

ÉNONCÉ DE PRINCIPE DE L'AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE

"Modèles de progression en entraînement de musculation pour les adultes sains". Med. Sci. Sports Exerc., 34(2) : 364-380, 2002.

Cette déclaration fut rédigée pour l'American College of Sports Medicine par : William J. Kraemer, Ph.D., FACSM (Président); Kent Adams, Ph.D.; Enzo Cafarelli, Ph.D., FACSM; Gary A. Dudley, Ph.D., FACSM; Cathryn Dooly, Ph.D., FACSM; Matthew S. Feigenbaum, Ph.D., FACSM; Steven J. Fleck, Ph.D., FACSM; Barry Franklin, Ph.D., FACSM; Andrew C. Fry, Ph.D.; Jay R. Hoffman, Ph.D., FACSM; Robert U. Newton, Ph.D.; Jeffrey Potteiger, Ph.D., FACSM; Michael H. Stone, Ph.D.; Nicholas A. Ratamess, M.S.; et Travis Triplett-McBride, Ph.D.

Traduit par François Trudeau, Ph.D. FACSM; Serge Dulac, Ph.D., FACSM
Département des sciences de l'activité physique
Université du Québec à Trois-Rivières

RÉSUMÉ

Pour amener des adaptations supplémentaires vers des objectifs spécifiques d'entraînement, une progression dans le programme de musculation utilisé est nécessaire. Les caractéristiques optimales des programmes spécifiques à la force comprennent l'utilisation d'actions musculaires concentrique et excentrique et des exercices mono- et poly-articulaires. Il est aussi recommandé que le programme de force séquence les exercices pour optimiser la qualité de l'intensité des exercices (action des gros muscles avant les petits; exercices poly- avant mono-articulaires; exercices les plus intenses avant les moins intenses). Il est recommandé que les charges initiales correspondent à 8-12 répétitions maximales (RM) chez les novices. Pour l'entraînement intermédiaire et avancé, il est recommandé d'utiliser une étendue plus variée de charges, de 1 à 12 RM de façon périodisée, avec une emphase éventuelle sur des charges plus lourdes (1-6 RM) avec au moins 3 min de repos entre les séries réalisées à vitesse moyenne (1-2 s concentrique, 1-2 s excentrique). Lorsque l'entraînement est réalisé à une valeur de RM donnée, il est recommandé qu'une augmentation de 2-10 % de la charge soit appliquée si l'individu est capable de réaliser 1 ou 2 répétitions de plus que le nombre de RM visé. La fréquence d'entraînement recommandée est de 2-3 fois/semaine pour les débutants et intermédiaires et 4-5 fois/semaine pour les avancés. Des designs similaires de programme sont recommandés pour l'entraînement de l'hypertrophie en ce qui concerne la sélection et la fréquence des exercices. Pour ce qui est de la charge, elle doit varier entre 1 et 12 RM de façon périodisée avec une emphase sur la zone 6-

12 RM, avec des repos de 1 à 2 min entre les séries. La vitesse doit aussi être moyenne. Des programmes avec des volumes plus élevés et des séries multiples sont recommandés pour maximiser l'hypertrophie. La progression lors de l'entraînement de la puissance comprend deux stratégies de surcharge : 1) l'entraînement de la force et 2) l'utilisation de charges légères (30-60 % de 1 RM) réalisée à une vitesse de contraction élevée avec 2-3 min de repos entre chacune des séries multiples. Il est aussi recommandé de mettre l'accent sur des exercices poly-articulaires en particulier ceux impliquant le corps entier pour l'entraînement de l'endurance musculaire locale, il est recommandé que des charges légères à moyennes (40-60 % de 1 RM) soient utilisées avec des répétitions élevées (> 15) avec de courtes périodes de repos (<90 s) entre les séries. Comme pour les énoncés de principe précédents, les recommandations doivent être considérées en fonction des objectifs individuels, de la capacité physique et de l'état d'entraînement.

INTRODUCTION

La capacité de générer de la force a fasciné l'être humain durant la plus grande partie de son histoire. Non seulement les plus grands exploits de force ont intrigué l'imagination, mais un niveau suffisant de force musculaire était aussi nécessaire à la survie. Même si la technologie moderne a réduit la nécessité d'une force élevée lors des activités courantes, il est reconnu par les communautés scientifique et médicale que la force musculaire est une qualité physique essentielle à la santé, les capacités fonctionnelles et une meilleure qualité de vie. L'entraînement en musculation utilisant différentes modalités est devenu populaire pendant les 70 dernières années. Même si les épreuves de lever et les sports de force existent depuis la dernière moitié du 19^e siècle, l'étude scientifique de l'entraînement en musculation n'a évolué significativement que depuis les travaux de DeLorme et Watkins (46). Suite à la Deuxième guerre mondiale, DeLorme et Watkins ont démontré l'importance d'un « entraînement progressif en musculation » pour augmenter la force et l'hypertrophie musculaires en réadaptation du personnel militaire. Depuis le début des années 1950 et les années 1960, l'entraînement en musculation a été un sujet d'intérêt dans les communautés scientifique, médicale et sportive (19-21, 31, 32). Le principe qui ressort le plus souvent des études sur l'entraînement en musculation est que le programme d'entraînement doit être « progressif » afin de produire des augmentations substantielles et continues de la force et de l'hypertrophie musculaire.

La progression est définie comme « l'action d'avancer vers un objectif spécifique ». Lors de l'entraînement en musculation, la progression suppose une amélioration continue dans le temps d'une variable choisie, jusqu'à ce que l'objectif soit atteint. Même s'il est impossible de s'améliorer continuellement et à long terme avec le même taux, la manipulation appropriée des variables du programme (choix de la résistance, sélection et ordre des exercices, nombre de séries et de répétitions, durée des périodes de repos) peut limiter le plafonnement de l'effet d'entraînement (moment où aucune amélioration supplémentaire n'est observée). Ceci permet d'atteindre des niveaux supérieurs de vigueur musculaire (236). Les qualités physiques entraînables comprennent la force, la puissance, l'hypertrophie et l'endurance musculaires. D'autres variables comme la vitesse, l'équilibre, la coordination, la capacité de sauter, la flexibilité et d'autres mesures de la performance motrice ont aussi été améliorées par l'entraînement en musculation (3, 45, 216, 238, 249).

L'augmentation de l'activité physique et la participation à un programme complet d'exercice comprenant des activités d'endurance aérobie, l'entraînement en musculation et des exercices de flexibilité réduisent le risque d'être atteint de plusieurs maladies chroniques (e.g. maladie coronarienne, obésité, diabète de type 2, ostéoporose, lombalgies). L'entraînement en musculation est la méthode la plus efficace pour développer la force musculo-squelettique et est prescrit par plusieurs organisations sanitaires pour améliorer la santé et la condition physique (7-9, 71, 206, 208). L'entraînement en musculation, surtout incorporé dans un programme complet d'exercice, réduit les facteurs de risque de la maladie coronarienne (84, 86, 126, 127), le diabète non-insulino-dépendant (72, 180) et le cancer du côlon (141); prévient l'ostéoporose (91, 158); favorise la perte de poids et son maintien (56, 135, 251, 259); améliore l'équilibre dynamique et préserve les capacités fonctionnelles (56, 79, 138, 235); et favorise le mieux-être psychologique (59, 235). Ces bénéfices peuvent être obtenus sécuritairement lorsqu'un programme individualisé est prescrit (172).

Dans l'énoncé de principe « Quantité et qualité d'exercice recommandé pour développer et maintenir la condition physique cardiorespiratoire et musculaire et la flexibilité d'adultes sains » de l'American College of Sports Medicine, la norme de départ pour un programme de musculation était ajustée à une série de 8-12 répétitions pour 8-10 exercices différents, incluant un exercice pour chaque groupe musculaire majeur; et 10-15 répétitions pour les individus plus

âgés ou frêles (8). Ce programme de démarrage est efficace chez les individus jamais entraînés pour améliorer la vigueur musculaire dans les premiers 3-4 mois d'entraînement (33, 38, 63, 165, 178). Par contre, il est nécessaire de comprendre que cette recommandation ne comprend pas les lignes directrices de prescription d'exercices de musculation pour les individus sains désirant faire progresser davantage les caractéristiques entraînables de la condition physique musculaire. L'objectif de cet énoncé de principe vise à compléter les précédentes lignes directrices établies par l'American College of Sports Medicine (ACSM) pour commencer des programmes d'entraînement en musculation et fournir des lignes directrices pour développer des modèles de progression qui peuvent être appliqués aux entraînements débutants, intermédiaires et avancés.

CONCEPTS FONDAMENTAUX DE PROGRESSION

Surcharge progressive. La surcharge progressive est l'augmentation graduelle du stimulus appliqué à l'organisme pendant l'entraînement physique. La tolérance à l'augmentation de la surcharge est une préoccupation cruciale pour l'intervenant et le clinicien responsables du suivi de la progression du programme. En réalité, les processus d'adaptation de l'organisme humain ne répondront que lorsque stimulés à produire plus de force pour rencontrer une demande physiologique plus intense. L'augmentation systématique des exigences placées sur l'organisme est nécessaire pour poursuivre les améliorations sinon il peut y avoir un plafonnement assez rapide. La surcharge peut être introduite de plusieurs façons dans un entraînement en musculation. Pour l'amélioration de la force, de l'hypertrophie, de l'endurance musculaire locale et de la puissance musculaire, il est possible 1) d'augmenter la charge (résistance), 2) d'augmenter le nombre de répétitions, 3) de changer la vitesse des répétitions avec charge sous-maximales selon les objectifs, 4) de raccourcir les périodes de repos pour augmenter l'endurance ou les rallonger pour la force et la puissance, 5) le volume (i.e. travail total étant le produit du nombre total de répétitions et de la résistance) peut être augmenté de façon raisonnable, ou 6) la combinaison de certains des points précédents. Il a été recommandé que seulement de légères augmentations du volume d'entraînement (2.5-5 %) doivent être prescrites pour éviter le surentraînement (69).

Spécificité. Il existe beaucoup de spécificité dans les tâches de mouvement et dans l'adaptation (217). La spécificité comprend les patrons de mouvement et la relation force-

vélocité (95, 113, 261). Toutes les adaptations d'entraînement sont spécifiques au stimulus appliqué. Les adaptations physiologiques à l'entraînement sont spécifiques à 1) l'action musculaire utilisée (50, 51, 115), 2) la vitesse de mouvement (51), 3) l'amplitude du mouvement (15, 144), 4) les groupes musculaires entraînés (69), 5) les systèmes énergétiques impliqués (153, 213, 248) et 6) l'intensité et le volume d'entraînement (21, 109, 194, 222). Même s'il y a peu de transfert possible, les programmes de musculation les plus efficaces sont ceux construits pour atteindre des objectifs spécifiques d'entraînement.

Variation. La variation de l'entraînement est un principe fondamental qui supporte le besoin de changer une ou plusieurs des variables du programme avec le temps pour optimiser le stimulus d'entraînement. La variation systématique du volume et de l'intensité est la plus efficace pour une progression à long terme (241). Le concept de variation est enraciné dans la planification des programmes depuis plusieurs années. La périodisation est la théorie de l'entraînement en résistance avec variation planifiée, la plus fréquemment étudiée.

Périodisation. La périodisation utilise une variation dans la planification du programme d'entraînement en musculation. Cette théorie de l'entraînement a été développée sur la base des études biologiques sur le syndrome général d'adaptation de Hans Selye (224). La variation systématique a été utilisée comme moyen d'altérer l'intensité et le volume d'entraînement pour optimiser la performance et la récupération (110, 166, 209). Par contre, l'utilisation des concepts de périodisation n'est pas limitée aux athlètes d'élite et à l'entraînement avancé. Ils ont aussi été utilisés pour entraîner les individus avec des vécus sportifs et des conditions physiques différentes. En plus de l'entraînement spécifique au sport (112, 140, 147, 154), l'entraînement en musculation périodisé est aussi efficace pour des objectifs d'entraînement récréatifs (47, 118, 238) et de réadaptation (62).

Modèle classique (linéaire) de périodisation. Ce modèle est caractérisé par un volume d'entraînement de départ élevé et une basse intensité (239). À mesure de la progression de l'entraînement, le volume diminue et l'intensité augmente pour maximiser la force, la puissance ou les deux (68). Typiquement, chaque phase d'entraînement est conçue pour accentuer une adaptation physiologique particulière. Par exemple, l'hypertrophie est stimulée lors de la phase initiale à volume élevé, alors que la force est développée maximale lors de la phase

subséquente de haute intensité. Des comparaisons entre les modèles d'entraînement en force/puissance périodisés avec des modèles non-périodisés ont été documentées (68). Ces études indiquent que l'entraînement périodisé est supérieur pour augmenter la force maximale (e.g. flexion avant des jambes (squat) à 1 RM), la puissance en vélo, la performance motrice et la capacité de saut (192, 238, 241, 256, 257). Par contre, une étude à court terme a obtenu des améliorations de performance similaires pour l'entraînement périodisé ou l'entraînement non-périodisé à série multiple (13). Une période plus longue (plus de 4 semaines) est nécessaire pour faire ressortir les avantages de l'entraînement périodisé sur l'entraînement non-périodisé (257). Les résultats de ces études démontrent que l'entraînement périodisé ou non-périodisé est efficace lors de l'entraînement à court terme, alors que la variation est nécessaire pour l'entraînement en musculation à long terme.

Périodisation sinusoïdale (non-linéaire). Le programme non-linéaire facilite la variation d'intensité et de volume dans chaque cycle de 7 à 10 jours par la rotation de différents protocoles durant le programme d'entraînement. Les méthodes non-linéaires tentent d'entraîner des composantes variées du système neuromusculaire dans le même cycle de 7-10 jours (microcycle). Lors d'une séance, une seule caractéristique est entraînée dans cette journée (e.g. force, puissance, endurance musculaire locale). Par exemple, la planification des charges pour les exercices principaux de la séance, l'utilisation de résistances lourdes, moyennes ou légères peut être variée aléatoirement pendant une séquence d'entraînement (lundi 3-5 RM, mercredi 8-10 RM et vendredi 12-15 RM). Ce modèle se compare avantageusement au modèle périodisé classique ou non-périodisé à répétitions multiples (13). Ce modèle a aussi des avantages distincts en comparaison avec l'entraînement non-périodisé à faible volume chez la femme (154, 165).

EFFET DE L'ÉTAT INITIAL D'ENTRAÎNEMENT

L'état initial d'entraînement a un effet important sur la vitesse de progression durant l'entraînement en musculation. L'état d'entraînement reflète un continuum d'adaptations à l'entraînement en musculation auquel contribuent le niveau de condition physique, l'expérience d'entraînement et l'héritage génétique. Les individus non-entraînés (ceux sans expérience d'entraînement en musculation ou qui ne se sont pas entraînés depuis plusieurs années) répondent favorablement à la plupart des protocoles, rendant ainsi difficile d'évaluer l'effet de

différents programmes d'entraînement (68, 92). Le taux d'augmentation de la force diffère considérablement entre les individus entraînés et non-entraînés (148), les individus entraînés montrant un gain de force beaucoup plus lent (83, 107, 111, 221). Une revue de la littérature révèle que la force musculaire augmente environ de 40 % chez les non-entraînés, de 20 % chez les moyennement entraînés, de 16 % chez les entraînés, de 10 % chez les avancés et de 2 % chez les élites sur des périodes allant de 4 semaines à 2 ans. Les individus entraînés ou intermédiaires ont approximativement 6 mois d'expérience constante d'entraînement en musculation. L'entraînement avancé fait référence aux individus cumulant des années d'expérience en entraînement en résistance et qui ont obtenu des améliorations significatives de leur vigueur musculaire. Les élites sont des athlètes très bien entraînés qui compétitionnent à un haut niveau. Même si les programmes d'entraînement, les durées et les procédures d'évaluation diffèrent dans ces études, ces données indiquent clairement une tendance orientée vers une diminution des gains possibles avec l'expérience d'entraînement.

