité de vie (Kidscreen 27) avec des explications ; le questionnaire devait être rendu à la séance suivante. Deuxième séance : Test des six minutes marche. EMFG item D et E. Récupération du Kidscreen 27. Les tests ont été réalisés en septembre avant le début des séances de musculation, puis de nouveau à la fin de l'étude en décembre.

4. Protocoles de musculation à haute intensité

Trois protocoles différents ont été réalisés, ceci pour deux raisons :

- cela permet une progression sur plusieurs séances ;
- le changement minimise les effets de lassitudes.

4.1. Circuit training à haute intensité en octobre

Le circuit training à haute intensité (HIIT) permet d'avoir d'excellents résultats sur la santé en peu de temps et avec peu de moyens [78]. Ce type d'entraînement améliore la force, l'endurance [78–80] et même la qualité de vie [80]. De plus, il n'occasionne pas de blessures [81–83]. Il permet également de cibler presque tous les muscles grâce aux nombreuses situations motrices proposées. Cette grande variété d'exercices évite la monotonie et rend l'entraînement plus ludique.

Il doit être simple à mettre en place avec peu de matériels à cause des conditions de travail souvent précaires pour les intervenants des SESSAD : séance dans une salle de classe, dans un salon à domicile, etc. Une chaise, deux bandes élastiques et un tapis, voire simplement le sol sont nécessaires.

Dans notre étude, neuf exercices constituaient le circuit (Fig. 1). Pendant 30 s, le sujet réalisait l'exercice demandé. Le nombre de répétitions n'était pas imposé. Le sujet devait effectuer le maximum de répétitions suivant ses capacités, puis les 30 s de repos permettaient de passer à l'exercice suivant. À la fin du premier tour, c'est-à-dire au bout de neuf minutes, le sujet bénéficiait de deux minutes de repos, puis il recommençait une deuxième fois la boucle. La durée totale était ainsi de 20 minutes.

Ce circuit training a été construit de telle sorte que le sujet changeait le moins souvent de position : assis pour les cinq premiers exercices, couché pour les derniers exercices. L'ensemble des muscles du corps est renforcé. Ce protocole alternait des exercices plutôt analytiques (exercice 2,3,5), d'autres plus globaux (1,4,6,8) et enfin des exercices de gainage (7,9).

4.2. « Every Minute On Minute » (EMOM) à haute intensité en novembre

L'entraînement en « EMOM » signifie que toutes les minutes le sujet recommence la même séquence d'exercices.

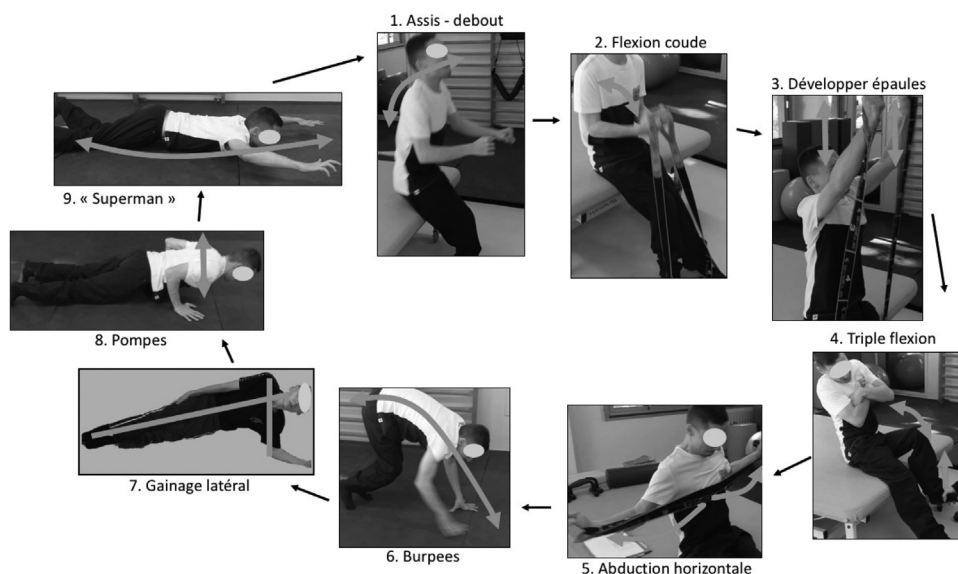


Fig. 1. Circuit training du mois d'octobre.

ces. Quand le travail demandé est terminé, le reste de la minute correspond à la phase de repos. Au fur et à mesure de l'avancée du temps, le sujet fatigue, il met donc plus de temps à réaliser la séquence d'exercices demandée et a moins de temps pour récupérer. C'est un protocole très intéressant pour le renforcement musculaire et pour l'entraînement cardiovasculaire. Beaucoup de variantes sont possibles. Pour cette étude, deux EMOM de neuf minutes sont utilisés avec une pause de deux minutes entre les deux (Fig. 2). Il est important de noter que le nombre de répétitions varie en fonction des capacités de l'enfant. Par exemple, un enfant de dix ans coté à III d'après la GMF-CS réalise huit assis-debout, quatre pompes et un seul burpee. Le nombre idéal de répétitions est trouvé par essai-erreur.

4.3. Protocole « Tabata » en décembre

Il consiste à réaliser 20 s de travail enchaîné avec dix de repos, le tout répété huit fois. La durée totale d'un « Tabata » est de quatre minutes. Pour que cette séquence soit efficace au niveau musculaire et cardio-respiratoire, l'intensité doit être élevée. Izumi Tabata explique que « si vous vous sentez bien juste après une séance, c'est que vous ne l'avez pas bien faite ! » [44]. À la base, ce protocole était utilisé pour des sports d'endurance. Depuis, la musculation inclut également ce type d'entraînement. Il est préconisé de répéter huit fois le même exercice. Dans notre étude, quatre « Tabata » étaient enchaînés avec une minute de repos après chaque (Fig. 3). Deux des quatre « Tabata » étaient détournés du protocole de base : ils étaient transformés en circuit training car plusieurs exercices composaient la séquence.

5. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel Statistica. Des tests de normalité (Shapiro-Wilcoxon) ont révélé que les distributions n'étaient pas normales. Des tests non paramétriques ont été utilisés pour comparer les tests (pré vs post) et les groupes (musculation vs témoin) : le test de Wilcoxon (test

appareillé) et le test U de Mann-Whitney (test indépendant). Le niveau de significativité était établi à $p < 0,05$.

