

POSITION STAND / PRISE DE POSITION**Prise de position de la Société canadienne de physiologie de l'exercice : l'entraînement à la force chez les enfants et les adolescents****David G. Behm, Avery D. Faigenbaum, Baraket Falk et Panagiota Klentrou**

Abstract: Many position stands and review papers have refuted the myths associated with resistance training (RT) in children and adolescents. With proper training methods, RT for children and adolescents can be relatively safe and improve overall health. The objective of this position paper and review is to highlight research and provide recommendations in aspects of RT that have not been extensively reported in the pediatric literature. In addition to the well-documented increases in muscular strength and endurance, RT has been used to improve function in pediatric patients with cystic fibrosis and cerebral palsy, as well as pediatric burn victims. Increases in children's muscular strength have been attributed primarily to neurological adaptations due to the disproportionately higher increase in muscle strength than in muscle size. Although most studies using anthropometric measures have not shown significant muscle hypertrophy in children, more sensitive measures such as magnetic resonance imaging and ultrasound have suggested hypertrophy may occur. There is no minimum age for RT for children. However, the training and instruction must be appropriate for children and adolescents, involving a proper warm-up, cool-down, and appropriate choice of exercises. It is recommended that low- to moderate-intensity resistance exercise should be done 2–3 times/week on non-consecutive days, with 1–2 sets initially, progressing to 4 sets of 8–15 repetitions for 8–12 exercises. These exercises can include more advanced movements such as Olympic-style lifting, plyometrics, and balance training, which can enhance strength, power, co-ordination, and balance. However, specific guidelines for these more advanced techniques need to be established for youth. In conclusion, an RT program that is within a child's or adolescent's capacity and involves gradual progression under qualified instruction and supervision with appropriately sized equipment can involve more advanced or intense RT exercises, which can lead to functional (i.e., muscular strength, endurance, power, balance, and co-ordination) and health benefits.

Key words: youth, pediatric, exercise, health, strength.

Résumé : Selon de nombreux énoncés de principe et des articles de synthèse, il n'y a pas lieu d'interdire l'entraînement à la force (RT) chez les enfants et les adolescents. Si les méthodes sont ajustées à ces groupes de sujets, l'entraînement à la force s'avère sécuritaire et améliore la santé globale de l'individu. Le but de cet article-synthèse est d'arriver à un énoncé de principe après avoir analysé les textes de la littérature scientifique et de formuler des recommandations relatives à l'entraînement à la force n'ayant pas fait l'objet d'études poussées dans la recherche pédiatrique. En plus de susciter l'amélioration de la force et de l'endurance musculaires, comme le rapportent de nombreuses études, l'entraînement à la force améliore les fonctions chez les enfants souffrant de fibrose kystique, de paralysie cérébrale et de brûlures. D'après les études, l'augmentation de la force observée chez les enfants serait surtout due aux adaptations du système nerveux plus qu'à l'hypertrophie, car les gains observés sont démesurément importants. Bien que dans la plupart des études portant sur les caractéristiques anthropométriques, on n'a pas observé un degré significatif d'hypertrophie, les études faisant appel à la résonance magnétique et à l'ultrasonographie indiquent que l'hypertrophie est possible. Il n'y a pas d'âge minimal pour s'entraîner à la force quand on est jeune. Ceci étant dit, il faut ajuster le programme d'entraînement et les directives aux enfants et aux adolescents concernant l'échauffement, le retour au calme et le choix d'exercices. On recommande un entraînement au moyen de charges légères et modérées à raison de 2 à 3 fois par semaine en sautant des jours et en commençant par 1 à 2 séries d'exercices pour en arriver à 4 séries constituées de 8 à 15 répétitions d'un ensemble de 8 à 12 exercices. Parmi ces exercices, on peut inclure des mouvements avancés qu'on observe en haltérophilie aux Jeux olympiques, des exercices pliométriques et des exercices d'équilibre, tous contribuant à l'amélioration de la force, de la

Reçu le 30 octobre 2007. Accepté le 24 janvier 2008. Publié sur le site Web des Presses scientifiques du CNRC à apnm.nrc.ca le 10 avril 2008.

D.G. Behm.¹ École de cinétique humaine et de loisirs, Université Memorial de Terre-Neuve, St. John's, NL A1C 5S7, Canada.

A.D. Faigenbaum. Département de la santé et des sciences de l'exercice, Collège du New Jersey, C.P. 7718, Ewing, NJ 08628-0718, É.-U. **B. Falk et P. Klentrou.** Département d'éducation physique et de kinésiologie, Université Brock, St. Catharines ON L2S 3A1, Canada.

¹Auteur correspondant (courriel : dbehm@mun.ca).

puissance, de la coordination et de l'équilibre. En ce qui concerne ces derniers mouvements, il est important d'élaborer des directives spécifiques à ce groupe de sujets. En conclusion, les enfants et les adolescents peuvent s'entraîner à la force au moyen d'exercices standards et de niveau avancé pourvu que la progression de l'entraînement soit graduelle et bien supervisée par du personnel qualifié et que l'équipement soit adapté aussi à ce groupe de sujets. Le bilan est positif aux plans fonctionnels (force musculaire, endurance, puissance, équilibre et coordination) et de la santé.

Mots-clés : jeunesse, pédiatrie, exercice physique, santé, force musculaire.

[Traduit par la Rédaction]

Définitions

Pour les fins du présent document, le terme « enfant » s'entend des garçons et des filles qui n'ont pas encore de caractéristiques sexuelles secondaires (jusqu'à environ 11 ans chez les filles et 13 ans chez les garçons; stades 1 et 2 de la maturation sexuelle de Tanner). On appelle souvent préadolescence cette période du développement. Le terme « adolescence » s'entend de la période qui s'écoule entre l'enfance et l'âge adulte et qui inclut les jeunes filles de 12 à 18 ans et les garçons de 14 à 18 ans (stades 3 et 4 de la maturation sexuelle de Tanner). Le terme « jeune » inclut en général l'enfance et l'adolescence. L'expression « entraînement à la force » désigne une méthode spécialisée de conditionnement physique qui comporte l'utilisation progressive d'un vaste éventail de charges, y compris la masse corporelle, ainsi que diverses méthodes d'entraînement conçues pour améliorer la santé, la condition physique et la performance sportive. Même si l'on utilise parfois comme synonyme les expressions « entraînement à la force » et « entraînement aux poids », l'entraînement à la force englobe un plus vaste éventail de méthodes d'entraînement et d'objectifs. Le terme « haltérophilie » désigne un sport de compétition qui comporte des levés comme l'arraché et l'épaulé et jeté.

Introduction

Les conclusions relatives aux effets bénéfiques de l'entraînement à la force chez les préadolescents et les adolescents sont constamment positives dans les publications scientifiques qui réfutent constamment les préoccupations et les mythes omniprésents dans la population en général. Selon certains de ces mythes, l'entraînement à la force chez les enfants nuirait à la croissance, endommagerait les cartilages de conjugaison, n'augmenterait pas suffisamment la force à cause du manque de testostérone et poserait toutes sortes de problèmes de sécurité (Blimkie 1993). La prise de position de diverses associations (American Academy of Pediatrics 2001; American College of Sports Medicine 2006; British

Association of Sport and Exercise Science 2004; Faigenbaum et al. 1996b; Golan et al. 1998; Smith et al. 1993) et des articles de synthèse (Blimkie 1993, 1992; Faigenbaum 2000; Falk et Eliakim 2003; Falk et Tenenbaum 1996; Hass et al. 2001; Malina 2006; McNeely et Armstrong 2002; Payne et al. 1997; Sale 1989; Webb 1990) sont unanimes : l'entraînement à la force chez les enfants améliore la force et l'endurance musculaires s'il est surveillé par un moniteur qualifié, utilise la bonne technique, progresse graduellement et comporte des périodes appropriées de réchauffement et de refroidissement. Ces gains de force sont relativement comparables à ceux qui se produisent chez les adolescents ou les adultes, mais ils n'entraînent habituellement pas de gains importants du volume musculaire (Blimkie 1993, 1992). Falk et Tenenbaum (1996) ont réalisé une méta-analyse et signalé des gains de force de 13 à 30 % attribuables à l'entraînement chez les préadolescents qui ont suivi des programmes d'entraînement à la force d'une durée de huit à 20 semaines.

Au lieu de contribuer à des blessures comme on le croyait auparavant, on a signalé que l'entraînement à la force est sans danger (pratiqué sous surveillance et exécuté avec les bonnes techniques) pour les enfants et peut réduire l'incidence et la gravité des traumatismes sportifs (Faigenbaum et al. 1996b; Falk et Eliakim 2003; Hamill 1994; McNeely et Armstrong 2002; Smith et al. 1993; Webb 1990). On a aussi signalé que l'entraînement à la force accroît la teneur minérale de l'os (Nichols et al. 2001) sans avoir d'effet indésirable sur la maturation (Sadres et al. 2001), la condition cardiorespiratoire ou la tension artérielle au repos (Blimkie 1993), et n'a pas d'effet sur la composition du corps ou l'améliore (Faigenbaum et al. 1993; Hass et al. 2001; Lillegard et al. 1997; Sadres et al. 2001; Siegal et al. 1989; Sothorn et al. 2000). L'entraînement la force peut aussi avoir un effet positif sur d'autres paramètres de la santé et du conditionnement physique (Faigenbaum 2000), y compris le profil des lipides sanguins (Hass et al. 2001). L'entraînement à la force peut améliorer la stabilité psychosociale et les paramètres du mieux-être (Faigenbaum et al. 1996b; Falk et Eliakim 2003; Hass et al. 2001), tout comme la motricité ou la performance (Faigenbaum 2000;

Falk et Eliakim 2003; Hass et al. 2001) et la coordination (Blimkie 1993). Même s'il y a des divergences de vues quant à savoir si l'entraînement à la force améliore directement la performance sportive, il semble que la participation régulière à un programme d'entraînement à la force axé spécifiquement sur le sport peut améliorer la performance chez les jeunes athlètes (Faigenbaum et al. 1996b; Falk et Eliakim 2003; McNeely et Armstrong 2002; Webb 1990). Dans les publications courantes, on reconnaît en général qu'il faut s'entraîner à la force avec une intensité variant de faible à modérée (Golan et al. 1998; Hass et al. 2001) deux ou trois fois par semaine en sautant des jours, en effectuant d'une à quatre séries de six à 20 répétitions de six à 12 exercices et en exécutant en général des mouvements d'une amplitude complète (Faigenbaum et al. 1996b; Golan et al. 1998; Malina 2006; McNeely et Armstrong 2002; Webb 1990). Ainsi, si les associations sportives et médicales reconnaissent maintenant que l'entraînement à la force est efficace et bénéfique pour les enfants et les adolescents, a-t-on besoin d'une autre prise de position ou critique systématique sur la question?

Même si les avantages et les paramètres des programmes standard d'entraînement à la force sont bien établis, il y a des concepts relativement nouveaux ou plus avancés de l'entraînement à la force que l'on n'a pas traités en détail dans les publications en pédiatrie. Des concepts d'entraînement plus avancés comme les exercices pliométriques, l'entraînement à la force en instabilité, la périodicité, l'haltérophilie de type olympique, les méthodes de test et d'autres encore qui sont bien documentés dans les publications sur les adultes ont reçu beaucoup moins d'exposition ou ont fait l'objet de moins de recherche dans les publications sur les enfants et peuvent susciter un peu la controverse. Il importe de mettre en évidence le nouveau savoir dans ces domaines ou de prévenir les professionnels du manque d'information et d'orientations possibles de recherches à venir dans le domaine de l'entraînement à la force chez les enfants. C'est pourquoi la présente prise de position vise à mettre en évidence les principales constatations reliées aux nouvelles tendances de l'entraînement à la force chez les enfants, aux bienfaits et aux mécanismes qui sous-tendent les adaptations à l'entraînement chez les enfants, à formuler des recommandations sur l'entraînement et à dégager les domaines où d'autres recherches s'imposent.

Bienfaits pour la santé

Dans le passé, on ne recommandait pas l'entraînement à la force pour les enfants, car on croyait qu'il n'était pas efficace pour améliorer la force et qu'il pouvait causer des blessures et avoir sur la santé des conséquences durables comme des dommages aux cartilages de

conjugaison et la fermeture prématurée des épiphyses. Des études récentes révèlent toutefois que l'entraînement à la force a des effets positifs et ont démontré qu'il est en fait bénéfique pour cette population (Steinberger 2003). Des données de plus en plus nombreuses indiquent en fait que l'entraînement à la force peut accroître la teneur minérale de l'os, développer davantage la force et l'endurance musculaires et maintenir la masse maigre tout en offrant un moyen de réadaptation pour divers autres problèmes qui nuisent à la croissance comme la fibrose kystique et l'ostéopénie à la fois chez les préadolescents et chez les adultes. L'entraînement à la force peut aussi améliorer la motricité et la performance tout en aidant à résister aux blessures et à acquérir une attitude positive en haussant les niveaux de confiance et l'estime de soi (Faigenbaum 2007; Hass et al. 2001; Suman et al. 2001). C'est pourquoi on insiste énormément pour veiller à ce que la technique soit bonne et pour tenir compte de variables confusionnelles comme le type et la durée du programme d'entraînement. Pour produire un résultat optimal, le programme d'entraînement à la force doit être conçu spécifiquement en fonction de l'âge, du sexe, de l'état de santé et de la condition physique de l'enfant en cause. Le tableau 1 résume des études traitant des effets de l'entraînement à la force sur la santé des enfants et des adolescents.