La difficulté de maintenir les gains de force semble survenir après plusieurs mois d'entraînement. Il est bien documenté que les changements de force musculaire sont plus souvent observés tôt dans l'entraînement (92, 185). Les études ayant examiné l'évolution dans le temps des gains de force lors de différents protocoles d'entraînement supportent cette observation. Les études à court terme (11-16 semaines) ont montré que la majorité des augmentations de force prend place dans les 4-8 premières semaines (119, 192). Des résultats similaires ont été observés pendant une année d'entraînement (185). Ces résultats démontrent la rapidité des gains initiaux de force chez les individus entraînés, mais aussi des gains plus lents avec davantage d'entraînement.

CARACTÉRISTIQUES ENTRAÎNABLES

Force musculaire. La capacité du système neuromusculaire à générer de la force est nécessaire pour tout type de mouvement. Les fibres musculaires, classifiées selon leurs propriétés contractiles et métaboliques, présentent une relation linéaire entre leur aire transversale et la force qu'elles peuvent générer (66). Pour le muscle entier, l'arrangement des fibres individuelles quant à leur angle de traction (pennation) ainsi que la longueur du muscle,

l'angle de l'articulation et la vélocité de contraction peuvent altérer la capacité de produire de la force (90, 144). La production de la force dépend de l'activation des unités motrices (217). Les unités motrices sont recrutées en fonction de leur taille (des petites aux plus grosses), ce qu'on appelle le principe de la taille (117). L'entraînement en musculation amène des adaptations qui facilitent la production de force. Ces adaptations comprennent une amélioration des fonctions nerveuses comme un recrutement et un taux de décharge plus élevés des unités motrices (159, 181, 217), une augmentation de la surface transversale du muscle (6, 170, 232), des changements architecturaux du muscle (136) et une influence des métabolites (215, 226, 230) seraient impliqués dans l'augmentation de la force. L'amplitude des gains de force dépend des actions musculaires utilisées, de l'intensité, du volume, de l'ordre et de la sélection des actions, des périodes de repos entre les séries et de la fréquence des séances d'entraînement (245).

Action musculaire. La plupart des programmes d'entraînement en musculation comprennent des actions musculaires concentriques (muscle se contracte en raccourcissant) et excentriques (muscle se contracte en allongeant). Les actions musculaires isométriques jouent un rôle secondaire dans les programmes d'entraînement. Une plus grande force est générée par unité de dimension musculaire lors d'une contraction excentrique (142). L'action excentrique est aussi plus efficace d'un point de vue neuromusculaire (55, 142), moins exigeant métaboliquement (58) et induit davantage d'hypertrophie (115), mais génère davantage de douleur musculaire retardée (52) par rapport aux actions musculaires concentriques. Les gains de force musculaire dynamique sont plus élevés lorsque les actions excentriques sont incluses dans les répétitions (50). La manipulation des actions musculaires durant un entraînement en musculation doit être prise en compte pour planifier la progression. Considérant que la plupart des programmes incluent des actions excentriques et concentriques, il y a habituellement peu de possibilité de varier le dosage des deux types d'action musculaire. Par contre, certains programmes avancés utilisent certains types d'entraînement isométrique (i.e. isométrique fonctionnel, 128) en plus d'actions excentriques supra-maximales pour maximiser les gains de force et d'hypertrophie (139). Ces techniques n'ont pas été étudiées en profondeur mais semblent constituer un stimulus différent pour augmenter la force musculaire. *Dans les progressions d'entraînement de la force pour les niveaux novices, intermédiaires et avancés, il est recommandé que les actions excentriques et concentriques soient incluses.*

Charge (résistance). Les changements de charge (résistance) affectent les réponses métaboliques (40), hormonales (42, 146, 150, 152, 171, 211), nerveuses (96, 102, 104, 143, 217) et cardio-vasculaires (67, 242) aigues lors de l'entraînement en musculation. La surcharge lors de l'entraînement de la force peut se faire en : 1) augmentant la charge selon un continuum charge-répétition (par exemple, effectuer 8 répétitions avec une charge lourde vs 12 répétitions avec une charge légère) ou 2) augmentant la charge en fonction d'une zone prescrite (e.g. 8-12 RM). La charge requise pour augmenter la force maximale chez l'individu non-entraîné est assez faible. Des charges de 45-50 % de 1 RM (et moins) peuvent augmenter la force dynamique musculaire chez des individus non-entraînés (11, 78, 218, 243, 253). Il semble que des charges plus élevées soient nécessaires pour la progression. Au moins 80 % de 1 RM est nécessaire pour produire plus d'adaptations nerveuses et de gains de force lors de l'entraînement en musculation chez des sujets expérimentés (96). Plusieurs études classiques indiquent que l'entraînement avec des charges de 1-6 RM (surtout 5-6 RM) était plus générateur de gains de force dynamique maximale (19, 194, 253). Même si des gains significatifs de force ont été rapportés avec des charges de 8-12 RM (46, 147, 163, 232), cette zone de charge pourrait ne pas être aussi efficace que les charges lourdes pour maximiser les gains de force chez les individus expérimentés. La recherche sur l'entraînement périodisé en musculation indique que la prescription de la charge n'est plus aussi simple qu'antérieurement suggéré (68). Contrairement aux premières études à court terme d'entraînement en musculation des années 1960, avec une charge prescrite de 6 RM, il apparaît maintenant que l'utilisation de charges variées maximise davantage les gains de force (68, 147, 238) que de faire tous les exercices avec la même charge. Ce qui est particulièrement le cas pour l'entraînement à long terme. Pour les débutants, il a été recommandé qu'une charge moyenne (60 % de 1 RM) soit initialement utilisée, puisque l'apprentissage du mouvement et de la technique est primordiale (63). Par contre, une variété de charges semble être le plus efficace pour les améliorations à long terme de la force musculaire à mesure des progrès dans le temps (68, 241). *Il est recommandé que les débutants et intermédiaires s'entraînent avec des charges correspondant à 60-70 % de 1 RM pour 8-12 répétitions et que les individus de niveau avancé utilisent des charges de 80-100 % de 1 RM en périodisation pour maximiser les gains de force. Pour la progression chez les individus s'entraînant à une charge dans des zones spécifiques de RM (e.g. 8-12 RM), il est recommandé qu'une augmentation de 2-10 % soit appliquée en fonction de la grosseur du groupe musculaire et de son implication. Par exemple, de plus*

grosses augmentations de charge peuvent être utilisées pour des groupes musculaires plus imposants avec des exercices multi-articulaires que pour de petits groupes musculaires avec actions mono-articulaires. L'augmentation de la charge peut être appliquée quand l'individu peut réaliser l'exercice avec 1 ou 2 RM de plus que la zone prescrite lors de 2 séances consécutives d'entraînement.

Volume d'entraînement. Le volume d'entraînement est la somme du nombre total de répétitions réalisées durant une séance d'entraînement multiplié par la résistance (charge) utilisée. Le volume d'entraînement affecte les réponses et adaptations nerveuses (107, 112), métaboliques (40, 258), hormonales (87, 145, 149, 150, 152, 190, 209, 252) et l'hypertrophie (48, 247) lors d'un entraînement en musculation. Les variations de volume d'entraînement peuvent être réalisées en changeant le nombre d'exercices par séance, le nombre de répétitions par série ou le nombre de séries par exercice. Les programmes à faible volume (e.g. charge élevée, faibles répétitions, nombre moyen à élevé de séries) sont typiques des entraînements de la force (96). Les études sur deux (49, 167), trois (19, 20, 147, 232, 234), quatre ou cinq (50, 122, 131, 177), six et davantage (123, 218) séries par exercice ont toutes produit des augmentations significatives de la force musculaire autant chez les sujets non-entraînés ou déjà entraînés. Par contre, des études ont rapporté des gains similaires de force chez des débutants qui s'entraînent avec 2 ou 3 séries (32) ou 2 ou 4 séries (195), alors que 3 séries semblent supérieures à 1 ou 2 séries.

Un autre aspect du volume d'entraînement qui a bénéficié de plus d'attention est la comparaison des programmes de musculation mono- vs multisérie. Dans la plupart de ces études, une série par exercice réalisée à 8-12 RM avec vitesse lente est comparée avec des programmes multisérie périodisés et non-périodisés. Une critique fréquente de ces études est que le nombre de séries par exercice n'était pas contrôlé pour les autres variables comme l'intensité, la fréquence et la vitesse des répétitions.

Outre cette préoccupation, les comparaisons ont surtout impliqué un programme populaire à une série avec des programmes multiséries d'intensité variée. Ces comparaisons ont donné des résultats conflictuels. Plusieurs études ont rapporté des augmentations similaires de force pour les programmes à série unique ou multiséries (38, 130, 178, 212, 227, 231) alors que d'autres

études ont rapporté une supériorité des programmes multiséries (20, 24, 219, 237, 244) chez des individus non-entraînés. Ces résultats ont amené la notion que les individus non-entraînés répondent favorablement autant aux programmes à une série qu'aux multiséries. Ceci a aidé à la popularité des programmes à une série chez les amateurs de conditionnement physique (63). Chez les individus entraînés en force, par contre, les entraînements multiséries sont supérieurs (147, 154, 155, 222) sauf pour une étude (114). Aucune étude n'a montré la supériorité des entraînements à une série sur les multiséries autant pour les non-entraînés que les entraînés. Il semble que les deux types de programmes soient efficaces pour augmenter la force chez les entraînés comme les non-entraînés dans les programmes à court terme (e.g. 3 mois). Les études sur les progressions à long terme supportent le principe que des volumes d'entraînement plus élevés sont nécessaires pour des améliorations supplémentaires (24, 165). *Il est recommandé qu'un programme général d'entraînement en musculation (série simple ou multiséries) soit utilisé par les novices débutant un programme d'entraînement. Pour une progression continue chez les intermédiaires et avancés, les résultats d'études à long terme indiquent que les programmes multiséries doivent être utilisés avec une variation systématique du volume et de l'intensité d'entraînement (entraînement périodisé) dans le temps, puisque démontré comme le plus efficace pour améliorer la force. Afin de réduire le risque de surentraînement, une augmentation dramatique du volume d'entraînement n'est pas recommandée.* Finalement, il est important de souligner que tous les exercices n'ont pas besoin d'être réalisés avec le même nombre de séries et que l'emphase sur des volumes d'entraînement faibles ou élevés dépend des priorités du programme et des muscles à entraîner.

Choix des exercices. Autant les exercices mono-articulaires (39, 193, 263) que les pluri-articulaires (107, 112, 147, 238) sont efficaces pour augmenter la force musculaire chez les groupes musculaires entraînés. Les exercices multi-articulaires (e.g. développé couché, flexion avant des jambes (squat)) sont plus complexes du point de vue neural (35) et sont considérés généralement comme plus efficaces pour augmenter la force musculaire générale parce qu'ils permettent de lever plus de poids (240). Les exercices mono-articulaires (e.g. extension du genou, flexion du genou ou du coude) ont été typiquement utilisés pour le développement ciblé de groupes musculaires précis et pourraient présenter moins de risques de blessures parce qu'ils demandent moins d'habiletés et de technique. *Il est recommandé que les deux types d'exercices (mono- et multi-articulaires) soient inclus dans un programme d'entraînement en musculation*

avec une emphase sur les exercices multi-articulaires pour maximiser les gains de force musculaire et la capacité d'effectuer des mouvements à chaîne cinétique fermée chez les sujets débutants, intermédiaires et avancés.

Poids libres et appareils. En général, les appareils de musculation sont considérés comme plus sécuritaires et plus faciles d'apprentissage. Ils permettent d'effectuer certains exercices difficiles à faire avec des poids libres (e.g. extension des genoux, tirage des latissimus) (73). En fait, les appareils aident à stabiliser le corps et limitent le mouvement aux articulations impliquées en synergie et centrent le mouvement sur un ensemble spécifique des muscles agonistes primaires (73).

Contrairement aux appareils, les poids libres peuvent générer un patron de coordination intra- et intermusculaire qui ressemble au mouvement requis pour réaliser une tâche spécifique. *Pour l'entraînement novice à intermédiaire, il est recommandé que le programme d'entraînement en résistance comprenne des exercices avec poids libres et avec appareils. Pour l'entraînement avancé de la force, il est recommandé que l'emphase soit placée sur les exercices avec poids libres, avec des exercices sur appareils comme complément, selon les besoins du programme.*

Ordre des exercices. La séquence des exercices affecte significativement l'expression aigue de la force musculaire (225). Étant donné que les exercices multi-articulaires sont efficaces pour augmenter la force musculaire, il est nécessaire de maximiser la réalisation de ces exercices pour optimiser les gains de force. Cette recommandation inclut la réalisation de ces exercices plut tôt dans la séance d'entraînement lorsque la fatigue est minimale. De plus, les groupes musculaires entraînés à chaque séance peuvent affecter l'ordre. Ainsi, les recommandations pour séquencer les exercices chez les novices, intermédiaires et avancés incluent :

- Lorsqu'on entraîne tous les groupes musculaires importants dans une même séance : *les exercices avec les gros avant les petits groupes musculaires, les multi-articulaires avant les mono-articulaires ou une rotation des exercices des membres inférieurs et supérieurs (du haut et du bas du corps).*
- Si on entraîne les muscles du haut du corps une journée et ceux du bas du corps l'autre journée : *faire les exercices des gros groupes musculaires avant les petits groupes, les multi-*

articulaires avant les mono-articulaires ou une rotation agonistes-antagonistes (exercices opposés, e.g. flexion suivie d'extension).

- Si on entraîne des groupes musculaires individuels : *faire les exercices multi-articulaires avant les mono-articulaires, les exercices intenses avant les moins intenses.*

Périodes de repos. Le temps de repos entre les séries et les exercices affecte significativement les réponses métabolique (153), hormonale (149, 150, 152) et cardiovasculaire (67) lors d'une séance d'exercice de musculation et aussi lors de la réalisation d'une série subséquente (147) et au niveau des adaptations d'entraînement (203, 214). La performance d'un exercice aigu peut être compromise par de courtes périodes (i.e. 1 min) de repos (147). Les études longitudinales d'entraînement en musculation montrent une augmentation de la force plus élevée avec des périodes de repos plus longues que courtes entre les séries (e.g. 2-3 min vs 30-40 s) (203, 214). Ces données indiquent l'importance de la récupération pour optimiser l'entraînement de la force. Il faut noter que la durée des périodes de repos varie en fonction des objectifs d'un exercice donné. Ainsi, différents exercices peuvent avoir différentes périodes de repos. La force musculaire peut être augmentée avec de courtes périodes de repos mais avec une vitesse d'exécution plus lente, démontrant ainsi le besoin d'établir des objectifs (i.e. l'importance de l'augmentation de la force recherchée) avant de choisir la durée des périodes de repos. *Pour l'entraînement débutant, intermédiaire et avancé, il est recommandé que des périodes de repos d'au moins 2-3 minutes soient utilisées pour les exercices multi-articulaires avec charges lourdes qui utilisent une masse musculaire relativement importante (e.g. squat, développé couché). Pour les exercices auxiliaires (exercices complémentaires aux exercices principaux, y compris les exercices sur appareils, e.g. extension du genou, flexion du genou), une période de repos plus courte de 1-2 min peut être suffisante.*

Vélocité de l'action musculaire. La vélocité de la contraction musculaire utilisée pour réaliser des actions musculaires dynamiques influence les réponses nerveuses (55, 96, 97), métaboliques (14) et l'hypertrophie (123) à l'exercice de musculation. Les études sur l'exercice de musculation isocinétique indiquent des augmentations de force spécifiques à la vélocité d'entraînement avec un peu de transfert au-dessus et en dessous de la vélocité d'entraînement (e.g. $30^{\circ}\cdot s^{-1}$) (69). Plusieurs chercheurs ont entraîné des individus entre 30 et $300^{\circ}\cdot s^{-1}$ et ont

observé des augmentations significatives de la force musculaire (41, 60, 123, 133, 144, 182, 191, 250). Il semble que l'entraînement à vitesse modérée ($180-240^{\circ}\cdot s^{-1}$) produit l'augmentation de force la plus élevée de toutes les vitesses mesurées (133). Les données obtenues des études d'entraînement en musculation isocinétique supportent la spécificité de la vitesse et démontrent l'importance de l'entraînement à des vitesses lente, moyenne et élevée pour améliorer la production de force isocinétique à toutes les vitesses mesurées (69).