6. Résultats

Nous avons réalisé des tests de Mann-Whitney (U) afin d'objectiver de possibles différences de niveaux initial entre les deux groupes (Tableau 1). Cette analyse révèle une différence significative sur le test de pompes ($p = 0,03$) et des différences marginalement significatives sur les tests assis-debout, gainage latéro-droit et latéro-gauche et KID27-E ($0,1 > p < 0,05$). Dans quatre cas sur cinq, la performance de départ était meilleure pour le groupe musculation que pour le groupe témoin. Si le niveau de départ peut constituer un biais expérimental dans notre étude, il est important de noter que ce biais tendra à rendre plus difficile l'observation d'un effet bénéfique de l'intervention pour le groupe musculation que pour le groupe témoin (sauf pour la KID27-E). En effet, il est classiquement admis que la progression est d'autant plus difficile que le niveau de départ est élevé : sur le plan statistique, c'est ce que l'on appelle un phénomène de régression à la moyenne [84].

Pour chaque groupe, nous avons réalisé des tests de Wilcoxon afin d'objectiver de possibles modifications de performances de force et d'endurance suite à l'intervention (musculation ou bien témoin). La Fig. 4 présente l'évolution intersessions. Cette évolution est présentée en pourcentage de niveau de départ (voir légende de cette même figure et voir Tableau 2 pour les valeurs exactes des performances et des tests statistiques). Une valeur positive signifie que la performance était meilleure postintervention que pré-intervention ; i.e. la performance a été améliorée. Une valeur négative signifie l'inverse ; i.e. la performance a été dégradée. Nos résultats révèlent une amélioration significative sur tous les tests (huit tests sur huit) pour le groupe musculation (A-d $p < 0,01$; Pmp $p < 0,01$; Tir $p < 0,01$; Brp $p < 0,01$; G-f $p < 0,02$; G-l-g $p < 0,02$; G-l-d $p < 0,01$; Sor $p < 0,01$). Pour le groupe témoin, une amélioration significative a été observée pour seulement deux tests sur huit : Assis-debout (A-d $p < 0,04$) et Tirages (Tir $p < 0,05$). Les autres tests ne révèlent pas d'effet de l'intervention chez le groupe témoin

EMOM n°1 ; durée totale 9 minutes			
	Type d'exercice	Répétitions	Durée
Assis - debout		10	1'
Pompes		5	
Burpees		2	

Fig. 2. EMOM : toutes les minutes, pendant neuf minutes, le sujet doit réaliser 10 assis-debout/5 pompes/2 burpees.

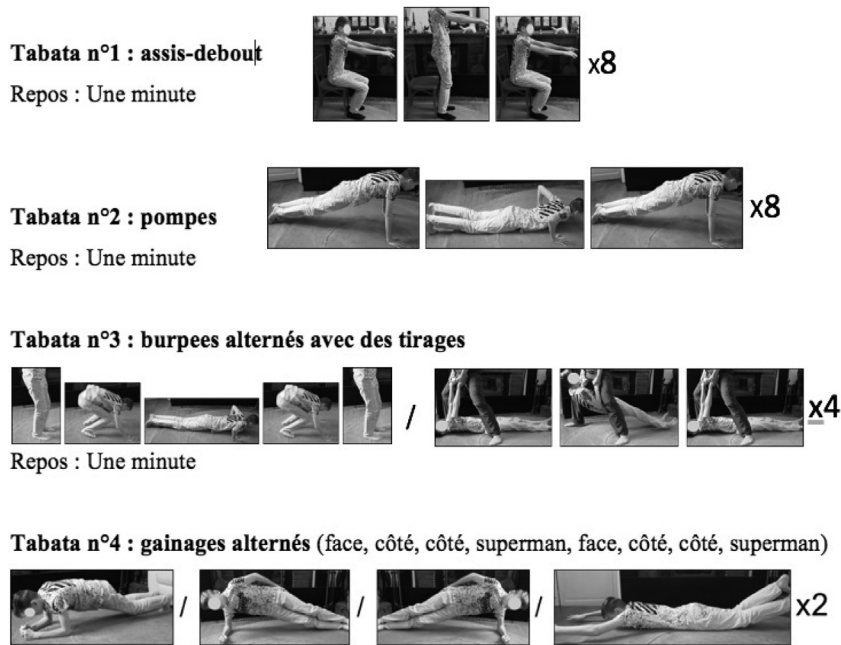


Fig. 3. Protocole « Tabata » du mois de décembre.

(Pmp $p > 0,95$; Brp $p > 0,65$; G-f $p > 0,8$; G-l-g $p > 0,25$; G-l-d $p > 0,45$; Sor $p > 0,35$). Une analyse statistique intergroupe (Mann-Whitney) révèle également une amélioration de performance de force et d'endurance plus importante dans le groupe musculation que dans le groupe témoin pour sept tests sur huit (Fig. 4, voir légende). Seul le test de Sorensen n'atteint pas la significativité bien qu'une tendance forte à la supériorité de l'intervention musculation comparée à l'intervention témoin soit observable. L'amélioration supérieure des performances de force et

d'endurance du groupe musculation est fort logique et même presque triviale puisque le groupe musculation a été spécifiquement entraîné en endurance et en force. Celle-ci démontre néanmoins l'efficacité de ce type d'intervention en musculation malgré les contraintes de temps, d'espaces et de matériels énoncées précédemment. La seconde question posée par notre étude est la suivante : ces améliorations peuvent-elles bénéficier à la vie quotidienne, i.e. peuvent-elles se transférer à la fonction et à l'estime de soi ?

Tableau 1

Comparaison des niveaux initiaux entre le groupe musculation (groupe M) et le groupe témoin (groupe C).

Épreuve	Groupe M	Groupe C	Z	p
<i>Force et endurance musculaire</i>				
Assis-debout (n)	13,7 (3,60)	10,6 (3,12)	1,81	0,07
Pompes (n)	6,4 (5,94)	1,3 (2,83)	2,26	0,03
Tirages (n)	5 (5,15)	3 (2,83)	0,54	0,6
Burpees (n)	4,6 (2)	3,4 (1,88)	1,11	0,26
Gainage face (sec)	51,2 (39,60)	24,1 (20,20)	1,41	0,16
Gainage latéro droite (sec)	39,8 (43,21)	10,3 (10,80)	1,90	0,06
Gainage latéro gauche (sec)	30,5 (36,07)	9,6 (9,57)	1,77	0,08
Sorensen (sec)	34,6 (33,67)	48,2 (48,61)	-0,48	0,62
<i>Fonction</i>				
Test 6 min marche (m)	352,4 (154,1)	359,1 (152,3)	0	1
EMFG item D (%)	78,8 (16,69)	78,6 (25,83)	-0,62	0,54
EMFG item E (%)	76,9 (22,66)	73,2 (31,77)	0,04	0,96
<i>Qualité de vie (score de Kidscreen 27)</i>				
Activités physiques et santé (A-p-s)	13,75 (5,09)	14,75 (4,03)	-0,14	0,89
Humeur (H)	28,12 (5,33)	28,62 (5,86)	-0,38	0,7
Vie de famille (V-f)	22,75 (6,7)	24,25 (4,99)	-0,91	0,36
Amis (A)	14,25 (4,56)	15 (5,5)	-0,48	0,63
École (E)	12,75 (3,28)	15,62 (2,96)	-1,68	0,09

Mesures en nombre de répétition (n), en temps (s), en mètres (m), en pourcentages de fonction (%), ou en score. Ce tableau présente les moyennes (et écart-types) ainsi que les résultats au test statistique de Mann-Whitney (Z, résultat du test ; p, probabilité critique).