Il est démontré que la force et l'endurance musculaires des enfants et des adolescents s'améliorent beaucoup plus que dans le cas de la croissance et de la maturation normales lorsqu'ils suivent un programme d'entraînement à la force conçu spécifiquement pour eux (Benson et al. 2007; Faigenbaum et al. 1999; Falk et Mor 1996; Ramsay et al. 1990). Pour tenir compte des effets de la croissance et de la maturation, la majorité des études sur l'entraînement à la force ont inclus un groupe témoin jumelé selon l'âge et ont démontré que sur une période de six à 20 semaines, la force musculaire et la performance augmentent plus chez les enfants qui s'entraînent à la force que chez ceux qui ne le font pas. On a signalé plus précisément que des charges modérées (p. ex., 50 à 60 % d'une répétition maximale (1RM)) et des répétitions plus nombreuses (p. ex., 15 à 20 répétitions) peuvent être des plus bénéfiques pour améliorer la force et l'endurance musculaires chez jeunes au cours de la période d'adaptation initiale (Benson et al. 2007; Christou et al. 2006; Faigenbaum et al. 1999, 2005b; Lillegard et al. 1997; Pfeiffer et Francis 1986). Dans l'ensemble, un résumé récent de Malina (2006), montre que les auteurs des 22 études résumées reconnaissaient que l'entraînement à la force deux ou trois fois par semaine augmente considérablement la force musculaire pendant l'enfance et l'adolescence et que l'on signalait très peu de blessures. On a signalé des gains importants au niveau de la force isométrique et isocinétique, de l'endurance musculaire et de

Tableau 1 Résumé des effets de l'entraînement à la force chez les enfants et les adolescents.

Effet	Enfants	Adolescents	Exemples de références	Note
Force musculaire	+++	+++	Blimkie et al. 1989, 1996; Christou et al. 2006; Faigenbaum et al. 1993, 1996a, 2001, 2002, 2005b; Fukunaga et al. 1992; Lillegard et al. 1997; Nichols et al. 2001; Ozmun et al. 1994; Pfeiffer et Francis 1986; Pikosky et al. 2002; Ramsay et al. 1990; Sadres et al. 2001; Sailors et Berg 1987; Siegal et al. 1989; Tsolakis et al. 2004; Weltman et al. 1986 Christou et al. 2006; Faigenbaum et al. 1993, 1996a, 2002, 2005b; Lillegard et al. 1997; Weltman et al. 1986 Faigenbaum et al. 1999, 2001, 2005b; Ramsay et al. 1990; Sailors and Berg 1987 Blimkie et al. 1996; Nichols et al. 2001	Gains absolus de force plus modestes chez les enfants comparativement aux adultes, mais gains relatifs comparables
Puissance musculaire	?	+	Christou et al. 2006; Faigenbaum et al. 1993, 1996a, 2002, 2005b; Lillegard et al. 1997; Weltman et al. 1986	Changements modestes, s'il en est, chez les enfants; données limitées chez les adolescents
Endurance musculaire	++	+	Faigenbaum et al. 1999, 2001, 2005b; Ramsay et al. 1990; Sailors et Berg 1987	Données limitées chez les adolescents
Force musculaire, TMO, CMO	?	?	Blimkie et al. 1996; Nichols et al. 2001	Nombre limité d'études où l'on a utilisé l'entraînement à la force pour en analyser l'effet sur les os
Flexibilité	+	?	Christou et al. 2006; Faigenbaum et al. 2002, 2005b; Siegal et al. 1989; Weltman et al. 1986	Changements minimes s'il en est, chez les enfants; données limitées chez les adolescents
Agilité et performance physique	?	?	Christou et al. 2006; Falk et Mor 1996	Changements qui se manifestent seulement lorsque l'on combine l'entraînement à la force à l'entraînement pour des sports en particulier.
Composition du corps	-	?	Faigenbaum et al. 1993; Lillegard et al. 1997; Sadres et al. 2001; Siegal et al. 1989; Sothorn et al. 2000; Siegal et al. 1989	Des données indiquent une réduction de la masse adipeuse chez les enfants qui font de l'embonpoint; aucune donnée chez les adolescents.

Note : +++, effet clair dans de nombreuses études; ++, un peu d'effet dans un nombre limité d'études; +, effet modeste dans un nombre limité d'études; ?, effet non clair; —, aucun effet. TMO, teneur minérale de l'os; CMO : contenu minéral osseux.

la flexibilité chez ceux qui suivaient un programme d'entraînement à la force de fréquence et de durée différentes et à tous les niveaux de maturation (Blimkie et al. 1989; Faigenbaum et al. 1993, 1999, 2001, 2005b; Rians et al. 1987; Ramsay et al. 1990; Sailors et Berg 1987; Weltman et al. 1986). Ces améliorations attribuables à l'entraînement étaient plus évidentes dans certains cas chez les garçons plus âgés et plus importantes au bas du corps qu'au haut du corps et chez les sujets qui s'entraînaient deux jours par semaine comparativement à ceux qui le faisaient un jour par semaine. (Pikosky et al. 2002; Vrijens 1978; Faigenbaum et al. 2002). Un programme scolaire d'entraînement à la force d'une durée de 12 semaines a aussi amélioré considérablement la force, l'endurance et la flexibilité chez les préadolescents des deux sexes comparativement à leurs homologues témoins (Siegal et al. 1989). Un programme d'une durée de 12 semaines qui n'a pas causé de blessure et combinait l'entraînement à la

force et des exercices d'arts martiaux a en outre produit des améliorations de l'exécution physique de tâches qui reflètent la force musculaire, l'endurance, la puissance et la coordination (Falk et Mor 1996). L'entraînement à la force peut aussi faire grossir la masse musculaire plus qu'on le constate normalement à la puberté chez les hommes et les femmes (Kraemer et al. 1989; Webb 1990), mais l'ordre de grandeur des changements de la surface transversale des muscles chez les enfants est moindre que chez les adultes (Fukunaga et al. 1992; Mersch et Stoboy 1989). Il faut aussi signaler que les gains de force musculaire et de puissance commencent à régresser vers les valeurs qui existent sans entraînement lorsqu'on cesse de s'entraîner à la force (Faigenbaum et al. 1996a; Tsolakis et al. 2004).

La santé des os est un autre domaine à étudier lorsque l'on aborde les bienfaits de l'entraînement à la force pour la santé (tableau 1). Bass et al. (1998) ont signalé que chez des gymnastes préadolescentes, dont l'entraînement

comporte principalement des exercices à impact élevé et à grande résistance, la teneur minérale de l'os (TMO) était beaucoup plus élevée que chez des témoins jumelés selon l'âge. La masse osseuse, le volume et la TMO volumétrique de la colonne lombaire étaient aussi plus élevés chez les gymnastes que chez les sujets du groupe témoin. Les chercheurs ont aussi montré que le diamètre endocortical était moindre chez les sujets du groupe témoin, ce qui indique un épaississement cortical chez les gymnastes. Les gymnastes grandissaient toutefois plus lentement que les sujets témoins lorsqu'on a comparé la taille assise, la hauteur et la longueur du fémur, ainsi que la longueur du tibia. Cet écart ne semble pas relié à l'entraînement, mais il découle plutôt de la sélection parce que les athlètes moins grandes sont avantagées dans ce sport (Daly et al. 2000; Erlandson et al. 2008; Gurd et Klentrou 2003). Au cours d'une étude plus récente, Ward et al. (2005) ont aussi comparé la grosseur des os du squelette périphérique et axial de gymnastes, de nageurs et de sujets témoins préadolescents. Après avoir établi une correction en fonction de l'âge et du sexe, ils ont constaté que l'os cortical était beaucoup plus épais au tibia et au radius chez les gymnastes préadolescents que chez les sujets témoins (Ward et al. 2005). On a aussi constaté que chez les haltérophiles adolescents, la TMO ou le contenu minéral de l'os (CMO) sont beaucoup plus élevés que chez les sujets témoins jumelés selon l'âge (Conroy et al. 1993; Virvidakis et al. 1990). Conroy et al. (1993) ont démontré l'existence d'un lien important entre la TMO et la force musculaire de ce groupe d'haltérophiles débutants et que la force représentait de 30 à 65 % de l'écart, tandis qu'au cours de l'étude de Virvidakis et al. (1990), on a établi un lien important entre le CMO et le poids. Nichols et al. (2001) ont de plus comparé un groupe de jeunes filles de 13 à 17 ans qui s'entraînaient à la force trois fois par semaine pendant 15 mois à un groupe témoin de jeunes filles jumelées selon l'âge. Ils n'ont pas signalé de changement important au niveau de la TMO et du CMO au niveau lombaire chez les sujets du groupe qui s'entraînaient à la force comparativement à ceux du groupe témoin. La seule différence entre les groupes s'est traduite en une augmentation de la force des jambes et de la TMO au col du fémur chez les sujets qui s'entraînaient à la force. Compte tenu des bienfaits pour le squelette décrits au tableau 1, on a établi aussi un lien entre le début de l'entraînement à la force à un jeune âge et une diminution du risque de fracture ostéoporétique plus tard au cours de la vie (Heinonen et al. 2000). La période de l'enfance jusqu'à la fin de l'adolescence est cruciale pour la formation des os et une personne acquiert environ 50 % de sa masse osseuse maximale au cours de cette période (Bonjour et al. 1991; Matkovic et al. 1994). La masse osseuse maximale s'entend de la quantité de tissus osseux présents à la fin de la maturation du squelette. Comme une masse

osseuse maximale faible constitue un important facteur de risque d'ostéoporose et de fractures connexes, l'acquisition d'une masse osseuse maximale importante au cours de l'enfance et de l'adolescence constitue un moyen efficace de réduire le risque d'apparition de l'ostéoporose plus tard dans la vie (Hansen et al. 1991).

Comme la prévalence de l'obésité chez les enfants continue de prendre de l'ampleur, il faut tenir compte de l'effet positif de l'entraînement à la force sur la composition du corps chez les jeunes obèses. On a signalé à la suite de nombreuses études que la participation régulière à des programmes d'entraînement à la force a amélioré la composition du corps chez les enfants et les adolescents obèses (Sothorn et al. 2000; Treuth et al. 1998; Watts et al. 2004). On a aussi utilisé l'entraînement à la force comme stratégie de réadaptation chez des enfants qui ont d'autres problèmes chroniques. Selvadurai et al. (2002) ont étudié trois groupes d'enfants atteints de fibrose kystique conjuguée à une exacerbation pulmonaire : les sujets d'un groupe ont participé à un programme d'entraînement aérobique et ceux d'un autre groupe se sont entraînés à la force. Il y avait aussi un groupe témoin. Les chercheurs ont constaté que les sujets qui faisaient de l'entraînement aérobique et ceux qui s'entraînaient à la force affichaient des résultats positifs comparativement à ceux du groupe témoin. Plus précisément, les sujets qui s'entraînaient à la force présentaient une amélioration de la fonction pulmonaire, de la force des muscles des jambes et de la masse sans gras. Des études indiquent aussi que les programmes d'entraînement à la force chez les enfants atteints de paralysie cérébrale peuvent aider à accroître la force musculaire et améliorer les activités quotidiennes et la qualité de vie (Damiano et al. 1995; Dodd et al. 2002; McBurney et al. 2003; Morton et al. 2005). De plus, Suman et al. (2001) ont réalisé une étude interventionnelle portant sur un groupe d'enfants brûlés sur plus de 40 % de la surface du corps au total. Les patients devaient compléter un programme d'exercice d'une durée de 12 semaines à la maison ou au centre de réadaptation de l'hôpital. On les a divisés en deux groupes : le groupe de ceux qui s'entraînaient à la force et qui ont participé à un programme d'entraînement personnalisé sous la surveillance d'entraîneurs personnels et un groupe de sujets témoins à qui l'on a demandé de terminer un programme de réadaptation à domicile sans exercice. Les résultats de l'étude ont révélé des augmentations importantes de la force musculaire, de la résistance totale à l'effort et de la masse maigre du corps chez les sujets qui se sont entraînés à la force par rapport à ceux du groupe témoin qui se sont réadaptés à domicile.

Compte tenu de données anecdotiques, on croyait que l'entraînement à la force causait des traumatismes aux cartilages de conjugaison, aux cartilages, aux ligaments ou aux muscles. Des études prospectives réalisées avec des

enfants n'appuient toutefois pas cette position. Faigenbaum et al. (2003) ont étudié la sécurité et l'efficacité de tests de force maximale chez des enfants en bonne santé de six à 12 ans dans un environnement contrôlé. Au cours de l'intervention, les chercheurs ont demandé aux enfants s'ils avaient des douleurs musculaires, s'ils étaient endoloris et s'ils avaient de la difficulté à bouger à la fin de chaque test et pendant une période donnée. Les chercheurs ont conclu qu'au cours de l'épreuve à l'effort sous surveillance, il n'y avait eu aucune blessure et que ni les garçons ni les filles n'avaient de plainte à signaler. Au cours d'une étude antérieure, Weltman et al. (1986) ont étudié l'efficacité et la sécurité d'un programme d'entraînement en résistance hydraulique d'une durée de 14 semaines chez 26 préadolescents au cours duquel on a utilisé la scintigraphie musculosquelettique pour évaluer les dommages aux tissus. Les chercheurs n'ont trouvé aucun signe de dommage à l'épiphyse, à l'os ou au muscle à la suite de l'entraînement à la force et ils ont conclu qu'à court terme, l'entraînement à la force concentrique sous surveillance au moyen de matériel à résistance hydraulique est sans danger et efficace chez les préadolescents de sexe masculin (Weltman et al. 1986). Lillegard et al. (1997) ont aussi analysé la sécurité des programmes d'entraînement à la force chez les sujets des deux sexes avant la puberté jusqu'au début de l'après-puberté. On a signalé une seule blessure au cours de la période d'entraînement de 12 semaines. On a considéré que la blessure, une elongation mineure du muscle de l'épaule, était accessoire et attribuable au faible ratio exercice:blessure et à la gravité de cette seule blessure (Lillegard et al. 1997). On a laissé entendre que les blessures aux cartilages de conjugaison étaient moins susceptibles de se produire au cours de l'enfance que de l'adolescence parce que les cartilages de conjugaison peuvent être en fait plus forts et plus résistants à diverses forces chez les enfants que chez les adolescents (Micheli 1988). De plus, même si l'on a établi un lien entre les sports d'entraînement à la force au niveau élite comme la gymnastique et des retards de la croissance et de la maturation squelettique, des recherches récentes ont démontré que le fait que les jeunes gymnastes sont moins grands que des sujets témoins jumelés selon l'âge découle de la sélection plutôt que d'un effet de l'entraînement sur la croissance physique parce que les athlètes moins grands sont avantagés dans ce sport (Daly et al. 2000; Erlandson et al. 2008; Gurd et Klentrou 2003).