L'entraînement avec résistance externe dynamique constante (isotonique) implique un stress différent selon la vitesse d'entraînement. Des réductions significatives de la production de force sont observées si la répétition est intentionnellement effectuée à vitesse lente. En effet, il faut noter que deux types de contractions à faible vitesse sont présentes lors de l'entraînement dynamique de musculation : non-intentionnelle et intentionnelle. Les vitesses *non-intentionnelles* sont utilisées durant les répétitions à haute intensité lorsque soit la charge et/ou la fatigue sont responsables pour limiter la vitesse du mouvement. Une étude a montré que lors d'une série de 5 RM du développé couché, la phase concentrique pendant les trois premières répétitions est d'environ 1.2-1.6 secondes, alors que les deux dernières répétitions sont environ 2.5 et 3.3 secondes, respectivement (183). Ces données démontrent l'impact de la charge et de la fatigue sur la vitesse de répétition chez les individus réalisant chaque répétition maximale.

Les contractions intentionnelles à basse vitesse sont utilisées avec des charges sous-maximales quand les individus ont un meilleur contrôle de la vitesse. La production de force concentrique est significativement plus faible lors d'une vitesse de mouvement intentionnellement lente (5 s concentrique, 5 s excentrique) comparé à la vitesse traditionnelle (moyenne) avec une activation nerveuse correspondante plus faible (139). Ces données suggèrent que l'activité des unités motrices pourrait être limitée lors d'une contraction réalisée intentionnellement à faible vitesse. De plus, les charges plus légères requises pour les faibles vitesses d'entraînement pourraient ne pas constituer un stimulus optimal pour augmenter la force chez des individus déjà entraînés en musculation, cela même si quelques évidences supportent son utilisation comme composante du programme dans les premières phases d'entraînement chez des individus très peu entraînés (254). Il a été récemment observé qu'en réalisant une série de 10 répétitions avec vitesse très lente (10 s concentrique, 5 s excentrique) comparé avec vitesse lente (2 s concentrique, 4 s excentrique), une réduction de 30 % de la

charge d'entraînement a été nécessaire, qui a diminué significativement les gains de force pour la plupart des exercices testés après 10 semaines d'entraînement (137). En comparaison avec de faibles vitesses, les vitesses moyennes (1-2 s concentrique, 1-2 s excentrique) et élevées (< 1 s concentrique, 1 s excentrique) sont plus efficaces pour augmenter la performance musculaire (e.g. nombre de répétitions réalisées, production de travail et de puissance, volume) (156, 188) et pour augmenter le taux des gains de force (116). De récentes études ayant examiné l'entraînement à hautes vitesses avec des charges modérément élevées indiquent la supériorité de cette procédure pour l'entraînement avancé sur les traditionnelles faibles vitesses (132, 189). *Pour les individus non-entraînés, il est recommandé d'utiliser, au début de l'entraînement, les vitesses lente et moyenne. Pour l'entraînement intermédiaire, il est recommandé d'utiliser des vitesses modérées pour développer la force. Pour l'entraînement avancé, il est recommandé d'inclure le continuum de vitesses allant des vitesses non-intentionnellement lentes aux rapides pour maximiser les gains de force. Il est important d'utiliser la technique appropriée pour toute vitesse d'exercice afin de diminuer les risques de blessures.*

Fréquence. La fréquence optimale d'entraînement (nombre de séances par semaine) dépend de plusieurs facteurs comme le volume d'entraînement, l'intensité, le choix des exercices, le niveau de condition physique, la capacité de récupération et le nombre de groupes musculaires entraînés par séance. De nombreuses études d'entraînement en musculation ont utilisé des fréquences de 2-3 jours/semaine avec alternance chez des sujets initialement non-entraînés (28, 41, 50, 119). Cette fréquence est efficace dans ces conditions (20), alors qu'une fréquence de 1-2 jours/semaine semble être une fréquence efficace de maintien de la force pour les individus déjà engagés dans un programme d'entraînement en musculation (89, 184). Dans quelques études, a) 3 jours/sem est supérieur à 1 j/sem (176) et 2 j/sem (88); b) 4 j/sem supérieur à 3 j/sem (125); c) 3 j/sem supérieur à 1 et 2 j/sem (82) pour augmenter la force maximale. *Ainsi, il est recommandé que les novices entraînent leur musculature corporelle 2-3 jours/ semaine.*

Il semble que la progression vers l'entraînement intermédiaire ne semble pas nécessiter un changement de fréquence pour entraîner chacun des groupes musculaires, mais pourrait être plus dépendante des altérations d'autres variables aiguës comme le choix des exercices, le volume et l'intensité. L'augmentation de la fréquence d'entraînement faciliterait la spécialisation (e.g. plus grand choix d'exercices et volume d'entraînement par groupe musculaire selon des objectifs plus

spécifiques). Faire les exercices du haut du corps durant une séance d'entraînement et ceux du bas du corps lors d'une autre (fraction haut/bas du corps) ou entraîner des groupes musculaires spécifiques (routines fractionnées) durant une séance sont communs à ce niveau d'entraînement en plus des séances impliquant tout le corps (69). Des augmentations semblables de la force ont été observées pour des séances impliquant haut et bas du corps vs tout le corps (30). *Il est recommandé que pour la progression vers l'entraînement de niveau intermédiaire, une fréquence similaire de 2-3 jours/semaine soit utilisée pour les séances impliquant tout le corps. Pour les individus désirant changer leur structure d'entraînement (e.g. fraction haut/bas du corps; routine fractionnée), une fréquence de 3-4 jours/semaine est recommandée de façon à ce que chaque groupe musculaire soit entraîné 1-2 jours/semaine seulement.*

La fréquence optimale nécessaire pour la progression lors de l'entraînement avancé varie considérablement. Les joueurs de football (américain) s'entraînant 4-5 jours/semaine obtiennent de meilleurs résultats que ceux s'entraînant 3 ou 6 jours/sem (121). Les haltérophiles et culturistes de niveau avancés s'entraînent même avec une fréquence encore plus élevée. Des routines doublement fractionnée (2 séances par jour avec emphase sur différents groupes musculaires dans chaque séance) sont communes (111, 264) ce qui peut donner jusqu'à 8-12 séances/semaine. Jusqu'à 18 séances/semaine ont été observées chez des haltérophiles de niveau olympique (264). Le raisonnement expliquant une fréquence d'entraînement si élevée est que de courtes séances d'entraînement fréquentes suivies par des périodes de récupération, une supplémentation et un apport alimentaire appropriés permettent un entraînement de haute intensité grâce à une utilisation énergétique maximale et une fatigue moindre à l'exercice (69). Une étude a rapporté un gain supérieur de surface transversale du muscle et de la force lorsque le volume d'entraînement est divisé en deux séances par jour au lieu d'une seule séance (100). Les dynamophiles (powerlifters) de niveau avancé s'entraînent habituellement 4-6 jours/sem (69). Il est important de noter que pas tous les groupes musculaires sont entraînés à chaque séance avec une fréquence élevée. Plutôt, chaque groupe musculaire majeur peut être entraîné 2-3 fois/semaine malgré une fréquence d'entraînement élevée. *Il est recommandé que les individus de niveau avancé s'entraînent 4-6 jours/sem. Les haltérophiles et culturistes élités pourraient bénéficier de hautes fréquences (e.g. 2 séances en 1 journée 4-5 jours/sem), si des moyens appropriés sont utilisés pour optimiser la récupération et minimiser le risque de surentraînement.*

HYPERTROPHIE MUSCULAIRE

Il est bien connu que l'entraînement en musculation induit l'hypertrophie musculaire (129, 170, 232). L'hypertrophie musculaire est le résultat d'une accumulation de protéines, soit par une synthèse plus élevée, soit par une plus faible dégradation ou les deux (23). De récents développements ont montré que la synthèse protéique dans le muscle squelettique humain augmente après une seule séance intense de musculation (201, 202). La synthèse protéique culmine environ 24 h après l'exercice et demeure élevée pour 2-3 h après l'exercice jusqu'à 36-48 h après l'exercice (81, 162, 202). Il n'est pas clair si l'entraînement en musculation augmente la synthèse de toutes les protéines cellulaires ou seulement les protéines myofibrillaires (201, 264). Le type de protéines synthétisées pourrait avoir un impact direct sur le design des programmes d'entraînement en musculation (e.g. culturisme vs entraînement de la force) (264).

Plusieurs autres facteurs contribuent à déterminer les gains d'hypertrophie musculaire (129, 170, 232). L'hypertrophie musculaire est le résultat d'une accumulation de protéines, soit par une synthèse plus élevée, soit par une plus faible dégradation ou les deux (23). De récents développements ont montré que la synthèse protéique dans le muscle squelettique humain augmente après une seule séance intense de musculation (201, 202). La synthèse protéique culmine environ 24 h après l'exercice et demeure élevée pour 2-3 h après l'exercice jusqu'à 36-48 h après l'exercice (81, 162, 202).

Il n'est pas clair si l'entraînement en musculation augmente la synthèse de toutes les protéines cellulaires ou seulement des protéines myofibrillaires (201, 264). Le type de protéines synthétisées pourrait avoir un impact direct sur le design des programmes d'entraînement en musculation (e.g. culturisme vs entraînement de la force) (264).

Plusieurs autres facteurs contribuent à déterminer les gains d'hypertrophie musculaire. Les fibres musculaires à contraction rapide s'hypertrophient davantage que les fibres à contraction lente (6, 115, 170). L'allongement musculaire diminue le catabolisme des protéines et augmente la synthèse protéique chez des modèles animaux (85). Les dommages mécaniques résultant de contractions excentriques avec charge constituent un stimulus pour l'hypertrophie (16, 80, 161, 173) qui est cependant atténué par l'entraînement chronique en musculation (80). Néanmoins, il n'a pas été démontré que le dommage musculaire soit requis pour obtenir une hypertrophie. Le

processus de remodelage musculaire est significativement affecté par la concentration de testostérone, de l'hormone de croissance, de cortisol, de l'insuline et de l'IGF-1, qui augmentent durant et après une séance aiguë d'exercice en musculation (1, 145, 146, 150, 152, 171, 211, 232).

L'évolution temporelle de l'hypertrophie musculaire a été étudiée durant de courtes périodes d'entraînement chez des individus non-entraînés. Le système nerveux joue un rôle significatif dans les entraînements de la force mesurée dans les premières phases d'adaptation à l'entraînement (186). Par contre, après 6-7 semaines d'entraînement, l'hypertrophie devient évidente (201), même si les changements qualitatifs des protéines (232), des types de fibres (232) et du taux de synthèse protéique (201) se produisent plus tôt. À partir de ce moment, il semble y avoir une interaction entre les adaptations nerveuses et l'hypertrophie dans l'expression de la force (217). Une proportion moindre de la masse musculaire est recrutée à l'entraînement en musculation pour une intensité donnée lorsque des adaptations sont apparues (204). Ceci indique la nécessité d'une surcharge progressive pour générer un recrutement maximal des fibres musculaires, ce qui permet de maximiser les gains d'hypertrophie de la fibre musculaire. Les haltérophiles avancés ont des augmentations de la force sur une période de 2 ans avec peu ou pas d'hypertrophie musculaire (112), indiquant un rôle important des adaptations nerveuses même à un niveau élevé d'entraînement nécessaire à de tels leviers. Il semble que cette interaction reflète beaucoup le stimulus d'entraînement appliqué et suggère que les altérations dans le design du programme ciblant les facteurs nerveux et hypertrophiants pourraient être bénéfiques pour maximiser la force et l'hypertrophie.

Recommandations pour augmenter l'hypertrophie musculaire : design des programmes

***Actions musculaires.** Comme pour l'entraînement de la force, il est recommandé que des actions musculaires concentrique et excentrique soient incluses pour les entraînements en musculation chez les débutants, intermédiaires et avancés.*

***Charge et volume.** De nombreux types de programmes d'entraînement en musculation peuvent stimuler l'hypertrophie musculaire chez l'homme et la femme (43, 233). Les programmes d'entraînement en musculation ciblant l'hypertrophie musculaire utilisent des charges modérées à très élevées et sont habituellement à volume élevé (146). Ces programmes*

provoquent une augmentation aiguë plus élevée de la testostérone et de l'hormone de croissance que les programmes à charge élevée et à faible volume avec de longues périodes de repos (3 min) (150, 152). Le travail total, en plus des forces développées, a été impliqué dans les gains d'hypertrophie musculaire (189, 226, 230). Cela a été appuyé en partie, par l'observation d'une hypertrophie plus élevée avec des entraînements multiséries à volume élevé qu'avec des programmes monoséries à faible volume chez les individus entraînés en musculation (147, 154, 165). L'entraînement traditionnel de la force (charges élevées, répétitions faibles, longues périodes de repos) peut produire une hypertrophie significative (96, 247). Par contre, il a été suggéré que le travail total durant l'entraînement traditionnel de la force pourrait ne pas maximiser l'hypertrophie (264). *Pour les novices et intermédiaires, il est recommandé qu'une charge modérée soit utilisée (70-85 % de 1 RM) pour 8-12 répétitions par série, et 1-3 séries par exercice. Pour l'entraînement avancé, il est recommandé qu'une charge de 70-100 % de 1 RM soit utilisée pour 1-12 répétitions par série, 3-6 séries par exercice, de façon périodisée, pour que la majorité de l'entraînement consiste en des charges de 6-12 RM et un peu moins d'entraînement avec des charges de 1-6 RM.*

Choix et ordre des exercices. Les exercices mono- et multi-articulaires sont tous efficaces pour augmenter l'hypertrophie musculaire (39, 147). La complexité des exercices choisis affecte l'évolution temporelle de l'hypertrophie musculaire, les exercices multi-articulaires nécessitent une phase d'adaptation nerveuse plus longue que les exercices mono-articulaires (35). L'effet de l'ordre des exercices sur l'hypertrophie musculaire est moins bien compris. Par contre, il semble que les lignes directrices sur la séquence recommandée des exercices pour développer la force, pourraient aussi s'appliquer à l'hypertrophie musculaire. *Il est recommandé que les exercices mono- et multi-articulaires soient inclus dans les programmes d'entraînement en musculation chez les individus de niveaux novice, intermédiaire et avancé avec un ordre similaire à ce qui est recommandé pour entraîner la force.*