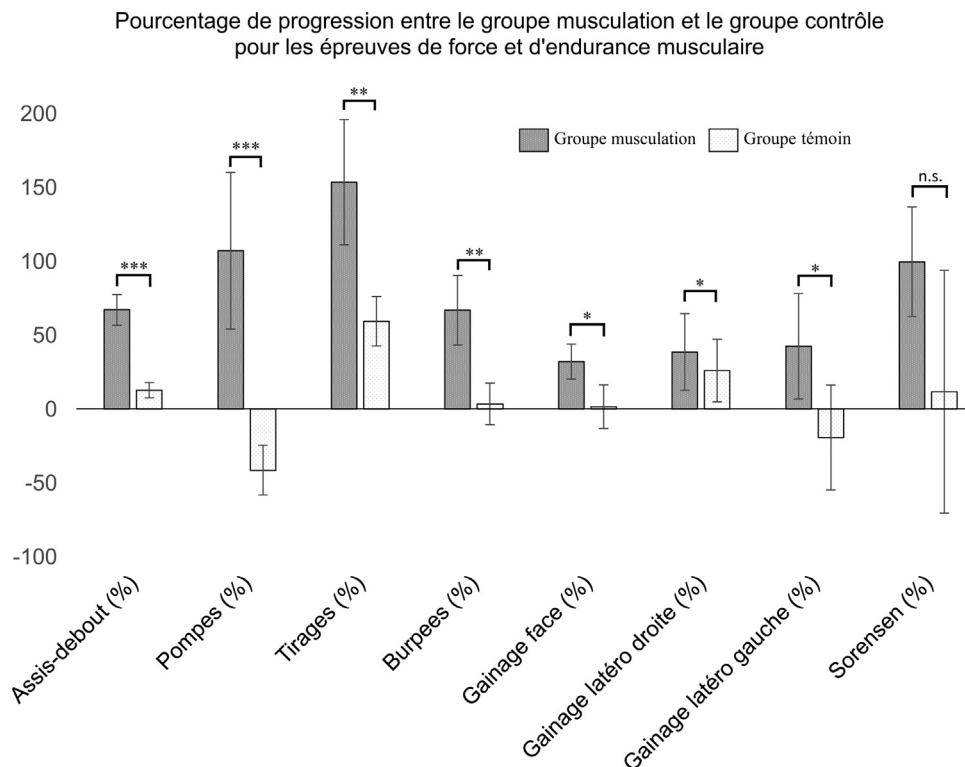


Fig. 4. Comparaison entre les progressions moyennes (et erreurs standards) des groupes musculation et groupe témoin aux différents tests et résultats statistiques intergroupes (Mann-Whitney). La progression est exprimée en pourcentage et son calcul est identique pour tous les tests : $[(\text{post-test} - \text{pré-test}) \times 100] / \text{pré-test}$. Significativité : * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Pour chaque groupe, nous avons réalisé des tests de Wilcoxon afin d'objectiver de possibles modifications de performances fonctionnelles et de qualité de vie suite à l'intervention (musculation ou bien témoin). La Fig. 5 présente l'évolution inter-sessions. Cette évolution est présentée en pourcentage de niveau de départ (voir légende de cette même figure et voir Tableau 2 pour les valeurs exactes des performances et des tests statistiques). Nos résultats révèlent une amélioration significative de cinq tests sur huit pour le groupe musculation (6 mm $p < 0,01$; EMFGD $p < 0,02$; EMFGE $p < 0,02$; KID27-A-p-s $p < 0,02$; KID27-H $p > 0,95$; KID27-V-f $p < 0,05$; KID27-A $p > 0,15$; KID27-E $p > 0,07$). Cependant, aucune modification significative n'a été observée pour le groupe témoin (6 mm $p > 0,15$; EMFGD $p > 0,1$; EMFGE $p > 0,5$; KID27-A-p-s $p > 0,15$; KID27-H $p > 0,2$; KID27-V-f $p > 0,25$; KID27-A $p > 0,95$; KID27-E $p > 0,65$). Une analyse statistique inter-groupe (Mann-Whitney) révèle une amélioration de performance fonctionnelle significativement plus importante (Fig. 5, voir légende) dans le groupe musculation que dans le groupe témoin pour les trois tests (6 mm $p < 0,001$; EMFGD $p < 0,05$; EMFGE $p < 0,003$). Ce même test ne révèle pas de différence significative entre les deux groupes sur les tests de qualité de vie, bien qu'une tendance à la supériorité du protocole de musculation soit qualitativement observée et supportée par la mesure des tailles d'effet (KID27-A-p-s $p < 0,19$, Cohen's $d = 0,69$; KID27-H $p < 0,2$, Cohen's $d = 0,66$;

KID27-V-f $p < 0,78$, Cohen's $d = 0,14$; KID27-A $p < 0,74$, Cohen's $d = 0,16$; KID27-E $p < 0,32$, Cohen's $d = 0,51$).

7. Discussion

Les résultats de cette étude montrent que trois mois de protocole de musculation à haute intensité, pendant seulement 20 minutes, deux fois par semaine, sans machine de musculation, augmentent la force, l'endurance, la fonction et, dans une moindre mesure, la qualité de vie des sujets atteints de paralysie cérébrale de type I-II-III (cotation GMF-CS).

Par rapport à l'augmentation de force, nos résultats confirment les résultats de nombreuses études sur la musculation chez les personnes atteintes de paralysie cérébrale [8–24]. De plus, comme observé par de précédentes études [11,13,16,20,22,24,25], cette force s'est transmise en partie à la fonction : l'évaluation au test de six minutes marche et l'« Évaluation motrice fonctionnelle globale » (item D et E) ont progressé. Cela souligne l'importance des mouvements globaux utilisés pendant notre étude. En effet, seules, les études qui utilisaient des renforcements musculaires globaux comme le mouvement assis-debout [13] ont montré ce transfert de force à la fonction. Les études qui proposaient un mouvement analytique comme le « leg extension » [85], montraient une augmentation de la force non significative et sans amélioration de la fonction. Pour rappel, la

Tableau 2

Comparaison des progressions moyennes (et erreurs standards) des groupes musculation et groupe témoin aux différents tests et résultats statistiques (Mann-Whitney).