Des études récentes semblent avoir dégagé un consensus sur les effets bénéfiques de l'entraînement à la force chez les jeunes. On a constaté non seulement que l'entraînement est bénéfique pour des muscles et des os sains en pleine croissance, mais aussi qu'il aide les enfants qui ont divers problèmes de santé ou maladies. Il y a par ailleurs de nombreuses précautions dont il faut tenir compte lors des

enfants s'entraînent à la force : la technique et le volume appropriés sont les facteurs les plus importants. Comme l'ont signalé Selvadurai et al. (2002), il ne faut pas oublier que même si l'entraînement à la force vise à accroître la force musculaire, il faut pratiquer régulièrement d'autres types d'activités physiques comme les activités cardiorespiratoires afin de maintenir des habitudes de vie saines et équilibrées, d'optimiser le temps de récupération et d'améliorer la croissance et la fonction cardiovasculaires.

L'entraînement à la force a donc de nombreux effets bénéfiques en général, et chez les enfants en particulier. Ces effets comprennent une augmentation de la force musculaire (Blimkie 1992, 1993; Falk et Tenenbaum 1996; Payne et al. 1997; Sale 1989). Il y a aussi d'autres effets bénéfiques comme une augmentation possible de la force des os, un changement souhaitable de la composition du corps et une amélioration de la motricité et de la performance sportive. La section qui suit porte avant tout sur les mécanismes physiologiques qui expliquent l'augmentation de la force musculaire et mettent en évidence les données disponibles chez les enfants et les différences connues entre les enfants et les adultes.

Mécanismes physiologiques

Il y a deux types généralement reconnus d'adaptations possibles en réaction à l'entraînement à la force et qui peuvent expliquer les gains de force observés : les adaptations morphologiques et les adaptations neurologiques. La contribution relative de ces mécanismes d'adaptation peut être différente chez les enfants, les adolescents et les adultes.

Adaptations morphologiques

L'augmentation de la grosseur des muscles, attribuable principalement à une augmentation de la grosseur des fibres, une hyperplasie possible et des changements de la composition du type de fibre et des tissus conjonctifs, ainsi que des changements structurels du muscle, sont au nombre des changements morphologiques produits par l'entraînement à la force. On entend habituellement par changements morphologiques l'augmentation ou l'hypertrophie de la masse musculaire. L'observation est courante chez les adultes, mais pas autant chez les enfants ou les adolescents. Même si l'on a démontré que l'entraînement à la force réussit à accroître la force musculaire chez les enfants et les adolescents, les augmentations de la masse musculaire signalées au cours des études étaient relativement modestes. Les programmes d'entraînement à la force ne semblent pas avoir d'effet sur l'augmentation de la taille et du poids avant l'adolescence et au début de celle-ci, tandis que les

changements de la composition du corps, compte tenu à la fois de la masse adipeuse et de la masse musculaire, sont minimales (Malina 2006; Falk et Eliakim 2003; Sadres et al. 2001). Au cours d'études portant sur l'hypertrophie musculaire totale chez les enfants et les adolescents, on a utilisé habituellement des techniques anthropométriques qui ont produit des données très limitées sur l'hypertrophie chez les adolescents (Lillegard et al. 1997), et aucune preuve d'hypertrophie musculaire chez les enfants (Blimkie 1989; Ozmun et al. 1994; Ramsay et al. 1990; Sailors et Berg 1987; McGovern 1984; Siegel et al. 1989) à la suite de l'entraînement à la force. Deux études au cours desquelles on a utilisé des méthodes de mesure plus sensibles (imagerie par résonance magnétique et échographie) ont toutefois indiqué qu'il peut vraiment y avoir hypertrophie musculaire chez les enfants qui s'entraînent à la force. Mersch et Stoboy (1989) ont utilisé l'imagerie par résonance magnétique et ont été les premiers à démontrer une augmentation de la surface transversale du quadriceps, ainsi que des augmentations de la force isométrique à l'extension du genou chez des préadolescents de sexe masculin. Deux paires de jumeaux seulement ont toutefois participé à cette étude. Par la suite, Fukunaga et al. (1992) ont utilisé l'échographie pour démontrer des augmentations de la surface transversale maigre (muscle et os) chez des élèves japonais de la première à la troisième année, des deux sexes, qui se sont entraînés à la force (flexion du coude) pendant 12 semaines, tandis qu'on a observé peu de changement chez les enfants qui ne se sont pas entraînés. La surface transversale des fléchisseurs du coude a augmenté considérablement, mais celle de l'extenseur a augmenté de la même façon, ce qui est intéressant. Étant donné la faible taille de l'échantillon utilisé au cours de l'étude de Mersch et Stoboy (1989) et les résultats de l'étude de Fukunaga et al. (1992) qui manquent un peu de cohérence, il peut être prématuré de conclure qu'il y a vraiment hypertrophie de muscles au complet chez les enfants qui s'entraînent à la force. Ces deux études présentent toutefois la possibilité d'une hypertrophie musculaire chez les enfants, même si ces modestes changements possibles peuvent être difficiles à mesurer.

Au cours des études susmentionnées, on a mesuré la surface transversale anatomique. Au cours des deux études où l'on a laissé entendre qu'il y avait hypertrophie chez les enfants (Mersch et Stoboy 1989; Fukunaga et al. 1992), comme c'est le cas dans la plupart des études portant sur l'hypertrophie chez les adultes, les augmentations de la surface transversale du muscle étaient beaucoup plus modestes que celles de la force musculaire. Autrement dit, il y a eu une augmentation de la force par unité de surface du muscle complet, qu'on appelle parfois tension spécifique au muscle. En théorie, il faudrait mesurer la surface

transversale perpendiculairement à l'axe de traction des fibres, ce qu'on appelle la surface transversale physiologique. Cette mesure est toutefois problématique et l'on n'a pas essayé de l'établir chez les enfants ou les adolescents à la suite de l'entraînement à la force.

L'augmentation de la surface transversale du muscle à la suite de l'entraînement à la force chez les adultes est attribuable principalement à l'hypertrophie des fibres musculaires individuelles (McDonagh et Davies 1984; Jones et al. 1989). La biopsie musculaire est le seul moyen d'examiner les changements de la surface transversale des fibres chez les êtres humains. Compte tenu de facteurs éthiques, on peut comprendre pourquoi ces données découlant de l'entraînement n'existent pas chez les enfants et les adolescents en bonne santé. S'il y a hypertrophie musculaire chez des enfants, c'est néanmoins attribuable principalement à l'hypertrophie des fibres qui découle de la croissance myofibrillaire (augmentation des protéines contractiles) et de la prolifération (augmentation du nombre de myofibrilles), ainsi que de l'activation de cellules satellites au début de l'entraînement à la force (Folland et Williams 2007). On n'a pas étudié ces mécanismes chez les enfants ou les adolescents.

L'hyperplasie découlant de l'entraînement à la force suscite toujours la controverse, mais on a laissé entendre qu'elle se produit chez les adultes qui suivent un tel entraînement (Appell et al. 1988; Kadi et Thornell 2000). On soutient toutefois que cette hyperplasie possible est très lente et que sa contribution aux gains de force est minime (Appell 1990). Comme il faut prélever des échantillons de muscle par biopsie afin d'étudier la question, on n'a pas étudié l'hyperplasie chez les enfants.

L'entraînement à la force a d'autres effets morphologiques possibles qui peuvent expliquer les augmentations de la force musculaire, notamment des changements des chaînes lourdes de myosine et la composition selon le type de fibre, une augmentation de la rigidité tendineuse et une élévation de l'angle de pennation musculaire. À la suite de plusieurs études, on a signalé une augmentation du nombre de fibres de type IIa et une diminution concomitante du type de fibres de type IIX chez les adultes (Campos et al. 2002; Hakkinen et al. 1998; Hather et al. 1991; Staron et al. 1990), ce qui indique des changements subtils du type de fibre. On n'a pas étudié ces changements chez les enfants ou les adolescents. On a démontré que la rigidité tendineuse augmente à la suite de l'entraînement à la force chez les adultes (Kubo et al. 2001, 2002; Reeves et al. 2003), ce qui réduit le délai électromécanique dans le muscle et accélère le développement de la force. Même si l'on a signalé que la rigidité musculo-tendineuse est moindre chez les enfants que chez les adultes au cours de certaines études (Lambertz et al. 2003) mais non dans l'ensemble de celles-ci (Cornu et Goubel 2001), on n'a pas étudié l'effet de l'entraînement à la force sur la rigidité tendineuse chez les enfants et les

adolescents. Enfin, de récentes études réalisées chez des adultes ont dégagé des preuves solides d'élévation de l'angle de pennation suivant l'entraînement à la force (Aagaard et al. 2001; Kanehisa et al. 2002; Kawakami et al. 1995; Reeves et al. 2004), ce qui permet une plus grande accumulation de myofibrilles et augmente effectivement la surface transversale physiologique. Une élévation de l'angle de pennation n'est pas nécessairement avantageuse en soi. Une augmentation de l'accumulation de myofibrilles augmenterait en fait toutefois la force musculaire puisque la plupart des muscles chez les êtres humains ont un angle de pennation beaucoup moindre que l'angle optimal de 45°. Même s'il est possible d'étudier la rigidité tendineuse et l'angle de pennation au moyen de techniques non effractives, on n'a pas analysé les effets de l'entraînement à la force sur ces caractéristiques chez les enfants.

Sans égard à leur existence possible chez les enfants, les adolescents ou les adultes, les adaptations morphologiques décrites ci-dessus expliquent un faible pourcentage seulement des augmentations observées de la force musculaire chez les enfants et les adolescents. D'autres études fondées sur des techniques sensibles s'imposent pour clarifier la contribution des diverses adaptations morphologiques aux gains de force observés chez les enfants après un entraînement à la force.

Adaptations neurologiques

Compte tenu des preuves limitées portant sur l'hypertrophie musculaire et de sa modeste contribution possible, on a attribué les gains de force chez les enfants surtout à des adaptations neurologiques. Ces adaptations sont difficiles à définir, mais on peut les considérer comme des modifications de la coordination et de l'apprentissage qui facilitent la mobilisation et l'activation des muscles nécessaires à l'exécution de tâches qui demandent une force précise (Folland et Williams 2007; Sale et al. 1983). Cette adaptation est difficile à mesurer et c'est pourquoi les adaptations neurologiques reposent principalement sur des preuves indirectes.

Chez les adultes, les preuves indirectes d'adaptations neurologiques comprennent l'augmentation disproportionnée de la force musculaire par rapport aux augmentations observées de la grosseur des muscles. C'est la même chose chez les adolescents chez lesquels on a démontré un peu d'hypertrophie, qui ne suffit toutefois pas pour expliquer l'augmentation de la force musculaire. Chez les enfants, puisqu'il y a très peu de preuves d'une augmentation de la grosseur des muscles, on déduit que les adaptations neurologiques découlent de gains de force qui ne sont pas conjugués à une hypertrophie musculaire. Dans la plupart des cas, qu'il s'agisse d'enfants, d'adolescents ou d'adultes, il y a augmentation de la tension spécifique (couple/grosseur) du muscle. Comme

l'ont signalé récemment Folland et Williams (2007), il est toutefois possible d'expliquer cette augmentation de la tension spécifique non seulement par des adaptations neurologiques, mais aussi par des adaptations morphologiques comme des augmentations de la rigidité tendineuse ou des élévations de l'angle de pennation.

Il n'y a pas eu d'études qui ont porté spécifiquement sur les adaptations neurologiques chez les adolescents. Deux études seulement ont essayé de démontrer directement les changements neurologiques chez les enfants après un entraînement à la force. Ramsay et al. (1990) ont utilisé la technique de la fibrillation interpolée pour démontrer une augmentation de 9 % et de 12 % de l'activation des unités motrices des fléchisseurs du coude et des extenseurs du genou respectivement après dix semaines d'entraînement à la force et de 3 % et 2 % de plus respectivement après une autre période de dix semaines d'entraînement. Les augmentations de la force attribuables à l'entraînement étaient néanmoins plus importantes que les augmentations concurrentes de l'activation neuromotrice. De même, Ozmun et al. (1994) ont utilisé l'amplitude électromyographique intégrée (EMGI) pour démontrer une augmentation de l'activation neuromusculaire des muscles agonistes après huit semaines d'entraînement à la force chez des préadolescents des deux sexes. Comme dans le cas de la technique de la fibrillation interpolée, l'augmentation de l'EMGI a été plus faible que celle de la force (16,8 % c. 27,8 % respectivement).

Une augmentation de l'activation des agonistes accroîtra probablement la force produite. Celle-ci pourrait toutefois découler aussi d'une diminution de l'activation des antagonistes ou d'une amélioration de la coordination intermusculaire. Plusieurs études ont démontré une coactivation plus faible des antagonistes dans le cas de la force ou de la puissance chez les athlètes adultes comparativement aux non-athlètes (Baratta et al. 1988; Osternig et al. 1986). De même, des études ont indiqué que la coactivation des antagonistes était plus faible chez les adultes que chez les enfants (Frost et al. 1997; Lambertz et al. 2003). On a démontré que l'entraînement isométrique réduit la coactivation antagoniste au cours de l'extension du genou chez les adultes (Carolan et Cafarelli 1992), mais il n'existe pas d'études comparatives chez les enfants ou les adolescents. Il est probable que ce type d'adaptation a plus d'influence sur les améliorations de la force dans le cas de mouvements complexes qui font appel à de multiples articulations que dans le cas de tâches simples qui mettent à contribution une seule articulation.