Périodes de repos. La longueur des périodes de repos affecte significativement la force musculaire, mais moins est connu concernant l'hypertrophie. Une étude n'a pas rapporté de différences significatives entre des périodes de repos de 30, 90 et 180 s sur la circonférence du muscle, les plis cutanés ou la masse corporelle chez des hommes entraînés de façon récréative pendant 5 semaines (214). De courtes périodes de repos (1-2 min) associées à une intensité

modérée à élevée ont provoqué la réponse hormonale anabolique la plus élevée en comparaison avec les programmes utilisant de très lourdes charges avec de longues périodes de repos (150, 152). Même en n'étant pas une évaluation directe de l'hypertrophie, les réponses hormonales aiguës sont considérées potentiellement plus importantes pour l'hypertrophie que les changements hormonaux chroniques (171). *Il est recommandé que des périodes de 1-2 minutes soient utilisées pour les programmes d'entraînement novice ou intermédiaire. Pour l'entraînement avancé, la longueur des périodes de repos doit correspondre aux objectifs de chaque exercice ou à ceux de la phase d'entraînement de façon à ce que des périodes de repos de 2-3 min puissent être utilisées avec des charges lourdes pour les exercices principaux et des périodes de repos de 1-2 minutes peuvent être utilisées pour tous les autres exercices d'intensité moyenne à moyennement intense.*

Vélocité de répétitions. Peu est connu concernant l'effet de la vélocité des répétitions sur l'hypertrophie musculaire. Il a été suggéré que des vélocités de mouvement plus élevées constituent un moindre stimulus pour l'hypertrophie que des vélocités faibles et moyennes (247). Il semble que l'utilisation de différentes vélocités de contractions soit nécessaire pour augmenter l'hypertrophie musculaire lors de l'entraînement de niveau avancé. *Il est recommandé que des vélocités faibles à moyennes soient utilisées pour les novices et intermédiaires. Pour l'entraînement avancé, il est recommandé que des vélocités faibles, moyennes et élevées soient utilisées selon la charge, le nombre de répétitions et les objectifs d'un exercice donné.*

Fréquence. La fréquence d'entraînement dépend du nombre de groupes musculaires entraînés par séance. Des fréquences de 2-3 jours/semaine ont été efficaces chez des hommes et femmes de niveau novice et intermédiaire (43, 119, 232). Des fréquences plus élevées ont été suggérées pour l'entraînement avancé de l'hypertrophie. Par contre, seulement quelques groupes musculaires sont entraînés à chaque séance lors d'un entraînement à haute fréquence. *Il est recommandé que des fréquences similaires à celles de l'entraînement de la force soient utilisées pour entraîner l'hypertrophie chez les novices, intermédiaires et avancés.*

PUISSANCE MUSCULAIRE

L'expression et le développement de la puissance sont importants pour la performance sportive et aussi pour les activités de la vie courante. Par définition, plus de puissance est

produite quand la même quantité de travail est complétée dans une période de temps plus courte ou qu'une quantité plus grande de travail est effectuée dans une même période de temps. Les contributions neuromusculaires à la puissance musculaire comprennent 1) le taux maximal de développement de la force (TMDF) (105), 2) la force musculaire à des vitesses de contraction lentes et rapides (134), 3) efficacité du cycle étirement raccourcissement (CER) (25) et 4) la coordination des patrons et habiletés motrices (223, 263). Plusieurs études montrent une amélioration de la puissance après un entraînement en musculation traditionnel (3, 18, 37, 260, 261). Malgré tout, des doutes ont été mis sur l'efficacité des méthodes traditionnelles de musculation pour développer la puissance maximale parce que ces méthodes d'entraînement ont tendance à n'améliorer que la force maximale à des vitesses de mouvement faibles plutôt que d'améliorer les autres composantes contribuant à la production de la puissance maximale (93). Ainsi, des programmes de musculation plus spécifiques à la puissance pourraient être plus efficaces. Un programme composé de mouvements avec production élevée de puissance utilisant des charges assez légères est plus efficace pour améliorer les capacités de saut vertical qu'un entraînement traditionnel de la force (105, 106). Il semble que l'entraînement en musculation avec charges lourdes et de faibles vitesses de mouvement amène surtout à des gains de force maximale alors que l'entraînement en puissance (charges légères à moyennes à vitesses élevées) augmente la production de la force à des vitesses plus élevées et le taux maximal de développement de la force (106). Par contre, il est important de s'entraîner simultanément pour la force afin de fournir une bonne fondation pour le développement de la puissance (13).

De fait, l'entraînement en musculation avec charges lourdes pourrait diminuer la production de puissance à moins d'être effectué avec des mouvements explosifs (22). Le problème inhérent aux programmes traditionnels de musculation est que la charge est décélérée pour une proportion considérable (24-50 %) du mouvement concentrique (54, 198). Ce pourcentage augmente à 52 % lorsque le mouvement est effectué avec un pourcentage inférieur à 81 % de 1 RM (54) ou lors de tentatives de réaliser les mouvements à une vitesse similaire à l'activité ciblée (198). Les exercices balistiques de résistance (mouvements explosifs permettant l'accélération dans toute l'amplitude du mouvement) limitent ce problème (196, 197, 261). Un de ces mouvements balistiques est le squat sauté avec charge. Les squats sautés avec charge à 30 % de 1 RM (134, 187, 189) augmentent la performance au saut vertical davantage que les squats

traditionnels et plyométriques (261). Ces résultats indiquent l'importance de réduire la phase de décélération lorsqu'on désire entraîner la puissance maximale.

Choix et ordre des exercices. Les exercices multi-articulaires ont été utilisés très fréquemment pour l'entraînement de la puissance. La présence d'exercices généralisés du corps (arraché, push press) est recommandée, puisque ces exercices requièrent une production rapide de la force (77). Ces exercices requièrent aussi plus de temps pour l'apprentissage et il est fortement recommandé de s'assurer d'une technique adéquate pour l'entraînement du débutant et de l'intermédiaire. La qualité de l'effort à chaque répétition (c'est-à-dire vitesse maximale) est essentielle pour atteindre les objectifs de développement de la puissance. *L'utilisation prépondérante d'exercices multi-articulaires avec le même ordre que pour l'entraînement de la force est recommandée pour l'entraînement de la puissance aux niveaux débutant, intermédiaire et avancé.*

Charge, volume et vitesse des répétitions. Considérant que la programmation de l'entraînement en musculation est efficace pour améliorer la force et la puissance musculaire chez les débutants et intermédiaires, *il est recommandé d'intégrer une composante de la puissance, composée d'une à trois séries par exercice avec des charges légères à modérées (30-60 % de 1 RM) pour 3 à 6 répétitions non limitées par la fatigue. Cette composante doit être intégrée aux programmes intermédiaires mais pas dans un programme de niveau débutant. La progression lors de l'entraînement de la puissance peut utiliser différentes stratégies dans une périodisation. Les charges lourdes (85-100 % de 1 RM) sont nécessaires pour augmenter la composante force de la puissance et les charges légères à moyennes (30-60 % de 1 RM) avec vitesse explosive sont nécessaires pour augmenter la production rapide de la force. Un programme de puissance multi-séries (3-6 séries) intégré à un programme d'entraînement de la force composé de 1-6 répétitions de manière périodisée est recommandé pour l'entraînement avancé de la puissance.*

Périodes de repos et fréquence d'entraînement. *Les recommandations pour la durée des périodes de repos et la fréquence d'entraînement sont similaires à celles de l'entraînement de la force chez les niveaux débutant, intermédiaire et avancé.*

ENDURANCE MUSCULAIRE LOCALE

L'endurance musculaire locale augmente durant l'entraînement en musculation (11, 124, 164, 165, 175, 242). Plus spécifiquement, les endurance sous-maximale locale et à haute intensité (endurance-force) ont été étudiées. L'entraînement traditionnel en musculation augmente l'endurance musculaire absolue (nombre maximal de répétitions réalisé avec une charge pré-entraînement) (11, 124, 147) mais des effets limités sont observés en terme d'endurance musculaire locale relative (endurance évaluée à une intensité relative spécifique ou à un pourcentage donné de 1 RM) (169). L'entraînement avec résistance faible à modérée est plus efficace pour améliorer l'endurance musculaire locale, absolue et relative (11, 124). Une relation existe entre les gains de force et l'endurance musculaire locale de façon à ce que l'entraînement de la force seule puisse améliorer l'endurance musculaire locale jusqu'à un certain point. Par contre, l'entraînement spécifique produit les gains les plus importants (11, 243). L'entraînement de l'endurance musculaire locale exige de 1) faire beaucoup de répétitions par série et/ou 2) minimiser la récupération entre les séries (11).

Choix et ordre des exercices. Les exercices sollicitant des gros groupes musculaires ou plusieurs groupes à la fois génèrent les réponses métaboliques aiguës les plus importantes à l'entraînement de musculation (14, 220, 246). La demande métabolique est un stimulus important pour les adaptations du muscle squelettique nécessaires pour améliorer l'endurance musculaire locale (augmentation du nombre de mitochondries et de la densité capillaire, transitions des fibres musculaires, capacité de tamponner). La séquence des exercices pourrait ne pas être aussi importante que pour l'entraînement de la force, puisque la fatigue est une composante nécessaire à l'entraînement de l'endurance. *Il est recommandé que les exercices mono- et multi-articulaires soient compris dans un programme ciblant le développement de l'endurance musculaire locale en utilisant différentes combinaisons de séquences pour l'entraînement novice, intermédiaire et avancé.*

Charge et volume. Des charges légères combinées à plusieurs répétitions (15-20 ou plus) sont les plus efficaces pour augmenter l'endurance musculaire locale (11, 243). Par contre, des charges modérées à lourdes (couplées à de courtes périodes de repos) sont aussi efficaces pour augmenter l'endurance musculaire locale à haute intensité et absolue (11, 175). Les programmes

à haut volume sont supérieurs pour augmenter l'endurance (119, 147, 165, 243), surtout lorsque plusieurs séries par exercice sont effectuées (147, 165, 175). *Pour l'entraînement novice et intermédiaire, il est recommandé que des charges relativement légères soient utilisées (10-15 répétitions) avec un volume modéré à élevé. Pour l'entraînement avancé, il est recommandé que différentes stratégies de chargement soient utilisées pour des séries multiples par exercice (10-25 répétitions ou plus) de façon périodisée.*

Périodes de repos. La durée des intervalles de repos à l'entraînement en musculation semble influencer l'endurance musculaire. Les culturistes (s'entraînant habituellement avec un volume élevé et de courtes périodes de repos) ont un taux de fatigue significativement inférieur à celui des dynamophiles (powerlifters) (153). Ces derniers s'entraînent avec des volumes faibles à modérés et des périodes de repos plus longues. Ces données montrent les bénéfices des séances à volume élevé et avec de courtes périodes de repos pour améliorer l'endurance musculaire locale. *Il est recommandé que de courtes périodes de repos soient utilisées pour l'entraînement en endurance (c'est-à-dire 1-2 min pour les séries à plusieurs répétitions, 15-20 répétitions ou plus) et moins d'une minute pour les séries moyennes (10-15 répétitions).*

Fréquence. *La fréquence recommandée pour entraîner l'endurance musculaire locale est similaire à celle de l'entraînement de l'hypertrophie.*

Vélocité des répétitions. Les études sur l'exercice isocinétique indiquent qu'un entraînement à haute vélocité (c'est-à-dire $180^{\circ}\cdot s^{-1}$) est plus efficace qu'à faible vélocité (c'est-à-dire $30^{\circ}\cdot s^{-1}$) pour augmenter l'endurance musculaire locale (4, 182). Ainsi, les vélocités élevées de contraction sont recommandées pour l'entraînement isocinétique. Par contre, il semble que les vélocités faibles et élevées sont efficaces pour améliorer l'endurance musculaire locale lors d'un entraînement dynamique à résistance constante. Deux stratégies efficaces utilisées pour prolonger la durée d'une série sont 1) nombre de répétitions modéré avec une vélocité intentionnellement lente et 2) nombre de répétitions élevé avec des vélocités moyennes à élevées. L'entraînement avec vélocité intentionnellement lente avec charges légères (5 s concentrique, 5 s excentrique plus lent) place une tension continue sur les muscles pour une période prolongée et est plus exigeant métaboliquement que des vélocités moyennes à élevées (14). Par contre, il est difficile de faire un grand nombre de répétitions avec des répétitions intentionnellement lentes. *Il*

est recommandé que les vitesses intentionnellement lentes soient utilisées avec un nombre modéré de répétitions (10-15). Si l'objectif est de faire un nombre élevé de répétitions (15-25 ou plus), les vitesses modérées à élevées sont recommandées.

PERFORMANCE MOTRICE

L'effet de l'entraînement en musculation sur la performance de différentes habiletés motrices a été étudié (3, 45, 121, 237). L'importance de l'amélioration de la performance motrice résultant de l'entraînement en musculation a des implications non seulement pour l'entraînement de gestes sportifs spécifiques mais aussi dans la réalisation des activités quotidiennes (c'est-à-dire l'équilibre, la montée d'escaliers). Le principe de spécificité est important pour améliorer la performance motrice. En effet, les améliorations les plus significatives sont observées lorsque les programmes d'entraînement en musculation sont prescrits spécifiquement en fonction de la tâche ou de l'activité. *Les recommandations pour améliorer la performance motrice sont similaires à celles de l'entraînement de force et de la puissance (discutées dans les sections précédentes).*

Saut vertical. La production de force est positivement corrélée à la hauteur en saut vertical (27, 168, 205, 255). Cette relation entre la capacité de sauter et la puissance/force musculaire lors d'exercices avec hautes vitesses de mouvement est cohérente avec la vitesse angulaire du genou lors du saut vertical (53). Plusieurs études ont rapporté des améliorations significatives du saut vertical après un entraînement en musculation (3, 13, 28). Les exercices multi-articulaires, comme les leviers olympiques, semblent améliorer la capacité de sauter (77, 262). La vitesse élevée et l'implication articulaire de ces exercices et leur capacité à intégrer la force, la puissance et la coordination musculaire favorisent un transfert direct pour améliorer la performance lors du saut. Certaines études (105, 261) ont rapporté des gains significatifs de la hauteur du saut avec un entraînement utilisant des charges légères (< 60 % de 1 RM), ce qui supporte la théorie de l'entraînement balistique à haute vitesse. D'autres études suggèrent qu'une augmentation de la hauteur du saut vertical peut être obtenue avec des intensités d'entraînement plus élevées (> 80 % de 1 RM) (3, 262). Les programmes d'entraînement multi-séries sont supérieurs aux programmes mono-séries pour augmenter la performance du saut vertical (147). Les programmes d'entraînement en musculation de 5-6 jours/semaine génèrent des gains plus élevés du saut

vertical (2.3-4.3 %) que les programmes de 3-4 jours/semaine (0-1.2 %) chez des joueurs de football américain de niveau universitaire, Division 1AA entraînés en musculation (121). L'inclusion de l'entraînement plyométrique (forme explosive d'exercice impliquant différents sauts) combiné à un entraînement en musculation est plus efficace pour améliorer la capacité à sauter (3). *Il est recommandé que les exercices multi-articulaires soient réalisés avec une combinaison de charges légères à lourdes (avec des vitesses élevées de répétition) et des volumes moyens à élevés périodisés sur 4-6 jours/sem pour une progression maximale de la performance du saut vertical.*

Vitesse de sprint. La production de force est associée à la performance sur sprint (5, 10, 229) et semble être un meilleur prédicteur de vitesse lorsque l'évaluation de la force est réalisée à une vitesse isocinétique de plus de $180^{\circ}\cdot s^{-1}$ (200). Des gains de force absolue peuvent améliorer la composante force de l'équation de puissance. Par contre, des forces maximales croissantes ne semblent pas être très bien corrélées avec des temps inférieurs sur le sprint (12). L'entraînement de la force n'a produit que de petites réductions non significatives ($< 1\%$) des temps de sprint (44, 76, 121). Lorsque l'entraînement de la force et du sprint sont combinés, des gains significatifs de la vitesse de sprint sont observés (45). L'inclusion de mouvements de haute vitesse est primordiale pour améliorer la vitesse de sprint » (45). *Il est recommandé que la combinaison d'un entraînement en musculation lourde et d'exercices balistiques de musculation (avec des modalités d'entraînement comme les sprints et la plyométrie) soient inclus pour faire progresser la capacité en sprint.*

Activités sportives spécifiques. L'importance de l'entraînement en musculation pour des activités sportives spécifiques a été montrée (36, 154). L'importance de l'entraînement en musculation de la force et balistique pour le coup de pied au soccer (210), la vitesse du lancer (70, 120, 157, 174, 199), le lancer du poids (36) et la vitesse du service au tennis (154) a été démontrée.