Épreuves	Groupe M	Groupe C	Z	p
<i>Force et endurance musculaire</i>				
Assis-debout (%)	66,9 (10,4)	12,5 (5,2)	3,36	< 0,001
Pompes (%)	106,9 (53)	-41,6 (16,8)	3,28	0,001
Tirages (%)	153,3 (42,4)	59,2 (16,7)	2,84	0,005
Burpees (%)	66,6 (23,5)	3,22 (14)	3,11	0,002
Gainage face (%)	31,9 (11,8)	1,38 (14,7)	2,12	0,03
Gainage latéro droite (%)	38,4 (25,9)	25,8 (21,1)	2,08	0,04
Gainage latéro gauche (%)	42,2 (35,7)	-19,5 (35,5)	2,38	0,02
Sorensen (%)	99,4 (37,1)	11,5 (82,2)	1,23	0,2
<i>Fonction</i>				
Test 6 min (%)	54,5 (16,1)	- 8,1 (4)	3,44	< 0,001
EMFG D (%)	5,4 (2,3)	1,1 (0,6)	1,99	0,05
EMFG E (%)	8,8 (4,5)	0,2 (0,2)	2,91	0,003
<i>Qualité de vie (Kidscreen)</i>				
Activité physique et santé (%)	47,7 (25,8)	17,01 (13,4)	1,35	0,69
Humeur (%)	- 0,12 (1,9)	- 2,8 (12,9)	1,3	0,65
Vie de famille (%)	19,35 (13,5)	19,44 (16,6)	0,28	0,77
Amis (%)	3,92 (3,2)	- 0,34 (12,3)	0,33	0,73
École (%)	19,44 (10)	4,67 (9,3)	1,01	0,31

La progression est exprimée en pourcentage et son calcul est identique pour tous les tests : $[(\text{post-test} - \text{pré-test}) \times 100] / \text{pré-test}$.

paralysie cérébrale est associée à un manque de sélectivité motrice. Il est conseillé de renforcer les muscles dans leur schéma moteur pour potentialiser les effets bénéfiques, d'où l'importance d'une musculation à l'aide de mouvements globaux.

Les recommandations actuelles pour le renforcement musculaire des sujets atteints de paralysie cérébrale sont

de trois séances par semaine pendant 8–16 semaines en moyenne [23]. Ces recommandations sont difficilement applicables dans le contexte d'accompagnement en France. Les protocoles courts et intensifs semblent être une bonne alternative pour s'adapter à la réalité du terrain. Pour la première fois, notre étude s'intéresse à la musculation à haute intensité dans la paralysie cérébrale. Ce critère de

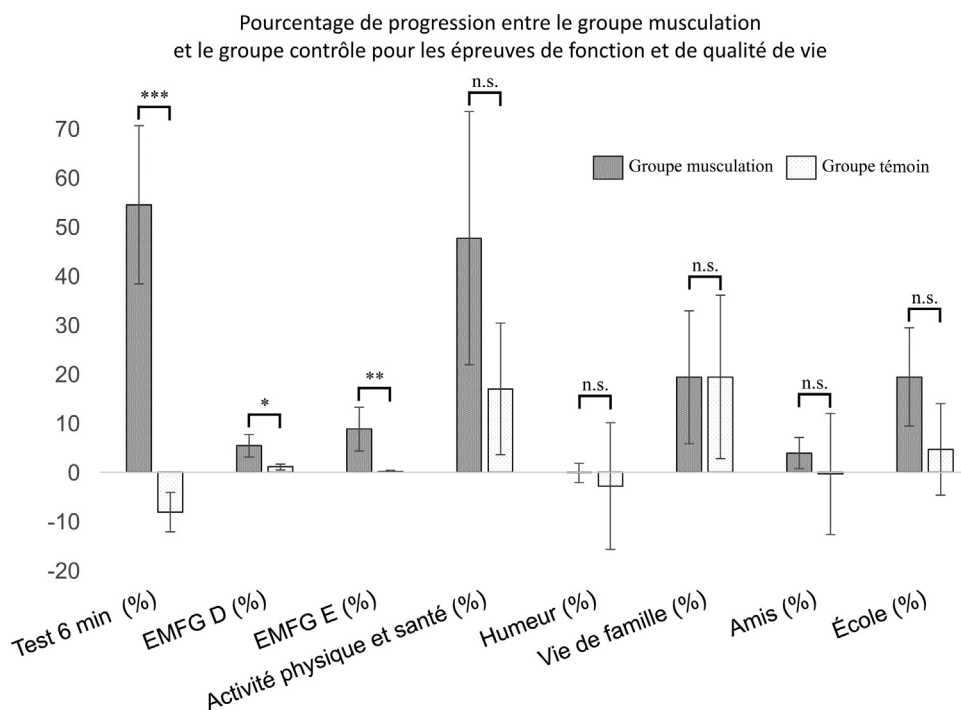


Fig. 5. Comparaison des progressions moyennes (et erreurs standards) des groupes musculation et groupe témoin aux tests de fonction et de qualité de vie (Mann-Whitney). La progression est exprimée en pourcentage et son calcul est identique pour tous les tests : $[(\text{post-test} - \text{pré-test}) \times 100] / \text{pré-test}$. Significativité : * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

haute intensité semble être un facteur essentiel de réussite. Les effets que nous avons obtenus sont plus significatifs que certaines études qui ont suivi un protocole de renforcement musculaire sans haute intensité [86]. Outre la rentabilité de cette méthode au niveau temporel, elle est également très économique d'un point de vue de l'investissement matériel. En effet, l'investissement maximum est d'environ 40 € : cela correspond au prix de deux bandes élastiques.

Malgré les résultats positifs obtenus, cette étude présente plusieurs limites. Premièrement, le nombre de sujets est trop faible pour en tirer des conclusions à haut niveau de preuve [87]. Il serait intéressant de créer des partenariats pour augmenter le nombre de sujets dans de prochaines études. Malgré le faible nombre de participants à notre étude, les résultats montrent une grande taille d'effet, ce qui est encourageant pour la suite. Une seconde limite pourrait concerner la durée de l'étude (seulement trois mois). Verschuren (2007) [88] explique pourtant que quatre mois, voire huit mois, de musculation sont nécessaires pour obtenir des bénéfices dans le cadre d'une musculation à intensité classique. Damiano (2014) [33] explique même que les personnes atteintes de paralysie cérébrale sont des personnes encore plus sédentaires que la moyenne : elles devraient faire de la musculation à vie. Bien que la durée de notre étude soit courte, les bénéfices sont très importants. Il paraît important de tester que le fait d'augmenter la durée de prise en charge n'entache pas les bienfaits de la musculation en HIIT et que ceux-ci restent plus intéressants que ceux obtenus par une prise en charge classique.