On croit que les adaptations neurologiques se produisent principalement au début de l'entraînement (Moritani 1992; Sale 1989), ce qu'appuient Ramsay et al. (1990) qui ont constaté une augmentation plus importante de l'activation des unités motrices chez les enfants au cours des dix premières semaines d'entraînement qu'au cours

des dix semaines suivantes, comme on l'a déjà indiqué. En fait, la première phase de l'entraînement comporte probablement l'apprentissage ou l'optimisation de la coordination intermusculaire (muscles agonistes, synergistes, stabilisateurs). Folland et Williams (2007) sont d'avis que l'ordre de grandeur de l'apprentissage dépend du niveau antérieur d'activité physique et de l'expérience reliée à la tâche en cause, ce qui laisse entendre que comme ils sont plus jeunes et en général moins expérimentés ou habiles dans la plupart des tâches que les adultes, les enfants montreraient des adaptations neurologiques plus importantes en réponse à l'entraînement à la force. On a mentionné en fait le concept dans le passé (Blimkie 1989; Sale et Spriet 1996) compte tenu du manque de changement morphologique observé chez les enfants. On n'a pas étudié la spécificité de l'entraînement chez les enfants. Chez les adultes, on recommande un programme d'entraînement à répétitions peu nombreuses et à charges élevées pour augmenter la force maximale. Faigenbaum et al. (1999) ont toutefois démontré que chez les enfants de cinq à 12 ans, des programmes d'entraînement à la force à répétitions élevées – faible charge et faibles répétitions – et à charge élevée produisent une amélioration semblable de la force maximale. On ne sait donc pas trop si les adaptations neurologiques liées à l'entraînement à la force chez les enfants sont spécifiques aux paramètres de l'entraînement, comme on s'attendrait que ce soit le cas chez les adultes.

Ainsi, il peut être possible d'expliquer les gains de force produits par l'entraînement chez les enfants et les adolescents en partie par l'hypertrophie musculaire, comme on les explique en grande partie, spécialement chez les enfants, par des adaptations neurologiques comme l'activation accrue d'unités motrices ou d'autres changements comme une amélioration de la coordination intermusculaire ou de l'apprentissage neuromusculaire (Kraemer et al. 1989; Ozmun et al. 1994; Ramsay et al. 1990). Ce dernier apporte probablement une contribution relative plus élevée dans les actions plus complexes faisant appel à des articulations multiples (p. ex., l'accroupissement) que dans les contractions isométriques simples (p. ex., des extenseurs du genou). Le muscle apprend à être plus efficace à cause de ce stimulus et ce n'est qu'à la puberté que l'adaptation apprise devient permanente dans le muscle hypertrophié (Malina 2006).

À cause de la rareté des constatations, d'autres recherches s'imposent pour comprendre l'effet de différents modes d'entraînement, de différents paramètres d'entraînement (volume, intensité, fréquence, durée) et l'état de la maturité des adaptations neurologiques à l'entraînement à la force chez les enfants et les adolescents, sans oublier les changements morphologiques qui peuvent accompagner ces adaptations.

Lignes directrices sur l'entraînement et facteurs dont il faut tenir compte

Les programmes d'entraînement à la force chez les jeunes doivent être prescrits et progresser avec prudence à cause des différences entre les individus aux niveaux de la maturation physique, de l'expérience de l'entraînement et de la tolérance du stress. Même s'il n'y a pas d'âge minimal obligatoire pour participer à un programme d'entraînement à la force pour les jeunes, tous les participants doivent vouloir s'entraîner à la force, pouvoir suivre les instructions de l'entraîneur et se conformer à des règles de sécurité. En général, si un enfant est prêt à participer aux sports (en général à sept ou huit ans), il peut alors être prêt à s'entraîner à la force. Il n'est pas nécessaire de soumettre des enfants apparemment en bonne santé à un examen médical préalable à la participation, mais on le recommande dans le cas des jeunes qui ont des problèmes de santé connus ou soupçonnés (p. ex., diabète, obésité, problèmes orthopédiques).

Avec un encadrement approprié à l'âge et une surveillance compétente, la participation régulière à un programme d'entraînement à la force pour les jeunes peut offrir une valeur observable pour la santé et la condition physique des jeunes garçons et filles et favoriser l'acquisition d'attitudes favorables à l'activité physique durant toute la vie. La surprescription d'entraînement à la force et les pressions excessives des entraîneurs et des parents qui poussent à performer à un niveau qui dépasse les capacités de l'intéressé peuvent toutefois aboutir au surentraînement, à des blessures ou à l'épuisement (American Academy of Pediatrics 2000; Fédération internationale de médecine sportive 1998). Lorsqu'on prescrit des programmes d'entraînement à la force, il faut tenir compte de l'état de maturation du jeune, du mode d'entraînement et de l'ampleur et de l'intensité d'autres activités. Il n'est pas rare de voir des jeunes participer à de nombreux sports ou activités, ce qui peut limiter l'adaptation positive possible de l'entraînement qui pourrait découler d'un ajout de l'entraînement à la force. L'entraînement et la participation à de multiples activités sportives et autres mettent en évidence le besoin chez les jeunes de programmes périodiques d'entraînement à la force dont le volume et l'intensité peuvent varier tout au long de la saison et de l'année. C'est pourquoi il ne faut pas imposer aux jeunes les lignes directrices sur l'exercice et les philosophies de l'entraînement pour adultes lorsqu'ils n'ont pas la maturité physique et psychologique des adultes.

La participation à un programme d'entraînement à la force destiné aux jeunes doit permettre à tous les participants d'apprendre à connaître leur corps et les bienfaits de l'exercice en résistance, d'adopter l'auto-amélioration et de se sentir bien face à leur rendement. Les programmes

d'entraînement à la force pour jeunes peuvent en outre inclure de l'éducation de base sur la nutrition appropriée, le sommeil suffisant, le conditionnement physique et, s'ils sont appropriés à l'âge, l'abus des drogues améliorant la performance. C'est pourquoi il faut bien tenir compte de la maturité cognitive et physique de chaque participant, ainsi que de ses besoins, objectifs et aptitudes individuels. Comme il a été démontré que l'agrément catalyse les effets des programmes d'activité physique chez les jeunes (Dishman et al. 2005), il ne faut pas oublier qu'il importe que l'exercice soit agréable pour tous les participants.

La conception appropriée du programme, ce qui inclut des instructions sur les bonnes techniques de levage, l'établissement approprié des variables du programme et des méthodes précises de progression jouent un rôle clé dans la conception de tout programme d'entraînement à la force pour les jeunes. Comme l'entraînement en soi ne garantit pas que l'intéressé réalisera des gains optimaux au niveau de la santé et de la condition physique, les programmes d'entraînement à la force pour les jeunes doivent être prescrits individuellement et évoluer de façon réfléchie avec le temps. Il importe de tenir compte de plusieurs aspects en particulier dans la conception de programmes d'entraînement à la force pour les jeunes, soit la qualité de l'encadrement, le type de réchauffement, le choix d'exercice, l'intensité et le volume de l'entraînement et la méthode de test. Voici un résumé des lignes directrices générales sur l'entraînement à la force chez les enfants et les adolescents :

- des professionnels qualifiés (physiologistes de l'exercice certifiés ou spécialistes certifiés de la force et du conditionnement) devraient jouer le rôle d'instructeurs et surveiller attentivement l'entraînement;
- il faut tenir compte du développement cognitif de chaque participant, de sa maturité physique et de l'expérience qu'il a de l'entraînement;
- il faut garantir que l'environnement d'exercice est sécuritaire et sans danger;
- il faut commencer chaque séance par une période de réchauffement dynamique de cinq à 10 minutes;
- il faut commencer à faire de l'entraînement à la force deux ou trois jours non consécutifs par semaine;
- il faut commencer par de huit à 12 exercices qui renforcent le haut, le bas et le milieu du corps;
- il faut exécuter au début une ou deux séries de huit à 15 répétitions avec une charge légère à modérée (environ 60 % de 1 RM) afin d'apprendre la forme et la technique appropriées;
- il faut chercher à apprendre la bonne technique d'exercice et des méthodes d'entraînement sécuritaires au lieu de l'importance de la force ou du poids levé;
- il faut inclure des exercices précis qui exigent équilibre et coordination;
- il faut évoluer graduellement vers des mouvements plus avancés qui accroissent la puissance;

- il faut se refroidir par des activités moins intensives et des étirements statiques;
- il faut varier systématiquement le programme d'entraînement avec le temps afin d'optimiser le gain et d'atténuer l'ennui.

Qualité de l'instruction

Des professionnels de la santé et du conditionnement physique qui comprennent à fond les lignes directrices sur l'entraînement à la force chez les jeunes et les méthodes de sécurité doivent donner des instructions à tous les participants et les surveiller. Les professionnels doivent en outre apprécier vraiment le caractère incomparable du développement des jeunes et pouvoir présenter aux enfants et aux adolescents de l'information d'une façon appropriée à leur niveau de compréhension. L'instructeur qualifié ne fait pas qu'améliorer la sécurité des participants : la surveillance directe des programmes d'entraînement à la force chez les jeunes peut accroître l'observation du programme et augmenter les gains de force comparativement à l'entraînement sans surveillance (Coutts et al. 2004). Même si des adultes qui ont moins d'expérience peuvent aider les professionnels à organiser et administrer des programmes d'entraînement à la force pour les jeunes, il est peu probable qu'ils pourront fournir le niveau d'encadrement et de surveillance nécessaire à l'entraînement sécuritaire et efficace. Il est très souhaitable qu'un entraîneur détienne un certificat professionnel dans le domaine de la force et du conditionnement (p. ex., physiologiste certifié de l'exercice ou spécialiste certifié de la force et du conditionnement).

Les professionnels doivent être conscients des risques inhérents associés à l'entraînement à la force et essayer de les réduire en jumelant le programme d'entraînement aux besoins et aux aptitudes de chacun. C'est particulièrement important dans le cas des enfants non entraînés qui surestiment leurs capacités physiques (Plumert et Schwebel 1997). Un programme avancé d'entraînement à la force pour un athlète adolescent ne conviendrait pas à un enfant non entraîné qui devrait avoir l'occasion d'apprendre les méthodes d'entraînement de base et simplement apprécier l'exercice. Il est toujours préférable de sous-estimer les capacités physiques de l'enfant au lieu de les surestimer et de risquer des conséquences négatives comme une blessure.

Type de réchauffement

Tous les participants doivent se réchauffer avant de s'entraîner à la force. Même s'il est courant de se réchauffer généralement par des exercices aérobiques de faible intensité et des étirements statiques avant de participer à des activités récréatives et à des événements d'athlétisme (Martens 2004; Shehab et al. 2006; Virgilio 1997), on a remis en question les croyances de longue date au sujet de la pratique de

routine que constitue l'étirement statique avant un événement (Rubini et al. 2007; Shrier 2004; Thacker et al. 2004). Les effets d'une méthode de réchauffement qui consiste à effectuer des mouvements dynamiques (p. ex., fentes, sauts, torsions et lancers) conçus pour élever la température basale du corps, améliorer l'excitabilité des unités motrices et la mémoire kinesthésique et maximiser l'ampleur active des mouvements attirent de plus en plus l'attention depuis peu (Faigenbaum et McFarland 2007; Verstegen et Williams 2004). Il convient de signaler qu'un réchauffement dynamique comporte non pas des mouvements balistiques comme des sauts, mais plutôt un étirement contrôlé de certains groupes de muscles en particulier.

Il est démontré que les protocoles de réchauffement dynamique qui exigent équilibre, coordination, puissance et vitesse améliorent la performance chez les enfants et les adolescents (Faigenbaum et al. 2005a; 2006a; 2006b; Siatras et al. 2003), tandis qu'on a démontré que les étirements statiques avant un événement réduisent la puissance des membres inférieurs et le couple isocinétique maximal chez les jeunes (McNeal et Sands 2003; Zakas et al. 2006). De plus, les méthodes de réchauffement dynamique obligent les participants à entreprendre sur-le-champ des activités de groupe et à être prêts à écouter des instructions (Graham 2001). Comme on reconnaît encore que l'étirement statique chronique constitue un élément de conditionnement physique relié à la santé dans les programmes d'éducation physique (National Association of Sport and Physical Education 2005), il est raisonnable de recommander d'exécuter des activités dynamiques au cours de la période de réchauffement et des exercices d'étirement statique qui détendent et sont moins intenses pendant le refroidissement. Ces recommandations concordent avec d'autres qui indiquent qu'il faut effectuer des étirements statiques après l'exercice (Fields et al. 2007; Shrier 2004).

Choix d'exercice

Il est possible d'utiliser un nombre illimité d'exercices pour améliorer la condition musculaire à condition que les exercices soient appropriés à la grosseur du corps d'un enfant, à son niveau de conditionnement et à son expérience des techniques d'exercice. Il est démontré que les appareils à contrepoids (tant pour enfant que pour adulte), les charges libres (barres à disques et haltères), les bandes élastiques, les ballons d'exercice et les exercices de la masse corporelle sont sans danger et efficaces pour les enfants et les adolescents (Annesi et al. 2005; Faigenbaum et Mediate 2006; Faigenbaum et al. 2005b; Falk et Mor 1996; Ramsay et al. 1990; Sadres et al. 2001; Siegel et al. 1989). Lorsqu'il faut choisir du matériel, il ne faut pas oublier que les adolescents peuvent être capables d'utiliser des machines

à contrepoids pour adultes, mais que les petits enfants ne pourront pas prendre la position appropriée sur ces gros appareils. Comme ils sont plus petits, les enfants ne peuvent habituellement utiliser du matériel pour adultes, les machines pour enfants ou autres moyens d'entraînement (p. ex., haltères ou ballons d'exercice) conviennent le plus pour les enfants de petite taille. Il est possible d'incorporer à un programme d'entraînement à la force pour jeunes des exercices qui font appel à une seule articulation (p. ex., flexion des biceps et extension des jambes) qui visent des groupes de muscles en particulier, et les exercices qui mettent à contribution de multiples articulations (p. ex., développé couché et accroupissement) et font appel de façon coordonnée à plusieurs groupes musculaires. Quel que soit l'exercice choisi, il faut exécuter les phases concentriques et excentriques de chaque levé d'une façon contrôlée et en utilisant la bonne technique.