MODÈLE DE PROGRESSION : DU GÉNÉRAL AU PARTICULIER

Un nombre limité d'études portent sur différents modèles de progression lors d'entraînements en musculation à long terme. La plupart des études d'entraînement sont à court terme (6-24 semaines) et ont surtout impliqué des individus non-entraînés. Peu est connu sur des

périodes d'entraînement plus longues. Les individus entraînés en musculation montrent un taux de progression plus lent (83, 107, 112, 221). Les haltérophiles avancés utilisent un patron cyclique complexe de variation de l'entraînement pour optimiser la performance (107, 112). Il semble que la progression lors d'un entraînement en musculation se produise de façon ordonnée, à partir d'un design de programme de base vers un design plus spécifique lorsque les gains ralentissent. Par exemple, un programme général utilisé par un débutant augmentera probablement l'hypertrophie, la force, la puissance et l'endurance locale musculaire de façon simultanée. Par contre, ce même programme n'aura pas le même effet chez un individu entraîné. La force, la puissance, l'hypertrophie et l'endurance locale musculaire auront alors à être entraînées spécifiquement. *Ainsi, il est recommandé que le design de programme progresse du simple au plus complexe lors d'une progression de l'entraînement débutant à avancé.*

MODÈLES DE PROGRESSION DE L'EXERCICE DE MUSCULATION CHEZ DES ADULTES ÂGÉS SAINS

La progression à long terme de l'exercice de musculation chez des adultes âgés, sains est induite en manipulant de façon continue les variables du programme. Par contre, des précautions doivent être prises avec les individus âgés en ce qui concerne le taux de progression. De plus, chaque individu répondra différemment à un programme d'exercice de musculation en fonction de son état d'entraînement, de son expérience antérieure et la réponse spécifique de l'individu au stress de l'entraînement (94). Le design d'un programme d'exercice de musculation de qualité pour la personne âgée doit viser à améliorer sa qualité de vie en augmentant plusieurs composantes de la vigueur musculaire (56). Les programmes incluant une variation, une surcharge progressive, une spécificité et une attention particulière à la récupération sont recommandés (2).

La force et l'hypertrophie musculaire sont des composantes essentielles de la qualité de vie. Avec l'augmentation de l'espérance de vie, la baisse de force musculaire associée à l'âge devient une préoccupation. L'optimisation de la force afin de rencontrer et même dépasser des objectifs de performance de tâches de la vie courante est important pour un nombre croissant de personnes âgées qui désirent vivre en bonne condition physique, être actifs et indépendants. L'exercice de musculation visant à augmenter l'hypertrophie musculaire est nécessaire pour limiter la

sarcopénie. Plusieurs études sur l'effet de l'exercice de musculation sur la force et l'hypertrophie musculaires chez les personnes âgées ont démontré que les deux variables augmentent si les exigences de base de l'intensité et du volume sont rencontrées (2, 29, 34, 56, 65, 74, 75, 99, 101, 103, 108, 151). Le programme d'exercice de musculation de base pour la santé et la condition physique recommandé par l'ACSM pour un adulte sain (80) a été un bon point de départ chez la population âgée (63).

Lorsque l'objectif à long terme de l'entraînement en musculation chez une personne âgée est la progression vers des niveaux plus élevés de force et d'hypertrophie musculaires, les évidences supportent l'utilisation de la variation dans le programme d'entraînement en musculation (94, 101, 103, 151). Néanmoins, la variation peut s'appliquer pour toute variable précédemment mentionnée (choix et ordre des exercices, intensité, volume, périodes de repos et fréquence). Des études ont montré des gains significatifs de force musculaire peu importe l'âge (2, 56, 65, 74, 75, 185). Il est important que la progression soit introduite de façon très graduelle chez cette population puisque le potentiel d'amélioration de la force semble élevé (2). *Les recommandations pour améliorer la force et l'hypertrophie musculaire chez la personne âgée supportent l'utilisation autant des exercices multi-articulaires que mono-articulaires (peut-être avec appareils au début avec une progression vers les poids libres avec plus d'expérience d'entraînement) avec des vitesses de mouvement lentes à modérées, 1 à 3 séries par exercice, 60-80 % de 1 RM pour 8-12 répétitions et 1-2 min de repos entre les séries.*

La capacité de développer la puissance musculaire diminue avec l'âge (64, 101). Une augmentation de la puissance amène la personne âgée à améliorer sa performance dans des tâches requérant un taux élevé de développement de la force (17) incluant une baisse du risque de chutes accidentelles. Il existe des fondements pour inclure un exercice de musculation spécifique au développement de la puissance pour l'adulte âgé sain (99, 101, 103, 151). L'atrophie musculaire, surtout des fibres rapides, est surtout attribuable à une combinaison du processus de vieillissement et de niveaux d'activité physique très faibles (57, 61, 160). Cette atrophie musculaire est associée à une baisse considérable de force et de puissance musculaire (74, 98, 99, 103). Les baisses de puissance musculaire dépassent celles de la force musculaire (26, 98, 99, 103, 179, 228). Les programmes de développement de la puissance chez la personne âgée pourraient aider à optimiser les capacités fonctionnelles et aussi avoir des effets

secondaires sur d'autres systèmes physiologiques (e.g. tissu conjonctif) (17). Sur la base des évidences disponibles, il semble prudent d'inclure des mouvements à haute vélocité (non-balistiques), à basse intensité pour maintenir la structure et la fonction du système neuromusculaire. *Les recommandations pour augmenter la puissance chez la personne âgée sains incluent 1) l'entraînement pour améliorer la force musculaire tel que discuté précédemment et 2) la réalisation d'exercices multi- et mono-articulaires (au début avec des appareils et ensuite avec des poids libres) pour 1 à 3 séries par exercice avec des charges légères à moyennes (40-60 % de 1 RM) pour 6-10 répétitions réalisées à vélocité élevée.*

L'amélioration de l'endurance musculaire locale chez la personne âgée pourrait amener à une meilleure capacité de travail sous-maximal et à réaliser des activités récréatives. Peu d'études sur le développement de l'endurance musculaire locale chez l'adulte âgé ont été réalisées. L'endurance musculaire locale peut être améliorée par l'exercice de musculation en circuit (78), l'entraînement de la force (124) et des programmes à répétitions élevées à charge moyenne (11, 243) chez des populations plus jeunes. Considérant que l'amélioration de l'endurance musculaire locale est atteinte avec des charges basses à moyennes, il semble que *des recommandations similaires peuvent s'appliquer aussi aux personnes âgées [c'est-à-dire des charges faibles à modérées réalisées avec des répétitions moyennes à élevées (10-15 ou plus) avec des intervalles de repos courtes].*

CONCLUSION

La progression lors d'un programme d'exercice de musculation dépend du développement d'objectifs d'entraînement appropriés et spécifiques. Une synthèse de recommandations se retrouve au Tableau 1. La progression requiert la priorisation des systèmes d'entraînement utilisés durant un cycle d'entraînement donné pour atteindre les résultats désirés. La progression de l'exercice de musculation doit être un processus individualisé de prescription d'exercice utilisant l'équipement, un design et des techniques d'exercices appropriées pour s'assurer de la sécurité et de l'efficacité du programme. Des spécialistes bien formés et compétents dans le domaine de la force et du conditionnement physique doivent être impliqués dans le processus afin d'optimiser la sécurité et le design du programme d'entraînement. Bien que des exemples et des lignes directrices puissent être présentés, c'est finalement le bon jugement, l'expérience et la formation des professionnels de l'exercice impliqués qui déterminera les chances de succès de

l'entraînement. Néanmoins, plusieurs options de prescription d'exercice sont disponibles dans une progression de l'exercice de musculation pour atteindre les objectifs de santé, de condition ou de performance physiques.

REMERCIEMENTS

Cette déclaration a été révisée pour l'American College of Sports Medicine par des membres; le Comité de déclaration; Gregg Haff, BS, BA, BPE; Michael Deschenes, Ph.D., FACSH; et Stephen Alway, Ph.D., FACSM.

Tableau 1. Synthèse des recommandations pour l'entraînement de musculation. Variables de programme à ajuster pour la progression selon le niveau de condition physique.

	Action musculaire	Sélection des exercices	Ordre des exercices	Charge	Volume	Intervalles de repos	Vélocité	Fréquence
Force								
Nov.	EXC & CON	MA & PA	Pour Nov, Int, Av : Gros < petits	60-70 % 1RM	1-3 séries, 8-12 rép.	Pour tout niveau : 2-3 min pour exercices principaux,	Lent, moyen	2-3X/sem
Int.	EXC & CON	MA & PA	PA < MA	70-80 % 1RM	Multi-séries, 6-12 rép.	1-2 min	Moyen	2-4X/sem
Av.	EXC & CON	MA & PA – emphase sur PA	HI < BI	1RM - PÉR.	Multi-séries, 1-12 rép. - PÉR.	1-2 min pour les autres	Vol. lent-rapide	4-6X/sem
Hypertrophie								
Nov.	EXC & CON	MA & PA	Pour Nov, Int, Av : Gros < petits	60-70 % 1RM	1-3 séries, 8-12 rép.	1-2 min	Lent, moyen	2-3X/sem
Int.	EXC & CON	MA & PA	PA < MA	70-80 % 1RM	Multi-séries, 6-12 rép.	1-2 min	Lent, moyen	2-4X/sem
Av.	EXC & CON	MA & PA	HI < BI	70-100 % 1RM avec emphase sur 70-85 % - PÉR.	Multi-séries, 1-12 rép. Emphase sur 6-12 rép. - PÉR.	2-3 min TLO 1-2 min TLE-MOY	Lent, moyen, rapide	4-6X/sem
Puissance								
Nov.	EXC & CON	Pour Nov, Int, AV : surtout PA	Pour tout niveau : Gros < petit	Pour tout niveau : Lourdes (>80 %) - Force	Entraîner la force	Pour tout niveau : 2-3 min pour exercices principaux,	Moyen	2-3X/sem
Int.	EXC & CON		Plus complexe < moins	Légères (30-60 %) - Vélocité - PÉR.	1-3 séries, 3-6 rép.	1-2 min pour les autres	Rapide	2-4X/sem
Av.	EXC & CON		HI < BI		3-6 séries, 1-6 rép. - PÉR.		Rapide	4-6X/sem
Endurance								
Nov.	EXC & CON	MA & PA	Pour tout niveau : Variété de séquence recommandée	50-70 % 1RM	1-3 séries, 10-15 rép.	Pour tout niveau : 1-2 min pour séries à haute répétition < 1 min pour 10-15 rép.	Pour tout niveau : lent, répétitions moyennes	2-3X/sem
Int.	EXC & CON	MA & PA		50-70 % 1RM	Multi-séries, 10-15 rép. ou plus		Moyen - répétitions élevées	2-4X/sem
Av.	EXC & CON	MA & PA		30-80 % 1RM - PÉR.	Multi-séries, 10-25 rép. ou plus - PÉR.			4-6X/sem

EXC : excentrique; CON : concentrique; Nov. : novice; Int. : intermédiaire; Av. : avancé; MA : mono-articulaire; PA : pluri-articulaire; HI : haute intensité; BI : basse intensité; 1RM : 1 répétition maximale; PÉR. : périodisé, TLO : très lourd; TLE-MOY : très léger à moyen.

REFERENCES

1. ADAMS, G. R. Role of insulin-like growth factor-I in the regulation of skeletal muscle adaptation to increased loading. *Exerc. Sports Sci. Rev.* 26:31–60, 1998.
2. ADAMS, K. J., K. L. BARNARD, A. M. SWANK, E. MANN, M. R. KUSHNICK, and D. M. DENNY. Combined high-intensity strength and aerobic training in diverse phase II cardiac rehabilitation patient. *J. Cardiopulm. Rehabil.* 19:209–215, 1999.
3. ADAMS, K. J., J. P. O'SHEA, K. L. O'SHEA, and M. CLIMSTEIN. The effect of six weeks of squat, plyometric and squat-plyometric training on power production. *J. Appl. Sport Sci. Res.* 6:36–41, 1992.
4. ADEYANJU, K., T. R. CREWS, and W. J. MEADORS. Effects of two speeds of isokinetic training on muscular strength, power and endurance. *J. Sports Med.* 23:352–356, 1983.
5. ALEXANDER, M. J. L. The relationship between muscle strength and sprint kinematics in elite sprinters. *Can. J. Sport Sci.* 14: 148–157, 1989.
6. ALWAY, S. E., W. H. GRUMBT, W. J. GONYEA, and J. STRAY-GUNDERSEN. Contrasts in muscle and myofibers of elite male and female bodybuilders. *J. Appl. Physiol.* 67:24–31, 1989.
7. AMERICAN ASSOCIATION OF CARDIOVASCULAR AND PULMONARY RE-HABILITATION. *Guidelines for Cardiac Rehabilitation and Secondary Prevention Programs*, 3rd Ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 1999, pp. 111–115.
8. AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. Position Stand: The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30:975–991, 1998.
9. AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. Exercise and physical activity for older adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30:992–1008, 1998.
10. ANDERSON, M. A., J. B. GIECK, D. PERRIN, A. WELTMAN, R. RUTT, and C. DENEGAR. The relationships among isometric, isotonic, and isokinetic quadriceps and hamstring force and three components of athletic performance. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 14:114–120, 1991.
11. ANDERSON, T., and J. T. KEARNEY. Effects of three resistance training programs on muscular strength and absolute and relative endurance. *Res. Q.* 53:1–7, 1982.
12. BAKER, D., and S. NANCE. The relation between running speed and measures of strength and power in professional rugby league players. *J. Strength Cond. Res.* 13:230–235, 1999.
13. BAKER, D., G. WILSON, and R. CARLYON. Periodization: the effect on strength of manipulating volume and intensity. *J. Strength Cond. Res.* 8:235–242, 1994.
14. BALLOR, D. L., M. D. BECQUE, and V. L. KATCH. Metabolic responses during hydraulic resistance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19:363–367, 1987.
15. BANDY, W. D., and W. P. HANTEN. Changes in torque and electromyographic activity of the quadriceps femoris muscles following isometric training. *Phys. Ther.* 73:455–467, 1993.
16. BARNETT, J. G., R. G. HOLLY, and C. R. ASHMORE. Stretch-induced growth in chicken wing muscles: biochemical and morphological characterization. *Am. J. Physiol.* 239:C39–C46, 1980.
17. BASSEY, E. J., M. A. FIATARONE, E. R. O'NEILL, M.KELLY, W. J. EVANS, and L. A. LIPSITZ. Leg extensor power and functional performance in very old men and women. *Clin. Sci.* 82:321–327, 1992.
18. BAUER, T., R. E. THAYER, and G. BARAS. Comparison of training modalities for power development in the lower extremity. *J. Appl. Sport Sci. Res.* 4:115–121, 1990.
19. BERGER, R. A. Optimum repetitions for the development of strength. *Res. Q.* 33:334–338, 1962.
20. BERGER, R. A. Effect of varied weight training programs on strength. *Res. Q.* 33:168–181, 1962.
21. BERGER, R. A. Comparison of the effect of various weight training loads on strength. *Res. Q.* 36:141–146, 1963.
22. BOBBERT, M. A., and A. J. VAN SOEST. Effects of muscle strengthening on vertical jump height: a simulation study. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26:1012–1020, 1994.
23. BOOTH, F. W., and D. B. THOMASON. Molecular and cellular adaptation of muscle in response to exercise: perspectives of various models. *Physiol. Rev.* 71:541–585, 1991.
24. BORST, S. E., D. V. DEHOYOS, L. GARZARELLA, et al. Effects of resistance training on insulin-like growth factor-1 and IGF bind-ing proteins. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33:648–653, 2001.
25. BOSCO, C., and P. V. KOMI. Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta Physiol. Scand.* 26:47–67, 1979.
26. BOSCO, C., and P. V. KOMI. Influence of aging on the mechanical behavior of leg extensor muscles. *Eur. J. Appl. Physiol.* 45:209–219, 1980.
27. BOSCO, C., P. MOGNONI, and P. LUHTANEN. Relationship between isokinetic performance and ballistic movement. *Eur. J. Appl. Physiol.* 51:357–364, 1983.
28. BRAITH, R. W., J. E. GRAVES, M. L. POLLOCK, S.H. LEGGETT, D. M. CARPENTER, and A. B. COLVIN. Comparison of two versus three days per week of variable resistance training during 10 and 18 week programs. *Int. J. Sports Med.* 10:450–454, 1989.
29. BROWN, A. B., N. MCCARTNEY, and D. G. SALE. Positive adaptations to weight-lifting training in the elderly. *J. Appl. Physiol.* 69:1725–1733, 1990.
30. CALDER, A. W., P. D. CHILIBECK, C. E. WEBBER, and D. G. SALE. Comparison of whole and split weight training routines in young women. *Can. J. Appl. Physiol.* 19:185–199, 1994.
31. CAPEN, E. K. The effect of systemic weight training on power, strength and endurance. *Res. Q.* 21:83–89, 1950.
32. CAPEN, E. K. Study of four programs of heavy resistance exercises for development of muscular strength. *Res. Q.* 27:132–142, 1956.
33. CARPENTER, D. M., J. E. GRAVES, M.L.POLLOCK, et al. Effect of 12 and 20 weeks of resistance training on lumbar extension torque production. *Phys. Ther.* 71:580–588, 1991.
34. CHARETTE, S. L., L. MCEVOY, G. PYKA, et al. Muscle hypertrophy response to resistance training in older women. *J. Appl. Physiol.* 70:1912–1916, 1991.