Grâce aux différentes études sur le renforcement musculaire et la paralysie cérébrale et grâce à ce travail de recherche sur la musculation à haute intensité chez cette population, des pistes de réflexion et d'amélioration pour l'accompagnement peuvent être envisagées. Tout d'abord, il serait intéressant d'adapter la séance à chaque patient, à un moment donné. Par exemple, les deux plus jeunes sujets supportaient difficilement les 20 minutes de musculation. C'était trop long. Le temps de renforcement musculaire devrait être plus court et fractionné durant la séance de kinésithérapie. Donc, une amélioration possible serait l'adaptation de la durée de la séance de musculation en fonction du patient (âge, motivation, degré de handicap, etc.).

De plus, Verschuren et al. (2016) [23] conseillent des interventions de groupe qui permettent une motivation, une émulation positive et donc une meilleure participation. Ce type de rééducation est difficile à mettre en place dans le contexte d'accompagnement de cette population en France. Mais, dès que c'est possible, cela permettrait d'améliorer la qualité de cet accompagnement. Dans le groupe, il n'est pas forcément conseillé de mettre les sujets en concurrence. La méta-analyse de Murayama [89] explique que la concurrence n'est ni entièrement bénéfique, ni entièrement nuisible à la performance. L'étude de Peng [90] montre que la concurrence et la coopération amène au même niveau de performance. Mais la coopération bénéficie de meilleurs résultats sur la motivation. Pour avoir expérimenté ces deux modes d'intervention en groupe, je privilégie dorénavant la coopération entre sujets. Ils se soutiennent mutuellement, s'encouragent,

pallient certaines difficultés de l'autre et se rapprochent en termes d'amitié.

La variété des séances, grâce aux différents protocoles de musculation possibles, représente également un point positif pour l'accompagnement de cette population. En effet, la paralysie cérébrale est une pathologie congénitale et les enfants porteurs de ce handicap bénéficient de multiples séances de rééducation plusieurs fois par semaine depuis leur plus jeune âge. La possibilité d'intégrer des protocoles de musculation au sein des séances de kinésithérapie permet de varier les prises en charges rééducatives. Les participants à l'étude ont exprimé leur satisfaction vis-à-vis de ces changements de conduite de séance. Ils appréciaient également les changements de protocole de musculation. Nous n'avons pas trouvé d'étude qui explique quel est le meilleur moment pour changer de programme. Par tâtonnement, nous avons opté pour un changement de protocole tous les mois. Cela permet au participant de progresser par rapport à la routine demandée. À chaque séance, les résultats sont chiffrés. Ils servent de base de performance pour la séance suivante. Cela permet d'objectiver les progrès. À noter que ces chiffres sont une réelle source de motivation pour les participants. Au bout d'un mois, une lassitude semblait survenir. Il était alors temps de changer de protocole.

La musculation est bénéfique sur le plan de la santé [91–95]. Toutes les études sur le sujet s'accordent à dire qu'il n'y a pas d'effets indésirables. Damiano (2014) [32] explique « qu'il pourrait être dévastateur d'insinuer que le renforcement musculaire n'est pas utile ». Verschuren et al. (2016) [23], quant à lui, conseille de commencer la musculation avant l'âge adulte pour limiter le déclin fonctionnel. En effet, dans la paralysie cérébrale, nous remarquons un déclin très rapide des capacités fonctionnelles avec l'âge [96]. En 1995, Murphy a montré que 75 % d'adultes atteints de paralysie cérébrale ont perdu la marche à l'âge de 25 ans [97]. En 2009, Opheim évoque une détérioration de la marche de 73 % des personnes atteintes de paralysie cérébrale type diplopie spastique avant l'âge de 35 ans [98]. D'abord, cela s'expliquerait par la préférence donnée aux déplacements en fauteuil roulant à cause de la fatigue engendrée par la marche ; on peut penser que si ces personnes avaient une meilleure condition physique, ils conserveraient plus longtemps la marche. Ensuite, cette rapide dégradation fonctionnelle viendrait également d'un problème de relais de prise en charge entre l'enfant et l'adulte [99]. Le problème ne vient pas forcément de la transmission du dossier médical. Mais il vient plutôt du manque de moyens au niveau humain pour l'accompagnement de cette population à l'âge adulte. En général, les adultes n'ont presque plus de séances de kinésithérapie. L'intérêt de commencer l'éducation au renforcement musculaire dès l'adolescence ou même encore en amont, avec des protocoles courts et efficaces, permettrait de pallier en partie ce défaut de prise en charge à l'âge adulte en rendant le patient progressivement acteur de sa prise en charge. Enfin, des études ont montré que la diminution de mobilité était fortement corrélée aux maladies chroniques. Les personnes atteintes de paralysie cérébrale développent beaucoup plus de maladies chroniques (cardiopathies, accidents vasculaires cérébraux,

cancer, affections respiratoires chroniques, diabète...) et on constate un taux de décès beaucoup plus important que chez une population témoin [7,100,101]. Même si la musculation chez l'adulte pourrait ne pas engendrer de progrès notoires, cela permettrait de maintenir leur capacité fonctionnelle, de diminuer la comorbidité et la mortalité. Pour toutes ces raisons, il apparaît important d'améliorer la condition physique de cette population grâce à la musculation.

Enfin, il semblerait que l'entraînement en musculation à haute intensité permette d'améliorer la qualité de vie, notamment dans les catégories « activité physique et santé » et « vie de famille et temps libre ». Au niveau de l'estime de soi, de façon subjective, les adolescents et jeunes adultes expriment qu'ils se sentent mieux dans leur corps. Ils commencent d'ailleurs à modifier leur apparence physique. Nous avons conscience que cette amélioration de l'estime de soi est principalement qualitative. Nos résultats doivent être vus comme une motivation pour la réalisation d'études plus ambitieuses.

8. Conclusion

Bien que l'étude se déroule sur un petit nombre de sujets, les protocoles de musculation à haute intensité, de courte durée et sans infrastructures particulières semblent bénéfiques à court terme. Les perspectives d'application sont réelles et tiennent compte de la réalité de terrain. La rééducation des personnes atteintes de paralysie cérébrale par musculation à haute intensité n'est pas une utopie. Nous proposons que ces pratiques de rééducation physique ont le potentiel de révolutionner l'accompagnement des personnes atteintes de paralysie cérébrale.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier tous les participants à cette étude :

- Christos Paizis pour la réflexion sur le choix des tests physiques ;
- David Cerqueira et Maxime Boront pour des idées de protocoles de musculation à haute intensité ;
- les kinésithérapeutes qui nous ont épaulés pour cette étude : Béatrice Burtin, Julie Dely, Marie-Christine Dodin-Vernizeau, Mar Gonzalvo, Marie-Anne Linard, Nuria Maspoch, Marie Matrat et Amélie Terret ;
- les participants du groupe témoin ;
- les participants du groupe musculation à haute intensité qui ont versé des litres de sueur. Et ce n'est pas près de finir... vu les résultats encourageants !