Les jeunes qui commencent à s'entraîner à la force doivent choisir des exercices qui correspondent à leur capacité. C'est pourquoi il est raisonnable de commencer par des exercices simples et de progresser graduellement vers des exercices plus complexes à mesure que la compétence et la confiance s'améliorent. Il est possible d'incorporer dans un programme d'entraînement à la force pour jeunes des exercices avancés qui font appel à de multiples articulations, y compris des levés de type olympique (p. ex., arraché et épaulé et jeté) et épaulés, tractions et pressions modifiés (Faigenbaum et al. 2007a; Sadres et al. 2001). Avec un entraîneur qualifié et des mesures de sécurité (p. ex., environnement de levage sécuritaire, charges appropriées), les données indiquent que le risque de subir une blessure pendant l'exécution de levés de type olympique au cours des périodes d'entraînement et des compétitions d'haltérophilie est relativement faible (Byrd et al. 2003; Hamill 1994; Pierce et al. 1999). Néanmoins, les levés de type olympique comportent un mode d'activation nerveuse plus complexe et c'est pourquoi les participants doivent apprendre à exécuter ces levés tôt au cours de la séance d'entraînement avec une charge relativement légère (p. ex., gougeons en bois ou barres à disques sans charge) afin d'acquérir la coordination et les techniques nécessaires sans ressentir de fatigue induite. Comme on reconnaît en général que les adaptations neurologiques ou d'apprentissage constituent le principal facteur qui contribue aux gains de force au cours de la préadolescence, il peut être permis d'évoluer vers des mouvements coordonnés plus complexes, y compris des levés de type olympique, au cours de cette période de développement afin d'améliorer peut-être l'organisation neuromusculaire.

L'entraînement pliométrique ou exercice à cycles d'étirement et de raccourcissement peut être sans danger et efficace pour améliorer la puissance musculaire chez les enfants et les adolescents, à condition qu'ils suivent

l'entraînement et les lignes directrices appropriées (Brown et al. 1986; Kotzamanidis 2006; Lephart et al. 2005; Marginson et al. 2005; Matavulj et al. 2001; Diallo et al. 2001). Les recommandations antérieures sur l'entraînement pliométrique chez les adultes (c.-à-d. que l'athlète doit pouvoir porter au moins 1,5 fois le poids de son corps en s'accroupissant avant d'effectuer des exercices pliométriques du bas du corps (Potach et Chu 2000) peuvent avoir nui à l'implantation de l'entraînement pliométrique chez les jeunes. Même si ces recommandations pour les adultes peuvent être appropriées pour l'entraînement pliométrique de haute intensité ou de grande amplitude, les enfants et les adolescents effectuent régulièrement des exercices pliométriques : ils sautent à la corde, sautillent à cloche-pied, courent, bondissent et sautent, par exemple.

L'entraînement pliométrique consiste habituellement à faire des exercices basés sur le saut de la masse corporelle et le lancement du ballon d'exercice effectués rapidement et de façon explosive. L'entraînement pliométrique conditionne le système neuromusculaire à réagir plus rapidement au cycle étirement-raccourcissement. Ce type d'entraînement peut donc améliorer la capacité d'un jeune athlète à accroître la vitesse de ses mouvements et sa puissance (Chu et al. 2006).

Les jeunes doivent commencer l'entraînement pliométrique par des séries moins intenses (p. ex., saut sur les deux jambes) et progresser graduellement vers des séries plus avancées (p. ex., saut sur une seule jambe) à mesure qu'ils s'améliorent et prennent confiance en eux. Des études indiquent qu'il faut relativement peu de répétitions (c.-à-d. ≤ 10) de chaque exercice pliométrique pour produire des gains importants de performance attribuables à l'entraînement (Lephart et al. 2005; Myer et al. 2005; Matavulj et al. 2001). L'entraînement pliométrique doit se dérouler sur des surfaces souples (p. ex., plancher de gymnase ou terrain de jeu) et le début de l'entraînement doit porter avant tout sur la bonne position athlétique et sur la bonne façon d'atterrir. Comme l'entraînement pliométrique ne doit pas constituer un programme d'exercice indépendant, la meilleure façon de procéder consiste à intégrer ce type d'entraînement dans un programme complet qui inclut aussi d'autres types d'entraînement à la force et de conditionnement (Faigenbaum et al. 2007b; Ingle et al. 2006; Myer et al. 2005).

Il faut aussi intégrer des exercices qui exigent de l'équilibre dans les programmes d'entraînement à la force pour les jeunes puisque l'équilibre est essentiel pour optimiser la performance et prévenir les blessures sportives (Verhagen et al. 2005). Chez les adultes, l'équilibre est relié à la capacité d'exercer force et puissance et c'est pourquoi la capacité de garder ou de contrôler une position du corps peut améliorer les adaptations neuromusculaires découlant de

l'entraînement à la force (Anderson et Behm 2004). On adopte habituellement une stratégie de raidissement qui réduit l'amplitude et la fréquence des mouvements volontaires lorsque les participants adultes font face à une menace d'instabilité (Adkin et al. 2002; Carpenter et al. 2001). Un programme d'entraînement à la force comportant des exercices qui pourraient améliorer la stabilité ou l'équilibre pourrait donc améliorer par la suite la force produite, la puissance et la coordination. Pour appuyer ces observations, on a signalé des liens importants entre la performance sur patins et le test d'équilibre sur disque d'équilibre statique chez des jeunes de moins de 19 ans. (Behm et al. 2005b).

Comme l'équilibre et la coordination ne sont pas entièrement développés chez les enfants (Payne et Isaacs 2005), l'entraînement à l'équilibre peut être particulièrement bénéfique pour réduire le risque de blessure pendant l'entraînement à la force, en particulier à la région lombaire. De nombreuses études portant sur des adultes ont démontré une augmentation de l'activation des muscles du tronc lorsqu'ils se livrent à des activités sur une surface instable plutôt que stable (Anderson et Behm 2005; Behm et al. 2005a). L'avantage de l'entraînement sur une surface instable, c'est qu'il est possible de parvenir à une activation élevée sans avoir à utiliser de lourdes charges comme contrepoids (Anderson et Behm 2004; Behm et al. 2005a). Lorsqu'on intègre l'entraînement à l'équilibre dans le programme d'entraînement à la force d'un enfant ou d'un adolescent, les exercices doivent évoluer des simples activités d'équilibre statique sur surface stable à l'entraînement jusqu'à l'instabilité statique plus complexe où l'on fait usage notamment de disques d'équilibre, de ballons BOSU (« both sides up ») et de ballons de stabilité (Behm et Anderson 2006). Avec le temps, on peut rendre le programme plus difficile en modifiant le point d'appui, le moment ou l'effet de levier de la partie du corps en cause, la forme du mouvement ou sa rapidité.

Intensité et volume de l'entraînement

L'intensité de l'entraînement à la force s'entend du poids levé pendant l'exécution d'un exercice, tandis qu'on estime habituellement le volume à partir du nombre d'exercices effectués par séance, des répétitions par série et du nombre de séries exécutées par exercice. L'intensité et le volume de l'entraînement ont un effet direct sur les adaptations et dépendent d'autres facteurs comme l'ordre des exercices, la vitesse des répétitions et la durée de la période de repos (Kraemer et Ratamess 2004).

Des combinaisons différentes de séries et de répétitions variant des programmes à une seule série exécutée avec une charge modérée (Westcott 1992) jusqu'aux régimes

d'entraînement progressif comportant de trois à cinq séries et des charges variant de 70 % à 85 % de 1RM se sont révélées sans danger et efficaces pour les jeunes (Ramsay et al. 1990). Même s'il n'y a pas de combinaison unique de séries et de répétitions qui sera optimale pour tous les participants, une approche raisonnable consiste à commencer l'entraînement à la force par une ou deux séries de huit à 15 répétitions avec une charge modérée (de 30 % à 60 % de 1 RM) de huit à 12 exercices. On recommande une fréquence d'entraînement d'au moins deux jours non consécutifs par semaine, car l'entraînement à la force une seule fois par semaine peut produire des adaptations non optimales (Faigenbaum et al. 2002). Ce type de programme permettra aux débutants d'apprendre les bonnes techniques de levé en maximisant les gains de force musculaire (Faigenbaum 2000; Kraemer et Fleck 2005).

Les jeunes qui ont de l'expérience de l'entraînement à la force peuvent progresser graduellement vers des séances plus intensives ou volumineuses et viser des objectifs précis (c.-à-d. force, puissance, hypertrophie ou endurance musculaire). L'exécution de trois séries avec des charges plus lourdes (p. ex., 6-10 RM) jusqu'à la fatigue volontaire peut servir, par exemple, à accroître la force maximale au cours d'exercices visant des groupes de gros muscles (p. ex., développé des jambes ou développé couché). Selon les buts du programme et les aptitudes de chacun, il est possible de progresser aussi en accélérant les mouvements dans l'exécution de certains exercices (c.-à-d. exercices pliométriques et levés de type olympique). Il importe de noter qu'il n'est pas nécessaire d'effectuer le même nombre de séries et de répétitions de chaque exercice, et que dans certains cas, un entraînement moins intense peut produire la variation recherchée dans des programmes d'entraînement athlétique de longue durée.

Même si d'autres études sur l'entraînement à long terme s'imposent pour explorer les effets de différents programmes d'entraînement à la force chez les jeunes, la meilleure stratégie consiste à varier le programme d'entraînement à la force avec le temps pour en maintenir le caractère stimulant et efficace. Cela ne signifie pas que chaque séance d'entraînement doit être plus intensive ou volumineuse que la précédente: il faut plutôt varier systématiquement le programme avec le temps afin de stimuler d'autres adaptations et de maximiser les gains (Kraemer et al. 2002). À long terme, une variation du programme comportant des périodes de récupération adéquates entre les séances permettront aux enfants et aux adolescents de réaliser des gains encore plus importants parce que leur corps pourra s'adapter à des exigences encore plus grandes (Bompa 2000; Kraemer et Fleck 2005).

Méthode de test

Les épreuves à l'effort permettent aux professionnels d'évaluer les niveaux de la force au départ, de déterminer les déséquilibres musculaires, d'élaborer des programmes personnalisés et de suivre les progrès. En outre, présentées et administrées comme il se doit, les épreuves à l'effort peuvent inciter les jeunes participants à s'entraîner à la force régulièrement afin de se renforcer. Même s'il y a toutes sortes de façons d'évaluer la force musculaire chez les enfants et les adolescents (Gaul 1996), les chercheurs ont utilisé habituellement le levé de la charge maximale (p. ex., 1RM), levé de RM relativement élevé (p. ex., 10 RM) et des tests isocinétiques maximaux afin d'évaluer la force musculaire chez les jeunes (Benson et al. 2007; Faigenbaum et al. 2003; Lillegard et al. 1997; Pfeiffer et Francis 1986; Ramsay et al. 1990). On n'a pas signalé de blessures au cours des études prospectives portant sur l'entraînement à la force chez les jeunes qui ont comporté des épreuves à l'effort. Il faut signaler que les épreuves à l'effort dans les rapports susmentionnés ont comporté un réchauffement adéquat, une évolution graduelle des charges et des instructions et une supervision compétente et rapprochée.

Même si les épreuves à l'effort ne sont pas obligatoires pour participer à un programme d'entraînement à la force destiné aux jeunes, les professionnels qui ont de l'expérience des épreuves chez les jeunes peuvent les administrer pour évaluer les gains de force et d'endurance musculaires produits par l'entraînement. Même si les mesures sur le terrain (p. ex., traction ou traction modifiée) conviennent pour tester un groupe important d'enfants (p. ex., cours d'éducation physique), les épreuves à l'effort peuvent produire de l'information plus utile pour les professionnels qui ont besoin d'évaluer la force chez des jeunes entraînés (p. ex., programme de sports pour les jeunes). Il convient de signaler que les épreuves à l'effort consomment beaucoup de main-d'œuvre, prennent du temps et exigent une supervision qualifiée et rapprochée. Il ne faut jamais effectuer d'épreuves à l'effort sans supervision et mal les exécuter à cause du risque de blessure.

Risques et préoccupations

Le risque de blessure aux cartilages de conjugaison constitue une préoccupation traditionnelle associée à l'entraînement à la force chez les jeunes. Ce genre de blessure est certes possible si l'on ne suit pas les directives appropriées sur l'entraînement (Gumbs et al. 1982; Jenkins et Mintowt-Czyz 1986), mais on n'a pas signalé de fracture du cartilage de conjugaison au cours d'aucune étude prospective sur l'entraînement à la force chez les jeunes qui a été supervisée avec compétence et

évaluée de la façon appropriée. Si l'on apprend aux enfants et aux adolescents à s'entraîner à la force de la bonne façon, il semble que le risque de blessure aux cartilages de conjugaison soit minime. De plus, des données indiquent que la participation régulière à un programme d'entraînement à la force bien conçu n'a pas d'effet négatif sur la croissance ou la maturation des jeunes (Falk et Eliakim 2003; Malina 2006). Les appréhensions traditionnelles associées à l'entraînement à la force chez les jeunes ont cédé la place à des constatations plus récentes qui indiquent que la participation régulière à des activités physiques visant les articulations importantes est essentielle à la croissance et au développement normal des os (Bass 2000; Vicente-Rodriguez 2006).