35. CHILIBECK, P. D., A. W. CALDER, D. G. SALE, and C. E. WEBBER. A comparison of strength and muscle mass increases during resistance training in young women. *Eur. J. Appl. Physiol.* 77: 170–175, 1998.
36. CHU, E. The effect of systematic weight training on athletic power. *Res. Q.* 21:188–194; 1950.
37. CLUTCH, D., M. WILTON, C. MCGOWN, and G. R. BRYCE. The effect of depth jumps and weight training on leg strength and vertical jump. *Res. Q.* 54:5–10, 1983.
38. COLEMAN, A. E. Nautilus vs universal gym strength training in adult males. *Am. Corr. Ther. J.* 31:103–107, 1977.
39. COLLIANDER, E. B., and P. A. TESCH. Effects of eccentric and concentric muscle actions in resistance training. *Acta Physiol. Scand.* 140:31–39, 1990.
40. COLLINS, M. A., D. W. HILL, K. J. CURETON, and J. J. DEMELLO. Plasma volume change during heavy-resistance weight lifting. *Eur. J. Appl. Physiol.* 55:44–48, 1986.
41. COYLE, E. F., D. C. FEIRING, T. C. ROTKIS, et al. Specificity of power improvements through slow and fast isokinetic training. *J. Appl. Physiol.* 51:1437–1442, 1981.
42. CRAIG, B. W., and H. KANG. Growth hormone release following single versus multiple sets of back squats: total work versus power. *J. Strength Cond. Res.* 8:270–275, 1994.
43. CURETON, K. J., M. A. COLLINS, D. W. HILL, and F. M. MCELHANNON. Muscle hypertrophy in men and women. *Med. Sci. Sports Exerc.* 20:338–344, 1988.
44. DELECLUSE, C. Influence of strength training on sprint running performance: current findings and implications for training. *Sports Med.* 24:147–156, 1997.
45. DELECLUSE, C., H. V. COPPENOLLE, E. WILLEMS, M. V. LEEPPUTTE, R. DIELS, and M. GORIS. Influence of high-resistance and high velocity training on sprint performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27:1203–1209, 1995.
46. DELORME, T. L., and A. L. WATKINS. Techniques of progressive resistance exercise. *Arch. Phys. Med.* 29:263–273, 1948.
47. DOLEZAL, B. A., and J. A. POTTEIGER. Concurrent resistance and endurance training influence basal metabolic rate (BMR) in non-dieting individuals. *J. Appl. Physiol.* 85:695–700, 1998.
48. DONS, B., K. BOLLERUP, F. BONDE-PETERSEN, and S. HANCKE. The effect of weight-lifting exercise related to muscle fiber composition and muscle cross-sectional area in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 40:95–106, 1979.
49. DUDLEY, G. A., and R. DJAMIL. Incompatibility of endurance- and strength-training modes of exercise. *J. Appl. Physiol.* 59:1446–1451, 1985.
50. DUDLEY, G. A., P. A. TESCH, B. J. MILLER, and M. D. BUCHANAN. Importance of eccentric actions in performance adaptations to resistance training. *Aviat. Space Environ. Med.* 62:543–550, 1991.
51. DUDLEY, G. A., P. A. TESCH, R. T. HARRIS, C. L. GOLDEN, and P. BUCHANAN. Influence of eccentric actions on the metabolic cost of resistance exercise. *Aviat. Space Environ. Med.* 62:678–682, 1991.
52. EBBELING, C. B., and P. M. CLARKSON. Exercise-induced muscle damage and adaptation. *Sports Med.* 7:207–234, 1989.
53. ECKERT, H. M. Angular velocity and range of motion in the vertical and standing broad jumps. *Res. Q.* 39:937–942, 1968.
54. ELLIOTT, B. C., G. J. WILSON, and G. K. KERR. A biomechanical analysis of the sticking region in the bench press. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21:450–462, 1989.
55. ELORANTA, V., and P. V. KOMI. Function of the quadriceps femoris muscle under maximal concentric and eccentric contraction. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.* 20:159–174, 1980.
56. EVANS, W. J. Exercise training guidelines for the elderly. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31:12–17, 1999.
57. EVANS, W. J., and W. W. CAMPBELL. Sarcopenia and age-related changes in body composition and functional capacity. *J. Nutr.* 123(2 Suppl.):465–468, 1993.
58. EVANS, W. J., J. F. PATTON, E. C. FISHER, and H. G. KNUTTGEN. Muscle metabolism during high intensity eccentric exercise. In: *Biochemistry of Exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1982, pp. 225–228.
59. EWART, C. K. Psychological effects of resistive weight training: implications for cardiac patients. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21:683–688, 1989.
60. EWING, J. L., D. R. WOLFE, M. A. ROGERS, M. L. AMUNDSON, and G. A. STULL. Effects of velocity of isokinetic training on strength, power, and quadriceps muscle fibre characteristics. *Eur. J. Appl. Physiol.* 61:159–162, 1990.
61. FAULKNER, J. A., and S. V. BROOKS. Muscle fatigue in old animals: unique aspects of fatigue in elderly humans. *Adv. Exp. Med. Biol.* 384:471–480, 1995.
62. FEES, M., T. DECKER, L. SNYDER-MACKLER, and M. J. AXE. Upper extremity weight-training modifications for the injured athlete: a clinical perspective. *Am. J. Sports Med.* 26:732–742, 1998.
63. FEIGENBAUM, M. S., and M. L. POLLOCK. Prescription of resistance training for health and disease. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31:38–45, 1999.
64. FIATARONE, M. A., and W. J. EVANS. The etiology and reversibility of muscle dysfunction in the aged. *J. Gerontol.* 48:77–83, 1993.
65. FIATARONE, M. A., E. C. MARKS, N. D. RYAN, C. N. MEREDITH, L. A. LIPSITZ, and W. J. EVANS. High-intensity strength training in nonagenarians. *JAMA* 263:3029–3034, 1990.
66. FINER, J. T., R. M. SIMMONS, and J. A. SPUDICH. Single myosin molecule mechanics: piconewton forces and nanometre steps. *Nature* 368:113–119, 1994.
67. FLECK, S. J. Cardiovascular adaptations to resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 20:S146–S151, 1988.
68. FLECK, S. J. Periodized strength training: a critical review. *J. Strength Cond. Res.* 13:82–89, 1999.
69. FLECK, S. J., and W. J. KRAEMER. *Designing Resistance Training Programs*, 2nd Ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 1997, pp. 1–115.
70. FLECK, S. J., S. L. SMITH, M. W. CRAIB, T. DENAHAN, R. E. SNOW, and M. L. MITCHELL. Upper extremity isokinetic torque and throwing velocity in team handball. *J. Appl. Sport Sci. Res.* 6:120–124, 1992.
71. FLETCHER, G. F., G. BALADY, V. F. FROELICHER, L. H. HARTLEY, W. L. HASKELL, and M. L. POLLOCK. Exercise standards: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association. *Circulation* 91:580–615, 1995.

72. FLUCKEY, J. D., M. HICKEY, J. K. BRAMBRINK, K. K. HART, K. ALEXANDER, and B. W. CRAIG. Effects of resistance exercise on glucose tolerance in normal and glucose-intolerant subjects. *J. Appl. Physiol.* 77:1087–1092, 1994.
73. FORAN, B. Advantages and disadvantages of isokinetics, variable resistance and free weights. *NSCA J.* 7:24–25, 1985.
74. FRONTERA, W. R., V. A. HUGHES, K. J. LUTZ, and W. J. EVANS. A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-yr-old men and women. *J. Appl. Physiol.* 71:644–650, 1991.
75. FRONTERA, W. R., C. N. MEREDITH, K. P. O'REILLY, H. G. KNUTTGEN, and W. J. EVANS. Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. *J. Appl. Physiol.* 71: 644–650, 1988.
76. FRY, A. C., W. J. KRAEMER, C. A. WESEMAN, et al. The effects of an off-season strength and conditioning program on starters and non-starters in women's intercollegiate volleyball. *J. Appl. Sport Sci. Res.* 5:174–181, 1991.
77. GARHAMMER, J., and R. GREGOR. Propulsion forces as a function of intensity for weightlifting and vertical jumping. *J. Appl. Sport Sci. Res.* 6:129–134, 1992.
78. GETTMAN, L. R., J. J. AYRES, M. L. POLLOCK, and A. JACKSON. The effect of circuit weight training on strength, cardiorespiratory function, and body composition of adult men. *Med. Sci. Sports.* 10:171–176, 1978.
79. GHILARDUCCI, L. C., R. G. HOLLY, and E. A. AMSTERDAM. Effects of high resistance training in coronary artery disease. *Am. J. Cardiol.* 64:866–870, 1989.
80. GIBALA, M. J., S. A. INTERISANO, M. A. TARNOPOLSKY, et al. Myofibrillar disruption following acute concentric and eccentric resistance exercise in strength-trained men. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 78:656–661, 2000.
81. GIBALA, M. J., J. D. MACDOUGALL, M. A. TARNOPOLSKY, W. T. STAUBER, and A. ELORRIAGA. Changes in skeletal muscle ultra-structure and force production after acute resistance exercise. *J. Appl. Physiol.* 78:702–708, 1995.
82. GILLAM, G. M. Effects of frequency of weight training on muscle strength enhancement. *J. Sports Med.* 21:432–436, 1981.
83. GIORGI, A., G. J. WILSON, R. P. WEATHERBY, and A. J. MURPHY. Functional isometric weight training: its effects on the development of muscular function and the endocrine system over an 8-week training period. *J. Strength Cond. Res.* 12:18–25, 1998.
84. GOLDBERG, A. P. Aerobic and resistive exercise modify risk factors for CHD. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21:669–674, 1989.
85. GOLDBERG, A. L., C. JAIBLECKI, and J. B. LI. Effects of use and disuse on amino acid transport and protein turnover in muscle. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 228:190–201, 1974.
86. GOLDBERG, L., D. L. ELLIOT, R. W. SCHUTZ, and F. E. KLOSTER. Changes in lipid and lipoprotein levels after weight training. *JAMA* 252:504–506, 1984.
87. GOTSHALK, L. A., C. C. LOEBEL, B. C. NINDL, et al. Hormonal responses to multiset versus single-set heavy-resistance exercise protocols. *Can. J. Appl. Physiol.* 22:244–255, 1997.
88. GRAVES, J. E., M. L. POLLOCK, A. E. JONES, A. B. COLVIN, and S. H. LEGGETT. Specificity of limited range of motion variable resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21:84–89, 1989.
89. GRAVES, J. E., M. L. POLLOCK, S. H. LEGGETT, R. W. BRAITH, D. M. CARPENTER, and L. E. BISHOP. Effect of reduced training frequency on muscular strength. *Int. J. Sports Med.* 9:316–319, 1988.
90. GULCH, R. W. Force-velocity relations in human skeletal muscle. *Int. J. Sports Med.* 15(Suppl.):S2–S10, 1994.
91. GUTIN, B., and M. J. KASPER. Can exercise play a role in osteoporosis prevention? A review. *Osteoporos. Int.* 2:55–69, 1992.
92. HÄKKINEN, K. Factors influencing trainability of muscular strength during short term and prolonged training. *NSCA J.* 7:32–34, 1985.
93. HÄKKINEN, K. Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training. *J. Sports Med.* 29:9–26, 1989.
94. HÄKKINEN, K. Neuromuscular fatigue and recovery in women at different ages during heavy resistance loading. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.* 35:403–413, 1995.
95. HÄKKINEN, K. Neuromuscular adaptation during strength training, aging, detraining and immobilization. *Crit. Rev. Phys. Rehab. Med.* 6:161–198, 1994.
96. HÄKKINEN, K., M. ALEN, and P. V. KOMI. Changes in isometric force-and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiol. Scand.* 125:573–585, 1985.
97. HÄKKINEN, K., P. V. KOMI, and M. ALEN. Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiol. Scand.* 125:587–600, 1985.
98. HÄKKINEN, K., and A. H. AKKINEN. Muscle cross-sectional area, force production and relaxation characteristics in women at different ages. *Eur. J. Appl. Physiol.* 62:410–414, 1991.
99. HÄKKINEN, K., and A. H. AKKINEN. Neuromuscular adaptations during intensive strength training in middle-aged and elderly males and females. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.* 35:137–147, 1995.
100. HÄKKINEN, K., and M. KALLINEN. Distribution of strength training volume into one or two daily sessions and neuromuscular adaptations in female athletes. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.* 34:117–124, 1994.
101. HÄKKINEN, K., M. KALLINEN, M. IZQUIERDO, et al. Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *J. Appl. Physiol.* 84: 1341–1349, 1998.
102. HÄKKINEN, K., M. KALLINEN, P. V. KOMI, and H. KAUKANEN. Neuromuscular adaptations during short-term "normal" and reduced training periods in strength athletes. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.* 31:35–42, 1991.
103. HÄKKINEN, K., M. KALLINEN, V. LINNAMO, U. M. PASTINEN, R. U. NEWTON, and W. J. KRAEMER. Neuromuscular adaptations during bilateral versus unilateral strength training in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiol. Scand.* 158:77–88, 1996.
104. HÄKKINEN, K., and P. V. KOMI. Electromyographic changes during strength training and detraining. *Med. Sci. Sports Exerc.* 15:455–460, 1983.