Références

- [1] Damiano DL, Vaughan CL, Abel MF. Muscle response to heavy resistance exercise in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 1995;37(8):731–9.
- [2] Lieber RL, Steiman S, Barash IA, Chambers H. Structural and functional changes in spastic skeletal muscle. *Muscle Nerve* 2004;29(5):615–27.
- [3] Stackhouse SK, Binder-Macleod SA, Lee SC. Voluntary muscle activation, contractile properties, and fatigability in children with and without cerebral palsy. *Muscle Nerve* 2005;31(5):594–601.
- [4] Barret R, Lichtwark G. Gross muscle morphology and structure in spastic cerebral palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neurol* 2010;52(9):794–804.
- [5] Abd-Elfattah H, Abdelazeim F, Elshennawy S. Physical and cognitive consequences of fatigue: a review. *J Adv Res* 2015;6(3):351–8.
- [6] Enoka R, Duchateau J. Translating fatigue to human performance. *Med Sc Sports Exerc* 2016;48(11):2228–38.
- [7] Peterson MD, Ryan JM, Hurvitz EA, Mahmoudi E. Chronic conditions in adults with cerebral palsy. *JAMA* 2015;314(21):2303–5.
- [8] Dodd KJ, Taylor NF, Damiano DL. A systematic review of the effectiveness of strength-training programs for people with cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil* 2002;83(8):1157–64.
- [9] Dodd KJ, Taylor NF, Damiano DL. A systematic review of the effectiveness of strength-training programs for people with cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil* 2002;83(6):1157–64.
- [10] Cumming Lyndsay. Muscle strengthening for an adult with diplegic cerebral palsy. *Physiotherapy* 2003;89(2):124.
- [11] Andersson C, Grooten W, Hellsten M, Kaping K, Mattson E. Adults with cerebral palsy: walking ability after progressive strength training. *Dev Med Child Neurol* 2003;45(4):220–8.
- [12] Blundell SW, Shepherd RB, Dean CM, Adams RD, Cahill BM. Functional strength training in cerebral palsy: a pilot study of a group circuit training class for children aged 4–8 years. *Clin Rehabil* 2003;17:48–57.
- [13] Liao H-F, Liu Y-C, Liu W-Y, Lin Y-T. Effectiveness of loaded sit-to-stand resistance exercise for children with mild spastic diplegia: a randomized clinical trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2007;88:25–31.
- [14] Verschuren O, Ketelaar M, Takken T, Hadders PJ, Gorter JW. Exercise programs for children with cerebral palsy: a systematic review of the literature. *Am J Phys Med Rehabil* 2008;87(5):404–17.
- [15] Reid S, Hamer P, Alderson J, Lloyd D. Neuromuscular adaptations to eccentric strength training in children and adolescents with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 2010;52(4):358–63.
- [16] Martin L, Baker R, Harvey A. A systematic review of common physiotherapy interventions in school-aged children with cerebral palsy. *Phys Occup Ther Pediatr* 2010;30(4):294–312.
- [17] Gates PE, Banks D, Johnston TE, Campbell SR, Gaughan JP, Ross SA, et al. Randomized controlled trial assessing participation and quality of life in a supported speed treadmill training exercise program vs. a strengthening program for children with cerebral palsy. *J Pediatr Rehabil Med* 2012;5(2):75–88.
- [18] Moreau NG, Holthaus K, Marlow N. Differential adaptations of muscle architecture to high-velocity versus traditional strength training in cerebral palsy. *Neurorehabil Neural Repair* 2013;27(4):325–34.
- [19] Jung JW, Her JG, Ko J. Effect of strength training of ankle plantar-flexors on selective voluntary motor control, gait parameters, and gross motor function of children with cerebral palsy. *J Phys Ther Sci* 2013;25(10):1259–63.
- [20] Park EY, Kim WH. Meta-analysis of the effect of strengthening interventions in individuals with cerebral palsy. *Res Dev Disabil* 2014;35(2):239–49.
- [21] Hedgecock JB, Rapport MJ, Sutphin AR. Functional movement, strength and intervention for adolescent with cerebral palsy. *Pediatr Phys Ther* 2015;27:207–14.
- [22] Ross SM, MacDonald M, Bigouette JP. Effects of strength training on mobility in adults with cerebral palsy: a systematic review. *Disabil Health J* 2016;9(3):375–84.
- [23] Verschuren O, Peterson MD, Balemans AC, Hurvitz EA. Exercise and physical activity recommendations for people with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 2016;58(8):798–808.
- [24] Aye T, Thein S, Hlaing T. Effects of strength training program on hip extensors and knee extensors strength of lower limb in children with spastic diplegic cerebral palsy. *J Phys Ther Sci* 2016;28:671–6.
- [25] Van Vulpel LF, De Groot S, Rameckers E, Becher JG, Dallmeijer AJ. Improved walking capacity and muscle strength after functional power-training in young children with cerebral palsy. *Neurorehabil Neural Repair* 2017;31(9):827–41.
- [26] Damiano DL, Kelly LE, Vaughn CL. Effects of quadriceps femoris muscle strengthening on crouch gait in children with spastic diplegia. *Phys Ther* 1995;75(8):658–71.
- [27] Morris PJ. Physical activity recommendations for children and adolescents with chronic disease. *Curr Sports Med Rep* 2008;7(6):353–8.