Il semble que la plus grande préoccupation dans le cas des enfants et des adolescents qui s'entraînent à la force découle du risque de blessure attribuable à une surutilisation de tissus mous, particulièrement dans la région lombaire (Brady et al. 1982; Brown et Kimball 1983; Risser et al. 1990). Ces observations concordent avec d'autres données qui indiquent que la lombalgie constitue le principal problème de l'appareil locomoteur chez les adultes de l'Amérique du Nord (Coyte et Ashe 1998). Comme une musculature faible, de mauvaises techniques de levage ou des programmes d'entraînement à la force mal conçus peuvent expliquer ces observations, du moins en partie, les professionnels doivent connaître les risques inhérents associés à l'entraînement à la force et essayer de les réduire en donnant des instructions appropriées et en concevant bien les programmes. C'est pourquoi les professionnels doivent inclure, comme mesure de prévention, des exercices de renforcement progressif des hanches, de l'abdomen et de la région lombaire dans les programmes d'entraînement à la force chez les jeunes.

N'importe quel genre d'activité physique comporte un certain risque de traumatisme de l'appareil locomoteur, mais il est possible de réduire au minimum le risque de blessure causée par l'entraînement à la force en utilisant une surcharge appropriée, suivant une évolution graduelle, choisissant bien les exercices et les périodes adéquates de récupération entre les séances d'entraînement. Il convient de signaler que les jeunes ne doivent pas s'entraîner à la force seuls et sans les conseils de professionnels qualifiés et, lorsque c'est approprié, un parent doit se trouver à proximité en cas d'échec d'une répétition. Il faut traiter chaque participant comme un individu parce que la tolérance du stress varie chez les enfants et les adolescents du même âge. En prescrivant un programme d'entraînement à la force qui dépasse la capacité d'un enfant, on risque de saboter l'agrément de l'expérience que constitue l'entraînement et d'accroître le risque de blessure aiguë ou causée par l'usage excessif. Une supervision par une personne qualifiée, un programme conçu en fonction de l'âge, du matériel

d'exercice sécuritaire et la propreté de l'environnement d'entraînement sont primordiaux.

Conclusions

En résumé, il est possible de mettre en œuvre pour les jeunes un programme d'entraînement à la force surveillé et encadré comme il se doit qui utilise du matériel de la taille appropriée, comporte des exercices qui ne dépassent pas la capacité de l'enfant ou de l'adolescent et prévoit des progrès graduels. Il est bien connu que l'on optimise la croissance et le développement de l'appareil locomoteur lorsqu'on lui impose des surcharges progressives. L'entraînement à la force est une activité qui peut produire ces résultats, tandis que d'autres activités sportives ou récréatives qui comportent des mouvements dynamiques de la masse corporelle pendant des périodes prolongées peuvent aussi produire des adaptations positives. La complexité des exercices d'entraînement à la force peut varier des exercices simples basés sur le déplacement de la masse du corps, les haltères ou les machines jusqu'aux techniques plus avancées comme l'entraînement pliométrique, les dispositifs d'entraînement à la force basés sur l'instabilité et les levés de type olympique. Les adaptations physiologiques reliées à l'entraînement comprennent les adaptations neurologiques qui mettent l'accent sur l'apprentissage et la coordination où les preuves d'hypertrophie musculaire sont limitées. D'autres recherches s'imposent toutefois sur les mécanismes physiologiques des gains de force réalisés chez les enfants et les adolescents à la suite de l'entraînement à la force. Les mécanismes comprennent notamment l'hypertrophie musculaire, l'hyperplasie, la transformation des types de fibre, les changements de la rigidité des tendons, l'angle de pennation, la mobilisation d'unités motrices, l'activation musculaire et les co-contractions antagonistes. Un programme d'entraînement à la force chez les enfants et les adolescents peut non seulement améliorer la force musculaire, l'endurance, la puissance et l'équilibre, mais des données indiquent aussi que ces programmes améliorent la composition du corps et la motricité, ainsi que la performance fonctionnelle chez les personnes atteintes de fibrose kystique et de paralysie cérébrale, ainsi que chez les brûlés.

Remerciements

La rédaction de cette prise de position a été rendue possible grâce à une subvention d'éducation sans restriction que la Société canadienne de la physiologie de l'exercice a reçue de Merck Frosst.

Références

- Aagaard, P., Andersen, J.L., Dyhre-Poulsen, P., Leffers, A.M., Wagner, A., Magnusson, S.P., Halkjaer-Kristensen, J. et Simonsen, E.B. 2001. A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *J. Physiol.* 534: 613-623. doi:10.1111/j.1469-7793.2001.t01-1-00613.x. PMID:11454977.
- Adkin, A.L., Frank, J.S., Carpenter, M.G. et Peysar, G.W. 2002. Fear of falling modifies anticipatory postural control. *Exp. Brain Res.* 143: 160-170. doi:10.1007/s00221-001-0974-8. PMID:11880892.
- American Academy of Pediatrics. 2000. Intensive training and specialization in young athletes. *Pediatrics*, **106**: 154-157. doi:10.1542/peds.106.1.154. PMID:10878168.
- American Academy of Pediatrics. 2001. Strength training by children and adolescents. *Pediatrics*, **107**: 1470-1472.
- American College of Sports Medicine. 2006. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 7^e éd. Lippincott, Williams et Wilkins, Philadelphie, Penn.
- Anderson, K.G. et Behm, D.G. 2004. Maintenance of EMG activity and loss of force output with instability. *J. Strength Cond. Res.* **18**: 637-640. doi:10.1519/1533-4287(2004)18<637:M0EAAAT>2.0.00;2. PMID:15320684.
- Anderson, K. et Behm, D.G. 2005. Trunk muscle activity increases with unstable squat movements. *J. Can. Physiol. Appl.* **30**: 33-45. PMID:15855681.
- Annesi, J.J., Westcott, W.L., Faigenbaum, A.D. et Unruh, J. 2005. Effects of a 12-week physical activity protocol delivered by YMCA after-school counselors (Youth Fit for Life) on fitness and self-efficacy changes in 5-12 year old boys and girls. *Res. Q. Exerc. Sport*, **76**: 468-476. PMID:16739685.
- Appell, H.J. 1990. Muscular atrophy following immobilisation. A review. *Sports Med.* **10**: 42-58. PMID:2197699.
- Appell, H.J., Forsberg, S. et Hohmann, W. 1988. Satellite cell activation in human skeletal muscle after training: evidence for muscle fiber neof ormation. *Int. J. Sports Med.* **9**: 297-299. PMID:3182162.
- Baratta, R., Solomonow, M., Zhou, B.H., Letson, D., Chuinard, R. et D'Ambrosia, R. 1988. Muscular coactivation. The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *Am. J. Sports Med.* **16**: 113-122. doi:10.1177/036354658801600205. PMID:3377094.
- Bass, S.L. 2000. The prepubertal years: a uniquely opportune stage of growth when the skeleton is most responsive to exercise? *Sports Med.* **30**:73-78. doi:10.2165/00007256-200030020-00001.
- Bass, S., Pearce, G., Bradney, M., Hendrich, E., Delmas, P.D., Harding, A. et Seeman, E. 1998. Exercise before puberty may confer Residual benefits in bone density in adulthood: studies in active prepubertal and retired female gymnasts. *J. Bone Miner. Res.* **13**: 500-507. doi:10.1359/jbmr.1998.13.3.500. PMID:9525351.
- Behm, D.G. et Anderson, K. 2006. The role of instability with resistance training. *J. Strength Cond. Res.* **20**: 716-722. doi:10.1519/R-18475.1. PMID:16937988.
- Behm, D.G., Leonard, A., Young, W., Bonsey, A. et MacKinnon, S. 2005a. Trunk muscle EMG activity with unstable and unilateral exercises. *J. Strength Cond. Res.* **19**: 193-201. doi:10.1519/1533-4287(2005)19<193:TMEAWU>2.0.CO;2. PMID:15705034.
- Behm, D.G., Wahl, M.J., Button, D.C., Power, K.E. et Anderson, K.G. 2005b. Relationship between hockey skating speed and selected performance measures. *J. Strength Cond. Res.* **19**: 326-331. doi:10.1519/R-14043.1. PMID:15903370.
- Benson, A.C., Torode, M.E. et Fiatarone Singh, M.A. 2007. A rational and method for high-intensity progressive resistance training with children and adolescents. *Contemp. Clin. Trials*, **28**: 442-450. doi:10.1016/j.cct.2006.11.004. PMID:17185043.
- Blimkie, C.J. 1989. Age and sex-associated variation in strength during childhood: anthropometric, morphologic, neurologic, biomechanical, endocrinologic, genetic, and physical activity correlates. *In Perspectives in exercise science and sports medicine: youth, exercise and sports.* Vol. 2. Edited by C.V. Gisolfi. Benchmark Press, Indianapolis, hid. pp. 99-163.
- Blimkie, C.J. 1992. Resistance training during pre- and early puberty: efficacy, trainability, mechanisms, and persistence. *J. Can. Sci. Sport* **17**: 264-279. PMID:1330264.
- Blimkie, C.J. 1993. Resistance training during preadolescence. *Sports Med.* **15**: 389-407. doi:10.2165/00007256-199315060-00004. PMID:8341873.
- Blimkie, C.J.R., Martin, J., Ramsay, J., Sale, D. et MacDougall, D. 1989. The effects of detraining and maintenance weight training on strength development in prepubertal boys. *J. Can. Sci. Sport* **14**: 104P.
- Blimkie, C.J.R., Rice, S., Webber, C.E., Martin, J., Levy, D. et Gordon, C.L. 1996. Effects of resistance training on bone mineral content and density in adolescent females. *J. Can. Physiol. Pharmacol.* **74**: 1025-1033. doi:10.1139/cjpp-74-9-1025. PMID:8960394.
- Bompa, T. 2000. Total training for young champions. Human Kinetics, Champaign, Ill.
- Bonjour, J.P., Theintz, G., Buchs, B., Slosman, D. et Rizzoli, R. 1991. Critical years and stages of puberty for spinal and femoral bone mass accumulation during adolescence. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* **73**: 555-563. PMID:1874933.
- Brady, T.A., Cahill, B.R. et Bodnar, L.M. 1982. Weight training-related injuries in the high school athlete. *Am. J. Sports Med.* **10**: 1-5. doi:10.1177/036354658201000101. PMID:6459035.
- British Association of Sport and Exercise Science. 2004. BASES position statement on guidelines for resistance exercise in young people. *J. Sport Sci.* **22**: 383-390. doi:10.1080/02640410310001641629.
- Brown, E.W. et Kimball, R.G. 1983. Medical history associated with adolescent powerlifting. *Pediatrics*, **72**: 636-644. PMID:6634267.
- Brown, M., Mayhew, J. et Boleach, L. 1986. Effect of plyometric training on vertical jump performance in high school basketball players. *J. Sports Med.* **26**: 1-4.
- Byrd, R., Pierce, K., Rielly, L. et Brady, J. 2003. Young weightlifters' performance across time. *Sports Biomech.* **2**: 133-140. doi:10.1080/14763140308522812. PMID:14658250.
- Campos, G.E., Luecke, T.J., Wendeln, H.K., Toma, K., Hagerman, F.C., Murray, T.F., et al. 2002. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repe-