105. HÄKKINEN, K., and P. V. KOMI. Changes in electrical and mechanical behavior of leg extensor muscles during heavy resistance strength training. *Scand. J. Sports Sci.* 7:55–64, 1985.
106. HÄKKINEN, K., and P. V. KOMI. The effect of explosive type strength training on electromyographic and force production characteristics of leg extensor muscles during concentric and various stretch-shortening cycle exercises. *Scand. J. Sports Sci.* 7:65–76, 1985.
107. HÄKKINEN, K., P. V. KOMI, M. ALEN, and H. KAUKANEN. EMG, muscle fiber and force production characteristics during a 1 year training period in elite weightlifters. *Eur. J. Appl. Physiol.* 56:419–427, 1987.
108. HÄKKINEN, K., R. U. NEWTON, S. E. GORDON, et al. Changes in muscle morphology, electromyographic activity, and force production characteristics during progressive strength training in young and older men. *J. Gerontol.* 53A:B415–B423, 1998.
109. HÄKKINEN, K., A. PAKARINEN, M. ALEN, and P. V. KOMI. Serum hormones during prolonged training of neuromuscular performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 53:287–293, 1985.
110. HÄKKINEN, K., A. PAKARINEN, M. ALEN, H. KAUKANEN, and P. V. KOMI. Relationships between training volume, physical performance capacity, and serum hormone concentrations during pro-longed training in elite weightlifters. *Int. J. Sports Med.* 8(Suppl.):61–65, 1987.
111. HÄKKINEN, K., A. PAKARINEN, M. ALEN, H. KAUKANEN, and P. V. KOMI. Neuromuscular and hormonal responses in elite athletes to two successive strength training sessions in one day. *Eur. J. Appl. Physiol.* 57:133–139, 1988.
112. HÄKKINEN, K., A. PAKARINEN, M. ALEN, H. KAUKANEN, and P. V. KOMI. Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two years. *J. Appl. Physiol.* 65:2406–2412, 1988.
113. HARRIS, G. R., M. H. STONE, H. S. O'BRYANT, C. M. PROULX, and R. L. JOHNSON. Short term performance effects of high speed, high force or combined weight training. *J. Strength Cond. Res.* 14:14–20, 2000.
114. HASS, C. J., L. GARZARELLA, D. DEHOYOS, and M. L. POLLOCK. Single versus multiple sets and long-term recreational weight-lifters. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32:235–242, 2000.
115. HATHER, B. M., P. A. TESCH, P. BUCHANAN, and G. A. DUDLEY. Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiol. Scand.* 143:177–185, 1991.
116. HAY, J. G., J. G. ANDREWS, and C. L. VAUGHAN. Effects of lifting rate on elbow torques exerted during arm curl exercises. *Med. Sci. Sports Exerc.* 15:63–71, 1983.
117. HENNEMAN, E., G. SOMJEN, and D. CARPENTER. Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *J. Neurophysiol.* 28: 560–580, 1965.
118. HERRICK, A. B., and W. J. STONE. The effects of periodization versus progressive resistance exercise on upper and lower body strength in women. *J. Strength Cond. Res.* 10:72–76, 1996.
119. HICKSON, R. C., K. HIDAKA, and C. FOSTER. Skeletal muscle fiber type, resistance training, and strength-related performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26:593–598, 1994.
120. HOFF, J., and B. ALMASBAKK. The effects of maximum strength training on throwing velocity and muscle strength in female team-handball players. *J. Strength Cond. Res.* 9:255–258, 1995.
121. HOFFMAN, J. R., W. J. KRAEMER, A. C. FRY, M. DESCHENES, and D. M. KEMP. The effect of self-selection for frequency of training in a winter conditioning program for football. *J. Appl. Sport Sci. Res.* 3:76–82, 1990.
122. HORTOBAGYI, T., J. BARRIER, D. BEARD, et al. Greater initial adaptations to submaximal muscle lengthening than maximal shortening. *J. Appl. Physiol.* 81:1677–1682, 1996.
123. HOUSH, D. J., T. J. HOUSH, G. O. JOHNSON, and W. K. CHU. Hypertrophic response to unilateral concentric isokinetic resistance training. *J. Appl. Physiol.* 73:65–70, 1992.
124. HUCZEL, H. A., and D. H. CLARKE. A comparison of strength and muscle endurance in strength-trained and untrained women. *Eur. J. Appl. Physiol.* 64:467–470, 1992.
125. HUNTER, G. R. Changes in body composition, body build, and performance associated with different weight training frequencies in males and females. *NSCA J.* 7:26–28, 1985.
126. HURLEY, B. F., J. M. HAGBERG, A. P. GOLDBERG, et al. Resistive training can reduce coronary risk factors without altering VO₂ max or percent body fat. *Med. Sci. Sports Exerc.* 20:150–154, 1988.
127. HURLEY, B. F., and P. F. KOKKINOS. Effects of weight training on risk factors for CHD. *Sports Med.* 4:231–238, 1987.
128. JACKSON, A., T. JACKSON, J. HNATEK, and J. WEST. Strength development: using functional isometrics in an isotonic strength training program. *Res. Q. Exerc. Sport.* 56:234–237, 1985.
129. JACKSON, C. G., A. L. DICKINSON, and S. P. RINGEL. Skeletal muscle fiber area alterations in two opposing modes of resistance-exercise training in the same individual. *Eur. J. Appl. Physiol.* 61:37–41, 1990.
130. JACOBSON, B. H. A comparison of two progressive weight training techniques on knee extensor strength. *Athletic Train.* 21:315–319, 1986.
131. JONES, D., and O. RUTHERFORD. Human muscle strength training: the effects of three different regimes and the nature of the resultant changes. *J. Physiol.* 391:1–11, 1987.
132. JONES, K., G. HUNTER, G. FLEISIG, R. ESCAMILLA, and L. LEMAK. The effects of compensatory acceleration on upper-body strength and power in collegiate football players. *J. Strength Cond. Res.* 13:99–105, 1999.
133. KANEHISA, H., and M. MIYASHITA. Specificity of velocity in strength training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 52:104–106, 1983.
134. KANEKO, M., T. FUCHIMOTO, H. TOJI, and K. SUEI. Training effect of different loads on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscle. *Scand. J. Sports Sci.* 5:50–55, 1983.
135. KATCH, F. I., and S. S. DRUM. Effects of different modes of strength training on body composition and anthropometry. *Clin. Sports Med.* 4:413–459, 1986.
136. KAWAKAMI, Y., T. ABE, and T. FUKUNAGA. Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. *J. Appl. Physiol.* 74:2740–2744, 1993.
137. KEELER, L. K., L. H. FINKELSTEIN, W. MILLER, and B. FERNHALL. Early-phase adaptations to traditional-speed vs. superslow resistance training on strength and aerobic capacity in sedentary individuals. *J. Strength Cond. Res.* 15:309–314, 2001.

138. KELEMAN, M. H., K. J. STEWART, R. E. GILLIAN, et al. Circuit weight training in cardiac patients. *J. Am. Coll. Cardiol.* 7:38–42, 1986.
139. KEOGH, J. W. L., G. J. WILSON, and R. P. WEATHERBY. A cross-sectional comparison of different resistance training techniques in the bench press. *J. Strength Cond. Res.* 13:247–258, 1999.
140. KIBLER, W. B., and T. J. CHANDLER. Sport-specific conditioning. *Am. J. Sports Med.* 22:424–432, 1994.
141. KOFFLER, K. H., A. MENKES, R. A. REDMOND, W. E. WHITEHEAD, R. E. PRATLEY, and B. F. HURLEY. Strength training accelerates gastrointestinal transit in middle-aged and older men. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24:415–419, 1992.
142. KOMI, P. V., M. KANEKO, and O. AURA. EMG activity of leg extensor muscles with special reference to mechanical efficiency in concentric and eccentric exercise. *Int. J. Sports Med.* 8(Suppl.):22–29, 1987.
143. KOMI, P. V., and J. H. T. VIITASALO. Signal characteristics of EMG at different levels of muscle tension. *Acta Physiol. Scand.* 96:267–276, 1976.
144. KNAPIK, J. J., R. H. MAWDSLEY, and M. U. RAMOS. Angular specificity and test mode specificity of isometric and isokinetic strength training. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 5:58–65, 1983.
145. KRAEMER, W. J. Endocrine responses to resistance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 20:152–157, 1988.
146. KRAEMER, W. J. Endocrine responses and adaptations to strength training. In: *Strength and Power in Sport*, P. V. Komi (Ed.). Boston: Blackwell Scientific Publications, 1992, pp. 291–304.
147. KRAEMER, W. J. A series of studies—the physiological basis for strength training in American football: fact over philosophy. *J. Strength Cond. Res.* 11:131–142, 1997.
148. KRAEMER, W. J., and S. J. FLECK. Resistance training: exercise prescription (part 4 of 4). *Phys. Sports Med.* 16:69–81, 1988.
149. KRAEMER, W. J., S. J. FLECK, J. E. DZIADOS, et al. Changes in hormonal concentrations after different heavy-resistance exercise protocols in women. *J. Appl. Physiol.* 75:594–604, 1993.
150. KRAEMER, W. J., S. E. GORDON, S. J. FLECK, et al. Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *Int. J. Sports Med.* 12:228–235, 1991.
151. KRAEMER, W. J., K. HAKKINEN, R. U. NEWTON, et al. Effects of heavy-resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *J. Appl. Physiol.* 87:982–992, 1999.
152. KRAEMER, W. J., L. MARCHITELLI, S. E. GORDON, et al. Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J. Appl. Physiol.* 69:1442–1450, 1990.
153. KRAEMER, W. J., B. J. NOBLE, M. J. CLARK, and B. W. CULVER. Physiologic responses to heavy-resistance exercise with very short rest periods. *Int. J. Sports Med.* 8:247–252, 1987.
154. KRAEMER, W. J., N. RATAMESS, A. C. FRY, et al. Influence of resistance training volume and periodization on physiological and performance adaptations in college women tennis players. *Am. J. Sports Med.* 28:626–633, 2000.
155. KRAMER, J. B., M. H. STONE, H. S. O'BRYANT, et al. Effects of single vs. multiple sets of weight training: impact of volume, intensity, and variation. *J. Strength Cond. Res.* 11:143–147, 1997.
156. LACHANCE, P. F., and T. HORTOBAGYI. Influence of cadence on muscular performance during push-up and pull-up exercises. *J. Strength Cond. Res.* 8:76–79, 1994.
157. LACHOWETZ, T., J. EVON, and J. PASTIGLIONE. The effect of an upper body strength program on intercollegiate baseball throwing velocity. *J. Strength Cond. Res.* 12:116–119, 1998.
158. LAYNE, J. E., and M. E. NELSON. The effect of progressive resistance training on bone density: a review. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31:25–30, 1999.
159. LEONG, B., G. KAMEN, C. PATTEN, and J. BURKE. Maximal motor unit discharge rates in the quadriceps muscles of older weight lifters. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31:1638–1644, 1999.
160. LEXELL, J., and D. DOWNHAM. What is the effect of aging on type 2 muscle fibers? *J. Neurol. Sci.* 107:250–251, 1992.
161. MACDOUGALL, J. D. Adaptability of muscle to strength training: a cellular approach. In: *Biochemistry of Exercise VI*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1986, pp. 501–513.
162. MACDOUGALL, J. D., M. J. GIBALA, M. A. TARNOPOLSKY, J. R. MACDONALD, S. A. INTERISANO, and K. E. YARASHESKI. The time course for elevated muscle protein synthesis following heavy resistance exercise. *Can. J. Appl. Physiol.* 20:480–486, 1995.
163. MACDOUGALL, J. D., G. R. WARD, D. G. SALE, and J. R. SUTTON. Biochemical adaptation of human skeletal muscle to heavy resistance training and immobilization. *J. Appl. Physiol.* 43:700–703, 1977.
164. MARCINIK, E. J., J. POTTS, G. SCHLABACH, S. WILL, P. DAWSON, and B. F. HURLEY. Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23:739–743, 1991.
165. MARX, J. O., N. A. RATAMESS, B. C. NINDL, et al. The effects of single-set vs. periodized multiple-set resistance training on muscular performance and hormonal concentrations in women. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33:635–643, 2001.
166. MATVEYEV, L. *Fundamentals of Sports Training*. Moscow: Progress, 1981, pp. 1–310.
167. MAYHEW, J. L., and P. M. GROSS. Body composition changes in young women with high resistance training. *Res. Q.* 45:433–440, 1974.
168. MAYHEW, J. L., B. LEVY, T. MCCORMICK, and G. EVANS. Strength norms for NCAA Division II college football players. *NSCA J.* 9:67–69, 1987.
169. MAZZETTI, S. A., W. J. KRAEMER, J. S. VOLEK, et al. The influence of direct supervision of resistance training on strength performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32:1175–1184, 2000.
170. MCCALL, G. E., W. C. BYRNES, A. DICKINSON, P. M. PATTANY, and S. J. FLECK. Muscle fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *J. Appl. Physiol.* 81:2004–2012, 1996.
171. MCCALL, G. E., W. C. BYRNES, S. J. FLECK, A. DICKINSON, and W. J. KRAEMER. Acute and chronic hormonal responses to resistance training designed to promote muscle hypertrophy. *Can. J. Appl. Physiol.* 24:96–107, 1999.
172. MCCARTNEY, N. Acute responses to resistance training and safety. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31:31–37, 1999.