- [28] Degache F, Mietton C, Edouard P, Gautheron V. Le réentraînement à l'effort chez l'enfant atteint de paralysie cérébrale (PC). *Revue de littérature. Mot Cereb* 2011;32(2):51–3.
- [29] Scianni A, Butler JM, Ada L, Teixeira-Salmela LF. Muscle strengthening is not effective in children and adolescents with cerebral palsy: a systematic review. *Aust J Physiother* 2009;24:307–13.
- [30] Scholes VA, Becher JG, Janssen-Potten YJ, Dekkers H, Smallegenbroek L, Dallmeijer AJ. Effectiveness of functional progressive resistance exercise training on walking ability in children with cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Res Dev Disabil* 2012;33:181–8.
- [31] Taylor NF, Dodd KJ, Baker RJ, Willoughby K, Thomason P, Graham HK. Progressive resistance training and mobility-related function in young people with cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Dev Med Child Neurol* 2013;55:806–12.
- [32] Damiano DL. Progressive resistance exercise increases strength but does not improve objective measures of mobility in young people with cerebral palsy. *J Physiother* 2014;60(1):58.
- [33] Ryan JM, Cassidy EE, Noorduyt SG, O'Connell NE. Exercise intervention for cerebral palsy. *Cochrane Database Syst Rev* 2017;11:6.
- [34] Loi no 2005-102 du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées. Consulté le 07 avril 2018 sur <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000809647&dateTexte=&categorieLien=id>.
- [35] Le Gallais D, Millet G. La préparation physique. Optimisation et limites de la performance sportive. Paris: Elsevier Masson; 2007. p. 213.
- [36] Little JP, Gillen JB, Percival ME, Safdar A, Tarnopolsky MA, et al. Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. *J Appl Physiol* 2011;111(6):1554–60.
- [37] Ellingsen O, Halle M, Conraads V, Stoylen A, Dalen H, et al. High-intensity interval training in patients with heart failure with reduced ejection fraction clinical perspective. *Circulation* 2017;135(9):839–49.
- [38] Warburton D, McKenzie D, Haykowsky M, Taylor A, Shoemaker P, et al. Effectiveness of high-intensity interval training for the rehabilitation of patients with coronary artery disease. *Am J Cardiol* 2005;95(9):1080–4.
- [39] Weston KS, Wisloff U, Coombes JS. High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 2014;48(16):1227–34.
- [40] Ramos JS, Dalleck LC, Tjonna AE, Beetham KS, Coombes JS. The impact of High-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training on vascular function: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 2015;45(5):679–92.
- [41] Kortianou EA, Nasis IG, Spetsioti ST, Dakalakis AM, Vogiatzis I. Effectiveness of interval exercise training in patients with COPD. *Cardiopulm Phys Ther J* 2010;21(3):12–9.
- [42] Talanian J, Galloway S, Heigenhauser G, Bonen A, Spriet L. Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. *J Appl Phys* 2007;102(4):1439–47.
- [43] Weweg M, Berg R, Ward RE, Keech A. The effects of high-intensity interval training vs. Moderate-intensity continuous training on body composition in overweight and obese adults: a systematic review and meta-analysis *Obes Rev* 2017;18(6):635–46.
- [44] Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M, Hirai Y, Ogita F, et al. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO2max. *Med Sports Exerc* 1996;28(10):1327–30.
- [45] Gibala MJ, McGee SL. Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? *Exerc Sport Sc Rev* 2008;36(2):58–63.
- [46] Sculthorpe NF, Herbert P, Grace F. One session of high-intensity interval training every 5 days, improves muscle power but not static balance in lifelong sedentary ageing men. *Med* 2017;96(6):e6040.
- [47] Jung ME, Bourne JE, Little JP. Where does HIT fit?. an examination of the affective response to high-intensity intervals in comparison to continuous moderate and continuous vigorous intensity exercise in the exercise intensity-affect continuum. *Plos One* 2014;9(12):e114541.
- [48] Palisano R, Rosenbaum P, Bartlett D, Livingston M. GMFCS–E & R Le système de classification de la fonction motrice globale 2007. Consulté le 15 janvier 2017 sur : https://canchild.ca/system/tenon/assets/attachments/000/000/059/original/GMFCS-ER_Translation-French.pdf.
- [49] Bohannon RW. Sit-to-Stand Test for measuring performance of lower extremity muscles. *Percept Mot Skills* 1995;80(1):163–6.
- [50] Jones CJ, Rikli RE, Beam WC. A 30 s Chair-stand test as a measure of lower body strength in community-residing older adults. *Res Exerc Sport* 1999;70(2):113–9.
- [51] Bohannon RW, Bubela DJ, Magasi SR, Wang YC, Gershon RC. Sit-to-stand test: performance and determinants across the age-span. *Isokinetics Exerc Sc* 2010;18(4):235–40.
- [52] Vaara JP, Kyröläinen H, Niemi J, Ohrankämnen O, Häkkinen A, et al. Associations of maximal strength and muscular endurance test scores with cardiorespiratory fitness and body composition. *J Strength Cond Res* 2012;26(8):2078–86.
- [53] Baumgartner TA, Oh S, Chung H, Hales D. Objectivity, reliability and validity for a revised push-up test protocol. *Measur Phys Educ Exerc Sc* 2002;6(4):225–42.
- [54] Gouvali MK, Boudolos K. Dynamic and electromyographical analysis in variants of push-up exercise. *J Strength Cond Res* 2005;19(1):146–51.
- [55] Cogley RM, Archambault TA, Fibeger JF, Koverman MM, Youdas JW, Hollman JH. Comparison of muscle activation using various hand positions during the push-up exercise. *J Strength Cond Res* 2005;19(3):628–33.
- [56] Fenwick CM, Brown SH, McGill SM. Comparison of different rowing exercises: trunk muscle activation and lumbar spine motion, load and stiffness. *J Strength Cond Res* 2009;23(5):1408–17.
- [57] Snarr RL, Esco MR. Comparison of electromyographic activity when performing inverted row with and without suspension. *J Exerc Phys* 2013;16(6):51–8.
- [58] Burpee RH. Seven quickly administered tests of physical capacity and their use in detecting physical incapacity for motor activity in men and boys. New York: Teachers college, Columbia university; 1940. 150 p.
- [59] Le Métayer M. Approche actuelle dans l'étude des troubles du rachis des infirmes moteurs cérébraux : les rachialgies–les cyphose–les scolioses. *Mot Cereb* 2007;28(2):50–6.
- [60] Kibler WB, Press J, Sciascia A. The role of core stability in athletic function. *Spor Med* 2006;36(3):189–98.
- [61] Willardson JM. Core stability training: application to sports conditioning programs. *J Strength Cond Ass* 2007;21(3):979–85.
- [62] Demoulin C, Vanderhommen M, Duyssens C, Crielaard J-M. Spinal muscle evaluation using the Sorensen test: a critical appraisal of the literature. *Joint Bone Spine* 2006;73(1):43–50.
- [63] Enright PL. The Six-Minute Walk Test. *Respir Care* 2003;48(8):783–5.
- [64] Li AM, Yin J, Yu CCW, Tsang T, So HK, et al. The six-minute walk test in healthy children: reliability and validity. *Eur Respir J* 2005;25(6):1057–60.
- [65] Geiger R, Strasak A, Tremi B, Gasser K, Kleinsasser A, et al. Six-minute walk test in children and adolescents. *J Pediatr* 2007;150(4):395–9.
- [66] Anderson C, Asztalos L, Mattsson E. Six-minute walk test in adults with cerebral palsy. A study of reliability. *Clin Rehabil* 2006;20(6):488–95.
- [67] Maher CA, Williams MT, Olds TS. The six-minute walk test for children with cerebral palsy. *Int J Rehabil Res* 2008;31(2):185–8.
- [68] O'Neil ME, Fragala-Pinkham M, Lennon N, George A, Forman J, et al. Reliability and validity of objective measures of physical activity in youth with cerebral palsy who are ambulatory. *Phys Ther* 2016;96(1):37–45.
- [69] Russel DJ, Rosenbaum PL, Cadman DT, Gowland C, Hardy S, et al. The Gross Motor Function Measure: a means to evaluate the effects of physical therapy. *Dev Med Child Neurol* 1989;31(3):341–52.
- [70] Russel DJ, Avery LM, Rosenbaum PL, Raina PS, Walter SD, et al. Improved scaling of the Gross Motor Function Measure for children with cerebral palsy: evidence of reliability and validity. *Phys Ther* 2000;80(9):873–85.
- [71] Girardot F, Bérard C. Apport de l'Évaluation Motrice Fonctionnelle Globale chez l'enfant infirme moteur cérébral. *Mot Cereb* 2005;26(4):139–46.
- [72] Alotaibi M, Long T, Kennedy E, Bavishi S. The efficacy of GMFM-88 and GMFM-66 to detect changes in gross motor function in children with cerebral palsy: a literature review. *Disabil Rehabil* 2014;36(8):617–27.
- [73] Cover A. Study protocol: SPARCLE—a multi-centre European study of the relationship of environment to participation and quality of life in children with cerebral palsy. *BMC Public Health* 2006;6:1–10 [Consulté le 10 sept 2017 sur <https://bmcpubhealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2458-6-105>].