- tion maximum training zones. *Eur. J. Appl. Physiol.* **88**: 50-60. doi:10.1007/s00421-002-0681-6. PMID:12436270.
- Carolan, B. et Cafarelli, E. 1992. Adaptations in coactivation after isometric resistance training. *J. Appl. Physiol.* **73**: 911-917. PMID:1400055.
- Carpenter, M.G., Frank, J.G., Silcher, C.P. et Peysar, G.W. 2001. The influence of postural threat on the control of upright stance. *Exp. Brain Res.* **138**: 210-218. doi:10.1007/s002210100681. PMID:11417462.
- Christou, M., Smilios, I., Sotiropoulos, K., Volaklis, K., Piliandis, T. et Tokmakidis, S. 2006. Effects of resistance training on the physical capacities of adolescent soccer players. *J. Strength Cond. Res.* **20**: 783-791. doi:10.1519/R-17254.1. PMID:17194231.
- Chu, D., Faigenbaum, A. et Falkel, J. 2006. Progressive plyometrics for kids. Healthy Learning, Monterey, Calif.
- Conroy, B.P., Kraemer, W.J., Maresh, C.M., Fleck, S.J., Stone, M.H., Fry, A.C., et al. 1993. Bone mineral density in elite junior Olympic weightlifters. *Med. Sci. Sports Exerc.* **25**: 1103-1109. PMID:8231753.
- Cornu, C. et Goubel, F. 2001. Musculo-tendinous and joint elastic characteristics during elbow flexion in children. *Clin. Biomech. (Bristol, Avon)*, **16**: 758-764. doi:10.1016/S0268-0033(01)00076-6. PMID:11714553.
- Coutts, A.J., Murphy, A.J. et Dascombe, B.J. 2004. Effect of direct supervision of a strength coach on measures of muscular strength and power in young rugby league players. *J. Strength Cond. Res.* **18**: 316-323. doi:10.1519/R-12972.1. PMID:15142000.
- Coyte, P.C. et Ashe, C.V. 1998. The economic cost of musculoskeletal disorders in Canada. *Arthritis Care Res.* **11**: 315-325. doi:10.1002/art.1790110503. PMID:9830876.
- Daly, R.M., Rich, P.A., Klein, R. et Bass, S.L. 2000. Short stature in competitive prepubertal and early pubertal male gymnasts: the result of selection bias or intense training? *J. Pediatr.* **137**: 510-516. doi:10.1067/mpd.2000.109004. PMID:11035830.
- Damiano, D.L., Vaughan, C.L. et Abel, M.F. 1995. Muscle response to heavy resistance exercise in children with spastic cerebral palsy. *Dev. Med. Child Neurol.* **37**: 731-739. PMID:7672470.
- Diallo, O., Dore, E., Duche, P., et Van Praagh, E. 2001. Effects of plyometric training followed by a reduced training programme on physical performance in prepubescent soccer players. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, **41**: 342-348. PMID:11533565.
- Dishman, R.K., Motl, R.W., Saunders, R., Felton, G., Ward, D.S., Dowda, M. et Pate, R.R. 2005. Enjoyment mediates effects of a school-based physical-activity intervention. *Med. Sci. Sports Exerc.* **37**: 478-487. doi:10.1249/01.MSS.0000155391.62733.A7. PMID:15741848.
- Dodd, K.J., Taylor, N.F. et Graham, H.K. 2003. A randomized clinical trial of strength training in young people with cerebral palsy. *Dev. Med. Child Neurol.* **45**: 652-657. doi:10.1017/S0012162203001221. PMID:14515935.
- Erlanson, M.C., Sherar, L.B., Mirwald, R.L., Maffulli, N. et Baxter-Jones, A.D. 2008. Growth and maturation of adolescent female gymnasts, swimmers, and tennis players. *Med. Sci. Sports Exerc.* **40**: 34-42. PMID:18182934.
- Faigenbaum, A.D. 2000. Strength training for children and adolescents. *Clin. Sports Med.* **19**: 593-619. doi:10.1016/S0278-5919(05)70228-3. PMID:11019731.
- Faigenbaum, A. 2007. Resistance training for children and adolescents: Are there health outcomes? *Am. J. Lifestyle Med.* **1**: 190200. doi:10.1177/1559827606296814.
- Faigenbaum, A. et McFarland, J. 2007. Guidelines for implementing a dynamic warm-up for physical education. *J. Phys. Ed. Rec. Dance*, **78**: 25-28.
- Faigenbaum, A. et Mediate, P. 2006. The effects of medicine ball training on fitness performance of high school physical education students. *Phys. Ed.* **63**: 160-167.
- Faigenbaum, A., Zaichkowsky, L., Westcott, W., Micheli, L. et Fehlandt, A. 1993. The effects of twice-per-week strength training program on children. *Pediatr. Exerc. Sci.* **5**: 339-346.
- Faigenbaum, A.D., Westcott, W.L. et Micheli, L.J. 1996a. The effects of strength training and detraining on children. *J. Strength Cond. Res.* **10**: 109-114. doi:10.1519/1533-4287(1996)010<0109:TEOSTA>2.3.00;2.
- Faigenbaum, A.D., Kraemer, W.J., Cahill, B., Chandler, J., Dziados, J., Elfrink, L.D., et al. 1996b. Youth resistance training: position statement paper and literature review. *Strength et Conditioning Journal*, **18**(Dec.): 62-75.
- Faigenbaum, A.D., Westcott, W.L., Loud, R.L. et Long, C. 1999. The effects of different resistance training protocols on muscular strength and endurance development in children. *Pediatrics*, **104**: e5. doi:10.1542/peds.104.1.e5. PMID:10390291.
- Faigenbaum, A.D., Loud, R.L., O'Connell, J., Glover, S., O'Connell, J. et Westcott, W. 2001. Effects of different resistance training protocols on upper body strength and endurance development in children. *J. Strength Cond. Res.* **15**: 459-465. doi:10.1519/1533-4287(2001)015<0459:EODRTP>2.0.CO;2. PMID:11726257.
- Faigenbaum, A.D., Milliken, L.A., Loud, R.L., Burak, B.T., Doherty, C.L. et Westcott, W.L. 2002. Comparison of 1 and 2 days per week of strength training in children. *Res. Q. Exerc. Sport*, **73**: 416-424. PMID:12495243.
- Faigenbaum, A.D., Milliken, L.A. et Westcott, W.L. 2003. Maximal strength testing in healthy children. *J. Strength Cond. Res.* **17**: 162-166. doi:10.1519/1533-4287(2003)017<0162:MSTIHC>2.0.CO;2. PMID:12580672.
- Faigenbaum, A.D., Bellucci, M., Bernieri, A., Bakker, B. et Hoorens, K. 2005a. Acute effects of different warm-up protocols on fitness performance in children. *J. Strength Cond. Res.* **19**: 376-381. doi:10.1519/R-15344.1. PMID:15903378.
- Faigenbaum, A., Milliken, L., Moulton, L. et Westcott, W. 2005b. Early muscular fitness adaptations in children in response to two different resistance training regimens. *Pediatr. Exerc. Sci.* **17**: 237-248.
- Faigenbaum, A., Kang, J., McFarland, J., Bloom, J., Magnatta, J., Ratamess, N. et Hoffman, J. 2006a. Acute effects of different warm-up protocols on anaerobic performance in teenage athletes. *Pediatr. Exerc. Sci.* **17**: 64-75.
- Faigenbaum, A.D., McFarland, J.E., Schwerdtman, J.A., Ratamess, N.A., Kang, J. et Hoffman, J.R. 2006b. Dynamic warm-up protocols, with and without a weighted vest et fitness performance in high school female athletes. *J. Athl. Train.* **41**: 357-363. PMID:17273458.

- Faigenbaum, A., McFarland, J., Johnson, L., Kang, J., Bloom, J., Ratamess, N. et Hoffman, J. 2007a. Preliminary evaluation of an after-school resistance training program for improving physical fitness in middle-school-aged boys. *Percept. Motor Skill*. **104**: 407-415.
- Faigenbaum, A., McFarland, J., Keiper, F., Tevlin, W., Kang, J., Ratamess, N. et Hoffman, J. 2007b. Effects of a short term plyometric and resistance training program on fitness performance in children age 12 to 15 years. *J. Sports Sci. Med.* **6**: 519-525.
- Falk, B. et Eliakim, A. 2003. Resistance training, skeletal muscle and growth. *Pediatr. Endocrinol Rev.* **1**: 120-127. PMID:16437017.
- Falk, B. et Mor, G. 1996. The effects of resistance and martial arts training in 6- to 8-year old boys. *Pediatr. Exerc. Sci.* **8**: 48-56.
- Falk, B. et Tenenbaum, G. 1996. The effectiveness of resistance training in children. A meta-analysis. *Sports Med.* **22**: 176-186. PMID:8883214.
- Fields, K., Burnworth, C. et Delaney, M. 2007. Should athletes stretch before exercise? *Gatorade Sports Sci. Inst. Sports Sci. Exchange*, **20**: 1-6.
- Folland, J.P. et Williams, A.G. 2007. The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med.* **37**: 145-168. doi:10.2165/00007256-200737020-00004. PMID:17241104.
- Frost, G., Dowling, J., Dyson, K. et Bar-Or, O. 1997. Cocontraction in three age groups of children during treadmill locomotion. *J. Electromyogr. Kinesiol.* **7**: 179-186. doi:10.1016/S1050-6411(97)84626-3.
- Fukunaga, T., Funato, K. et Ikegawa, S. 1992. The effects of resistance training on muscle area and strength in prepubescent age. *Ann. Physiol. Anthropol.* **11**: 357-364. PMID:1642736.
- Gaul, C. 1996. Muscular strength and endurance. *Dans Measurement in pediatric exercise science. Dirigé par D. Docherty.* Human Kinetics, Champaign, Ill. pp. 225-254.
- Golan, R., Falk, B., Hoffman, J., Hochberg, Z., Ben-Sira, D. et Barak, Y. 1998. Resistance training for children and adolescents. Position statement by the International Federation of Sports Medicine (FIMS). *Dans Sports and Children. Dirigé par K.M. Chan et L.J. Micheli.* Williams & Wilkins Asia-Pacific Ltd., Hong Kong. pp. 265-270.
- Graham, G. 2001. Teaching children physical education. 2^e éd. Human Kinetics, Champaign, Ill.
- Gumbs, V.L., Segal, D., Hallihan, J.B. et Lower, G. 1982. Bilateral distal radius and ulnar fractures in adolescent weight lifters. *Am. J. Sports Med.* **10**: 375-379. doi:10.1177/036354658201000612. PMID:7180959.
- Gurd, B. et Klentrou, P. 2003. Physical and pubertal development in young male gymnasts. *J. Appl. Physiol.* **95**: 1011-1015. PMID:12807895.
- Hakkinen, K., Newton, R.U., Gordon, S.E., McCormick, M., Volek, J.S., Nindl, B.C., et al. 1998. Changes in muscle morphology, electromyographic activity et force production characteristics during progressive strength training in young and older men. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **53**: B415-B423. PMID:9823737.
- Hamill, B. 1994. Relative safety of weight lifting and weight training. *J. Strength Cond. Res.* **8**: 53-57. doi:10.1519/1533-4287(1994)008<0053:RSOWAW>2.3.00;2.
- Hansen, M.A., Overgaard, K., Riis, B.J. et Christiansen, C. 1991. Role of peak bone mass and bone loss in postmenopausal osteoporosis: 12 year study. *BMJ*, **303**: 961-964. PMID:1954420.
- Hass, C.J., Feigenbaum, M.S. et Franklin, B.A. 2001. Prescription of resistance training for healthy populations. *Sports Med.* **31**: 953-964. doi:10.2165/00007256-200131140-00001. PMID:11735680.
- Hather, B.M., Tesch, P.A., Buchanan, P. et Dudley, G.A. 1991. Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiol. Scand.* **143**: 177-185. PMID:1835816.
- Heinonen, A., Sievanen, H., Kannus, P., Oja, P., Pasanen, M. et Vouri, I. 2000. High-impact exercise and bones of growing girls: a 9-month control trial. *Osteoporos. Int.* **11**: 1010-1017. doi:10.1007/s001980070021. PMID:11256891.
- Ingle, L., Sleep, M. et Tolfrey, K. 2006. The effect of a complex training and detraining programme on selected strength and power variables in early prepubertal boys. *J. Sports Sci.* **24**: 987-997. doi: 10.1080/02640410500457117. PMID:16882633.
- Fédération internationale de médecine sportive. 1998. Excessive physical training in children and adolescents. *Dans Sports and children. Rédigé par K. Chan et L. Micheli.* Williams and Wilkins Asia-Pacific, Ltd., Hong Kong. pp. 271-275.
- Jenkins, N.H. et Mintowt-Czyz, W.J. 1986. Bilateral fracture separations of the distal radial epiphyses during weight lifting. *Br. J. Sports Med.* **20**: 72-73. PMID:3730760.
- Jones, D.A., Rutherford, O.M. et Parker, D.F. 1989. Physiological changes in skeletal muscle as a result of strength training. *Q. J. Exp. Physiol.* **74**: 233-256. PMID:2664854.
- Kadi, F. et Thornell, L.E. 2000. Concomitant increases in myonuclear and satellite cell content in female trapezius muscle following strength training. *Histochem. Cell Biol.* **113**: 99-103. doi:10.1007/s004180050012. PMID:10766262.
- Kanehisa, H., Nagareda, H., Kawakami, Y., Akima, H., Masani, K., Kouzaki, M. et Fukunaga, T. 2002. Effects of equivolume isometric training programs comprising medium or high resistance on muscle size and strength. *Eur. J. Appl. Physiol.* **87**: 112-119. doi:10.1007/s00421-002-0604-6. PMID:12070620.
- Kawakami, Y., Abe, T., Kuno, S.Y. et Fukunaga, T. 1995. Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **72**: 37-43. doi:10.1007/BF00964112. PMID:8789568.
- Kotzamanidis, C. 2006. Effect of plyometric training on running performance and vertical jumping in prepubertal boys. *J. Strength Cond. Res.* **20**: 441-445. doi:10.1519/R-16194.1. PMID:16686577.
- Kraemer, W. et Fleck, S. 2005. Strength training for young athletes. 2^e éd. Human Kinetics, Champaign, Ill.
- Kraemer, W.J. et Ratamess, N.A. 2004. Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. *Med. Sci. Sports Exerc.* **36**: 674-688. doi:10.1249/01.MSS.0000121945.36635.61. PMID:15064596.
- Kraemer, W.J., Fry, A.C., Frykman, P.N., Conroy, B. et Hoffman, J. 1989. Resistance training and youth. *Pediatr. Exerc. Sci.* **1**: 336-350.
- Kraemer, W.J., Adams, K., Cafarelli, E., Dudley, G.A., Dooly, C., Feigenbaum, M.S., et al. 2002. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* **34**:

- 364-380. doi: 10.1097/00005768-200205001-00389. PMID:11828249.
- Kubo, K., Kanehisa, H. et Fukunaga, T. 2001. Effects of different duration isometric contractions on tendon elasticity in human quadriceps muscles. *J. Physiol.* **536**: 649-655. doi:10.1111/j.1469-7793.2001.0649c.xd. PMID:11600697.
- Kubo, K., Kanehisa, H. et Fukunaga, T. 2002. Effects of resistance and stretching training programmes on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J. Physiol.* **538**: 219-226. doi:10.1113/jphysiol.2001.012703. PMID:11773330.
- Lambertz, D., Mora, I., Grosset, J.F. et Perot, C. 2003. Evaluation of musculotendinous stiffness in prepubertal children and adults, taking into account muscle activity. *J. Appl. Physiol.* **95**: 64-72. PMID:12626487.
- Lephart, S.M., Abt, J.P., Ferris, C.M., Sell, T.C., Nagai, T., Myers, J.B. et Irgang, J.J. 2005. Neuromuscular and biomechanical characteristic changes in high school athletes: a plyometric versus basic resistance program. *Br. J. Sports Med.* **39**: 932-938. doi:10.1136/Thjms.2005.019083. PMID:16306502.
- Lillegard, W.A., Brown, E.W., Wilson, D.J., Henderson, R. et Lewis, E. 1997. Efficacy of strength training in prepubescent to early postpubescent males and females: effects of gender and maturity. *Pediatr. Rehabil.* **1**: 147-157. PMID:9689250.
- Malina, R.M. 2006. Weight training in youth - growth, maturation et safety: An evidence-based review. *Clin. J. Sport Med.* **16**: 478-487. doi:10.1097/01.jsm.0000248843.31874.be. PMID:17119361.
- Marginson, V., Rowlands, A., Gleeson, N. et Eston, R. 2005. Comparison of the symptoms of exercise-induced muscle damage after and initial and repeated bout of plyometric exercise in men and boys. *J. Appl. Physiol.* **99**: 1174-1181. doi:10.1152/jappphysiol.01193.2004. PMID:15817716.
- Martens, R. 2004. Successful coaching. 3^e éd. Human Kinetics, Champaign, Ill.
- Matavulj, D., Kukolj, M., Ugarkovic, J., Tihanyi, J. et Jaric, S. 2001. Effects of plyometric training on jumping performance in junior basketball players. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, **41**: 159-164. PMID:11447356.
- Matkovic, V., Jelic, T., Wardlaw, G.M., Ilich, J.Z., Goel, P.K., Wright, J.K., et al. 1994. Timing of peak bone mass in Caucasian females and its implication for the prevention of osteoporosis. Inference from a cross-sectional model. *J. Clin. Invest.* **93**: 799-808. doi:10.1172/JC1117034. PMID:8113412.
- McBurney, H., Taylor, N.F., Dodd, K.J. et Graham, H.K. 2003. A qualitative analysis of the benefits of strength training for young people with cerebral palsy. *Dev. Med. Child Neurol.* **45**: 658-663. doi:10.1017/S0012162203001233. PMID:14515936.
- McDonagh, M.J. et Davies, C.T. 1984. Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **52**: 139-155. doi:10.1007/BF00433384. PMID:6370691.
- McGovern, M. 1984. Effects of circuit weight training on the physical fitness of prepubescent children. Diss. Abstr. hit. **45**: 452A-453A.
- McNeal, J. et Sands, W. 2003. Acute static stretching reduces lower extremity power in trained children. *Pediatr. Exerc. Sci.* **15**: 139-145.
- McNeely, E. et Armstrong, L. 2002. Strength training for children: a review and recommendations. *Physical Health Educ. J.* **68**: 1-6.
- Mersch, F. et Stoboy, H. 1989. Strength training and muscle hypertrophy in children. *Dans International series on sports sciences. Children and exercise XIII. Rédigé par S. Oseid et K.H. Carlson.* Human Kinetics, Champaign, Ill. pp. 165-192.
- Michell, L. 1988. Strength training in the young athlete. *Dans Competitive sports for children and youth. Rédigé par E. Brown et C. Branta.* Human Kinetics, Champaign, Ill. pp. 99-105.
- Moritani, T. 1992. Time course of adaptations during strength and power training. *Dans Strength and power in sport. The encyclopedia of sports medicine. Vol. III. Rédigé par P.V. Komi.* Blackwell Scientific Publications, Oxford, R.-U. pp. 266-278.
- Morton, J.F., Brownlee, M. et McFadyen, A.K. 2005. The effects of progressive resistance training for children with cerebral palsy. *Clin. Rehabil.* **19**: 283-289. doi:10.1191/0269215505cr8040a. PMID:15859529.
- Myer, G.D., Ford, K.K., Palumbo, J.P. et Hewett, T.E. 2005. Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. *J. Strength Cond. Res.* **19**: 51-60. doi:10.1519/13643.1. PMID:15705045.
- National Association of Sport and Physical Education. 2005. Physical education for lifelong fitness. 2^e éd. Human Kinetics, Champaign, Ill.
- Nichols, D.L., Sanborn, C.F. et Love, A.M. 2001. Resistance training and bone mineral density in adolescent females. *J. Pediatr.* **139**: 494-500. doi:10.1067/mpd.2001.118420. PMID:11598594.
- Osternig, L.R., Hamill, J., Lander, J.E. et Robertson, R. 1986. Co-activation of sprinter and distance runner muscles in isokinetic exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* **18**: 431-435. PMID:3747804.
- Ozmun, J.C., Mikesky, A.E. et Surburg, P.R. 1994. Neuromuscular adaptations following prepubescent strength training. *Med. Sci. Sports Exerc.* **26**: 510-514. PMID:8201908.
- Payne, V.G. et Isaacs, L.D. 2005. Human motor development. A lifespan approach. 6th ed. McGraw-Hill, Whitby, Ont. pp. 78-80.
- Payne, V.G., Morrow, J.R., Jr., Johnson, L. et Dalton, S.N. 1997. Resistance training in children and youth: a meta-analysis. *Res. Q. Exerc. Sport*, **68**: 80-88. PMID:9094766.
- Pfeiffer, R. et Francis, R. 1986. Effects of strength training on muscle development in prepubescent, pubescent and postpubescent males. *Phys. Sportsmed.* **14**: 134-143.
- Pierce, K., Byrd, R. et Stone, M. 1999. Youth weightlifting - is it safe? *Weightlifting U. S. A.* **17**: 5.
- Pikosky, M., Faigenbaum, A., Westcott, W. et Rodriguez, N. 2002. Effects of resistance training on protein utilization in healthy children. *Med. Sci. Sports Exerc.* **34**: 820-827. doi:10.1097/00005768-200205000-00015. PMID:11984301.
- Plumert, J.M. et Schwebel, D.C. 1997. Social and temperamental influences on children's overestimation of their physical abilities: links to accidental injuries. *J. Exp. Child Psychol.* **67**: 317-337. doi:10.1006/jecp.1997.2411. PMID:9440296.
- Potach, D. et Chu, D. 2000. Plyometric training. *Dans Essentials of strength training and conditioning. 2^e éd. Rédigé par T. Baechle et R. Earle.* Human Kinetics, Champaign, Ill. pp 427-470.
- Ramsay, J.A., Blimkie, C.J.R., Smith, K., Garner, S., MacDougall, J.D. et Sale, D.G. 1990. Strength training effects

- in prepubescent boys. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22: 605-614. doi:10.1249/00005768-199010000-00011. PMID:2233199.
- Reeves, N.D., Maganaris, C.N. et Narici, M.V. 2003. Effect of strength training on human patella tendon mechanical properties of older individuals. *J. Physiol.* **548**: 971-981. doi:10.1113/jphysiol.2002.035576. PMID:12626673.
- Reeves, N.D., Narici, M.V. et Maganaris, C.N. 2004. Effect of resistance training on skeletal muscle-specific force in elderly humans. *J. Appl. Physiol.* **96**: 885-892. doi:10.1152/jappphysiol.00688.2003. PMID:14578365.
- Rians, C.B., Weltman, A., Cahill, B.R., Janney, C.A., Tippett, S.R. et Katch, F.I. 1987. Strength training for prepubescent males: is it safe? *Am. J. Sports Med.* 15: 483-489. doi:10.1177/036354658701500510. PMID:3674272.
- Risser, W.L., Risser, J.M. et Preston, D. 1990. Weight training injuries in adolescents. *Am. J. Dis. Child.* **144**: 1015-1017. PMID:2396614.
- Rubini, E.C., Costa, A.L. et Gomes, P.S. 2007. The effects of stretching on strength performance. *Sports Med.* 37: 213-224. doi:10.2165/00007256-200737030-00003. PMID:17326697.
- Sadres, E., Eliakim, A., Constantini, N., Lidor, R. et Falk, B. 2001. The effect of long-term resistance training on anthropometric measures, muscle strength et self-concept in pre-pubertal boys. *Pediatr. Exerc. Sci.* **13**: 357-372.
- Sailors, M. et Berg, K. 1987. Comparison of responses to weight training in pubescent boys and men. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 27: 30-37. PMID:3599970.
- Sale, D.G. 1989. Strength training in children. *Dans Youth, exercise and sports. Perspectives in exercise science and sports medicine. Vol. 2. Rédigé par C.V. Gisolfi et D.R. Lamb. Benchmark Press, Cannel, Ind. pp. 165-222.*
- Sale, D.G. et Spriet, L.L. 1996. Skeletal muscle function and energy metabolism. *Dans Exercise and the female - a life span approach. Perspectives in exercise science and sports medicine. Vol. 19. Rédigé par O. Bar-Or, D.R.L. et P.M. Clarkson. Cooper Publishing Group, Carmel, Ind. pp. 289-359.*
- Sale, D.G., MacDougall, J.D., Upton, A.R. et McComas, A.J. 1983. Effect of strength training upon motoneuron excitability in man. *Med. Sci. Sports Exerc.* **15**: 57-62. PMID:6843320.
- Selvadurai, C., Blimkie, C., Meyers, N., Mellis, C., Cooper, J. et Asperen, V. 2002. Randomized controlled study of in-hospital exercise training programs in children with cystic fibrosis. *Pediatr. Pulm.* 33: 194-200. doi:10.1002/ppul.10015.
- Shehab, R., Mirabelli, M., Gorenflo, D. et Fetters, M. 2006. Pre-exercise stretching and sports-related injuries: Knowledge, attitudes and practices. *Clin. J. Sport Med.* **16**: 228-231. doi:10.1097/00042752-200605000-00007. PMID:16778543.
- Shrier, I. 2004. Does stretching improve performance? A systematic and critical review of the literature. *Clin. J. Sport Med.* **14**: 267-273. doi: 10.1097/00042752-200409000-00004. PMID: 15377965.
- Siatras, T., Papadopoulos, G., Mameletzi, D., Gerodimos, V. et Kellis, S. 2003. Static and dynamic acute stretching effect on gymnasts' speed in vaulting. *Pediatr. Exerc. Sci.* 15: 383-391.
- Siegel, J.A., Camaione, D.N. et Manfredi, T.G. 1989. The effects of upper body resistance training on prepubescent children. *Pediatr. Exerc. Sci.* 1: 145-154.
- Smith, A.D., Andrish, J.T. et Michell, L.J. 1993. The prevention of sport injuries of children and adolescents. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25(8 Suppl.): 1-7. doi:10.1249/00005768-199301000-00001. PMID:8371662.
- Sothorn, M.S., Loftin, J.M., Udall, J.N., Suskind, R.M., Ewing, T.L., Tang, S.C. et Blecker, U. 2000. Safety, feasibility et efficacy of a resistance training program in preadolescent obese children. *Am. J. Med. Sci.* **319**: 370-375. doi:10.1097/0000441-200006000-00005. PMID:10875292.
- Staron, R.S., Malicky, E.S., Leonardi, M.J., Falkel, J.E., Hagerman, F.C. et Dudley, G.A. 1990. Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance-trained women. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **60**: 71-79. doi:10.1007/BF00572189. PMID:2311599.
- Steinberger, J. 2003. Diagnosis of the metabolic syndrome in children. *Cum Opin. Lipidol.* 14(6): 555-559. doi:10.1097/00041433-200312000-00002. PMID:14624131.
- Suman, O.E., Ricarda, R.J., Celis, M.M., Micak, R.P. et Herndon, D.N. 2001. Effect of a 12-week resistance exercise program on skeletal muscle strength in children with burn injuries. *J. Appl. Physiol.* **91**: 1168-1175. PMID:11509512.
- Thacker, S.B., Gilchrist, J., Stroup, D.F. et Kimsey, C.D., Jr. 2004. The impact of stretching on sports injury risk: a systematic review of the literature. *Med. Sci. Sports Exerc.* **36**: 371-378.
- Treuth, M.S., Hunter, G.R., Pichon, C., Figueroa-Colon, R. et Goran, M.I. 1998. Fitness and energy expenditure after strength training in obese prepubertal girls. *Med. Sci. Sports Exerc.* **30**: 1130-1136. doi:10.1097/00005768-199807000-00017. PMID:9662684.
- Tsolakis, C.K., Vagenas, G.K. et Dessypris, A.G. 2004. Strength adaptations and hormonal responses to resistance training and detraining in preadolescent males. *J. Strength Cond. Res.* 18: 625-629. doi:10.1519/1533-4287(2004)18<625:SAHRT>2.0.CO;2. PMID:15320685.
- Verhagen, E.A., van Tulder, M., van der Beek, A.J., Bouter, L.M. et van Mechelen, W. 2005. An economic evaluation of a proprioceptive balance board training programme for the prevention of ankle sprains in volleyball. *Br. J. Sports Med.* **39**: 111-115. doi:10.1136/Thjms.2003.011031. PMID:15665210.
- Verstegen, M. et Williams, P. 2004. Core performance. *Rodale, Emmaus, Pa. pp. 33-52.*
- Vicente-Rodriguez, G. 2006. How does exercise affect bone development during growth? *Sports Med.* **36**: 561-569. doi:10.2165/00007256-200636070-00002. PMID:16796394.
- Virgilio, S. 1997. Fitness education for children. *Human Kinetics, Champaign, IR.*
- Virvidakis, K., Georgiou, E., Korkotsidis, A., Ntalles, K. et Proukakis, C. 1990. Bone mineral content of junior competitive weightlifters. *Int. J. Sports Med.* 11: 244-246. PMID:2373585.
- Vrijens, J. 1978. Muscle strength development in the pre- and post-pubescent age. *Dans Pediatric Work Physiology. Rédigé par J. Borms et M. Hebbelinc. Karger, Basel, Switzerland. pp. 152-158.*
- Ward, K.A., Roberts, S.A., Adams, J.E. et Mughal, M.Z. 2005. Bone geometry and density in the skeleton of prepubertal gymnasts and school children. *Bone*, **36**: 1012-1018. doi:10.1016/j.bone.2005.03.001.
- Watts, K., Beye, P., Siafarikas, A., O'Driscoll, G., Jones, T.W., Davis, E.A. et Green, D.J. 2004. Effects of exercise training

- on vascular function in obese children. *J. Pediatr.* 144: 620-625. doi:10.1016/j.jpeds.2004.02.027. PMID:15126996.
- Webb, D.R. 1990. Strength training in children and adolescents. *Pediatr. Clin. North Am.* 37: 1187-1210. PMID:2216562.
- Wellman, A., Janney, C., Rians, C.B., Strand, K., Berg, B., Tippitt, S., et al. 1986. The effects of hydraulic resistance strength training in prepubertal males. *Med. Sci. Sports Exerc.* **18**: 629-689. PMID:2946921.
- Westcott, W. 1992. A look at youth fitness. *Am. Fitness Quart.* 11: 16-19.
- Zakas, A., Doganis, G., Galazoulas, C. et Vamvakoudis, E. 2006. Effect of static stretching duration on isokinetic peak torque in pubescent soccer players. *Pediatr. Exerc. Sci.* **18**: 252-261.