173. MCDONAGH, M. J. N., and C. T. M. DAVIES. Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur. J. Appl. Physiol.* 52:139–155, 1984.
174. MCEVOY, K. P., and R. U. NEWTON. Baseball throwing speed and base running speed: the effects of ballistic resistance training. *J. Strength Cond. Res.* 12:216–221, 1998.
175. MCGEE, D., T. C. JESSEE, M. H. STONE, and D. BLESSING. Leg and hip endurance adaptations to three weight-training programs. *J. Appl. Sport Sci. Res.* 6:92–95, 1992.
176. MCLESTER, J. R., P. BISHOP, and M. E. GUILLIAMS. Comparison of 1 day and 3 days per week of equal-volume resistance training in experienced subjects. *J. Strength Cond. Res.* 14:273–281, 2000.
177. MCMORRIS, R. O., and E. C. ELKINS. A study of production and evaluation of muscular hypertrophy. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 35:420–426, 1954.
178. MESSIER, S. P., and M. E. DILL. Alterations in strength and maximal oxygen uptake consequent to Nautilus circuit weight training. *Res. Q. Exerc. Sport* 56:345–351, 1985.
179. METTER, E. J., R. CONWIT, J. TOBIN, and J. L. FOZARD. Age-associated loss of power and strength in the upper extremities in women and men. *J. Gerontol. Biol. Sci. Med. Sci.* 52:B267–276, 1997.
180. MILLER, W. J., W. M. SHERMAN, and J. L. IVY. Effect of strength training on glucose tolerance and post-glucose insulin response. *Med. Sci. Sports Exerc.* 16:539–543, 1984.
181. MILNER-BROWN, H. S., R. B. STEIN, and R. G. LEE. Synchronization of human motor units: possible roles of exercise and supraspinal reflexes. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 38:245–254, 1975.
182. MOFFROID, M., and R. H. WHIPPLE. Specificity of speed of exercise. *Phys. Ther.* 50:1692–1700, 1970.
183. MOOKERJEE, S., and N. A. RATAMESS. Comparison of strength differences and joint action durations between full and partial range-of-motion bench press exercise. *J. Strength Cond. Res.* 13:76–81, 1999.
184. MOREHOUSE, C. Development and maintenance of isometric strength of subjects with diverse initial strengths. *Res. Q.* 38: 449–456, 1966.
185. MORGANTI, C. M., M. E. NELSON, M. A. FIATARONE, et al. Strength improvements with 1 yr of progressive resistance training in older women. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27:906–912, 1995.
186. MORITANI, T., and H. DEVRIES. Neural factors vs hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am. J. Phys. Med.* 58:115–130, 1979.
187. MORITANI, T., M. MURO, K. ISHIDA, and S. TAGUCHI. Electrophysiological analyses of the effects of muscle power training. *Res. J. Phys. Ed. Japan* 1:23–32, 1987.
188. MORRISSEY, M. C., E. A. HARMAN, P. N. FRYKMAN, and K. H. HAN. Early phase differential effects of slow and fast barbell squat training. *Am. J. Sports Med.* 26:221–230, 1998.
189. MOSS, B. M., P. E. REFSNES, A. ABILDGAARD, K. NICOLAYSEN, and J. JENSEN. Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. *Eur. J. Appl. Physiol.* 75:193–199, 1997.
190. MULLIGAN, S. E., S. J. FLECK, S. E. GORDON, L. P. KOZIRIS, N. T. TRIPLETT-MCBRIDE, and W. J. KRAEMER. Influence of resistance exercise volume on serum growth hormone and cortisol concentrations in women. *J. Strength Cond. Res.* 10:256–262, 1996.
191. NARICI, M. V., G. S. ROI, L. LANDONI, A. E. MINETTI, and P. CERRETELLI. Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *Eur. J. Appl. Physiol.* 59:310–319, 1989.
192. O'BRYANT, H. S., R. BYRD, and M. H. STONE. Cycle ergometer performance and maximum leg and hip strength adaptations to two different methods of weight-training. *J. Appl. Sport Sci. es.* 2:27–30, 1988.
193. O'HAGAN, F. T., D. G. SALE, J. D. MACDOUGALL, and S. H. GARNER. Comparative effectiveness of accommodating and weight resistance training modes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27: 1210–1219, 1995.
194. O'SHEA, P. Effects of selected weight training programs on the development of strength and muscle hypertrophy. *Res. Q.* 37: 95–102, 1966.
195. OSTROWSKI, K. J., G. J. WILSON, R. WEATHERBY, P. W. MURPHY, and A. D. LYTTLE. The effect of weight training volume on hormonal output and muscular size and function. *J. Strength Cond. Res.* 11:148–154, 1997.
196. NEWTON, R. U., and W. J. KRAEMER. Developing explosive muscular power: implications for a mixed methods training strategy. *Strength Cond.* 16:20–31, 1994.
197. NEWTON, R. U., W. J. KRAEMER, and K. H. AKKINEN. Short-term ballistic resistance training in the pre-season preparation of elite volleyball players. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31:323–330, 1999.
198. NEWTON, R. U., W. J. KRAEMER, K. HÄKKINEN, B. J. HUMPHRIES, and A. J. MURPHY. Kinematics, kinetics, and muscle activation during explosive upper body movements. *J. Appl. Biomech.* 12:31–43, 1996.
199. NEWTON, R. U., and K. P. MCEVOY. Baseball throwing velocity: a comparison of medicine ball training and weight training. *J. Strength Cond. Res.* 8:198–203, 1994.
200. PERRINE, J. J., and V. R. EDGERTON. Muscle force-velocity and power-velocity relationships under isokinetic loading. *Med. Sci. Sports.* 10:159–166, 1978.
201. PHILLIPS, S. M. Short-term training: when do repeated bouts of resistance exercise become training? *Can. J. Appl. Physiol.* 25: 185–193, 2000.
202. PHILLIPS, S., K. TIPTON, A. AARSLAND, S. WOLF, and R. WOLFE. Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *Am. J. Physiol.* 273:E99–E107, 1997.
203. PINCIVERO, D. M., S. M. LEPHART, and R. G. KARUNAKARA. Effects of rest interval on isokinetic strength and functional performance after short term high intensity training. *Br. J. Sports Med.* 31: 229–234, 1997.
204. PLOUTZ, L. L., P. A. TESCH, R. L. BIRO, and G. A. DUDLEY. Effect of resistance training on muscle use during exercise. *J. Appl. Physiol.* 76:1675–1681, 1994.
205. PODOLOSKY, A., K. R. KAUFMAN, T. D. CAHALAN, S. Y. ALESKIN-SKY, and E. Y. CHAO. The relationship of strength and jump height in figure skaters. *Am. J. Sports Med.* 18:400–405, 1990.
206. POLLOCK, M. L., B. A. FRANKLIN, G. J. BALADY, et al. Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: benefits, rationale, safety, and prescription. *Circulation* 101:828–833, 2000.

207. POLLOCK, M. L., J. E. GRAVES, M. M. BAMMAN, et al. Frequency and volume of resistance training: effect of cervical extension strength. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 74:1080–1086, 1993.
208. POLLOCK, M. L., and K. R. VINCENT. *The President's Council on Physical Fitness, and Sports Research Digest*, Series 2, No. 8, December 1996.
209. POTTEIGER, J. A., L. W. JUDGE, J. A. CERNY, and V. M. POTTEIGER. Effects of altering training volume and intensity on body mass, performance, and hormonal concentrations in weight-event athletes. *J. Strength Cond. Res.* 9:55–58, 1995.
210. POULMEDIS, P., G. RONDOYANNIS, A. MITSOU, and E. TSAROUCAS. The influence of isokinetic muscle torque exerted in various speeds of soccer ball velocity. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 10:93–96, 1988.
211. RAASTAD, T., T. BJORO, and J. HALLEN. Hormonal responses to high- and moderate-intensity strength exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 82:121–128, 2000.
212. REID, C. M., R. A. YEATER, and I. H. ULLRICH. Weight training and strength, cardiorespiratory functioning and body composition of men. *Br. J. Sports Med.* 21:40–44, 1987.
213. ROBERGS, R. A., D. R. PEARSON, D. L. COSTILL, et al. Muscle glycogenolysis during different intensities of weight-resistance exercise. *J. Appl. Physiol.* 70:1700–1706, 1991.
214. ROBINSON, J. M., M. H. STONE, R. L. JOHNSON, C. M. PENLAND, B. J. WARREN, and R. D. LEWIS. Effects of different weight training exercise/rest intervals on strength, power, and high intensity exercise endurance. *J. Strength Cond. Res.* 9:216–221, 1995.
215. ROONEY, K., R. D. HERBERT, and R. J. BELNAVE. Fatigue contributes to the strength training stimulus. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26:1160–1164, 1994.
216. RUTHERFORD, O. M., and D. A. JONES. The role of learning and coordination in strength training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 55:100–105, 1986.
217. SALE, D. G. Neural adaptations to strength training. In: *Strength and Power in Sport*, P. V. Komi (Ed.). Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1992, pp. 249–265.
218. SALE, D. G., I. JACOBS, J. D. MACDOUGALL, and S. GARNER. Comparisons of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22:348–356, 1990.
219. SANBORN, K., R. BOROS, J. HRUBY, et al. Short-term performance effects of weight training with multiple sets not to failure vs a single set to failure in women. *J. Strength Cond. Res.* 14:328–331, 2000.
220. SCALA, D., J. MCMILLAN, D. BLESSING, R. ROZENEK, and M. STONE. Metabolic cost of a preparatory phase of training in weight lifting: a practical observation. *J. Appl. Sports Sci. Res.* 1:48–52, 1987.
221. SCHIOTZ, M. K., J. A. POTTEIGER, P. G. HUNTSINGER, and D. C. DENMARK. The short-term effects of periodized and constant-intensity training on body composition, strength, and performance. *J. Strength Cond. Res.* 12:173–178, 1998.
222. SCHLUMBERGER, A., J. STEC, and D. SCHMIDTBLEICHER. Single- vs. multiple-set strength training in women. *J. Strength Cond. Res.* 15:284–289, 2001.
223. SCHMIDTBLEICHER, D. Training for power events. In: *Strength and Power in Sport*, P. V. Komi (Ed.). Boston: Blackwell Scientific Publications, 1992, pp. 381–395.
224. SELYE, H. Forty years of stress research: principal remaining problems and misconceptions. *Can. Med. Assoc. J.* 115:53–56, 1976.
225. SFORZO, G. A., and P. R. TOUEY. Manipulating exercise order affects muscular performance during a resistance exercise training session. *J. Strength Cond. Res.* 10:20–24, 1996.
226. SHINOHARA, M., M. KOUZAKI, T. YOSHIHISA, and T. FUKUNAGA. Efficacy of tourniquet ischemia for strength training with low resistance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 77:189–191, 1998.
227. SILVESTER, L. J., C. STIGGINS, C. MCGOWN, and G. R. BRYCE. The effect of variable resistance and free weight training programs on strength and vertical jump. *NSCA J.* 5:30–33, 1984.
228. SKELTON, D. A., C. A. GREIG, J. M. DAVIES, and A. YOUNG. Strength, power and related functional ability of healthy people aged 65–89 years. *Age Aging* 23:371–377, 1994.
229. SMITH, D. J., and D. ROBERTS. Aerobic, anaerobic and isokinetic measures of elite Canadian male and female speed skaters. *J. Appl. Sport Sci. Res.* 5:110–115, 1991.
230. SMITH, R. C., and O. M. RUTHERFORD. The role of metabolites in strength training: I. A comparison of eccentric and concentric contractions. *Eur. J. Appl. Physiol.* 71:332–336, 1995.
231. STARKEY, D. B., M. L. POLLOCK, Y. ISHIDA, et al. Effect of resistance training volume on strength and muscle thickness. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28:1311–1320, 1996.
232. STARON, R. S., D. L. KARAPONDO, W. J. KRAEMER, et al. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J. Appl. Physiol.* 76:1247–1255, 1994.
233. STARON, R. S., M. J. LEONARDI, D. L. KARAPONDO, et al. Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. *J. Appl. Physiol.* 70:631–640, 1991.
234. STARON, R. S., E. S. MALICKY, M. J. LEONARDI, J. E. FALKEL, F. C. HAGERMAN, and G. A. DUDLEY. Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance-trained women. *Eur. J. Appl. Physiol.* 60:71–79, 1989.
235. STEWART, K. J., M. MASON, and M. H. KELEMAN. Three-year participation in circuit weight-training improves strength and self-efficacy in cardiac patients. *J. Cardiopulm. Rehabil.* 8:292–296, 1988.
236. STONE, M. H., S. J. FLECK, N. T. TRIPLETT, and W. J. KRAEMER. Health- and performance-related potential of resistance training. *Sports Med.* 11:210–231, 1991.
237. STONE, M. H., R. L. JOHNSON, and D. R. CARTER. A short term comparison of two different methods of resistance training on leg strength and power. *Athletic Train.* 14:158–161, 1979.
238. STONE, M. H., H. O'BRYANT, and J. GARHAMMER. A hypothetical model for strength training. *J. Sports Med.* 21:342–351, 1981.
239. STONE, M. H., H. O'BRYANT, J. GARHAMMER, J. MCMILLAN, and R. ROZENEK. A theoretical model of strength training. *NSCA J.* 4:36–39, 1982.

240. STONE, M. H., S. S. PLISK, M. E. STONE, B. K. SCHILLING, H. S. O'BRYANT, and K. C. PIERCE. Athletic performance development: volume load—1 set vs. multiple sets, training velocity and training variation. *NSCA J.* 20:22–31, 1998.
241. STONE, M. H., J. A. POTTEIGER, K. C. PIERCE, et al. Comparison of the effects of three different weight-training programs on the one repetition maximum squat. *J. Strength Cond. Res.* 14:332–337, 2000.
242. STONE, M. H., G. D. WILSON, D. BLESSING, and R. ROZENEK. Cardiovascular responses to short-term Olympic style weight training in young men. *Can. J. Appl. Sport Sci.* 8:134–139, 1983.
243. STONE, W. J., and S. P. COULTER. Strength/endurance effects from three resistance training protocols with women. *J. Strength Cond. Res.* 8:231–234, 1994.
244. STOWERS, T., J. MCMILLIAN, D. SCALA, V. DAVIS, D. WILSON, and M. STONE. The short-term effects of three different strength-power training methods. *NSCA J.* 5:24–27, 1983.
245. TAN, B. Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men: a review. *J. Strength Cond. Res.* 13:289–304, 1999.
246. TESCH, P. A. Short- and long-term histochemical and biochemical adaptations in muscle. In: *Strength and Power in Sport*, P.V. Komi (Ed.). Boston: Blackwell Scientific Publications, 1992, pp. 239–248.
247. TESCH, P. A., P. V. KOMI, and K. HAKKINEN. Enzymatic adaptations consequent to long-term strength training. *Int. J. Sports Med.* 8(Suppl.):66–69, 1987.
248. TESCH, P. A., A. THORSSON, and B. ESSEN-GUSTAVSSON. Enzyme activities of FT and ST muscle fibres in heavy-resistance trained athletes. *J. Appl. Physiol.* 67:83–87, 1989.
249. THRASH, K., and B. KELLEY. Flexibility and strength training. *J. Appl. Sport Sci. Res.* 1:74–75, 1987.
250. TOMBERLINE, J. P., J. R. BASFORD, E. E. SCHWEN, et al. Comparative study of isokinetic eccentric and concentric quadriceps training. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 14:31–36, 1991.
251. VAN ETTEN, L. M. L. A., F. T. J. VERSTAPPEN, and K. R. WEST-ERTERP. Effect of body build on weight-training-induced adaptations in body composition and muscular strength. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26:515–521, 1994.
252. VANHELDER, W. P., M. W. RADOMSKI, and R. C. GOODE. Growth hormone responses during intermittent weight lifting exercise in men. *Eur. J. Appl. Physiol.* 53:31–34, 1984.
253. WEISS, L. W., H. D. CONEY, and F. C. CLARK. Differential functional adaptations to short-term low-, moderate-, and high-repetition weight training. *J. Strength Cond. Res.* 13:236–241, 1999.
254. WESTCOTT, W. L., R. A. WINETT, E. S. ANDERSON, et al. Effects of regular and super slow speed resistance training on muscle strength. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 41:154–158, 2001.
255. WIKLANDER, J., and J. LYSHOLM. Simple tests for surveying strength and muscle stiffness in sportsmen. *Int. J. Sports Med.* 8:50–54, 1987.
256. WILLOUGHBY, D. S. A comparison of three selected weight training programs on the upper and lower body strength of trained males. *Ann. J. Appl. Res. Coaching Athletics* 124–146, 1992.
257. WILLOUGHBY, D. S. The effects of mesocycle-length weight training programs involving periodization and partially equated volumes on upper and lower body strength. *J. Strength Cond. Res.* 7:2–8, 1993.
258. WILLOUGHBY, D. S., D. R. CHILEK, D. A. SCHILLER, and J. R. COAST. The metabolic effects of three different free weight parallel squatting intensities. *J. Hum. Mov. Stud.* 21:53–67, 1991.
259. WILMORE, J. Alterations in strength, body composition, and anthropometric measurements consequent to a 10-week weight training program. *Med. Sci. Sports* 6:133–138, 1974.
260. WILSON, G. J., A. J. MURPHY, and A. D. WALSHE. Performance benefits from weight and plyometric training: effects of initial strength level. *Coaching Sport Sci. J.* 2:3–8, 1997.
261. WILSON, G. J., R. U. NEWTON, A. J. MURPHY, and B. J. HUMPHRIES. The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25:1279–1286, 1993.
262. YOUNG, W. B. Training for speed/strength: heavy versus light loads. *NSCA J.* 15:34–42, 1993.
263. YOUNG, W., A. JENNER, and K. GRIFFITHS. Acute enhancement of power performance from heavy squat loads. *J. Strength Cond. Res.* 12:82–84, 1998.
264. ZATSIORSKY, V. *Science and Practice of Strength Training*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1995, pp. 60–65, 108–112.