- [74] Ravens-Sieberer U, Auquier P, Erhart M, Gosch A, Rajmil L, et al. The KIDSCREEN-27 quality of life measure for children and adolescents: psychometric results from a cross-cultural survey in 13 European countries. *Qual Life Res* 2007;16(8):1347–56.
- [75] Dickinson HO, Parkinson KN, Ravens-Sieberer U, Schirripa G, Thyen U, et al. Self-reported quality of 8-12-year-old children with cerebral palsy: a cross-sectional European study. *Lancet* 2007;369(9580):2171–8.
- [76] Ravens-Sieberer U, Herdman M, Devine J, Otto C, Bullinger M, et al. The European KIDSCREEN approach to measure quality of life and well-being in children: development, current application, and future advances. *Qual Life Res* 2014;23(3):791–803.
- [77] Colver A, Rapp M, Eisemann N, Ehlinger V, Thyen U, et al. Self-reported quality of life of adolescents with cerebral palsy: a cross-sectional and longitudinal analysis. *Lancet* 2015;385(9969):705–16.
- [78] Klika B, Jordan C. High-intensity circuit training using body weight: maximum results with minimal investment. *ACSMs Health Fit J* 2013;17(3):8–13.
- [79] Alcaraz PE, Sanchez-Lorente J, Blazeovich AJ. Physical performance and cardiovascular responses to an acute bout of heavy resistance circuit training versus traditional strength training. *J Strength Cond Res* 2008;22(3):667–71.
- [80] Sperlich B, Wallmann-Sperlich B, Zinner C, Von Stauffenberg V, Losert H, et al. Functional high-intensity circuit training improves body composition, peak oxygen uptake, strength and alters certain dimensions of quality of life in overweight women. *Front Phys* 2017;8:172. <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2017.00172>.
- [81] Malina RM. Weight training in youth-growth, maturation and safety: an evidence-based review. *Clin J Sport Med* 2006;16(6):478–87.
- [82] Faigenbaum A, Kraemer WJ, Blimkie CJ, Jeffreys I, Micheli LJ, et al. Youth resistance training: updated position statement paper from the national strength and conditioning association. *J Strength Cond Res* 2009;23:S60–79.
- [83] Faigenbaum A, Bush JA, Mcloone RP, Kreckel MC, Farrell A, et al. Benefits of strength and skill-based training during primary school physical education. *J Strength Cond Res* 2015;29(5):1255–62.
- [84] Marascuilo LE, Serlin RC. *Statistical Methods for the Social and Behavioral Sciences*. W.H. Freeman & Co Ltd; 1988, 804 p.
- [85] Maeland S, Jahnsen R, Opheim A, Frosli KF, Moe-Nilssen R, et al. No effect on gait function of progressive resistance exercise in adults with cerebral palsy – A single-blind randomized controlled trial. *Adv Phys* 2009;11(4):227–33.
- [86] Peungsuwan P, Parasin P, Siritaratiwat W, Prasertnu J, Yamauchi J. Effects of combined exercise training on functional performance in children with cerebral palsy: a randomized-controlled study. *Ped Phys Ther* 2017;29(1):39–46.
- [87] HAS. Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique. Consulté le 12 septembre 2017 sur https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf.
- [88] Verschuren O, Ketelaar M, Gorter JW, Helders P, Uiterwaal C, et al. Exercise training program in children and adolescents with cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Arch Ped Ado Med* 2007;161(11):1075–81.
- [89] Murayama K, Elliot AJ. The competition-performance relation: a meta-analytic review and test of the opposing processes model of competition and performance. *Psychological bulletin* 2012;138(6):1035–70.
- [90] Peng W, Hsieh G. The influence of competition, cooperation, and player relationship in a motor performance centered computer game. *Comput Hum Behav* 2012;28:2100–6.
- [91] Croteau F, Duais A, Thibault G. La musculation : sous-estimée par les patients et... leur médecin ! *Cah Med Actuel* 2010;10(21):49–52.
- [92] Haraldstad K, Rohde G, Stea TH, Lohne-Seiler H, Hetlelid K, Paulsen G, et al. Changes in health-related quality of life in elderly men after 12 weeks of strength training. *Eur Rev Aging Phys Act* 2017;14(1):8.
- [93] Smith J, Eather N, Morgan P, Plonikoff R, Faigenbaum A, Lubans D. The health benefits of muscular fitness for children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 2014;44(9):1209–23.
- [94] Liu CJ, Latham NK. Progressive resistance strength training for improving physical function in older adults. *Cochrane Library* 2009;3. CDO02759.
- [95] Morris SL, Dodd KJ, Morris ME. Outcomes of progressive resistance strength training following stroke: a systematic review. *Clin Rehabil* 2004;18(1):27–39.
- [96] Janhsen R, Villien L, Egeland T, Stanghelle JK. Locomotion skills in adults with cerebral palsy. *Clin Rehabil* 2004;18(3):309–16.
- [97] Murphy KP, Molnar GE, Lankasky K. Medical and functional status of adults with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 1995;37:1075–84.
- [98] Opheim A, Jahnsen R, Olsson E, Stanghelle JK. Aim to compare walking function, pain, and fatigue in adults with cerebral palsy: a 7-year follow-up study. *Dev Med Child Neurol* 2009;51(5):381–8.
- [99] Tiffreau V, Schill A, Popielarz S, Herbau C, Blanchard A, et al. La continuité de prise en charge lors de la transition des soins de l'enfant à l'adulte handicapé. *Ann Readapt Med Phys* 2006;49:652–8.
- [100] Fortuna RJ, Holub A, Turk MA, Meccarello J, Davidson PW. Health conditions, functional status and health care utilization in adults with cerebral palsy. *Family Pract* 2018. cmy027.
- [101] Cremer N, Hurvitz EA, Peterson MD. Multimorbidity in middle-aged adults with cerebral palsy. *Am J Med* 2017;130(6). 744.e9–744.e1.